

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA
BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS
ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND**

PRESENTADO POR:

BACH. RUDYARD MATTHEW CONDORI GUTIERREZ
BACH. MAX JUNIOR VERA ZAMBRANO

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

MG. ING. JOSÉ CARLOS SOLIS TITO

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN DE LAS PREPARACIONES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB-BASE DE LAS CARRETERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CEMENTO PORTLAND

presentado por: MAX JUNIOR VERA ZAMBRANO con DNI Nro.: 73210096 presentado por: BURNARD MATHEW GONZALEZ con DNI Nro.: 72897773 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

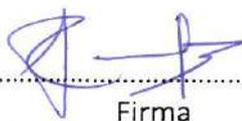
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 18 de enero de 2025


Firma

Post firma Mg. Ing. Jose Carlos Solis Tito

Nro. de DNI 43491953

ORCID del Asesor 0000-0002-1437-7330

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:421763744

Rudyard Matthew, Max Junior Condori Gutierrez, V... 10-12-24 - TESIS CEMENTO Y EMULSION ASFALTICA.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:421763744

Fecha de entrega

18 ene 2025, 7:05 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

18 ene 2025, 1:40 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

10-12-24 - TESIS CEMENTO Y EMULSION ASFALTICA.pdf

Tamaño de archivo

17.0 MB

377 Páginas

79,673 Palabras

379,613 Caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Presentación

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio
Abad del Cusco

Señores miembros del jurado:

Con la finalidad de solicitar la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil y conforme al reglamento de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, es grato dirigirnos a ustedes para presentar el trabajo de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND”.

El propósito de este estudio es determinar experimentalmente el correcto porcentaje de adición de cemento y emulsión asfáltica al material granular de las canteras de la provincia de Canchis, de tal forma que mejoren las propiedades mecánicas, y garanticen una resistencia que conlleve a su uso como material granular para sub base o base granular conforme a las normativas establecidas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en sus manuales EG-2013, CE.020 y manual de ensayo de materiales. Garantizando la estabilidad, resistencia y durabilidad del material a través del tiempo.

Bach. Condori Gutiérrez, Rudyard Matthew

Bach. Vera Zambrano, Max Junior

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado en memoria de mi padre Ruben Condori Herrera que fue un pilar emocional a culminar esta hermosa carrera de la cual me siento orgulloso, espero que desde el cielo sientas el orgullo que llevo en el corazón.

A mi madre Clara Gutierrez Abarca y a mi hermana Ruth Condori Gutierrez por su apoyo, que gracias a ellas pude alcanzar esta meta soñada. Gracias por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia puedo lograr varias cosas.

Rudyard Matthew Condori Gutierrez

A mis padres, que siempre creyeron en mi con su apoyo incondicional, que me enseñaron el valor del esfuerzo. El amor que me brindaron es mi mayor inspiración. Gracias por siempre empujarme a alcanzar mis sueños.

A mi familia que con cada consejo y gesto de cariño han sido un apoyo fundamental en este proceso. Por creer en mi aun cuando yo dudaba de mí mismo. A mi buen amigo Rudyard, mi cómplice en la travesía académica, con quien compartir esta aventura fue más interesante. Donde hicimos de cada momento estresante una oportunidad para reír. Gracias por siempre estar listo para seguir adelante, incluso cuando solo queríamos rendirnos.

Max Junior Vera Zambrano

Agradecimientos

A Dios, que nos dio la fuerza y paciencia para poder terminar esta etapa tan importante. A todas las personas que nos acompañaron y apoyaron durante el proceso.

A nuestra casa de estudios, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a nuestra querida Facultad de Ingeniería Civil, por darnos un espacio para nuestro desarrollo y crecimiento como persona y profesionales. A los docentes que con su enseñanza y conocimiento forjaron nuestros pasos para poder alcanzar esta meta.

A nuestros compañeros por hacer de esta etapa una aventura, en la cual compartimos risas, tristezas, largas horas de estudio. Que con su amistad ayudaron a que ese camino fuera más llevadero.

Al Ing. José Carlos Solis, nuestro asesor de tesis. Por compartir tiempo, conocimientos y apoyo para la culminación del presente trabajo de investigación.

También agradecer al Ing. Jorge Iván Cruz Tello, por los consejos que ayudaron a nuestro crecimiento personal.

Bach. Condori Gutiérrez, Rudyard Matthew

Bach. Vera Zambrano, Max Junior

Resumen

Las vías pavimentadas en la provincia de Canchis y la región Cusco, están compuestas por capas de material granular, encargadas de disipar la carga de los vehículos. Estas tienen características mínimas establecidas según el MTC. Y al no ser garantizadas tienden a ser mejoradas con distintos agentes estabilizadores.

Esta investigación, busca detallar las características del material granular de las canteras de Chumo y Chihuaco, usadas comúnmente en los distintos proyectos de pavimentación en la provincia de Canchis, analizando principalmente las propiedades de resistencia. Se busca determinar el óptimo contenido de emulsión asfáltica CSS-1 y cemento Portland IP, los cuales generan un aumento en las propiedades del material granular. Garantizando su uso tanto como base y sub base granular.

Para encontrar el correcto contenido de Cemento se realizaron los ensayos establecidos según el MTC con variaciones de cemento del 0%, 1%, 3%, 5% y 7%. De esta forma se determinó su relación humedad-densidad para cada una de estas, posteriormente se elaboraron briquetas suelo cemento que fueron sometidas tanto a compresión y ciclos de humedecimiento y secado. En el caso de la estabilización con emulsión asfáltica se determinó según la granulometría un porcentaje tentativo de emulsión asfáltica el cual se varió en intervalos de 0.5%, elaborando especímenes de mezcla con los que se calculó el recubrimiento de la emulsión asfáltica a los agregados, gravedades específicas, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos en la mezcla.

En conclusión, se afirma que el correcto porcentaje de Suelo Cemento para las canteras Chumo y Chihuaco es de 5%, teniendo una resistencia obtenida de 23.81 Kg/cm² y 22.66 Kg/cm², además una pérdida suelo cemento de 5.46% y 8.30 % respectivamente; las cuales cumplen con lo mínimo establecido en las normativas del MTC. En el caso de la estabilización con emulsión

asfáltica se obtuvo para la cantera Chumo un 6.57% de emulsión asfáltica a añadir y para la cantera Chihuaco un 8.29%, dando resultados de estabilidad de 9,302.29 N y 7,677.64 N, gravedad máxima bulk de 2.317 y 2.257, pérdida de estabilidad de 26.167% y 18.272%, flujo de 2.018 mm y 2.672mm, así un porcentaje de ligante efectivo de 5.66% y 5.12% respectivamente.

Palabras clave: Emulsión asfáltica, Cemento Portland IP, estabilidad, resistencia.

Abstract

The paved roads in the province of Canchis and the Cusco region consist of layers of granular material designed to dissipate the load from vehicles. These materials must comply minimum specifications established by the Ministry of Transport and Communications (MTC). When these requirements are not compliments, enhancements should be implemented using various stabilizing agents.

This research aims to detail the characteristics of the granular material sourced from the Chumo and Chihuaco quarries, which are used in various paving projects within the province of Canchis, focusing primarily on their resistance properties. The goal is to determine the optimal content of CSS-1 asphalt emulsion and Portland cement type IP, which enhance the properties of the granular material, ensuring its suitability as both a granular base and sub-base.

To find the appropriate cement content, tests were conducted according to MTC standards, varying the cement content at 1%, 3%, 5%, and 7%. This approach will establish the correct moisture-density relationship for each variation. Subsequently, soil-cement briquettes were produced and subjected to compression tests, as well as cycles of wetting and drying. For the stabilization with asphalt emulsion, a tentative percentage was calculated based on granulometry, which was then varied in increments of 0.5% to create mixture specimens. The coverage of the asphalt emulsion on the aggregates, specific gravities, stability, flow, and void percentage in the mixture were then evaluated.

In conclusion, it was determined that the optimal percentage of soil-cement for the Chumo and Chihuaco quarries is 5%, where resistances to compression were 23.81 kg/cm² and 22.66 kg/cm², and soil-cement losses was 5.46% and 8.30%, respectively; both of which comply with the

minimum standards set by MTC regulations. For stabilization with asphalt emulsion, the optimal amounts determined were 6.57% for the Chumo quarry and 8.29% for the Chihuaco quarry, resulting in stability values of 9,302.29 N and 7,677.64 N, maximum bulk densities of 2.317 and 2.257, stability losses of 26.167% and 18.272%, flow rates of 2.018 mm and 2.672 mm, and effective binder percentages of 5.66% and 5.12%, respectively.

Keywords: Asphalt emulsion, Portland Cement type IP, stability, resistance.

INDICE

Introducción	26
Capítulo I	28
Planteamiento Del Problema.....	28
Situación Problemática.....	28
A Nivel Internacional	28
A Nivel Nacional	29
A Nivel Local	30
Formulación del problema	31
Problemas de la Investigación.....	32
Problema General	32
Problemas Específicos	32
Objetivos de la Investigación	33
Objetivo General.....	33
Objetivos Específicos	33
Justificación de la Investigación	33
Capitulo II.....	35
Marco Teórico Conceptual	35
Antecedentes de la Investigación	35
A Nivel Internacional	35
A Nivel Nacional	36
Bases Teóricas.....	37
Estructura del Pavimento.....	37
Características Mínimas del Material Granular según el EG - 2013.....	39
Estabilización de suelos.....	40
Criterios de Aplicación.....	44
Estabilización suelo cemento.....	46
Estabilización con Emulsión Asfáltica	49
Marco Conceptual	58
Carga axial.....	58
CBR (California Bearing Ratio)	58

Compactación	58
Contenido óptimo de humedad.....	58
Curva granulometrica	58
Densidad bulk	58
Densidad seca	59
Emulsión asfáltica.....	59
Estabilidad	59
Estabilización de suelos	59
Fase continua	59
Fase discreta	59
Granulometria.....	60
Limite Liquido.....	60
Limite plastico	60
Polimero.....	60
Viscosidad	60
Capitulo III.....	61
Metodología de la Investigación.....	61
Formulación de la Hipótesis.....	61
Hipótesis General	61
Hipótesis Específicos.....	61
Alcance de la Investigación.....	61
Diseño de la Investigación	62
Enfoque de la Investigación	62
Identificación de Variables e Indicadores	62
Población de Estudio.....	63
Muestra.....	63
Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos.....	63
Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	64
Diseño Metodológico	65
Recolección de Datos	67
Exploración de Canteras	67
Ensayos para la Determinación de las Características del Suelo.....	71
Ensayos para Determinar las Propiedades de la Estabilización con Cemento	92

Ensayos para Determinar propiedades de la Estabilización Emulsión Asfáltica	111
Capitulo IV	135
Resultados de la Investigación	135
Resultados de la Granulometría	135
Cantera Chumo - 1	135
Cantera Chumo - 2	137
Cantera Chihuaco - 1	139
Cantera Chihuaco - 2	141
Resultados del límite Líquido	143
Cantera Chumo	143
Cantera Chihuaco	145
Resultados del Límite Plástico e índice de plasticidad	146
Cantera Chumo	146
Cantera Chihuaco	147
Resultados de la clasificación del suelo	149
Cantera Chumo (SUCS)	149
Cantera Chumo (AASHTO)	151
Cantera Chihuaco (SUCS)	153
Cantera Chihuaco (AASHTO)	156
Gravedad específica de los agregados	157
Cantera Chumo	157
Cantera Chihuaco	159
Equivalente de Arena	160
Cantera Chumo	160
Cantera Chihuaco	161
Abrasión a los Ángeles	161
Cantera Chumo	161
Cantera Chihuaco	162
Resultados del Proctor Modificado y Relaciones Humedad-Densidad Suelo-Cemento	163
Resultados Obtenidos del Ensayo CBR en el Material Granular	164
Cantera Chumo	164

Cantera Chihuaco	166
Resultados del Ensayo de Compresión no Confinada.....	167
Sin adición de cemento.....	167
Con adición de cemento	168
Resultados del Ensayo de Humedecimiento y secado	169
Cantera Chumo	169
Cantera Chihuaco	171
Resultados de estabilización con emulsión asfáltica.....	173
Resultado del porcentaje tentativo de la emulsión asfáltica	173
Resultados del contenido de humedad de los agregados	175
Resultados del recubrimiento de la mezcla	176
Resultados de la humedad optima de compactación	178
Resultados la gravedad especifica máxima de la mezcla	184
Resultados de la estabilidad y flujo Marshall.....	190
Resultados de las gravedades especificas calculadas de los especímenes ensayados	208
Resultados de los porcentajes de volumen con vacíos de Aire VTM	212
Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa.....	213
Capitulo V.....	217
Análisis e Interpretación de los Resultados	217
Análisis de resultados Granulometría del suelo	217
Cantera Chumo	218
Cantera Chihuaco	220
Análisis de Resultados Equivalente de Arena.....	222
Cantera Chumo	222
Cantera Chihuaco	223
Análisis de Resultados Ensayo de Abrasión	224
Cantera Chumo	224
Cantera Chihuaco	225
Análisis de resultados del Proctor Modificado y Relaciones Humedad-Densidad Suelo Cemento	226
Cantera Chumo	226

Cantera Chihuaco	228
Análisis de resultados del ensayo CBR en suelo natural	229
Cantera Chumo	229
Cantera Chihuaco	232
Análisis de resultados del ensayo de presión confinada	234
Cantera Chumo	234
Cantera Chihuaco	236
Análisis de Resultados del Ensayo de Humedecimiento y Secado	237
Cantera Chumo	237
Cantera Chihuaco	238
Análisis de resultado de la estabilización de suelo con emulsión asfáltica.....	241
Asfalto residual vs Volumen de vacíos.	242
Asfalto residual vs Estabilidad Seca Corregida y Estabilidad Húmeda Corregida.	246
Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad.	250
Asfalto residual vs Flujo Seco y Flujo Húmedo.....	253
Asfalto residual vs Gravedad Máxima Bulk.....	257
Asfalto residual vs Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto VFA.	260
Asfalto residual vs Porcentaje de Ligante efectivo.	264
Análisis Estadístico de Resultados.....	267
Subconjuntos Homogéneos – Resistencia cantera Chumo con cemento portland tipo IP ..	270
Subconjuntos Homogéneos – Resistencia cantera Chihuaco con cemento portland tipo IP270	
Subconjuntos Homogéneos – Propiedades de la cantera Chihuaco con emulsión asfáltica	271
Subconjuntos Homogéneos de las propiedades de la cantera Chumo con emulsión asfáltica	
.....	275
Capítulo VI.....	279
Conclusiones y Recomendaciones.....	279
Conclusiones	279
Recomendaciones.....	282
Bibliografía.....	283
Anexos	285

Índice de Tablas

Tabla 1 Cuadro comparativo del material de cantera utilizado para sub base	30
Tabla 2 Cuadro comparativo del material de cantera utilizado para base	30
Tabla 3 Ensayos y especificaciones minimas según EG-2013 para sub base granular	39
Tabla 4 Guía referencial para tipo de estabilizador	40
Tabla 5 Guía complementaria referencial para establecer el tipo de estabilizador.....	43
Tabla 6 Especificaciones Técnicas tipos de estabilizadores y parámetros	44
Tabla 7 Tipo de estabilizadores según la ubicación del proyecto.....	45
Tabla 8 Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento	47
Tabla 9 Tipos de cemento y sus aplicaciones comunes.....	47
Tabla 10 Composición química del cemento en porcentaje de masa	48
Tabla 11 Ensayos y frecuencias para suelos estabilizados con emulsión asfáltica.....	56
Tabla 12 Serie de Tamices para el Análisis Granulométrico.....	71
Tabla 13 Factores de estabilidad de Correlación	132
Tabla 14 Granulometría de la cantera Chumo -1	135
Tabla 15 Granulometría de la cantera Chumo -2.....	137
Tabla 16 Granulometría de la cantera Chihuahaco -1	139
Tabla 17 Granulometría de la cantera Chihuahaco -2	141
Tabla 18 Contenido de Humedad para Limite Liquido Cantera Chumo	143
Tabla 19 Contenido de Humedad para Limite Liquido Chihuahaco.....	145
Tabla 20 Contenido de Humedad para Limite Plástico Cantera Chumo	146
Tabla 21 Contenido de Humedad para Limite Plástico Cantera Chumo	147
Tabla 22 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia	149
Tabla 23 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia	151
Tabla 24 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia	153
Tabla 25 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia	156
Tabla 26 Gravedad especifica agregado grueso - Chumo	158
Tabla 27 Gravedad especifica agregado fino - Chumo.....	158
Tabla 28 Gravedad especifica agregado grueso - Chihuahaco.....	159
Tabla 29 Gravedad especifica agregado fino - Chihuahaco	159
Tabla 30 Equivalente de Arena Cantera de Chumo.....	160
Tabla 31 Equivalente de Arena Cantera de Chihuahaco	161
Tabla 32 Abrasión de Cantera de Chumo	161
Tabla 33 Abrasión de la Cantera de Chihuahaco.....	162
Tabla 34 Datos del ensayo Proctor modificado cantera Chumo.....	163
Tabla 35 Datos del ensayo Proctor modificado cantera Chihuahaco	163
Tabla 36 Datos del ensayo MTC E 1103 Suelo - Cemento de la cantera de Chumo	164
Tabla 37 Datos del ensayo MTC E 1103 Suelo - Cemento de la cantera de Chihuahaco.....	164
Tabla 38 Humedad Optima y Máxima Densidad Seca de la cantera de Chumo	165
Tabla 39 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 01 cantera de Chumo.....	165

Tabla 40 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 02 cantera de Chumo.....	165
Tabla 41 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 03 cantera de Chumo.....	166
Tabla 42 Humedad Optima y Máxima Densidad Seca de la cantera de Chihuaco.....	166
Tabla 43 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 01 cantera de Chihuaco	166
Tabla 44 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 02 cantera de Chihuaco	167
Tabla 45 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 03 cantera de Chihuaco	167
Tabla 46 Resistencia a la compresión de probetas sin adición de cemento de ambas canteras..	167
Tabla 47 Resistencia a la compresión de probetas suelo cemento cantera Chumo	168
Tabla 48 Resistencia a la compresión de probetas suelo cemento cantera Chihuaco.....	168
Tabla 49 Variación de volumen respecto al Volumen del espécimen N° 01 cantera de Chumo	170
Tabla 50 Resultado de las perdidas Suelo cemento al raspado durante 12 ciclos cantera de Chumo.....	170
Tabla 51 Pérdida de Suelo Cemento cantera de Chumo.....	171
Tabla 52 Variación de volumen respecto al Volumen del espécimen N° 01 cantera de Chihuaco	171
Tabla 53 Resultado de las perdidas Suelo cemento al raspado durante 12 ciclos cantera de Chumo.....	172
Tabla 54 Pérdida de Suelo Cemento cantera de Chumo.....	172
Tabla 55 Granulometría promedio de la cantera Chumo.....	173
Tabla 56 Granulometría promedio de la cantera Chihuaco	174
Tabla 57 Contenido de humedad del agregado a ensayar - Chumo.....	175
Tabla 58 Contenido de humedad del agregado a ensayar - Chihuaco	175
Tabla 59 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla - Chumo.....	176
Tabla 60 Recubrimiento de las partículas de la mezcla - Chumo.....	177
Tabla 61 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla - Chihuaco	177
Tabla 62 Recubrimiento de las partículas de la mezcla - Chihuaco	178
Tabla 63 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla de 1200 gramos - Chumo	178
Tabla 64 Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chumo.....	179
Tabla 65 Gravedad especifica bulk de la mezcla - Chumo.....	180
Tabla 66 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla de 1200 gramos - Chihuaco.....	181
Tabla 67 Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chihuaco	182
Tabla 68 Gravedad especifica bulk de la mezcla - Chihuaco	183
Tabla 69 Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chumo	185
Tabla 70 Peso de la mezcla antes de compactar - Chumo	186
Tabla 71 Gravedad especifica teórica máxima Gmm - Chumo.....	186
Tabla 72 Gravedad especifica teórica máxima Gmm - Chumo.....	187
Tabla 73 Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chihuaco.....	188
Tabla 74 Peso de la mezcla antes de compactar - Chumo	188
Tabla 75 Gravedad especifica teórica máxima Gmm - Chumo.....	189
Tabla 76 Gravedad especifica teórica máxima Gmm - Chumo.....	189

Tabla 77 Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chumo	190
Tabla 78 Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chumo.....	191
Tabla 79 Pesos reales de la emulsión asfáltica, agua y agregado que conforma la mezcla – Chumo.....	192
Tabla 80 Determinación del factor de corrección por espesor muestra seca - Chumo.....	193
Tabla 81 Determinación del factor de corrección por espesor muestra húmeda - Chumo	194
Tabla 82 Estabilidad y flujo de las muestras secas - Chumo.....	195
Tabla 83 Estabilidad y flujo de las muestras sometidas a inmersión - Chumo.....	196
Tabla 84 Estabilidad seca corregida y flujo de cada espécimen puesto a ensayo - Chumo	196
Tabla 85 Estabilidad sometida a inmersión y flujo de cada espécimen puesto a ensayo	197
Tabla 86 Perdida de estabilidad	198
Tabla 87 Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chihuahua.....	199
Tabla 88 Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chihuahua	200
Tabla 89 Pesos reales de la emulsión asfáltica, agua y agregado que conforma la mezcla - Chihuahua	200
Tabla 90 Determinación del factor de corrección por espesor muestra seca - Chihuahua	202
Tabla 91 Determinación del factor de corrección por espesor muestra húmeda - Chihuahua	202
Tabla 92 Estabilidad y flujo de las muestras secas - Chihuahua	203
Tabla 93 Estabilidad y flujo de las muestras sometidas a inmersión - Chihuahua	204
Tabla 94 Estabilidad seca corregida y flujo de cada espécimen puesto a ensayo - Chihuahua	205
Tabla 95 Estabilidad sometida a inmersión y flujo de cada espécimen puesto a ensayo	206
Tabla 96 Perdida de estabilidad	207
Tabla 97 Gravedad específica bulk de las muestras secas - Chumo.....	208
Tabla 98 Gravedad específica bulk de las muestras sometidas a inmersión - Chumo	209
Tabla 99 Gravedad específica bulk de las muestras secas - Chihuahua	210
Tabla 100 Gravedad específica bulk de las muestras sometidas a inmersión – Chihuahua	211
Tabla 101 Porcentaje de volumen de vacíos con aire VTM - Chumo	212
Tabla 102 Porcentaje de volumen de vacíos con aire VTM - Chihuahua	213
Tabla 103 Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa – Chumo	213
Tabla 104 Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa – Chihuahua.....	214
Tabla 105 Requerimientos Granulométricos para Sub base Granular.....	217
Tabla 106 Contenidos de Humedad Óptima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chumo	227
Tabla 107 Contenidos de Humedad Óptima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chihuahua.....	228
Tabla 108 Contenidos de Humedad Óptima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chumo	231
Tabla 109 Contenidos de Humedad Óptima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chihuahua.....	234
Tabla 110 Requerimiento para la estabilización con emulsión asfáltica	241

Tabla 111 Especificaciones Marshall de Diseño	242
Tabla 112 Resultados del Porcentaje de Volumen de vacíos para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo	243
Tabla 113 Resultados del Porcentaje de Volumen de vacíos para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua.....	245
Tabla 114 Resultados de la estabilidad seca y húmeda para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo	246
Tabla 115 Resultados de la estabilidad seca y húmeda para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua.....	248
Tabla 116 Resultados de pérdida de estabilidad para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo.....	250
Tabla 117 Resultados de pérdida de estabilidad para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua	252
Tabla 118 Resultados de flujo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo.....	254
Tabla 119 Resultados de flujo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua	255
Tabla 120 Resultados de la gravedad máxima bulk para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo.....	257
Tabla 121 Resultados de la gravedad máxima bulk para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua	259
Tabla 122 Resultados de VFA para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo	260
Tabla 123 Resultados de VFA para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua.....	262
Tabla 124 Resultados de ligante efectivo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo	264
Tabla 125 Resultados de ligante efectivo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuahua	266
Tabla 126 ANOVA de la resistencia medida con el cemento Cantera Chumo	267
Tabla 127 ANOVA de la resistencia medida con el cemento Cantera Chihuahua.....	268
Tabla 128 ANOVA de la estabilidad medida con la emulsión asfáltica – Cantera Chumo	268
Tabla 129 ANOVA de la estabilidad medida con la emulsión asfáltica – Cantera Chihuahua....	269
Tabla 130 Subconjuntos Homogéneos de Resistencia – Cantera Chumo	270
Tabla 131 Subconjuntos Homogéneos de Resistencia – Cantera Chihuahua.....	271
Tabla 132 Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Seca – Cantera Chihuahua.....	271
Tabla 133 Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Húmeda – Cantera Chihuahua.....	272
Tabla 134 Subconjuntos Homogéneos de la Flujo Seco – Cantera Chihuahua	272
Tabla 135 Subconjuntos Homogéneos de la Flujo Húmedo – Cantera Chihuahua	272
Tabla 136 Subconjuntos Homogéneos de la Pérdida de Estabilidad – Cantera Chihuahua	273
Tabla 137 Subconjuntos Homogéneos del Volumen de Vacíos– Cantera Chihuahua	273
Tabla 138 Subconjuntos Homogéneos de Vacíos Llenos de Asfalto– Cantera Chihuahua	274
Tabla 139 Diseño estadístico con emulsión asfáltica– Cantera Chihuahua.....	274
Tabla 140 Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Seca – Cantera Chumo	275

Tabla 141 Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Húmeda – Cantera Chumo	275
Tabla 142 Subconjuntos Homogéneos de Flujo Seco – Cantera Chumo	276
Tabla 143 Subconjuntos Homogéneos de Flujo Húmedo – Cantera Chumo	276
Tabla 144 Subconjuntos Homogéneos de la Perdida de Estabilidad – Cantera Chumo.....	277
Tabla 145 Subconjuntos Homogéneos del Volumen de Vacíos– Cantera Chumo.....	277
Tabla 146 Subconjuntos Homogéneos de los Vacíos Llenos de Asfalto– Cantera Chumo	277
Tabla 147 Diseño estadístico con emulsión asfáltica– Cantera Chumo	278

Índice de Figuras

Figura 1 Producción de emulsión asfáltica	50
Figura 2 Diagrama de una emulsión asfáltica.....	50
Figura 3 Nomenclatura de la emulsión asfáltica.....	51
Figura 4 Especificaciones para emulsiones catiónicas	52
Figura 5 Rotura de la Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo	55
Figura 6 Diagrama de flujo de la investigación, estabilización de suelo con adición de Cemento	65
Figura 7 Diagrama de flujo de la investigación, estabilización de suelo con adición de la Emulsión Asfáltica.....	66
Figura 8 Ubicación de la Cantera Chumo.....	67
Figura 9 Cantera Chumo, Canchis, Sicuani	68
Figura 10 Ubicación de la Cantera Chihuaco	69
Figura 11 Cantera Chihuaco, Canchis, Sicuani	69
Figura 12 Mapa Geológico de la Provincia de Canchis – Cusco.....	70
Figura 12 Cuarteo de Material	72
Figura 13 Lavado de material Malla # 200.....	73
Figura 14 Análisis Granulométrico de la Cantera Chumo.....	73
Figura 15 Análisis Granulométrico de la Cantera Chihuaco	74
Figura 16 Equipos y Materiales usados para el Ensayo de Limite Liquido.....	75
Figura 17 Procedimiento para la Obtención del Limite Liquido	76
Figura 18 Limite Plástico Cantera Chihuaco	78
Figura 19 Limite Plástico Cantera Chumo.....	78
Figura 20 Materiales para realizar el ensayo de Equivalente de Arena.....	80
Figura 21 Agitado de muestras para el ensayo de Equivalente de Arena.....	80
Figura 22 Sedimentado de muestras	81
Figura 23. Preparación para la medición de altura	81
Figura 24 Equipos usados para el ensayo de Proctor Modificado	83
Figura 25 Medicion de moldes Proctor modificado y compactación de muestras	83
Figura 26 Enrazado, pesaje de muestras con molde y encapsulado	84
Figura 27 Preparado y compactado de muestras CBR.....	85
Figura 28 Compactacion de muestras CBR con 12, 26 y 56 golpes en 5 capas	86
Figura 29 Muestras compactadas de CBR canteras de Chumo y Chihuaco.....	86
Figura 30 Humedecimiento de muestras CBR canteras Chumo y Chihuaco	87
Figura 31 Penetracion de muestras compactadas en el equipo CBR canteras Chumo y Chihuaco	87
Figura 32 Muestras ensayadas con el equipo CBR.....	88
Figura 33 Muestras ensayadas con el equipo CBR de la canteras Chumo y Chihuaco.....	88
Figura 34 Pesaje de muestra, puestas de esferas metalicas y puesta de material.....	90

Figura 35 Cerrado de equipo de los Angeles, revuelta del equipo y extraccion de la muestras luego de ser ensayada.....	90
Figura 36 Ensayo de Abrasión a los Angeles canteras Chumo Chihuaco	91
Figura 37 Separacion de muestra por la malla N° 12	91
Figura 38 Materiales de praparación de briquetas y pesaje de material para el ensayo	93
Figura 39 Preparacion de muestra para ensayo.....	94
Figura 40 Mezclado de muestra Suelo Cemento	95
Figura 41 Mezclado de muestra Suelo Cemento con la el porcentaje de Humedad Optimo.....	95
Figura 42 Puesta y compactación de muestra Suelo Cemento dentro del molde del Proctor Estandar.....	96
Figura 43 Escarificado de muestras para la compactación	96
Figura 44 Compactación y enrasado de muestra Suelo Cemento.....	97
Figura 45 Extraccion de muestra Suelo Cemento.....	97
Figura 46 Pesado y envultura de mezcla Suelo Cemento	98
Figura 47 Muestras envueltas de suelo Cemento.....	98
Figura 48 Muestras de briquetas Suelo Cemento y almacenaje de las mismas	99
Figura 49 Preparado de materiales para ensayo MTC E 1102.....	100
Figura 50 Pesaje de capsulas para el ensayo MTC E 1102.....	101
Figura 51 Compactado y encapsulado de muestra para el ensayo MTC E 1102.....	101
Figura 52 Prepación y nivelado de capping para ruta de briquetas Suelo Cemento a compresion simple.....	102
Figura 53 Briquetas de Suelo cemento con capping	103
Figura 54 Briquetas de Suelo Cemento con capping	103
Figura 55 Desembolsado de briquetas Suelo Cemento para humedecimiento previo a la Rotura a compresion Simple.....	104
Figura 56 Humedecimiento y Rotura a la Compresion simple de briquetas Suelo Cemento.....	104
Figura 57 Rotura y falla de briquetas de Suelo Cemento	105
Figura 58 Rotura a la compresion Simple en la Maquina Universal	105
Figura 59 Fallas de Rotura a Compresion simple de briquetas Suelo Cemento	106
Figura 60 Briquetas de Suelo Cemento ya ensayadas a compresión	106
Figura 61 Preparacion de muestras suelo Cemento al 5% para el ensayo de humedecimiento y secado.....	108
Figura 62 Humedecimiento de muestras de Suelo Cemento	108
Figura 63 Medicion de la muestra Humeda.....	109
Figura 64 Secado de la muetra Suelo Cemento	109
Figura 65 Pesado y meedición de muestra seca.....	110
Figura 66 Pesado y raspado de muestra Suelo Cemento	110
Figura 67 Ficha Técnica de la Emulsión Asfáltica	112
Figura 68 Contenido de Humedad de las Muestras	114
Figura 69 Granulometría para el ensayo Marshall Modificado	117

Figura 70 Preparación de las Muestras	117
Figura 71 Recubrimiento de la Emulsión Asfáltica Chumo	118
Figura 72. Recubrimiento de la Emulsión Asfáltica Chihuaco.....	119
Figura 73 Variación del recubrimiento de la emulsión asfáltica	119
Figura 74 Preparación de Especímenes de Muestra con Emulsión Asfáltica.....	122
Figura 75 Almacenamiento y curado de especímenes	122
Figura 76 Muestras saturadas Superficialmente Secas	123
Figura 77 Cálculo de la gravedad específica	123
Figura 78 Peso seco de los especímenes fabricados	124
Figura 79 Preparación de materiales para la elaboración del espécimen.....	126
Figura 80 Compactación de la muestra preparada de emulsión asfáltica, agregado y agua	126
Figura 81 Curado y extracción de las muestras	127
Figura 82 Se aprecia el curado de los especímenes puesto al horno	127
Figura 83 Extracción de aire de los especímenes preparados (Bomba de vacíos).....	129
Figura 84 Cálculo del peso después de la inmersión y vacío parcial.....	130
Figura 85 Cálculo de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla.....	130
Figura 86 Preparación del equipo Marshall para la rotura de especímenes.....	133
Figura 87 Medición de los especímenes elaborados.....	133
Figura 88 Ensayo Marshall luego de la inmersión y vacío parcial	134
Figura 89 Cálculo de la gravedad específica de los especímenes fallados	134

Índice de Graficas

Grafica 1 Curva Granulométrica cantera Chumo - 1	136
Grafica 2 Curva Granulométrica cantera Chumo - 2	138
Grafica 3 Curva Granulométrica cantera Chihuaco - 1	140
Grafica 4 Curva Granulométrica cantera Chihuaco - 2	142
Grafica 5 Limite Liquido Cantera Chumo	144
Grafica 6 Limite Liquido Cantera Chihuaco	145
Grafica 7 Limite Plástico Cantera Chumo	147
Grafica 8 Limite Plástico Cantera Chihuaco	148
Grafica 9 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método SUCS - Chumo	150
Grafica 10 Diagrama de gradación - Chumo	150
Grafica 11 Carta de plasticidad SUCS - Chumo.....	151
Grafica 12 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método AASHTO - Chumo	152
Grafica 13 Carta de plasticidad AASHTO - Chumo	153
Grafica 14 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método SUCS - Chihuaco.....	154
Grafica 15 Diagrama de gradación - Chihuaco.....	155
Grafica 16 Carta de plasticidad SUCS - Chihuaco	155
Grafica 17 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método AASHTO - Chihuaco.....	156
Grafica 18 Carta de plasticidad AASHTO - Chihuaco.....	157
Grafica 19 Contenido de Humedad vs Gravedad especifica Bulk - Chumo.....	181
Grafica 20 Contenido de Humedad vs Gravedad especifica Bulk - Chihuaco.....	184
Grafica 21 Curva granulométrica gradación A - Chumo.....	218
Grafica 22 Curva granulométrica gradación B - Chumo	218
Grafica 23 Curva granulométrica gradación C - Chumo.....	219
Grafica 24 Curva granulométrica gradación D - Chumo.....	219
Grafica 25 Curva granulométrica gradación A - Chihuaco	220
Grafica 26 Curva granulométrica gradación B - Chihuaco	221
Grafica 27 Curva granulométrica gradación C - Chihuaco	221
Grafica 28 Curva granulométrica gradación D - Chihuaco	222
Grafica 29 Equivalente de Arena cantera de Chumo.....	223
Grafica 30 Equivalente de Arena cantera de Chihuaco	223
Grafica 31 Abrasión de los Ángeles cantera de Chumo	225
Grafica 32 Equivalente de Arena cantera de Chihuaco	226
Grafica 33 Resultados del análisis de Humedad Optima y Máxima Densidad seca de la cantera de Chumo	227
Grafica 34 Resultados del análisis de Humedad Optima y Máxima Densidad seca de la cantera de Chihuaco	229
Grafica 35 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 01 – Cantera de Chumo.....	230
Grafica 36 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 02 – Cantera de Chumo.....	230

Grafica 37 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 03 – Cantera de Chumo	231
Grafica 38 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 01 – Cantera de Chihuaco	232
Grafica 39 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 02 – Cantera de Chihuaco	233
Grafica 40 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 03 – Cantera de Chihuaco	233
Grafica 41 Resultados de compresión simple cantera de Chumo, en comparación con lo exigido por la norma CE 020.	235
Grafica 42 Resultados de compresión simple cantera de Chihuaco, en comparación con lo exigido por la norma CE 020.	236
Grafica 43 Variación de volumen en el ensayo de humedecimiento y secado cantera Chumo..	237
Grafica 44 Pérdida suelo cemento cantera Chumo	238
Grafica 45 Variación de volumen en el ensayo de humedecimiento y secado cantera Chihuaco	239
Grafica 46 Pérdida suelo cemento cantera Chihuaco	240
Grafica 47 Asfalto residual vs Volumen de vacíos - Chumo.....	244
Grafica 48 Asfalto residual vs Volumen de vacíos - Chihuaco	245
Grafica 49 Asfalto residual vs Estabilidad - Chumo	247
Grafica 50 Asfalto residual vs Estabilidad - Chihuaco	249
Grafica 51 Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad - Chumo	251
Grafica 52 Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad - Chihuaco.....	252
Grafica 53 Asfalto residual vs Flujo seco y húmedo - Chumo	254
Grafica 54 Asfalto residual vs Flujo seco y húmedo - Chihuaco	256
Grafica 55 Asfalto residual vs Gravedad máxima bulk - Chumo.....	258
Grafica 56 Asfalto residual vs Gravedad máxima bulk - Chihuaco	259
Grafica 57 Asfalto residual vs Vacíos llenos de asfalto VFA - Chumo	261
Grafica 58 Asfalto residual vs Vacíos llenos de asfalto VFA - Chihuaco.....	263
Grafica 59 Asfalto residual vs Ligante efectivo - Chumo	265
Grafica 60 Asfalto residual vs Ligante efectivo - Chihuaco.....	266

Índice de Anexos

Anexo A Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chumo 1	285
Anexo B Análisis granulométrico por tamizado gradación B y C – Cantera Chumo 1	286
Anexo C Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chumo 1	287
Anexo D Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chumo 2	288
Anexo E Análisis granulométrico por tamizado gradación B y C – Cantera Chumo 2	289
Anexo F Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chumo 2	290
Anexo G Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chihuahua 1	291
Anexo H Análisis granulométrico por tamizado gradación C y D – Cantera Chihuahua 1	292
Anexo I Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chihuahua 1	293
Anexo J Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chihuahua 2	294
Anexo K Análisis granulométrico por tamizado gradación C y D – Cantera Chihuahua 2	295
Anexo L Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chihuahua 2	296
Anexo M Limite líquido, limite plástico e Índice de plasticidad – Cantera Chumo	297
Anexo N Limite líquido, limite plástico e Índice de plasticidad – Cantera Chihuahua	298
Anexo O Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) - Chumo	299
Anexo P Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) - Chihuahua	299
Anexo Q Sistema de clasificación de suelos AASHTO - Chumo	300
Anexo R Sistema de clasificación de suelos AASHTO - Chihuahua	300
Anexo S MTC E 114 Equivalente de Arena cantera Chumo	301
Anexo T MTC E 114 Equivalente de Arena cantera Chihuahua	301
Anexo U MTC E 115 Proctor Modificado suelo natural cantera Chumo	302
Anexo V MTC E 115 Proctor Modificado suelo natural cantera Chihuahua	303
Anexo W MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 01 parte 01	304
Anexo X MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 01 parte 02	305
Anexo Y MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 02 parte 01	306
Anexo Z MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 02 parte 02	307
Anexo AA MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 03 parte 01	308
Anexo BB MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 03 parte 02	309
Anexo CC MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 01 parte 01	310
Anexo DD MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 01 parte 02	311
Anexo EE MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 02 parte 01	312
Anexo FF MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 02 parte 02	313
Anexo GG MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 03 parte 01	314
Anexo HH MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahua 03 parte 02	315

Anexo II MTC E 207 Ensayo de Abrasión Chumo	316
Anexo JJ MTC E 207 Ensayo de Abrasión Chihuahua	317
Anexo KK MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 1% Cantera Chumo	318
Anexo LL MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 3% Cantera Chumo	319
Anexo MM MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 5% Cantera Chumo	320
Anexo NN MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 7% Cantera Chumo	321
Anexo OO MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 1% Cantera Chihuahua	322
Anexo PP MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 3% Cantera Chihuahua	323
Anexo QQ MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 5% Cantera Chihuahua	324
Anexo RR MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 7% Cantera Chihuahua	325
Anexo SS MTC E 1103 Resistencia a la Compresión de Probetas de Suelo-Cemento.....	326
Anexo TT MTC E 1104 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas al 5% Cantera de Chumo	327
Anexo UU MTC E 1104 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas al 5% Cantera de Chihuahua.....	328
Anexo VV Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 1.....	329
Anexo WW Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 2.....	330
Anexo XX Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 3.....	331
Anexo YY Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 4.....	332
Anexo ZZ Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 5.....	333
Anexo AAA Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 6.....	334
Anexo BBB Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 7.....	335
Anexo CCC Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 8.....	336

Anexo DDD Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 9.....	337
Anexo EEE Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 1	338
Anexo FFF Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 2.....	339
Anexo GGG Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 3	340
Anexo HHH Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 4	341
Anexo III Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 5.....	342
Anexo JJJ Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 6.....	343
Anexo KKK Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 7	344
Anexo LLL Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 8	345
Anexo MMM Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 9	346
Anexo NNN Comparaciones múltiples de resistencia – Cantera Chumo.....	347
Anexo OOO Comparaciones múltiples de resistencia – Cantera Chihuaco	348
Anexo PPP Comparaciones múltiples propiedades con emulsión asfáltica– Cantera Chumo ...	349
Anexo QQQ Comparaciones múltiples propiedades con emulsión asfáltica– Cantera Chihuaco	363

Introducción

El mayor porcentaje de la inversión pública se encuentra en el sector transportes y comunicaciones, siendo las carreteras y mantenimientos algunos proyectos que ejecuta cada Municipalidad con la finalidad de crecer económica y socialmente. En la actualidad, las canteras de la provincia de Canchis, no tienen materiales granulares que cumplan las características mínimas exigidas por norma, los cuales no garantizan la estabilidad y durabilidad de la carpeta de rodadura; de ahí nace la necesidad de poder estabilizar estos materiales con la finalidad de mejorar sus propiedades aplicando estabilizadores como la emulsión asfáltica y el cemento portland. Para esto se ha seleccionado las canteras de Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, con la intención de que sirva como aporte para futuros proyectos de pavimentaciones en la zona.

La presente investigación busca una alternativa más óptima en las pavimentaciones de la provincia de Canchis, tomando en consideración el comportamiento de la emulsión asfáltica a una altitud superior a los 3000 msnm, considerando la gradiente térmica e impacto ambiental que esta genera. Estos estabilizadores serán aplicados al material granular de las canteras de Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, utilizados para la formación de la base o sub base en pavimentaciones, analizando sus propiedades.

Asimismo, desde el punto de vista social, el estudio contribuirá como posibles soluciones a futuras pavimentaciones en la provincia de Canchis, mejorando el material granular extraído de sus canteras a través de la estabilización con cemento portland tipo IP y emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta para climas fríos (CSS-1).

Para el desarrollo de la investigación se organizó en seis capítulos.

CAPITULO I: Se detalla el planteamiento del problema, la situación problemática, formulación del problema, problemas de la investigación, objetivos de la investigación y justificación de investigación.

CAPÍTULO II: Se desarrolla los antecedentes de la investigación, bases teóricas y marco conceptual.

CAPÍTULO III: Se desarrolla la metodología de la investigación desde la formulación de hipótesis, alcance, diseño y enfoque de la investigación, así como la identificación de variables e indicadores, población de estudio, técnicas e instrumentos para la recolección de datos y procesamiento de estas.

CAPÍTULO IV: Se desarrolla los resultados de la investigación, encontrados para cada una de las canteras estudiadas y sus respectivas mejoras con los agentes estabilizadores planteados.

CAPÍTULO V: Se realiza el análisis e interpretación de los resultados de los ensayos realizados.

CAPÍTULO VI: Está conformado por las conclusiones y recomendaciones de la investigación que se explican en base a los capítulos anteriores.

Capítulo I

Planteamiento Del Problema

Situación Problemática

A Nivel Internacional

Burbano y Zuluaga (2011) mencionan que los pueblos están fuertemente ligados al buen estado de sus vías, debido a la necesidad de realizar intercambios comerciales, algunas comunidades ni siquiera cuentan con una vía de acceso, esto es debido al alto costo que tiene realizar un proyecto vial, por lo mismo al no contar con un número de población que sustente la inversión prevista muchos de estos proyectos resultan en inviables o de nulo interés.

Dellarosa (2013) menciona que el diseño de un pavimento asfáltico con material existente de la zona, no son adecuadas para la construcción de vías de tránsito, generando mayores costos la obtención de un agregado de buena calidad.

Zambrano, Tejeda y Alonso (2020) indican que gran número de intercambios comerciales a nivel nacional e internacional se dan por las vías de acceso que presentan los diferentes países, construidos en su mayoría con pavimentos flexibles, las cuales están formadas por asfalto, capas de base y sub base de materiales granulares. Para la construcción de estas carreteras la disponibilidad de materiales pétreos de buena calidad es poca, implicando costos sumamente excesivos debido al traslado de materiales granulares de buena calidad a la construcción de vías.

Arias y Idrogo (2022) los suelos inestables se encuentran presentes en casi todas las vías no pavimentadas en el mundo. Es por ello que muchas investigaciones llevadas a cabo buscan corregir estos problemas, para los cual se usan diversos métodos y técnicas cuya única finalidad

es mitigar esta deficiencia, aumentando la capacidad de soporte de los suelos y por ende mejorar el comportamiento frente a las cargas de los vehículos.

A Nivel Nacional

Carranza y Fernandez (2018) indican que las vías de comunicación son fundamentales para el desarrollo económico y social de un país. Los materiales de base y sub base que conforman la estructura de un pavimento deberá tener buenas propiedades físicas y mecánicas donde se pueda sostener la estructura del pavimento. Asimismo, la subrasante en su mayoría de veces presenta una calidad baja (suelos limo – arcillosos) las cuales terminan siendo remplazadas por materiales de préstamo resultando costos más altos.

Lomparte y Sánchez (2019) indican que uno de los principales problemas con las carreteras es la inestabilidad que presentan los suelos. Por tal motivo la estabilización a base de aditivos químicos se ha realizado más en los últimos años para la mejora de las propiedades del suelo.

Castañon y Vera (2022) indican que los profesionales que se encargan de la construcción de los proyectos viales encuentran una diversidad de suelos típicos en el Perú. Encontrando problemas en los suelos con las características diferentes en la zona, planteando soluciones como la estabilización que cumplan con las propiedades como capacidad portante o resistencia que establece las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013)

De lo señalado anteriormente, a raíz de la existencia de un gran número de estabilizadores de suelos. La presente investigación se enfoca básicamente en estudiar el mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares utilizados para la formación de la base o sub base del pavimento, estudiando las canteras de la ciudad de Sicuani incorporando emulsión asfáltica y

cemento. Estos productos ayudan a mejorar el material granular tratando de aumentar su resistencia y estabilidad.

A Nivel Local

Geolaf (2023) indica en su estudio de canteras para el proyecto “Mejoramiento del servicio de transitabilidad vehicular y peatonal en la asociación santa rosa, apv. Edgar Gonzales Medina, Asociacion de vivienda Pachacutec, APV. Andres Belaunde y Pasaje Fernandez, San Isidro y Leon” que el material para base no cumple con lo exigido por la norma EG-2013, detallado en los siguientes cuadros:

Tabla 1 Cuadro comparativo del material de cantera utilizado para sub base

Ensayo	Requerimiento > 3000 msnm	CANTERA CHUMO		CHIHUACO
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1
Abrasión a los ángeles	50% max	36%	35.6 %	35.2 %
CBR	40 % min	33%	35%	43.5 %
LL	25% max	26%	20.57%	24.60 %
IP	4 % max	4.71 %	3.94 %	4.13 %
Equivalente de Arena	35% min	43.9%	54.4 %	56.60 %
Partículas chatas y alargadas	20% max	10.3%	6.6 %	8.4 %

Nota. Fuente Geolaf

Tabla 2 Cuadro comparativo del material de cantera utilizado para base

Ensayo	Requerimiento > 3000 msnm	CANTERA CHUMO		CHIHUACO
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1
Abrasión a los ángeles	40% max	36%	35.6 %	35.2 %
CBR	80 % min	33%	35%	43.5 %
IP	2 % min	4.71 %	3.94 %	4.13 %
Equivalente de Arena	45% min	43.9%	54.4 %	56.60 %

Partículas chatas y alargadas	15% max	10.3%	6.6 %	8.4 %
-------------------------------	---------	-------	-------	-------

Nota. Fuente Geolaf

Estas no cumplen las características mínimas requeridas por norma EG-2013, resaltar que, al no cumplir con dichas características, estas indican a fallas en la carpeta de rodadura.

Formulación del problema

Actualmente, las carreteras tienen mayor importancia para el desarrollo y crecimiento social aportando conectividad entre las zonas más remotas del país, facilitando el transporte de bienes y servicios contribuyendo al desarrollo económico. La estructura del pavimento está conformada por la carpeta de rodadura, base y sub base; estas se encargan de distribuir las cargas a la sub rasante. Muchas de las fallas se dan por el uso de material inadecuado que no cumple con las especificaciones mínimas establecidas en la normativa EG-2013, para la conformación de la base y sub base granular. En el Perú se estabilizan suelos con la finalidad de obtener mayor resistencia y estabilidad en los pavimentos, cumpliendo lo exigido en los manuales del MTC.

Según MTC (2014) las bases y sub bases granulares estabilizadas presentan incorporaciones de asfalto y cemento independientemente, las cuales buscan mejorar la resistencia mecánica. Asimismo, indica que los suelos granulares más adecuados para la estabilización con un producto asfáltico son aquellas que presentan pocos finos y plasticidad reducida. Siendo los tipos de suelos granulares adecuados para este tipo de mejoramiento los A-1, A-2 y A-3 según clasificación AASHTO.

Con lo mencionado en los párrafos anteriores, el uso de los estabilizadores como la emulsión asfáltica y cemento son adecuados para mejorar las propiedades de los suelos granulares

de la Provincia de Canchis, debido a que sus canteras no cuentan con materiales granulares adecuados para base o subbase, pues estos no cumplen con las características mínimas exigidas según la norma EG-2013. Por lo que se ve la factibilidad de utilizar cemento portland y emulsión asfáltica indistintamente como agentes estabilizadores buscando así poder determinar mejoras en sus propiedades del material granular de la zona.

Problemas de la Investigación

Problema General

PG: ¿Qué porcentaje, en forma independiente, de emulsión asfáltica y cemento portland tipo IP es la óptima para mejorar las propiedades del material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis?

Problemas Específicos

PE1: ¿Qué porcentaje de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 mejora la propiedad de estabilidad del material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis?

PE2: ¿Qué porcentaje de cemento portland tipo IP mejora la propiedad de resistencia del material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis?

PE3: ¿Qué estabilizador (emulsión asfáltica CSS-1 o cemento portland IP) genera de forma independiente mayor influencia en las propiedades medidas de estabilidad y resistencia respectivamente?

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

OG: Determinar, en forma independiente, el óptimo porcentaje de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 y cemento portland IP con la cual mejoren las propiedades de material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis.

Objetivos Específicos

OE1: Determinar el porcentaje de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 que mejora la propiedad de estabilidad en el material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis.

OE2: Determinar el porcentaje de cemento portland IP que mejora la propiedad de resistencia en el material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis.

OE3: Determinar el agente estabilizador (emulsión asfáltica CSS-1 o cemento portland IP) que genere de forma independiente mayor influencia en las propiedades medidas de estabilidad y resistencia respectivamente

Justificación de la Investigación

La presente investigación se realiza con la finalidad de determinar una propuesta que mejore las propiedades del material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, pues muchas de las fallas que se da en las vías pavimentadas, generan malestar al libre tránsito vehicular, asimismo los materiales utilizados no cumplen con las

características mínimas requeridas por las especificaciones técnicas generales para la construcción (EG-2013).

Al establecer esta investigación nos permite tener una alternativa de calidad para el material de base o sub base granular de la provincia de Canchis, además se verifica el tipo de comportamiento que tienen los materiales granulares para base o sub base frente al uso de cemento portland IP y emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta (CSS-1) para climas fríos. Contribuyendo a posibles soluciones económicas y amigables con el medio ambiente minimizando la huella de carbono. Asimismo, mejorar las vías de comunicación para promover el desarrollo social la cual resulta importante para el crecimiento de la ciudad.

Esta investigación servirá como aporte a futuras indagaciones que pretendan mejorar las propiedades del material granular de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, adicionando emulsión asfáltica y cemento portland tipo IP.

La metodología utilizada para esta investigación es de tipo experimental, cuyo objetivo es determinar de manera independiente el óptimo porcentaje de emulsión asfáltica CSS-1 y cemento portland IP que influya en las propiedades de estabilidad y resistencia respectivamente, haciendo uso de los equipos de laboratorio y los procedimientos indicados en el MTC.

Capítulo II

Marco Teórico Conceptual

Antecedentes de la Investigación

A Nivel Internacional

Quiroz (2017) en su trabajo de investigación calcula que la estabilización del suelo con emulsión asfáltica se da una densidad de 2484 gr/cm³ obteniendo 60 de CBR con una estabilización de suelo al 9% y 50 de CBR con una proporción del 3%. Asimismo, luego de su análisis la estabilización con emulsión asfáltica optimiza costos resultando más apropiada la estabilización con este material.

Rosero (2013) en su trabajo de investigación plantea optimizar las propiedades mecánicas de los materiales granulares de baja calidad, provenientes de las canteras de la zona de estudio, las cuales son estabilizadas con emulsión asfáltica y destinadas para su aplicación en las bases de los pavimentos, concluyendo que al utilizar la emulsión asfáltica CSS-1H se obtiene que el porcentaje mínimo de emulsión es de 6.2% y agua 7.8% para la cantera Mina Corazón y 5.3% de emulsión con 6.5% de agua para la cantera Mina Rosita. Asimismo, en comparación con otras opciones de estabilizadores este tipo de estabilización con emulsión asfáltica aminora los costos, es de aplicación en tiempo corto, disminuye los efectos negativos al medioambiente y no genera muchos inconvenientes para la rehabilitación del tránsito vehicular.

Zambrano y Tejada (2019) en su publicación indican las características de los materiales granulares y el comportamiento de las emulsiones asfálticas utilizados en la construcción de pavimentos flexibles, añadiendo porcentajes de emulsión asfáltica de 5, 7 y 9 % respecto al peso de los áridos concluyendo que en condiciones inmediatas (en seco) los valores de CBR se

incrementan por encima del 100% y la resistencia tras la inmersión es superior al 50% obteniendo que el porcentaje óptimo de emulsión que garantiza un 66.7% de resistencia tras la inmersión es del 5% de emulsión asfáltica.

Divas (2018) en su trabajo de investigación evalúa las propiedades mecánicas de los suelos y descubrió que estas propiedades aumentaron al disminuir su plasticidad y proporcionar un porcentaje óptimo de emulsión asfáltica. Calcula porcentajes de emulsión asfáltica utilizando el método de Duriez para estabilizar los suelos de plasticidad baja encontrando valores de 7.8, 6.7 y 8.40 % de emulsión asfáltica respecto al peso del agregado con la cual concluye que el CBR no incrementa significativamente debido a la insuficiente fricción entre sus partículas.

A Nivel Nacional

De la Torre (2018) en su trabajo de investigación indica que el diseño que incluye un suelo estabilizado con emulsión asfáltica es el más viable mejorando las propiedades del suelo tratado. Asimismo, el espesor del suelo estabilizado con cemento Portland se redujo en un 21.12% y con la incorporación de la emulsión asfáltica se redujo en un 46.12% comparados con los espesores inicialmente calculados. Las propiedades mecánicas y físicas del suelo no se ven afectadas por la aplicación de cemento portland o emulsión asfáltica en dosificaciones menores al 1%.

Ayala y Gallardo (2015) en su trabajo de investigación determinan que con la adición de 2 a 8 % de cemento portland tipo I y utilizando los agregados provenientes de las canteras El Gavilán, don Lucho y el río Chonta la capacidad de soporte de la base del pavimento se incrementa entre 7 a 167 % (combinación de canteras Gavilan 27% y Chonta 73%). Asimismo, con el mismo porcentaje de cemento portland tipo I el soporte de la base del pavimento se incrementa desde un 5 a 154 % (combinación de canteras Lucho 24% y Chonta 76%).

Salas (2017) en su trabajo de investigación determina que con la adición de 4% de cemento portland aumenta las propiedades mecánicas, dando como resultados una disminución de su índice de plasticidad, inicialmente mostraba valores promedio de 10.26%, esta se redujo a un 6.19 %, aumento de la densidad seca que se mostraba valores promedio de 1.65 gr/cm³, esta se incrementó a 1.99 gr/cm³. Por ende, concluye que si es posible estabilizar suelos con adición de cemento alcanzando mejoras como lo sugiere el MTC.

Vera (2015) en su trabajo de investigación indica que el porcentaje tentativo de emulsión en base a la granulometría del material granular es la siguiente: 6.16 % de la cantera El Cinco, 6.44 % de la cantera Tres Tomas y 5.92 % de la cantera San Luis tomando en cuenta la cantidad de agua que posee la emulsión y el porcentaje de humedad obtenida en el ensayo Proctor Modificado. Donde estos materiales estabilizados superaron los valores mínimos de diseño de 1800 libras.min.

Caparó y Escalante (2015) en su trabajo de investigación indican que, según ensayos, la base granular existente presenta valores de CBR de 94%, 88.5% y 87%, siendo requisito para el tipo de tráfico un CBR igual al 100%, utilizando la emulsión asfáltica CSS-1H de rotura lenta como estabilizador los valores de CBR son de 106%, 105% y 101% respectivamente.

Bases Teóricas

Estructura del Pavimento

Sub Base. Es la capa de la estructura del pavimento que cumple con las funciones de soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas desde la superficie de rodadura del pavimento a la subrasante o suelo de soporte. La sub base soporta la acción de las cargas y las variaciones que pueden afectar al suelo. A su vez esta capa que tiene la función de

capa drenante y controla la ascensión capilar del agua o la humedad que pueda existir en la sub rasante o suelo por lo que ordinariamente es de material granular. (Aguila y Marquez, 2021)

Base. Al igual que la sub base está conformada la estructura del pavimento ubicada entre la Subbase y la carpeta de rodadura que tiene como funciones principales también la distribución y la transmisión de las cargas generadas por el tránsito, a capas inferiores del pavimento. Es decir, esta transfiere la carga a la sub base la misma que la transmite al suelo. Como tal es la capa más resistente después de la superficie de rodadura, la cual le sirve de soporte a la antes mencionada. Estas bases se pueden también clasificar en base estabilizada y base granular. (Asencio y Izarra, 2021)

Base Granular. Según Asencio y Izarra (2021) es la capa que forma parte de la estructura del pavimento, situada entre la subbase y la capa de rodadura. Está compuesta por piedra triturada de buena calidad, grava y una mezcla de material de relleno, además de arena y material fino. Estos deben de cumplir características mínimas para poder satisfacer la calidad mínima requerida. Su estabilidad dependerá de la gradación de las partículas utilizadas en el diseño, así como de su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, todas estas propiedades están influenciadas por la relación entre la cantidad de finos y el agregado grueso.

Base Estabilizada. Según Asencio y Izarra (2021) esta capa se compone de piedra triturada de buena calidad, suelo gravoso y material de relleno, que se combinan con agentes estabilizadores, los cuales pueden ser el cemento, asfalto, emulsión asfáltica entre otros. Estos materiales se preparan y utilizando técnicas de estabilización para mejorar las propiedades mecánicas de resistencia y estabilidad, creando así una base diseñada específicamente para soportar y transmitir las cargas generadas por el tránsito.

Carpeta De Rodadura. Según Aguila y Marquez (2021) es la carpeta superior que conforma la estructura del pavimento que se coloca sobre la base. Es la capa que directamente absorbe las cargas. La función principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, evitando el ingreso del agua por filtración que puede saturar las capas inferiores evitando así su deterioro.

Características Mínimas del Material Granular según el EG - 2013

Se suele utilizar material granular, este en general es de canteras específicas para la construcción de las capas de la estructura del pavimento, este debe cumplir con características mínimas o con las especificaciones del diseño. Cada una de estas establecida por el MTC según el DG-2013.

Tabla 3 *Ensayos y especificaciones mínimas según EG-2013 para sub base granular*

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento	
		< 3000 msnm	3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	50 % máx.	50 % máx.
CBR	MTC E 132	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	25% mín.	35% mín.
Sales Solubles	MTC E 219	1% máx.	1% máx.

Nota. Recuperado de “Manual de carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Contrucción” de MTC (2013)

Como se visualiza tiene diferentes exigencias en dependiendo de la altura, en el caso de bases granulares tiene un petición bastante diferente en lo que conlleva con el CBR exigiendo un

minimo de 80% para un trafico de ejes equivalentes menor a 1 000 000, y un 100% para un trafico que supere el 1 000 000 de ejes equivalentes.

Estabilización de suelos

Se define como un conjunto de técnicas o métodos utilizados para mejorar las propiedades de los suelos, en su mayoría se utiliza principalmente en las diferentes obras de ingeniería para mejorar las plataformas de cimentaciones, subbases, subrasantes, bases, terrenos naturales y pavimentos (De la Cruz Gutierrez & Salcedo Rojas, 2016).

El proceso mencionado busca mejorar las propiedades del suelo mediante la adición de productos químicos y procedimientos mecánicos. Normalmente se realiza cuando los suelos que forman parte del proyecto como material propio o material de cantera cercana a la zona no se encuentren óptimas para su uso, como por ejemplo una subrasante, base o sub base inadecuada. Se hará uso de diferentes tipos de estabilizadores como cementos, asfalto, cal u otros (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013). El MTC presenta guías referenciales que nos sirven de base para utilizar la clase de estabilizador de acuerdo al tipo de suelo, estos criterios se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4 Guía referencial para tipo de estabilizador

Área	Clase del Suelo	Tipo de Estabilizador Recomendado	Restricción en LL y IP del Suelo	Restricción en el Porcentaje que pasa la Malla 200	Observaciones
2A	GW o GP	1. Asfalto 2. Cemento Portland 3. Cal - Cemento - Cenizas Volantes	IP no excede 25		Solo material bien graduado. El material deberá contener al menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.

2B	GW - GM GP - GM GW - GC GP - GC	1. Asfalto 2. Cemento Portland (IP no excede 30) 3. Cal (IP no excede 12) 4. Cal - Cemento - Cenizas Volantes (IP no excede 25)	IP no excede 10		Solo material bien graduado. El material deberá contener al menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
2C	GM GV GM - GC	1. Asfalto (IP no excede 10) 2. Cemento Portland 3. Cal (IP no excede 12) 4. Cal - Cemento - Cenizas Volantes (IP no excede 25)	IP no excede 10	No debe exceder el 30% en peso	Solo material bien graduado. El material deberá contener al menos 45% en peso de material que pasa la malla N°4.
3	CH CL MH ML o MH OL CL ML - CL	1. Cemento Portland (LL no menor de 40, IP no excede 10) 2. Cal (LL no menor de 12)	LL no menor de 40, IP no excede 10		

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Estabilización mecánica. Mejora los suelos produciendo alteraciones físicas en su composición, el método común utilizado es la mezcla de suelos. Las arenas y gravas que contiene el suelo presentan una alta fricción interna, por ende, soportan grandes esfuerzos de compresión, esta característica no la estabiliza por no poseer un grado de cohesión el cual impide su uso en carreteras. De igual manera para el caso de las arcillas, las cuales contienen una alta cohesión, pero su fricción y la presencia de humedad disminuye su estabilidad. Una buena combinación entre ambas que combine su cohesión y fricción de distintos tipos de suelos lograra una estabilidad buena para el uso en proyectos viales. **(De la Cruz Gutierrez & Salcedo Rojas, 2016)**

Estabilización por combinación de suelos. Esta estabilización se realiza combinando el suelo existente con materiales de préstamo para mejorar sus propiedades, se procede escarificando

15 cm del suelo y se coloca el nuevo material, se humedece hasta alcanzar su humedad óptima y se procederá con la compactación hasta cumplir con las especificaciones técnicas según el proyecto (Carranza Ortiz & Fernandez Lojas, 2019).

Estabilización química. Este método utiliza la presencia de aditivos químicos como cemento, cal, asfalto, cloruro de calcio, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, emulsión asfáltica, encimas y aceites sulfonados, que tiene como principal objetivo impermeabilizar el suelo, mejorar su resistencia, reducir su plasticidad y mejorar su durabilidad.

- ***Estabilización con cal:*** Densifica los suelos que contienen una elevada humedad natural, utilizada en suelos que contienen granulometría fina y de cierta plasticidad
- ***Estabilización con cemento:*** Aumento de la resistencia del suelo como principal característica de este tipo de estabilización
- ***Estabilización con cloruro de sodio:*** Destinado principalmente al control de polvo, utilizado en áreas secas para una evaporación rápida durante la compactación
- ***Estabilización con cloruro de calcio:*** Aumento de la calidad del suelo, evitando que se desmorone superficialmente y contribuye en la reducción del polvo
- ***Estabilización con cloruro de magnesio:*** Proporciona una tensión a la superficie mejorando su compactación y control del polvo, mayormente utilizado en suelos arenosos y granulares
- ***Estabilización con productos asfálticos:*** Aumenta sus propiedades aglutinantes logrando la impermeabilización del suelo permitiendo que su estabilidad mejore y sea óptimo en diferentes climas

Tabla 5 Guía complementaria referencial para establecer el tipo de estabilizador

Est. Recomendado	Normas Técnicas	Suelo	Dosificación	Curado (Apertura Al Tránsito)	Obs.
Cemento	EG-CBT-2008 Sección 3068 ASTM C150 AASHTO M85	A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7 LL<40% IP<18% Sulfatos< 20% Abrasión<50%	2 - 12%	7 días	Diseño de mezcla de acuerdo a recomendaciones de la PCA (Portland Cement Association)
Emulsión	ASTM D2397 AASHTO M208	A-1 a A-3, Malla 200< 10% IP<9%	4 - 8%	Mínimo 24 horas	Cantidad de aplicación a ser definida de acuerdo a resultados del ensayo Marshall modificado a Illinois
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10%<IP <50% Sulfatos<0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 30%, se puede aplicar en dos etapas. Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276
Cloruro de Calcio	ASTM D98 ASTM D345 ASTM E449 MTC E1109	A-1, A-2, A-3 Sulfatos<0.2% Abrasión < 50%	1 a 3% en peso del suelo seco	24 horas	
Cloruro de Sodio	EG-CBT-2008 Sección 309B ASTM E534 MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 8%<IP<15% Abrasión: <50%	50-80 kg/m ³	07 días	La cantidad de sal depende de los resultados (dosificación) y tramo de prueba.
Cloruro de Magnesio	MTC E1109	A-1, A-2 y A-3 Abrasión: <50%	50-80 kg/m ³	48 horas	La cantidad de sal depende de los resultados de laboratorio (dosificación) y tramo de prueba.
Enzimas	EG-CBT-2008 Sección 308B MTC E1109	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7 Abrasión: <50% 6%<IP<15%	1L/30-33 m ³	De acuerdo a Especificación del fabricante	

Aceites sulfonados	Aplicable a suelos con partículas finas	De acuerdo a Especificación del fabricante
--------------------	---	--

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Criterios de Aplicación

La aplicación del tipo de estabilizador dependerá principalmente de las características del suelo y que estas deben estar de acuerdo al proyecto. No existe una solución general, se debe elegir una alternativa de solución de acuerdo al proyecto y condición climática en función de su ubicación. Por ejemplo, un tipo de estabilizador que funciona bien en la costa no necesariamente funcionará y se obtendrá los mismos resultados en la sierra o selva (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2015).

Normalmente en vías de bajo volumen de tránsito a nivel de mejoramiento, reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento las soluciones más comunes consisten en la estabilización de suelos, sin embargo, cuando hay presencia de tráfico pesado se evalúa la adición de revestimiento bituminoso, en la siguiente tabla se muestra los valores máximos y mínimos para los suelos estabilizados con diferentes agentes estabilizadores.

Tabla 6 *Especificaciones Técnicas tipos de estabilizadores y parámetros*

Estabilizador usado	Parámetros
Cemento	1. Resistencia a compresión simple = 1.8 Mpa mínimo (MTC E 1103) 2. Humedecimiento-secado (MTC E 1104) - Para suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3 = 14% De Pérdida Máxima - Para suelos A-2-6; A-2-7; A-4; A-5 = 10% De Pérdida Máxima - Para suelos A-6; A-7 = 7% De Pérdida Máxima
Emulsión Asfáltica	1. Estabilidad Marshall = 230 Kg mínimo (MTC E 504) 2. Pérdida de estabilidad después de saturado = 50% máximo 3. Porcentaje de recubrimiento y trabajabilidad de la mezcla debe estar entre 50 y 100%

Cal	1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión ≤ 0.5%
Sales	1. CBR* = 100% mínimo, CBR no saturado (MTC E 115, MTC E 132)
Productos químicos	1. CBR* = 100% mínimo (MTC E 115, MTC E 132) 2. Expansión ≤ 0.5%

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015)

Asimismo, respecto a la ubicación del proyecto el MTC propone un tipo de estabilizador que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 7 Tipo de estabilizadores según la ubicación del proyecto

Zona	Suelo Predominante	Estabilizador Aplicable
Costa (Altitud hasta 500 m.s.n.m.)	Suelos granulares, de nula a baja plasticidad (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	Sales Cemento Portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)
Sierra (Altitud entre 500 y 4800 m.s.n.m.)	Suelos granulares, de nula a plasticidad media (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5)	Cemento Portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)
Selva alta (Altitud entre 400 y 1000 m.s.n.m.)	Suelos granulares, de nula a plasticidad alta (Clasificación AASHTO: A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7)	Cemento Portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Cal Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)
Selva baja (Altitud menor a 400 m.s.n.m.)	Suelos limo-arcillosos, arcillas, arcillas arenosas y arenas predominantemente finas (Clasificación AASHTO: A-2-4, A-3, A-6, A-7)	Cemento Portland, Ceniza volcánica, Puzolana Emulsión asfáltica Cal Productos químicos (aceites sulfonados, ionizadores, polímeros, enzimas, sistemas, etc.)

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2015)

Estabilización suelo cemento

Según RNE (2012), en la Norma CE.020 indica que la incorporación de cemento debe optimizar las propiedades mecánicas del suelo, sin alcanzar niveles de rigidez similares a los de los morteros hidráulicos. El profesional a cargo debe asegurarse de que el contenido de finos que pasa por el tamiz N°200 en el suelo esté entre el 5% y el 35% antes de mezclarlo con el cemento.

También se indica en el RNE (2012) que se pueden utilizar todos los tipos de cemento, aunque se recomienda generalmente los de fraguado y endurecimiento normales. La capa estabilizada con cemento debe tener un espesor mínimo de 10 cm y puede recibir capas de tratamiento superficial asfáltico de 1.5 cm para tránsito ligero a medio, o servir de base para pavimentos de alta calidad, siempre que el suelo esté libre de sustancias que afecten el fraguado o resistencia.

Los contenidos de cemento se determinarán a través de ensayos de compactación, durabilidad y compresión simple. Para estabilización flexible, el contenido de cemento debe oscilar entre el 1% y el 4%, reduciendo la plasticidad e incrementando levemente la resistencia. Para estabilización rígida, se recomienda un contenido de cemento del 6% al 14%, mejorando el comportamiento de las bases y aumentando el módulo de elasticidad, lo que previene fracturas. El porcentaje óptimo se determinará mediante pruebas de laboratorio con diferentes cantidades de cemento.

Según el MTC (2014) en el manual de carreteras para la aplicación en suelos, geología, geotecnia y pavimentos, nos muestra el siguiente cuadro con un rango recomendado de estabilización de suelos según el tipo de suelo.

Tabla 8 *Rango de Cemento Requerido en Estabilización Suelo Cemento*

Clasificación de suelos AASHTO	Rango usual de cemento requerido Porcentaje del peso de los suelos
A - 1- a	3- 5
A - 1- b	5- 8
A - 2	5- 9
A - 3	7- 11
A - 4	7- 12
A - 5	8- 13
A - 6	9- 15
A - 7	10- 16

Nota. Fuente : Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014)

Los componentes principales para la generación del suelo cemento se basan en el uso del cemento, el suelo a ser mejorado y el agua.

Cemento Portland. Según Kosmatka (2004) el cementos portland es un cemento hidráulico compuesto principalmente de silicatos hidráulicos de calcio los cuales fraguan por interaccion química con el agua, este proceso el llamado hidratación, que al endurecerse forma una masa similar al de una piedra. La hidratación comienza en el momento en que el cemento se pone en contacto con el agua. En la superficie de cada partícula de cemento se forma una capa fibrosa que se expande gradualmente, conectándose con la capa fibrosa de otra partícula de cemento o adhiriéndose a las sustancias cercanas. Este crecimiento de las fibras provoca un proceso de rigidez, endurecimiento y un aumento progresivo de la resistencia.

Se tiene los siguiente tipos de cemento:

Tabla 9 *Tipos de cemento y sus aplicaciones comunes*

Tipos	Especificaciones del cemento
TIPO I	Uso general

TIPO II	Moderado calor de hidratación, Alta resistencia inicial
TIPO III	Bajo calor de hidratación
TIPO IV	Moderada resistencia a los sulfatos
TIPO V	Alta resistencia a los sulfatos
Opción de bajo álcalis	Resistencia a la reacción álcalisílice (RAS)

Nota: Adaptado de “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” de Kosmatka S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y & Tanesi, J., 2004.

Composición del Cemento Portland. Según Sanjuan Barbudo y Chichon Yepes (2014) se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 10 *Composición química del cemento en porcentaje de masa*

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0,1 - 1,4
Óxido de calcio	58.2 -65.6
Sílice	19.8 -26.45
Alúmina	4.1 - 9.5
Óxido de hierro	2.1 -4.5
Magnesia	trazas-2,9
Álcalis	0,1 -2,8
Sulfatos	0,1 -2,2
Pérdida por calcinación	0,2 -2,8

Nota. Fuente: Sanjuan Barbudo y Chichon Yepes (2014)

Cemento Portland Tipo IP. Según Kosmatka (2004) Los cementos Portland puzolánicos se clasifican como tipo IP. Este tipo de cemento es adecuado para la construcción en general. Estos cementos se producen mediante la molienda conjunta del Clinker de cemento Portland con una puzolana apropiada, o mediante la mezcla de cemento Portland o cemento de alto horno con

puzolana, o a través de una combinación de molienda y mezcla. El contenido de puzolana en estos cementos tiene una variación entre el 15% y el 40% del peso total del cemento. Los ensayos de laboratorio muestran que el rendimiento del concreto elaborado con cemento tipo IP es equiparable a la del concreto hecho con cemento tipo I.

Componentes del suelo cemento.

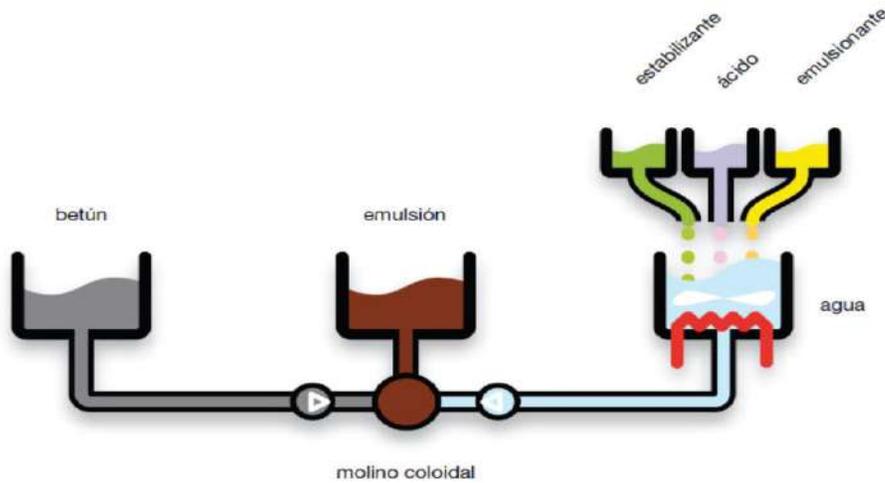
- **Agua:** Este debe de cumplir las mismas características mínima del agua usada para concreto, esta misma esta establecido en la NTP 339.088, en la cual nos indica que esta debe ser agua apta para el consumo humano, es decir que estara libre de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos y material orgánico.
- **Suelo:** Se tiene que todo tipo de suelo puede ser mejorado, en nuestro caso habamos de un material granular, dependiendo de su composición es que estos tendran mejor comportamiento o mejora a un mismo grado de adición de cemento. Tambien como se menciona anteriormente, estos cumplen parametros minimos para el uso como base o sub base granular, al no ser satisfechos estos requisitos basicos, en donde se usa el mejoramiento con cemento u otros adiconantes, de forma que garanticen la estabilidad de vias y la correcta transmicion de cargas al suelo de fundacion.

Estabilización con Emulsión Asfáltica

Emulsión Asfáltica. Se define como una fina dispersión de partículas de asfalto en agua que por su naturaleza química no pueden ser combinadas. Para que esta integración exista se hace uso de un molino coloidal que separa las partículas de asfalto en tamaños más pequeños, permitiendo la unión con el agente emulsificante, el cual determina la carga eléctrica de la emulsión (catiónicas y aniónicas), este evita la separación de asfalto y agua (**Ulloa Calderón &**

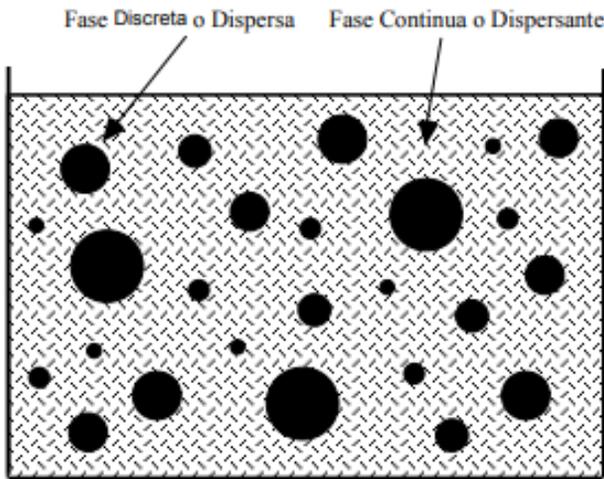
Múnera Miranda, 2020). Como se muestra en la figura 2 la emulsión asfáltica está compuesta de una fase continua o dispersante (fase acuosa) separadas de las partículas de asfalto (fase discreta o dispersa). (Ulloa Calderon, 2012).

Figura 1 Producción de emulsión asfáltica



Nota. El grafico representa el proceso para la produccion de la emulsion asfáltica Fuente: AkzoNovel,2010

Figura 2 Diagrama de una emulsión asfáltica



Nota. El grafico representa la fase continua y dispersa de la emulsion asfáltica Fuente: Ulloa Calderon, A,2012

La fase discreta oscila entre 1 nanómetro y 1 micra, siendo esta fundamental para sus propiedades físicas y químicas, permitiendo que las partículas de asfalto se distribuyan de manera uniforme en el agua (fase continua o dispersante). El reducido tamaño que esta posee mejora la fricción entre el asfalto y el emulsificante mejorando así su estabilidad y capacidad para cubrir superficies. (Instituto Mexicano del Transporte, s.f.)

Las emulsiones asfálticas se clasifican según la carga de las gotas de asfalto, catiónicas “C” y las aniónicas no tienen nomenclatura. Respecto a la rapidez con la que el agua se separa del asfalto se dividen en Rompimiento rápido (RS), medio (MS), lento (SS) y acelerado (QS). Asimismo, se coloca 1 para indicar que la viscosidad de la emulsión es baja y 2 alta. La letra “h” representa la consistencia dura y “s” la consistencia blanda y si esta emulsión esta modificada con polímero se agrega la letra “P” (Múnere Miranda, 2022). Se muestra en la ilustración 3.

Figura 3 Nomenclatura de la emulsión asfáltica



Nota. El grafico representa la nomenclatura que se utiliza para un tipo de emulsion asfaltica

Fuente: Múnere Miranda, J. (2022)

Se muestra en la figura 4 una tabla con los parámetros exigidos que se indican en las especificaciones técnicas generales para la construcción (EG-2013) de las emulsiones asfálticas catiónicas, ya que estas presentan una mejor adhesión entre el asfalto y el suelo.

Figura 4 Especificaciones para emulsiones catiónicas

Tipo	Rotura Rápida				Rotura Media				Rotura Lenta				Rotura rápida	
	CRS-1		CRS-2		CMS-2		CMS-2h		CSS-1		CSS-1h		COS-1H	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Prueba sobre Emulsiones														
- Viscosidad Saybolt Furol a 25°Cs	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	20	100	20	100
- Viscosidad Saybolt Furol a 50°Cs	20	100	100	400	50	450	50	450	-	-	-	-	-	-
- Estabilidad de Almacenamiento, 24h, % ⁽¹⁾	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 cm ³ , 0.8% Dioctilsulfosuccinato sódico, %	40	-	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- Revestimiento y Resistencia al agua:														
- Revestimiento agregado seco					Bueno				Bueno					
- Revestimiento, agregado seco después del secado					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo					Aceptable				Aceptable					
- Revestimiento, agregado húmedo después del secado					Aceptable				Aceptable					
Carga de partícula	Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo		Positivo	
Prueba de Tamiz %^(1*)	-	0.1	-	0.10	-	0.10	-	0.10	-	0.10	-	0.10	-	0.10
Mezcla con Cemento, %	-		-		-		-		2.0		2.0		-	
Destilación:														
- Destilación de aceite, por volumen de destilado	-	3	-	3	-	12	-	12	-	-	-	-	-	-
- % Residuo	60	-	65	-	65	-	65	-	57	-	57	-	57	-
Pruebas sobre el Residuo de destilación:														
- Penetración, 25°C, 100 g, 5s	100 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	100 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	100	250	40	90	100	250	40	90	40	90
- Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	40	150 ⁽²⁾	40	150 ⁽²⁾	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
- Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-

⁽¹⁾ COS – 1H, emulsión que debe cumplir los requisitos considerados en la Norma D 3910.

COS – 1h, usado para sistemas de mortero asfáltico.

^(1*) Este requerimiento de prueba en muestras representativas se exige.

⁽²⁾ En función a las condiciones climáticas del Proyecto se definirá uno de los grados indicados: (50-150 ó 100-250)

Fuente: ASTM D 2397 y D 3930.

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Composición de la Emulsión Asfáltica. La emulsión asfáltica es una mezcla de asfalto, agua y agente emulsificante, las cuales se detallan a continuación:

Asfalto. Es un material que se obtiene mediante la destilación del petróleo, de igual manera se puede obtener de yacimientos naturales, impregnado en las rocas porosas y en las fisuras de estas. Este material ligante es de color negro, lo que indica su composición principal por hidrocarburos de alto peso molecular. Valorado por sus propiedades adhesivas, flexibilidad, impermeabilidad y durabilidad, siendo de igual manera resistente a la acción de ácidos, sales y álcalis. Este ligante es termoplástico fundiéndose a altas temperaturas permitiendo sellar superficies y utilizarlas en la construcción de carreteras. Asimismo, es un elemento básico para la preparación de la emulsión constituyendo entre un 50 y 75 %. (Cespedes Aguilar, 2019)

Agua. Segundo componente de la emulsión asfáltica, su calidad influye en las propiedades de esta, ya que contiene minerales u otros elementos que puedan afectar su producción. No se utiliza cualquier tipo de agua por las impurezas que presentan o por los iones perjudiciales que desestabilizan la emulsión. El agua a usar debe contener un equilibrio iónico adecuado. Para las emulsiones catiónicas, la presencia de iones como el Calcio (Ca^{+2}) y Magnesio (Mg^{+2}) ayudan a mejorar su estabilidad. El uso de aguas que presentan impurezas puede ocasionar una rotura prematura (Cespedes Aguilar, 2019)

Agentes Emulsivos. También llamados emulsionantes, surfactantes o tensioactivos, clasificadas según la forma en la ionizan al agua, existen tres tipos: Aniónico (Con carga negativa), Cationico (Con carga positiva) y no iónicos (Sin carga eléctrica), los cuales tienen como finalidad mantener las gotitas de asfalto en suspensión estable y controlar el tiempo de rotura. (Cespedes Aguilar, 2019)

Clasificación de la Emulsión Asfáltica. Las emulsiones asfálticas logran dispersar el asfalto en la fase acuosa o dispersante, estas según su carga eléctrica pueden ser clasificadas como:

- **Aniónicas:** Son estas sales sódicas o potásicas que presentan una polaridad negativa y son ideales para agregados calizos que se ionizan positivamente.
- **Catiónicas:** Reacción de ácidos inorgánicos como el ácido clorhídrico con aminas grasas, presentan una polaridad positiva y son ideales para agregados silíceos que se ionizan negativamente.
- **No iónicas:** Son partículas sin carga eléctrica

Normalmente se usan las emulsiones asfálticas catiónicas y aniónicas en proyectos viales. Asimismo, también se pueden clasificar según su velocidad de rotura, como:

- Rotura rápida (RS, Rapid-Setting): No rompen al instante de entrar en contacto con el agregado, lo que permite que la mezcla sea aún más manejable por un periodo de tiempo más largo, trabaja de manera adecuada con materiales pétreos (Jara Vasquez & Angulo Macedo, 2018)
- Rotura media (MS, Medium-Setting): Diseñado para que tenga una mezcla adecuada con agregados finos, presentando tiempos más largos de manejabilidad y se produzca un buen mezclado, utilizadas principalmente en mezclas de gradación densa. Este tipo de emulsión presenta una baja viscosidad (Jara Vasquez & Angulo Macedo, 2018)
- Rotura lenta (SS, Slow-Setting): Diseñados para una mezcla en frío con agregados finos, principalmente usados en estabilizaciones asfálticas, designadas para una máxima estabilidad, presentando tiempos más largos de manejabilidad y usados para mezclas cuya gradación sea densa, presencia de arena y materiales reciclados. Este tipo de emulsión presenta una baja viscosidad (Jara Vasquez & Angulo Macedo, 2018)

Según el Instituto del Asfalto (1993), las emulsiones de rotura rápida (RS) no presentan una capacidad adecuada para mezclarse con los agregados, las emulsiones de rotura media (MS) presentan una buena adherencia con el agregado grueso, pero ninguna con el material fino y las emulsiones de rotura lenta (SS) están básicamente diseñadas para poder mezclarse con el agregado fino.

Rotura de la Emulsión Asfáltica. Durante el uso de las emulsiones asfálticas se tiene que tener control sobre la estabilidad de la emulsión, es decir se tiene que controlar su rompimiento, estas emulsiones tienen que desestabilizarse o romper para que se pueda depositar como una capa

sobre el material pétreo. La ruptura ocurre debido a la carga del material pétreo, permitiendo que estas partículas se unan formando agregados de gran tamaño. Durante este proceso el agua es eliminada, pasa por una emulsión inversa donde el asfalto forma la fase continua y el agua la fase discreta.

Los factores que influyen en la ruptura de la emulsión aniónica es la evaporación del agua, el desplazamiento y distribución dentro del material pétreo. En cambio, la ruptura de la emulsión catiónica se produce por la absorción de la parte polar del emulgente (partícula que actúa como puente entre el asfalto y el agua, evitando que las gotas de asfalto se separen) por los agregados, esta provoca la ruptura de la emulsión permitiendo que las partículas de asfalto se adhieran a las partículas de material pétreo. El rompimiento de las emulsiones asfálticas catiónicas, mejora la adherencia y permite una mejor distribución en el agregado pétreo. (Villa Chaman, 2015)

Figura 5 Rotura de la Emulsión Asfáltica sobre un Material Pétreo



Nota. El grafico representa el proceso de rotura de la emulsion asfaltica

Fuente: Múniera Miranda, J. (2022)

Clasificación de los Materiales. Según la EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, los suelos que serán estabilizados con emulsión asfáltica deberán presentar los siguientes indicadores:

- Pasante por el tamiz N°200: No mayor del 10%

- Materia orgánica: No mayor al 1%
- Índice de Plasticidad: Menor o igual a 9%
- Tamaño Máximo del agregado: No menor a 1/3 del espesor de la capa compactada (15cm como mínimo)
- Desgaste a la abrasión: No mayor a 50%
- Perdidas en Sulfato de sodio: No mayor al 12 % en agregado grueso y 10% en material fino

Ensayos para suelos estabilizados con emulsión asfáltica. Lo que indica EG-2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es que una vez conformada la base estabilizada con emulsión asfáltica los ensayos y frecuencias que se realizarán en este suelo serán los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 11 *Ensayos y frecuencias para suelos estabilizados con emulsión asfáltica*

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Suelo	Granulometría	MTC E204	750 m3	Pista
	Plasticidad	MTC E110	750 m3	Pista
	Sulfatos	NTP 339.178	2000 m3	Pista
	Materia Orgánica	AASHTO T194	2000 m3	Pista
	Abrasión	MTC E 207	2000 m3	Pista
	Durabilidad	MTC E 209	2000 m3	Pista
Suelo Estabilizado con Emulsión	Contenido residuo de asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista
	Granulometría	MTC E 204	2 por día	Pista
	Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista
	Densidad de Campo	MTC E 506 MTC E 508 MTC E 5010	Cada 250 m2	Pista
	Esesor	MTC E 507	Cada 250 m2	Pista

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Ventajas de las emulsiones asfálticas. Según (Rodriguez Talavera, 2001) el uso de las emulsiones asfálticas presenta diversas ventajas las cuales se detallan a continuación:

- Ligante asfáltico que es eco amigable con el medio ambiente, ya que este presenta el agua como solvente
- Al ser mezclas en frío, su manejo es sencillo y seguro, así como su trabajabilidad gracias a su baja viscosidad
- Se puede almacenar por semanas o meses, debido a la similitud de las densidades de sus componentes
- Excelente adhesión con el agregado pétreo debido al tamaño de las partículas de asfalto y agentes emulsificantes catiónicos
- Su aplicación en las obras viales es corta y el equipo que se utiliza es sencillo debido a que la mezcla se da a temperatura ambiente lo que permite su pronta reapertura de la vía
- Al ser una mezcla en frío queda libre de emisiones de gases tóxicos y emisiones de humos

Marco Conceptual

Carga axial

Fuerza que actúa en el eje longitudinal de la muestra, generando esfuerzos uniformes de compresión o tracción a lo largo de su eje longitudinal (Gere & Timoshenko, 1999)

CBR (California Bearing Ratio)

Valor relativo utilizada para evaluar la capacidad de carga de un suelo, se mide la penetración de una fuerza dentro de la masa del suelo bajo condiciones controladas de humedad y compactación (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Compactación

Proceso Manual o mecánico que busca reducir el volumen de vacíos del suelo, se aplica presión y vibración aumentando la densidad del material y mejorando su resistencia (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Contenido óptimo de humedad

Cantidad de agua que necesita el suelo para alcanzar su máxima densidad por compactación

Curva granulometrica

Representación gráfica que detalla la distribución de los tamaños de las partículas que componen un suelo

Densidad bulk

Relación entre masa y volumen que incluye los espacios vacíos entre las partículas del material, evaluando su compacidad

Densidad seca

Relación entre masa y volumen que excluye el contenido de agua e indica el grado de compactación del material sin influencia de la humedad, utilizado para evaluar la estabilidad y resistencia

Emulsión asfáltica

Mezcla de asfalto, agua y agente emulsificante, cuyas gotas de asfalto se encuentran dispersas en el agua y unidas a través de la carga que proporciona el agente emulsificante

Estabilidad

Capacidad de una mezcla asfáltica para resistir la deformación bajo cargas impuestas, depende principalmente de la cohesión y fricción entre las partículas de asfalto y los agregados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Estabilización de suelos

La estabilización es un proceso que mejora las propiedades de un suelo para aumentar su resistencia, controlar la erosión y minimizar sus cambios de volumen (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008) Los materiales frecuentemente usados son el cemento, cal, emulsiones y productos químicos.

Fase continua

Componente líquido (fase acuosa) que contiene los agentes emulsificantes y en la que están suspendidas las gotas de asfalto

Fase discreta

Gotas de asfalto que se encuentran suspendidas en la fase acuosa, al separarse el agua forma una película asfáltica que se adhiere al agregado

Granulometria

Representa la distribución de tamaños de las partículas del agregado mediante el tamizado representando el porcentaje acumulado de partículas que pasa por cada tamiz (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Limite Liquido

Contenido de agua del suelo que se encuentra entre el estado plástico y liquido (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Limite plastico

Contenido de agua del suelo que se encuentra entre el estado plástico y semisólido (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008)

Polimero

Aditivo que modifica el asfalto otorgándole características como mayor flexibilidad, resistencia y durabilidad

Viscosidad

Medida de la resistencia a fluir, usado principalmente para medir la consistencia del asfalto

Capítulo III

Metodología de la Investigación

Formulación de la Hipótesis

Hipótesis General

HG: La incorporación, de forma independiente, del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica CSS-1 y cemento portland tipo IP al material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, mejora significativamente su estabilidad y resistencia respectivamente.

Hipótesis Específicos

HE1: La adición de emulsión asfáltica CSS-1 al material granular para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, mejora significativamente la propiedad de estabilidad.

HE2: La adición de cemento portland tipo IP al material granular para para base o sub base de las canteras Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, mejora significativamente la propiedad de resistencia.

HE3: El estabilizador (emulsión asfáltica o cemento portland) que genera de forma independiente mayor influencia en las propiedades medidas de estabilidad y resistencia respectivamente, es la emulsión asfáltica.

Alcance de la Investigación

El alcance es correlacional, que según Hernández Sampieri y otros (2014) busca especificar las propiedades y características de los procesos y cualquier otro fenómeno sometido a un análisis,

en nuestro caso hace referencia en especificar y preparar una metodología útil para la el uso de materiales estabilizantes en bases granulares describiendo y comparando los resultados que se obtendrán en laboratorio.

Diseño de la Investigación

Se tiene un diseño experimental correlacional según Hernández Sampieri y otros (2014), Experimental debido a los ensayos de laboratorio y procesamiento de resultados obtenidos. Correlacional ya que con los resultados que se obtendrán de laboratorio se podrá determinar que el estabilizador de suelo (cemento portland tipo IP o emulsión asfáltica) mejora las propiedades del material granular.

Enfoque de la Investigación

El enfoque de la investigación será cuantitativo debido a que los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio son numéricamente medibles y se podrán realizar comparaciones entre los dos estabilizadores planteados.

Identificación de Variables e Indicadores

Los factores a considerar son:

- Variable Independiente: Material granular para pavimentos estabilizado con Cemento Portland IP y emulsión asfáltica CCS-1, sus indicadores son:
 - Estabilización de muestras con Cemento portland IP
 - Estabilización de muestras con emulsión asfáltica CSS-1
- Variable Dependiente: Propiedades del material granular para base mejorado, sus indicadores son:

- Resistencia a la compresión
- Estabilidad
- Flujo
- Ciclos de humedecimiento y secado

Población de Estudio

La población de estudio se conformará por las Canteras de la provincia de Canchis que disponen de material granular para la conformación de base o sub base.

Muestra

Según Hernández Sampieri y otros (2014) es un subgrupo de la población, de la cual se recolectan los datos necesarios, esta debe ser un grupo representativo para poder obtener resultados más verídicos.

Tomando en consideración la definición anterior mencionada la muestra será el material granular para base o sub base de las canteras de Chumo y Chihuaco de la provincia de Canchis, al ser las canteras de mayor y cercanía a la ciudad.

Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

La investigación se llevó a cabo a nivel correlacional y con un diseño experimental, por lo que se registró de manera organizada y detallada toda la información obtenida de los experimentos. Asimismo, se hace uso de revistas, normas del Ministerio de transportes y comunicaciones (MTC), normas internacionales como la ASTM y AASHTO, manuales de instituto del asfalto, tesis de investigación, artículos científicos, que nos guiaron para el desarrollo correcto de la investigación.

Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

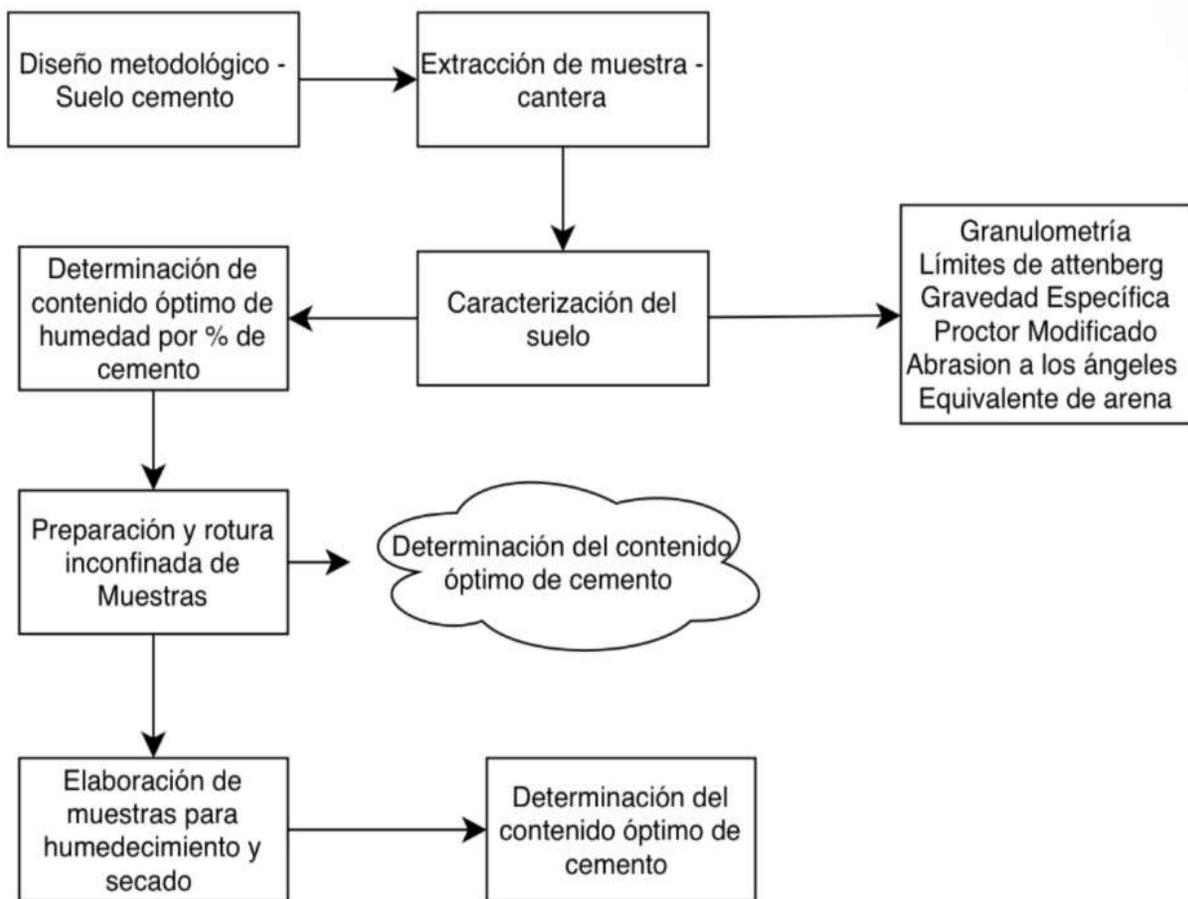
El análisis de los datos implica evaluar, observar y analizar cada proceso del laboratorio y su impacto en la mejora de las propiedades del material en estudio, manteniendo siempre el cumplimiento de los objetivos sin perder las variables e indicadores de los mismos. Asimismo, se utilizarán las siguientes normas para el análisis de datos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado (MTC E 107)
- Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E-110, E-111)
- Humedad Natural (MTC E-108)
- Clasificación de suelos método SUCS (ASTM D-2487)
- Clasificación de suelos método AASHTO (AASHTO M-145)
- Gravedad Específica de los agregados (MTC E 213)
- Equivalente de Arena (MTC E 114)
- Abrasión a los Ángeles (MTC E 209)
- Proctor Modificado (MTC E 115)
- Relaciones de humedad densidad suelo cemento (MTC E 1102)
- California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132)
- Ensayo de compresión no confinada suelo cemento (MTC E 1103)
- Humedecimiento y secado (MTC E 1014)
- Recubrimiento de la mezcla de emulsión asfáltica (ASTM D 2489, MS-14)
- Humedad óptima de compactación de la mezcla con emulsión asfáltica (ASTM D 1557, MS-14)
- Gravedad específica máxima de la mezcla con emulsión asfáltica (ASTM D 2041, MS-14)
- Estabilidad y Flujo Marshall Modificado (MTC E 504, MS-14)

Diseño Metodológico

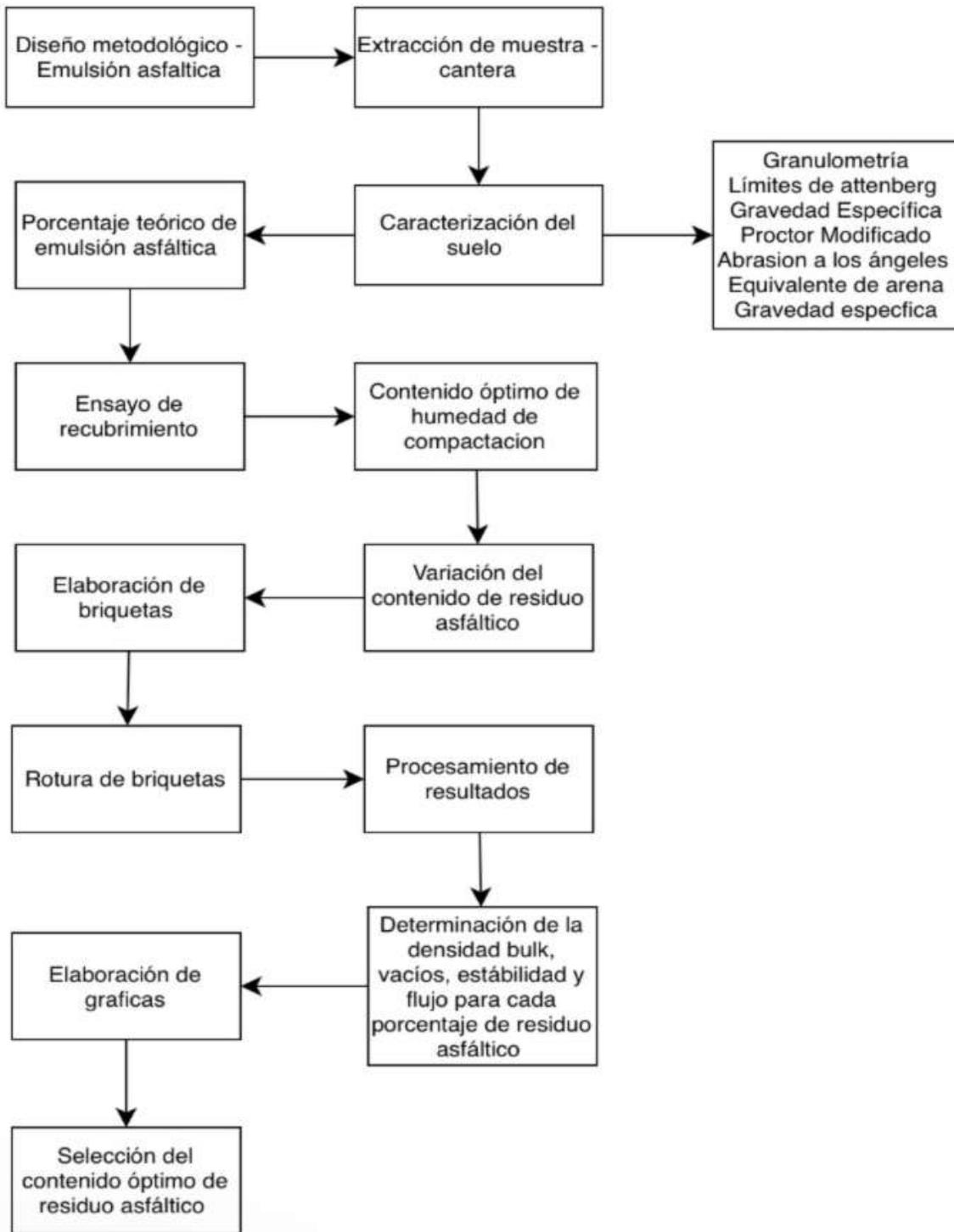
La investigación presenta los diagramas flujo de los procesos que se desarrollaron durante el trabajo de campo, laboratorio y gabinete, proceso con el cual se realizó la selección del contenido óptimo de los estabilizadores cumpliendo con los criterios de diseño establecidos por el manual de carreteras EG-2013.

Figura 6 Diagrama de flujo de la investigación, estabilización de suelo con adición de Cemento



Nota. Fuente. Elaboracion propia

Figura 7 Diagrama de flujo de la investigación, estabilización de suelo con adición de la Emulsión Asfáltica



Nota. Fuente. Elaboracion propia

Recolección de Datos

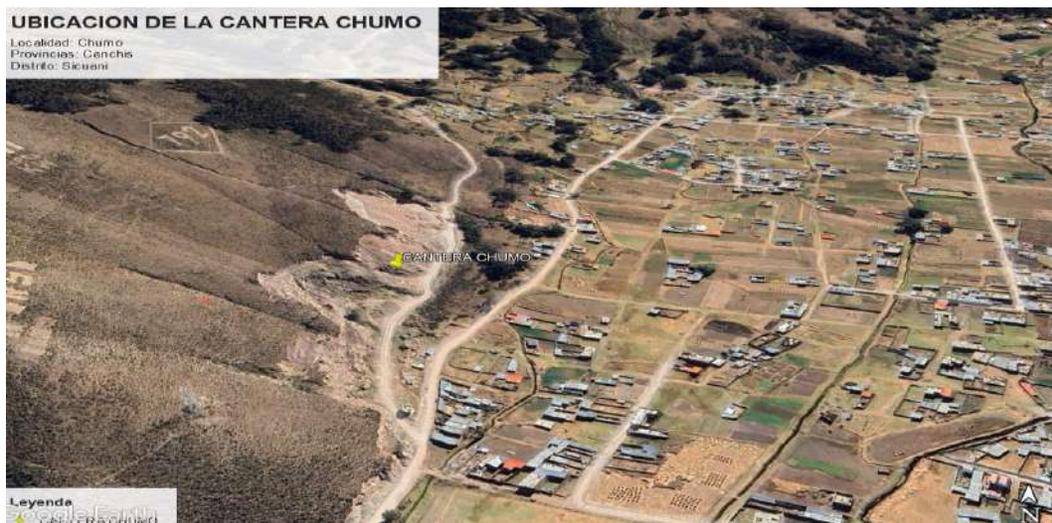
Exploración de Canteras

En la presente investigación se realizó el estudio de las canteras de la Provincia de Canchis considerando su accesibilidad y ubicación para la ejecución de las obras viales dentro de la provincia. Este estudio comprende dos etapas: La exploración y determinación de sus propiedades. Se considera para el presente estudio dos canteras de material granular para la conformación de base o sub base mayormente utilizadas para la ejecución de obras viales dentro de la provincia.

Cantera Chumo. Ubicada en la localidad de Chumo, provincia de Canchis, distrito de Sicuani, departamento del Cusco a 2.96 km del centro de la ciudad, ubicada en las siguientes coordenadas:

- Longitud: -71.238722°
- Latitud: -14.271789°

Figura 8 *Ubicación de la Cantera Chumo*



Nota. Se aprecia una vista aérea de la cantera Chumo. Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth

En esta zona se observó la presencia de material que se usa para la conformación de base o subbase en las diferentes obras viales que se ejecutan dentro de la provincia de Canchis, esta cantera es la más cercana al distrito de Sicuani.

Figura 9 *Cantera Chumo, Canchis, Sicuani*



Nota. Extracción de muestras de material granular de la cantera de Chumo

Cantera Chihuaco. Ubicada en la localidad de Chihuaco, provincia de Canchis, distrito de Sicuani, departamento del Cusco a 6.63 km del centro de la ciudad, ubicada en las coordenadas

- Longitud: -71.256122°
- Latitud: -14.253795°

Figura 10 *Ubicación de la Cantera Chihuaco*



Nota. Se aprecia una vista aerea de la cantera Chihuaco Fuente: Elaboración propia, adaptado del software Google Earth

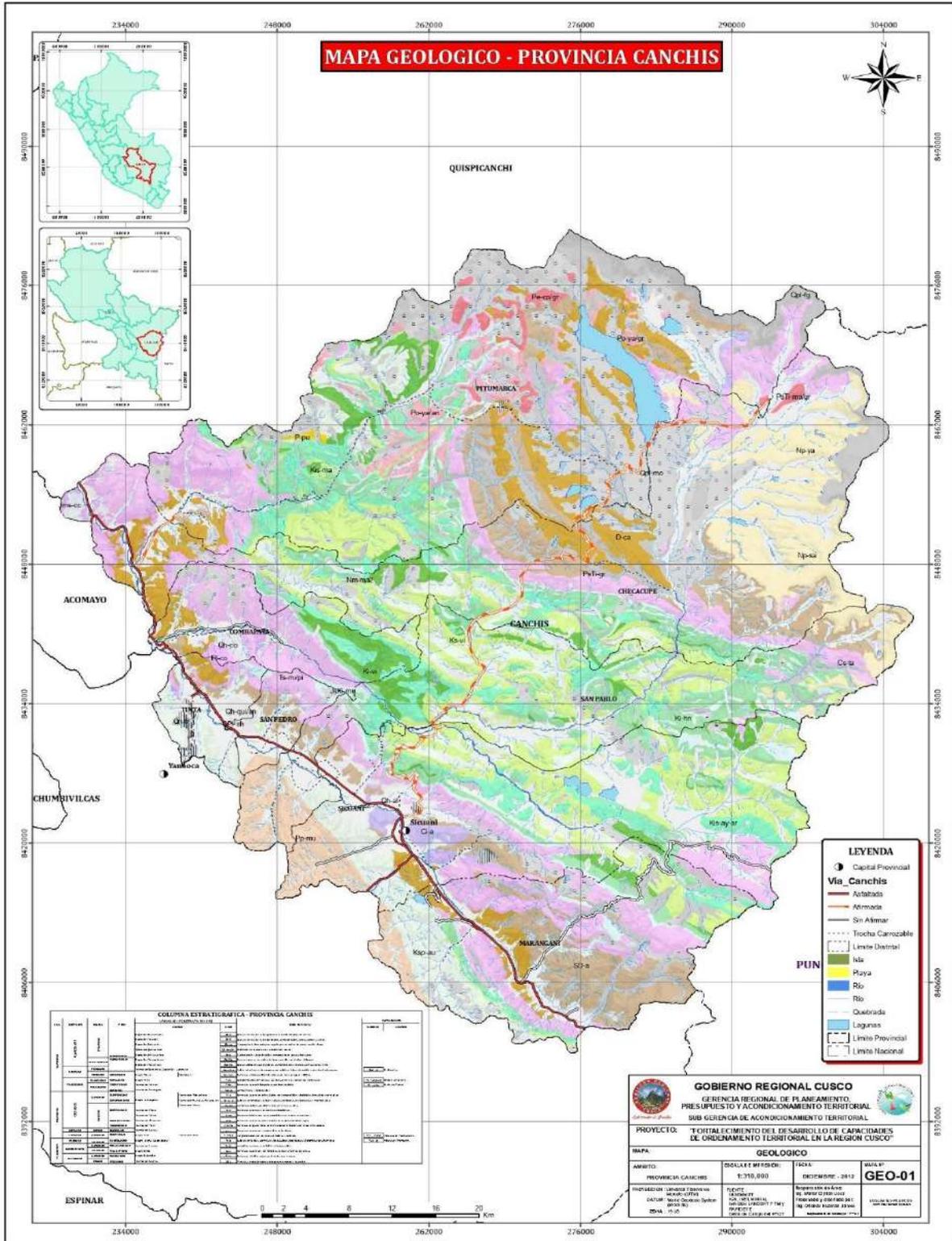
En esta zona se observó la presencia de material que se usa para la conformación de base o subbase en algunas obras viales que se ejecutan dentro de la provincia de Canchis, esta cantera es más alejada al distrito de Sicuani.

Figura 11 *Cantera Chihuaco, Canchis, Sicuani*



Nota. Extracción de muestras de material granular de la cantera de Chihuaco

Figura 12 Mapa Geológico de la Provincia de Canchis – Cusco



Nota. Fuente: Gobierno regional del Cusco (2012)

Ensayos para la Determinación de las Características del Suelo

Clasificación del suelo. Para determinar la clasificación del suelo mediante el sistema unificado de clasificación de suelo (SUCS), se realiza el análisis granulométrico y se calcula sus índices de plasticidad.

Análisis Granulométrico de Suelos Por Tamizado (MTC E 107). Se ensaya una muestra representativa, para determinar los porcentajes del suelo que pasan por los distintos tamices hasta el de 74mm (N° 200).

Equipos y Materiales. Balanzas, Horno, Tamices, Envases y Cepillo. Según el manual de ensayo de materiales la serie de tamices de malla cuadrada a usar serán los indicados en la siguiente tabla:

Tabla 12 *Serie de Tamices para el Análisis Granulométrico*

Tamices	Abertura (mm)
3"	75,000
1 ½"	38,100
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 8	2,360
N° 16	1,100
N° 30	0,590
N° 50	0,297
N° 100	0,149
N° 200	0,075

Nota. Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

Procedimiento. Este ensayo se realizó mediante la vía húmeda, es decir previamente se procedió con el lavado sobre el tamiz N° 200 y se dejó la muestra por 24 horas en el horno para finalmente realizar el tamizado. En la operación del tamizado se mueve el tamiz de un lado a otro

recorriendo circunferencias y manteniendo la muestra en movimiento, al terminar el tamizado se pesa cada fracción en una balanza.

Procesamiento de datos. Se realiza el cálculo del porcentaje de material que pasa por el tamiz 0.074 mm (Malla N° 200) mediante la siguiente fórmula:

$$\%Pasa\ N^{\circ}\ 200 = \frac{PesoTotal - PesoRetenido\ Malla\ N^{\circ}200}{PesoTotal} \times 100$$

Asimismo, se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz y los porcentajes que pasan haciendo uso de las siguientes fórmulas:

$$\%Retenido = \frac{PesoRetenido\ en\ el\ Tamiz}{PesoTotal} \times 100$$

$$\%Pasa = 100 - \% Retenido\ Acumulado$$

Con los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica correspondiente que nos muestre la distribución uniforme entre los puntos del gráfico.

Figura 13 Cuarteo de Material



Nota. Se aprecia el cuarteo de material de las canteras Chumo y Chihuaco antes de realizar el lavado de material y el respectivo análisis granulométrico.

Figura 14 Lavado de material Malla # 200



Nota. Lavado de material de la fracción fina mediante la malla N° 200 de las canteras Chumo y Chihuaco

Figura 15 Análisis Granulométrico de la Cantero Chumo



Nota. Se aprecia el procedimiento realizado para la obtención de la curva granulométrica de la cantera Chumo

Figura 16 Análisis Granulométrico de la Cantera Chihuaco



Nota. Se aprecia el procedimiento realizado para la obtención de la curva granulométrica de la cantera Chihuaco

Determinación del Limite Líquido (MTC E 110). Utilizado para correlacionar las propiedades del suelo con su compresibilidad, permeabilidad y resistencia al corte. Asimismo, es parte indispensable para la clasificación del suelo como SUCS y AASHTO.

Equipos y Materiales. Recipiente de porcelana, cuchara de Casagrande, Acanalador, Capsulas, Balanza, Horno y Espátula.

Procedimiento. Se obtiene una muestra representativa entre 150 y 200 gramos que pase por el tamiz N° 40, se adiciona una cierta cantidad de agua y se mezcla hasta tener un material homogéneo. Se coloca la porción de suelo preparado sobre la cuchara de Casagrande formando una superficie horizontal, utilizando el acanalador se divide la muestra contenida en la copa y se inicia el ensayo, la velocidad de ensayo que indica la norma es de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades del suelo entren en contacto. Se registra el número de golpes y se toma una muestra del suelo. Se repetirá el ensayo variando la cantidad de agua hasta que se obtenga

datos donde el cierre sea de 20 a 35 golpes. Se determina el contenido de humedad de cada espécimen ensayado.

Procesamiento de datos. Se representa la relación entre el contenido de humedad y el número de golpes correspondientes de cada espécimen ensayado, se grafica la línea de tendencia correspondiente y se toma el contenido de humedad que intercepte con los 25 golpes, se tomara este dato como límite líquido del suelo.

Figura 17 Equipos y Materiales usados para el Ensayo de Limite Liquido



Nota. Se aprecia los materiales y equipos usados para el ensayo del Limite Liquido

Figura 18 Procedimiento para la Obtención del Limite Liquido



Nota. Se aprecia el procedimiento realizado para la obtención del Limite Liquido De las canteras Chumo y Chihuaco

Determinación del Limite Plástico e Índice de Plasticidad (MTC E 111). El límite plástico es la humedad en la que se puede formar barritas de suelo de 3.20 mm de diámetro hasta ver fisuras en esta, este ensayo se utiliza para correlacionar propiedades del suelo, además forma parte del sistema de clasificación SUCS y AASHTO.

Equipos y Materiales. Espátula, Balanza, Horno, Tamiz N° 40, Agua, Vidrio grueso esmerilado, recipientes y capsulas.

Procedimiento. Se toma una muestra representativa de 20 g de suelo que pase por el Tamiz N° 40, se amasa con agua y se moldea en forma de elipsoide. Esta muestra se rueda con los dedos sobre el vidrio grueso esmerilado para formar barritas de 3.2 mm (1/8 in) hasta que se produzcan fisuras en esta. Se reúne los fragmentos y se determina la humedad

Procesamiento de datos. El límite plástico se determina como el promedio de las humedades y se expresa como porcentaje de humedad, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Limite Plastico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco al Horno}} \times 100$$

Una vez calculado el límite líquido y límite plástico se determina el índice de plasticidad como la diferencia entre estos dos

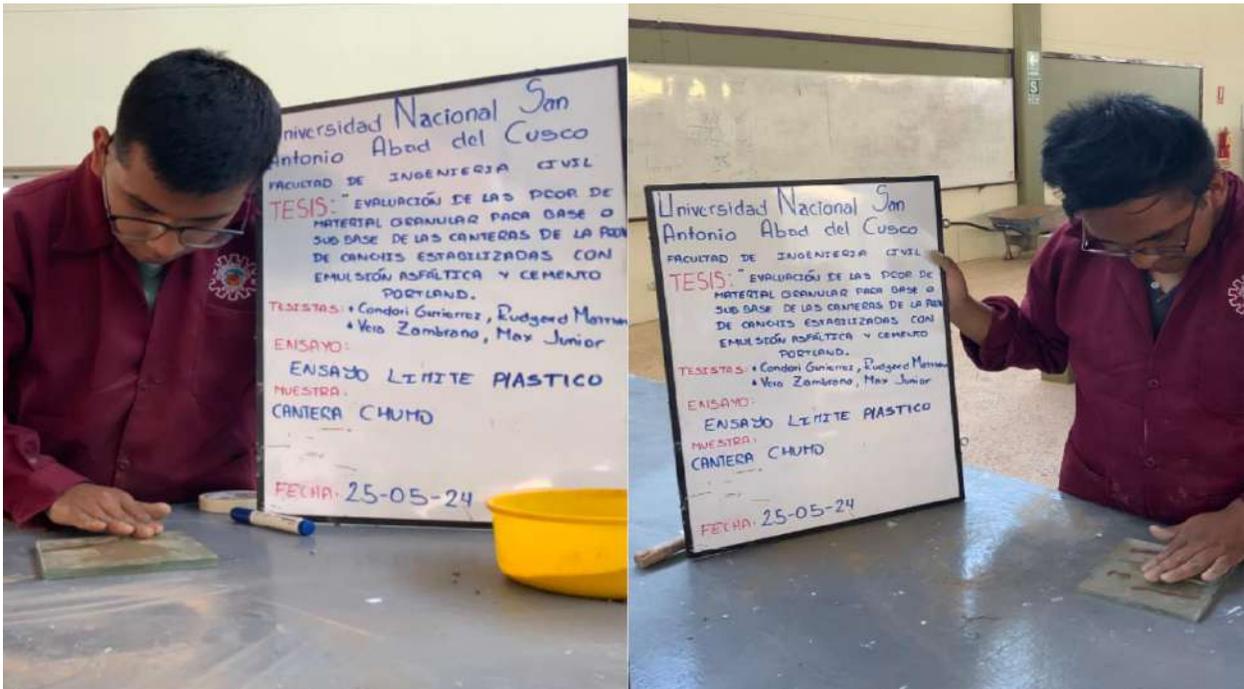
$$\text{Indice Plasticidad} = \text{Limite Liquido} - \text{Limite Plastico}$$

Figura 19 Limite Plástico Cantera Chihuahua



Nota. Se aprecia el ensayo de Limite plástico de la cantera Chihuahua

Figura 20 Limite Plástico Cantera Chumo



Nota. Se aprecia el ensayo de Limite plástico de la Cantera Chumo

Equivalente de Arena (MTC E 114). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, que se usa para determinar la proporción relativa de partículas finas (arcilla y limo) presentes en el suelo, en comparación con la cantidad de partículas más gruesa como arena.

Equipos. Probeta de sedimentación graduada de 100 ml, tapón, solución (cloruro de calcio), embudo, gotero, cronómetro, varilla metálica, tamiz N° 4.

Procedimiento. Se tamiza las muestras con el tamiz N° 4, del cual se recolecta el material pasante. Posterior a esto se coloca una cantidad de este material recolectado en la probeta, donde se agrega 100 ml de agua con solución, dejándolo 10 minutos para su saturación. Luego se tapa la probeta y se agita durante 30 segundos. Posterior a esto se llena la probeta con agua en su totalidad donde se deja 20 min para su sedimentación.

En esta se toman dos medidas, la altura de la arena sedimentada, y la altura total de la muestra con solución.

Procesamiento de datos. Se realiza el cálculo del equivalente de arena de la siguiente manera:

$$\text{Equivalente de Arena} = \frac{\text{Altura de arena Sedimentada (mm)}}{\text{Altura total de la mezcla (mm)}}$$

Figura 21 *Materiales para realizar el ensayo de Equivalente de Arena*



Nota. Se aprecian los materiales para el ensayo de Equivalente de Arena. Fuente: Elaboración propia.

Figura 22 *Agitado de muestras para el ensayo de Equivalente de Arena*



Nota. Agitado de muestras. Fuente: Elaboración propia.

Figura 23 Sedimentado de muestras



Nota. Sedimentado de muestras. Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Preparación para la medición de altura



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Compactación de Suelos en Laboratorio Utilizando una Energía Modificada (Proctor Modificado) (MTC E 115). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, mediante este ensayo busca hallar el contenido de humedad óptimo de compactación y la Máxima Densidad Seca, en esta se usa una energía modificada de 2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³).

Equipos. Molde proctor modificado (6 in), martillo proctor modificado (4.5 Kg), espátula, cucharón, balanza, recipiente de agua, tamiz 3/4 in, capsulas y horno.

Procedimiento. Para la determinación de los parámetros antes mencionados se prepara cuatro especímenes con contenido de agua cercano al óptimo estimado. Se selecciona los contenidos de agua para los especímenes, asegurándose de tener al menos dos húmedos y dos secos, variando en aproximadamente 2% alrededor. Estos son compactados en 5 capas de 56 golpes según el método C, el cual es para muestras que tengan que pasen el tamiz de 3/4 pulgadas. Es esencial tener dos contenidos de agua en cada lado del óptimo para definir correctamente la curva de compactación del peso seco unitario.

Procesamiento de datos. Se realiza el cálculo de la densidad seca de las muestras obtenidas. Para posterior a esta realizar una gráfica de densidad seca contra humedad, de tal forma que se pueda encontrar la densidad máxima seca y la humedad óptima de la misma.

$$\text{Densidad seca} = \frac{\text{Densidad Humeda}}{1 + \text{Humedad}}$$

Con los datos obtenidos se procede a realizar la gráfica, unir los puntos correspondientes en una gráfica de humedad y densidad seca. Luego se halla la humedad óptima y la densidad máxima seca.

Figura 25 Equipos usados para el ensayo de Proctor Modificado



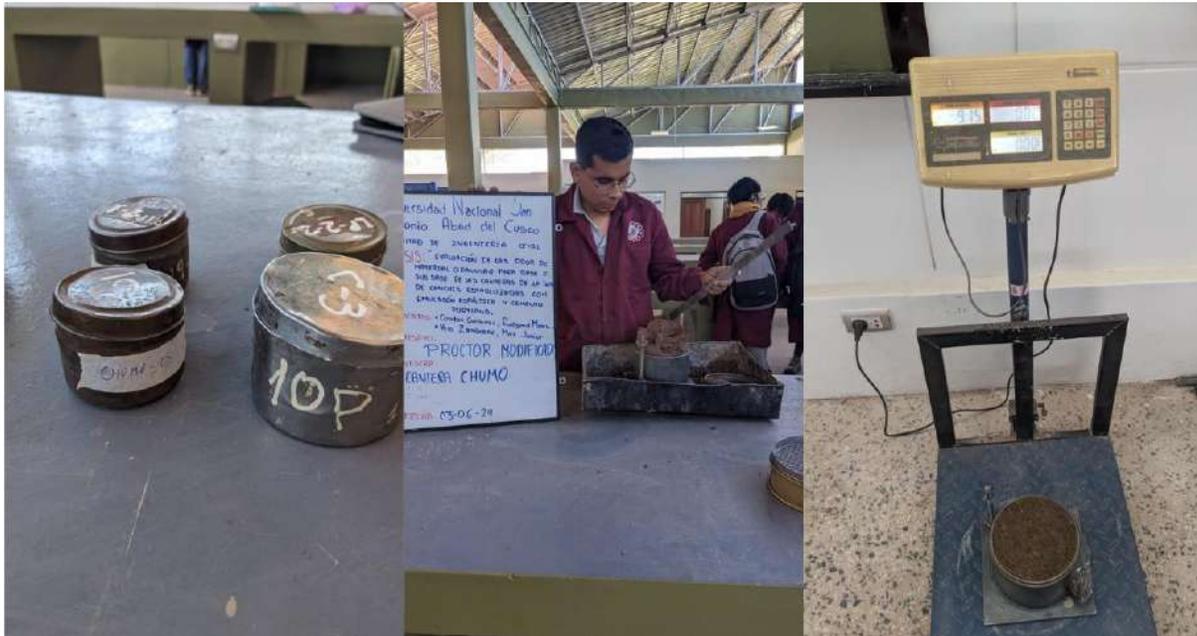
Nota. Se procedio según lo establecido en el manual de ensayo de materiales MTC E 115

Figura 26 Medicion de moldes Proctor modificado y compactación de muestras



Nota. Se procedio según lo establecido en el manual de ensayo de materiales MTC E 115

Figura 27 Enrazado, pesaje de muestras con molde y encapsulado



Nota. Se procedió según lo establecido en el manual de ensayo de materiales MTC E 115

CBR en Suelos - Laboratorio (MTC 132). Según el manual de ensayo de materiales, mediante este ensayo busca determinar un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte.

Equipos. Molde cilíndrico de 15 cm (6 in) y 17.5 cm de altura, martillo de compactación de 4.5 Kg, base rígida, espátula, cucharón, balanza, recipiente de agua, tamiz 3/4 in, capsulas, diales de deformación, máquina de carga CBR.

Procedimiento. Recoge una muestra representativa del suelo que se va a ensayar, donde se tamiza la muestra a través de un tamiz de 19.0 mm (3/4 in) y retira el material retenido. El material que pasa el tamiz 3/4 de pulgada será reemplazado en peso por material que pasa el tamiz 3/4 y retenido en la malla número 4. Posterior a este se ajusta el contenido de humedad a la humedad óptima.

Luego se compacta la muestra, en el molde indicado anteriormente, en 5 capas de 12, 26 y 56 golpes. Posterior a este se sumerge los moldes en agua durante 4 días, para medir la expansión del mismo. Una vez retirados de ser sumergidos, se coloca el molde compactado en la máquina de ensayo CBR y aplica una carga a una velocidad constante. Mide la carga aplicada y el desplazamiento de la muestra a intervalos de 0.25 mm.

Procesamiento de datos. Se realiza el cálculo de CBR, en respecto a la carga estandar que es de 1370 kg para un desplazamiento de 2.5 mm (0.1 in) y de 2055 kg para un desplazamiento de 5.0 mm (0.2 in). Posterior a esto se realiza un gráfico en donde se encuentran los valores de CBR al 100% y 95%.

Figura 28 Preparado y compactado de muestras CBR



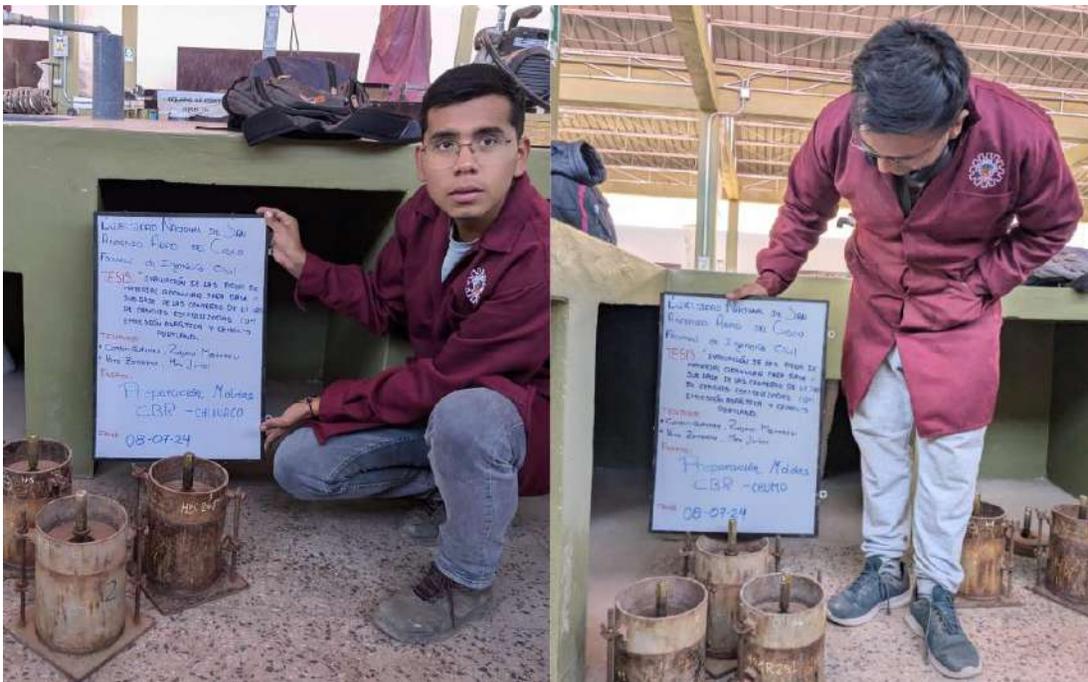
Nota. Se puede observar la preparación del material con respecto al ahumedad optima hallada en el proctor modificado. Posterior a este se realizo el compactado en 5 capas de 12, 26 y 56 golpes cada uno de los moldes. Fuente: Elaboracion propia

Figura 29 Compactación de muestras CBR con 12, 26 y 56 golpes en 5 capas



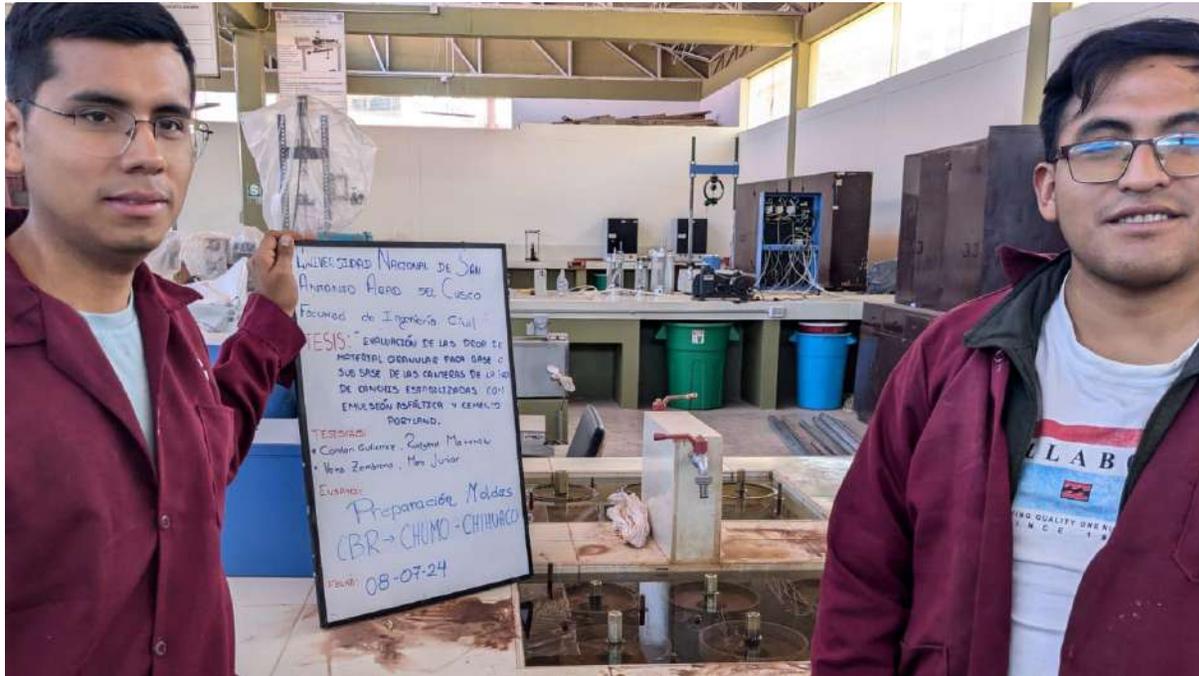
Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Muestras compactadas de CBR canteras de Chumo y Chihuahua



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Humedecimiento de muestras CBR canteras Chumo y Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 32 Penetracion de muestras compactadas en el equipo CBR canteras Chumo y Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 33 Muestras ensayadas con el equipo CBR



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 34 Muestras ensayadas con el equipo CBR de la canteras Chumo y Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

Abrasión los Ángeles (L.A.) al Desgaste de los Agregados de Tamaños Menores de 37,5 mm (1 ½") (MTC 207). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, mediante este ensayo busca determinar la resistencia a la degradación o desgaste usando la máquina de los ángeles.

Equipos. Máquina de los ángeles, tamiz N° 12, balanza, esferas de acero de 390 gramos a 455 gramos.

Procedimiento. Se selecciona el material grueso y es lavado, además de llevado al horno. Luego se toma una muestra de 5 kg, en base a lo establecido en el manual de ensayo de material MTC E 207, en nuestro caso se tiene una gradación tipo A, para lo cual se especifica tener 1250 g aproximadamente de material retenido sobre los tamices 1 in, 3/4 in, 1/2 in y 3/8 in.

Se realiza el respectivo pesaje de muestra final, posterior a este es introducido en la máquina de los ángeles, en nuestro caso serán puestas 12 bolas de aceros, donde se darán un total de 500 revoluciones. Una vez retirado el material de la máquina de los ángeles, este será tamizado por la malla N° 12. El material retenido es lavado, llevado al horno y pesado. Al final se pesa y se determina el desgaste.

Procesamiento de datos. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100\%$$

Figura 35 *Pesaje de muestra, puestas de esferas metalicas y puesta de material.*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 36 *Cerrado de equipo de los Angeles, revuelta del equipo y extraccion de la muestras luego de ser ensayada.*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 37 Ensayo de Abrasión a los Angeles canteras Chumo Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 38 Separacion de muestra por la malla N° 12



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Ensayos para Determinar las Propiedades de la Estabilización con Cemento

Preparación en el Laboratorio de Probetas de Suelo Cemento (MTC 1101). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, indica las características y recomendaciones a cumplir en la preparación de briquetas suelo – cemento.

Equipos. Molde de 71 mm (2.8 pulgadas) de diámetro y una altura de 142 mm (5.6 pulgadas) o un molde de 101.6 mm (4 pulgadas) y una altura de 116.4 mm (5.6 pulgadas). martillo de compactación, cámara húmeda, espátula, recipiente y extractor de muestra.

Procedimiento. Antes de la preparación, los materiales deben estar a temperatura ambiente, preferiblemente entre 18 y 24 °C. Resaltar que el cemento se debe almacenar en un lugar seco y en recipientes herméticos, y debe ser tamizado para eliminar terrones. Además, el agua de mezcla debe ser potable.

El suelo debe secarse y luego tamizarse, eliminando los agregados que sean retenidos en la malla de 2 pulgadas. El material retenido en la malla 3/4 de pulgada será eliminado y reemplazado en peso por material que pase la malla 3/4 y siendo retenida por la malla N° 4. La mezcla de suelo-cemento debe ser suficiente para crear probetas y se debe proteger contra la pérdida de humedad. Se puede mezclar a mano o mecánicamente, asegurándose de no superar 30 minutos entre la adición de agua y la compactación. Se deben reparar probetas cilíndricas con dimensiones específicas, aplicar aceite en el molde para su posterior desmolde y compactar la mezcla adecuadamente para evitar vacíos.

Las dimensiones de la probeta deberán ser de 71 mm (2.8 pulgadas) de diámetro y una altura de 142 mm (5.6 pulgadas). También el MTC (2016) nos indica en el ensayo MTC 1103 que se podrá hacer uso del molde de compactación del Proctor Estándar con un diámetro de 101.6

mm (4 pulgadas) y una altura de 116.4 mm (5.6 pulgadas). Se usa el factor de conversión de 1.10 para pasar de una relación de molde de altura sobre diámetro de 1.15 a 2.

Las probetas deben curarse en un ambiente húmedo por al menos 12 horas antes de ser extraídas y deben ser mantenidas húmedas durante su curado. Antes del ensayo a compresión, se deben refrentar los extremos de las probetas que no estén totalmente niveladas, utilizando materiales adecuados para garantizar una superficie uniforme y evitar fracturas durante el ensayo.

Figura 39 *Materiales de preparación de briquetas y pesaje de material para el ensayo*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 40 Preparacion de muestra para ensayo



Nota. Se visualiza el tamizaje de cemento por la malla N° 40 para eliminar los terrones formados. Además se tiene la separación de suelo pasante por la malla N° 4 y 3/4 in, donde el material retenido en la malla #4 es previamente llevado a una condición SSS para su respectiva mezcla con el suelo que pasa la malla N° 4 , el cemento y agua con el porcentaje optnido en el ensayo MTC E 1102. Fuente: Elaboracion propia

Figura 41 Mezclado de muestra Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 42 Mezclado de muestra Suelo Cemento con la el porcentaje de Humedad Optimo



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 43 Puesta y compactación de muestra Suelo Cemento dentro del molde del Proctor Estandar



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 44 Escarificado de muestras para la compactación



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 45 Compactación y enrasado de muestra Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 46 Extraccion de muestra Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 47 Pesado y envoltura de mezcla Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 48 Muestras envueltas de suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 49 Muestras de briquetas Suelo Cemento y almacenaje de las mismas



Nota. Fuente: Elaboración propia

Relaciones Humedad-Densidad Suelo-Cemento (MTC 1102). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, establece la forma en la que se determinarán la humedad óptima y el peso unitario de las briquetas suelo cemento.

Equipos. Se hace uso del molde de compactación, un molde de 944 cm³ (1/30 pie³) y un martillo de 2,50 kg (5,5 lbs) que cae desde una altura de 305 mm (12 pulg), espátula, cucharón, balanza, recipiente de agua, tamiz 3/4 in, N° 4, capsulas y horno.

Procedimiento. Se agrega cemento a la porción de suelo cantidad especificada. La mezcla se homogeneiza hasta obtener un color uniforme. Luego se añade agua en diferentes proporciones. Para la determinación de los parámetros antes mencionados se prepara cuatro especímenes con contenido de agua cercano al óptimo estimado. Se selecciona los contenidos de agua para los especímenes, asegurándose de tener al menos dos húmedos y dos secos, variando en

aproximadamente 2% alrededor. Se compacta la mezcla en el molde con collar, se realiza la compactación en 3 o 5 capas de 25 golpes, luego se recorta y pesa el espécimen compactado, eliminando partículas que sobresalgan. Se registra el peso húmedo. Es esencial tener dos contenidos de agua en cada lado del óptimo para definir correctamente la curva de compactación del peso seco unitario.

Procesamiento de datos. Se realiza el cálculo de la densidad seca de las muestras obtenidas. Para posterior a esta realizar una gráfica de densidad seca contra humedad, de tal forma que se pueda encontrar la densidad máxima seca y la humedad óptima de la misma.

$$\text{Densidad seca} = \frac{\text{Densidad Humeda}}{1 + \text{Humedad}}$$

Todo esto es similar al ensayo de Proctor Estándar

Figura 50 Preparado de materiales para ensayo MTC E 1102



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 51 Pesaje de capsulas para el ensayo MTC E 1102



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 52 Compactado y encapsulado de muestra para el ensayo MTC E 1102



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Resistencia a la Compresión de Probetas de Suelo-Cemento (MTC 1103). El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, indica el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión de las briquetas suelo cemento.

Equipos. Maquina de ensayo a la compresión.

Procedimiento. Al finalizar el curado y antes de ser sometidas a compresion, las muestras deben ser sumergidas en en agua por 4 horas. Una vez extraidos del auga deben de ser sometidos al compresion. Añadir capping si la testura de las caras no es recta. Se aplica una carga continua de 140 ± 70 kPa/s (20 ± 10 lb./pulg²/s). Se calcula la resistencia unitaria a la compresión del espécimen dividiendo la carga máxima entre el área de la sección transversal.

Figura 53 *Preparación y nivelado de capping para rutra de briquetas Suelo Cemento a compresion simple*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 54 Briquetas de Suelo cemento con capping



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 55 Briquetas de Suelo Cemento con capping



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 56 Desembolsado de briquetas Suelo Cemento para humedecimiento previo a la Rotura a compresion Simple



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 57 Humedecimiento y Rotura a la Compresion simple de briquetas Suelo Cemento



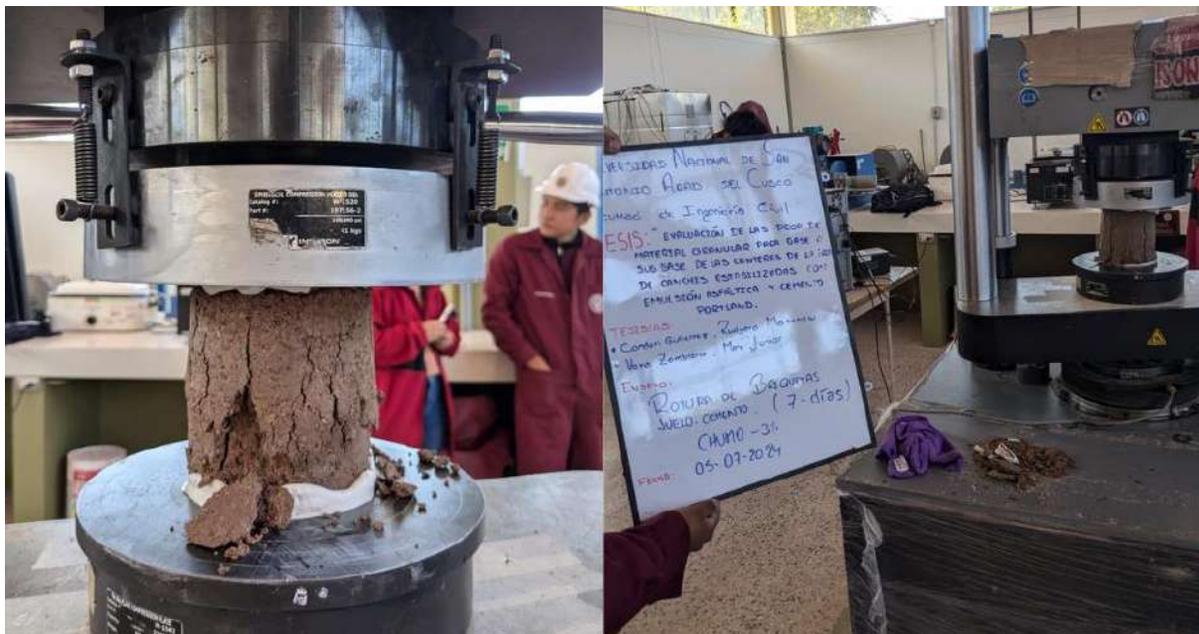
Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 58 Rotura y falla de briquetas de Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 59 Rotura a la compresion Simple en la Maquina Universal



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 60 Fallas de Rotura a Compresion simple de briquetas Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 61 Briquetas de Suelo Cemento ya ensayadas a compresión



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Humedecimiento y Secado de Mezclas de Suelo-Cemento Compactadas (MTC 1104).

El MTC (2016), según el manual de ensayo de materiales, determina las pérdidas del suelo-cemento, los cambios de humedad y de volumen (expansión y contracción) producidos por el humedecimiento y secado repetido de especímenes endurecidos de suelo-cemento.

Equipos. Estufa, cámara húmeda, cepillo con cerdas metálicas, recipiente con agua y berner,

Procedimiento. Al finalizar el almacenamiento en la cámara húmeda, 2 especímenes son sumergidos en agua a temperatura ambiente durante 5 horas, luego son pesados. Ambos especímenes se colocan en una estufa a 71 ± 3 °C durante 42 horas, se pesan y se mide el espécimen N° 1. El espécimen N° 2 se cepilla firmemente con un cepillo de alambre, aplicando una presión de aproximadamente 13,3 N (3 lbf) en 18 a 20 pasadas verticales y 4 pasadas en cada extremo. Se realizan ciclos de 48 horas de humedecimiento y secado, sumergiendo nuevamente el espécimen en agua. Este procedimiento se repite por 12 ciclos, aunque el espécimen N° 2 puede detenerse antes si se observan pérdidas significativas de suelo-cemento. Después de completar los 12 ciclos, los especímenes se secan a 110 ± 5 °C en un horno hasta alcanzar un peso constante. Los datos obtenidos permitirán cálculos de cambios de volumen y peso unitario del espécimen N° 1 así también las pérdidas de suelo-cemento del espécimen N° 2 después de la totalidad de ciclos del ensayo.

Procesamiento de datos. Se realiza el siguiente cálculo para hallar la pérdida de suelo cemento.

$$\text{Pérdida (\%)} = \frac{\text{Peso inicial (seco al horno)} - \text{Peso final (seco al horno)}}{\text{Peso inicial (seco al horno)}}$$

Figura 62 Preparación de muestras suelo Cemento al 5% para el ensayo de humedecimiento y secado



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 63 Humedecimiento de muestras de Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 64 *Medicion de la muestra Humeda*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 65 *Secado de la muestra Suelo Cemento*



Nota. Fuente: Elaboracion propia

Figura 66 Pesado y medición de muestra seca



Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 67 Pesado y raspado de muestra Suelo Cemento



Nota. Fuente: Elaboración propia

Ensayos para Determinar propiedades de la Estabilización Emulsión Asfáltica

Tipo de Emulsión Asfáltica. Según Escalante (2024) la emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta (CSS-1) es dable para climas fríos debido a la viscosidad baja que presenta lo que permite su manejabilidad. Asimismo, es más flexible ayudando a evitar grietas y fracturas en aquellas superficies que están sometidas a compresión y expansión por los cambios de temperatura. Permitiendo un curado lento y controlando para que el agua de la emulsión se evapore de manera más controlada. Se adjunta la ficha técnica utilizada para los ensayos correspondientes.

Figura 68 Ficha Técnica de la Emulsión Asfáltica

EMULSIÓN LENTA



DESCRIPCIÓN

- Emulsión Asfáltica Catiónica de Rotura Lenta (CSS-1), tiene muy buena habilidad para mezclar con los agregados, es decir el asfalto demora un buen tiempo en sufrir coalescencia, el tiempo de rotura le permite alcanzar una buena trabajabilidad. Esta emulsión esta dentro de la clasificación de Norma Peruana NTP 321.141 y la Norma Española 322.
- Las emulsiones aportan mayor durabilidad en las aplicaciones que se vayan a efectuar.
- Estas emulsiones están diseñadas para reaccionar lentamente con el agregado y revertir del estado de emulsión al de asfalto.

APLICACIONES

- Slurry Seal, micropavimentos, mezclas densas, riegos de liga, tratamientos de fisuras y grietas, etc. (previa recomendación del proveedor)

CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS

- Composición : Asfalto y agua
- Color : Marrón oscuro
- Aspecto : Líquido viscoso
- Gravedad específica a 20 °C : 0.95 - 1.00

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA EMULSION CSS-1

- | | VALORES | ESPECIFICACIONES |
|-------------------------------------|----------|------------------|
| Viscosidad Saybolt Furol a 25 °C, s | 22 | 20 - 100 |
| Carga de partículas | POSITIVO | POSITIVO |
| Contenido de Agua (en volumen), % | 45 | |

DESTILACIÓN

- | | VALORES | ESPECIFICACIONES |
|--|---------|------------------|
| Betún Asfáltico Residual, % | 57 | 57 mín. |
| Contenido de Disolvente por Destilación, % | 0.0 | 0.0 máx. |
| Sedimentación, 7 días, % | 4.0 | 5.0 % máx.(1) |
| Tamizado (Retenido en T-20)%, % | 0.05 | 0.1 % máx. |
| Estabilidad almacenamiento 24 hrs., % | 0.6 | 1.0 % máx. |
| Mezcla con Cemento, % | (*) | 2.0 máx. |

(1) La Norma NTP. 321.141 indica un valor ≥ 0.10 , cuando debe decir ≤ 0.10 de acuerdo a la Normas Española 322 y ASTM D-2397

(*) La Norma ASTM D244 establece que se debe usar el cemento portland tipo III que no se produce en el País, por lo tanto este ensayo no se realiza.

RESIDUO POR EVAPORACION A 163°C.

- | | VALORES | ESPECIFICACIONES |
|--|---------|------------------|
| Penetración (25°C, 100g, 5s), 0.1mm. | 120 | 100 - 250 |
| Punto de Ablandamiento (AYB), °C | 58 | 55 mín. |
| Ductilidad, 25 °C, 5 cm./min., cm. | 43 | > 40 |
| Recuperación elástica (25°C, Torsión), % | 18 | > 12 |

(*) Estas Emulsiones con residuos de destilación más duros se designan con el tipo correspondiente, seguido de la letra d.

Se almacena en cisternas o cilindros metálicos a una temperatura de 10 °C a 50 °C, con agitación suave periódica si estan en cilindros y recirculación con bomba cuando esta en cisternas. Ver la hoja de manejo de emulsión.

IMAEC EIRL
Oficina : Mz a lote 7 la fortaleza - Cell : 966497671
LIMA - PERÚ

Nota. Se aprecia la ficha técnica de la emulsión asfáltica de rotura lenta (CSS-1) con los ensayos realizados y límites que indica la norma

Diseño de la mezcla. El diseño de mezcla con emulsión asfáltica busca mejorar las propiedades del material granular, teniendo como componentes principales para esta mezcla el agregado, la emulsión asfáltica y el agua, cada uno en proporciones calculadas, haciendo uso del método Marshall modificado.

Emulsión Asfáltica (Marshall Modificado). Según *el instituto del asfalto (1989)* para la obtención del porcentaje tentativo de emulsión asfáltica para mezclas con agregados densos y granulados se hará uso de la siguiente fórmula la cual tiene que ver directamente con la granulometría del suelo a ensayar.

$$E = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) * 0.7$$

Donde:

E = Porcentaje en peso de la emulsión asfáltica

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°8

B = Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz N°8 y queda retenido en el tamiz N°200

C = Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz N°200

Humedad Natural (MTC E 108). Utilizado para calcular el contenido de agua que se encuentra en el agregado antes de realizar los ensayos correspondientes. Este método consiste en hacer secar el suelo a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante, el peso que resulte de este secado es el peso de las partículas sólidas y la pérdida de peso es el agua eliminada.

Equipos y Materiales. Horno de secado, balanzas, capsulas y recipientes

Procedimiento. Se registra la masa de las capsulas limpias, se elige muestras representativas y se colocan en las capsulas limpias, se registra el peso total y se procede a colocar

en el horno por 24 horas o hasta que la variación del peso sea mínima. Una vez pasado el tiempo en el horno se deja enfriar las capsulas y se registra el peso seco.

Procesamiento de datos. Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente formula:

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100$$

Donde:

- W = Contenido de Humedad (%)
- Mcws = Peso de la capsula más suelo húmedo
- Mcs = Peso de la capsula más suelo seco en horno
- Mc = Peso de la capsula

Figura 69 *Contenido de Humedad de las Muestras*



Nota. Se aprecia las capsulas debidamente codificadas con la que se determinó el contenido de humedad de las muestras

Recubrimiento de la mezcla (%). Es un ensayo subjetivo que determina el contenido óptimo de agua con la cual se logra un buen recubrimiento de la emulsión hacia los agregados, se incrementa porcentajes de agua con respecto a emulsión teórica hallada. Una cantidad insuficiente de agua hará que los agregados no sean totalmente cubiertos, por el contrario, un exceso de agua hará que la mezcla se empieza a embolar (formación de grumos) lo que provoca que su rotura sea más prematura.

Equipos y Materiales. Balanzas, recipientes de mezcla, guantes de seguridad y cronometro

Procedimiento. Se selecciona una cantidad representativa de agregados, se mide la cantidad de emulsión asfáltica teórica indicado por el método Marshall modificado, se mezcla de manera uniforme y se evalúa visualmente el recubrimiento de las partículas del agregado.

Procedimiento. Se calcula el peso de agua a agregar, emulsión asfáltica y agregados para formar muestras de 500 gr, se hace uso de las siguientes formulas:

Porcentaje de agua a adicionar (Waa):

$$Waa = Wen - \left[Wp + \left\{ E \times \left(1 - \frac{CA}{100} \right) \right\} \right]$$

Donde:

- Waa = Porcentaje de agua a adicionar (%)
- Wen = Contenido de agua del ensayo (%)
- Wp = Humedad evaporable de la muestra (1%)
- E = Porcentaje en peso de la emulsión asfáltica (%)
- CA = Contenido de asfalto en la emulsión (%)

Peso de agua a agregar (Paa):

$$Paa = \left(\frac{Waa}{100} \% \right) * Pt$$

Donde:

- Paa = Peso de agua a agregar (gr)
- Waa = Contenido de agua a adicionar (%)
- Pt = Peso total de la muestra a ensayar (gr)

Peso de la emulsión (Pe):

$$Pe = (Pt - Paa) * \left(\frac{E}{100} \right)$$

Donde:

- Pe = Peso de la emulsión (gr)
- Pt = Peso total de la muestra (gr)
- Paa = Peso del agua a agregar (gr)
- E = Porcentaje en peso de la emulsión (%)

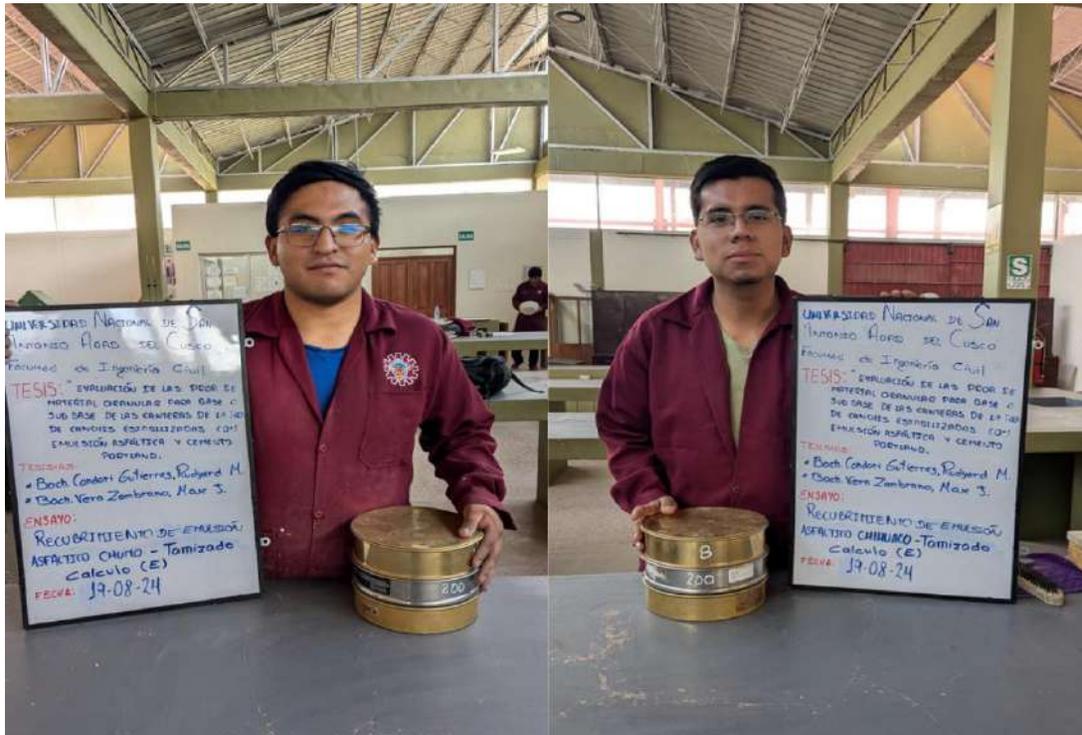
Peso de los agregados combinados (Psc):

$$Psc = (Pt - Paa) x \left[1 - \left(\frac{E}{100} \right) \right]$$

Donde:

- Psc = Peso del agregado (gr)
- Pt = Peso total de la muestra a ensayar (gr)
- Pa = Peso del agua a agregar (gr)
- E = Porcentaje en peso de la emulsión (%)

Figura 70 Granulometría para el ensayo Marshall Modificado



Nota. Comprobación de la granulometría a utilizar para el ensayo de Marshall modificado

Figura 71 Preparación de las Muestras



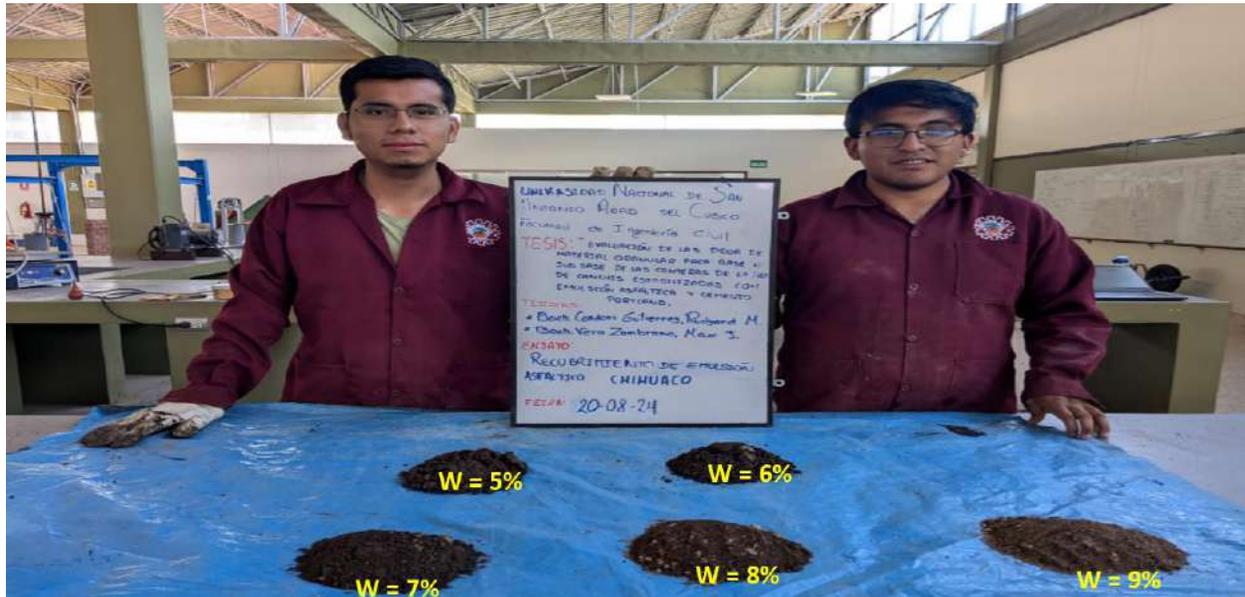
Nota. Se aprecia la preparación y mezclado manual para muestras de 500 gr

Figura 72 Recubrimiento de la Emulsión Asfáltica Chumo



Nota. Se aprecia el recubrimiento de la emulsión asfáltica para cada contenido de agua agregada a la muestra con un 4%, 5%, 6%, 7% y 8% de humedad, la primera muestra es solamente el agregado sin emulsión.

Figura 73. Recubrimiento de la Emulsión Asfáltica Chihuaco



Nota. Se aprecia el recubrimiento de la emulsión asfáltica para cada contenido de agua agregada a la muestra con un 5%, 6%, 7%, 8% y 9% de humedad

Figura 74 Variación del recubrimiento de la emulsión asfáltica



Nota. Una menor cantidad de agua a la mezcla produce un menor recubrimiento de la emulsión, en cambio, una mayor cantidad de agua añadida produce embolonamiento.

Humedad óptima para compactación (%). Contenido de agua que permite alcanzar la máxima densidad de la mezcla, para lo cual se preparan briquetas para cada contenido de humedad con intervalos de 1%

Equipos y Materiales. Probetas, Molde Marshall, Martillo de compactación, balanza, recipientes, pipeta y epps.

Procedimiento. En referencia al ensayo de recubrimiento se seleccionó diferentes porcentajes de humedad con la cual se logra un mejor recubrimiento de los agregados, se calcula los pesos de la emulsión asfáltica, agua y agregado para formar una briqueta de 1200 gr según se indica en la norma (MTC E 504), se controla el porcentaje de agua perdida antes de iniciar la compactación, según la metodología Marshall modificado se deberá realizar el ensayo con 50 golpes. Una vez fabricada las briquetas se calcula sus densidades respectivas tomando como datos el peso del espécimen seco al aire, peso en condición Saturada Superficialmente Seca (SSS) y el peso del espécimen en agua.

Procesamiento de datos. Se calcula el peso de agua a agregar, emulsión asfáltica y agregados para formar muestras de 1200 gr según la norma (MTC E 504) y se calcula la gravedad especifica según la formula indicada.

Peso del agua perdida (P_{perd}):

$$P_{perd} = \left(\frac{W_{perd}}{100} \% \right) \times Pt$$

Donde:

- P_{perd} = Peso de agua perdida (gr)
- W_{perd} = Contenido de agua perdida (%)
- Pt = Peso total de la muestra a ensayar

Humedad de compactación (W_{comp})

$$W_{comp} = W_{en} - W_{perd}$$

Donde:

- W_{comp} = Humedad de compactación (%)
- W_{en} = Contenido de humedad (%)
- W_{perd} = Contenido de agua perdida (%)

Gravedad específica (G_{mb}): (AASHTO T 166)

$$G_{mb} = \frac{W_{ba}}{W_{sss} - W_{bw}}$$

Donde:

- G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada
- W_{ba} = Peso de la muestra seco al aire
- W_{sss} = Peso de la muestra saturado superficialmente seco
- W_{bw} = Peso de la muestra sumergida en agua

Figura 75 Preparación de Especímenes de Muestra con Emulsión Asfáltica



Nota. Se aprecia la preparación de muestras controlando el peso de los agregados antes de compactar

Figura 76 Almacenamiento y curado de especímenes



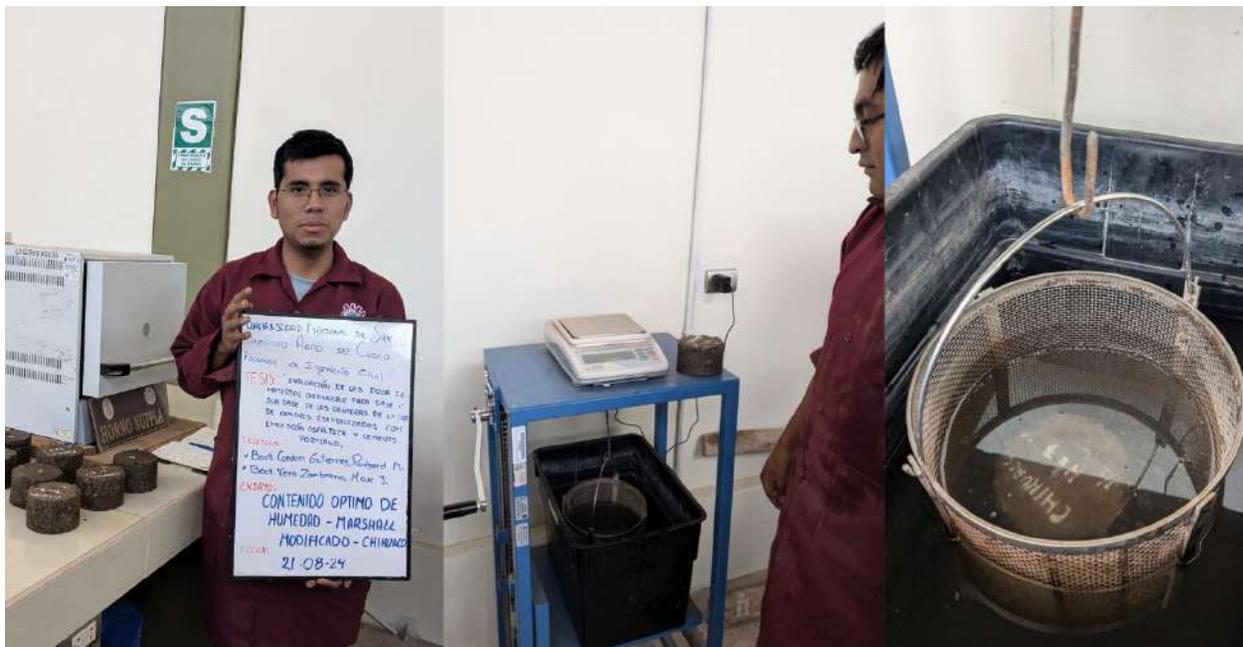
Nota. Se aprecia el almacenamiento de los especímenes fabricados luego de 24 horas de haber pasado en el molde de fabricación para luego sumergirlas y calcular su peso saturado

Figura 77 Muestras saturadas Superficialmente Secas



Nota. Se aprecia la inmersión de los especímenes fabricados para el cálculo de las muestras saturadas y superficialmente secas

Figura 78 Cálculo de la gravedad específica



Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica de los especímenes sumergiendo la masa del espécimen en agua

Figura 79 Peso seco de los especímenes fabricados



Nota. Se aprecia las muestras secas de los especímenes fabricados

Contenido óptimo de residuo asfáltico (%). Para el cálculo óptimo de residuo asfáltico se varia la emulsión teórica hallada con el método Marshall modificado con intervalos de 0.5%. Este contenido asegura que la mezcla contiene suficiente asfalto para mantener las propiedades de cohesión, durabilidad y resistencia.

Equipos y Materiales. Horno de secado, Molde de compactación, extractor de especímenes, martillos de compactación, pedestal de compactación, aparatos de mezclado, balanza, guantes, cucharon, bandeja, aparato Marshall, dial de deformación y dial de carga.

Procedimiento. Se prepara los agregados secos en función de la granulometría que presenta cada cantera (Chumo y Chihuaco), según el (*Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016*) las fracciones usadas son los tamices de (1 a $\frac{3}{4}$ pulg), ($\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ pulg), ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ pulg), ($\frac{3}{8}$ a N°4), (N°4 a N°8), (pasante la N°8), es decir que para la elaboración de cada espécimen se prepara en función a los porcentajes retenidos en los tamices mencionados.

Una vez calculado los porcentajes de emulsión tentativos se calcula el peso de los materiales a usar en la mezcla como el peso del agregado, el agua a agregar y el peso de la emulsión asfáltica, controlando la cantidad de agua a perder (1%), esta combinación de agregados debe pesar 1200 gramos para un espécimen a compactar. Seguido se realiza la mezcla y se controla el peso antes de compactar cuyo peso debe ser 1188 gramos debido a que el porcentaje de agua perdida es del 1%

Para la compactación de especímenes, se limpia el molde ensamblado y el martillo de compactación, se ubica el papel filtro en la base del molde y se coloca la mezcla dentro de este, se chusea 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior, se coloca la otra pieza del papel filtro. Se inicia con la compactación aplicando 50 golpes a cada lado del espécimen según lo indicado el ensayo de Marshall modificado, se realiza el curado de los especímenes (24 horas en el molde y 24 horas en el horno), se ensayan los especímenes en el aparato Marshall para medir la estabilidad y flujo luego del curado de la mitad de las briquetas y la otra mitad se lleva al ensayo de inmersión y vacío parcial. Una vez realizado esos ensayos se calcula la gravedad específica bulk para cada espécimen ensayado.

Procesamiento de datos. Con las fórmulas mencionadas en los ensayos anteriores se calcula el peso de los materiales a usar en la fabricación de los especímenes, así como el cálculo de la gravedad específica bulk. Para el cálculo del porcentaje de emulsión optima se hará uso de las gráficas que nos dé el ensayo Marshall.

Figura 80 Preparación de materiales para la elaboración del espécimen



Nota. Se aprecia la preparación de los agregados, agua y emulsión asfáltica en peso

Figura 81 Compactación de la muestra preparada de emulsión asfáltica, agregado y agua



Nota. Se aprecia la compactación al espécimen preparado aplicando 50 golpes por cada cara

Figura 82 Curado y extracción de las muestras



Nota. Se aprecia el curado de los especímenes y extracción de estas

Figura 83 Se aprecia el curado de los especímenes puesto al horno



Nota. Se aprecia el curado de los especímenes como indica la normativa colocándolos al horno por 24 horas

Vacío Parcial. Determina los espacios vacíos presentes en la mezcla compactada pero que no están llenos de asfalto ni de aire, normalmente estos vacíos pueden presentar agua residual debido a que la fase acuosa de la emulsión no se ha evaporado en su totalidad o estos vacíos pueden estar llenos de una combinación entre agua y aire (fase transitoria) una vez se evapore el agua estos vacíos tienden a llenarse con aire.

Equipos y Materiales. Balanza, molde de compactación, martillo de compactación, picnómetro, aparatos de mezclado, bomba de vacíos y tamices.

Procedimiento. Se prepara los agregados secos en función de la granulometría de cada cantera, se compacta con los pesos calculados de emulsión, agua y agregados. Se realiza el curado respectivo de las muestras (24 horas en el molde y 24 horas en el horno). Se pesa el picnómetro con el agua y la muestra compactada, posteriormente se hace uso de la bomba de vacíos tratando de absorber la cantidad de aire del espécimen con el agua. Una vez terminado este procedimiento se llena lentamente con agua hasta llenar el picnómetro. Se registra el peso para el cálculo de la gravedad específica teórica máxima (Rice) de la mezcla, finalmente se ensaya en la prensa Marshall para ver la pérdida de estabilidad de las probetas elaboradas.

Procesamiento de datos. Con las fórmulas mencionadas en los ensayos anteriores se calcula el peso de los materiales a usar en la fabricación de los especímenes. Asimismo, se calcula la gravedad específica máxima de la mezcla y el porcentaje en volumen de vacíos con aire (VTM) haciendo uso de las siguientes formulas:

Gravedad específica máxima de la mezcla (Gmm):

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde:

- A = Masa en el aire de la muestra seca (gr)
- B = Masa del picnómetro lleno de agua (gr)
- C = Masa del picnómetro lleno de agua + mezcla (gr)

Porcentaje en volumen de vacíos con aire (VTM):

$$VTM = \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right) \times 100$$

Donde:

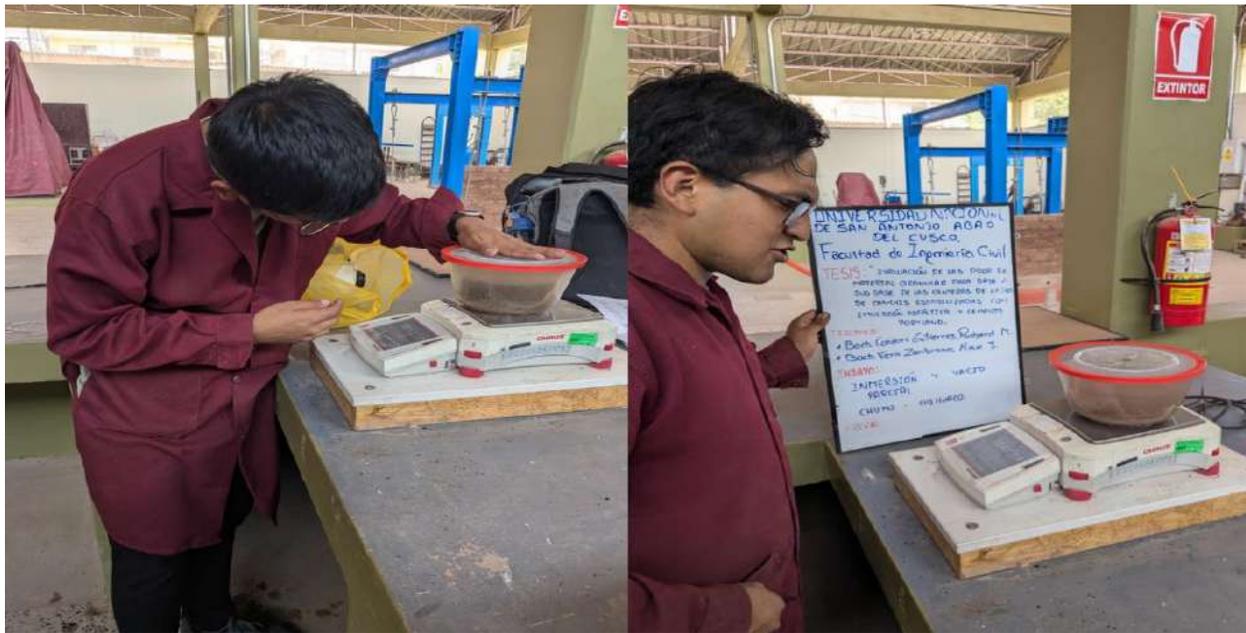
- Gmb = Gravedad específica máxima bulk de la mezcla
- Gmm = Gravedad específica máxima de la mezcla

Figura 84 Extracción de aire de los especímenes preparados (Bomba de vacíos)



Nota. Se aprecia la extracción de aire de cada espécimen preparado a través de la bomba de vacíos para el cálculo de la gravedad específica teórica máxima

Figura 85 Cálculo del peso después de la inmersión y vacío parcial



Nota. Se aprecia los pesos el peso de los especímenes ensayados luego de la inmersión y vacío parcial

Figura 86 Cálculo de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla



Nota. Se aprecia con mayor detenimiento la extracción de las burbujas de aire de los especímenes elaborados

Estabilidad y flujo Marshall modificado (kg). Este ensayo es fundamental para evaluar el comportamiento mecánico de las muestras elaboradas con emulsión asfáltica, las cuales se determinan a través del ensayo Marshall. La estabilidad es la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones bajo cargas aplicadas y el flujo es la medida de la deformación hasta la falla.

Equipos y Materiales. Prensa Marshall, dial para medir la deformación de la muestra, molde Marshall y balanza de precisión.

Procedimiento. Se prepara los especímenes y se realiza el curado respectivo como se indica en los ensayos anteriormente descritos, separar las muestras secas y las muestra después de la inmersión y vacío parcial para ser ensayadas en la prensa Marshall y medir la estabilidad (dial de carga) y el flujo (dial de deformación), se registran los valores y se procesan estas con la formula indicada en la hoja de calibración del equipo, para calcular los valores de estabilidad en kilogramos o libras y los valores de flujo en centésimas de pulgada.

Procesamiento de datos. Con las fórmulas mencionadas en los ensayos anteriores se calcula el peso de los materiales a usar en la fabricación de los especímenes. Según la ficha de calibración del equipo Marshall la formula a usar para el cálculo de estabilidad según la lectura del dial es la siguiente:

Ecuación de ajuste para valores en Kgf

$$y = 7,4570x + 36,6617$$

Donde:

- x = Lectura del dial
- y = Fuerza promedio (Kgf)

Luego del cálculo de la estabilidad según la fórmula indicada, estos valores se corrigen a razón de las dimensiones volumétricas de los especímenes elaborados, según se indica la siguiente tabla del MTC E 504.

Tabla 13 *Factores de estabilidad de Correlación*

Volumen del espécimen (cm³)	Espesor del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (Pulg)	Razón de la Correlación
200 - 213	25.4	1.00 (1)	5.56
214 - 225	27	1.06 (1 1/16)	5
226 - 237	28.6	1.12 (1 1/8)	4.55
238 - 250	30.2	1.19 (1 3/16)	4.17
251 - 264	31.8	1.25 (1 1/4)	3.85
265 - 276	33.3	1.31 (1 5/16)	3.57
277 - 289	34.9	1.38 (1 3/8)	3.33
290 - 301	36.5	1.44 (1 7/16)	3.13
302 - 316	38.1	1.50 (1 1/2)	2.94
317 - 328	39.7	1.56 (1 9/16)	2.78
329 - 340	41.3	1.62 (1 5/8)	2.63
341 - 353	42.9	1.69 (1 11/16)	2.5
354 - 367	44.4	1.75 (1 3/4)	2.38
368 - 379	46	1.81 (1 13/16)	2.27
380 - 392	47.6	1.88 (1 7/8)	2.17
393 - 405	49.2	1.94 (1 15/16)	2.08
406 - 420	50.8	2.00 (2)	2
421 - 431	52.4	2.06 (2 1/16)	1.92
432 - 443	54	2.12 (2 1/8)	1.85
444 - 456	55.6	2.19 (2 3/16)	1.79
457 - 469	57.2	2.25 (2 1/4)	1.73
471 - 482	58.7	2.31 (2 5/16)	1.67
483 - 495	60.3	2.38 (2 3/8)	1.61
496 - 508	61.9	2.44 (2 7/16)	1.56
509 - 522	63.5	2.50 (2 1/2)	1.5
523 - 535	65.1	2.56 (2 9/16)	1.47
536 - 546	66.7	2.62 (2 5/8)	1.43
547 - 559	68.3	2.69 (2 11/16)	1.39
560 - 573	69.8	2.75 (2 3/4)	1.36
574 - 585	71.4	2.81 (2 13/16)	1.32

586 - 598	73	2.88 (2 7/8)	1.09
599 - 610	74.6	2.94 (2 15/16)	1.04
611 - 626	76.2	3.00 (3)	1

Figura 87 Preparación del equipo Marshall para la rotura de especímenes



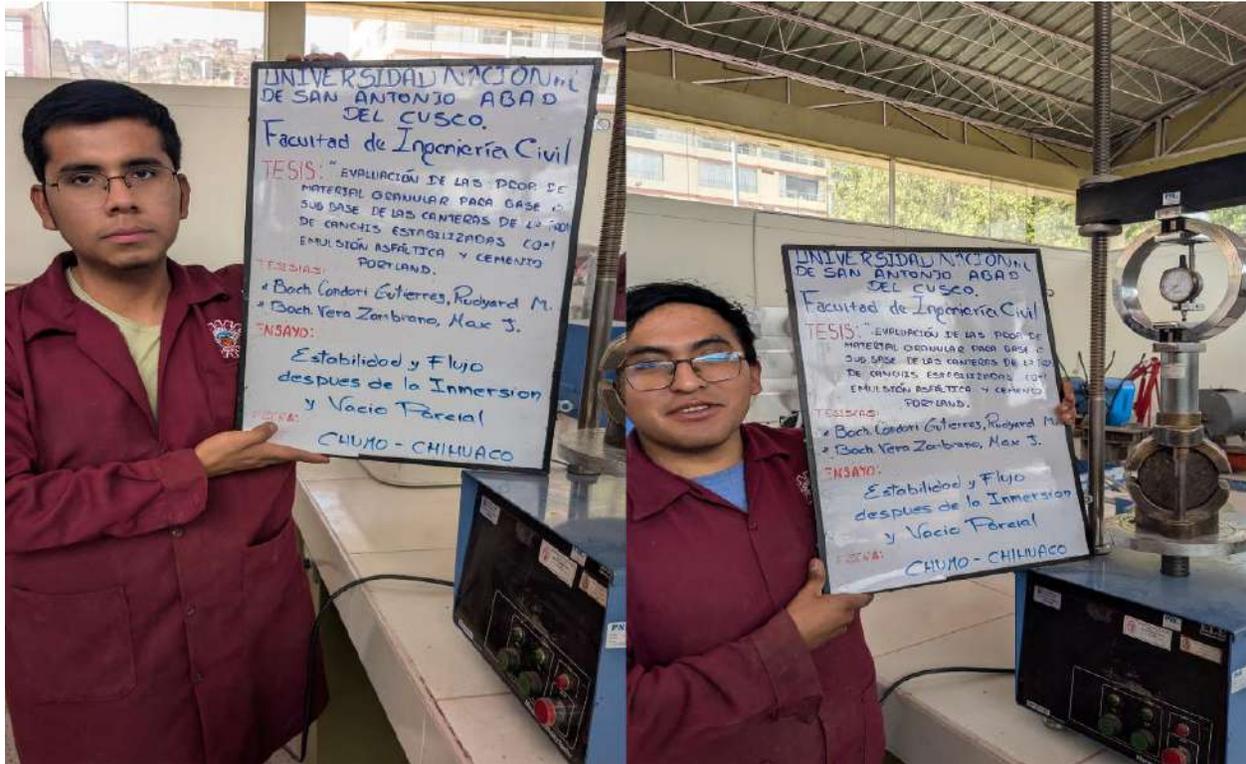
Nota. Se aprecia la preparación del equipo Marshall con el dial de deformación para iniciar los ensayos de rotura con la prensa Marshall

Figura 88 Medición de los especímenes elaborados



Nota. Se aprecia la medida de cada espécimen elaborado para luego ser ensayado en la prensa Marshall

Figura 89 Ensayo Marshall luego de la inmersión y vacío parcial



Nota. Se aprecia el ensayo de cada espécimen en la prensa Marshall luego de que estas se hayan extraído del vacío parcial.

Figura 90 Cálculo de la gravedad específica de los especímenes fallados



Nota: Se aprecia los especímenes fallados para su posterior cálculo de sus gravedades específicas

Capítulo IV

Resultados de la Investigación

Resultados de la Granulometría

El ensayo de granulometría de la cantera Chumo se realizó con dos muestras, una de 2340.15 gr y otra 3376.12 gr. Asimismo para la cantera Chihuaco se tomó muestras de 3750.38 gr y 4228.62 gr.

Cantera Chumo - I

- Peso del material antes del lavado	2340.15 gr
- Peso del material después del lavado	2133.12 gr
- Perdida de material después del lavado	207.03 gr

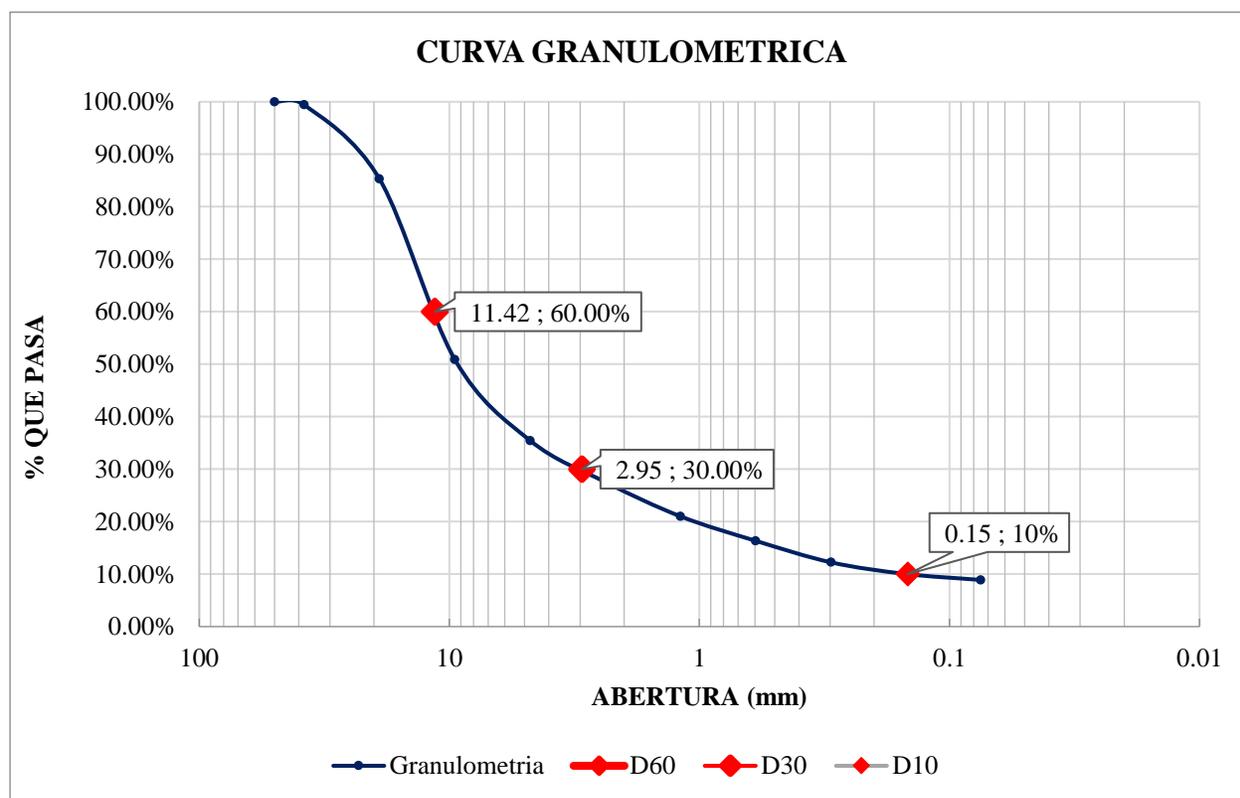
Tabla 14 *Granulometría de la cantera Chumo -I*

Tamiz N°	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado	Corrección Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	-	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	13.40	0.63%	0.01%	0.64%	0.58%	0.58%	99.42%
3/4 "	323.44	15.16%	0.29%	15.45%	14.08%	14.67%	85.33%
3/8 "	791.52	37.11%	0.71%	37.81%	34.47%	49.14%	50.86%
N° 4	354.17	16.60%	0.32%	16.92%	15.42%	64.56%	35.44%
N° 8	181.16	8.49%	0.16%	8.65%	7.89%	72.45%	27.55%
N° 16	150.34	7.05%	0.13%	7.18%	6.55%	78.99%	21.01%
N° 30	107.19	5.03%	0.10%	5.12%	4.67%	83.66%	16.34%
N° 50	94.26	4.42%	0.08%	4.50%	4.10%	87.77%	12.23%
N° 100	50.71	2.38%	0.05%	2.42%	2.21%	89.97%	10.03%
N° 200	26.00	1.22%	0.02%	1.24%	1.13%	91.11%	8.89%

Cazuela	1.06	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	91.15%
Lavado	207.03				8.85%	100.00%
Material ensayado	2,093.25	98.13%		100.00%	91.15%	
Peso total (gr)	2,300.28	% Error	1.87%		100.00%	

Nota. Se observa la distribución granulométrica correspondiente a la primera muestra de la cantera Chumo Fuente: Elaboración propia

Grafica 1 Curva Granulométrica cantera Chumo - 1



Nota. Se utilizó la serie de tamices indicados en la norma y en la tabla anterior. Fuente: Elaboración propia

De la curva granulométrica hallada y para la clasificación del suelo, se calcula el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de correlación, para lo cual es necesario el cálculo del diámetro del tamiz por el cual pasa el 60%, 30% y 10% del material.

$$D60\% = 11.42 \text{ mm}, \quad D30\% = 2.95 \text{ mm}, \quad D10\% = 0.15 \text{ mm}$$

Con los valores hallados se calcula el coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc).

$$Cu = 77.82, \quad Cc = 5.19$$

Cantera Chumo - 2

-	Peso del material antes del lavado	3376.12	gr
-	Peso del material después del lavado	3091.29	gr
-	Perdida de material después del lavado	284.83	gr

Tabla 15 Granulometría de la cantera Chumo -2

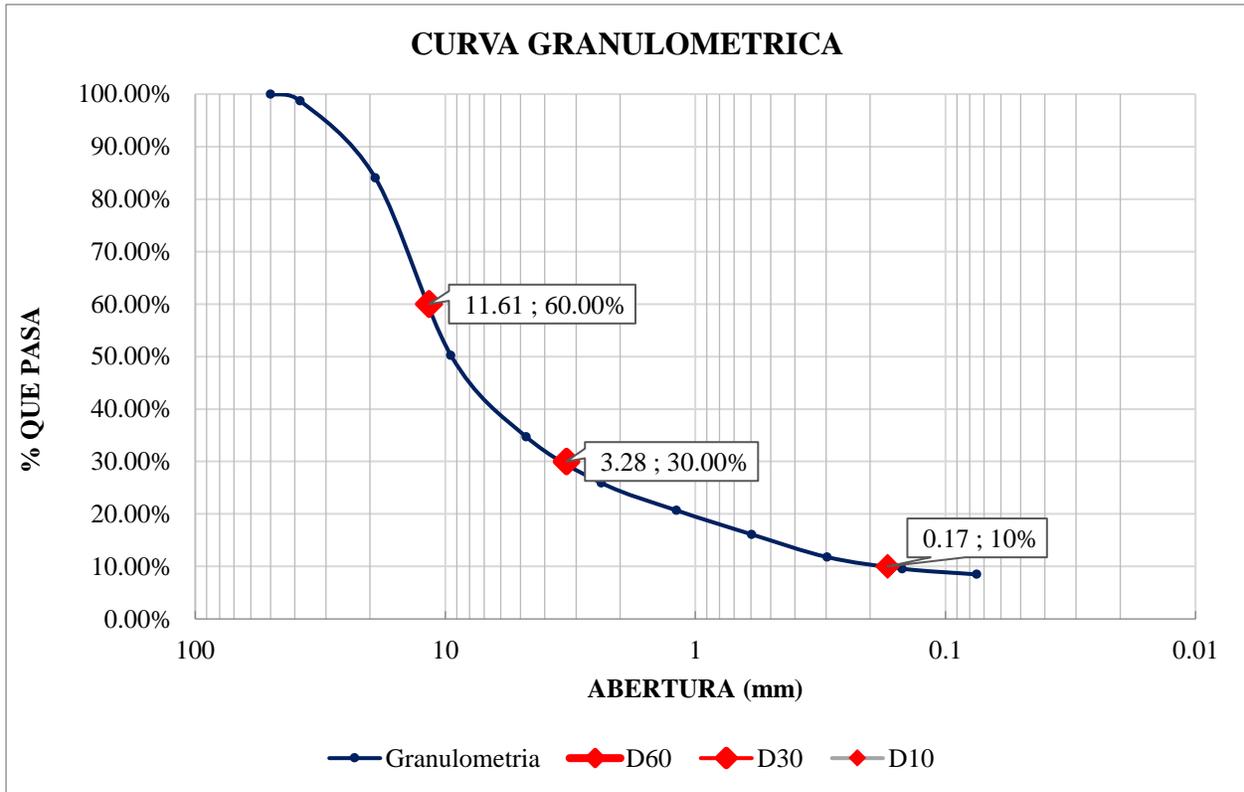
Tamiz N°	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Corrección en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	-	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	42.68	1.38%	0.02%	1.41%	1.29%	1.29%	98.71%
3/4 "	487.38	15.77%	0.28%	16.05%	14.69%	15.98%	84.02%
3/8 "	1,120.42	36.24%	0.64%	36.89%	33.78%	49.76%	50.24%
N° 4	515.35	16.67%	0.30%	16.97%	15.54%	65.29%	34.71%
N° 8	291.39	9.43%	0.17%	9.59%	8.78%	74.08%	25.92%
N° 16	173.56	5.61%	0.10%	5.71%	5.23%	79.31%	20.69%
N° 30	152.11	4.92%	0.09%	5.01%	4.59%	83.89%	16.11%
N° 50	143.41	4.64%	0.08%	4.72%	4.32%	88.22%	11.78%
N° 100	73.54	2.38%	0.04%	2.42%	2.22%	90.43%	9.57%
N° 200	35.77	1.16%	0.02%	1.18%	1.08%	91.51%	8.49%
Cazuela	1.69	0.05%	0.00%	0.06%	0.05%	91.56%	
Lavado	284.83				8.44%	100.00%	
Material ensayado	3,037.30	98.25%		100.00%	91.56%		

Peso

total (gr) 3,322.13 % Error 1.75% 100.00%

Nota. Se observa la distribución granulométrica correspondiente a la segunda muestra de la cantera Chumo Fuente: Elaboración propia

Grafica 2 Curva Granulométrica cantera Chumo - 2



Nota. Se utilizo la serie de tamices indicados en la norma y en la tabla anterior. Fuente: Elaboración propia

De la curva granulométrica hallada se obtiene los siguientes datos:

$$D60\% = 11.61 \text{ mm}, \quad D30\% = 3.28 \text{ mm}, \quad D10\% = 0.17 \text{ mm}$$

Con los valores hallados se calcula el coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc).

$$Cu = 68.10, \quad Cc = 5.43$$

Cantera Chihuaco - I

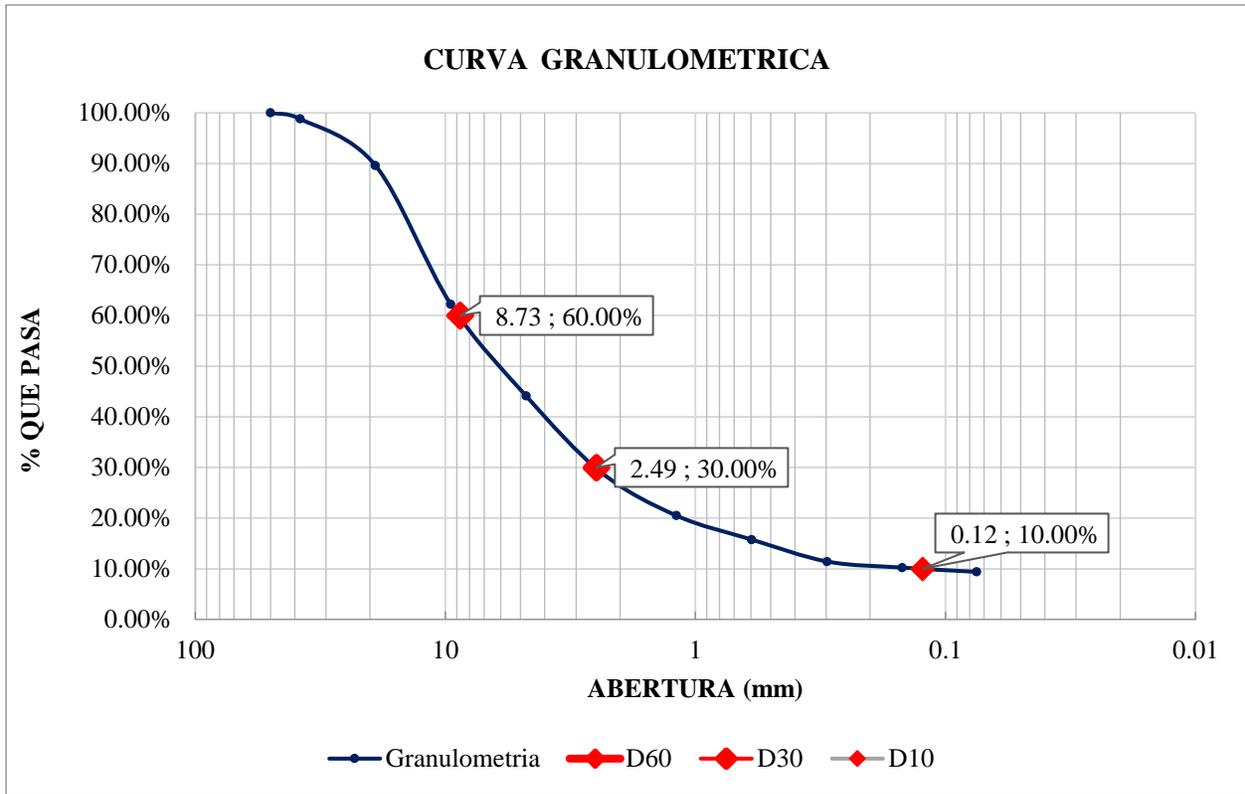
-	Peso del material antes del lavado	3750.38	gr
-	Peso del material después del lavado	3401.01	gr
-	Perdida de material después del lavado	349.37	gr

Tabla 16 Granulometría de la cantera Chihuaco -I

Tamiz N°	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Corrección en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	-	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	44.16	1.30%	0.02%	1.32%	1.19%	1.19%	98.81%
3/4 "	339.39	9.98%	0.14%	10.12%	9.17%	10.37%	89.63%
3/8 "	1,015.32	29.85%	0.41%	30.26%	27.44%	37.81%	62.19%
N° 4	668.91	19.67%	0.27%	19.94%	18.08%	55.89%	44.11%
N° 8	558.45	16.42%	0.22%	16.64%	15.09%	70.98%	29.02%
N° 16	315.55	9.28%	0.13%	9.40%	8.53%	79.51%	20.49%
N° 30	175.15	5.15%	0.07%	5.22%	4.73%	84.24%	15.76%
N° 50	160.16	4.71%	0.06%	4.77%	4.33%	88.57%	11.43%
N° 100	44.30	1.30%	0.02%	1.32%	1.20%	89.77%	10.23%
N° 200	31.10	0.91%	0.01%	0.93%	0.84%	90.61%	9.39%
Cazuela	2.80	0.08%	0.00%	0.08%	0.08%	90.68%	
Lavado	349.37				9.32%	100.00%	
Material ensayado	3,355.29	98.66%		100.00%	90.68%		
Peso total (gr)	3,704.66	% Error	1.34%		100.00%		

Nota: Se observa la distribución granulométrica correspondiente a la primera muestra de la cantera Chihuaco. Fuente: Elaboración propia

Grafica 3 Curva Granulométrica cantera Chihuaco - 1



Nota. Se utilizó la serie de tamices indicados en la norma y en la tabla anterior. Fuente: Elaboración propia

De la curva granulométrica hallada se obtiene los siguientes datos:

$$D_{60\%} = 8.73 \text{ mm}, \quad D_{30\%} = 2.49 \text{ mm}, \quad D_{10\%} = 0.12 \text{ mm}$$

Con los valores hallados se calcula el coeficiente de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c).

$$C_u = 70.84, \quad C_c = 5.75$$

Cantera Chihuaco - 2

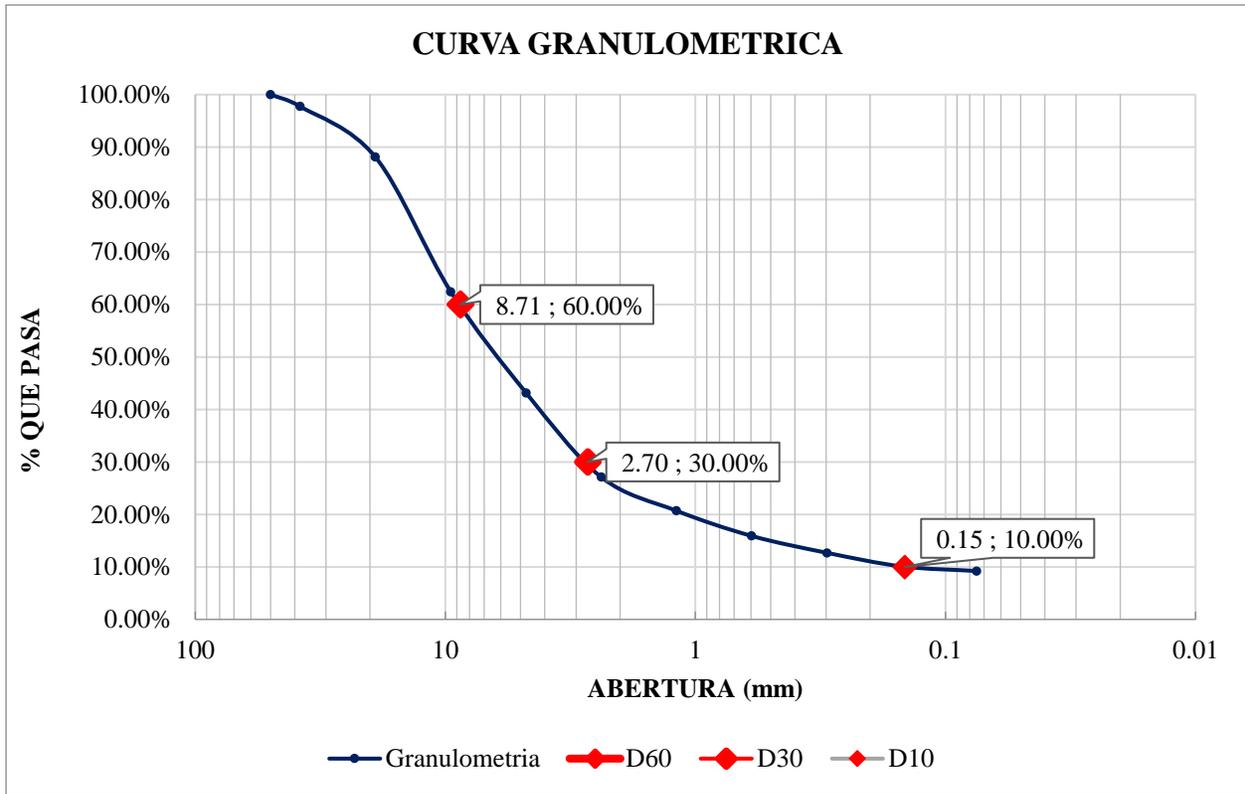
-	Peso del material antes del lavado	4228.62	gr
-	Peso del material después del lavado	3840.56	gr
-	Perdida de material después del lavado	388.06	gr

Tabla 17 Granulometría de la cantera Chihuaco -2

Tamiz N°	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Corrección en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	-	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	95.49	2.49%	0.01%	2.50%	2.27%	2.27%	97.73%
3/4 "	405.53	10.56%	0.04%	10.60%	9.63%	11.90%	88.10%
3/8 "	1,081.47	28.16%	0.12%	28.28%	25.68%	37.58%	62.42%
N° 4	811.26	21.12%	0.09%	21.21%	19.27%	56.85%	43.15%
N° 8	675.29	17.58%	0.07%	17.66%	16.04%	72.89%	27.11%
N° 16	270.15	7.03%	0.03%	7.06%	6.42%	79.30%	20.70%
N° 30	202.10	5.26%	0.02%	5.28%	4.80%	84.10%	15.90%
N° 50	135.53	3.53%	0.02%	3.54%	3.22%	87.32%	12.68%
N° 100	108.92	2.84%	0.01%	2.85%	2.59%	89.91%	10.09%
N° 200	36.52	0.95%	0.00%	0.95%	0.87%	90.77%	9.23%
Cazuela	2.03	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	90.82%	
Lavado	388.06				9.18%	100.00%	
Material ensayado	3,824.29	99.58%		100.00%	90.82%		
Peso total (gr)	4,212.35	% Error	0.42%		100.00%		

Nota. Se observa la distribución granulométrica correspondiente a la segunda muestra de la cantera Chihuaco Fuente: Elaboración propia

Grafica 4 Curva Granulométrica cantera Chihuaco - 2



Nota. Se utilizó la serie de tamices indicados en la norma y en la tabla anterior. Fuente: Elaboración propia

De la curva granulométrica hallada se obtiene los siguientes datos:

$$D60\% = 8.71 \text{ mm}, \quad D30\% = 2.70 \text{ mm}, \quad D10\% = 0.15 \text{ mm}$$

Con los valores hallados se calcula el coeficiente de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c).

$$C_u = 59.91, \quad C_c = 5.74$$

Resultados del límite Líquido

El ensayo de Límite líquido se realizó según indica la normativa, tomando 4 muestras y analizando las humedades de cada una de estas, posteriormente se realiza una recta de regresión logarítmica, se detalla en las siguientes tablas.

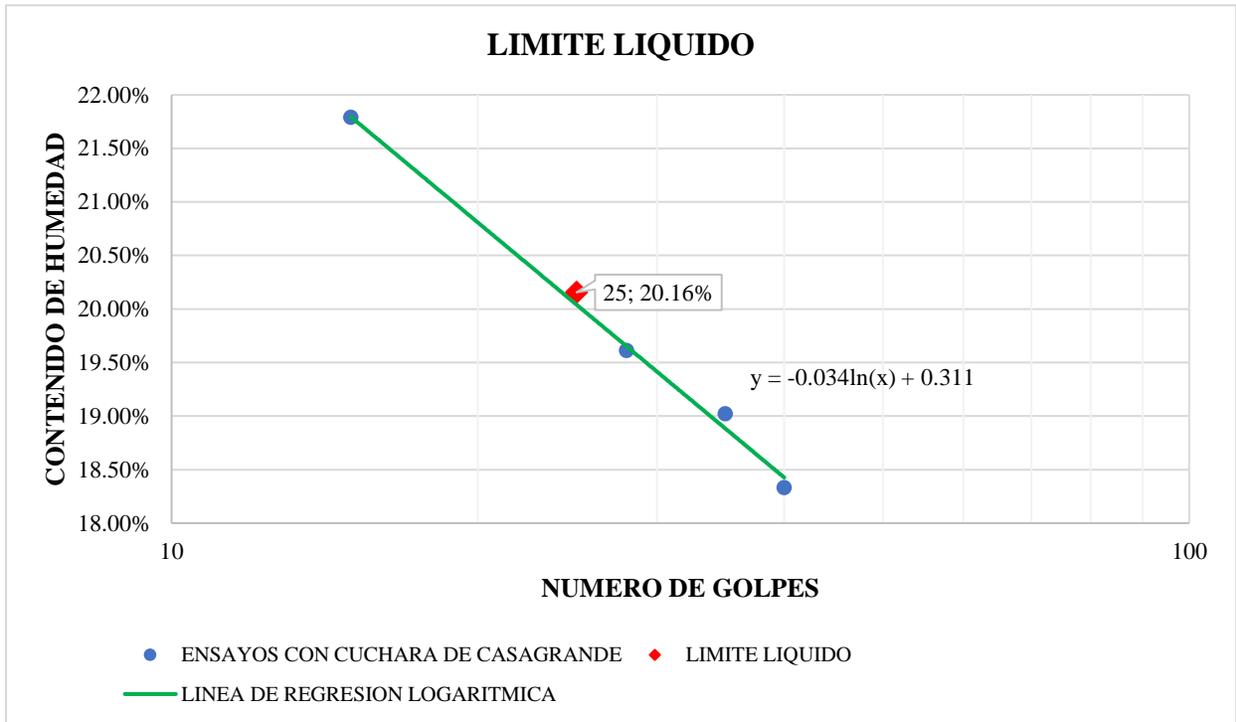
Cantera Chumo

Tabla 18 *Contenido de Humedad para Límite Líquido Cantera Chumo*

DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	M4
NÚMERO DE GOLPES	40	35	28	15
Peso de Capsula (gr)	57.13	57.9	55.93	57.24
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	74.3	71.04	70.14	71.38
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	71.64	68.94	67.81	68.85
Peso del Agua (gr)	2.66	2.1	2.33	2.53
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.51	11.04	11.88	11.61
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.33%	19.02%	19.61%	21.79%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 5 *Limite Liquido Cantera Chumo*



Nota. Fuente: Elaboración propia

Calculada la recta de regresión logarítmica, se hace uso de esta para el cálculo del porcentaje de humedad con la cual se logra 25 golpes. Esta cantidad de golpes determina la consistencia del suelo cuando este pasa de un estado plástico a líquido.

$$LL = -0.034 \ln(x) + 0.311, \quad x = 25 \text{ golpes}$$

$$LL = 20.16 \%$$

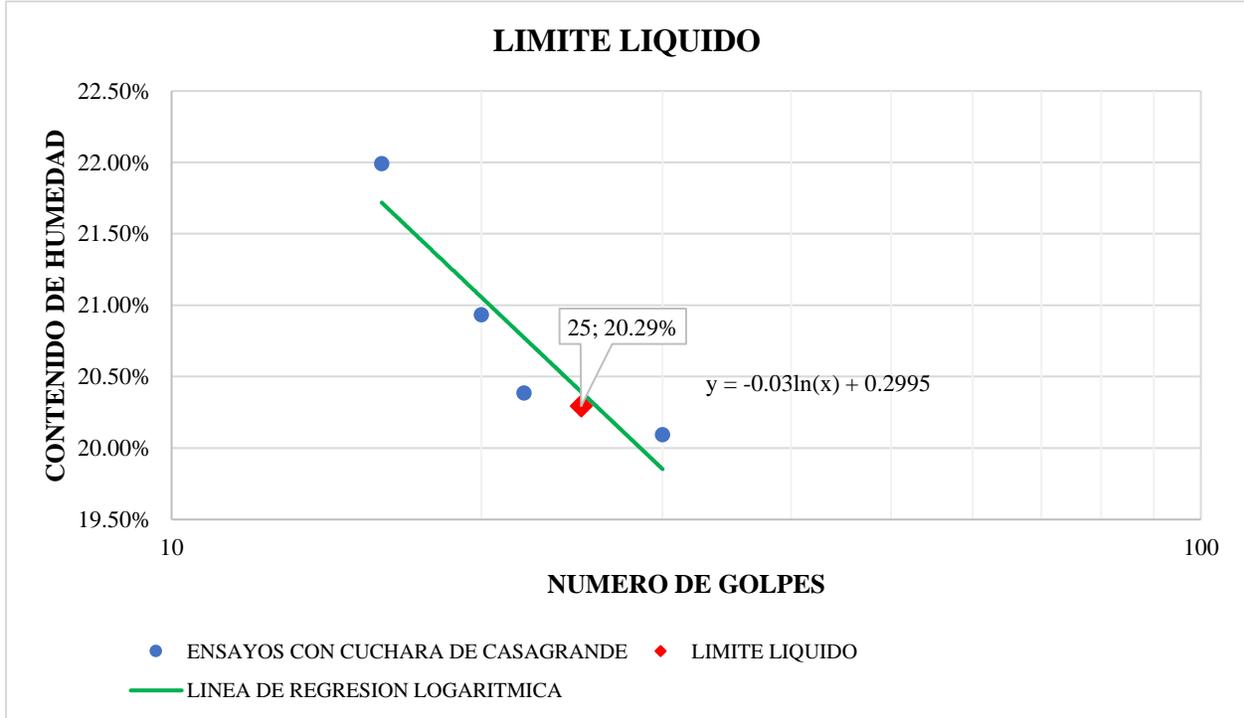
Cantera Chihuaco

Tabla 19 Contenido de Humedad para Limite Liquido Chihuaco

DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	M4
NÚMERO DE GOLPES	30	22	20	16
Peso de Capsula (gr)	59.19	62.51	43.82	53.87
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	72.1	74.38	56.01	66.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.94	72.37	53.9	63.92
Peso del Agua (gr)	2.16	2.01	2.11	2.21
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.75	9.86	10.08	10.05
CONTENIDO DE HUMEDAD	20.09%	20.39%	20.93%	21.99%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 6 Limite Liquido Cantera Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

Se calcula la recta de regresión logarítmica

$$LL = -0.03 \ln(x) + 0.2995, \quad x = 25 \text{ golpes}$$

$$LL = 20.29 \%$$

Resultados del Limite Plástico e índice de plasticidad

El ensayo de Limite plástico se realizó según indica la normativa, tomando 2 muestras y analizando las humedades de cada una de estas, se detalla en las siguientes tablas.

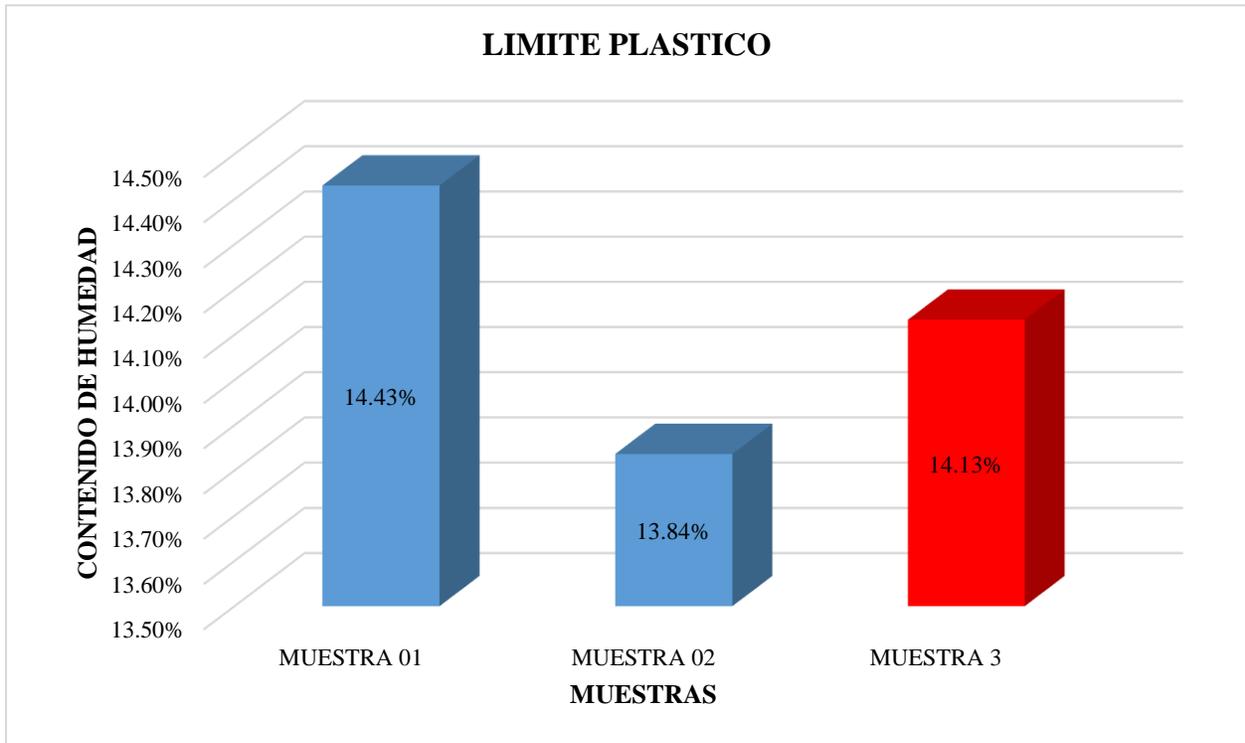
Cantera Chumo

Tabla 20 *Contenido de Humedad para Limite Plástico Cantera Chumo*

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	21.66	22.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.18	25.62
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.61	25.18
Peso del Agua (gr)	0.57	0.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.95	3.18
CONTENIDO DE HUMEDAD	14.43%	13.84%
PROMEDIO	14.13%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 7 Limite Plástico Cantera Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Calculado el límite líquido y plástico se procede al cálculo del índice de plasticidad que es el resultado de la diferencia de ambos.

$$IP = 6.02 \%$$

Cantera Chihuaco

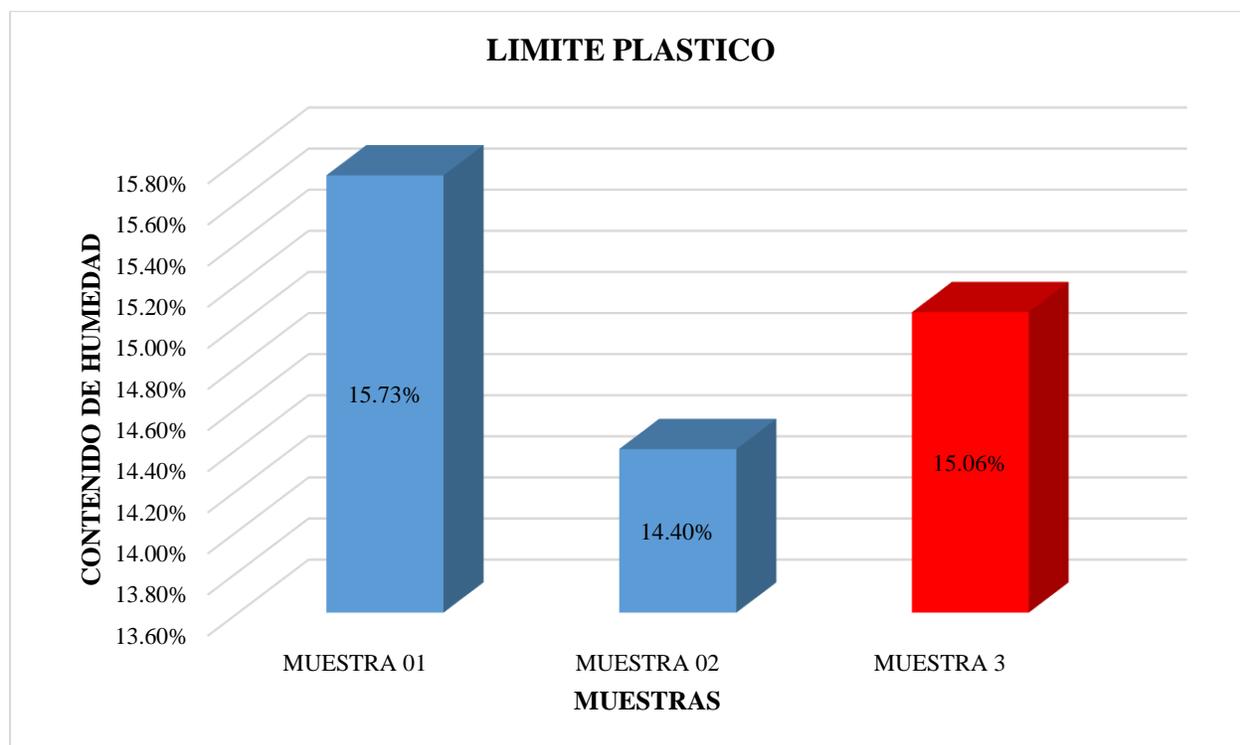
Tabla 21 Contenido de Humedad para Limite Plástico Cantera Chumo

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	22.5	21.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27.43	26.25
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	26.76	25.69
Peso del Agua (gr)	0.67	0.56

Peso de la Muestra Seca (gr)	4.26	3.89
CONTENIDO DE HUMEDAD	15.73%	14.40%
PROMEDIO	15.06%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 8 Limite Plástico Cantera Chihuahua



Nota. Fuente: Elaboración propia

Calculado el límite líquido y plástico se procede al cálculo del índice de plasticidad que es el resultado de la diferencia de ambos.

$$IP = 5.23 \%$$

Resultados de la clasificación del suelo

Calculado los coeficientes de curvatura (Cc) y uniformidad (Cu) resultados del análisis granulométrico de cada una de las canteras. Así como el índice de plasticidad. Se puede clasificar el tipo de suelo al que pertenece cada cantera de ensayo.

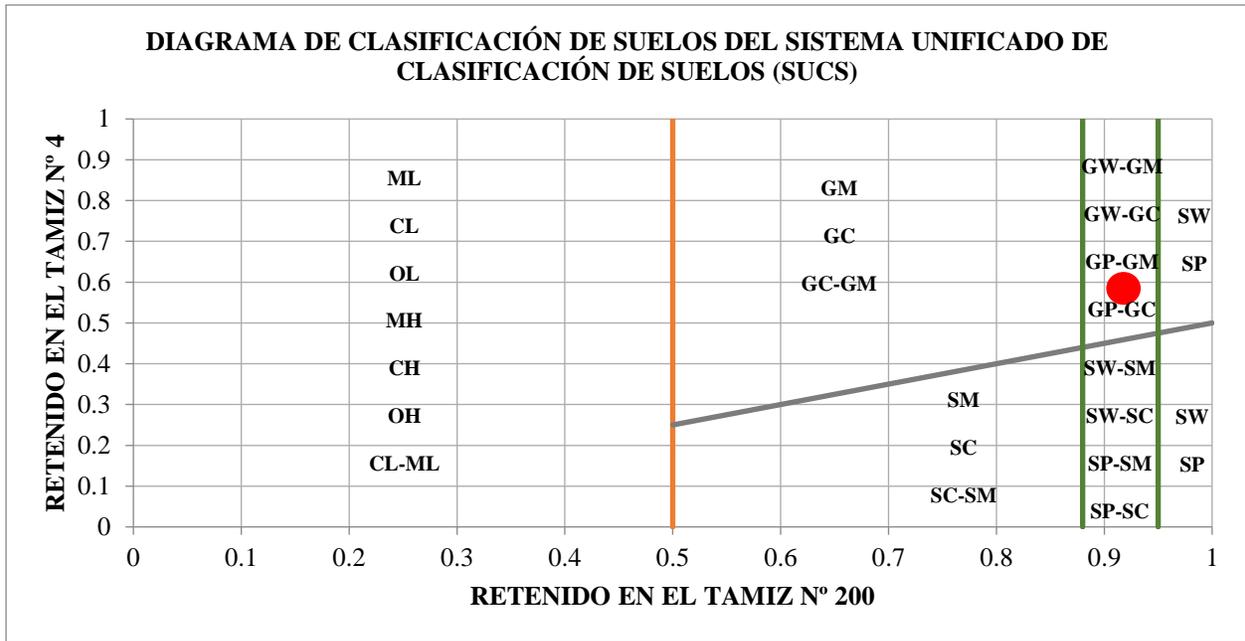
Cantera Chumo (SUCS)

Tabla 22 *Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia*

Datos para la Clasificación	
% de Gruesos =	91.11%
% de Finos =	8.89%
Total =	100.00%
<hr/>	
% de Grava =	64.56%
% de Arena =	26.55%
Total =	91.11%
<hr/>	
Fracción Gruesa	
% de Grava =	70.86%
% de Arena =	29.14%
Total =	100.00%
<hr/>	
Coefficientes	
Cu =	77.85
Cc =	5.19
<hr/>	
Límites de Consistencia	
LL =	20.16%
LP =	14.13%
IP =	6.02%

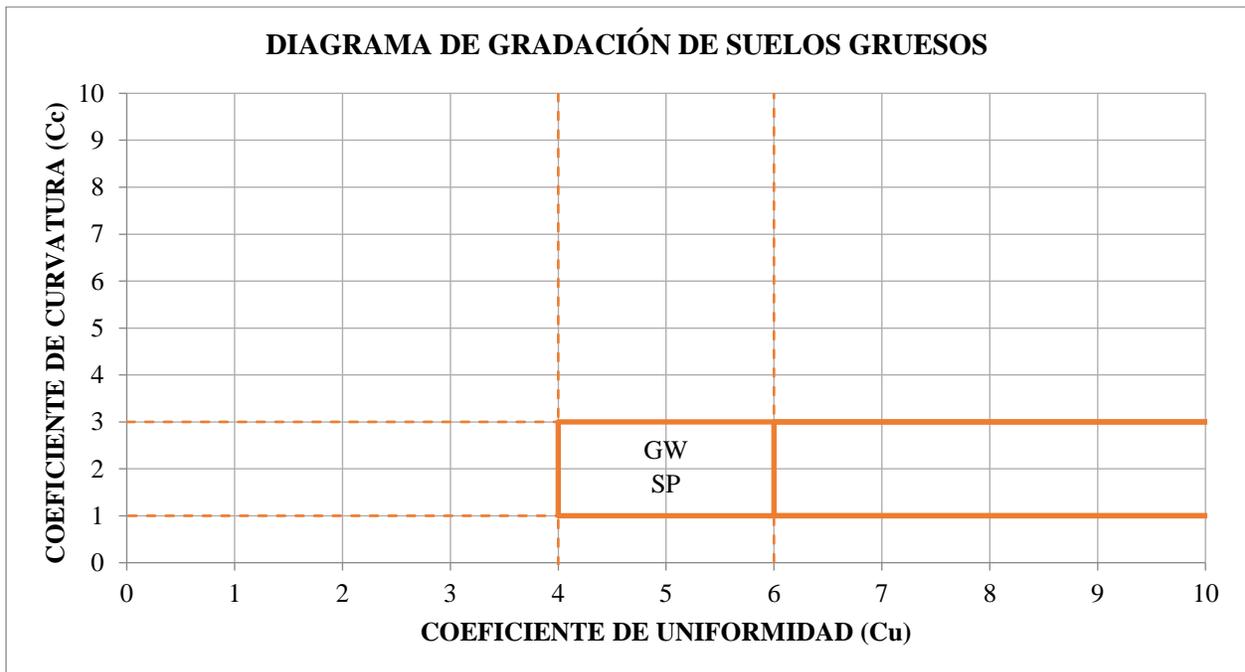
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 9 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método SUCS - Chumo



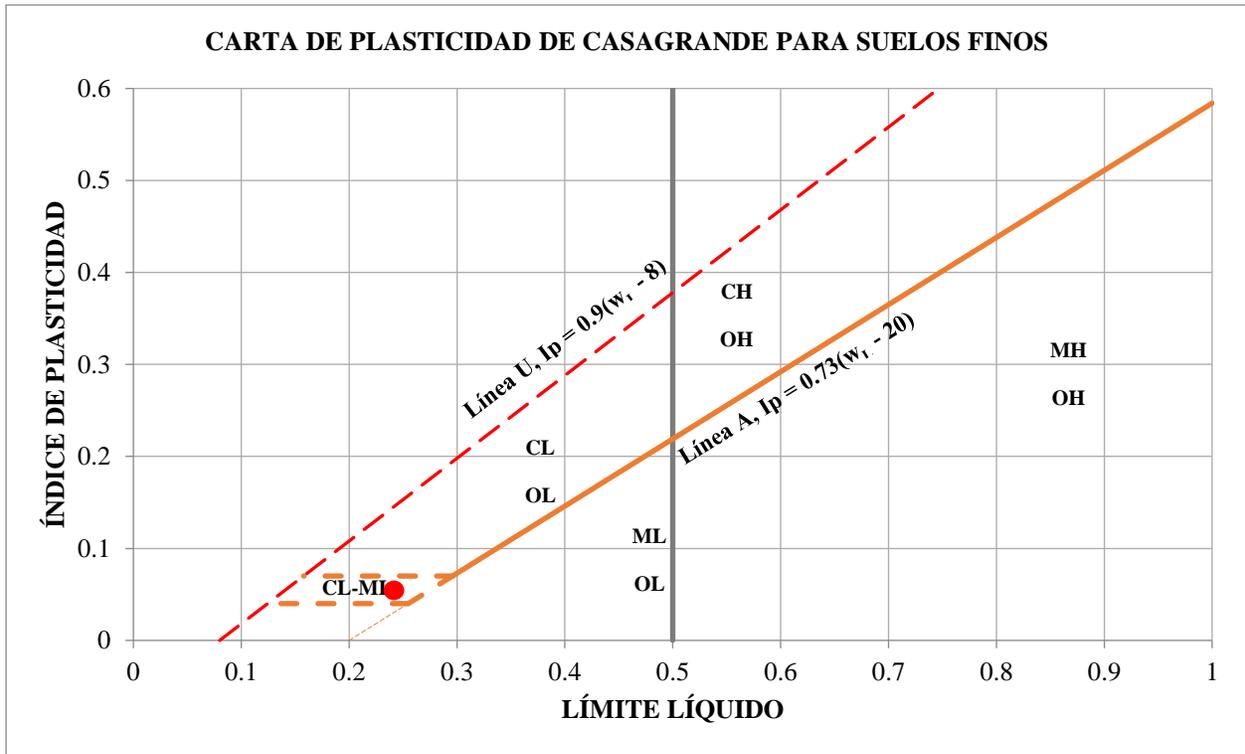
Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 10 Diagrama de gradación - Chumo



Nota: Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 11 Carta de plasticidad SUCS - Chumo



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Ubicando los datos calculados en las gráficas de clasificación de suelos se tiene un tipo de suelo según la clasificación SUCS de GP – GC = Grava mal graduada con presencia de limo y arcilla.

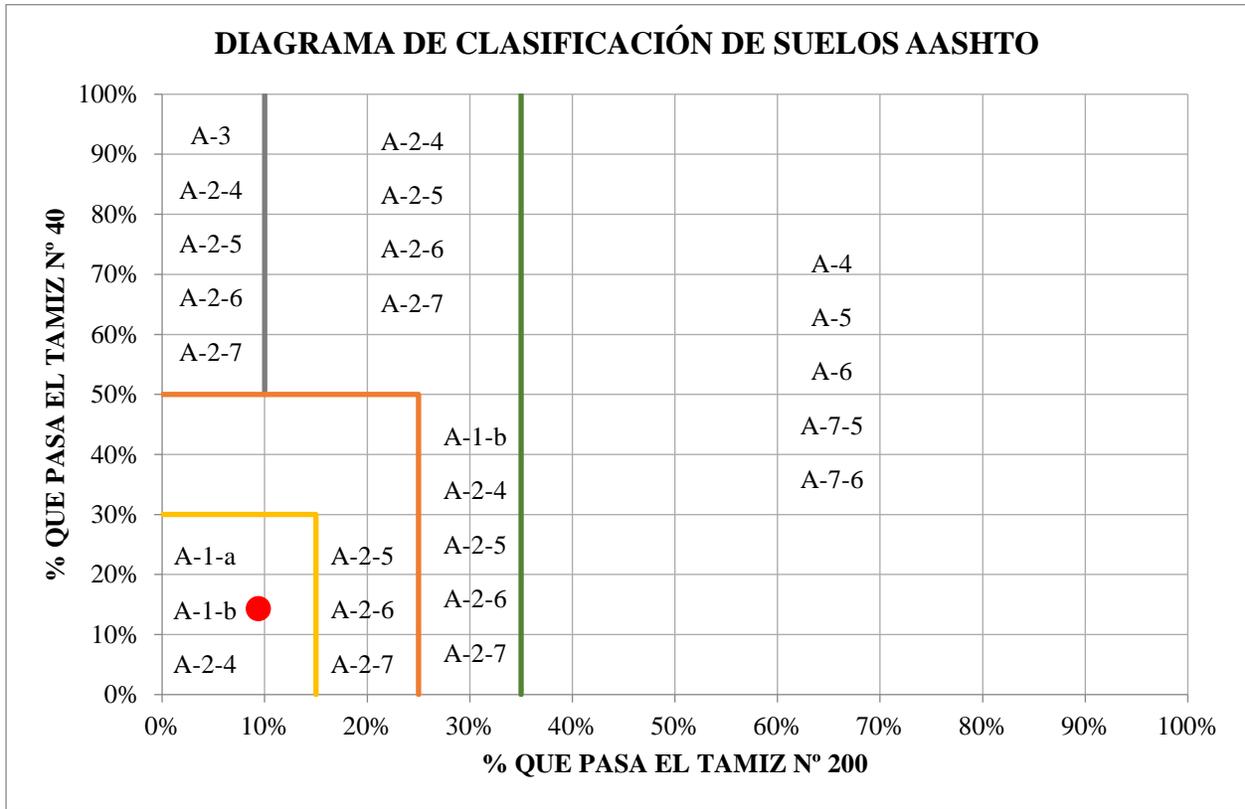
Cantera Chumo (AASHTO)

Tabla 23 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia

Datos para la Clasificación	
% Pasa el tamiz N° 40 =	14.286%
% Pasa el tamiz N° 200 =	8.89%
Límites de Consistencia	
LL =	20.16%
LP =	14.13%
IP =	6.02%

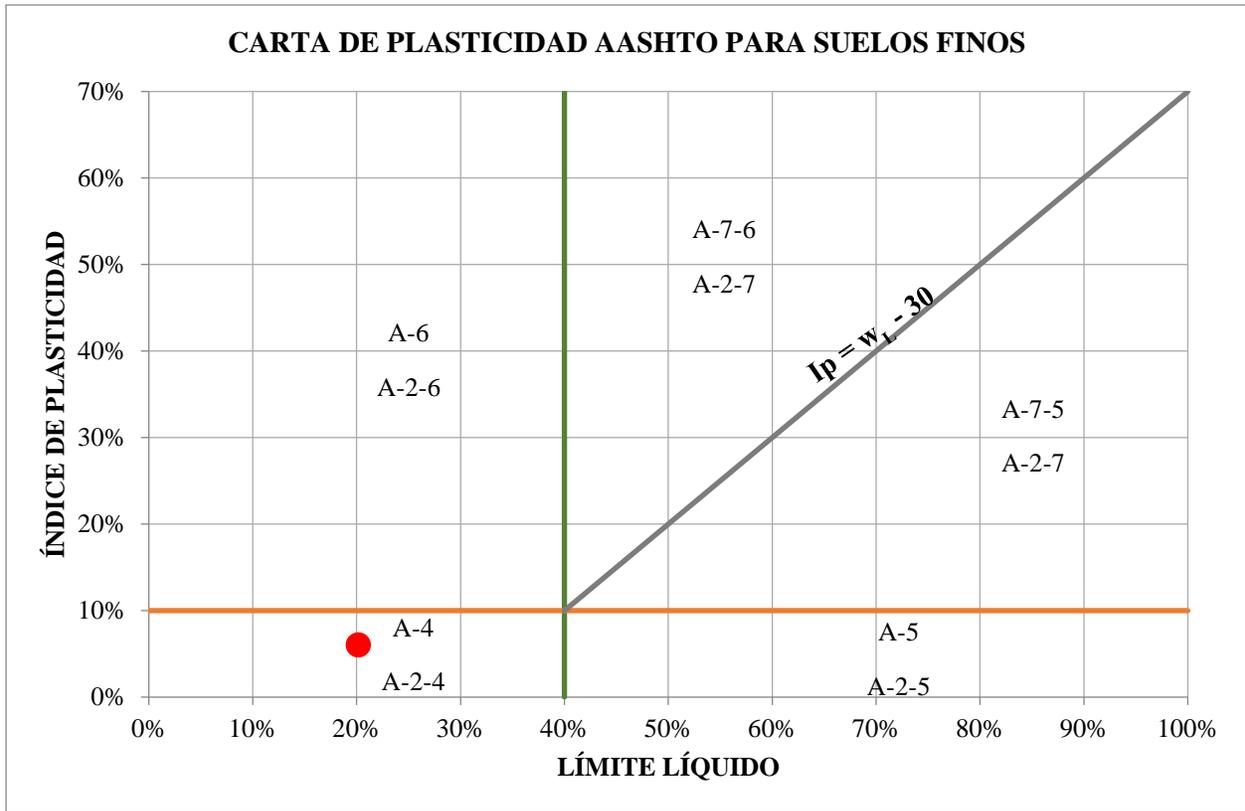
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 12 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método AASHTO - Chumo



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 13 Carta de plasticidad AASHTO - Chumo



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Ubicando los datos calculados en las gráficas de clasificación de suelos se tiene un tipo de suelo según la clasificación AASHTO de A-2-4 = Materiales granulares con partículas finas limosas.

Cantera Chihuaco (SUCS)

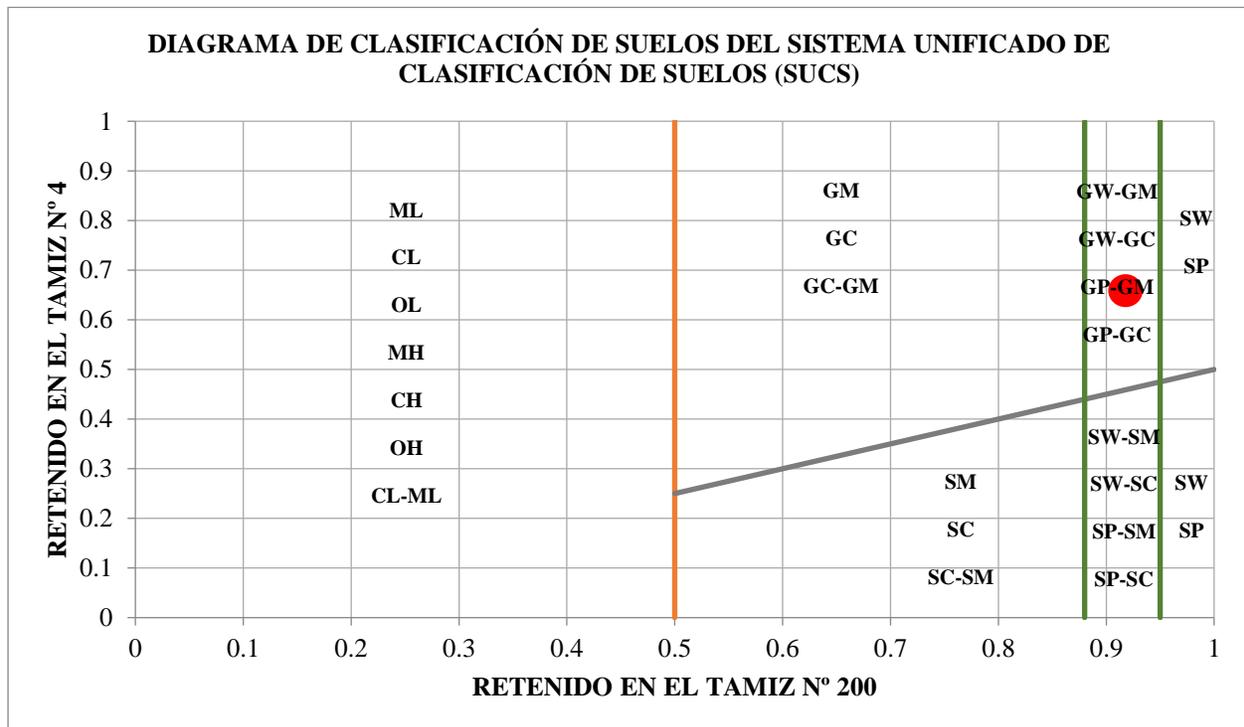
Tabla 24 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia

Datos para la Clasificación	
% de Gruesos =	90.61%
% de Finos =	9.39%
Total =	100.00%
% de Grava =	55.89%
% de Arena =	34.72%

Total =	90.61%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	61.68%
% de Arena =	38.32%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	70.84
Cc =	5.75
Límites de Consistencia	
LL =	20.29%
LP =	15.06%
IP =	5.23%

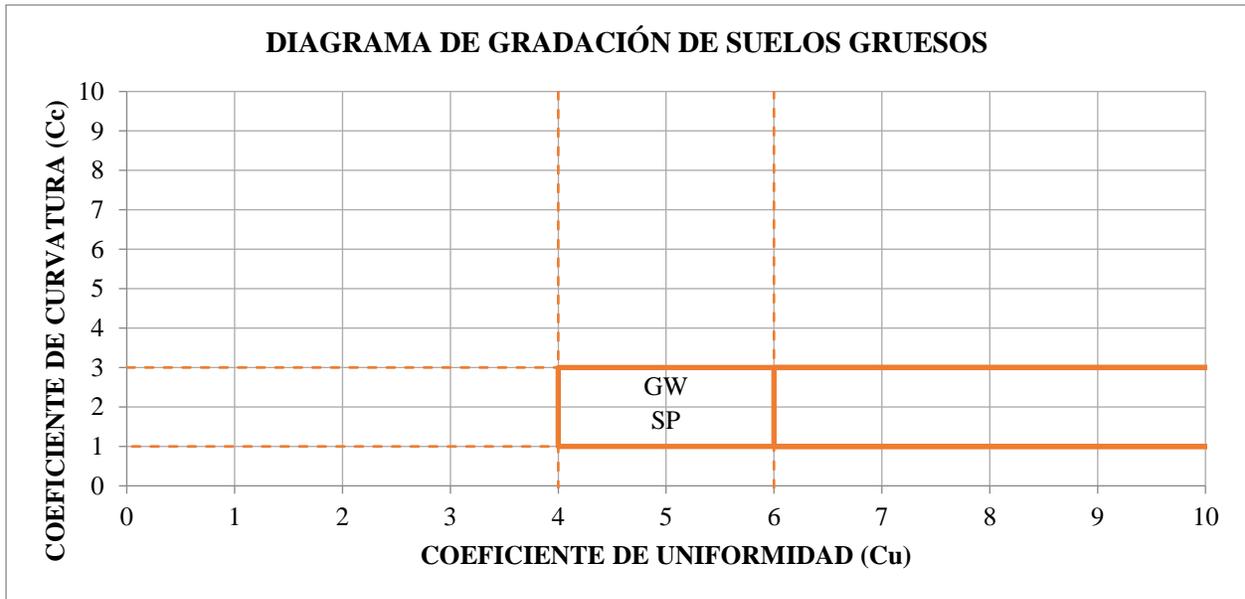
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 14 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método SUCS - Chihuahua



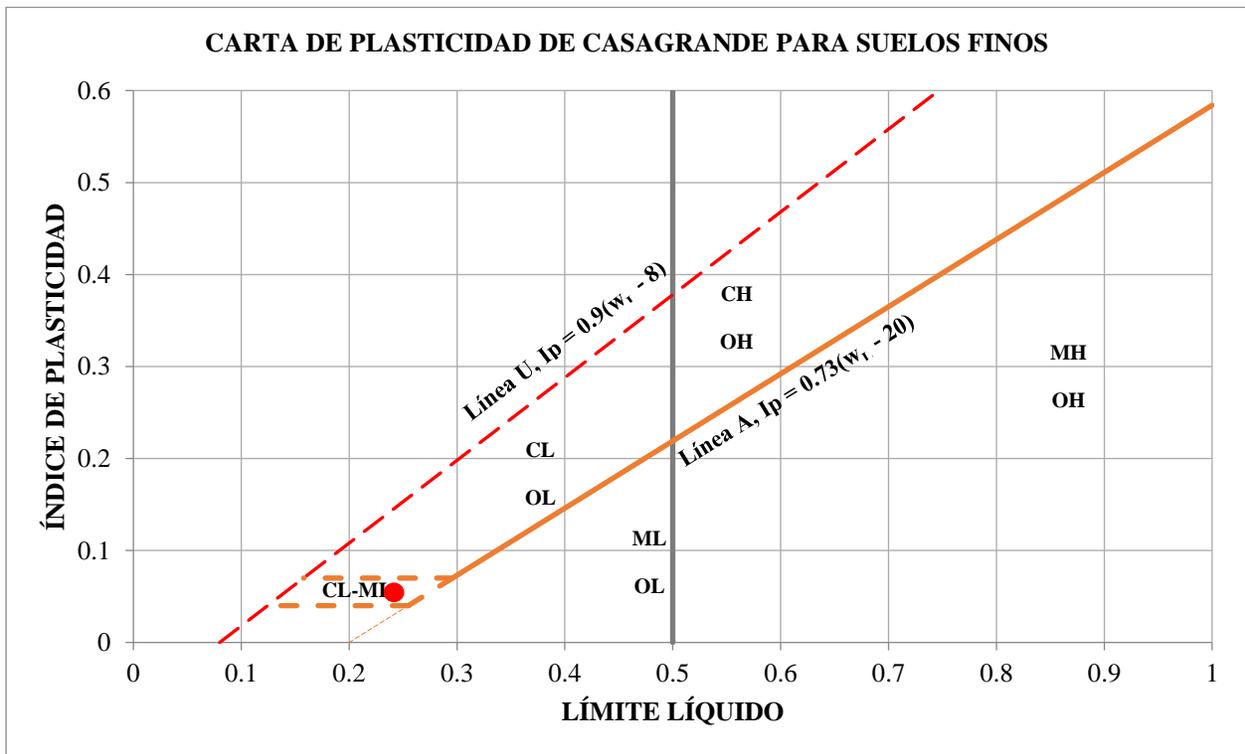
Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 15 Diagrama de gradación - Chihuahua



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 16 Carta de plasticidad SUCS - Chihuahua



Nota: Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Ubicando los datos calculados en las gráficas de clasificación de suelos se tiene un tipo de suelo según la clasificación SUCS de GP – GC = Grava mal graduada con presencia de limo y arcilla.

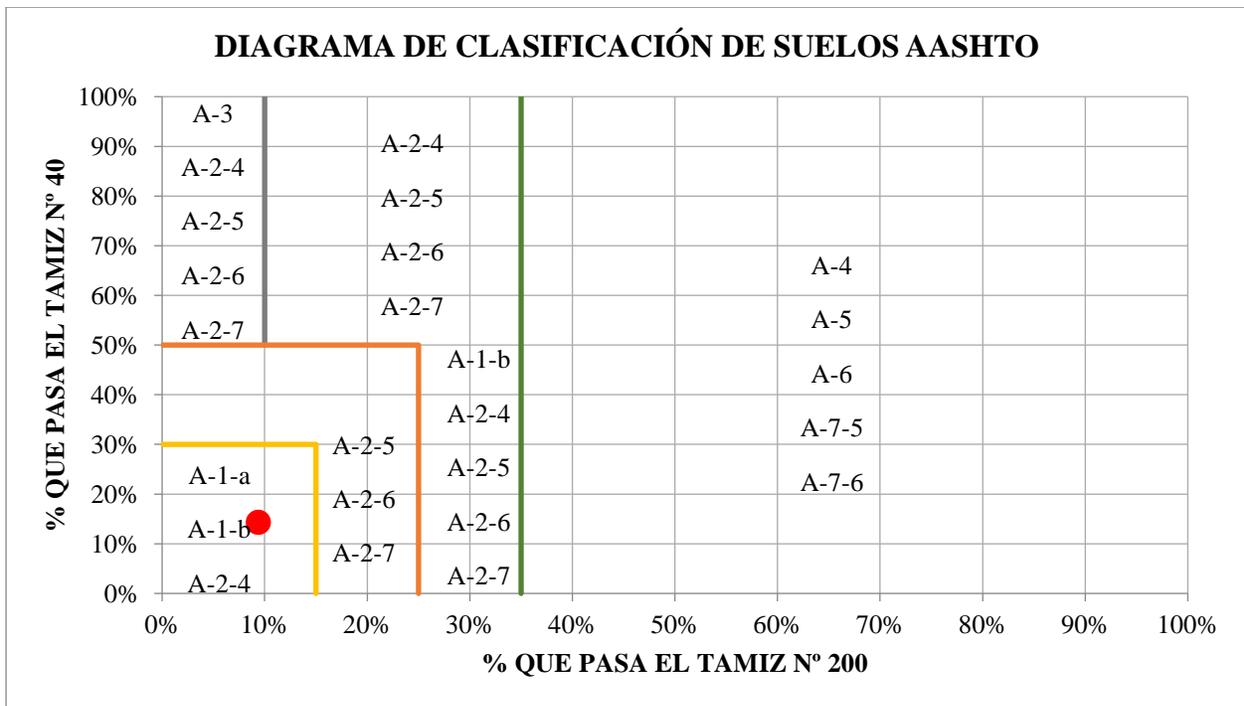
Cantera Chihuaco (AASHTO)

Tabla 25 Recolección de datos de granulometría y límites de Consistencia

Datos para la Clasificación	
% Pasa el tamiz N° 40 =	13.593%
% Pasa el tamiz N° 200 =	9.39%
Límites de Consistencia	
LL =	20.29%
LP =	15.06%
IP =	5.23%

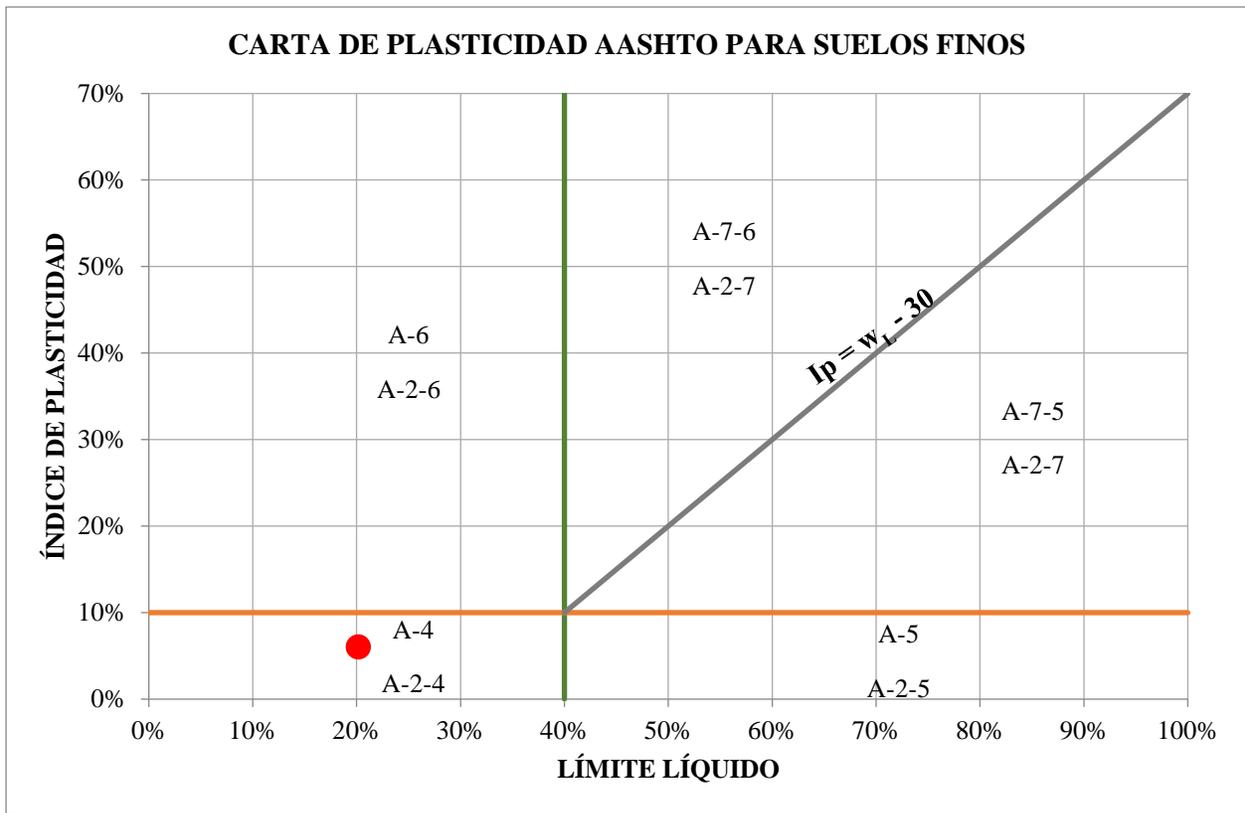
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 17 Diagrama de clasificación de suelos mediante el método AASHTO - Chihuaco



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Grafica 18 Carta de plasticidad AASHTO - Chihuaco



Nota. Fuente: Adaptado de (Bowles, 1996)

Ubicando los datos calculados en las gráficas de clasificación de suelos se tiene un tipo de suelo según la clasificación AASHTO de A-2-4 = Materiales granulares con partículas finas limosas.

Gravedad específica de los agregados

Cantera Chumo

De la curva granulométrica el porcentaje de grava es 71.10 % y el de agregado fino 28.90%, este dato es necesario para el cálculo de la gravedad específica de los agregados. Se detalla en las siguientes tablas.

Tabla 26 Gravedad específica agregado grueso - Chumo

AGREGADO GRUESO	M1	M2	M3
Peso del material sat. Y sup. seco	1,244.72	1,178.80	1,206.63
Peso al aire del material seco al horno	1,203.81	1,156.13	1,174.05
Peso del material sumergido	790.390	739.120	751.290
Gravedad Especifica	2.650	2.629	2.578
PROMEDIO	2.619		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Gravedad específica agregado fino - Chumo

AGREGADO FINO	M1	M2	M3
Masa de la muestra seca al horno	294.12	294.73	295.34
Masa del picnómetro llenado con agua	675.8	675.8	675.8
Masa del picnómetro llenado con la muestra + agua	864.69	864.02	863.35
Masa de la muestra sss	305.1	305.08	305.12
Gravedad Especifica	2.531	2.522	2.512
PROMEDIO	2.522		

Nota. Fuente: Elaboración propia

La gravedad específica de los agregados se calcula mediante la siguiente fórmula, utilizando las gravedades específicas de los agregados gruesos y finos, así como el porcentaje de grava y fino extraído de la curva granulométrica.

$$G_{sb} = \frac{71.10\% + 28.90\%}{\frac{71.10\%}{2.619} + \frac{28.90\%}{2.522}}$$

$$G_{sb} = 2.59$$

Cantera Chihuaco

De la curva granulométrica el porcentaje de grava es 62.15% y el de agregado fino 37.85%, este dato es necesario para el cálculo de la gravedad específica de los agregados. Se detalla en las siguientes tablas.

Tabla 28 *Gravedad específica agregado grueso - Chihuaco*

AGREGADO GRUESO	M1	M2	M3
Peso del material sat. Y sup. seco	1,289.56	1,221.08	1,236.39
Peso al aire del material seco al horno	1,251.12	1,194.56	1,211.83
Peso del material sumergido	793.520	748.360	745.860
Gravedad Especifica	2.522	2.527	2.470
PROMEDIO	2.507		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 *Gravedad específica agregado fino - Chihuaco*

AGREGADO FINO	M1	M2	M3
Masa de la muestra seca al horno	293.9	294.59	294.52
Masa del picnómetro llenado con agua	675.8	675.8	675.8
Masa del picnómetro llenado con la muestra + agua	841.76	842.1	842.93
Masa de la muestra sss	300.06	300.1	300.12
Gravedad Especifica	2.192	2.202	2.215
PROMEDIO	2.203		

Nota. Fuente: Elaboración propia

La gravedad específica de los agregados se calcula mediante la siguiente fórmula, utilizando las gravedades específicas de los agregados gruesos y finos, así como el porcentaje de grava y fino extraído de la curva granulométrica.

$$Gsb = \frac{62.15\% + 37.85\%}{\frac{62.15\%}{2.507} + \frac{37.85\%}{2.203}}$$

$$Gsb = 2.38$$

Equivalente de Arena

Cantera Chumo

De los datos obtenidos, del ensayo de equivalente de arena (MTC E 114) para la cantera de chumo se tiene:

Tabla 30 *Equivalente de Arena Cantera de Chumo*

N° DE ENSAYO		1	2
Tamaño máximo (pasa tamiz N° 04)	mm	4.76	4.76
Hora de entrada a saturación		09:30	10:30
Hora de salida de saturación (+ 10')		09:40	10:40
Hora de entrada de decantación		09:42	10:32
Hora de salida de decantación (+ 20')		10:02	10:52
Altura máxima de material fino	mm	132	137
Altura máxima de arena	mm	62	64
Equivalente de arena	%	46.97%	46.72%

Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se tiene un Equivalente de Arena promedio de 46.84% para la cantera de Chumo

Cantera Chihuaco

De los datos obtenidos, del ensayo de equivalente de arena (MTC E 114) para la cantera de Chihuaco se tiene:

Tabla 31 *Equivalente de Arena Cantera de Chihuaco*

N° DE ENSAYO		1	2
Tamaño máximo (pasa tamiz N° 04)	mm	4.76	4.76
Hora de entrada a saturación		09:30	10:30
Hora de salida de saturación (+ 10')		09:40	10:40
Hora de entrada de decantación		09:42	10:32
Hora de salida de decantación (+ 20')		10:02	10:52
Altura máxima de material fino	mm	135	138
Altura máxima de arena	mm	50	48
Equivalente de arena	%	37.04%	34.78%

Nota: Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se tiene un Equivalente de Arena promedio de 35.91% para la cantera de Chihuaco.

Abrasión a los Ángeles

Cantera Chumo

De los datos obtenidos, del ensayo de abrasi3n a los 3ngeles (MTC E 207) se tiene:

Tabla 32 *Abrasi3n de Cantera de Chumo*

DATOS		GRADACION A		
		ENSAYO NUMERO		
		1	2	3
Peso total	g	5002.27	5002.75	5002.07

Peso después del ensayo retenido malla N° 12	g	3026	3018.97	3035.55
Peso obtenido	g	1976.27	1983.78	1966.52
N° de esferas	N°	12	12	12
Peso de las esferas	g	4680	4680	4680
Porcentaje obtenido	%	39.51%	39.65%	39.31%
Porcentaje obtenido	%		39.49%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se tiene una abrasión a los ángeles promedio de 39.49% para la cantera de Chumo.

Cantera Chihuaco

De los datos obtenidos, del ensayo de abrasión a los ángeles (MTC E 207) se tiene:

Tabla 33 *Abrasión de la Cantera de Chihuaco*

DATOS		GRADACION A		
		ENSAYO NUMERO		
		1	2	3
Peso total	g	5003	5001.2	5004.05
Peso después del ensayo retenido malla N° 12	g	3154	3155.53495	3131.80126
Peso obtenido	g	1849	1845.66505	1872.24874
N° de esferas	N°	12	12	12
Peso de las esferas	g	4680	4680	4680
Porcentaje obtenido	%	36.96%	36.90%	37.41%
Porcentaje obtenido	%		37.09%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos obtenidos se tiene un Equivalente de Arena promedio de 37.09% para la cantera de Chihuaco.

Resultados del Proctor Modificado y Relaciones Humedad-Densidad Suelo-Cemento

Se tienen los resultados hallados en función de la densidad seca máxima y el contenido de humedad para cada una de las canteras estudiadas.

Tabla 34 Datos del ensayo Proctor modificado cantera Chumo

Chumo	N° de muestra	1	2	3	4
Sin adición	Contenido de humedad (%)	5.04	6.32	7.98	10.26
	Densidad seca (gr/cm ³)	2.07	2.18	2.19	2.04

Nota. Se incluye el ensayo de Proctor modificado de la cantera de Chumo, Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Datos del ensayo Proctor modificado cantera Chihuaco

Chihuaco	N°de muestra	1	2	3	4
Sin adición	Contenido de humedad (%)	4.54	7.06	8.86	10.54
	Densidad seca (gr/cm ³)	2.04	2.19	2.15	2.01

Nota. Se incluye el ensayo de Proctor modificado de la cantera de Chihuaco, Fuente: Elaboración propia

También se cuenta con los resultados del ensayo para hallar la humedad optima y la densidad máxima seca respecto indicada en el MTC E 1102.

Tabla 36 Datos del ensayo MTC E 1103 Suelo - Cemento de la cantera de Chumo

Chumo	N°de muestra	1	2	3	4
1.00%	Contenido de humedad (%)	3.73	6.27	7.70	9.38
	Densidad seca (gr/cm3)	1.99	2.18	2.20	2.01
3.00%	Contenido de humedad (%)	4.20	6.57	7.61	9.32
	Densidad seca (gr/cm3)	2.05	2.20	2.20	2.08
5.00%	Contenido de humedad (%)	4.70	6.58	8.06	9.69
	Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.20	2.19	2.07
7.00%	Contenido de humedad (%)	4.77	6.89	8.38	9.68
	Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.19	2.16	2.09

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Datos del ensayo MTC E 1103 Suelo - Cemento de la cantera de Chihuaco

Chihuaco	N°de muestra	1	2	3	4
1.00%	Contenido de humedad (%)	3.79	6.68	8.31	9.23
	Densidad seca (gr/cm3)	1.89	2.17	2.16	2.12
3.00%	Contenido de humedad (%)	4.85	7.23	9.54	11.63
	Densidad seca (gr/cm3)	2.01	2.19	2.14	1.99
5.00%	Contenido de humedad (%)	5.41	7.24	8.71	9.90
	Densidad seca (gr/cm3)	2.07	2.19	2.16	2.03
7.00%	Contenido de humedad (%)	4.17	7.42	8.73	9.82
	Densidad seca (gr/cm3)	2.07	2.18	2.16	2.07

Nota. Fuente: Elaboración propia

Resultados Obtenidos del Ensayo CBR en el Material Granular

Para analizar los datos obtenidos mediante el ensayo CBR, y como se menciona en el manual de ensayo de materiales del MTC, se hizo el análisis para 3 muestras de cada una de las canteras.

Cantera Chumo

Para la cantera de Chumo se tiene los siguientes datos hallados por el ensayo de Proctor modificado:

Tabla 38 Humedad Optima y Máxima Densidad Seca de la cantera de Chumo

DATOS PROCTOR MODIFICADO	
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	: 2.206
Optimo Contenido de Humedad (%)	: 7.26%
95 % Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	: 2.0957

Nota. Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se realizaron un total de 3 ensayos para determinar el CBR al 100% y al 95% de la MDS.

Tabla 39 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 01 cantera de Chumo

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
0.1	70.31	43.17	61.40%	33.47	47.60%	11.65	16.57%
0.2	105.46	86.81	82.32%	58.38	55.35%	18.04	17.11%
PROMEDIO			71.86%		51.48%		16.84%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 40 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 02 cantera de Chumo

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
0.1	70.31	42.07	59.83%	30.38	43.22%	10.77	15.32%
0.2	105.46	85.71	81.27%	60.14	57.03%	17.60	16.69%
PROMEDIO			70.55%		50.12%		16.00%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 41 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 03 cantera de Chumo

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.31	40.74	57.95%	32.37	46.04%	13.19	18.76%
0.2	105.46	82.18	77.93%	59.92	56.82%	20.03	18.99%
PROMEDIO			67.94%		51.43%		18.88%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

De la misma forma se cuentan con los resultados para de Proctor modificado de la cantera de Chihuaco.

Tabla 42 Humedad Optima y Máxima Densidad Seca de la cantera de Chihuaco

DATOS PROCTOR MODIFICADO	
Máxima Densidad Seca (g/cm3)	: 2.192
Optimo Contenido de Humedad (%)	: 7.40%
95 % Máxima Densidad Seca (g/cm3)	: 2.0824

Nota. Fuente: Elaboración propia

Con estos datos se realizaron un total de 3 ensayos para determinar el CBR al 100% y al 95% de la MDS.

Tabla 43 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 01 cantera de Chihuaco

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.31	25.5	36.27%	10.11	14.37%	6.80	9.67%
0.2	105.46	40	37.93%	16.5	15.64%	9.67	9.17%
PROMEDIO			37.10%		15.01%		9.42%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 44 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 02 cantera de Chihuahua

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
0.1	70.31	22.23	31.62%	10.99	15.63%	7.02	9.99%
0.2	105.46	39.64	37.59%	17.6	16.69%	9.23	8.75%
PROMEDIO		34.60%		16.16%		9.37%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 45 Resultados del ensayo CBR para muestra N° 03 cantera de Chihuahua

Penetración	Carga Estándar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm ²	%	kg/cm ²	%	kg/cm ²	%
0.1	70.31	24.21	34.44%	10.11	14.37%	5.7	8.11%
0.2	105.46	40.96	38.84%	18.26	17.32%	9.00	8.54%
PROMEDIO		36.64%		15.85%		8.32%	

Nota. Fuente: Elaboración propia

Resultados del Ensayo de Compresión no Confinada

Sin adición de cemento

Se tienen resultados de las roturas de los ensayos para el material en el cual no se añadió cemento, este será usado para hacer una comparación respecto a la resistencia que adquiere al agregarse cemento. Resaltar que las muestras ensayadas, al no tener un elemento de alta cohesión como es el cemento, tienden a tener una pérdida rápida de finos.

Tabla 46 Resistencia a la compresión de probetas sin adición de cemento de ambas canteras

% CEMENTO	CANTERA	W (%)	CURADO (DIAS)	CARGA (Kg)	F'c (Kg/cm ²)
Sin adición	Chumo	7.03%	7	21.18	2.08

Sin adición	Chihuaco	7.48%	7	20.65	2.03
-------------	----------	-------	---	-------	------

Nota. Fuente: Elaboración propia

Con adición de cemento

Se tienen resultados de las roturas con adición de cemento con proporciones de 1%, 3%, 5% y 7%

Cantera Chumo

Tabla 47 Resistencia a la compresión de probetas suelo cemento cantera Chumo

% CEMENTO	MUESTRA	W (%)	CURADO (DIAS)	CARGA (Kg)	F'c (Kg/cm ²)	F'c (Kg/cm ²) Promedio	F'c min según CE 020 (Kg/cm ²)
1%	M1	7.15%	7	393.21	4.85	5.09	18.00
1%	M2	7.19%	7	432.77	5.34		
3%	M1	7.26%	7	1447.97	17.86	16.47	18.00
3%	M2	7.25%	7	1223.09	15.09		
5%	M1	7.25%	7	1910.81	23.57	23.81	18.00
5%	M2	7.02%	7	1950.21	24.05		
7%	M1	7.21%	7	2680.20	33.06	32.46	18.00
7%	M2	6.91%	7	2582.32	31.85		

Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 48 Resistencia a la compresión de probetas suelo cemento cantera Chihuaco

% CEMENTO	MUESTRA	W (%)	CURADO (DIAS)	CARGA (Kg)	F'c (Kg/cm ²)	F'c (Kg/cm ²) Promedio	F'c min según CE 020 (Kg/cm ²)
1%	M1	7.48%	7	274.03	3.38	3.76	18.00
1%	M2	7.29%	7	335.49	4.14		
3%	M1	7.64%	7	1393.65	17.19	15.73	18.00
3%	M2	7.62%	7	1156.56	14.27		
5%	M1	7.47%	7	1849.77	22.82	22.66	18.00

5%	M2	7.45%	7	1824.68	22.51		
7%	M1	7.24%	7	2495.43	30.78	29.84	18.00
7%	M2	7.57%	7	2343.67	28.91		

Nota. Fuente: Elaboración propia

De las cuales se tiene que con el material mejorado con 5% de cemento de ambas canteras cumple con lo mínimo exigido en la norma CE.020 que nos indica una resistencia mínima a la compresión de 18 kg/cm² a los 7 días de curado.

Resultados del Ensayo de Humedecimiento y secado

Como se tiene, que los resultados mínimos requeridos de compresión a los 7 días, son satisfechos con una mezcla suelo cemento del 5% para ambas canteras, por lo cual se realizaron los ensayos para dicho porcentaje de cemento.

Cantera Chumo

Para la cantera de Chumo se tienen los datos del espécimen N° 01 y N°02, en el cual detalla los 12 ciclos de humedecimiento y secado, el cual consta de 5 horas de sumergido, y 42 horas de secado al horno. Solo para el espécimen N°02, se realizó el raspado.

Para el espécimen N° 01, donde se tiene el volumen de moldeo de 943.69 cm³, el cual usaremos para hallar la relación de volumen de cada ciclo respecto al volumen de moldeo.

Tabla 49 Variación de volumen respecto al Volumen del espécimen N° 01 cantera de Chumo

CICLO	VOLUMEN (cm3)	% DE PERDIDA RESPECTO AL VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN N°01 (%)
1	936.25	0.79%
2	934.79	0.94%
3	933.33	1.10%
4	931.48	1.29%
5	931.22	1.32%
6	929.11	1.55%
7	926.74	1.80%
8	925.28	1.95%
9	922.92	2.20%
10	919.38	2.58%
11	918.20	2.70%
12	916.11	2.92%

Nota. Fuente: Elaboración propia

De esta se aprecia que el cambio de volumen Máximo es de 2.92%.

Para el caso del espécimen N° 02, se tiene:

Tabla 50 Resultado de las pérdidas Suelo cemento al raspado durante 12 ciclos cantera de Chumo

Ciclo	Fecha	PSr gr
1	17/07/2024	1963.13
2	19/07/2024	1958.94
3	22/07/2024	1956.28
4	24/07/2024	1948.15
5	26/07/2024	1936.99
6	30/07/2024	1935.35
7	01/08/2024	1930.98
8	05/08/2024	1928.28
9	07/08/2024	1925.37
10	09/08/2024	1924.78
11	12/08/2024	1918.22
12	14/08/2024	1905.15

Nota. PSr: Peso seca Raspado Fuente: Elaboración propia

Tabla 51 Pérdida de Suelo Cemento cantera de Chumo

Peso seco Inicial	=	1966.13	gr
Peso Seco Raspado Final	=	1905.15	gr
Peso seco Raspado Final corregido	=	1858.68	gr
Pérdida Suelo Cemento	=	5.46	%

Nota. Para hallar el peso seco corregido, se hace una división entre 1.025, este último es el factor usado para suelo tipo A-2, según la norma MTC E 1104. Fuente: Elaboración propia

Se puede verificar que está pérdida obtenida para la cantera de Chumo es 5.46% la cual es menor al establecido en la CE.020 y EG – 2013, para el tipo de suelo A-2-4, acepta una pérdida máxima de 14.00%.

Cantera Chihuaco

Para la cantera de Chihuaco se tienen los datos del espécimen N° 01 y N°02, en el cual detalla los 12 ciclos de humedecimiento y secado, el cual consta de 5 horas de sumergido, y 42 horas de secado al horno. Solo para el espécimen N°02, se realizó el raspado.

Para el espécimen N° 01, donde se tiene el volumen de moldeo de 943.69 cm³, el cual usaremos para hallar la relación de volumen de cada ciclo respecto al volumen de moldeo.

Tabla 52 Variación de volumen respecto al Volumen del espécimen N° 01 cantera de Chihuaco

CICLO	VOLUMEN (cm ³)	% DE PERDIDA RESPECTO AL VOLUMEN DEL ESPÉCIMEN N°01 (%)
1	938.52	0.55%
2	935.86	0.83%
3	932.55	1.18%
4	928.99	1.56%
5	926.62	1.81%
6	925.55	1.92%
7	924.37	2.05%
8	921.09	2.40%
9	920.56	2.45%

10	918.20	2.70%
11	916.49	2.88%
12	915.05	3.03%

Nota. Fuente: Elaboración propia

De esta se aprecia que el cambio de volumen Máximo es de 3.03%.

Para el caso del espécimen N° 02, se tiene:

Tabla 53 Resultado de las perdidas Suelo cemento al raspado durante 12 ciclos cantera de Chumo

Ciclo	Fecha	PSr gr
1	17/07/2024	1956.56
2	19/07/2024	1929.31
3	22/07/2024	1916.15
4	24/07/2024	1914.74
5	26/07/2024	1894.95
6	30/07/2024	1883.11
7	01/08/2024	1869.77
8	05/08/2024	1867.22
9	07/08/2024	1859.94
10	09/08/2024	1857.26
11	12/08/2024	1851.35
12	14/08/2024	1846.59

Nota. PSr: Peso seca Raspado Fuente: Elaboración propia

Tabla 54 Pérdida de Suelo Cemento cantera de Chumo

Peso seco Inicial	=	1964.6	gr
Peso Seco Raspado Final	=	1846.59	gr
Peso seco Raspado Final corregido	=	1801.55122	gr
Pérdida Suelo Cemento	=	8.30	%

Nota. Para hallar el peso seco corregido, se hace una división entre 1.025, este último es el factor

usado para suelo tipo A-2, según la norma MTC E 1104. Fuente: Elaboración propia

Se puede verificar que está perdida obtenida para la cantera de Chihuaco es 8.30% la cual es menor al establecido en la CE.020 y EG – 2013, para el tipo de suelo A-2-4, acepta una perdida máxima de 14.00%.

Resultados de estabilización con emulsión asfáltica

Resultado del porcentaje tentativo de la emulsión asfáltica

Del promedio de la granulometría para cada una de las canteras puestas a ensayo se determina los porcentajes requeridos del agregado que pasa el tamiz N° 8 y N° 200, según lo indicado en la fórmula para el cálculo del porcentaje tentativo de emulsión asfáltica.

Cantera Chumo

Tabla 55 Granulometría promedio de la cantera Chumo

Tamiz N°	mm	% Retenido		Promedio % retenido	Promedio % retenido acumulado	% Que pasa
		CHU-1	CHU-2			
2"	50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	0.58%	1.29%	0.94%	0.94%	99.06%
3/4 "	19.05	14.08%	14.69%	14.39%	15.32%	84.68%
3/8 "	9.5	34.47%	33.78%	34.12%	49.45%	50.55%
N° 4	4.75	15.42%	15.54%	15.48%	64.93%	35.07%
N° 8	2.38	7.89%	8.78%	8.34%	73.26%	26.74%
N° 16	1.19	6.55%	5.23%	5.89%	79.15%	20.85%
N° 30	0.595	4.67%	4.59%	4.63%	83.78%	16.22%
N° 50	0.297	4.10%	4.32%	4.21%	87.99%	12.01%
N° 100	0.149	2.21%	2.22%	2.21%	90.20%	9.80%
N° 200	0.075	1.13%	1.08%	1.11%	91.31%	8.69%
Cazuela		0.05%	0.05%	0.05%	91.36%	

Lavado	8.85%	8.44%	8.64%	100.00%
Material ensayado	91.15%	91.56%	91.36%	
Peso total (gr)	100.00%	100.00%	100.00%	

Nota. Se aprecia la granulometría promedio para la cantera Chumo, los datos resaltados son usados en el cálculo de la emulsión asfáltica tentativa Fuente: Elaboración propia

Se extrae los siguientes valores A = 73.26%, B = 18.05% y C = 8.69% aplicando estos valores en la formula $E = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) * 0.7$ se obtiene que el porcentaje tentativo de la emulsión asfáltica el cual asciende a 6.90 %.

Cantera Chihuaco

Tabla 56 Granulometría promedio de la cantera Chihuaco

Tamiz N°	mm	% Retenido		Promedio % retenido	Promedio % retenido acumulado	% Que pasa
		CHI-1	CHI-2			
2"	50	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	1.19%	2.27%	1.73%	1.73%	98.27%
3/4 "	19.05	9.17%	9.63%	9.40%	11.13%	88.87%
3/8 "	9.5	27.44%	25.68%	26.56%	37.70%	62.30%
N° 4	4.75	18.08%	19.27%	18.67%	56.37%	43.63%
N° 8	2.38	15.09%	16.04%	15.57%	71.93%	28.07%
N° 16	1.19	8.53%	6.42%	7.47%	79.41%	20.59%
N° 30	0.595	4.73%	4.80%	4.77%	84.17%	15.83%
N° 50	0.297	4.33%	3.22%	3.77%	87.95%	12.05%
N° 100	0.149	1.20%	2.59%	1.89%	89.84%	10.16%
N° 200	0.075	0.84%	0.87%	0.85%	90.69%	9.31%
Cazuela		0.08%	0.05%	0.06%	90.75%	
Lavado		9.32%	9.18%	9.25%	100.00%	
Material ensayado		90.68%	90.82%	90.75%		
Peso total (gr)		100.00%	100.00%	100.00%		

Nota. Se aprecia la granulometría promedio para la cantera Chihuaco, los datos resaltados son usados en el cálculo de la emulsión asfáltica tentativa Fuente: Elaboración propia

Se extrae los siguientes valores $A = 71.93\%$, $B = 18.76\%$ y $C = 9.31\%$ aplicando estos valores en la formula $E = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) * 0.7$ se obtiene que el porcentaje tentativo de la emulsión asfáltica el cual asciende a 7.10% .

Resultados del contenido de humedad de los agregados

Se toma 2 muestras de suelo para el cálculo de humedad teniendo los siguientes resultados:

Cantera Chumo

Tabla 57 Contenido de humedad del agregado a ensayar - Chumo

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	56.7	57.13
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	169.18	271.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	168.22	269.87
Peso del Agua (gr)	0.96	1.68
Peso de la Muestra Seca (gr)	111.52	212.74
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.86%	0.79%
PROMEDIO	0.83%	

Nota. Se aprecia el cálculo de humedad del suelo, dato que será necesario para los ensayos posteriores Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 58 Contenido de humedad del agregado a ensayar - Chihuaco

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	57.7	55.63
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	214.67	316.85

Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	212.83	313.95
Peso del Agua (gr)	1.84	2.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	155.13	258.32
CONTENIDO DE HUMEDAD	1.19%	1.12%
PROMEDIO		1.15%

Nota. Se aprecia el cálculo de humedad del suelo, dato que será necesario para los ensayos posteriores Fuente: Elaboración propia

Resultados del recubrimiento de la mezcla

Según la ficha técnica de la emulsión asfáltica se tiene los siguientes datos:

- Contenido de asfalto en la emulsión, CA = 57.00%
- Contenido de agua en la emulsión, CW = 43.00 %

Con estos datos extraídos de la ficha técnica de la emulsión asfáltica se preparan muestras de 500 gr para ver la facilidad de la emulsión para cubrir el agregado, cabe indicar que el porcentaje de emulsión utilizado es el calculado anteriormente para cada una de las canteras y se varía el contenido de humedad, se obtiene los siguientes resultados.

Cantera Chumo

Tabla 59 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla - Chumo

Contenido de humedad Wen (%)	Agua a adicionar Waa (%)	Peso Agua a agregar (g) Paa	Peso de emulsión (g) Pe	Pesos agregados (g) Ps	Peso de la mezcla
4%	0.21%	1.04	34.43	464.53	500.00
5%	1.21%	6.04	34.08	459.88	500.00
6%	2.21%	11.04	33.74	455.22	500.00
7%	3.21%	16.04	33.39	450.57	500.00
8%	4.21%	21.04	33.05	445.91	500.00

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar durante la mezcla Fuente: Elaboración propia

Con las muestras preparadas se analiza el recubrimiento de la emulsión de manera visual y las horas en la cual la mezcla pasa de color marrón a negro, es ahí donde se ha dado el rompimiento de la emulsión.

Tabla 60 Recubrimiento de las partículas de la mezcla - Chumo

Contenido de humedad, Wen (%)	1/2 Hora	1 hora	1 1/2 Hora	2 hora	% Estimado de partículas cubiertas
4.00 %		80.00%	80.00%	80.00%	80%
5.00 %		80.00%	90.00%	90.00%	90%
6.00 %			100.00%	100.00%	100%
7.00 %			100.00%	100.00%	100%
8.00 %			100.00%	100.00%	100%

Nota. Se aprecia el contenido de humedad añadido a la mezcla y el recubrimiento de la emulsión a las partículas del agregado Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 61 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla - Chihuaco

Contenido de humedad Wen (%)	Agua a adicionar Waa (%)	Peso Agua a agregar (g) Paa	Peso de emulsión (g) Pe	Pesos agregados (g) Ps	Peso de la mezcla
5%	0.79%	3.96	35.22	460.82	500.00
6%	1.79%	8.96	34.86	456.17	500.00
7%	2.79%	13.96	34.51	451.53	500.00
8%	3.79%	18.96	34.15	446.88	500.00
9%	4.79%	23.96	33.80	442.24	500.00

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar durante la mezcla Fuente: Elaboración propia

Tabla 62 Recubrimiento de las partículas de la mezcla - Chihuahua

Contenido de humedad, Wen (%)	1/2 Hora	1 hora	1 1/2 Hora	2 hora	% Estimado de partículas cubiertas
5%		70.00%	70.00%	70.00%	70.00 %
6%		90.00%	95.00%	95.00%	95.00 %
7%		100.00%	100.00%	100.00%	100.00 %
8%		100.00%	100.00%	100.00%	100.00 %
9%		100.00%	100.00%	100.00%	100.00 %

Nota. Se aprecia el contenido de humedad añadido a la mezcla y el recubrimiento de la emulsión a las partículas del agregado Fuente: Elaboración propia

Resultados de la humedad óptima de compactación

Se prepara especímenes de suelo – emulsión cuyo peso es de 1200 gramos según lo indicado en el MTC E 504, para lo cual se realiza el cálculo de los materiales a integrar la mezcla respecto a diferentes contenidos de humedad.

Cantera Chumo

Tabla 63 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla de 1200 gramos - Chumo

Contenido de humedad, Wen (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Pesos agregados Ps (g)	Peso de la mezcla
4%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00
4%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00
4%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00
5%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00
5%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00

5%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00
6%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00
6%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00
6%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00
7%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00
7%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00
7%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar durante la mezcla Fuente: Elaboración propia

Se prepara el peso de los agregados calculados respecto a la granulometría del material teniendo en consideración el porcentaje retenido en cada tamiz, se detalla a continuación.

Tabla 64 *Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chumo*

Tamiz N°	% Retenido	Pesos agregados calculados Ps (g) – 4%	Pesos agregados calculados Ps (g) – 5%	Pesos agregados calculados Ps (g) – 6%	Pesos agregados calculados Ps (g) – 7%
		1,114.88	1,103.71	1,092.54	1,081.36
2"	0.00%	-	-	-	-
1 1/2 "	0.94%	10.43	10.32	10.22	10.11
3/4 "	14.39%	160.42	158.81	157.20	155.59
3/8 "	34.12%	380.42	376.61	372.80	368.98
N° 4	15.48%	172.58	170.85	169.12	167.39
N° 8	8.34%	92.94	92.01	91.08	90.15
N° 16	5.89%	65.66	65.00	64.34	63.69
N° 30	4.63%	51.58	51.06	50.55	50.03
N° 50	4.21%	46.98	46.51	46.04	45.57
N° 100	2.21%	24.67	24.42	24.17	23.93

N° 200	1.11%	12.32	12.20	12.08	11.95
Cazuela	8.69%	96.89	95.92	94.94	93.97

Nota. Se aprecia el peso de los agregados a usar respecto al porcentaje retenido de cada tamiz
Fuente: Elaboración propia

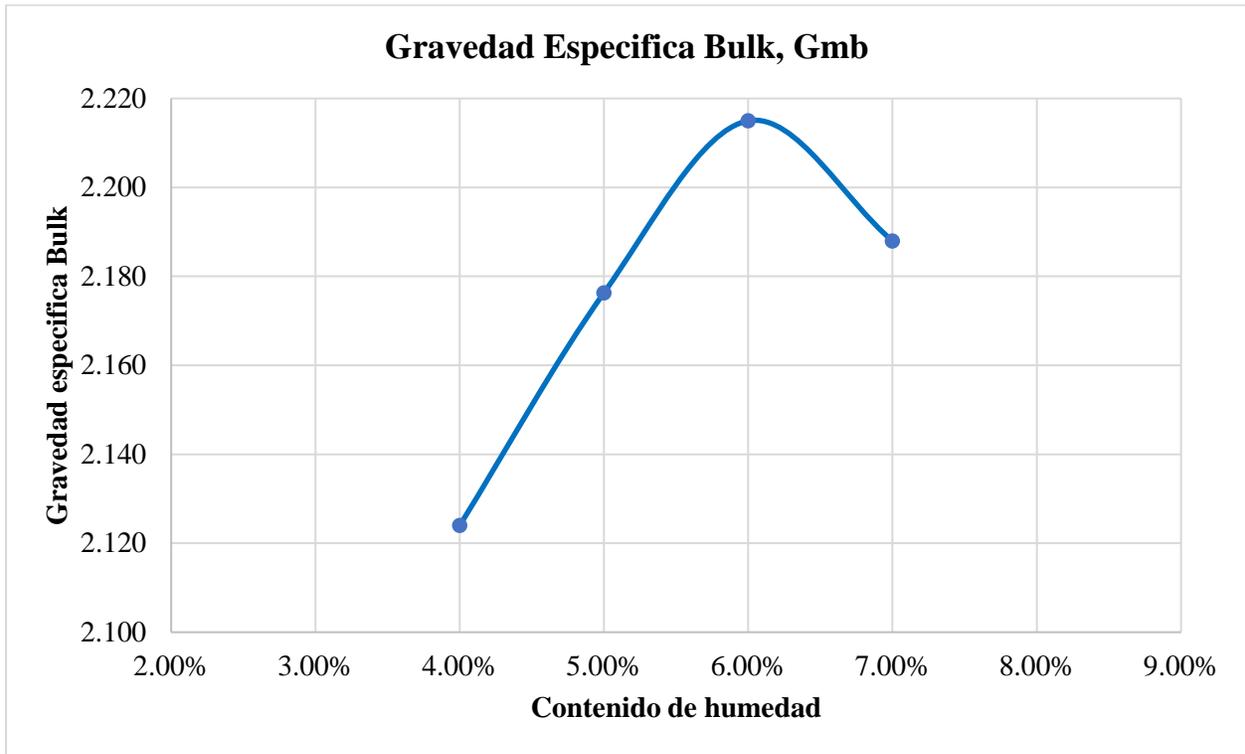
Con los especímenes preparados se calcula la gravedad específica Bulk para cada espécimen y se saca un promedio de cada uno de ellos, el porcentaje de humedad óptimo de la mezcla será el que mayor gravedad específica bulk presente.

Tabla 65 Gravedad específica bulk de la mezcla - Chumo

Contenido de humedad, Wen (%)	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk, Gmb media
4.00%	1180.84	652.69	1209.69	2.120	
4.00%	1183.39	651.59	1209.53	2.121	2.124
4.00%	1181.36	652.91	1207.28	2.131	
5.00%	1182.16	659.95	1204.48	2.171	
5.00%	1183.32	663.29	1207.85	2.173	2.176
5.00%	1188.18	663.91	1207.7	2.185	
6.00%	1183.6	676.26	1210.38	2.216	
6.00%	1187.58	672.34	1209.47	2.211	2.215
6.00%	1191.9	669.44	1206.82	2.218	
7.00%	1192.26	656.62	1202.53	2.184	
7.00%	1184.1	661.63	1203.31	2.186	2.188
7.00%	1186.72	668.25	1209.15	2.194	

Nota. Se aprecia el cálculo de las gravedades específicas bulk para cada espécimen de ensayo
Fuente: Elaboración propia

Grafica 19 Contenido de Humedad vs Gravedad específica Bulk - Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

La mayor gravedad específica bulk promedio de las muestras ensayadas es 2.215 por ende el porcentaje óptimo de contenido de humedad corresponde al 6.00 %.

Cantera Chihuaco

Tabla 66 Peso del agua, emulsión y agregado para la mezcla de 1200 gramos - Chihuaco

Contenido de humedad, Wen (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Pesos agregados Ps (g)	Peso de la mezcla
6%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00
6%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00
6%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00
7%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00

7%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00
7%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00
8%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00
8%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00
8%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar durante la mezcla Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 *Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chihuahua*

Tamiz N°	% Retenido	Pesos agregados calculados Ps (g)	Pesos agregados calculados Ps (g)	Pesos agregados calculados Ps (g)
		1,094.82	1,083.67	1,072.52
2"	0.00%	-	-	-
1 1/2 "	1.73%	18.95	18.75	18.56
3/4 "	9.40%	102.93	101.89	100.84
3/8 "	26.56%	290.81	287.85	284.89
N° 4	18.67%	204.43	202.35	200.27
N° 8	15.57%	170.41	168.68	166.94
N° 16	7.47%	81.81	80.97	80.14
N° 30	4.77%	52.19	51.66	51.12
N° 50	3.77%	41.32	40.89	40.47
N° 100	1.89%	20.71	20.50	20.29
N° 200	0.85%	9.35	9.25	9.16
Cazuela	9.31%	101.91	100.87	99.83

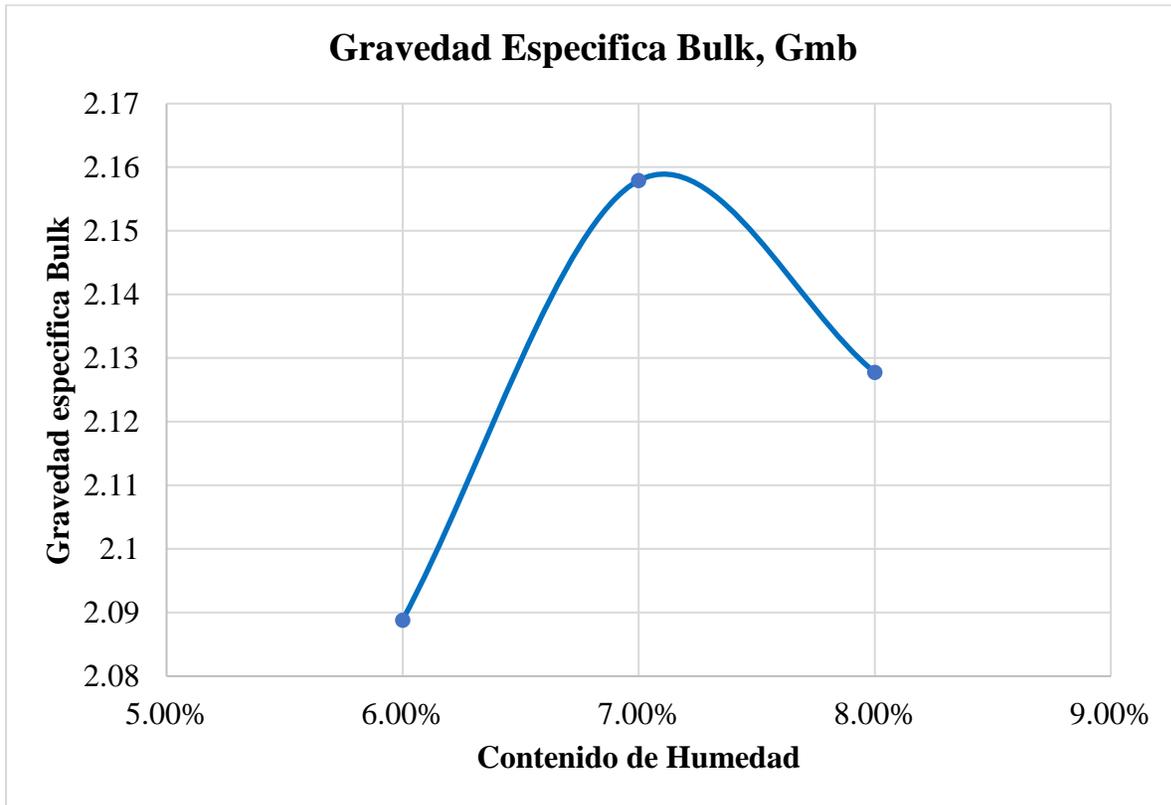
Nota. Se aprecia el peso de los agregados a usar respecto al porcentaje retenido de cada tamiz Fuente: Elaboración propia

Tabla 68 *Gravedad específica bulk de la mezcla - Chihuaco*

Contenido de humedad, Wen (%)	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk, Gmb media
6%	1,184.09	634.81	1,201.36	2.09	
6%	1,188.39	631.10	1,200.39	2.09	2.089
6%	1,191.23	635.44	1,205.68	2.09	
7%	1,194.65	652.43	1,208.05	2.15	
7%	1,188.34	654.83	1,200.94	2.18	2.158
7%	1,192.13	651.68	1,206.78	2.15	
8%	1,190.63	643.54	1,201.18	2.14	
8%	1,189.51	647.36	1,204.08	2.14	2.128
8%	1,186.53	637.52	1,199.45	2.11	

Nota. Se aprecia el cálculo de las gravedades específicas bulk para cada espécimen de ensayo
Fuente: Elaboración propia

Grafica 20 *Contenido de Humedad vs Gravedad especifica Bulk - Chihuaco*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La mayor gravedad especifica bulk promedio de las muestras ensayadas es 2.158 por ende el porcentaje óptimo de contenido de humedad corresponde al 7.00 %.

Resultados la gravedad especifica máxima de la mezcla

Con el porcentaje de humedad optima de la mezcla se fabrican especímenes cuyo peso es de 1200 gr, considerando el 1% de agua a perder, estos especímenes antes de realizar la compactación deben pesar 1188 gr. Del contenido de emulsión tentativo a aplicar al ensayo (6.90% Chumo y 7.10% Chihuaco) se varia en intervalos de 0.5%, cuyo contenido de emulsión asfáltica seria para Chumo (5.40%, 5.90%, 6.40%, 6.90%, 7.40%, 7.90% y 8.40%) y para Chihuaco

(5.60%, 6.10%, 6.60%, 7.10%, 7.60%, 8.10% y 8.60%), con los cuales se calcula la gravedad específica Rice o la gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

Cantera Chumo

Se calcula el peso de los agregados, emulsión asfáltica y agua a utilizar en la mezcla para cada porcentaje de emulsión asfáltica que varíe, se tiene los siguientes datos.

- Humedad de los agregados = 0.83 %
- Peso de la muestra = 1200 gr
- Contenido de asfalto en la emulsión = 57.00 %
- Humedad óptima de compactación = 5.00 % (La humedad óptima de compactación es 6.00 % según lo calculado, pero se descuenta el 1.00% de agua que se pierde durante la mezcla).

Tabla 69 *Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chumo*

% de emulsión, E	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso del agregado combinado (g), Psc
5.40%	2.32%	3.08%	1.85%	22.233	63.599	1114.17
5.90%	2.54%	3.36%	1.64%	19.653	69.640	1110.71
6.40%	2.75%	3.65%	1.42%	17.073	75.707	1107.22
6.90%	2.97%	3.93%	1.21%	14.493	81.800	1103.71
7.40%	3.18%	4.22%	0.99%	11.913	87.918	1100.17
7.90%	3.40%	4.50%	0.78%	9.333	94.063	1096.60
8.40%	3.61%	4.79%	0.56%	6.753	100.233	1093.01

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar en la mezcla Fuente: Elaboración propia

Tabla 70 *Peso de la mezcla antes de compactar - Chumo*

% de emulsión, E	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%)	Peso del material Combinado (g)	Peso final antes de compactar (g)
5.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
5.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
8.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00

Nota. Se aprecia el cálculo del porcentaje de agua perdida durante la preparación de la mezcla.
Fuente: Elaboración propia

Se fabrica los especímenes de suelo-emulsión y se dejan secar al horno por 24 horas, se calcula la gravedad específica teórica máxima Gmm, con ayuda del picnómetro y la bomba de vacíos.

Tabla 71 *Gravedad específica teórica máxima Gmm - Chumo*

% Emulsión	5.40%	5.90%	6.40%	6.90%
Masa del Picnómetro (gr)	982.58	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnómetro + Mezcla (gr)	2,148.34	2,151.62	2,154.40	2,157.31
Masa en el aire de la muestra seca (A) (gr)	1,165.76	1,169.04	1,171.82	1,174.73
Masa del picnómetro con agua (B) (gr)	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14
Después de la bomba de vacíos				
Masa del picnómetro lleno de agua + mezcla (C) (gr)	3,820.42	3,808.57	3,821.72	3,804.06
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla	2.537	2.463	2.524	2.423

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica teórica máxima de los especímenes ensayados con 5.40 %, 5.90 %, 6.40 % y 6.90 % de emulsión Fuente: Elaboración propia

Tabla 72 Gravedad específica teórica máxima Gmm - Chumo

% Emulsión	7.40%	7.90%	8.40%
Masa del Picnómetro	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnómetro + Mezcla	2,160.29	2,154.45	2,153.97
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1,177.71	1,171.87	1,171.39
Masa del picnómetro con agua (B)	3,114.14	3,114.14	3,114.14
Después de la bomba de vacíos			
Masa del picnómetro lleno de agua + mezcla (C)	3,836.06	3,830.51	3,824.98
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (Gmm)	2.584	2.573	2.543

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica teórica máxima de los especímenes ensayados con 7.40%, 7.90% y 8.40% de emulsión Fuente: Elaboración propia

Del cálculo de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla por cada porcentaje de emulsión asfáltica ensayada, se calcula el promedio total de estas, este dato nos servirá para poder calcular el porcentaje en volumen de vacíos con aire, así como las propiedades volumétricas. Entonces, la gravedad específica teórica máxima de la mezcla es de 2.5211.

Cantera Chihuaco

- Humedad de los agregados = 1.15 %
- Peso de la muestra = 1200 gr
- Contenido de asfalto en la emulsión = 57.00 %
- Humedad optima de compactación = 6.00 % (La humedad optima de compactación es 7.00 % según lo calculado, pero se descuenta el 1.00% de agua que se pierde durante la mezcla).

Tabla 73 *Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chihuahua*

% de emulsión, E	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso del agregado combinado (g), Psc
5.60%	2.41%	3.19%	2.44%	29.252	65.562	1105.19
6.10%	2.62%	3.48%	2.22%	26.672	71.573	1101.76
6.60%	2.84%	3.76%	2.01%	24.092	77.610	1098.30
7.10%	3.05%	4.05%	1.79%	21.512	83.673	1094.82
7.60%	3.27%	4.33%	1.58%	18.932	89.761	1091.31
8.10%	3.48%	4.62%	1.36%	16.352	95.876	1087.77
8.60%	3.70%	4.90%	1.15%	13.772	102.016	1084.21

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar en la mezcla Fuente: Elaboración propia

Tabla 74 *Peso de la mezcla antes de compactar - Chumo*

% de emulsión, E	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%)	Peso del material Combinado (g)	Peso final antes de compactar (g)
5.60%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.10%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.60%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.10%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.60%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
8.10%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
8.60%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00

Nota. Se aprecia el cálculo del porcentaje de agua perdida durante la preparación de la mezcla. Fuente: Elaboración propia

Se calcula la gravedad específica teórica máxima Gmm, con ayuda del picnómetro y la bomba de vacíos. Se detalla en la siguiente tabla

Tabla 75 *Gravedad específica teórica máxima Gmm - Chumo*

% Emulsión	5.60%	6.10%	6.60%	7.10%
Masa del Picnómetro (gr)	982.58	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnómetro + Mezcla (gr)	2163.84	2143.32	2150.06	2162.47
Masa en el aire de la muestra seca (A) (gr)	1181.26	1160.74	1167.48	1179.89
Masa del picnómetro con agua (B) (gr)	3114.14	3114.14	3114.14	3114.14
Después de la bomba de vacíos				
Masa del picnómetro lleno de agua + mezcla (C) (gr)	3803.65	3771.46	3792.74	3786.57
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla	2.40216	2.3057	2.3881	2.3251

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica teórica máxima de los especímenes ensayados con 5.60 %, 6.10 %, 6.60 % y 7.10 % de emulsión Fuente: Elaboración propia

Tabla 76 *Gravedad específica teórica máxima Gmm - Chumo*

% Emulsión	7.60%	8.10%	8.60%
Masa del Picnómetro	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnómetro + Mezcla	2146.30	2137.89	2144.12
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1163.72	1155.31	1161.54
Masa del picnómetro con agua (B)	3114.14	3114.14	3114.14
Después de la bomba de vacíos			
Masa del picnómetro lleno de agua + mezcla (C)	3803.21	3767.96	3785.10
Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (Gmm)	2.4517	2.3038	2.3677

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica teórica máxima de los especímenes ensayados con 7.60%, 8.10% y 8.60% de emulsión Fuente: Elaboración propia

Del cálculo de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla por cada porcentaje de emulsión asfáltica ensayada, se calcula el promedio total de estas. Por ende, la gravedad específica teórica máxima de la mezcla es de 2.363.

Resultados de la estabilidad y flujo Marshall

Se calcula el peso de los agregados, emulsión asfáltica y agua a utilizar en la mezcla para cada porcentaje de emulsión asfáltica que varíe, se tiene los siguientes datos.

Cantera Chumo

Tabla 77 *Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chumo*

% de emulsión, E	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso del agregado combinado (g), Psc
5.40%	2.32%	3.08%	1.85%	22.233	63.599	1114.17
5.90%	2.54%	3.36%	1.64%	19.653	69.640	1110.71
6.40%	2.75%	3.65%	1.42%	17.073	75.707	1107.22
6.90%	2.97%	3.93%	1.21%	14.493	81.800	1103.71
7.40%	3.18%	4.22%	0.99%	11.913	87.918	1100.17
7.90%	3.40%	4.50%	0.78%	9.333	94.063	1096.60
8.40%	3.61%	4.79%	0.56%	6.753	100.233	1093.01

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar en la mezcla Fuente: Elaboración propia

Se prepara el peso de los agregados calculados respecto a la granulometría del material teniendo en consideración el porcentaje retenido en cada tamiz, se detalla a continuación.

Tabla 78 *Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chumo*

Tamiz N°	% Retenido	Pesos agregados calculados						
		Ps (g)						
		1,114.17	1,110.71	1,107.22	1,103.71	1,100.17	1,096.60	1,093.01
2"	0.00%	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2 "	0.94%	10.42	10.39	10.35	10.32	10.29	10.25	10.22
3/4 "	14.39%	160.31	159.82	159.31	158.81	158.30	157.79	157.27
3/8 "	34.12%	380.18	379.00	377.81	376.61	375.40	374.18	372.96
N° 4	15.48%	172.47	171.93	171.39	170.85	170.30	169.75	169.19
N° 8	8.34%	92.88	92.59	92.30	92.01	91.72	91.42	91.12
N° 16	5.89%	65.62	65.41	65.21	65.00	64.79	64.58	64.37
N° 30	4.63%	51.55	51.39	51.23	51.06	50.90	50.74	50.57
N° 50	4.21%	46.95	46.80	46.66	46.51	46.36	46.21	46.06
N° 100	2.21%	24.65	24.58	24.50	24.42	24.34	24.26	24.18
N° 200	1.11%	12.31	12.28	12.24	12.20	12.16	12.12	12.08
Cazuela	8.69%	96.82	96.52	96.22	95.92	95.61	95.30	94.99

Nota. Se aprecia el peso de los agregados a usar respecto al porcentaje retenido de cada tamiz
Fuente: Elaboración propia

Se prepara 4 especímenes de ensayo por cada porcentaje de emulsión asfáltica, los cuales 2 especímenes serán ensayados en la prensa Marshall después del curado en el horno y los otros 2 después de la inmersión, los pesos de los materiales que conforman la mezcla no son totalmente exactos por ende se tiene el siguiente cuadro que detalla los pesos reales para los especímenes preparados.

Tabla 79 Pesos reales de la emulsión asfáltica, agua y agregado que conforma la mezcla – Chumo

% de emulsión, E	Peso de emulsión (g), Pe	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso del agregado combinado (g), Psc	Peso del material Combinado (g)	Peso final antes de compactar (g)
5.40%	46.96	29.75	1123.89	1200.60	1190.04
	46.73	29.72	1122.60	1199.05	1186.66
	46.99	28.99	1124.78	1200.76	1188.13
	46.71	29.26	1122.98	1198.95	1186.81
5.90%	52.61	27.07	1119.45	1199.13	1188.75
	52.88	27.33	1120.63	1200.84	1187.17
	52.94	26.57	1120.73	1200.24	1189.52
	52.70	26.61	1119.72	1199.03	1186.48
6.40%	58.93	24.62	1117.50	1201.05	1189.95
	58.61	24.45	1115.66	1198.72	1188.62
	58.67	24.10	1115.77	1198.54	1188.31
	58.92	23.82	1117.93	1200.67	1188.41
6.90%	64.70	21.88	1113.24	1199.82	1186.43
	64.98	21.87	1113.94	1200.79	1189.43
	64.73	21.60	1114.81	1201.14	1188.15
	64.93	21.60	1112.22	1198.75	1186.35
7.40%	70.93	19.32	1109.39	1199.64	1189.90
	71.02	19.44	1110.12	1200.58	1189.84
	70.72	19.04	1110.61	1200.37	1187.44
	70.70	18.70	1109.15	1198.55	1188.39
7.90%	76.77	16.76	1107.95	1201.48	1191.170
	77.10	16.93	1106.03	1200.06	1188.450

	77.10	16.25	1106.13	1199.48	1188.980
	76.83	16.35	1106.94	1200.12	1187.650
8.40%	83.12	14.28	1103.14	1200.54	1188.600
	83.08	14.14	1102.00	1199.22	1187.340
	83.21	13.67	1102.21	1199.09	1187.150
	82.88	13.64	1104.35	1200.87	1188.080

Nota: Se aprecia el peso real de los componentes de la mezcla. Fuente: Elaboración propia

Se mide el diámetro y altura de los especímenes que serán ensayados, se calculara el volumen de cada muestra, para poder determinar las correcciones de las estabilidades halladas mediante el factor de corrección por espesor

Tabla 80 *Determinación del factor de corrección por espesor muestra seca - Chumo*

N.	% Emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	Factor de corrección por espesor
1	5.40%	64.4	101.5	521.084	1.00
2	5.40%	63.9	101.1	512.971	1.00
3	5.90%	63.0	101.3	507.749	1.04
4	5.90%	64.9	100.8	517.912	1.00
5	6.40%	63.9	101.8	520.099	1.00
6	6.40%	64.5	101	516.764	1.00
7	6.90%	64.2	100.4	508.267	1.04
8	6.90%	64.2	101.9	523.568	0.96
9	7.40%	63.9	101.4	516.020	1.00
10	7.40%	64.1	101.3	516.615	1.00

11	7.90%	63.6	101.4	513.598	1.00
12	7.90%	63.4	101.7	515.016	1.00
13	8.40%	63.3	100.8	505.143	1.04
14	8.40%	63.6	100	499.513	1.04

Nota. Según la tabla que indica el MTC E 504 se elige los factores de corrección por espesor.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 81 *Determinación del factor de corrección por espesor muestra húmeda - Chumo*

N.	% Emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm3)	Factor de corrección por espesor
1	5.40%	64.5	101.9	526.015	0.96
2	5.40%	64.0	101.6	518.868	1.00
3	5.90%	63.2	101.5	510.970	1.00
4	5.90%	65.0	101.2	522.835	1.00
5	6.40%	64.0	100.2	504.667	1.04
6	6.40%	64.6	101.5	522.702	1.00
7	6.90%	64.3	100.9	514.142	1.00
8	6.90%	64.3	101.4	519.250	1.00
9	7.40%	64.0	101.8	520.913	1.00
10	7.40%	64.2	101.7	521.515	1.00
11	7.90%	63.7	101.9	519.491	1.00
12	7.90%	63.5	101.1	509.760	1.00
13	8.40%	63.4	101.1	508.957	1.04
14	8.40%	63.7	100.5	505.314	1.04

Nota. Según la tabla que indica el MTC E 504 se elige los factores de corrección por espesor.
Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado el curado e inmersión de los especímenes de ensayo se lleva a la prensa Marshall y se determina la estabilidad y flujo según la medida de los diales de carga y deformación.

Tabla 82 Estabilidad y flujo de las muestras secas - Chumo

% Emulsión	Lectura Del Dial	Estabilidad Seca Kg-F	Flujo Lectura Del Dial	Flujo (Mm)
5.40%	205	1565.3467	41	1.0414
5.40%	210	1602.6317	43	1.0922
5.90%	185	1416.2067	54	1.3716
5.90%	187	1431.1207	58	1.4732
6.40%	170.5	1308.0802	61	1.5494
6.40%	176	1349.0937	60	1.524
6.90%	165	1267.0667	75	1.905
6.90%	162.5	1248.4242	71	1.8034
7.40%	152.5	1173.8542	99	2.5146
7.40%	146	1125.3837	96	2.4384
7.90%	140	1080.6417	98	2.4892
7.90%	137	1058.2707	96	2.4384
8.40%	123	953.8727	105	2.667
8.40%	124	961.3297	103	2.6162

Nota: Se aprecia la estabilidad y el flujo de las muestras secas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 83 Estabilidad y flujo de las muestras sometidas a inmersión - Chumo

Lectura Del Dial	Estabilidad En Inmersión Kg-F	Flujo Lectura Del Dial	Flujo (Mm)
144	1110.4697	63	1.6002
142	1095.5557	65	1.651
131	1013.5287	72	1.8288
127	983.7007	77	1.9558
117	909.1307	73	1.8542
126	976.2437	75	1.905
127	983.7007	81	2.0574
115	894.2167	79	2.0066
116	901.6737	94	2.3876
112	871.8457	90	2.286
104	812.1897	95	2.413
102	797.2757	93	2.3622
89	700.3347	111	2.8194
87	685.4207	108	2.7432

Nota. Se aprecia la estabilidad y el flujo de las muestras sometidas a inmersión Fuente: Elaboración propia

Tabla 84 Estabilidad seca corregida y flujo de cada espécimen puesto a ensayo - Chumo

N.	% emulsión	Estabilidad seca (Kg)	F.C.	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilida d seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.40%	1565.347	1.00	1,565.35	15,340.40	1.041	14,730.55
2	5.40%	1602.632	1.00	1,602.63	15,705.79	1.092	14,379.96

3	5.90%	1416.207	1.04	1,472.85	14,433.98	1.372	10,523.46
4	5.90%	1431.121	1.00	1,431.12	14,024.98	1.473	9,520.08
5	6.40%	1308.080	1.00	1,308.08	12,819.19	1.549	8,273.65
6	6.40%	1349.094	1.00	1,349.09	13,221.12	1.524	8,675.27
7	6.90%	1267.067	1.04	1,317.75	12,913.94	1.905	6,778.97
8	6.90%	1248.424	0.96	1,198.49	11,745.17	1.803	6,512.80
9	7.40%	1173.854	1.00	1,173.85	11,503.77	2.515	4,574.79
10	7.40%	1125.384	1.00	1,125.38	11,028.76	2.438	4,522.95
11	7.90%	1080.642	1.00	1,080.64	10,590.29	2.489	4,254.49
12	7.90%	1058.271	1.00	1,058.27	10,371.05	2.438	4,253.22
13	8.40%	953.873	1.04	992.03	9,721.87	2.667	3,645.25
14	8.40%	961.330	1.04	999.78	9,797.87	2.616	3,745.08

Nota. Se aprecia la estabilidad seca corregida y el flujo de las muestras Fuente: Elaboración propia

Tabla 85 Estabilidad sometida a inmersión y flujo de cada espécimen puesto a ensayo

N.	% emulsión	Estabilidad en inmersión (Kg)	F.C.	Estabilidad en inmersión corregida (Kg)	Estabilidad en inmersión corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.40%	1110.470	0.96	1,066.05	10,447.30	1.600	6,528.75
2	5.40%	1095.556	1.00	1,095.56	10,736.45	1.651	6,503.00
3	5.90%	1013.529	1.00	1,013.53	9,932.58	1.829	5,431.20
4	5.90%	983.701	1.00	983.70	9,640.27	1.956	4,929.07

5	6.40%	909.131	1.04	945.50	9,265.86	1.854	4,997.23
6	6.40%	976.244	1.00	976.24	9,567.19	1.905	5,022.15
7	6.90%	983.701	1.00	983.70	9,640.27	2.057	4,685.66
8	6.90%	894.217	1.00	894.22	8,763.32	2.007	4,367.25
9	7.40%	901.674	1.00	901.67	8,836.40	2.388	3,700.96
10	7.40%	871.846	1.00	871.85	8,544.09	2.286	3,737.57
11	7.90%	812.190	1.00	812.19	7,959.46	2.413	3,298.57
12	7.90%	797.276	1.00	797.28	7,813.30	2.362	3,307.64
13	8.40%	700.335	1.04	728.35	7,137.81	2.819	2,531.68
14	8.40%	685.421	1.04	712.84	6,985.81	2.743	2,546.59

Nota. Se aprecia la estabilidad sometida a inmersión y el flujo de las muestras Fuente:
Elaboración propia

Tabla 86 *Perdida de estabilidad*

% Emulsión	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)	Pérdida de estabilidad
5.40%	15,340.40	10,447.30	31.90%
5.40%	15,705.79	10,736.45	31.64%
5.40%	15,523.09	10,591.87	31.77%
5.90%	14,433.98	9,932.58	31.19%
5.90%	14,024.98	9,640.27	31.26%
5.90%	14,229.48	9,786.42	31.22%
6.40%	12,819.19	9,265.86	27.72%
6.40%	13,221.12	9,567.19	27.64%
6.40%	13,020.15	9,416.52	27.68%

6.90%	12,913.94	9,640.27	25.35%
6.90%	11,745.17	8,763.32	25.39%
6.90%	12,329.56	9,201.80	25.37%
7.40%	11,503.77	8,836.40	23.19%
7.40%	11,028.76	8,544.09	22.53%
7.40%	11,266.27	8,690.25	22.86%
7.90%	10,590.29	7,959.46	24.84%
7.90%	10,371.05	7,813.30	24.66%
7.90%	10,480.67	7,886.38	24.75%
8.40%	9,721.87	7,137.81	26.58%
8.40%	9,797.87	6,985.81	28.70%
8.40%	9,759.87	7,061.81	27.64%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 87 Peso del agregado, agua y emulsión asfáltica por cada variación - Chihuaco

% de emulsión, E	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso del agregado combinado (g), Psc
5.60%	2.41%	3.19%	2.44%	29.252	65.562	1105.19
6.10%	2.62%	3.48%	2.22%	26.672	71.573	1101.76
6.60%	2.84%	3.76%	2.01%	24.092	77.610	1098.30
7.10%	3.05%	4.05%	1.79%	21.512	83.673	1094.82
7.60%	3.27%	4.33%	1.58%	18.932	89.761	1091.31
8.10%	3.48%	4.62%	1.36%	16.352	95.876	1087.77
8.60%	3.70%	4.90%	1.15%	13.772	102.016	1084.21

Nota. Se aprecia el cálculo en peso de los materiales a usar en la mezcla Fuente: Elaboración propia

Tabla 88 *Peso de los agregados a usar en la mezcla - Chihuahua*

Tamiz N°	% Retenido	Pesos agregados calculados Ps (g)						
		1,105.19	1,101.76	1,098.30	1,094.82	1,091.31	1,087.77	1,084.21
2"	0.00%	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2 "	1.73%	19.13	19.07	19.01	18.95	18.89	18.83	18.76
3/4 "	9.40%	103.91	103.59	103.26	102.93	102.60	102.27	101.94
3/8 "	26.56%	293.57	292.65	291.74	290.81	289.88	288.94	287.99
N° 4	18.67%	206.37	205.73	205.08	204.43	203.78	203.12	202.45
N° 8	15.57%	172.03	171.49	170.95	170.41	169.87	169.32	168.76
N° 16	7.47%	82.58	82.32	82.07	81.81	81.54	81.28	81.01
N° 30	4.77%	52.68	52.52	52.35	52.19	52.02	51.85	51.68
N° 50	3.77%	41.71	41.58	41.45	41.32	41.18	41.05	40.91
N° 100	1.89%	20.91	20.85	20.78	20.71	20.65	20.58	20.51
N° 200	0.85%	9.44	9.41	9.38	9.35	9.32	9.29	9.26
Cazuela	9.31%	102.87	102.55	102.23	101.91	101.58	101.25	100.92

*Nota. Se aprecia el peso de los agregados a usar respecto al porcentaje retenido de cada tamiz
Fuente: Elaboración propia*

Tabla 89 *Pesos reales de la emulsión asfáltica, agua y agregado que conforma la mezcla - Chihuahua*

% de emulsión, E	Peso de emulsión (g), Pe	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso del agregado combinado (g), Psc	Peso del material Combinado (g)	Peso final antes de compactar (g)
5.60%	58.33	32.40	1109.36	1200.09	1188.07
	58.12	32.98	1109.92	1201.02	1189.22
	58.75	32.29	1109.10	1200.14	1188.62
	58.49	32.94	1110.26	1201.69	1187.56
6.10%	64.51	29.85	1105.90	1200.26	1187.94
	64.28	29.97	1105.93	1200.18	1188.09

	64.55	29.87	1106.06	1200.48	1188.16
	64.42	30.06	1105.95	1200.43	1188.24
6.60%	70.42	27.30	1102.47	1200.19	1187.83
	70.86	27.79	1102.64	1201.29	1187.98
	70.32	27.16	1102.19	1199.67	1188.05
	70.46	26.82	1102.7	1199.98	1187.61
7.10%	76.40	24.71	1099.07	1200.18	1187.69
	76.64	24.83	1099.27	1200.74	1187.71
	76.47	24.90	1099.11	1200.48	1187.93
	76.25	24.51	1098.90	1199.66	1187.47
7.60%	82.52	22.10	1095.64	1200.26	1188.17
	82.66	22.15	1095.93	1200.74	1188.43
	82.70	22.33	1095.79	1200.82	1188.27
	82.49	21.92	1095.58	1199.99	1187.90
8.10%	88.49	19.52	1092.20	1200.21	1188.140
	88.62	19.64	1092.47	1200.73	1187.970
	88.52	19.71	1092.40	1200.63	1188.380
	88.30	19.43	1091.95	1199.68	1188.230
8.60%	94.71	16.90	1088.52	1200.13	1188.090
	94.91	17.06	1088.62	1200.59	1188.210
	94.88	16.91	1088.79	1200.58	1188.240
	94.68	16.68	1088.46	1199.82	1187.930

Nota. Se aprecia el peso real de los componentes de la mezcla. Fuente: Elaboración propia

Tabla 90 *Determinación del factor de corrección por espesor muestra seca - Chihuahua*

N.	% Emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	Factor de corrección por espesor
1	5.60%	64.1	101.10	514.577	1.00
2	5.60%	65.3	100.30	515.552	1.00
3	6.10%	66.8	101.00	535.191	0.96
4	6.10%	64.5	100.60	512.679	1.00
5	6.60%	63.7	101.60	516.436	1.00
6	6.60%	65.5	100.70	521.265	1.00
7	7.10%	63.9	101.85	520.610	1.00
8	7.10%	66.5	101.00	532.788	0.96
9	7.60%	63.4	101.10	508.957	1.04
10	7.60%	64.2	101.90	523.568	0.96
11	8.10%	62.7	101.00	502.343	1.04
12	8.10%	63.6	100.90	508.545	1.04
13	8.60%	63.4	100.35	501.434	1.04
14	8.60%	62.9	101.15	505.443	1.04

Nota. Según la tabla que indica el MTC E 504 se elige los factores de corrección por espesor.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 91 *Determinación del factor de corrección por espesor muestra húmeda - Chihuahua*

N.	% Emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm³)	Factor de corrección por espesor
1	5.60%	65.9	101.8	536.378	0.93
2	5.60%	67.7	100.4	535.977	0.96

3	6.10%	67.9	100.8	541.852	0.93
4	6.10%	67.2	101.1	539.463	0.93
5	6.60%	65.9	101.8	536.378	0.93
6	6.60%	68.2	101.75	554.553	0.89
7	7.10%	63.6	101.4	513.598	1.00
8	7.10%	65.1	101.8	529.866	0.96
9	7.60%	62.0	100.6	492.808	1.09
10	7.60%	61.7	101.5	499.237	1.04
11	8.10%	61.2	101.9	499.102	1.04
12	8.10%	62.9	101.2	505.943	1.04
13	8.60%	62.3	100.6	495.192	1.04
14	8.60%	61.0	101.9	497.471	1.04

Nota. Según la tabla que indica el MTC E 504 se elige los factores de corrección por espesor.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 92 Estabilidad y flujo de las muestras secas - Chihuahua

% Emulsión	Lectura Del Dial	Estabilidad Seca Kg-F	Flujo Lectura Del Dial	Flujo (Mm)
5.60%	190	1453.4917	70	1.778
5.60%	183	1401.2927	72	1.8288
6.10%	171	1311.8087	79	2.0066
6.10%	175	1341.6367	83	2.1082
6.60%	156	1199.9537	82	2.0828
6.60%	161	1237.2387	80	2.032

7.10%	153	1177.5827	86	2.1844
7.10%	149	1147.7547	84	2.1336
7.60%	138	1065.7277	98	2.4892
7.60%	131.5	1017.2572	92	2.3368
8.10%	128	991.1577	101	2.5654
8.10%	123	953.8727	103	2.6162
8.60%	107	834.5607	111	2.8194
8.60%	110	856.9317	115	2.921

Nota. Se aprecia la estabilidad y el flujo de las muestras secas. Fuente: Elaboración propia

Tabla 93 Estabilidad y flujo de las muestras sometidas a inmersión - Chihuahua

Lectura Del Dial	Estabilidad En Inmersión Kg-F	Flujo Lectura Del Dial	Flujo (Mm)
146	1125.3837	46	1.1684
148	1140.2977	49	1.2446
140	1080.6417	59	1.4986
133	1028.4427	63	1.6002
135	1043.3567	70	1.778
140	1080.6417	73	1.8542
124	961.3297	78	1.9812
120	931.5017	75	1.905
112	871.8457	90	2.286
101.5	793.5472	85	2.159
105	819.6467	103	2.6162

100	782.3617	105	2.667
83	655.5927	107	2.7178
88	692.8777	112	2.8448

Nota. Se aprecia la estabilidad y el flujo de las muestras sometidas a inmersión Fuente: Elaboración propia

Tabla 94 Estabilidad seca corregida y flujo de cada espécimen puesto a ensayo - Chihuahua

N.	% emulsión	Estabilidad seca (Kg)	F.C.	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilidad seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.60%	1453.492	1.00	1,453.49	14,244.22	1.778	8,011.37
2	5.60%	1401.293	1.00	1,401.29	13,732.67	1.829	7,509.11
3	6.10%	1311.809	0.96	1,259.34	12,341.50	2.007	6,150.45
4	6.10%	1341.637	1.00	1,341.64	13,148.04	2.108	6,236.62
5	6.60%	1199.954	1.00	1,199.95	11,759.55	2.083	5,646.03
6	6.60%	1237.239	1.00	1,237.24	12,124.94	2.032	5,967.00
7	7.10%	1177.583	1.00	1,177.58	11,540.31	2.184	5,283.06
8	7.10%	1147.755	0.96	1,101.84	10,798.08	2.134	5,060.97
9	7.60%	1065.728	1.04	1,108.36	10,861.90	2.489	4,363.61
10	7.60%	1017.257	0.96	976.57	9,570.36	2.337	4,095.50
11	8.10%	991.158	1.04	1,030.80	10,101.88	2.565	3,937.74
12	8.10%	953.873	1.04	992.03	9,721.87	2.616	3,716.03
13	8.60%	834.561	1.04	867.94	8,505.84	2.819	3,016.90
14	8.60%	856.932	1.04	891.21	8,733.85	2.921	2,990.02

Nota. Se aprecia la estabilidad seca corregida y el flujo de las muestras Fuente: Elaboración propia

Tabla 95 Estabilidad sometida a inmersión y flujo de cada espécimen puesto a ensayo

N.	% emulsión	Estabilidad en inmersión (Kg)	F.C.	Estabilidad en inmersión corregida (Kg)	Estabilidad en inmersión corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.60%	1125.384	0.93	1,046.61	10,256.75	1.168	8,778.46
2	5.60%	1140.298	0.96	1,094.69	10,727.92	1.245	8,619.57
3	6.10%	1080.642	0.93	1,005.00	9,848.97	1.499	6,572.11
4	6.10%	1028.443	0.93	956.45	9,373.23	1.600	5,857.53
5	6.60%	1043.357	0.93	970.32	9,509.15	1.778	5,348.23
6	6.60%	1080.642	0.89	961.77	9,425.36	1.854	5,083.25
7	7.10%	961.330	1.00	961.33	9,421.03	1.981	4,755.21
8	7.10%	931.502	0.96	894.24	8,763.57	1.905	4,600.30
9	7.60%	871.846	1.09	950.31	9,313.06	2.286	4,073.95
10	7.60%	793.547	1.04	825.29	8,087.83	2.159	3,746.10
11	8.10%	819.647	1.04	852.43	8,353.84	2.616	3,193.12
12	8.10%	782.362	1.04	813.66	7,973.83	2.667	2,989.81
13	8.60%	655.593	1.04	681.82	6,681.80	2.718	2,458.53
14	8.60%	692.878	1.04	720.59	7,061.81	2.845	2,482.36

Nota. Se aprecia la estabilidad sometida a inmersión y el flujo de las muestras Fuente: Elaboración propia

Tabla 96 *Perdida de estabilidad*

% Emulsión	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)	Pérdida de estabilidad
5.60%	14,244.22	10,256.75	27.99%
5.60%	13,732.67	10,727.92	21.88%
5.60%	13,988.44	10,492.33	24.94%
6.10%	12,341.50	9,848.97	20.20%
6.10%	13,148.04	9,373.23	28.71%
6.10%	12,744.77	9,611.10	24.45%
6.60%	11,759.55	9,509.15	19.14%
6.60%	12,124.94	9,425.36	22.26%
6.60%	11,942.24	9,467.25	20.70%
7.10%	11,540.31	9,421.03	18.36%
7.10%	10,798.08	8,763.57	18.84%
7.10%	11,169.19	9,092.30	18.60%
7.60%	10,861.90	9,313.06	14.26%
7.60%	9,570.36	8,087.83	15.49%
7.60%	10,216.13	8,700.44	14.88%
8.10%	10,101.88	8,353.84	17.30%
8.10%	9,721.87	7,973.83	17.98%
8.10%	9,911.87	8,163.83	17.64%
8.60%	8,505.84	6,681.80	21.44%
8.60%	8,733.85	7,061.81	19.14%
8.60%	8,619.85	6,871.81	20.29%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Resultados de las gravedades específicas calculadas de los especímenes ensayados

Una vez calculado la estabilidad y flujo de las muestras secas y aquellas que fueron colocadas en inmersión se calcula la gravedad específica bulk (Gmb) de cada espécimen puesto a ensayo.

Cantera Chumo

Tabla 97 *Gravedad específica bulk de las muestras secas - Chumo*

N.	% emulsión	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.40%	1125	633.39	1140.84	2.217	2.232
2	5.40%	1117.05	634.51	1131.65	2.247	
3	5.90%	1103.93	634.82	1121.14	2.270	2.290
4	5.90%	1105.95	641.63	1120.4	2.310	
5	6.40%	1116.67	645.23	1135.01	2.280	2.295
6	6.40%	1099.44	634.72	1110.68	2.310	
7	6.90%	1079.82	615.60	1093.4	2.260	2.275
8	6.90%	1131.93	653.93	1148.23	2.290	
9	7.40%	1111.97	625.02	1132.78	2.190	2.200
10	7.40%	1093.88	611.89	1106.86	2.210	

11	7.90%	1117.3	614.32	1131.59	2.160	2.185
12	7.90%	1145.92	641.83	1160.35	2.210	
13	8.40%	1124.4	617.35	1145.24	2.130	2.155
14	8.40%	1112.21	613.57	1123.76	2.180	

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica bulk promedio de las muestras seca Fuente: Elaboración propia

Tabla 98 Gravedad específica bulk de las muestras sometidas a inmersión - Chumo

N.	% emulsión	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.40%	1145.35	610.20	1158.26	2.090	2.115
2	5.40%	1162.32	624.80	1167.99	2.140	
3	5.90%	1162.55	659.63	1174.35	2.259	2.284
4	5.90%	1157.87	667.30	1168.85	2.309	
5	6.40%	1155.81	685.76	1164.29	2.415	2.435
6	6.40%	1160.15	698.78	1171.28	2.455	
7	6.90%	1166.24	670.01	1173.16	2.318	2.338
8	6.90%	1163.43	686.46	1179.88	2.358	
9	7.40%	1169.86	671.73	1176.36	2.318	2.348
10	7.40%	1149.51	676.06	1159.4	2.378	
11	7.90%	1147.51	616.25	1155.16	2.129	2.149
12	7.90%	1176.19	631.40	1173.59	2.169	

13	8.40%	1142.04	638.93	1165.13	2.170	2.195
14	8.40%	1145.65	646.51	1162.5	2.220	

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica bulk promedio de las muestras sometidas a inmersión Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 99 Gravedad específica bulk de las muestras secas - Chihuaco

N.	% emulsión	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.60%	1147.43	656.57	1159.84	2.280	2.310
2	5.60%	1167.92	680.71	1179.85	2.340	
3	6.10%	1148.96	651.87	1161.47	2.255	2.267
4	6.10%	1141.95	656.49	1157.29	2.280	
5	6.60%	1164.04	652.85	1184.52	2.189	2.209
6	6.60%	1166.95	655.73	1179.29	2.229	
7	7.10%	1167.54	650.88	1178.91	2.211	2.232
8	7.10%	1167.97	666.94	1185.48	2.252	
9	7.60%	1144.97	629.34	1159.32	2.160	2.146
10	7.60%	1154.09	629.91	1171.21	2.132	

11	8.10%	1176.95	667.19	1191.5	2.245	2.215
12	8.10%	1167.87	650.18	1184.41	2.186	
13	8.60%	1169.91	646.26	1180.77	2.189	2.175
14	8.60%	1170.02	641.50	1182.88	2.161	

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica bulk promedio de las muestras seca Fuente: Elaboración propia

Tabla 100 Gravedad específica bulk de las muestras sometidas a inmersión – Chihuahua

N.	% emulsión	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.60%	1150.73	643.44	1165.36	2.205	2.188
2	5.60%	1130.64	628.35	1149.19	2.171	
3	6.10%	1170.64	670.35	1185.24	2.274	2.254
4	6.10%	1173.47	661.46	1186.84	2.234	
5	6.60%	1148.31	678.28	1159.28	2.387	2.335
6	6.60%	1154.65	664.68	1170.36	2.283	
7	7.10%	1145.4	686.01	1163.69	2.398	2.308
8	7.10%	1164.6	659.54	1184.65	2.218	
9	7.60%	1133.17	671.44	1151.54	2.360	2.298
10	7.60%	1159.12	654.41	1172.73	2.236	
11	8.10%	1167.47	659.08	1177.88	2.250	2.179
12	8.10%	1150.11	614.73	1160.24	2.108	

13	8.60%	1133.07	658.40	1153.34	2.289	2.220
14	8.60%	1160.57	640.24	1179.71	2.151	

Nota. Se aprecia el cálculo de la gravedad específica bulk promedio de las muestras sometidas a inmersión Fuente: Elaboración propia

Resultados de los porcentajes de volumen con vacíos de Aire VTM

Calculado la gravedad específica bulk promedio Gmb y la gravedad específica máxima Gmm se calcula el porcentaje de volumen de vacíos con aire, detallados en el siguiente cuadro.

Cantera Chumo

Tabla 101 *Porcentaje de volumen de vacíos con aire VTM - Chumo*

% de emulsión	Asfalto residual (Ar)	Gravedad específica bulk promedio Gmb	Gravedad específica máxima Gmm	Porcentaje en volumen de vacíos con aire VTM
5.40%	3.08%	2.173	2.521	13.79%
5.90%	3.36%	2.287	2.521	9.29%
6.40%	3.65%	2.365	2.521	6.18%
6.90%	3.93%	2.306	2.521	8.51%
7.40%	4.22%	2.274	2.521	9.80%
7.90%	4.50%	2.167	2.521	14.04%
8.40%	4.79%	2.175	2.521	13.72%

Nota. La gravedad específica bulk promedio Gmb es resultado de las gravedades específicas de los especímenes secos y puestos en inmersión Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Tabla 102 *Porcentaje de volumen de vacíos con aire VTM - Chihuahua*

% de emulsión	Asfalto residual (Ar)	Gravedad específica bulk promedio Gmb	Gravedad específica máxima Gmm	Porcentaje en volumen de vacíos con aire VTM
5.60%	3.19%	2.249	2.363	4.85%
6.10%	3.48%	2.261	2.363	4.36%
6.60%	3.76%	2.272	2.363	3.86%
7.10%	4.05%	2.270	2.363	3.96%
7.60%	4.33%	2.222	2.363	5.97%
8.10%	4.62%	2.197	2.363	7.03%
8.60%	4.90%	2.198	2.363	7.02%

Nota. La gravedad específica bulk promedio Gmb es resultado de las gravedades específicas de los especímenes secos y puestos en inmersión Fuente: Elaboración propia

Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa

Con los datos calculados de las gravedades específicas del material fino y grueso se puede determinar las relaciones volumétricas para cada contenido de asfalto residual, según las fórmulas indicadas en la recolección de datos, se aprecia la siguiente tabla.

Cantera Chumo

- Gravedad específica de la emulsión asfáltica = 1.057
- Gravedad específica de los agregados = 2.59

Tabla 103 *Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa – Chumo*

Datos calculados							
%Peso Asfalto residual	3.08%	3.36%	3.65%	3.93%	4.22%	4.50%	4.79%
%Peso Agregados	96.92%	96.64%	96.35%	96.07%	95.78%	95.50%	95.21%
Gmb	2.173	2.287	2.365	2.306	2.274	2.167	2.175
Gmm	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521

Gmt	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42
Calculo Relaciones Volumétricas							
Va	6.345	4.064	2.615	3.691	4.308	6.478	6.308
% Va	13.79%	9.29%	6.18%	8.51%	9.80%	14.04%	13.72%
Vba	0.665	0.824	0.984	1.143	1.303	1.463	1.622
% Vba	1.44%	1.88%	2.33%	2.64%	2.96%	3.17%	3.53%
Vbe	2.24733	2.35736	2.46738	2.57741	2.68744	2.79747	2.90750
% Vbe	4.88%	5.39%	5.84%	5.94%	6.11%	6.06%	6.32%
Vb	2.912	3.182	3.451	3.721	3.991	4.260	4.530
% Vb	6.33%	7.28%	8.16%	8.58%	9.07%	9.23%	9.85%
% Vs	81.32%	85.32%	87.98%	85.54%	84.09%	79.90%	79.95%
% VT	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Vmm	86.21%	90.71%	93.82%	91.49%	90.20%	85.96%	86.28%
Vmt	87.65%	92.59%	96.14%	94.12%	93.17%	89.13%	89.81%
VTM	13.79%	9.29%	6.18%	8.51%	9.80%	14.04%	13.72%
VAM	18.68%	14.68%	12.02%	14.46%	15.91%	20.10%	20.05%
VFA	66.02%	72.32%	78.25%	74.47%	72.92%	67.77%	68.53%
Calculo Relaciones De Masa							
% Wba	0.686%	0.853%	1.021%	1.190%	1.360%	1.532%	1.704%
% Wbe	2.4133%	2.5387%	2.6641%	2.7895%	2.9149%	3.0403%	3.1657%
% Wb	3.099%	3.392%	3.685%	3.980%	4.275%	4.572%	4.870%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

- Gravedad especifica de la emulsión asfáltica = 1.057
- Gravedad especifica de los agregados = 2.38

Tabla 104 Cálculo de las relaciones volumétricas y de masa – Chihuaco

Datos calculados							
%Peso Asfalto residual	3.19%	3.48%	3.76%	4.05%	4.33%	4.62%	4.90%

%Peso Agregados	96.81%	96.52%	96.24%	95.95%	95.67%	95.38%	95.10%
Gmb	2.249	2.261	2.272	2.270	2.222	2.197	2.198
Gmm	2.363	2.363	2.363	2.363	2.363	2.363	2.363
Gmt	2.29	2.28	2.27	2.27	2.26	2.25	2.24
Calculo Relaciones Volumétricas							
Va	2.156	1.927	1.698	1.746	2.688	3.198	3.193
% Va	4.85%	4.36%	3.86%	3.96%	5.97%	7.03%	7.02%
Vba	1.348	1.498	1.648	1.798	1.948	2.098	2.248
% Vba	3.03%	3.39%	3.74%	4.08%	4.33%	4.61%	4.94%
Vbe	1.67218	1.79182	1.91146	2.03110	2.15074	2.27038	2.39002
% Vbe	3.76%	4.05%	4.34%	4.61%	4.78%	4.99%	5.25%
Vb	3.020	3.289	3.559	3.829	4.098	4.368	4.638
% Vb	6.79%	7.44%	8.09%	8.69%	9.11%	9.60%	10.19%
% Vs	91.39%	91.59%	91.80%	91.43%	89.25%	87.98%	87.73%
% VT	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Vmm	95.15%	95.64%	96.14%	96.04%	94.03%	92.97%	92.98%
Vmt	98.18%	99.03%	99.88%	100.12%	98.35%	97.58%	97.92%
VTM	4.85%	4.36%	3.86%	3.96%	5.97%	7.03%	7.02%
VAM	8.61%	8.41%	8.20%	8.57%	10.75%	12.02%	12.27%
VFA	74.96%	77.08%	79.29%	79.64%	75.00%	73.39%	73.98%
Calculo Relaciones De Masa							
%Wba	1.392%	1.552%	1.712%	1.873%	2.036%	2.199%	2.363%
%Wbe	1.8443%	1.9793%	2.1143%	2.2493%	2.3843%	2.5194%	2.6544%
%Wb	3.236%	3.531%	3.826%	4.123%	4.420%	4.719%	5.018%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Donde:

Peso específico máximo bulk de la mezcla (Gmb), Peso específico máximo de la mezcla (Gmm), Peso específico máximo teórico de la mezcla (Gmt), Volumen de aire (Va), Porcentaje del volumen de aire (% Va), Volumen de asfalto absorbido (Vba), Porcentaje del volumen de

asfalto absorbido (% Vba), Volumen de asfalto efectivo (Vbe), Porcentaje del volumen de asfalto efectivo (%Vbe), Volumen de asfalto (Vb), Porcentaje de volumen de asfalto (%Vb), Porcentaje de volumen de agregados (%Vs), Porcentaje del volumen total bulk de la mezcla (%VT), Porcentaje Volumen máximo medido de la mezcla (Vmm), Porcentaje Volumen máximo teórico de la mezcla (Vmt), Porcentaje de vacíos con aire de la mezcla (VTM), Porcentajes de vacíos en los agregados minerales (VAM), Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA), Porcentaje de peso de asfalto absorbido (%Wba), Porcentaje de peso de asfalto efectivo (%Wbe), Porcentaje de peso de asfalto (%Wb).

Capítulo V

Análisis e Interpretación de los Resultados

Análisis de resultados Granulometría del suelo

Según el (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013), para la conformación de subbase granular el material a usar, deberá ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la siguiente tabla.

Tabla 105 *Requerimientos Granulométricos para Sub base Granular*

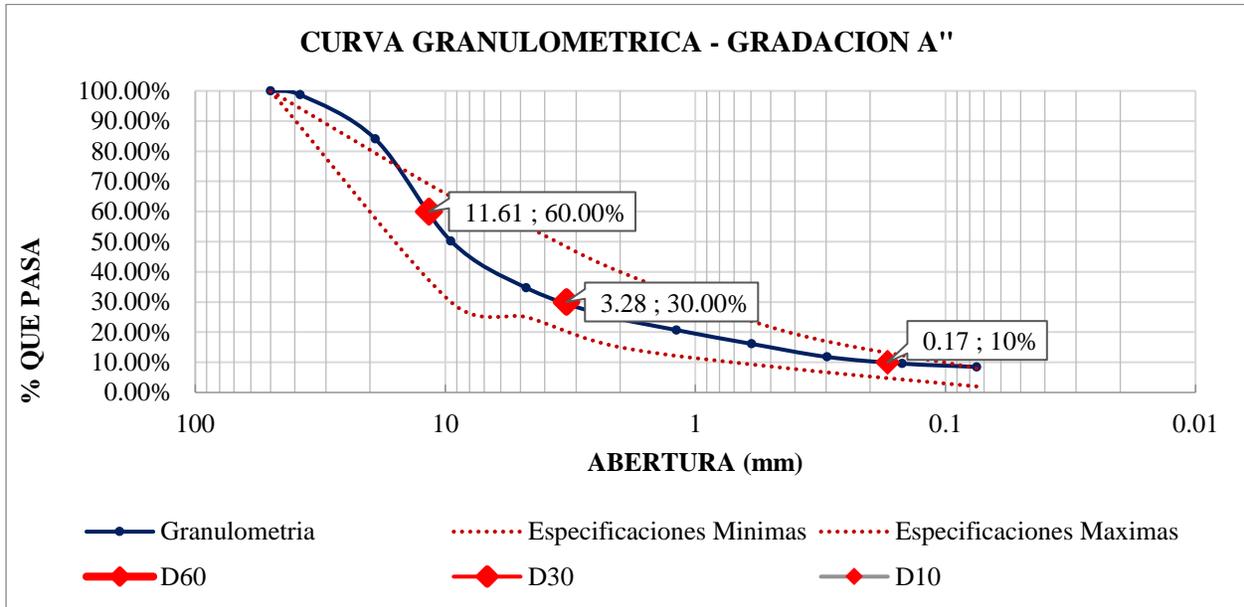
Tamiz	Gradación	Gradación	Gradación	Gradación
	A	B	C	D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 µm. (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 µm. (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Nota. La curva de gradación A debe emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm Fuente: ASTM D 1241

Debido a que las canteras de estudio se encuentran ubicadas en la provincia de Canchis cuya altitud es de 3548 msnm es de uso la gradación A, para la conformación de base o subbase granular, se detalla a continuación la curva granulométrica de Chumo y Chihuaco y se analiza a que gradación se acerca más.

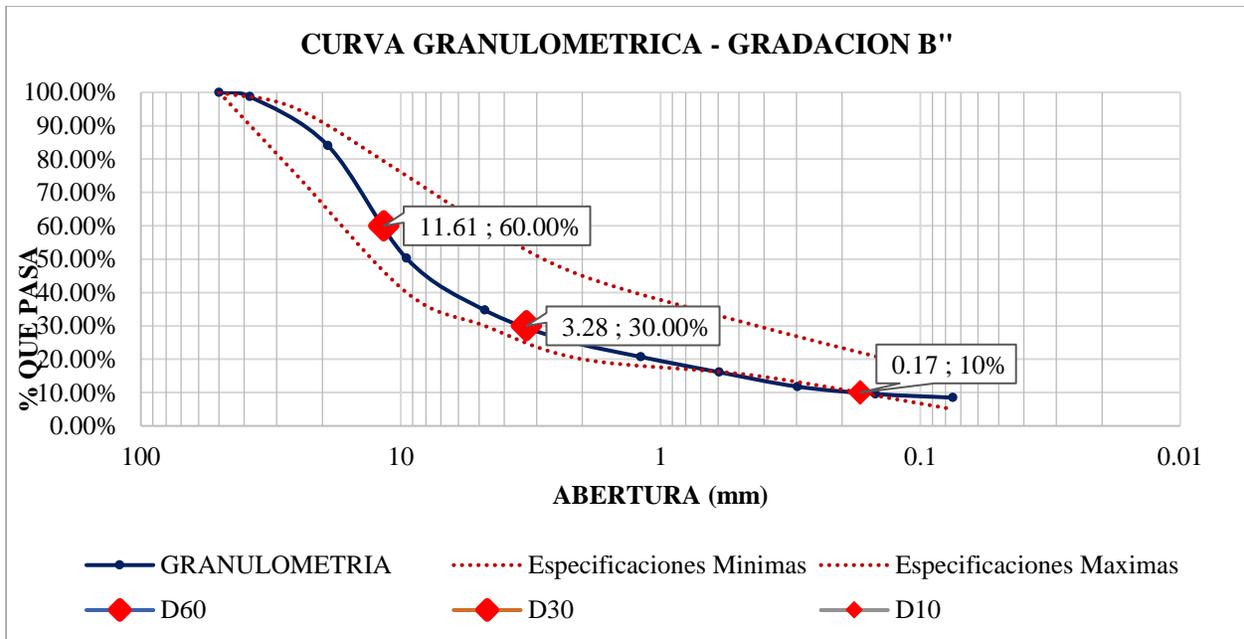
Cantera Chumo

Grafica 21 Curva granulométrica gradación A - Chumo



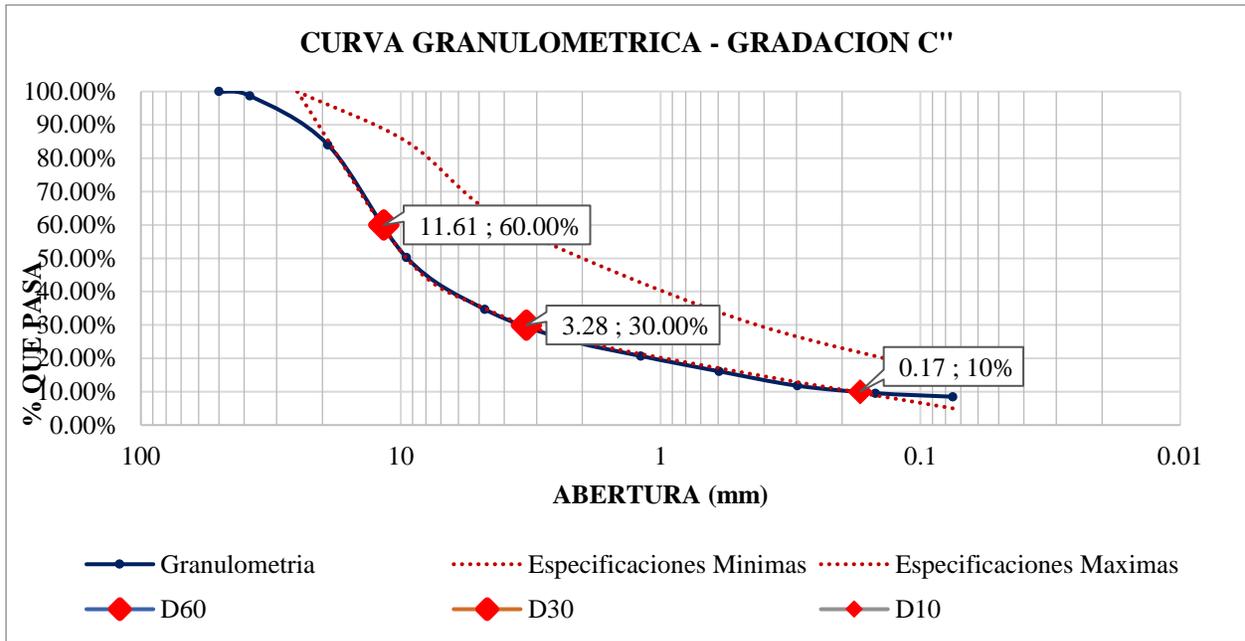
Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “A”
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 22 Curva granulométrica gradación B - Chumo



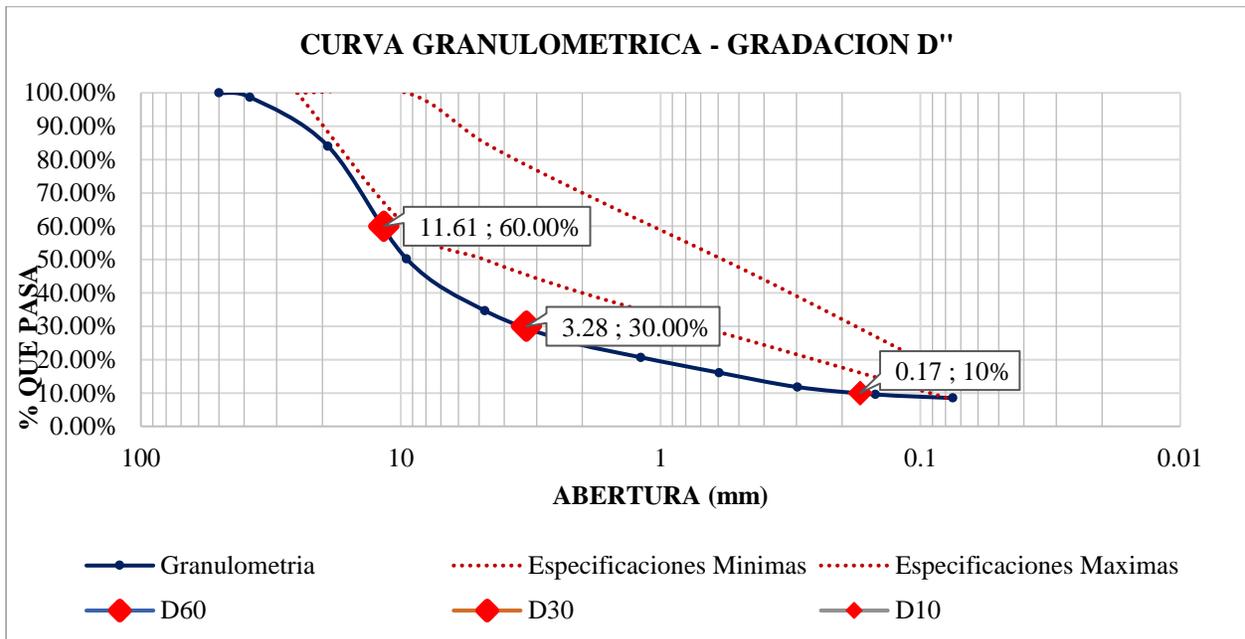
Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “B”
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 23 Curva granulométrica gradación C - Chumo



Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación "C"
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 24 Curva granulométrica gradación D - Chumo

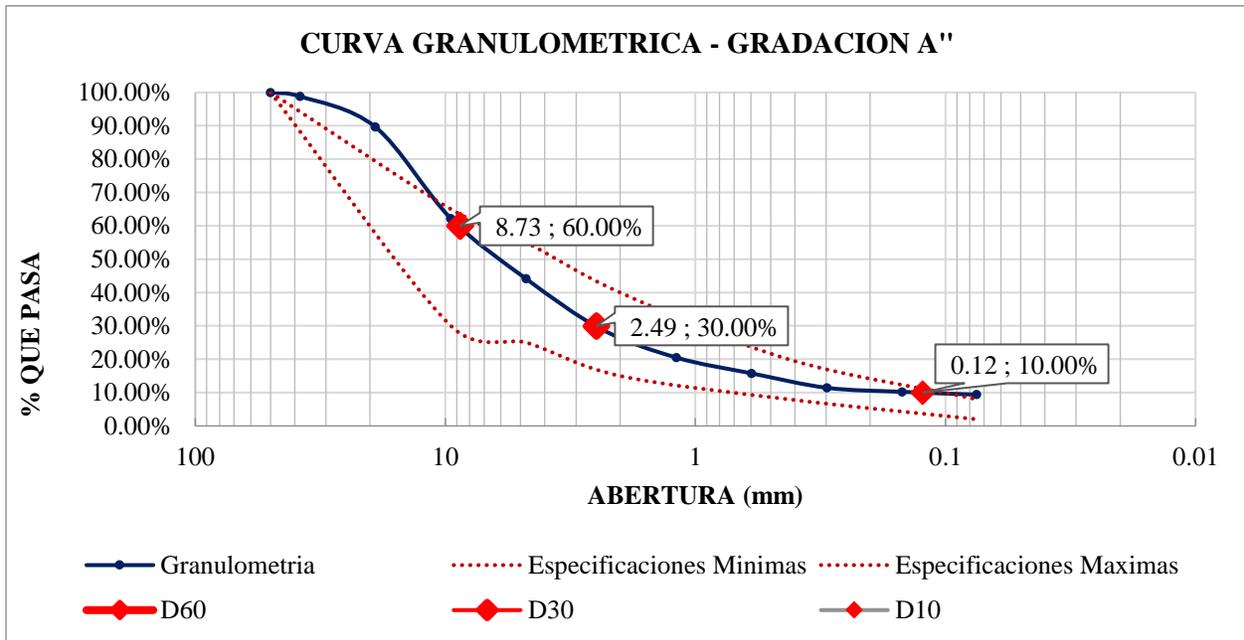


Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación "D"
 Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la curva granulométrica del suelo ensayado de la cantera Chumo está dentro de la gradación “B”, la cual no cumple con el requisito que indica la normativa (Gradación “A” para proyectos cuya altitud sea igual o superior a los 3000 msnm). Pero se asemeja un poco a la gradación requerida, por ende, a raíz del resultado de la granulometría del suelo, no se realizará ninguna combinación de agregados para mejorar esta propiedad y se procederá a realizar las estabilizaciones planteadas de emulsión asfáltica y cemento portland provenientes de las canteras de estudio. Se aprecia que la cantera presenta 71.10% de grava y 28.90% de agregado fino, valores que caracterizan a la cantera como material granular.

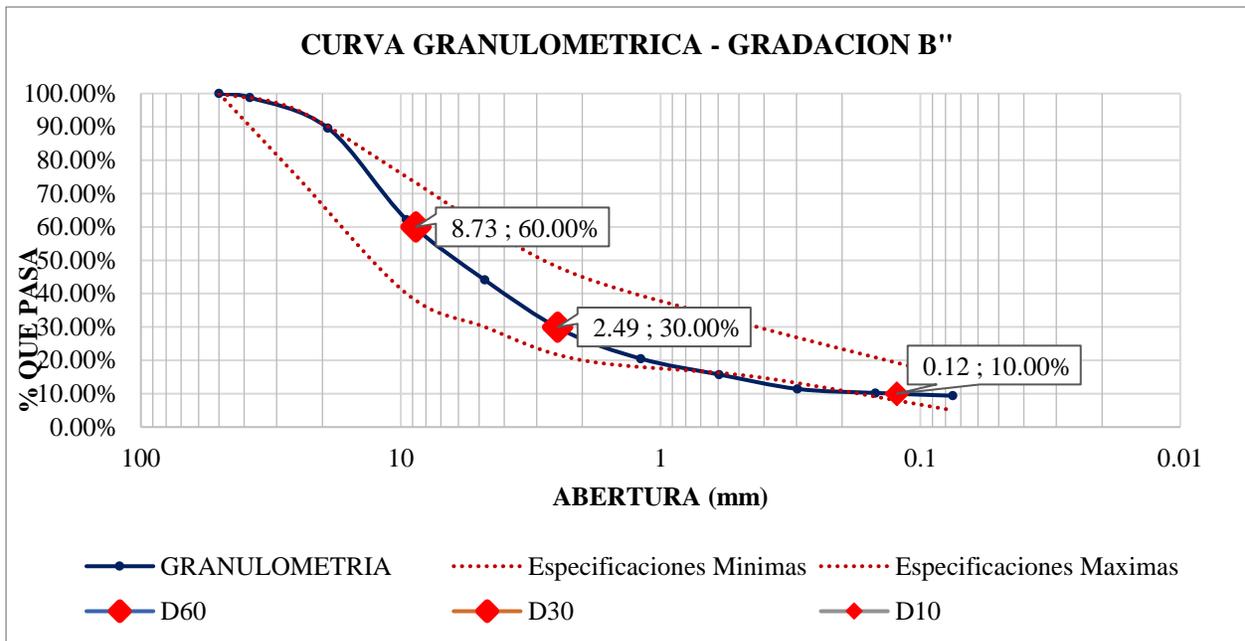
Cantera Chihuaco

Grafica 25 Curva granulométrica gradación A - Chihuaco



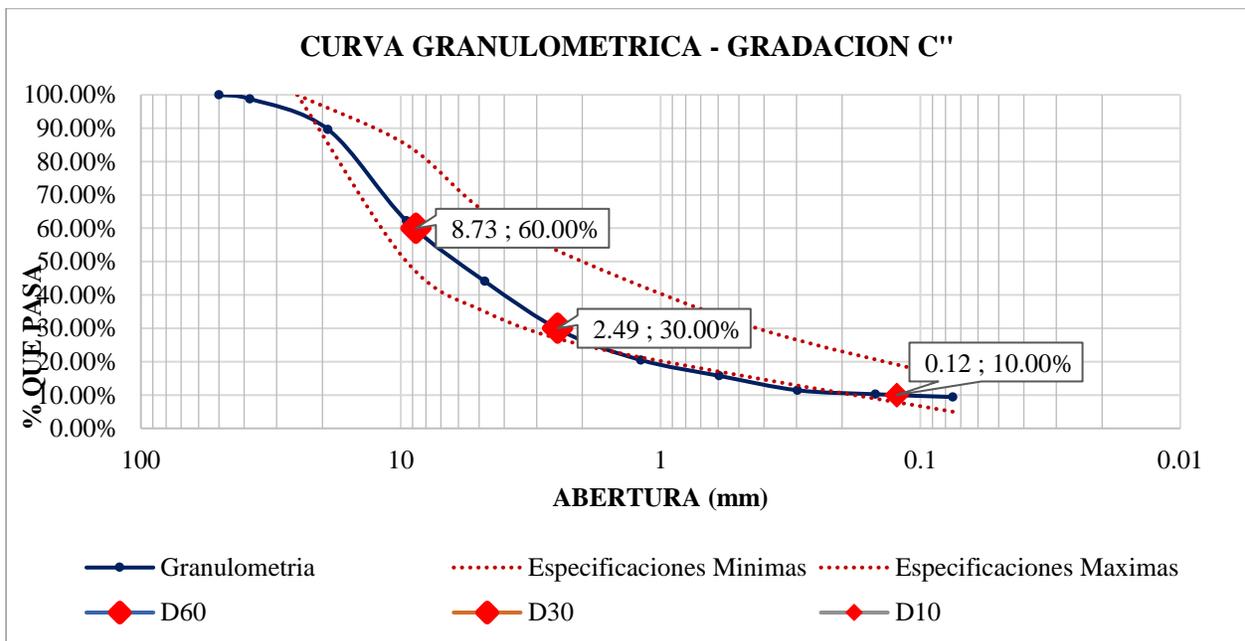
Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “A”
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 26 Curva granulométrica gradación B - Chihuaco



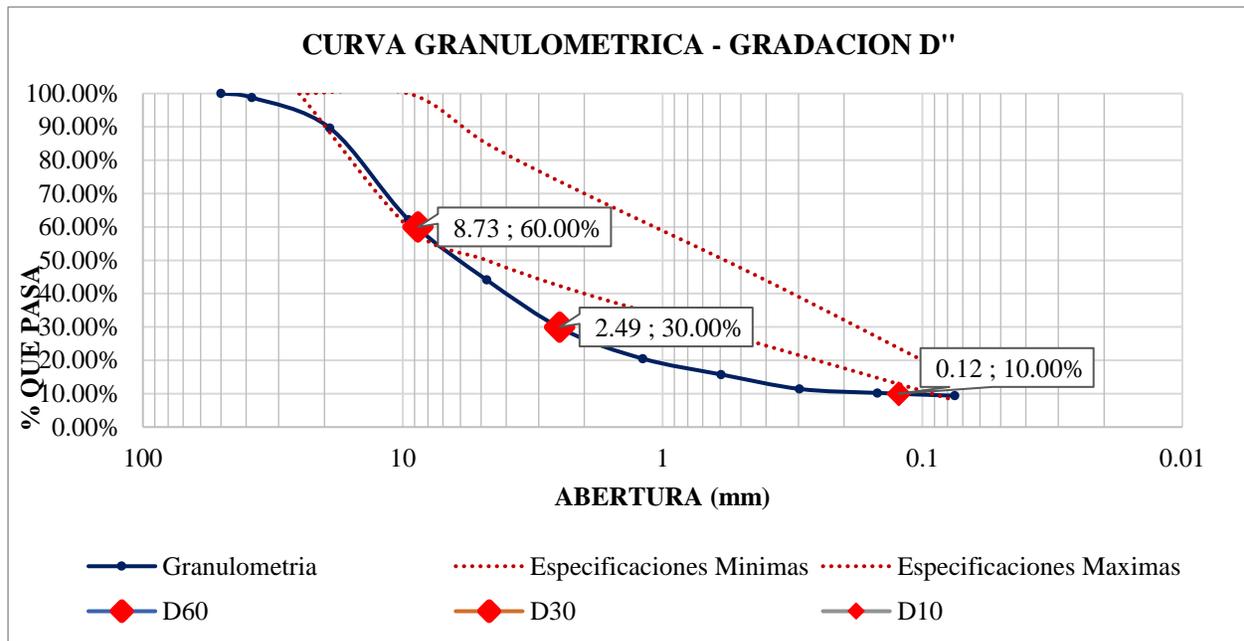
Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “B”
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 27 Curva granulométrica gradación C - Chihuaco



Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “C”
 Fuente: Elaboración propia

Grafica 28 Curva granulométrica gradación D - Chihuaco



Nota. Se aprecia la curva granulométrica del suelo ensayado y los límites de la gradación “D”
Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que la curva granulométrica del suelo ensayado de la cantera Chihuaco está dentro de la gradación “B”, la cual no cumple con el requisito que indica la normativa. Esta se asemeja un poco a la gradación requerida (Gradación “A”). Por ende, no se realizará ninguna combinación de agregados para mejorar esta propiedad y se procederá a realizar las estabilizaciones planteadas de emulsión asfáltica y cemento portland provenientes de las canteras de estudio. Se aprecia que la cantera presenta 62.15% de grava y 37.85% de agregado fino, valores que caracterizan a la cantera como material granular y tendrá influencia en sus propiedades.

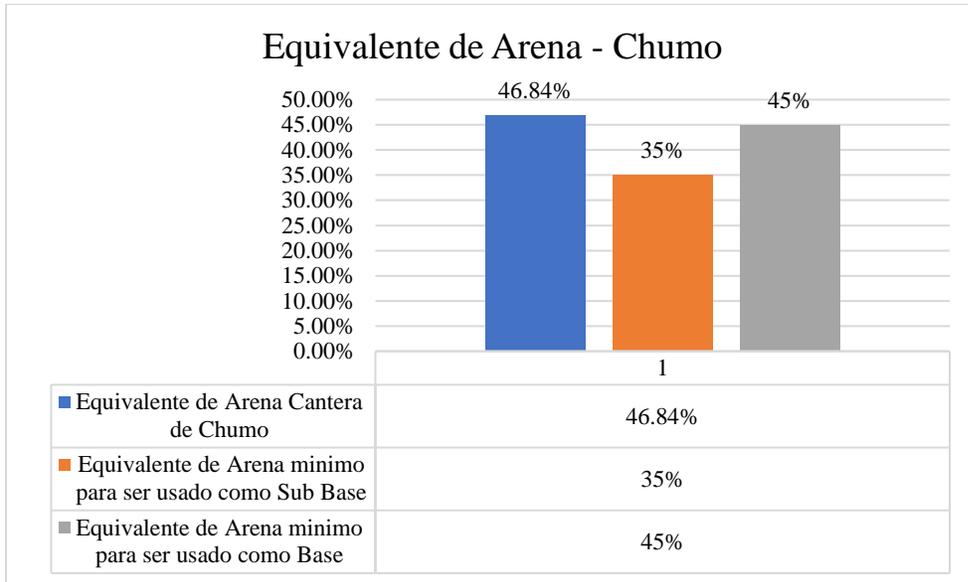
Análisis de Resultados Equivalente de Arena

Cantera Chumo

Para la cantera de Chumo, se tuvo un porcentaje de Equivalente de Arena de 46.84%. Se observa que, para alturas mayores a 3000 msnm, exigen un mínimo de 35%, para ser usado como

material de sub base y mínimo de 45% para ser usado como base granular. Teniendo esos dos datos, detallamos que la cantera de Chumo satisface características mínimas para ser usado tanto como base y sub base granular.

Grafica 29 Equivalente de Arena cantera de Chumo

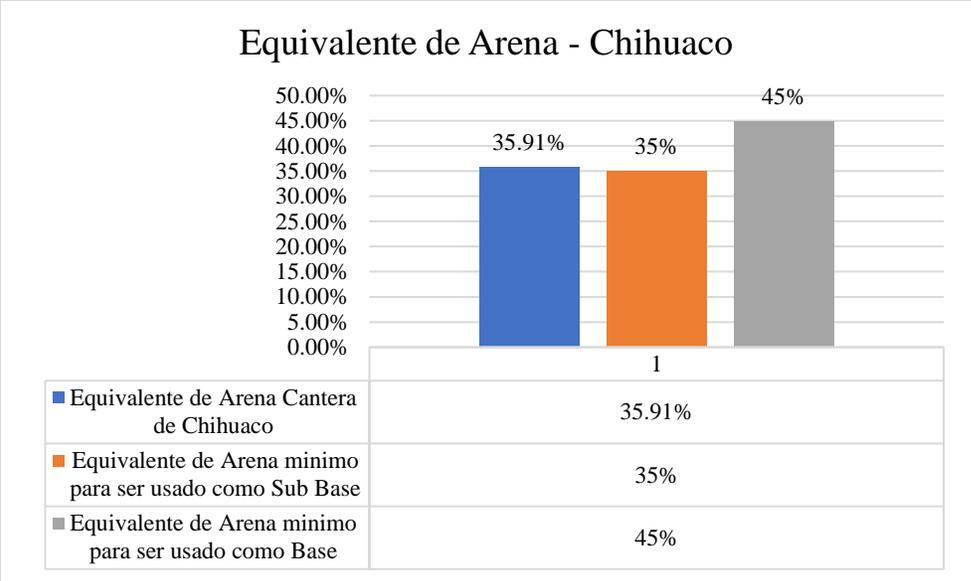


Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Para la cantera de Chihuaco, se tuvo un porcentaje de Equivalente de Arena de 35.91%. Se observa que, para alturas mayores a 3000 msnm, exigen un mínimo de 35%, para ser usado como material de sub base y mínimo de 45% para ser usado como base granular. Teniendo esos dos datos, detallamos que la cantera de Chihuaco satisface características mínimas para ser usado como material de sub base, mas no para ser usado tanto como base granular.

Grafica 30 Equivalente de Arena cantera de Chihuaco



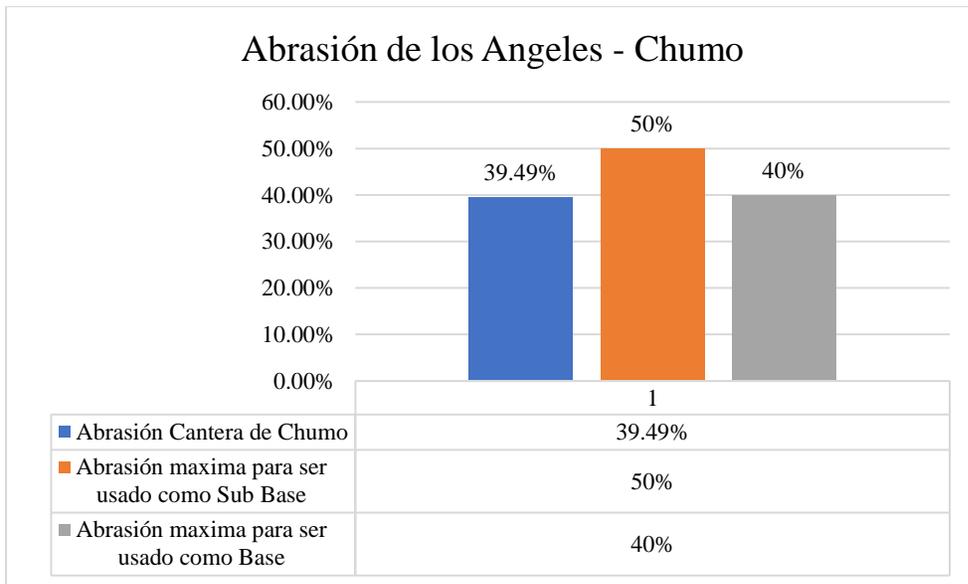
Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis de Resultados Ensayo de Abrasión

Cantera Chumo

Para la cantera de Chumo, se tuvo un porcentaje de desgaste en la máquina de abrasión a los ángeles de 39.49%. Se observa que, para alturas mayores a 3000 msnm, no se puede tener más del 50%, para ser usado como material de sub base y un máximo de 40% para ser usado como base granular. Teniendo esos dos datos, detallamos que la cantera de Chumo satisface características mínimas para ser usado tanto como base y sub base granular.

Grafica 31 Abrasión de los Ángeles cantera de Chumo

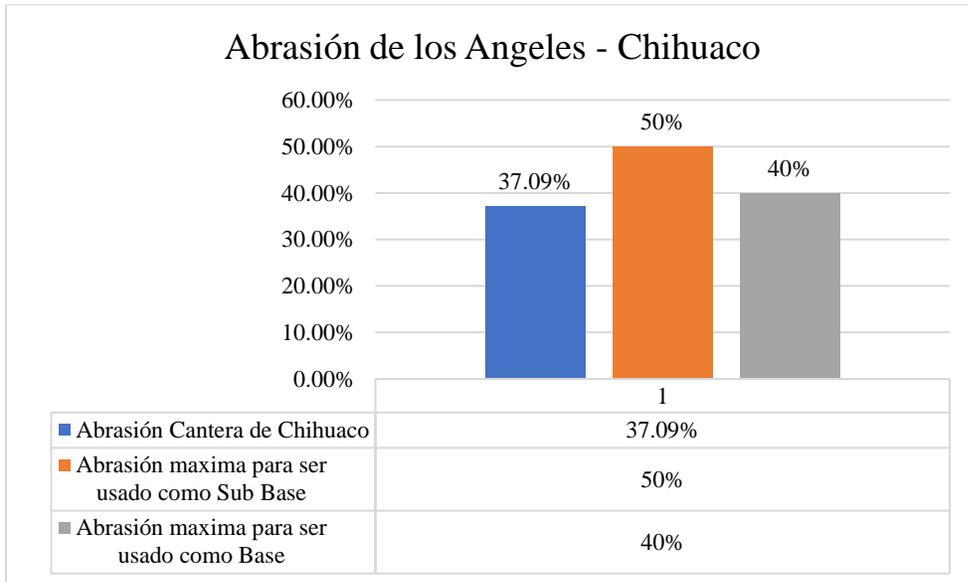


Nota. Fuente: Elaboración propia

Cantera Chihuaco

Para la cantera de Chihuaco, se tuvo un porcentaje de Equivalente de Arena de 37.09%. Se observa que, para alturas mayores a 3000 msnm, no se puede tener más del 50%, para ser usado como material de sub base y un máximo de 40% para ser usado como base granular. Teniendo esos dos datos, detallamos que la cantera de Chumo satisface características mínimas para ser usado tanto como base y sub base granular.

Grafica 32 Equivalente de Arena cantera de Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados del Proctor Modificado y Relaciones Humedad-Densidad Suelo Cemento

Se tienen los contenidos de humedad óptima y densidad máxima seca hallada por los ensayos antes mencionados para cada una de las canteras respectivas.

Cantera Chumo

Se tiene los siguientes datos para la cantera de Chumo.

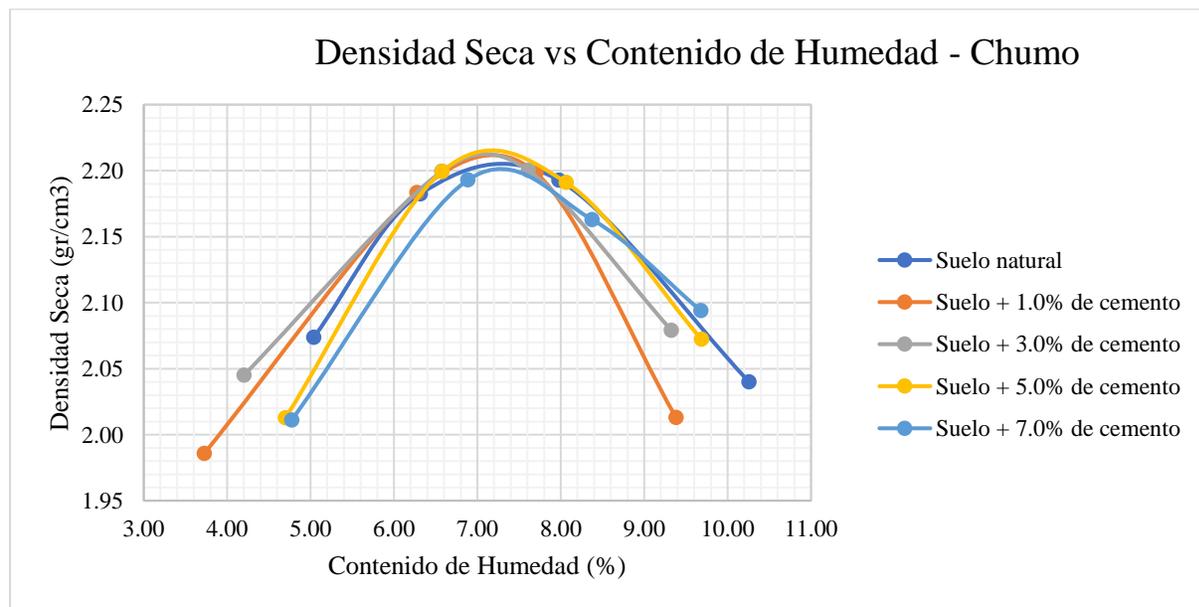
Tabla 106 Contenidos de Humedad Optima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chumo

Chumo		
Porcentaje de adición	Contenido Optimo de Humedad (%)	Máxima Densidad seca (gr/cm3)
Sin adición	7.262	2.206
1.00%	7.123	2.211
3.00%	7.106	2.207
5.00%	7.191	2.208
7.00%	7.288	2.198

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores fueron extradidos de los diferentes gráficos presentes de Humedad vs Densidad Seca, en el grafico siguiente se visualiza la curva de compactación establecida por el suelo en estado natural y su respectiva adición con cemento.

Grafica 33 Resultados del análisis de Humedad Optima y Máxima Densidad seca de la cantera de Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Para la cantera de Chumo, de los datos anteriores se observa que la mayor Densidad Seca Máxima alcanzada se obtiene al añadir 1% de cemento, aclarando que no se encontró una relación directa entre el contenido de Humedad Optimo y la Densidad Seca Máxima. Además, se tiene un promedio de 7.194% de Humedad Optima y 2.206 gr/cm³ de la Densidad Seca Máxima, De la gráfica no podemos fijar que esto datos de Humedad Optima y Máxima Densidad Seca tienen una dispersión baja.

Cantera Chihuaco

Se tiene los siguientes datos para la cantera de Chihuaco.

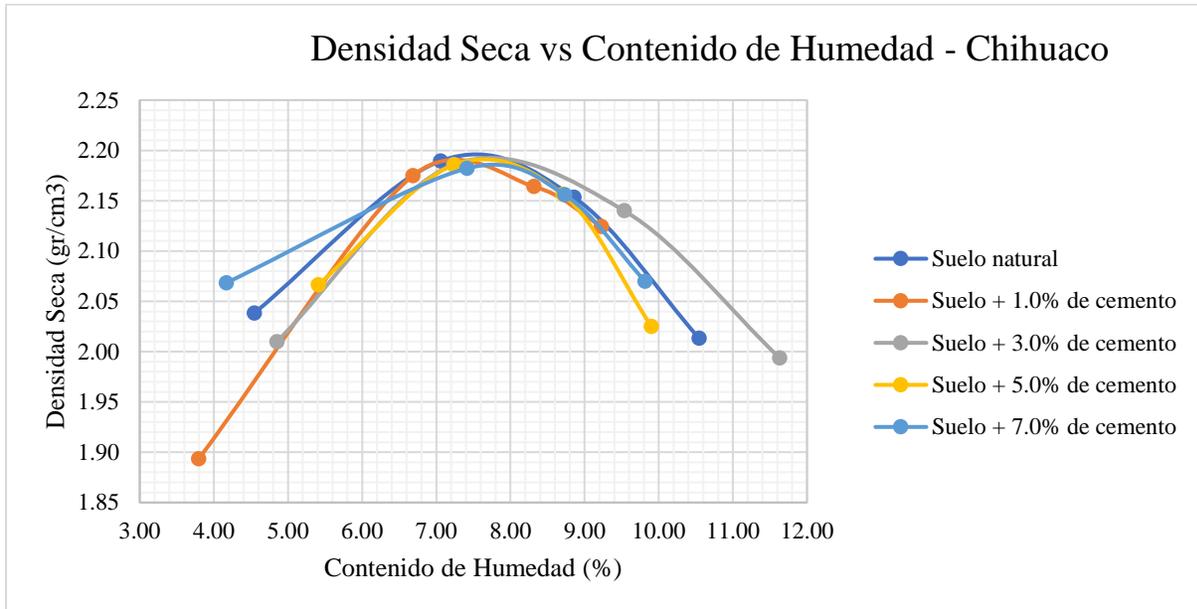
Tabla 107 Contenidos de Humedad Optima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chihuaco

Chihuaco		
Porcentaje de adición	Contenido de humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)
Sin adición	7.398	2.192
1.00%	7.354	2.185
3.00%	7.886	2.194
5.00%	7.586	2.189
7.00%	7.667	2.184

Nota. Fuente: Elaboración propia

Los datos anteriores fueron extradidos de los diferentes gráficos presentes de Humedad vs Densidad Seca, en el grafico siguiente se visualiza la curva de compactación establecida por el suelo en estado natural y su respectiva adición con cemento.

Grafica 34 Resultados del análisis de Humedad Optima y Máxima Densidad seca de la cantera de Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos anteriores se observa que la mayor Densidad Seca Máxima alcanzada se obtiene al añadir 3% de cemento, aclarando que no se encontró una relación directa entre el contenido de Humedad Optimo y la Densidad Seca Máxima. Además, se tiene un promedio de 7.578% de Humedad Optima y 2.189 gr/cm³ de la Densidad Seca Máxima. De la gráfica no podemos fijar que esto datos de Humedad Optima y Máxima Densidad Seca tienen una dispersión baja.

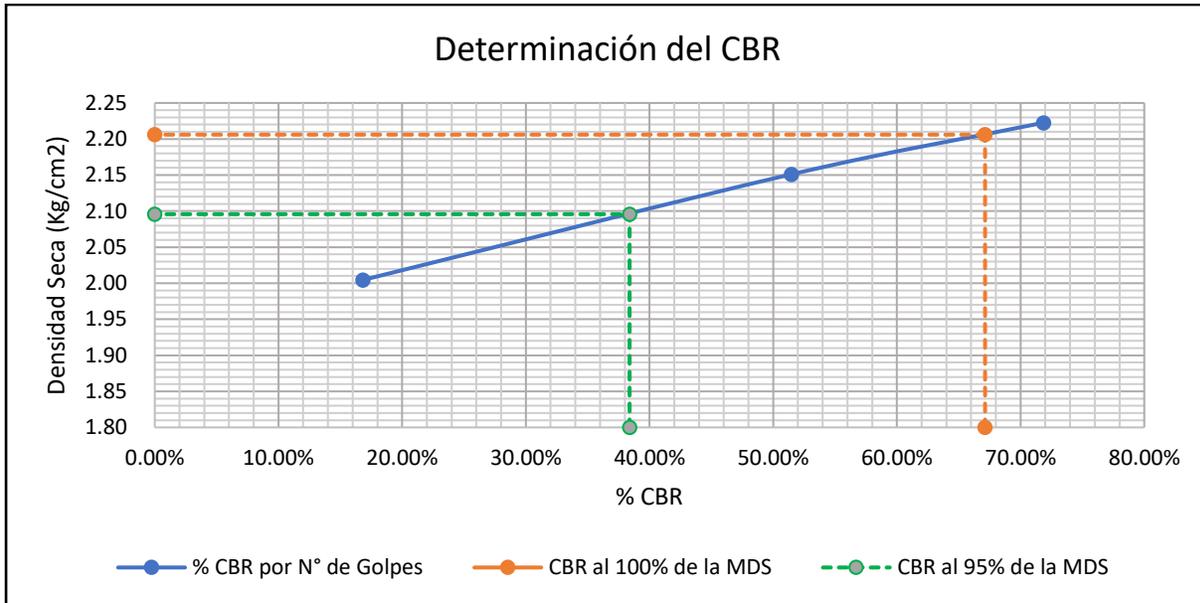
Análisis de resultados del ensayo CBR en suelo natural

De los resultados obtenidos anteriormente, si hizo el cálculo del porcentaje de CBR para cada uno de los ensayos realizados. Esto para cada una de las canteras.

Cantera Chumo

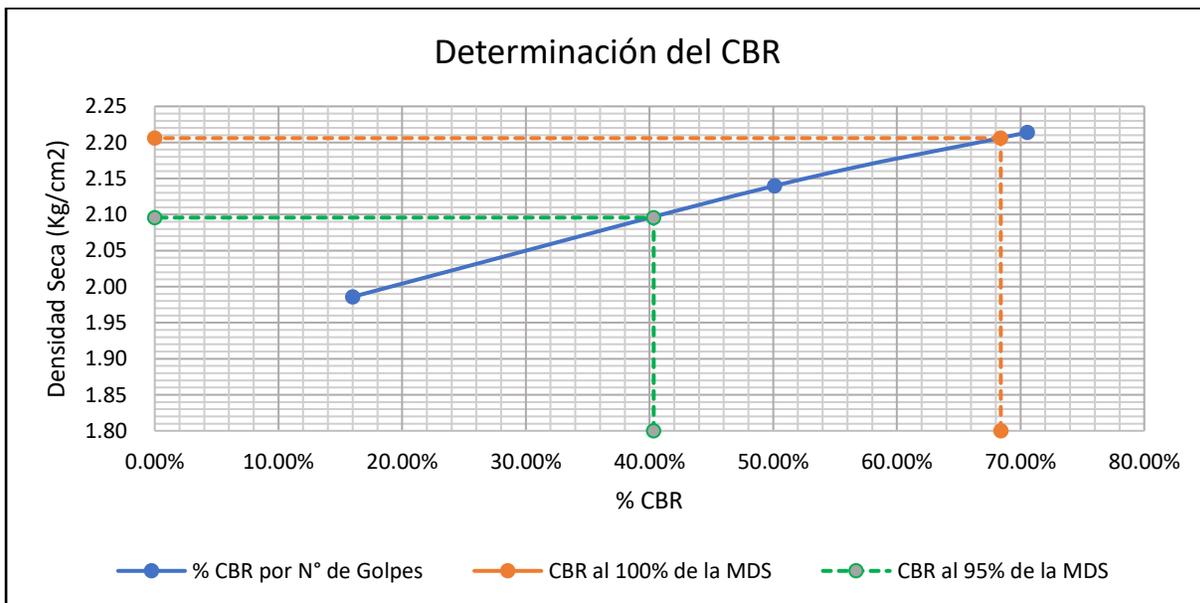
Teniendo los siguientes para la cantera de Chumo.

Grafica 35 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 01 – Cantera de Chumo



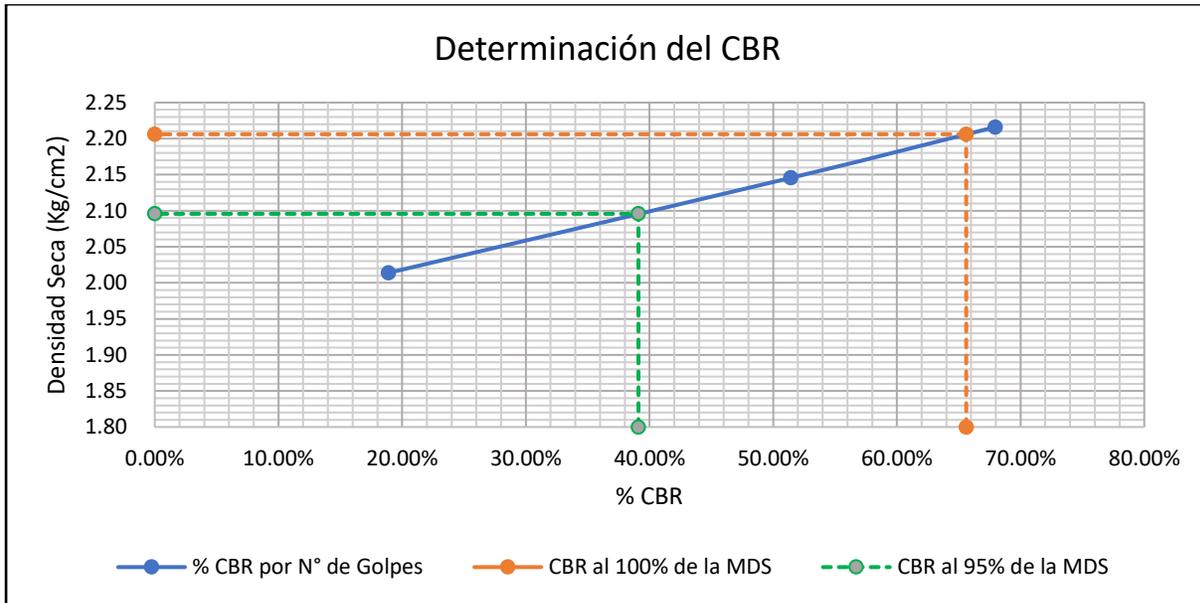
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 36 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 02 – Cantera de Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 37 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 03 – Cantera de Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se tiene:

Tabla 108 Contenidos de Humedad Óptima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chumo

Muestra	Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"
Muestra 1	67.13%	38.39%
Muestra 2	68.40%	40.34%
Muestra 3	65.61%	39.11%
Promedio	67.05%	39.28%

Nota. Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se tiene que, El CBR promedio al 100% de la MDS de la cantera de chumo, es de 67.05%, el cual cumple con el CBR mínimo requerido de 40% para ser utilizado como sub base granular, más estas características no satisfacen ninguno de los dos casos existentes

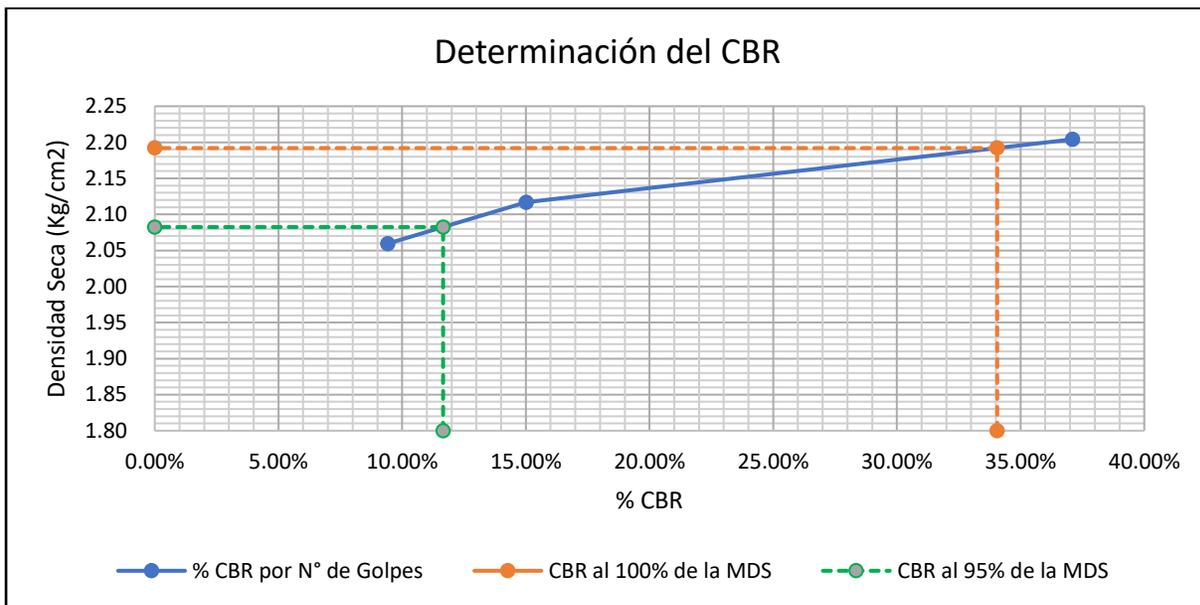
de CBR para base granular; en los cuales te pide un CBR de 100% y 80 % para un tráfico que supere el 1 000 000 de ejes equivalentes y para un tráfico de ejes equivalentes menor a 1 000 000.

En resumen, este material debe ser mejorado para ser usado como base granular.

Cantera Chihuaco

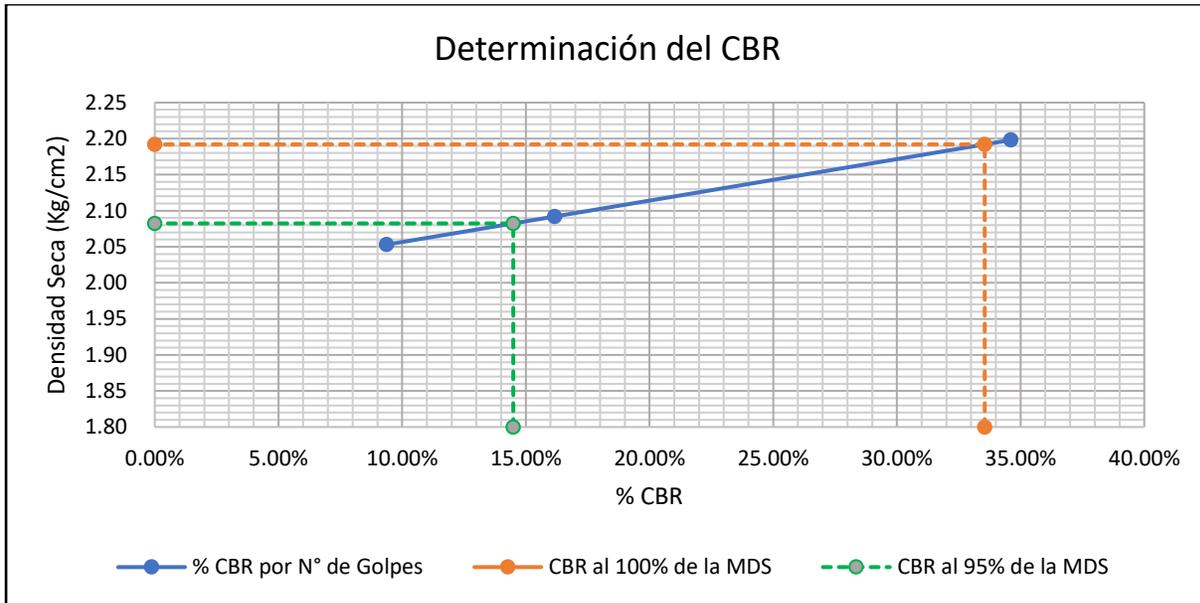
También para el caso de la cantera de Chihuaco.

Grafica 38 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 01 – Cantera de Chihuaco



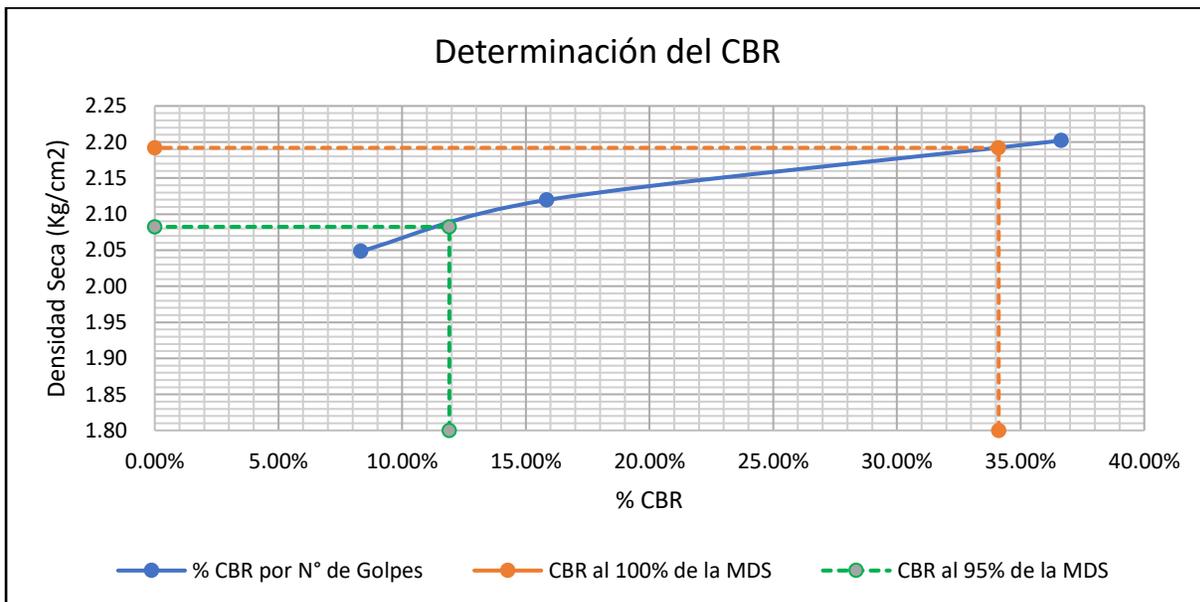
Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 39 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 02 – Cantera de Chihuahaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 40 Determinación de CBR al 100% y al 95% muestra 03 – Cantera de Chihuahaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se tiene:

Tabla 109 Contenidos de Humedad Optima y Máxima Densidad Seca para los diferentes porcentajes de suelos cemento y suelo natural cantera de Chihuaco

Muestra	Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"
Muestra 1	34.06%	11.66%
Muestra 2	33.55%	14.49%
Muestra 3	34.12%	11.91%
Promedio	33.91%	12.69%

Nota. Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se tiene que, El CBR promedio al 100% de la MDS de la cantera de chumo, es de 33.91%, el cual no cumple con el CBR mínimo requerido de 40% para ser utilizado como sub base granular, y por ende no satisface el CBR mínimo requerido para ser usado como base granular.

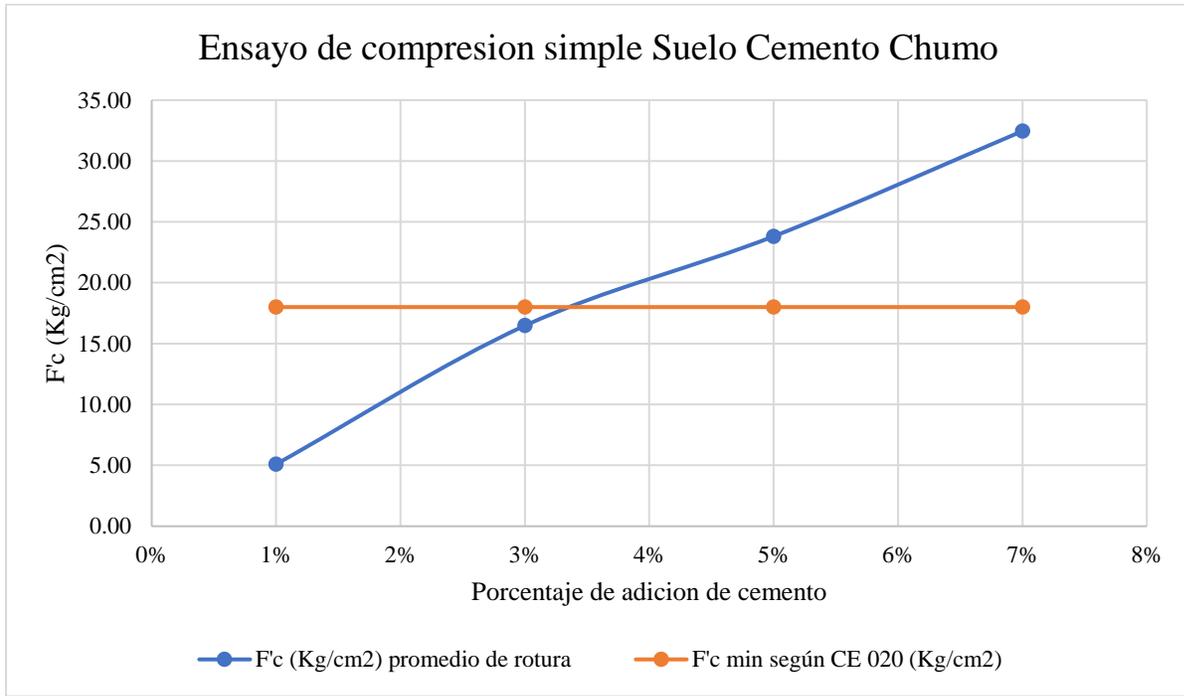
En resumen, este material debe ser mejorado para ser usado tanto como sub base granular o base granular.

Análisis de resultados del ensayo de presión confinada

Cantera Chumo

De los resultados obtenidos de la rotura de compresión simple de las canteras de Chumo se tiene:

Grafica 41 Resultados de compresión simple cantera de Chumo, en comparación con lo exigido por la norma CE 020.



Nota. Fuente: Elaboración propia

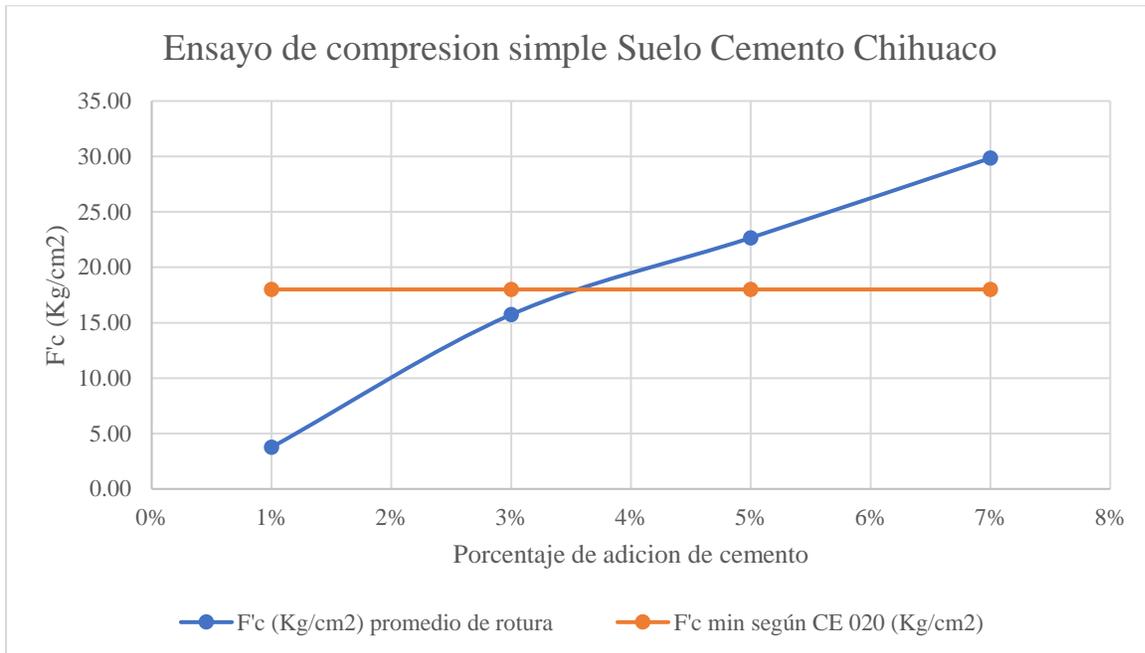
Del grafico anterior se tiene que, de la briquetas elaboradas y sometidas a compresión a los 7 días, la briqueta con un añadido de 5% de cemento al material granular de Chumo, que tiene una resistencia de 23.81 kg/cm², cumplió la resistencia mínima requerida según la norma CE 020, la cual indica que debe superar un mínimo de 18 kg/cm².

Según lo indicado anteriormente respecto al MTC E 1103 existe una conversión de relación de briqueta Altura a Diámetro de 2 a 1, a una relación de 1.15 a 1, con un factor de 1.10. El cual, si es aplicado para nuestro caso, para el valor de 5% de cemento con suelo, nos da una resistencia de 21.65 Kg/cm². El cual también supera el mínimo requerido de 18 Kg/cm².

Cantera Chihuaco

De la misma forma se tienen los resultados obtenidos de la rotura de compresión simple de las canteras de Chihuaco.

Grafica 42 Resultados de compresión simple cantera de Chihuaco, en comparación con lo exigido por la norma CE 020.



Nota. Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se tiene que, de la briquetas elaboradas y sometidas a compresión a los 7 días, la briqueta con un añadido de 5% de cemento al material granular de Chihuaco, que tiene una resistencia de 22.66 kg/cm², cumplió la resistencia mínima requerida según la norma CE 020, la cual indica que debe superar un mínimo de 18 kg/cm².

Según lo indicado anteriormente respecto al MTC E 1103 existe una conversión de relación de briqueta Altura a Diámetro de 2 a 1, a una relación de 1.15 a 1, con un factor de 1.10. El cual,

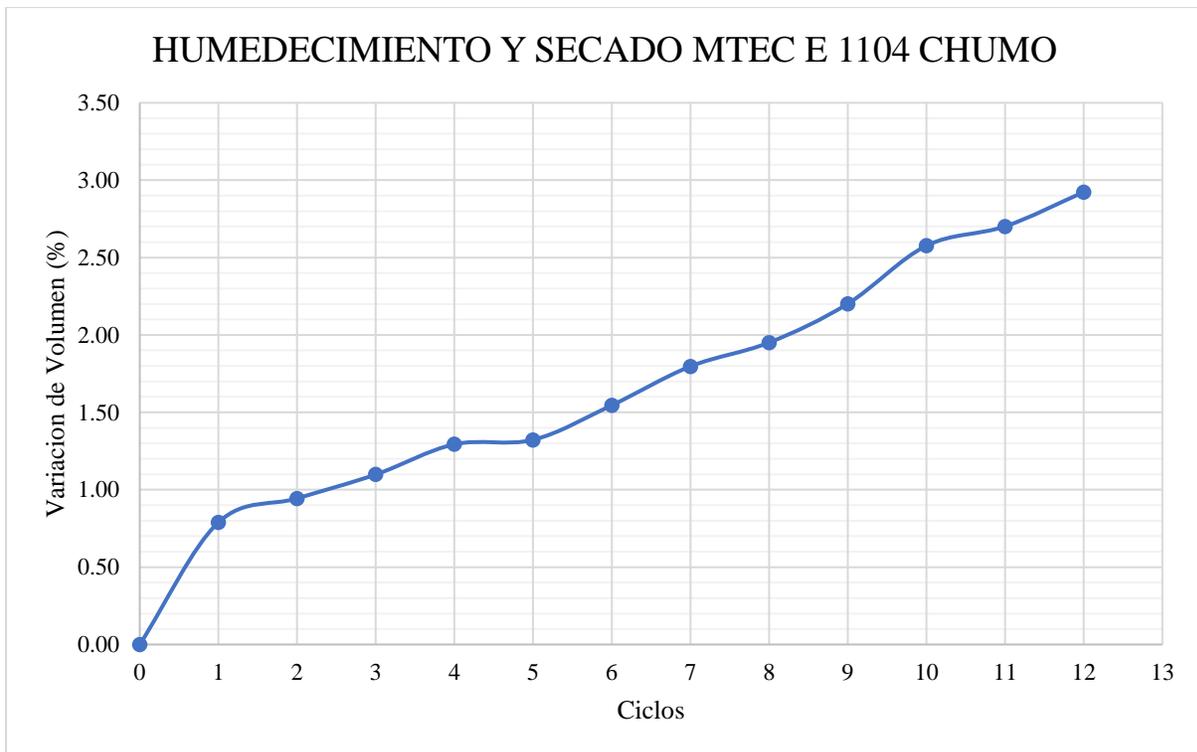
si es aplicado para nuestro caso, para el valor de 5% de cemento con suelo, nos da una resistencia de 20.60 Kg/cm². El cual también supera el mínimo requerido de 18 Kg/cm².

Análisis de Resultados del Ensayo de Humedecimiento y Secado

Cantera Chumo

De los resultados obtenidos del ensayo MTC E 1104 para la cantera de chumo, se tiene el siguiente gráfico:

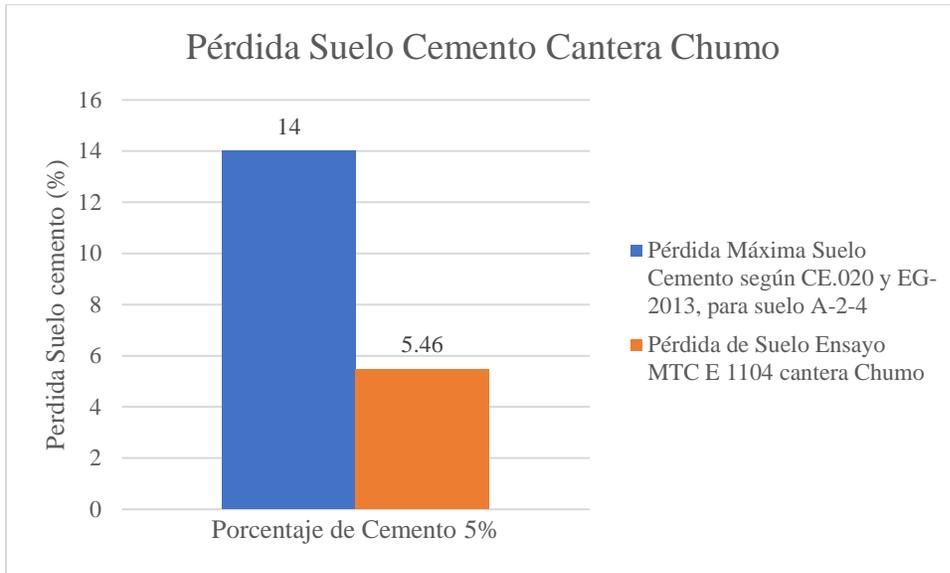
Grafica 43 Variación de volumen en el ensayo de humedecimiento y secado cantera Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

De la cual se observa que en el ciclo 12 se obtuvo una variación máxima de 2.92%, indicando una baja variabilidad de volumen, lo cual indica que la mezcla compactada no es expansiva; por el contrario, es compacta, resistente y estable.

Grafica 44 Pérdida suelo cemento cantera Chumo



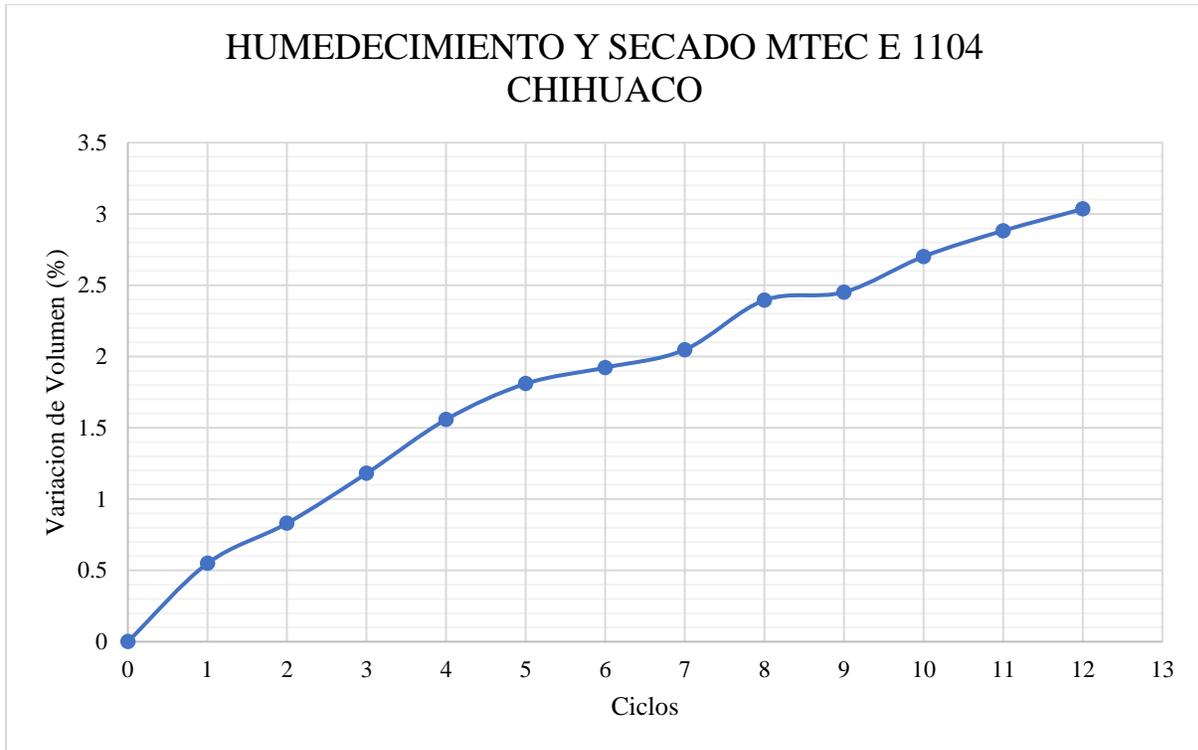
Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos ensayados se tiene que para un porcentaje añadido de 5.00% de cemento al suelo de la cantera de Chumo se tiene una pérdida de 5.46%, el cual es menor al 14.0%, que representa una pérdida máxima para el tipo de suelo A-2-4. Con lo cual el material de la cantera de Chumo más 5% de cemento, mantiene su cohesión a través de los ciclos repetitivos de humedecimiento y secado, lo cual indica una buena durabilidad, resistencia y estabilidad a largo plazo al ser usado como un material de base granular.

Cantera Chihuaco

También para los resultados los resultados obtenidos del ensayo MTC E 1104 para la cantera de Chihuaco, se tiene el siguiente gráfico:

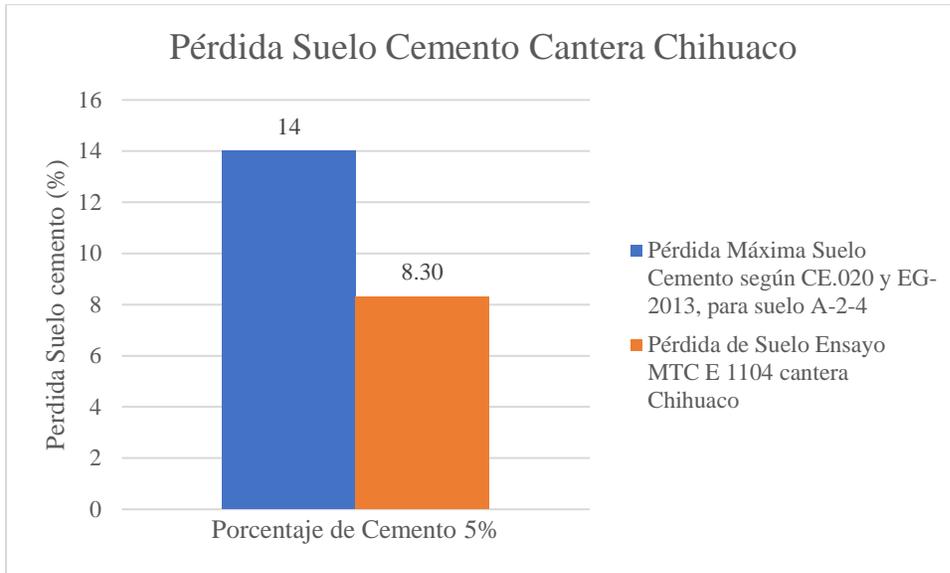
Grafica 45 Variación de volumen en el ensayo de humedecimiento y secado cantera Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

De la cual se observa que en el ciclo 12 se obtuvo una variación máxima de 3.03%, indicando una baja variabilidad de volumen, lo cual indica que la mezcla compactada no es expansiva; por el contrario, es compacta, resistente y estable.

Grafica 46 Pérdida suelo cemento cantera Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

De los datos ensayados se tiene que para un porcentaje añadido de 5.00% de cemento al suelo de la cantera de Chihuaco se tiene una pérdida de 8.30 %, el cual es menor al 14.0%, que representa una pérdida máxima para el tipo de suelo A-2-4. Con lo cual el material de la cantera de Chihuaco más 5% de cemento, mantiene su cohesión a través de los ciclos repetitivos de humedecimiento y secado, lo cual indica una buena durabilidad, resistencia y estabilidad a largo plazo al ser usado como un material de base granular.

Análisis de resultado de la estabilización de suelo con emulsión asfáltica

Según la Sección 301 E “Suelos estabilizados con emulsión asfáltica” de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción del (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013). Para la estabilización del suelo con emulsión asfáltica debe cumplir los siguientes parámetros indicados en la tabla:

Tabla 110 *Requerimiento para la estabilización con emulsión asfáltica*

Ensayo	Requisito	Cantera Chumo	Cantera Chihuaco
Pasante por el tamiz N°200	No mayor del 10%	8.69 %	9.31 %
Índice de Plasticidad	Menor o igual a 9%	6.02 %	5.23 %
Tamaño Máximo del agregado	No menor a 1/3 del espesor de la capa compactada	1 ½”	1 ½
Desgaste a la abrasión	No mayor a 50%	39.49 %	37.09 %

Nota. Se aprecia los requisitos para la estabilización del suelo con emulsión asfáltica. Fuente: Elaboración propia

De la tabla se deduce que los suelos de las canteras a ensayar cumplen con los requisitos para la estabilización con emulsión asfáltica. Por ende, se desarrollaron los ensayos para el cálculo óptimo de este. Con los resultados obtenidos de los ensayos se procederá a realizar los gráficos siguientes:

- Asfalto residual vs Estabilidad Seca Corregida y Estabilidad Húmeda Corregida
- Asfalto residual vs Gravedad máxima bulk
- Asfalto residual vs Pérdida de estabilidad

- Asfalto residual vs Flujo seco (mm) y Flujo Húmedo (mm)
- Asfalto residual vs Volumen de vacíos
- Asfalto residual vs Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)
- Asfalto residual vs Porcentaje de ligante efectivo

Para la elección del óptimo contenido de emulsión asfáltica se hará uso de las especificaciones Marshall de diseño indicados en el Manual MS-2 del Instituto del Asfalto, ingresando a las gráficas correspondiente con el porcentaje de vacíos e indicando el contenido de emulsión óptima de la mezcla, esta deberá cumplir los parámetros de estabilidad y fluencia indicados en la siguiente tabla.

Tabla 111 *Especificaciones Marshall de Diseño*

Especificación del Método Marshall	Tráfico Liviano	Tráfico Liviano	Tráfico Mediano	Tráfico Mediano	Tráfico Pesado	Tráfico Pesado
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
No. de golpes	35		50		75	
Estabilidad (Newtons)	3336 -		5338 -		8006 -	
Estabilidad (Libras)	750 -		1200 -		1800 -	
Fluencia 0,25 mm (0,01")	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5

Nota. Fuente: Thew Asphalt Institute's Manual MS-2

Asfalto residual vs Volumen de vacíos.

El contenido de asfalto en la mezcla tiene que ver con la trabajabilidad y el grado de compactación de la mezcla, los vacíos que presenta la muestra están ocupadas por aire y humedad. En la gráfica se aprecia que los vacíos inicialmente disminuyen a medida que aumenta el contenido

de asfalto residual. Luego, estos vacíos se incrementan. Este comportamiento se debe que al incrementar el contenido de asfalto residual la mezcla adquiere una mejor compactación, pero en niveles más altos de emulsión la compactación se dificulta incrementando el volumen de vacíos debido a que el aire contenido no puede ser expulsado tan fácilmente ya que el asfalto crea una especie de barrera que dificulta que el aire escape durante la compactación.

Según la tabla de especificaciones Marshall de diseño, el porcentaje de volumen de vacíos debe variar entre 3% y 5%, se elige el término medio del porcentaje de volumen de vacíos (4%) con el cual se determinará el porcentaje de asfalto residual óptimo.

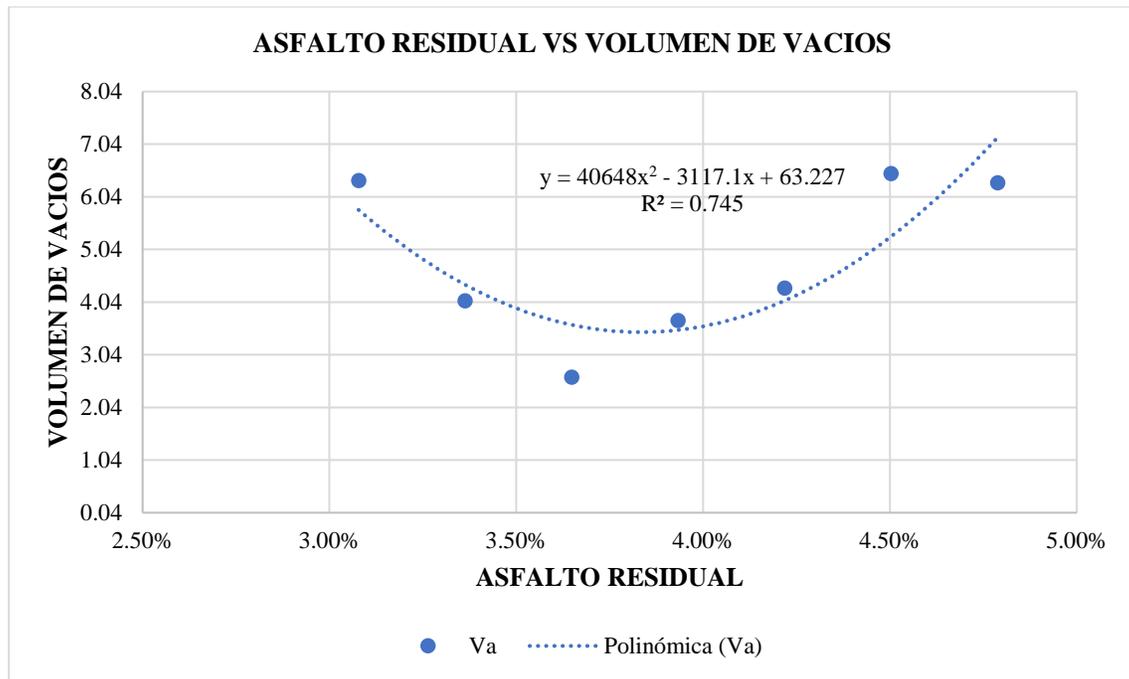
Cantera Chumo

Tabla 112 *Resultados del Porcentaje de Volumen de vacíos para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo*

Asfalto residual (Ar)	Volumen de Vacíos
3.08%	6.35
3.36%	4.06
3.65%	2.62
3.93%	3.69
4.22%	4.31
4.50%	6.48
4.79%	6.31

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 47 *Asfalto residual vs Volumen de vacíos - Chumo*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La curva de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

$$y = 40648x^2 - 3117.1x + 63.227$$

Se analiza con el porcentaje de volumen de vacíos igual al 3.5% y se calcula el asfalto residual que representa. Se obtiene dos valores (3.75% y 3.92%), se toma al asfalto residual igual a 3.75% porque según la línea de tendencia el porcentaje de vacíos tiende a disminuir el cual mejora su compactación. Asimismo, se realiza un análisis del porcentaje de vacíos permitidos en la mezcla. Según las otras graficas con un volumen de vacíos superior a 3.5 % y asfalto residual mayor a 3.75% las otras propiedades de la mezcla como la gravedad máxima bulk, flujo, ligante efectivo y porcentaje de vacíos llenos de asfalto no cumplen con lo permitido en la norma.

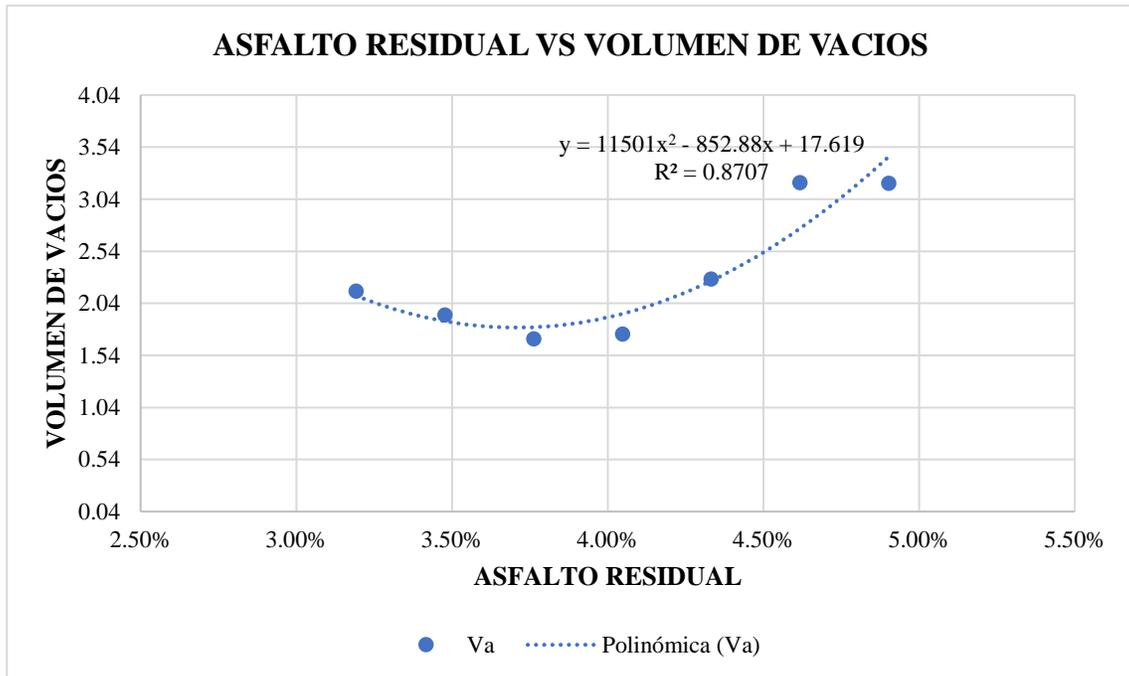
Cantera Chihuaco

Tabla 113 Resultados del Porcentaje de Volumen de vacíos para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Volumen de Vacíos
3.19%	2.16
3.48%	1.93
3.76%	1.70
4.05%	1.75
4.33%	2.69
4.62%	3.20
4.90%	3.19

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 48 Asfalto residual vs Volumen de vacíos - Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

$$y = 11501x^2 - 852.88x + 17.619$$

Se analiza con el porcentaje de volumen de vacíos igual al 3% y se calcula el asfalto residual que representa. Se obtiene dos valores (4.726% y 2.689%), se toma al asfalto residual igual a 4.726% porque es el porcentaje de asfalto residual que se acerca a la línea de tendencia con los datos obtenidos en los ensayos.

Asfalto residual vs Estabilidad Seca Corregida y Estabilidad Húmeda Corregida.

Analizando el grafico de estabilidad seca y humedad de las muestras puestas a ensayo se aprecia una pérdida de estabilidad que se atribuye al estado saturado superficialmente seca SSS de la muestra, con el cual se evalúa la susceptibilidad al agua identificando que la presencia de esta causa una pérdida de cohesión en la mezcla, provocando reducción en su capacidad de carga. Según indica la norma de Especificaciones generales para la construcción EG-2013 en su sección 301E para el contenido óptimo de emulsión asfáltica la perdida de estabilidad Marshall después de saturado debe ser máximo 50%.

Cantera Chumo

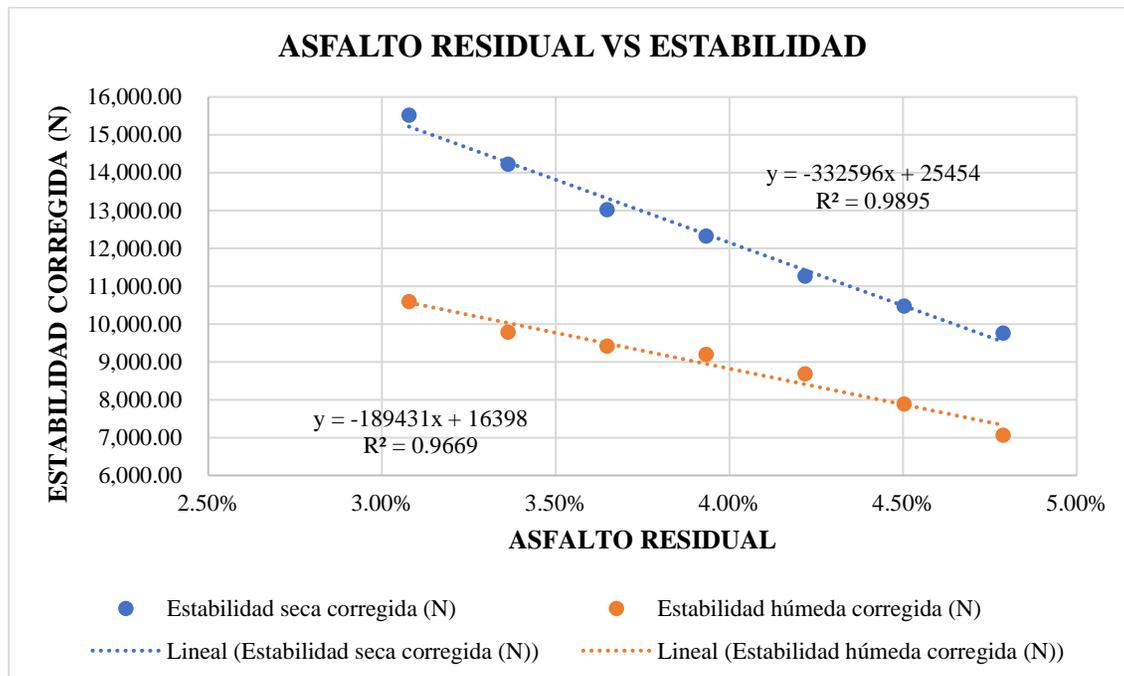
Tabla 114 *Resultados de la estabilidad seca y húmeda para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo*

Asfalto residual (Ar)	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)
3.08%	15,523.09	10,591.87
3.36%	14,229.48	9,786.42
3.65%	13,020.15	9,416.52
3.93%	12,329.56	9,201.80

4.22%	11,266.27	8,690.25
4.50%	10,480.67	7,886.38
4.79%	9,759.87	7,061.81

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 49 Asfalto residual vs Estabilidad - Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Estabilidad Seca

$$y = -332596x + 25454$$

Estabilidad Húmeda

$$y = -189431x + 16398$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados de estabilidad seca igual a 12995.86 N y estabilidad húmeda de 9302.4286 N, el cual cumple con las

especificaciones Marshall de diseño indicando que para un tráfico mediano la estabilidad mínima debe ser 5338 N y para un tráfico pesado de 8006 N. Por ende, el porcentaje de asfalto residual es el óptimo indicado.

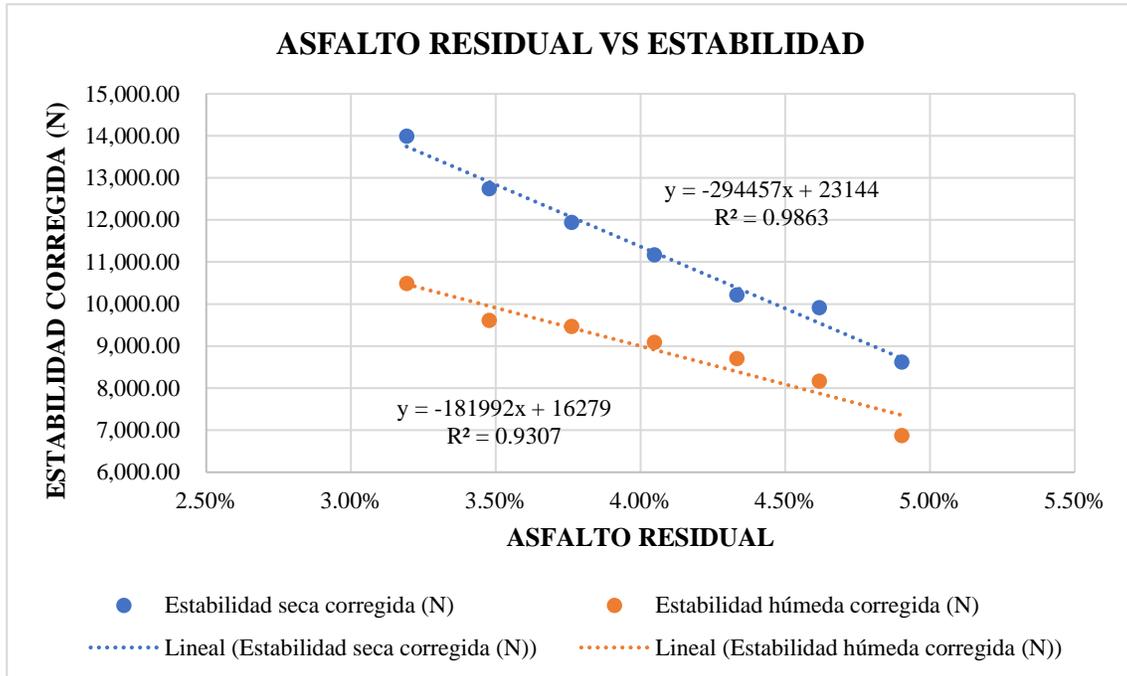
Cantera Chihuaco

Tabla 115 Resultados de la estabilidad seca y húmeda para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)
3.19%	13,988.44	10,492.33
3.48%	12,744.77	9,611.10
3.76%	11,942.24	9,467.25
4.05%	11,169.19	9,092.30
4.33%	10,216.13	8,700.44
4.62%	9,911.87	8,163.83
4.90%	8,619.85	6,871.81

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 50 *Asfalto residual vs Estabilidad - Chihuaco*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Estabilidad Seca

$$y = -294457x + 23144$$

Estabilidad Húmeda

$$y = -181992x + 16279$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados de estabilidad seca igual a 9227.29 N y estabilidad húmeda de 7677.64 N, el cual cumple con las especificaciones Marshall de diseño indicado para un tráfico mediano cuya estabilidad mínima debe ser 5338 N, esto debido al número de golpes aplicado en el ensayo de Marshall modificado (50 golpes). Para un tráfico pesado la estabilidad mínima debe 8006 N y según el diseño realizado

no estaría cumpliendo este parámetro como lo hace la cantera Chumo resaltando el número de golpes aplicado al espécimen de ensayo. Por ende, el porcentaje de asfalto residual es el óptimo indicado.

Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad.

Este análisis revela principalmente como la cantidad de asfalto residual afecta la resistencia de la mezcla donde la presencia de agua afecta la cohesión y estabilidad de la muestra. En este análisis de datos la relación muestra una curva en “U” donde a bajos contenidos de asfalto residual la mezcla no contiene suficiente ligante asfáltico para mantener los agregados cohesionados, en cambio cuando se presenta un excesivo contenido de asfalto residual esta puede afectar la compactación provocando vacíos internos llenos de agua y aire afectando su estabilidad.

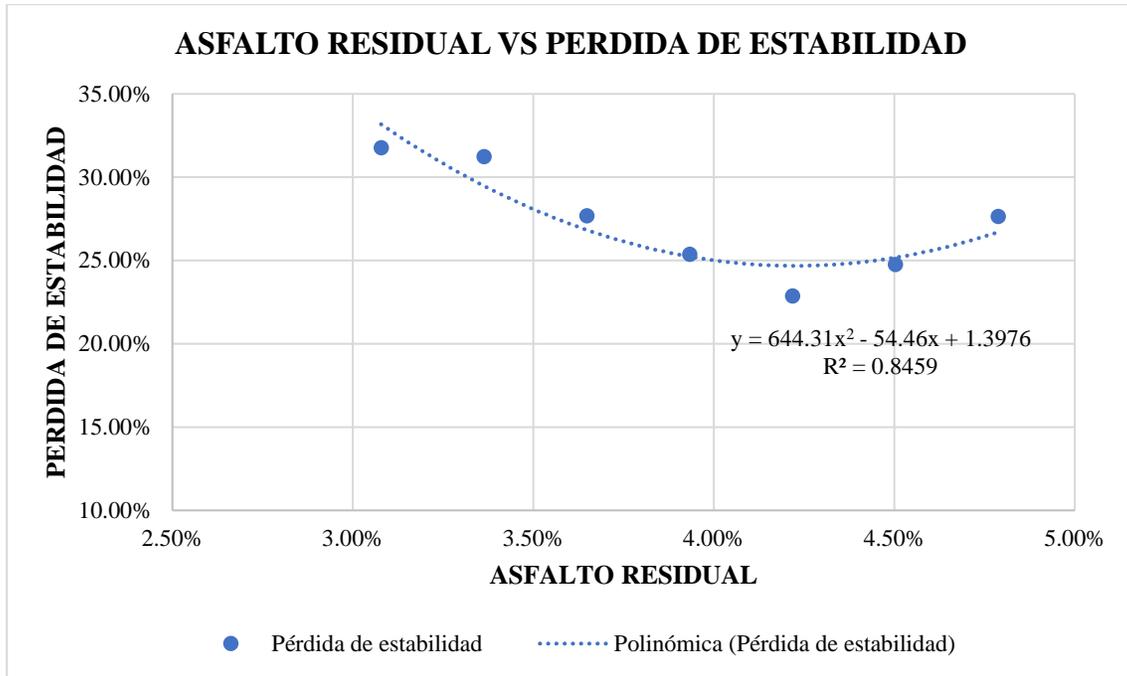
Cantera Chumo

Tabla 116 *Resultados de perdida de estabilidad para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo*

Asfalto residual (Ar)	Perdida de Estabilidad
3.08%	31.77%
3.36%	31.22%
3.65%	27.68%
3.93%	25.37%
4.22%	22.86%
4.50%	24.75%
4.79%	27.64%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 51 *Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad - Chumo*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Perdida de estabilidad

$$y = 644.31x^2 - 54.46x + 1.3976$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados de perdida de estabilidad igual a 26.167 % estando dentro de lo indicado por la norma la cual indica “La mezcla debe tener una estabilidad Marshall mínima de 230 kg con una pérdida de estabilidad después de saturado máximo 50%”. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro. Por ende, el porcentaje de asfalto residual es el óptimo indicado.

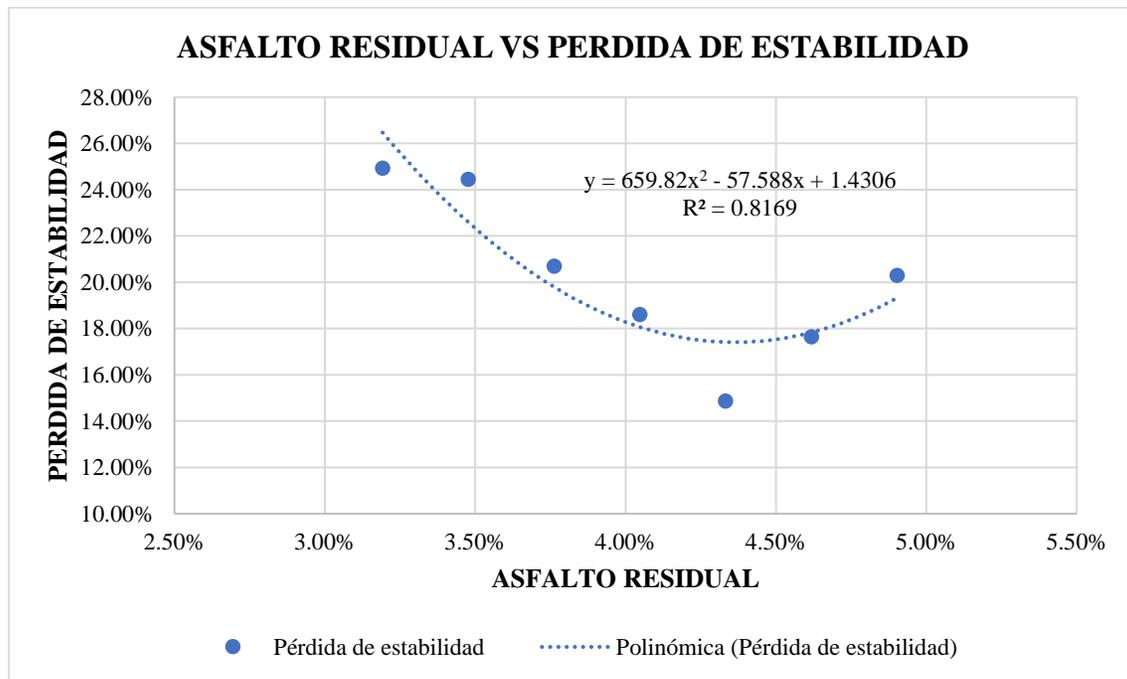
Cantera Chihuaco

Tabla 117 Resultados de perdida de estabilidad para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Perdida de Estabilidad
3.19%	24.94%
3.48%	24.45%
3.76%	20.70%
4.05%	18.60%
4.33%	14.88%
4.62%	17.64%
4.90%	20.29%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 52 Asfalto residual vs Perdida de Estabilidad - Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Perdida de estabilidad

$$y = 659.82x^2 - 57.588x + 1.4306$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados de perdida de estabilidad igual a 18.272 % estando dentro de lo indicado por la norma la cual indica “La mezcla debe tener una estabilidad Marshall mínima de 230 kg con una pérdida de estabilidad después de saturado máximo 50%”. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro. Por ende, el porcentaje de asfalto residual es el óptimo indicado.

Asfalto residual vs Flujo Seco y Flujo Húmedo.

El flujo mide la deformación que sufre es espécimen puesto a ensayo antes de fallar, cual indica la flexibilidad o rigidez de la mezcla. Bajos contenidos de asfalto residual harán una mezcla más rígida elevando el riesgo de fisuración en cambio, altos contenidos de asfalto residual provocarán deformaciones excesivas haciendo la mezcla más flexible. Un óptimo contenido de asfalto residual logra un equilibrio entre la flexibilidad y resistencia para soportar cargas sin sufrir deformaciones excesivas.

Según la gráfica los flujos inicialmente disminuyen cuando el contenido de residuo asfáltico es bajo, caracterizando a la muestra como más rígida, a medida que el asfalto residual se incrementa la mezcla se vuelve más trabajable y flexible.

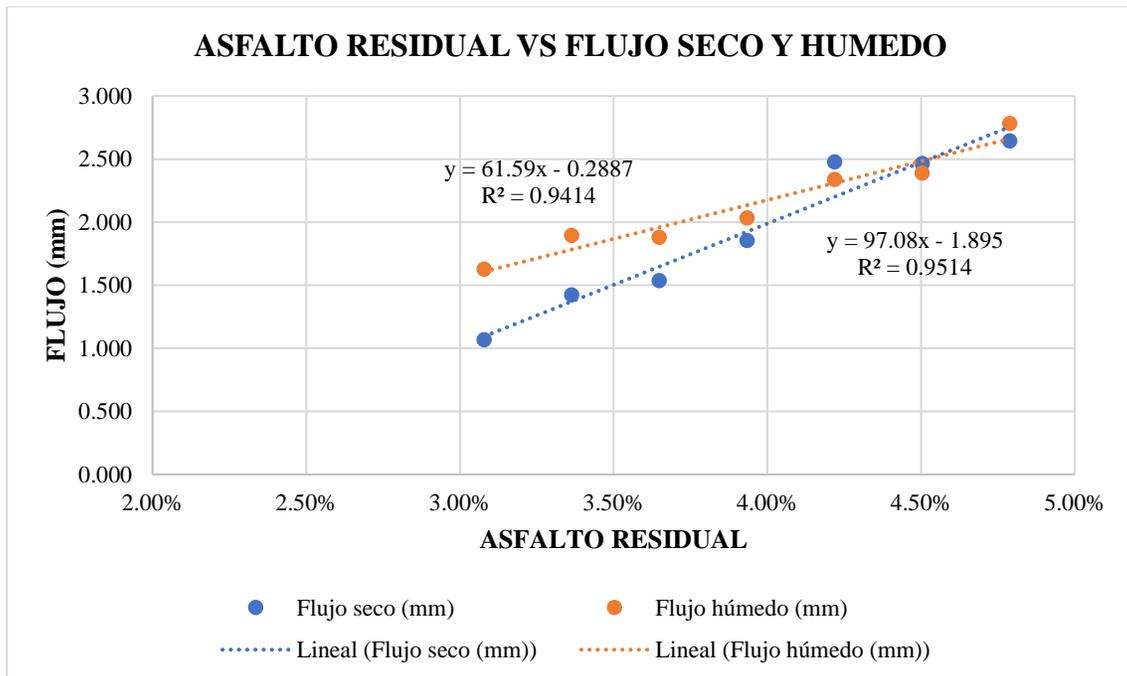
Cantera Chumo

Tabla 118 Resultados de flujo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo

Asfalto residual (Ar)	Flujo seco (mm)	Flujo húmedo (mm)
3.08%	1.067	1.626
3.36%	1.422	1.892
3.65%	1.537	1.880
3.93%	1.854	2.032
4.22%	2.477	2.337
4.50%	2.464	2.388
4.79%	2.642	2.781

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 53 Asfalto residual vs Flujo seco y húmedo - Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Flujo seco

$$y = 97.08x - 1.895$$

Flujo Húmedo

$$y = 61.59x - 0.2887$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados para flujo húmedo de 2.018 mm y de flujo seco 1.74 mm. El estado más crítico es cuando los especímenes están en condición Saturado Superficialmente Seco (SSS), lo que indica la norma es que el flujo debe ser de 2 a 4 mm para un tráfico medio y de 2 a 3.5 mm para un tráfico pesado. Por ende, la muestra en su condición húmeda presenta un flujo de 2.018 mm cumpliendo lo que indica la normativa, siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo indicado.

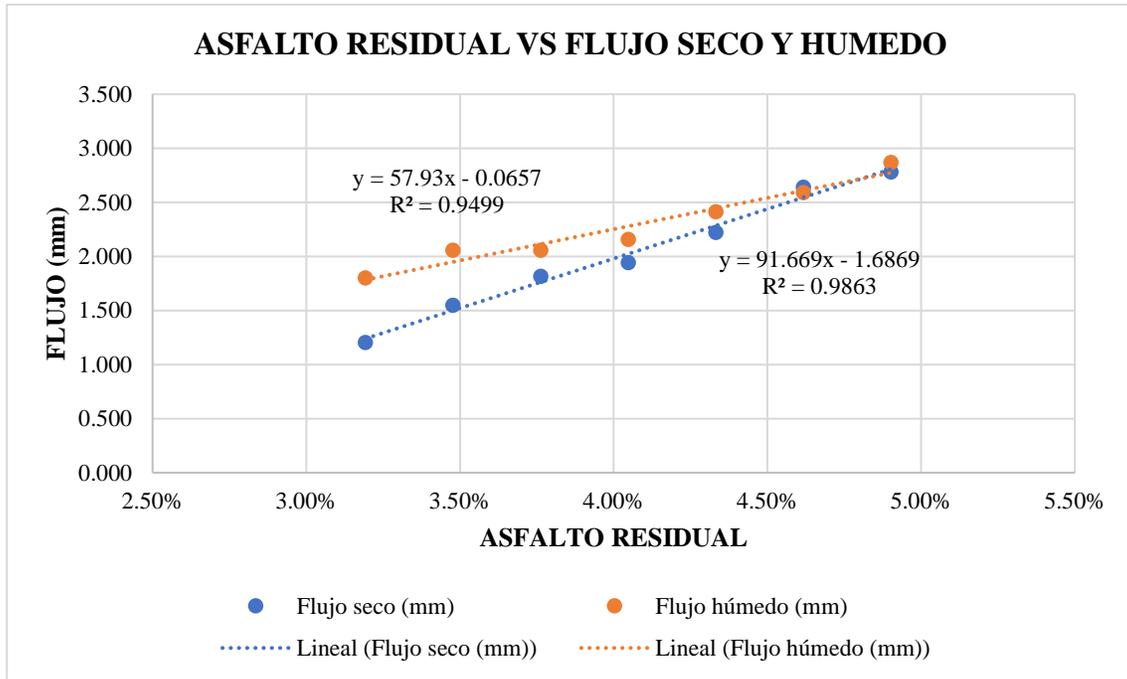
Cantera Chihuaco

Tabla 119 Resultados de flujo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Flujo seco (mm)	Flujo húmedo (mm)
3.19%	1.207	1.803
3.48%	1.549	2.057
3.76%	1.816	2.057
4.05%	1.943	2.159
4.33%	2.223	2.413
4.62%	2.642	2.591
4.90%	2.781	2.870

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 54 *Asfalto residual vs Flujo seco y húmedo - Chihuahua*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Flujo seco

$$y = 91.669x - 1.6869$$

Flujo Húmedo

$$y = 57.93x - 0.0657$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados para flujo húmedo de 2.672 mm y de flujo seco 2.645 mm. El estado más crítico es cuando los especímenes están en condición Saturado Superficialmente Seco (SSS), lo que indica la norma es que el flujo debe ser de 2 a 4 mm para un tráfico medio y de 2 a 3.5 mm para un tráfico pesado.

Por ende, la muestra en su condición húmeda presenta un flujo de 2.672 mm cumpliendo lo que indica la normativa, siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo indicado.

Asfalto residual vs Gravedad Máxima Bulk.

La gravedad específica bulk es una medida de la densidad de la mezcla compactada, a medida se incrementa el contenido de asfalto residual se genera una mayor compactación, esto puede llevar a un aumento en la gravedad específica bulk, pero si el contenido de asfalto residual sigue aumentando más allá del óptimo, los vacíos de aire comienzan a llenarse de asfalto, creando una película más gruesa entre los agregados evitando una compactación eficiente, el resultado de este es una disminución de la gravedad bulk

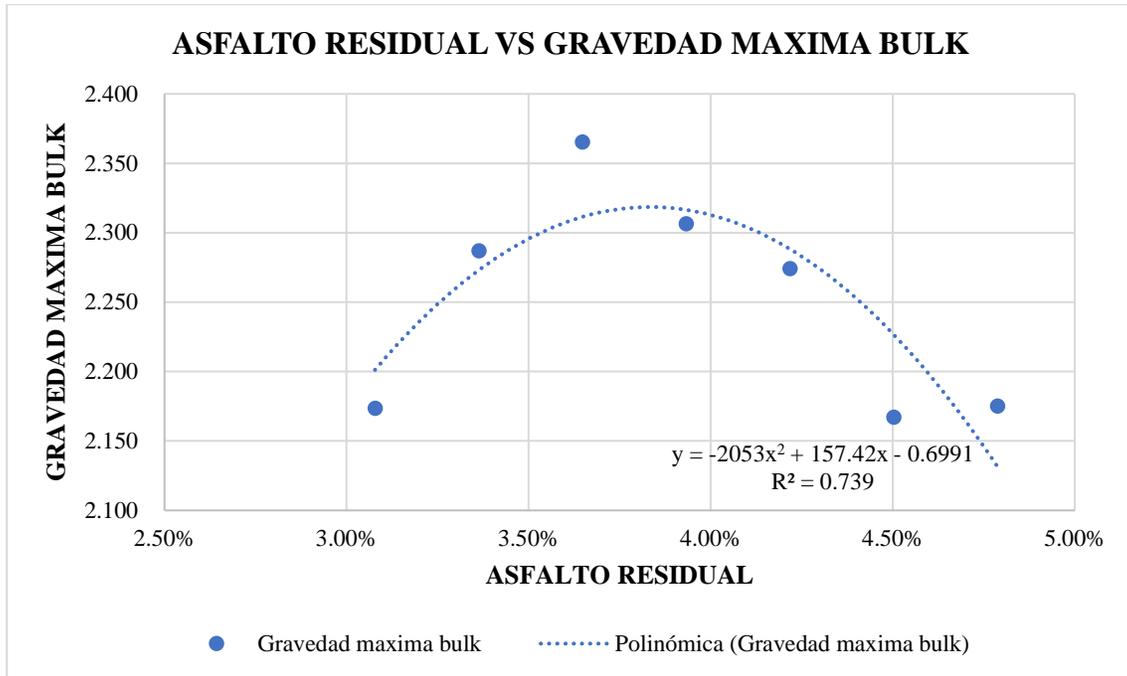
Cantera Chumo

Tabla 120 Resultados de la gravedad máxima bulk para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo

Asfalto residual (Ar)	Gravedad máxima bulk
3.08%	2.173
3.36%	2.287
3.65%	2.365
3.93%	2.306
4.22%	2.274
4.50%	2.167
4.79%	2.175

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 55 *Asfalto residual vs Gravedad máxima bulk - Chumo*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

Gravedad máxima bulk

$$y = -2053x^2 + 157.42x - 0.6991$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados para la gravedad máxima bulk de 2.32 estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que la gravedad máxima bulk debe variar entre 2.25 y 2.35 como mínimo en un tráfico medio y entre 2.30 y 2.40 para un tráfico pesado. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro para tráfico pesado y mediano, cabe resaltar que la compactación según el ensayo de Marshall modificado se da con 50 golpes en la muestra. Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

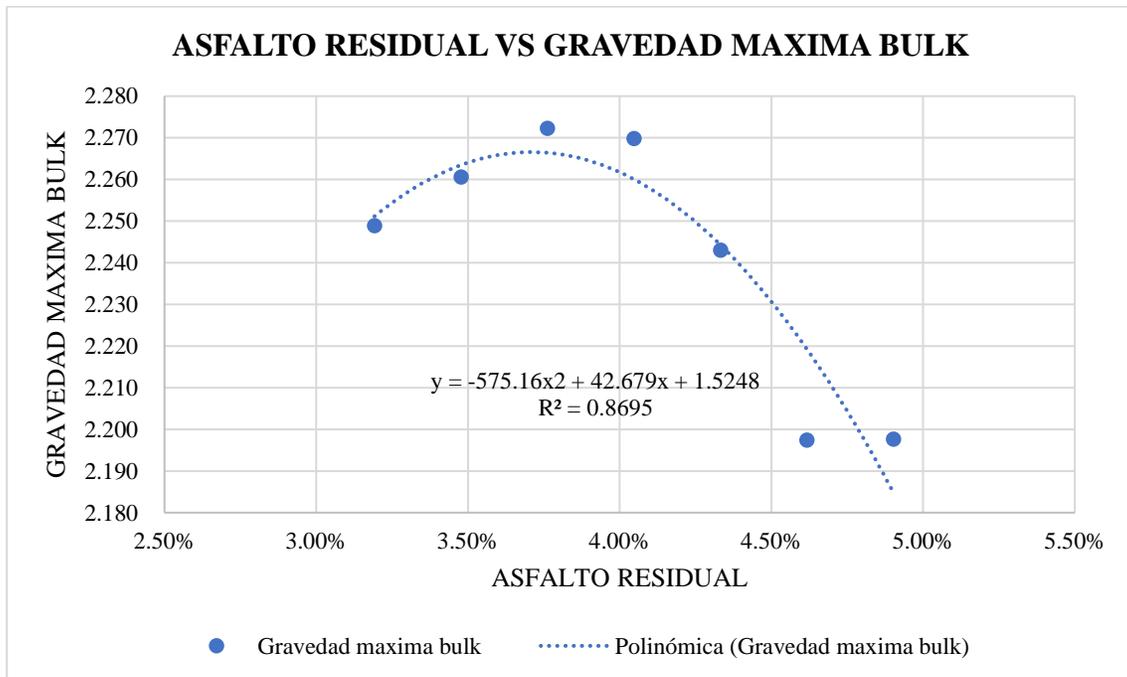
Cantera Chihuaco

Tabla 121 Resultados de la gravedad máxima bulk para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Gravedad máxima bulk
3.19%	2.249
3.48%	2.261
3.76%	2.272
4.05%	2.270
4.33%	2.243
4.62%	2.197
4.90%	2.198

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 56 Asfalto residual vs Gravedad máxima bulk - Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

Gravedad máxima bulk

$$y = -575.16x^2 + 42.679 x + 1.5248$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados para la gravedad máxima bulk de 2.257 estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que la gravedad máxima bulk debe variar entre 2.25 y 2.35 como mínimo en un tráfico medio. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro para tráfico un mediano, cabe resaltar que la compactación según el ensayo de Marshall modificado se da con 50 golpes en la muestra (tráfico medio). Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

Asfalto residual vs Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto VFA.

El porcentaje de vacíos totales que son llenados por el asfalto en la mezcla compactada afecta en la resistencia a la deformación a largo plazo. A medida se incremente el asfalto residual el VFA también tiende a aumentar, mejorando la cohesión interna. Un excesivo incremento de asfalto residual eleva el VFA generando inestabilidad en la mezcla reduciendo la fricción interna su resistencia siendo susceptible al ahuellamiento y deformación plástica.

Cantera Chumo

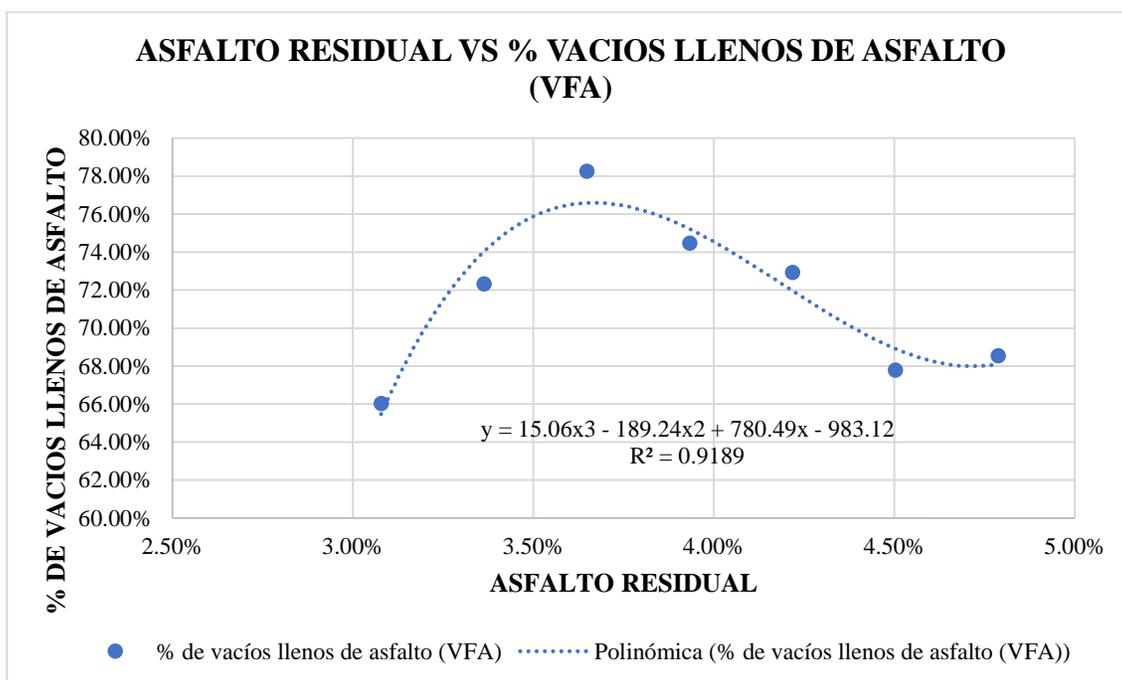
Tabla 122 Resultados de VFA para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo

Asfalto residual (Ar)	Vacíos llenos de asfalto (VFA)
3.08%	66.02%
3.36%	72.32%
3.65%	78.25%

3.93%	74.47%
4.22%	72.92%
4.50%	67.77%
4.79%	68.53%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 57 Asfalto residual vs Vacíos llenos de asfalto VFA - Chumo



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto

$$y = 15.06x^3 - 189.24x^2 + 780.49x - 983.12$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto igual a 76.71% estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que los vacíos llenos de asfalto varíen de 65% a 80% para un tráfico medio y de 70%

a 80% para un tráfico pesado. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro para tráfico un mediano y pesado. Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

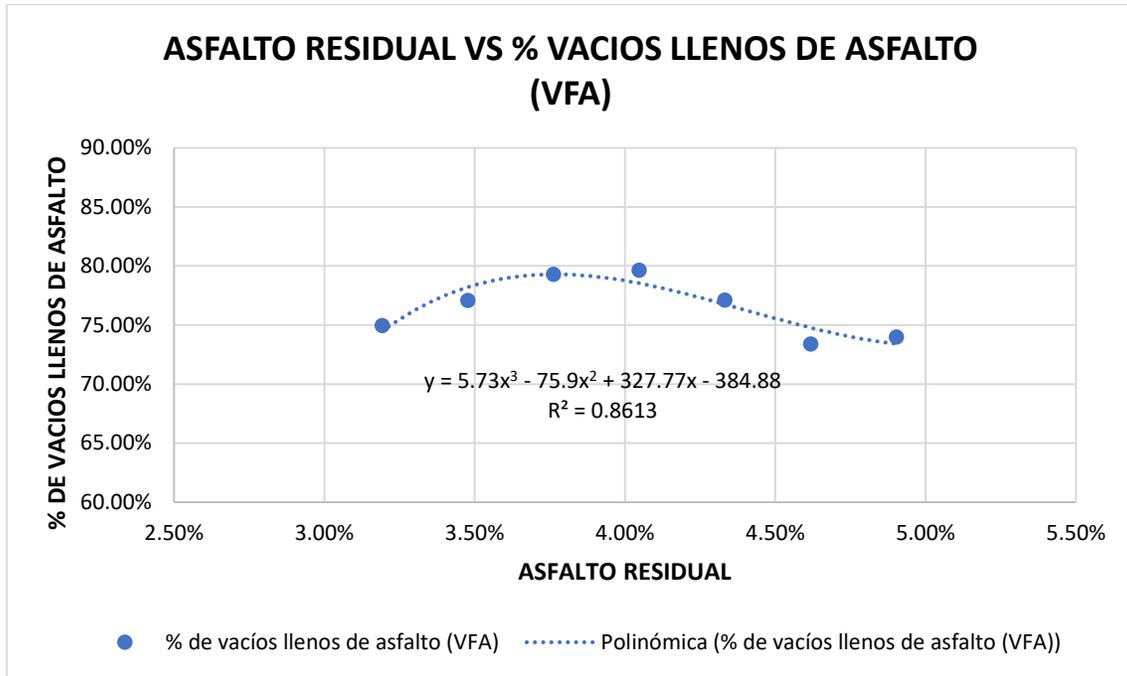
Cantera Chihuaco

Tabla 123 Resultados de VFA para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Vacíos llenos de asfalto (VFA)
3.19%	74.96%
3.48%	77.08%
3.76%	79.29%
4.05%	79.64%
4.33%	77.09%
4.62%	73.39%
4.90%	73.98%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 58 *Asfalto residual vs Vacíos llenos de asfalto VFA - Chihuahaco*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión cuadrática para esta grafica es la siguiente:

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto

$$y = 5.73x^3 - 75.9x^2 + 327.77x - 384.88$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados para el porcentaje de vacíos llenos de asfalto igual a 73.76% estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que los vacíos llenos de asfalto varíen de 65% a 80% para un tráfico medio y de 70% a 80% para un tráfico pesado. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro para tráfico un mediano y pesado. Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

Asfalto residual vs Porcentaje de Ligante efectivo.

El ligante efectivo es el asfalto que recubre los agregados y contribuye directamente a la cohesión interna de la mezcla. Un incremento de asfalto residual incrementara el ligante efectivo, pero si el ligante que incluye la mezcla es poca puede quedar absorbido por los agregados afectando la estabilidad de la mezcla. Un excesivo incremento de residuo asfaltico genera una mayor flexibilidad y baja estabilidad reduciendo la fricción interna entre agregados lo que produce que sea más susceptible a la deformación.

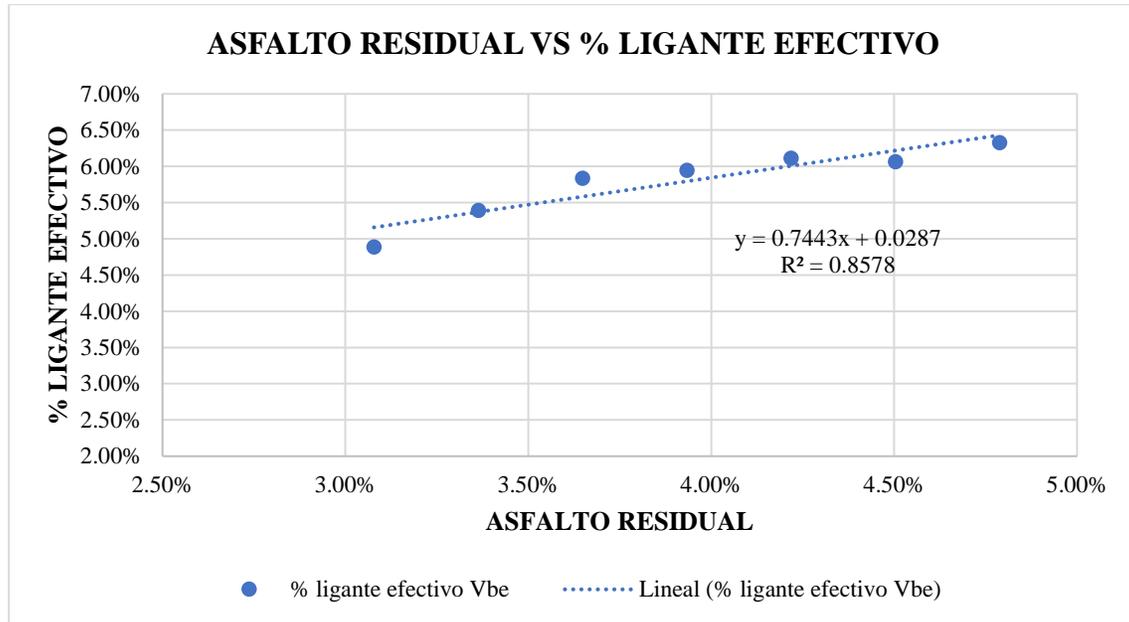
Cantera Chumo

Tabla 124 Resultados de ligante efectivo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chumo

Asfalto residual (Ar)	Vacíos llenos de asfalto (VFA)
3.08%	4.88%
3.36%	5.39%
3.65%	5.84%
3.93%	5.94%
4.22%	6.11%
4.50%	6.06%
4.79%	6.32%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 59 *Asfalto residual vs Ligante efectivo - Chumo*



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Ligante efectivo

$$y = 0.7443x - 0.0287$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 3.75% dando resultados para el porcentaje de ligante efectivo igual a 5.66% estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que el ligante efectivo debe variar entre 5% y 6% para un tráfico mediano y de 5.5% y 7% para un tráfico pesado. El valor calculado de asfalto residual cumple con este parámetro para tráfico un mediano y pesado. Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

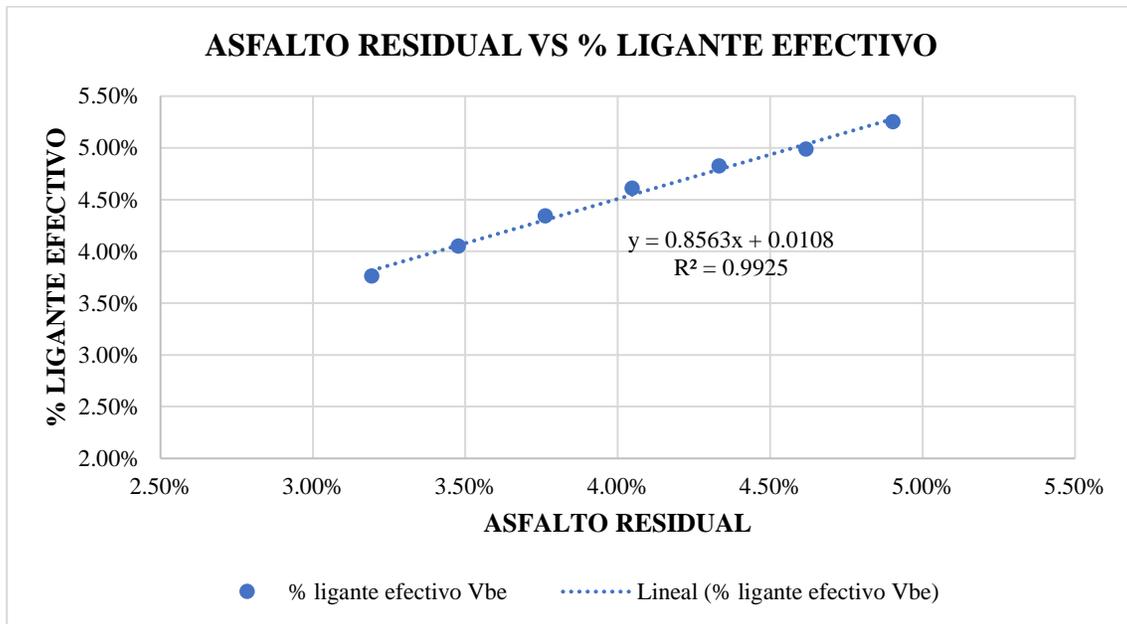
Cantera Chihuaco

Tabla 125 Resultados de ligante efectivo para contenidos diferentes de asfalto residual – Chihuaco

Asfalto residual (Ar)	Vacíos llenos de asfalto (VFA)
3.19%	3.76%
3.48%	4.05%
3.76%	4.34%
4.05%	4.61%
4.33%	4.82%
4.62%	4.99%
4.90%	5.25%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Grafica 60 Asfalto residual vs Ligante efectivo - Chihuaco



Nota. Fuente: Elaboración propia

La ecuación de regresión lineal para esta grafica es la siguiente:

Ligante efectivo

$$y = 0.8563x + 0.0108$$

Se analiza la gráfica con el porcentaje de asfalto residual de 4.726% dando resultados para el porcentaje de ligante efectivo igual a 5.12% estando dentro de lo indicado por la norma, el cual indica que el ligante efectivo debe variar entre 5% y 6% para un tráfico mediano. Cabe indicar que la compactación se realizó según el ensayo de Marshall modificado en el cual se da 50 golpes a la muestra (tráfico medio). Siendo el porcentaje de asfalto residual escogido el óptimo que cumple estos parámetros.

Análisis Estadístico de Resultados

De los datos obtenidos de resistencia y estabilidad para los estabilizadores utilizados (cemento y emulsión asfáltica) respectivamente en las Chumo y Chihuaco de la Provincia de Canchis se tiene el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) para comprobar que estabilizador tiene mayor impacto en su propiedad medida.

Tabla 126 ANOVA de la resistencia medida con el cemento Cantera Chumo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1289,345	4	322,336	335,505	,000
Dentro de grupos	4,804	5	0,961		
Total	1294,149	9			

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 127 ANOVA de la resistencia medida con el cemento Cantera Chihuahua

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1148,059	4	287,015	226,049	,000
Dentro de grupos	6,349	5	1,270		
Total	1154,407	9			

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 128 ANOVA de la estabilidad medida con la emulsión asfáltica – Cantera Chumo

Propiedades		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Estabilidad Seca	Entre grupos	50849036,350	6	8474839,392	56,289	,000
	Dentro de grupos	1053917,999	7	150559,714		
	Total	51902954,349	13			
Estabilidad Húmeda	Entre grupos	16880792,654	6	2813465,442	33,991	,000
	Dentro de grupos	579402,906	7	82771,844		
	Total	17460195,560	13			
Flujo Seco	Entre grupos	4,506	6	,751	301,772	,000
	Dentro de grupos	,017	7	,002		
	Total	4,523	13			
Flujo Húmedo	Entre grupos	1,827	6	,304	95,989	,000
	Dentro de grupos	,022	7	,003		
	Total	1,849	13			
Pérdida de Estabilidad	Entre grupos	131,164	6	21,861	60,689	,000
	Dentro de grupos	2,521	7	,360		

	Total	133,686	13			
Volumen de Vacíos	Entre grupos	28,563	6	4,760	13,563	,002
	Dentro de grupos	2,457	7	,351		
	Total	31,020	13			
Vacíos Llenos de Asfalto	Entre grupos	220,857	6	36,809	13,045	,002
	Dentro de grupos	19,753	7	2,822		
	Total	240,610	13			

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 129 ANOVA de la estabilidad medida con la emulsión asfáltica – Cantera Chihuahua

Propiedades		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Estabilidad Seca	Entre grupos	39985576,901	6	6664262,817	26,957	,000
	Dentro de grupos	1730538,565	7	247219,795		
	Total	41716115,466	13			
Estabilidad Húmeda	Entre grupos	16187770,571	6	2697961,762	14,106	,001
	Dentro de grupos	1338803,943	7	191257,706		
	Total	17526574,514	13			
Flujo Seco	Entre grupos	3,886	6	,648	154,992	,000
	Dentro de grupos	,029	7	,004		
	Total	3,915	13			
Flujo Húmedo	Entre grupos	1,612	6	,269	71,629	,000
	Dentro de grupos	,026	7	,004		
	Total	1,638	13			
Pérdida de Estabilidad	Entre grupos	131,164	6	21,861	60,689	,000
	Dentro de grupos	2,521	7	,360		

	Total	133,686	13			
Volumen de Vacíos	Entre grupos	4,972	6	,829	,950	,517
	Dentro de grupos	6,106	7	,872		
	Total	11,078	13			
Vacíos Llenos de Asfalto	Entre grupos	75,497	6	12,583	,563	,749
	Dentro de grupos	156,391	7	22,342		
	Total	231,889	13			

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Del Análisis de Varianza (ANOVA) realizado previamente, se analiza el F valor, el cual indica el grado de influencia que tiene el estabilizador usado en la propiedad medida, como se detalla en los cuadros anteriores, el uso del cemento como estabilizador presenta mayor influencia en la resistencia que la emulsión asfáltica tipo CSS-1 en la estabilidad y flujo.

Subconjuntos Homogéneos – Resistencia cantera Chumo con cemento portland tipo IP

Tabla 130 *Subconjuntos Homogéneos de Resistencia – Cantera Chumo*

Resistencia (Subconjunto para alfa = 0.05)					
Cemento	N	1	2	3	4
,00	2	2,0800			
1,00	2	5,0950			
3,00	2		16,4750		
5,00	2			23,8100	
7,00	2				32,4550
Sig.		,125	1,000	1,000	1,000

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Subconjuntos Homogéneos – Resistencia cantera Chihuaco con cemento portland tipo IP

Tabla 131 *Subconjuntos Homogéneos de Resistencia – Cantera Chihuaco*

Resistencia (Subconjunto para alfa = 0.05)					
Cemento	N	1	2	3	4
,00	2	2,0300			
1,00	2	3,7600			
3,00	2		15,7300		
5,00	2			22,6650	
7,00	2				29,8450
Sig.		,585	1,000	1,000	1,000

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Subconjuntos Homogéneos – Propiedades de la cantera Chihuaco con emulsión asfáltica

Tabla 132 *Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Seca – Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1	2	3	4	5
8,60	2	8619,8450				
8,10	2	9911,8750	9911,8750			
7,60	2	10216,1300	10216,1300	10216,1300		
7,10	2		11169,1950	11169,1950	11169,1950	
6,60	2			11942,2450	11942,2450	
6,10	2				12744,7700	12744,7700
5,60	2					13988,4450
Sig.		,123	,275	,090	,129	,284

Nota. Fuente. Adaptado del SPSS

Tabla 133 *Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Húmeda – Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1	2	3
8,60	2	6871,8050		
8,10	2	8163,8350	8163,8350	
7,60	2		8700,4450	
7,10	2		9092,3000	9092,3000
6,60	2		9467,2550	9467,2550
6,10	2		9611,1000	9611,1000
5,60	2			10492,3350
Sig.		,167	,109	,124

Nota. Fuente. Adaptado del SPSS

Tabla 134 *Subconjuntos Homogéneos de la Flujo Seco – Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1	2	3	4	5
5,60	2	1,2050				
6,10	2		1,5500			
6,60	2			1,8150		
7,10	2			1,9450		
7,60	2				2,2250	
8,10	2					2,6450
8,60	2					2,7800
Sig.		1,000	1,000	,480	1,000	,444

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 135 *Subconjuntos Homogéneos de la Flujo Húmedo – Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1	2	3	4
5,60	2	1,8050			
6,60	2		2,0550		

6,10	2		2,0600		
7,10	2		2,1550		
7,60	2			2,4150	
8,10	2			2,5950	
8,60	2				2,8700
Sig.		1,000	,671	,170	1,000

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 136 *Subconjuntos Homogéneos de la Perdida de Estabilidad – Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1	2	3	4
7,60	2	22,8600			
8,10	2	24,7500	24,7500		
7,10	2		25,3700	25,3700	
8,60	2			27,6400	
6,60	2			27,6800	
6,10	2				31,2250
5,60	2				31,7700
Sig.		,132	,930	,057	,960

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 137 *Subconjuntos Homogéneos del Volumen de Vacíos– Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1
6,60	2	1,7005
7,10	2	1,7560
6,10	2	1,9275
5,60	2	2,1565
7,60	2	2,2875
8,60	2	3,2085

8,10	2	3,2215
Sig.		,673

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 138 *Subconjuntos Homogéneos de Vacíos Llenos de Asfalto– Cantera Chihuaco*

Emulsión	N	1
8,10	2	73,9050
8,60	2	74,3215
5,60	2	74,9735
6,10	2	77,0830
7,60	2	77,6930
6,60	2	79,4390
7,10	2	80,2710
Sig.		,813

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Del análisis estadístico realizado previamente, se indica que los porcentajes de emulsión asfáltica óptima para cada propiedad medida, varía respecto a parámetros máximos y mínimos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 139 *Diseño estadístico con emulsión asfáltica– Cantera Chihuaco*

PROPIEDADES	% DE EMULSION ASFALTICA
Estabilidad Seca	5.60 %
Estabilidad Húmeda	5.60 %
Flujo Seco	5.60 %
Flujo Húmedo	5.60 %
Perdida Estabilidad	7.60 %

Volumen de Vacíos	6.60 %
Vacíos Llenos de Asfalto	7.10 %
PROMEDIO	6.24 %

Nota. Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 óptima para determinar valores máximos y mínimos de las propiedades medidas, resultado del análisis estadístico realizado es de 6.24 % para la cantera Chihuaco.

Subconjuntos Homogéneos de las propiedades de la cantera Chumo con emulsión asfáltica

Tabla 140 *Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Seca – Cantera Chumo*

Emulsión	N	1	2	3	4	5
8,40	2	9759,8714				
7,90	2	10480,6708				
7,40	2	11266,2657	11266,2657			
6,90	2		12329,5593	12329,5593		
6,40	2			13020,1521	13020,1521	
5,90	2				14229,4808	14229,4808
5,40	2					15523,0942
Sig.		,055	,215	,595	,137	,106

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 141 *Subconjuntos Homogéneos de la Estabilidad Húmeda – Cantera Chumo*

Emulsión	N	1	2	3	4
8,40	2	7061,8100			
7,90	2	7886,3800	7886,3800		
7,40	2		8690,2450	8690,2450	
6,90	2			9201,7950	
6,40	2			9416,5250	

5,90	2			9786,4250	9786,4250
5,40	2				10591,8750
Sig.		,185	,202	,060	,200

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 142 Subconjuntos Homogéneos de Flujo Seco – Cantera Chumo

Emulsión	N	1	2	3	4
5,40	2	1,0668			
5,90	2		1,4224		
6,40	2		1,5367		
6,90	2			1,8542	
7,90	2				2,4638
7,40	2				2,4765
8,40	2				2,6416
Sig.		1,000	,358	1,000	,080

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 143 Subconjuntos Homogéneos de Flujo Húmedo – Cantera Chumo

Emulsión	N	1	2	3	4
5,40	2	1,6250			
6,40	2		1,8800		
5,90	2		1,8950		
6,90	2		2,0350		
7,40	2			2,3400	
7,90	2			2,3850	
8,40	2				2,7800
Sig.		1,000	,212	,978	1,000

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 144 *Subconjuntos Homogéneos de la Perdida de Estabilidad – Cantera Chumo*

Emulsión	N	1	2	3	4
7,40	2	22,8600			
7,90	2	24,7500	24,7500		
6,90	2		25,3700	25,3700	
8,40	2			27,6400	
6,40	2			27,6800	
5,90	2				31,2250
5,40	2				31,7700
Sig.		,132	,930	,057	,960

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 145 *Subconjuntos Homogéneos del Volumen de Vacíos– Cantera Chumo*

Emulsión	N	1	2	3
6,40	2	2,6170		
6,90	2	3,6940		
5,90	2	4,0680	4,0680	
7,40	2	4,3110	4,3110	4,3110
8,40	2		6,3140	6,3140
5,40	2		6,3495	6,3495
7,90	2			6,4830
Sig.		,187	,057	,071

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Tabla 146 *Subconjuntos Homogéneos de los Vacíos Llenos de Asfalto– Cantera Chumo*

Emulsión	N	1	2	3	4
5,40	2	66,0380			

7,90	2	67,7925	67,7925		
8,40	2	68,5555	68,5555	68,5555	
5,90	2	72,3725	72,3725	72,3725	72,3725
7,40	2		72,9545	72,9545	72,9545
6,90	2			74,5025	74,5025
6,40	2				78,3035
Sig.		,063	,145	,083	,083

Nota. Fuente: Adaptado del SPSS

Del análisis estadístico realizado previamente, se indica que los porcentajes de emulsión asfáltica óptimo para cada propiedad medida, varía respecto a parámetros máximos y mínimos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 147 *Diseño estadístico con emulsión asfáltica– Cantera Chumo*

PROPIEDADES	% DE EMULSION ASFALTICA
Estabilidad Seca	5.40 %
Estabilidad Húmeda	5.40 %
Flujo Seco	5.40 %
Flujo Húmedo	5.40 %
Perdida Estabilidad	7.40 %
Volumen de Vacíos	6.40 %
Vacíos Llenos de Asfalto	6.40 %
PROMEDIO	5.97 %

Nota. Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 óptima para determinar valores máximos y mínimos de las propiedades medidas, resultado del análisis estadístico realizado es de 5.97 % para la cantera Chumo.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Se logró obtener el óptimo contenido de adición de cemento Portland IP para las canteras de Chumo y Chihuaco, teniendo que una adición de 5% para el material granular de la cantera de Chumo que genera una resistencia a la compresión inconfiada de 23.81 Kg/cm² que cumplió la resistencia mínima requerida según la norma CE 020, la cual indica que debe superar un mínimo de 18 kg/cm². Este mismo porcentaje al ser sometido a los 12 ciclos de humedecimiento y secado, dio una variación de volumen de 2.92 % respecto al volumen original, lo cual nos indica que la mezcla compactada no es expansiva; por el contrario, es resistente y compacta. Con respecto a la pérdida de suelo cemento obtenida, en los ciclos de humedecimiento, secado y raspado, se obtuvo una pérdida de mezcla suelo cemento compactada de 5.46%, que es menor al 14.0% como máximo indicado en el EG-2013 para el tipo de suelo A-2-4. Este porcentaje de pérdida nos indica que mantiene su cohesión a través de los ciclos repetitivos a los que fue sometida, indicando una buena durabilidad y resistencia a largo plazo al ser usado como un material para base granular.

Para la cantera de Chihuaco, se obtuvo un porcentaje de adición de cemento Portland IP de 5%, el cual nos da una resistencia a la compresión inconfiada de 22.66 Kg/cm², que también supera el mínimo requerido según la norma CE 020 de 18 Kg/cm². Este porcentaje aplicado a las briquetas de suelo cemento y ser sometido a los 12 ciclos de humedecimiento y secado, dio una variación de volumen de 3.03%, indicándonos que esta mezcla al igual que la cantera de Chumo no expansiva. Para la pérdida de suelo cemento, la cantera de Chihuaco presento una mayor pérdida respecto a la encontrada con la cantera de chumo, de un 8.30% la cual sigue siendo menor

a la máxima establecida en la EG-2013, indicándonos de la misma forma que esta mezcla de suelo cemento es durable y resistente para las condiciones de uso como base granular.

Se determino el óptimo porcentaje de emulsión asfáltica de rotura lenta (CSS-1) para las canteras Chumo y Chihuaco que mejoran las propiedades de estabilidad, cohesión, flujo y compactación de las muestras ensayadas, dando como resultado que para la cantera Chumo el óptimo contenido de residuo asfáltico es de 3.746%, este valor corresponde a un 6.57% de emulsión asfáltica que resulta de la relación del contenido de asfalto que contiene la emulsión (57%). Se aprecia que en el estudio realizado al tratarse de emulsiones asfáltica se utiliza el ensayo Marshall modificado dando 50 golpes al espécimen de ensayo, es decir se calcula para un tráfico mediano. Este porcentaje calculado de emulsión asfáltica brinda a la mezcla suelo – emulsión una estabilidad de 9302.43 N después de la inmersión, 2.317 su gravedad máxima bulk, 26.167 % de perdida de estabilidad, 2.018 el flujo, 76.71% volumen de vacíos llenos de asfalto y 5.66% de ligante efectivo, todos estos resultados cumplen con las especificaciones de diseño Marshall para un tráfico pesado.

Para la cantera Chihuaco el porcentaje óptimo de asfalto residual es 4.726%, correspondiente a un 8.29% de emulsión asfáltica. Según el diseño Marshall el porcentaje calculado de emulsión asfáltica brinda a la mezcla de suelo- emulsión una estabilidad de 7677.64 N después de la inmersión, 2.257 su gravedad máxima bulk, 18.272 % de perdida de estabilidad, 2.672 el flujo, 73.76% volumen de vacíos llenos de asfalto y 5.12% de ligante efectivo, todos estos resultados cumplen con las especificaciones de diseño Marshall para un tráfico mediano.

Es de indicar que la cantera Chumo presenta mejores propiedades que la cantera Chihuaco, debido a que el porcentaje calculado de emulsión asfáltica para esta cantera según las especificaciones Marshall de diseño se puede utilizar para un tráfico pesado. En cambio, el

porcentaje óptimo de emulsión asfáltica de la cantera Chihuaco cumpliendo todas las exigencias de las especificaciones de Marshall de diseño se puede utilizar para un tráfico mediano.

El porcentaje de cemento a añadir según el análisis estadístico para que se obtenga valores máximos de resistencia es del 7 % según la prueba tukey, el cual muestra la mayor resistencia hallada, para ambas canteras. La emulsión asfáltica catiónica de rotura lenta CSS-1 óptima para determinar valores máximos y mínimos de las propiedades medidas es de 5.97 % para la cantera Chumo y 6.24 % para la cantera Chihuaco, resultado del análisis estadístico.

Con los resultados anteriormente descritos, para ambos agentes estabilizadores, se garantizan características que satisfacen su uso como material granular para base, las cuales están muy por encima de su uso como material de sub base granular. Siendo el agente estabilizador que presenta un mayor impacto en su propiedad medida el cemento. Por ende, la combinación material granular de la cantera Chumo con cemento al 5% es el que presenta mayor influencia en la resistencia medida.

Recomendaciones

Se recomienda el uso del material mejorado con los porcentajes encontrados de los agentes estabilizadores tanto como emulsión asfáltica CSS-1 y cemento Portland IP, con previa evaluación de parte de la entidad. Se aclara que los resultados obtenidos simulan las condiciones de trabajo, pero estas pueden variar debido a las condiciones climáticas, recomendando hacer pruebas en campo. Los resultados obtenidos garantizan, la durabilidad y resistencia de las vías que serán pavimentadas a largo plazo.

Antes de realizar el diseño verificar las características encontradas en la ficha técnica de la emulsión asfáltica a ser usada. Estas deben de cumplir con los requisitos indicados en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EG-2013), Tabla 301.E-01.

Se recomiendan el uso de emulsiones asfálticas por el hecho de que es un agente eco amigable con el medio ambiente reduciendo la huella de carbono, debido a que son mezclas asfálticas en frío. Asimismo, produce un mayor tiempo para la conformación de la base granular.

El almacenamiento para la emulsión asfáltica, debe encontrarse en circulación constante para evitar el rompimiento prematuro, y que las partículas de asfalto se separen de la fase acuosa, volviendo inservible a la emulsión para los trabajos planteados.

Bibliografía

- AASHTO T 166. (n.d.). *Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens (AASHTO T 166)*. AASHTO, Washington, D.C.
- Asphalt Institute. (1989). *Asphalt Cold Mix Manual (MS-14)*. Library of Congress Catalog Card No. 89-62536.
- Bowles, J. E. (1996). *Engineering Properties of Soils and Their Measurement (4th ed.)*. McGraw-Hill.
- Carranza Ortiz, A. L., & Fernandez Lojas, D. C. (2019). *Aplicación de los aditivos PROES y CONAID para mejorar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante en la vía de acceso al C. P. Barraza, Laredo, La Libertad-2018*. Universidad Privada del Norte.
- Céspedes Aguilar, J. (2019). *Estabilización de suelos arenosos con emulsión asfáltica*. Universidad Ricardo Palma, Santa Cruz, Bolivia.
- De la Cruz Gutierrez, L. M., & Salcedo Rojas, K. K. (2016). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palián – Huancayo - Junín*. Universidad Peruana de los Andes.
- Gere, J., & Timoshenko, S. (1999). *Mechanics of Materials (5th ed.)*. PWS Publishing Company.
- Instituto Mexicano del Transporte. (s.f.). *Estudio de las características importantes para la producción de las emulsiones asfálticas en agua*.
- Jara Vasquez, S. N., & Angulo Macedo, A. S. (2018). *Análisis y aplicación de emulsiones asfálticas catiónicas para la estabilización en el tramo de 5 km entre el caserío Jose Galves y la ciudad de Otuzco, provincia de Otuzco, departamento La Libertad*. Universidad Privada Antenor Orrego, Lima.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Dirección General de Caminos y ferrocarriles.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones Técnicas Generales para la construcción*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Soluciones básicas en carreteras no pavimentadas*.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de ensayo de Materiales*.
- Múnera Miranda, J. C. (2022). *Emulsiones asfálticas: concepto, aplicación, clasificación, rompimiento y curado*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.
- Rodríguez Talavera, R. (2001). *Emulsiones Asfálticas*. Instituto mexicano del Transporte.
- Ulloa Calderon, A. (2012). Preparación de emulsiones asfálticas en laboratorio. *Métodos y Materiales*, 2, 17-24.
- Ulloa Calderón, A., & Múnera Miranda, J. C. (2020). *Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto*. LanammeUCR, Universidad de Costa Rica.

Villa Chaman, V. M. (2015). *Reciclado in situ en frío de pavimentos empleando emulsiones asfálticas: aplicación: colegio FAP Manuel Polo Jiménez*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

Anexos

Anexo A Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chumo 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

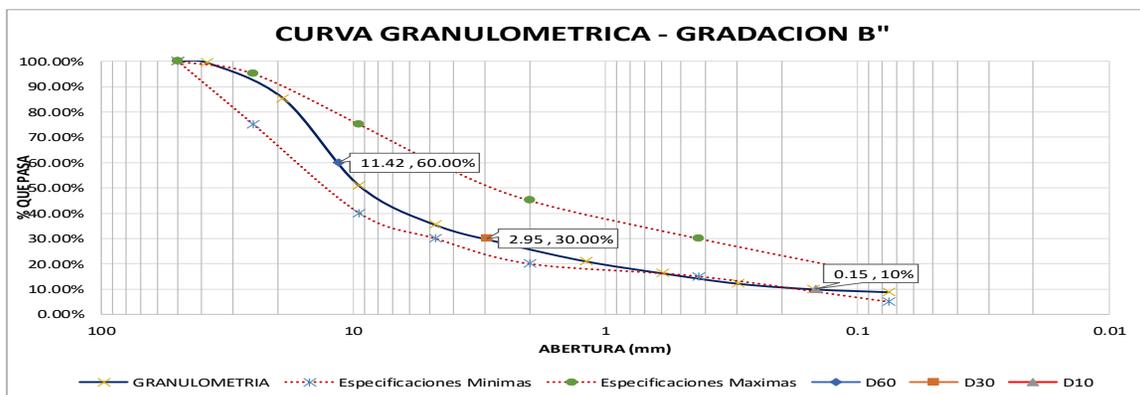
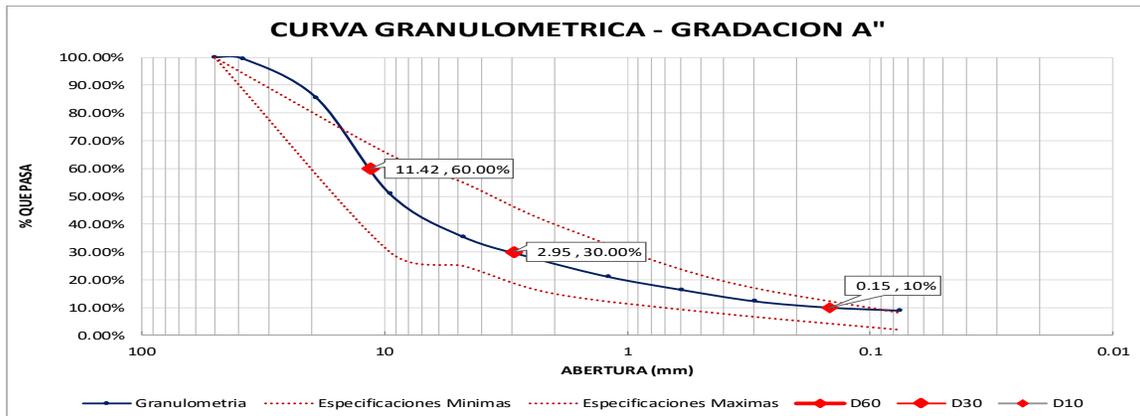
TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA : **CHUMO MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado : 2340.15 gr
Peso del material despues del lavado : 2133.12 gr
Perdida de material despues del lavado : 207.03 gr

Tamiz								
N°	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	13.40	0.63%	0.01%	0.64%	0.58%	0.58%	99.42%
3/4 "	19.05	323.44	15.16%	0.29%	15.45%	14.08%	14.67%	85.33%
3/8 "	9.5	791.52	37.11%	0.71%	37.81%	34.47%	49.14%	50.86%
N° 4	4.75	354.17	16.60%	0.32%	16.92%	15.42%	64.56%	35.44%
N° 8	2.38	181.16	8.49%	0.16%	8.65%	7.89%	72.45%	27.55%
N° 16	1.19	150.34	7.05%	0.13%	7.18%	6.55%	78.99%	21.01%
N° 30	0.595	107.19	5.03%	0.10%	5.12%	4.67%	83.66%	16.34%
N° 50	0.297	94.26	4.42%	0.08%	4.50%	4.10%	87.77%	12.23%
N° 100	0.149	50.71	2.38%	0.05%	2.42%	2.21%	89.97%	10.03%
N° 200	0.075	26.00	1.22%	0.02%	1.24%	1.13%	91.11%	8.89%
Cazuela		1.06	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	91.15%	
Lavado		207.03				8.85%	100.00%	
Material ensayado		2,093.25	98.13%		100.00%	91.15%		
Peso total (gr)		2,300.28	% Error	1.87%		100.00%		



Anexo B Análisis granulométrico por tamizado gradación B y C – Cantera Chumo 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

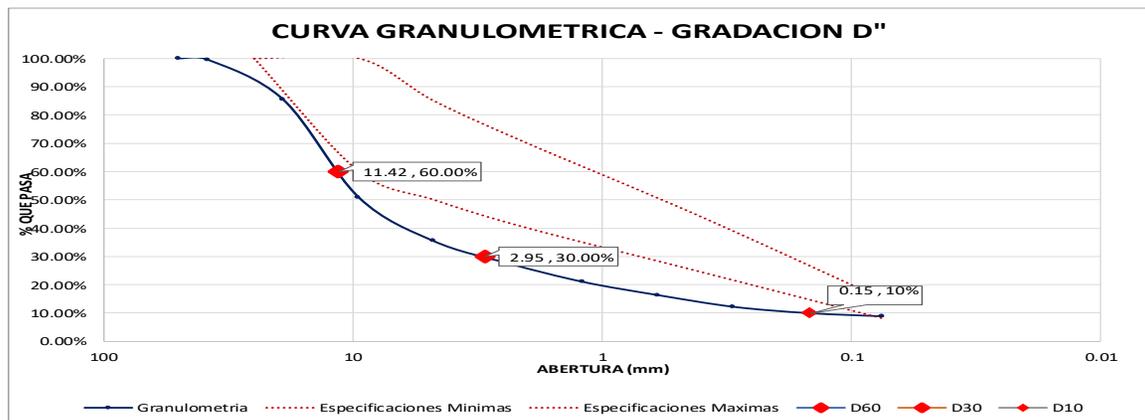
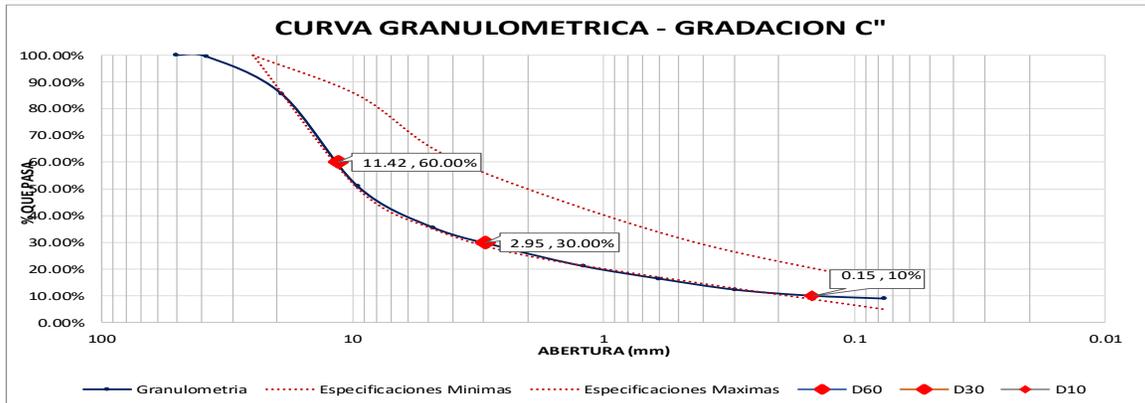
TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA : **CHUMO MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 2340.15 gr
Peso del material despues del lavado 2133.12 gr
Perdida de material despues del lavado 207.03 gr

Tamiz								
Nº	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	13.40	0.63%	0.01%	0.64%	0.58%	0.58%	99.42%
3/4 "	19.05	323.44	15.16%	0.29%	15.45%	14.08%	14.67%	85.33%
3/8 "	9.5	791.52	37.11%	0.71%	37.81%	34.47%	49.14%	50.86%
Nº 4	4.75	354.17	16.60%	0.32%	16.92%	15.42%	64.56%	35.44%
Nº 8	2.38	181.16	8.49%	0.16%	8.65%	7.89%	72.45%	27.55%
Nº 16	1.19	150.34	7.05%	0.13%	7.18%	6.55%	78.99%	21.01%
Nº 30	0.595	107.19	5.03%	0.10%	5.12%	4.67%	83.66%	16.34%
Nº 50	0.297	94.26	4.42%	0.08%	4.50%	4.10%	87.77%	12.23%
Nº 100	0.149	50.71	2.38%	0.05%	2.42%	2.21%	89.97%	10.03%
Nº 200	0.075	26.00	1.22%	0.02%	1.24%	1.13%	91.11%	8.89%
Cazuela		1.06	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	91.15%	
Lavado		207.03				8.85%	100.00%	
Material ensayado		2,093.25	98.13%		100.00%		91.15%	
Peso total (gr)		2,300.28	% Error	1.87%		100.00%		



Anexo C Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chumo 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 2340.15 gr
Peso del material despues del lavado 2133.12 gr
Perdida de material despues del lavado 207.03 gr

Tamiz								
Nº	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	13.40	0.63%	0.01%	0.64%	0.58%	0.58%	99.42%
3/4 "	19.05	323.44	15.16%	0.29%	15.45%	14.08%	14.67%	85.33%
3/8 "	9.5	791.52	37.11%	0.71%	37.81%	34.47%	49.14%	50.86%
Nº 4	4.75	354.17	16.60%	0.32%	16.92%	15.42%	64.56%	35.44%
Nº 8	2.38	181.16	8.49%	0.16%	8.65%	7.89%	72.45%	27.55%
Nº 16	1.19	150.34	7.05%	0.13%	7.18%	6.55%	78.99%	21.01%
Nº 30	0.595	107.19	5.03%	0.10%	5.12%	4.67%	83.66%	16.34%
Nº 50	0.297	94.26	4.42%	0.08%	4.50%	4.10%	87.77%	12.23%
Nº 100	0.149	50.71	2.38%	0.05%	2.42%	2.21%	89.97%	10.03%
Nº 200	0.075	26.00	1.22%	0.02%	1.24%	1.13%	91.11%	8.89%
Cazuela		1.06	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	91.15%	
Lavado		207.03				8.85%	100.00%	
Material ensayado		2,093.25	98.13%		100.00%	91.15%		
Peso total (gr)		2,300.28	% Error	1.87%		100.00%		

GRAVA, ARENA Y FINOS DE LA MUESTRA	
% Grava (Retiene Tamiz Nº 4) =	64.56%
% Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) =	26.55%
% Finos (Pasa Tamiz Nº 200) =	8.89%
Total:	100.00%

FRACCION GRUESA	
% Grava =	70.86%
% Arena =	29.14%
Total =	100.00%

D60	11.42 mm
D30	2.95 mm
D10	0.15 mm

Cu	77.85
Cc	5.19

Anexo D Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chumo 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

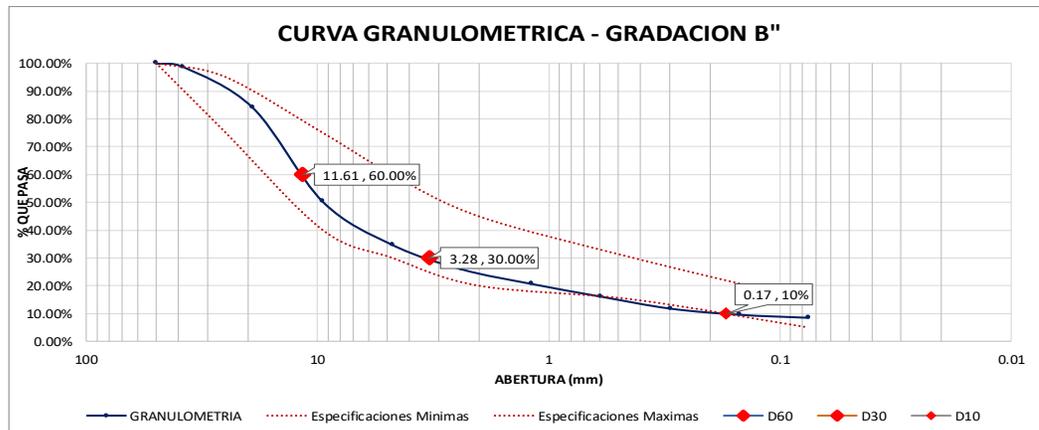
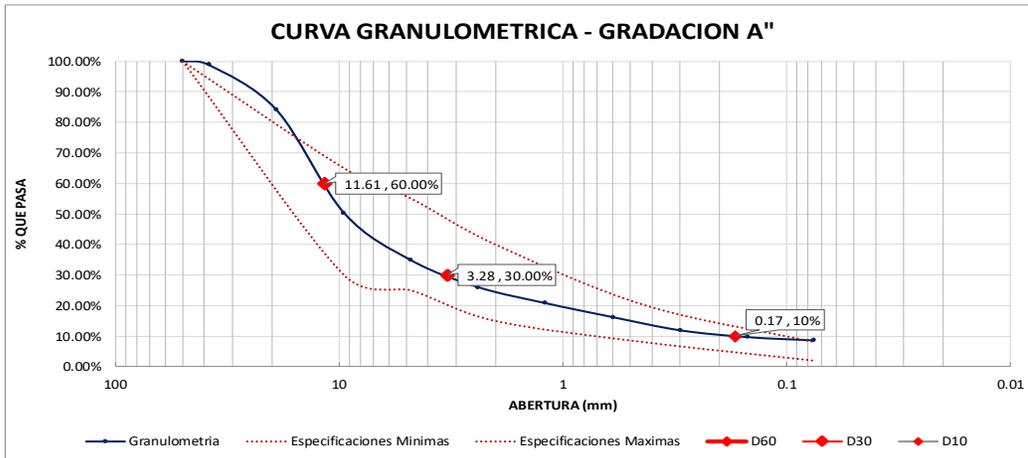
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO** **MUESTRA 2**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3376.12 gr
Peso del material despues del lavado 3091.29 gr
Pérdida de material despues del lavado 284.83 gr

Tamiz N°	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	42.68	1.38%	0.02%	1.41%	1.29%	1.29%	98.71%
3/4 "	19.05	487.38	15.77%	0.28%	16.05%	14.69%	15.98%	84.02%
3/8 "	9.5	1,120.42	36.24%	0.64%	36.89%	33.78%	49.76%	50.24%
N° 4	4.75	515.35	16.67%	0.30%	16.97%	15.54%	65.29%	34.71%
N° 8	2.38	291.39	9.43%	0.17%	9.59%	8.78%	74.08%	25.92%
N° 16	1.19	173.56	5.61%	0.10%	5.71%	5.23%	79.31%	20.69%
N° 30	0.595	152.11	4.92%	0.09%	5.01%	4.59%	83.89%	16.11%
N° 50	0.297	143.41	4.64%	0.08%	4.72%	4.32%	88.22%	11.78%
N° 100	0.149	73.54	2.38%	0.04%	2.42%	2.22%	90.43%	9.57%
N° 200	0.075	35.77	1.16%	0.02%	1.18%	1.08%	91.51%	8.49%
Cazuela		1.69	0.05%	0.00%	0.06%	0.05%	91.56%	
Lavado		284.83				8.44%	100.00%	
Material ensayado		3,037.30	98.25%		100.00%	91.56%		
Peso total (gr)		3,322.13	% Error	1.75%		100.00%		



Anexo E Análisis granulométrico por tamizado gradación B y C – Cantera Chumo 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

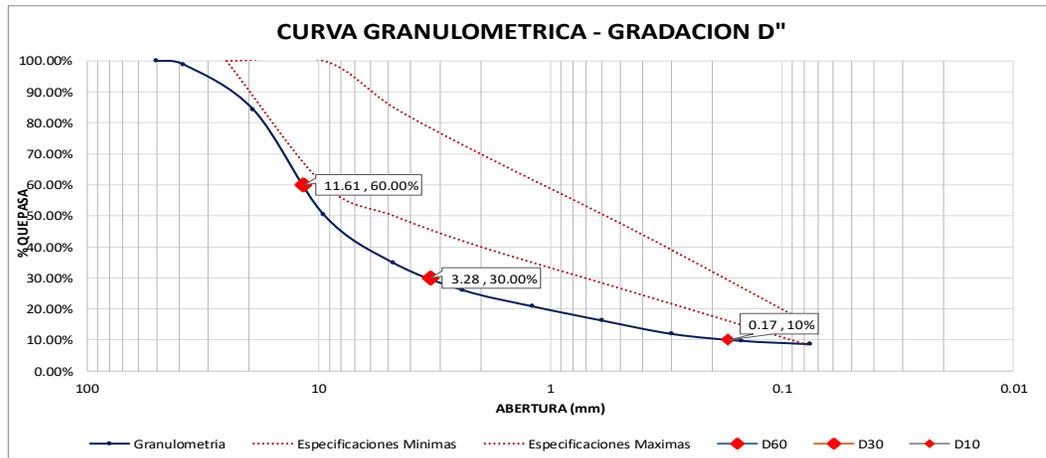
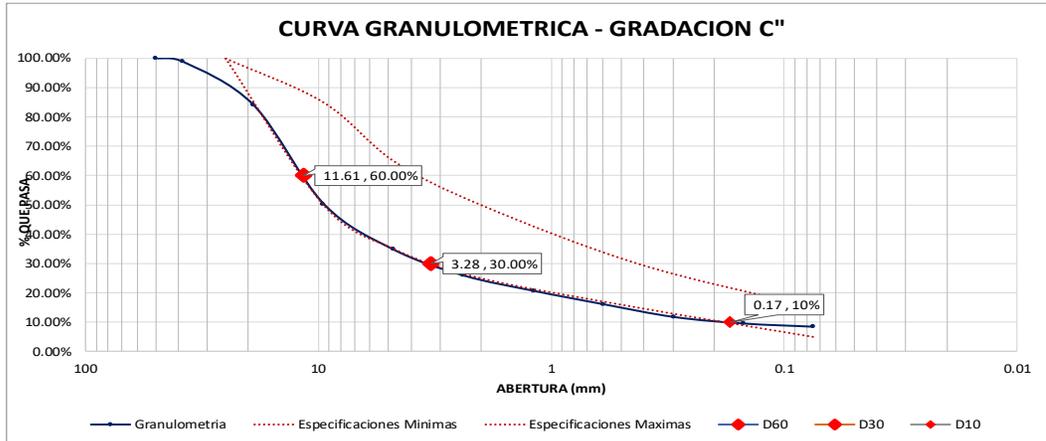
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO MUESTRA 2**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3376.12 gr
Peso del material despues del lavado 3091.29 gr
Pérdida de material despues del lavado 284.83 gr

Tamiz N°	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	42.68	1.38%	0.02%	1.41%	1.29%	1.29%	98.71%
3/4 "	19.05	487.38	15.77%	0.28%	16.05%	14.69%	15.98%	84.02%
3/8 "	9.5	1,120.42	36.24%	0.64%	36.89%	33.78%	49.76%	50.24%
N° 4	4.75	515.35	16.67%	0.30%	16.97%	15.54%	65.29%	34.71%
N° 8	2.38	291.39	9.43%	0.17%	9.59%	8.78%	74.08%	25.92%
N° 16	1.19	173.56	5.61%	0.10%	5.71%	5.23%	79.31%	20.69%
N° 30	0.595	152.11	4.92%	0.09%	5.01%	4.59%	83.89%	16.11%
N° 50	0.297	143.41	4.64%	0.08%	4.72%	4.32%	88.22%	11.78%
N° 100	0.149	73.54	2.38%	0.04%	2.42%	2.22%	90.43%	9.57%
N° 200	0.075	35.77	1.16%	0.02%	1.18%	1.08%	91.51%	8.49%
Cazuela		1.69	0.05%	0.00%	0.06%	0.05%	91.56%	
Lavado		284.83				8.44%	100.00%	
Material ensayado		3,037.30	98.25%		100.00%	91.56%		
Peso total (gr)		3,322.13	% Error	1.75%		100.00%		



Anexo F Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chumo 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO** **MUESTRA 2** FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3376.12 gr
Peso del material despues del lavado 3091.29 gr
Perdida de material despues del lavado 284.83 gr

Tamiz N°	mm	Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	42.68	1.38%	0.02%	1.41%	1.29%	1.29%	98.71%
3/4 "	19.05	487.38	15.77%	0.28%	16.05%	14.69%	15.98%	84.02%
3/8 "	9.5	1,120.42	36.24%	0.64%	36.89%	33.78%	49.76%	50.24%
N° 4	4.75	515.35	16.67%	0.30%	16.97%	15.54%	65.29%	34.71%
N° 8	2.38	291.39	9.43%	0.17%	9.59%	8.78%	74.08%	25.92%
N° 16	1.19	173.56	5.61%	0.10%	5.71%	5.23%	79.31%	20.69%
N° 30	0.595	152.11	4.92%	0.09%	5.01%	4.59%	83.89%	16.11%
N° 50	0.297	143.41	4.64%	0.08%	4.72%	4.32%	88.22%	11.78%
N° 100	0.149	73.54	2.38%	0.04%	2.42%	2.22%	90.43%	9.57%
N° 200	0.075	35.77	1.16%	0.02%	1.18%	1.08%	91.51%	8.49%
Cazuela		1.69	0.05%	0.00%	0.06%	0.05%	91.56%	
Lavado		284.83				8.44%	100.00%	
Material ensayado		3,037.30	98.25%		100.00%	91.56%		
Peso total (gr)		3,322.13	% Error	1.75%		100.00%		

GRAVA, ARENA Y FINOS DE LA MUESTRA	
% Grava (Retiene Tamiz N° 4) =	65.29%
% Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) =	26.22%
% Finos (Pasa Tamiz N° 200) =	8.49%
Total:	100.00%

FRACCION GRUESA	
% Grava =	71.35%
% Arena =	28.65%
Total =	100.00%

D60	11.61 mm
D30	3.28 mm
D10	0.17 mm

Cu	68.10
Cc	5.43

Anexo G Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chihuaco I

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

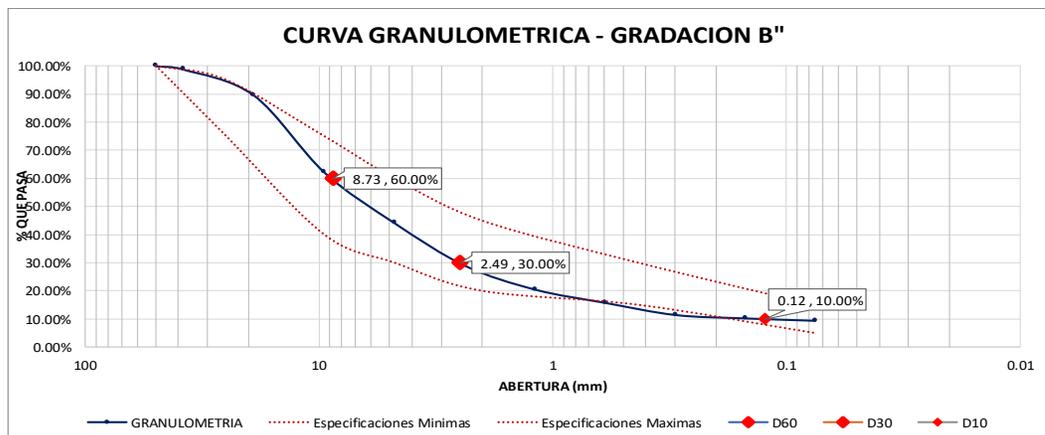
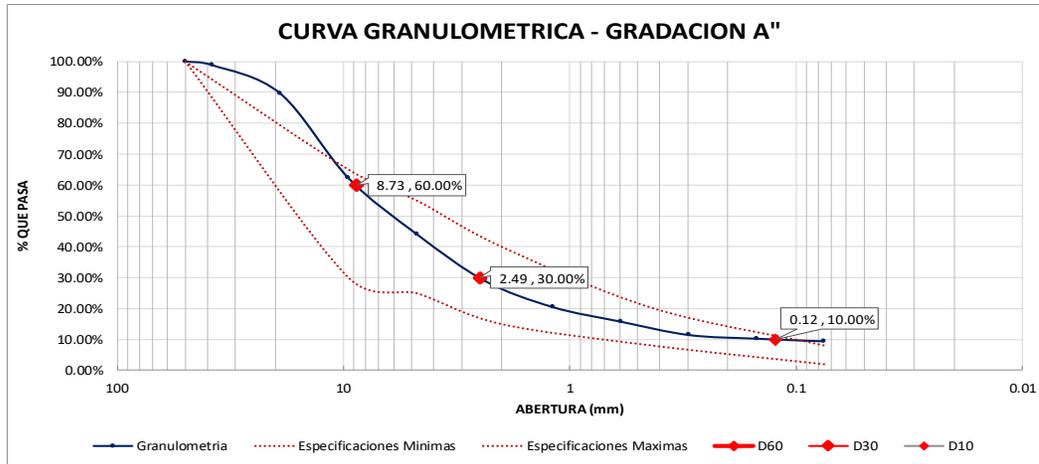
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3750.38 gr
Peso del material despues del lavado 3401.01 gr
Perdida de material despues del lavado 349.37 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
N°	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	44.16	1.30%	0.02%	1.32%	1.19%	1.19%	98.81%
3/4 "	19.05	339.39	9.98%	0.14%	10.12%	9.17%	10.37%	89.63%
3/8 "	9.5	1,015.32	29.85%	0.41%	30.26%	27.44%	37.81%	62.19%
N° 4	4.75	668.91	19.67%	0.27%	19.94%	18.08%	55.89%	44.11%
N° 8	2.38	558.45	16.42%	0.22%	16.64%	15.09%	70.98%	29.02%
N° 16	1.19	315.55	9.28%	0.13%	9.40%	8.53%	79.51%	20.49%
N° 30	0.595	175.15	5.15%	0.07%	5.22%	4.73%	84.24%	15.76%
N° 50	0.297	160.16	4.71%	0.06%	4.77%	4.33%	88.57%	11.43%
N° 100	0.149	44.30	1.30%	0.02%	1.32%	1.20%	89.77%	10.23%
N° 200	0.075	31.10	0.91%	0.01%	0.93%	0.84%	90.61%	9.39%
Cazuela Lavado		2.80	0.08%	0.00%	0.08%	0.08%	90.68%	
Material ensayado		3,355.29	98.66%		100.00%	90.68%		
Peso total (gr)		3,704.66	% Error	1.34%		100.00%		



Anexo H Análisis granulométrico por tamizado gradación C y D – Cantera Chihuaco I

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

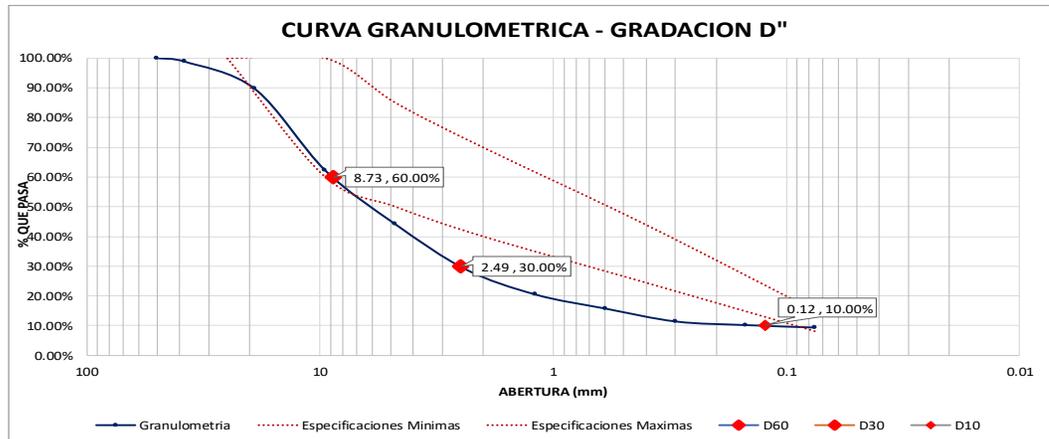
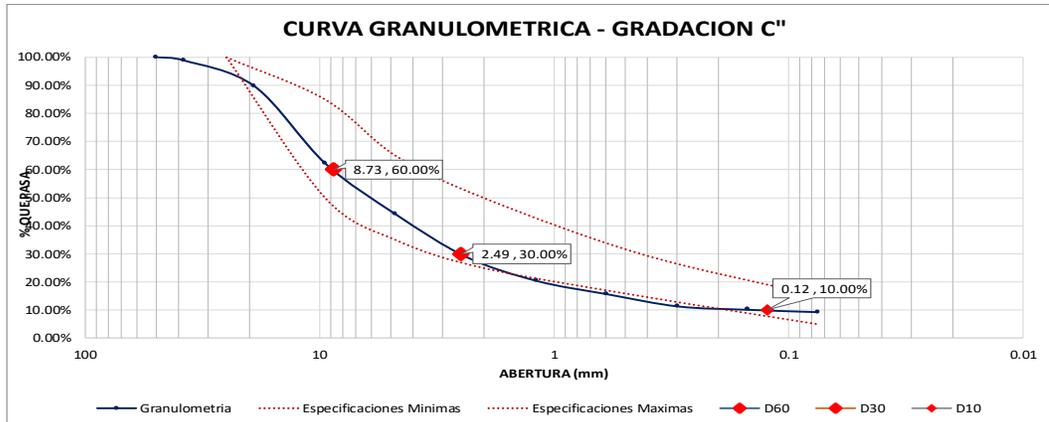
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA I**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3750.38 gr
Peso del material despues del lavado 3401.01 gr
Perdida de material despues del lavado 349.37 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
Nº	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	44.16	1.30%	0.02%	1.32%	1.19%	1.19%	98.81%
3/4 "	19.05	339.39	9.98%	0.14%	10.12%	9.17%	10.37%	89.63%
3/8 "	9.5	1,015.32	29.85%	0.41%	30.26%	27.44%	37.81%	62.19%
Nº 4	4.75	668.91	19.67%	0.27%	19.94%	18.08%	55.89%	44.11%
Nº 8	2.38	558.45	16.42%	0.22%	16.64%	15.09%	70.98%	29.02%
Nº 16	1.19	315.55	9.28%	0.13%	9.40%	8.53%	79.51%	20.49%
Nº 30	0.595	175.15	5.15%	0.07%	5.22%	4.73%	84.24%	15.76%
Nº 50	0.297	160.16	4.71%	0.06%	4.77%	4.33%	88.57%	11.43%
Nº 100	0.149	44.30	1.30%	0.02%	1.32%	1.20%	89.77%	10.23%
Nº 200	0.075	31.10	0.91%	0.01%	0.93%	0.84%	90.61%	9.39%
Cazuela		2.80	0.08%	0.00%	0.08%	0.08%	90.68%	
Lavado		349.37				9.32%	100.00%	
Material ensayado		3,355.29	98.66%		100.00%	90.68%		
Peso total (gr)		3,704.66	% Error	1.34%		100.00%		



Anexo I Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chihuaco 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA I**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 3750.38 gr
Peso del material despues del lavado 3401.01 gr
Perdida de material despues del lavado 349.37 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
Nº	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	44.16	1.30%	0.02%	1.32%	1.19%	1.19%	98.81%
3/4 "	19.05	339.39	9.98%	0.14%	10.12%	9.17%	10.37%	89.63%
3/8 "	9.5	1,015.32	29.85%	0.41%	30.26%	27.44%	37.81%	62.19%
Nº 4	4.75	668.91	19.67%	0.27%	19.94%	18.08%	55.89%	44.11%
Nº 8	2.38	558.45	16.42%	0.22%	16.64%	15.09%	70.98%	29.02%
Nº 16	1.19	315.55	9.28%	0.13%	9.40%	8.53%	79.51%	20.49%
Nº 30	0.595	175.15	5.15%	0.07%	5.22%	4.73%	84.24%	15.76%
Nº 50	0.297	160.16	4.71%	0.06%	4.77%	4.33%	88.57%	11.43%
Nº 100	0.149	44.30	1.30%	0.02%	1.32%	1.20%	89.77%	10.23%
Nº 200	0.075	31.10	0.91%	0.01%	0.93%	0.84%	90.61%	9.39%
Cazuela Lavado		2.80	0.08%	0.00%	0.08%	0.08%	90.68%	
		349.37				9.32%	100.00%	
Material ensayado		3,355.29	98.66%		100.00%	90.68%		
Peso total (gr)		3,704.66	% Error	1.34%		100.00%		

GRAVA, ARENA Y FINOS DE LA MUESTRA	
% Grava (Retiene Tamiz Nº 4) =	55.89%
% Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) =	34.72%
% Finos (Pasa Tamiz Nº 200) =	9.39%
Total:	100.00%

FRACCION GRUESA	
% Grava =	61.68%
% Arena =	38.32%
Total =	100.00%

D60	8.73 mm
D30	2.49 mm
D10	0.12 mm

Cu	70.84
Cc	5.75

Anexo J Análisis granulométrico por tamizado gradación A y B – Cantera Chihuaco 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

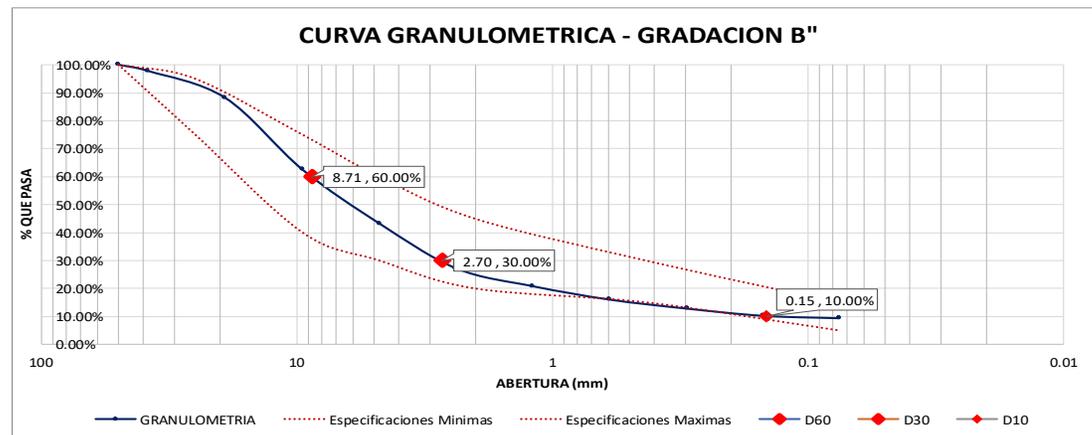
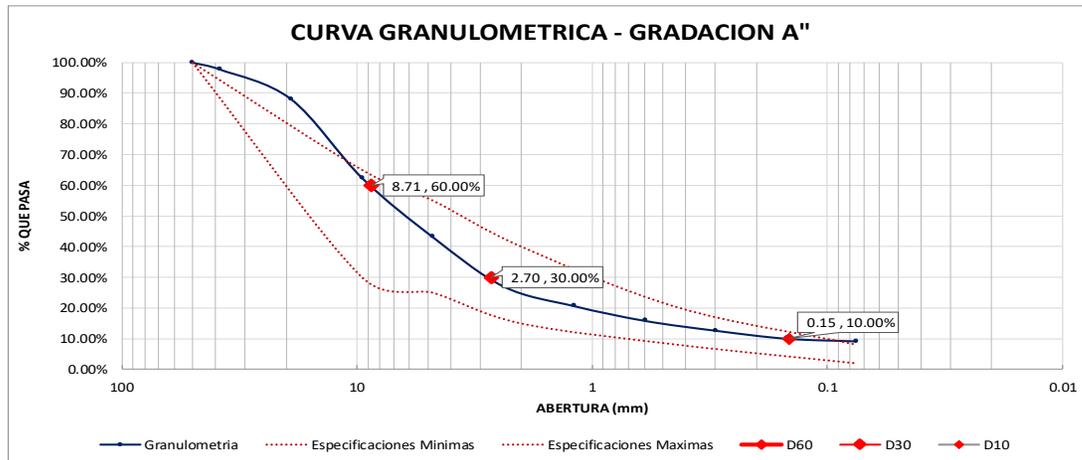
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA 2**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 4228.62 gr
Peso del material despues del lavado 3840.56 gr
Perdida de material despues del lavado 388.06 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
Nº	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	95.49	2.49%	0.01%	2.50%	2.27%	2.27%	97.73%
3/4 "	19.05	405.53	10.56%	0.04%	10.60%	9.63%	11.90%	88.10%
3/8 "	9.5	1,081.47	28.16%	0.12%	28.28%	25.68%	37.58%	62.42%
Nº 4	4.75	811.26	21.12%	0.09%	21.21%	19.27%	56.85%	43.15%
Nº 8	2.38	675.29	17.58%	0.07%	17.66%	16.04%	72.89%	27.11%
Nº 16	1.19	270.15	7.03%	0.03%	7.06%	6.42%	79.30%	20.70%
Nº 30	0.595	202.10	5.26%	0.02%	5.28%	4.80%	84.10%	15.90%
Nº 50	0.297	135.53	3.53%	0.02%	3.54%	3.22%	87.32%	12.68%
Nº 100	0.149	108.92	2.84%	0.01%	2.85%	2.59%	89.91%	10.09%
Nº 200	0.075	36.52	0.95%	0.00%	0.95%	0.87%	90.77%	9.23%
Caziela		2.03	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	90.82%	
Lavado		388.06				9.18%	100.00%	
Material ensayado		3,824.29	99.58%		100.00%		90.82%	
Peso total (gr)		4,212.35	% Error	0.42%		100.00%		



Anexo K Análisis granulométrico por tamizado gradación C y D – Cantera Chihuaco 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

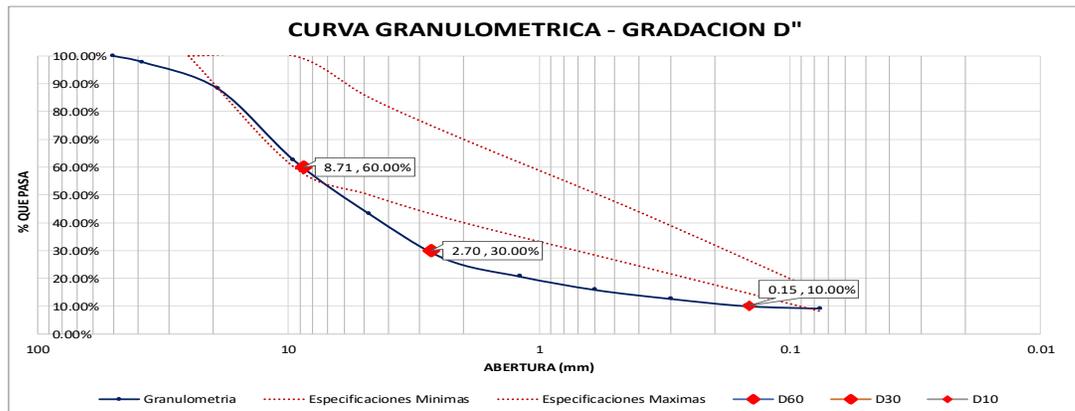
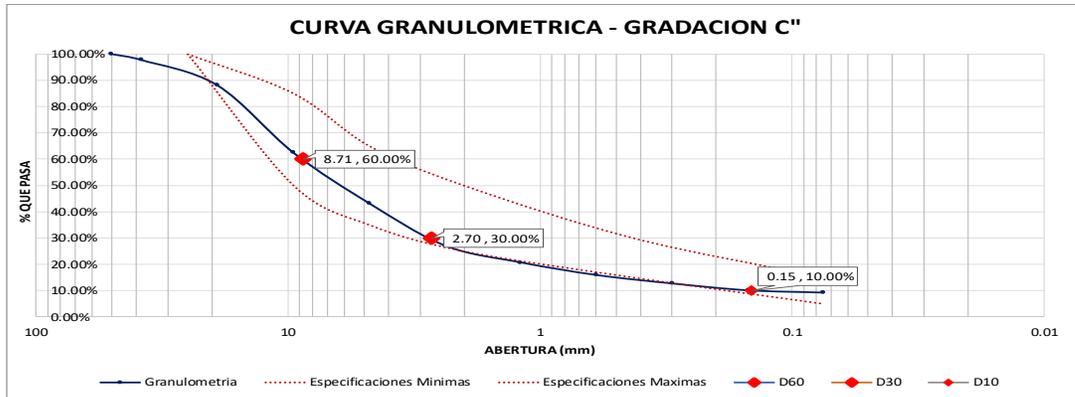
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA 2**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 4228.62 gr
Peso del material despues del lavado 3840.56 gr
Pérdida de material despues del lavado 388.06 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
Nº	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	95.49	2.49%	0.01%	2.50%	2.27%	2.27%	97.73%
3/4 "	19.05	405.53	10.56%	0.04%	10.60%	9.63%	11.90%	88.10%
3/8 "	9.5	1,081.47	28.16%	0.12%	28.28%	25.68%	37.58%	62.42%
Nº 4	4.75	811.26	21.12%	0.09%	21.21%	19.27%	56.85%	43.15%
Nº 8	2.38	675.29	17.58%	0.07%	17.66%	16.04%	72.89%	27.11%
Nº 16	1.19	270.15	7.03%	0.03%	7.06%	6.42%	79.30%	20.70%
Nº 30	0.595	202.10	5.26%	0.02%	5.28%	4.80%	84.10%	15.90%
Nº 50	0.297	135.53	3.53%	0.02%	3.54%	3.22%	87.32%	12.68%
Nº 100	0.149	108.92	2.84%	0.01%	2.85%	2.59%	89.91%	10.09%
Nº 200	0.075	36.52	0.95%	0.00%	0.95%	0.87%	90.77%	9.23%
Cazuela Lavado		2.03	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	90.82%	
		388.06				9.18%	100.00%	
Material ensayado		3,824.29	99.58%		100.00%	90.82%		
Peso total (gr)		4,212.35	% Error	0.42%		100.00%		



Anexo L Análisis granulométrico por tamizado, porcentaje de grava, arena y finos – Cantera Chihuaco 2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS MTC E 204

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO MUESTRA 2**

FECHA : 00/00/2024

Peso del material antes del lavado 4228.62 gr
Peso del material despues del lavado 3840.56 gr
Perdida de material despues del lavado 388.06 gr

Tamiz		Peso Retenido (gr)	% Retenido Mat. Ensayado Lavado	Correccion en Mat. Lavado	% Retenido Mat. Ensayado Corregido Lavado	% Retenido Corregido	% Acumulado	% Pasa
Nº	mm							
2"	50	-	0.00	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1 1/2 "	38.1	95.49	2.49%	0.01%	2.50%	2.27%	2.27%	97.73%
3/4 "	19.05	405.53	10.56%	0.04%	10.60%	9.63%	11.90%	88.10%
3/8 "	9.5	1081.47	28.16%	0.12%	28.28%	25.68%	37.58%	62.42%
Nº 4	4.75	811.26	21.12%	0.09%	21.21%	19.27%	56.85%	43.15%
Nº 8	2.38	675.29	17.58%	0.07%	17.66%	16.04%	72.89%	27.11%
Nº 16	1.19	270.15	7.03%	0.03%	7.06%	6.42%	79.30%	20.70%
Nº 30	0.595	202.10	5.26%	0.02%	5.28%	4.80%	84.10%	15.90%
Nº 50	0.297	135.53	3.53%	0.02%	3.54%	3.22%	87.32%	12.68%
Nº 100	0.149	108.92	2.84%	0.01%	2.85%	2.59%	89.91%	10.09%
Nº 200	0.075	36.52	0.95%	0.00%	0.95%	0.87%	90.77%	9.23%
Cazuela		2.03	0.05%	0.00%	0.05%	0.05%	90.82%	
Lavado		388.06				9.18%	100.00%	
Material ensayado		3.824.29	99.58%		100.00%	90.82%		
Peso total (gr)		4.212.35	% Error	0.42%		100.00%		

GRAVA, ARENA Y FINOS DE LA MUESTRA	
% Grava (Retiene Tamiz Nº 4) =	56.85%
% Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) =	33.93%
% Finos (Pasa Tamiz Nº 200) =	9.23%
Total:	100.00%

FRACCION GRUESA	
% Grava =	62.63%
% Arena =	37.37%
Total =	100.00%

D60	8.71 mm
D30	2.70 mm
D10	0.15 mm

Cu	59.91
Cc	5.74

Anexo M Limite líquido, limite plástico e Índice de plasticidad – Cantera Chumo

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

MTC E 110 Y MTC E 111

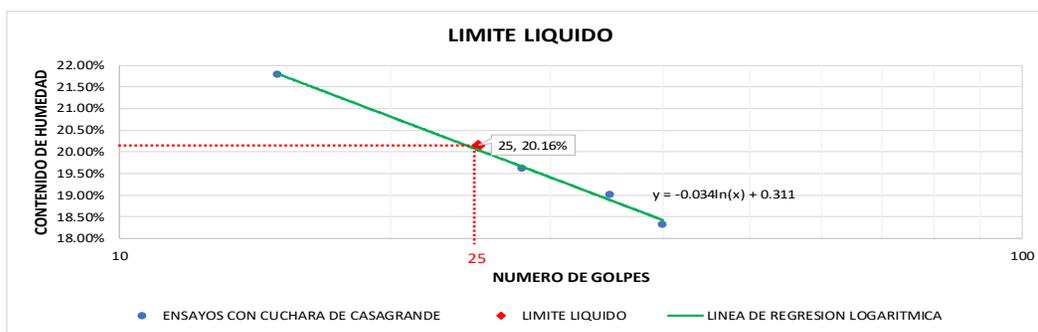
RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO** **MUESTRA 1** FECHA : 00/00/2024

LIMITE LIQUIDO				
DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	M4
NÚMERO DE GOLPES	40	35	28	15
Peso de Capsula (gr)	57.13	57.9	55.93	57.24
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	74.3	71.04	70.14	71.38
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	71.64	68.94	67.81	68.85
Peso del Agua (gr)	2.66	2.1	2.33	2.53
Peso de la Muestra Seca (gr)	14.51	11.04	11.88	11.61
CONTENIDO DE HUMEDAD	18.33%	19.02%	19.61%	21.79%



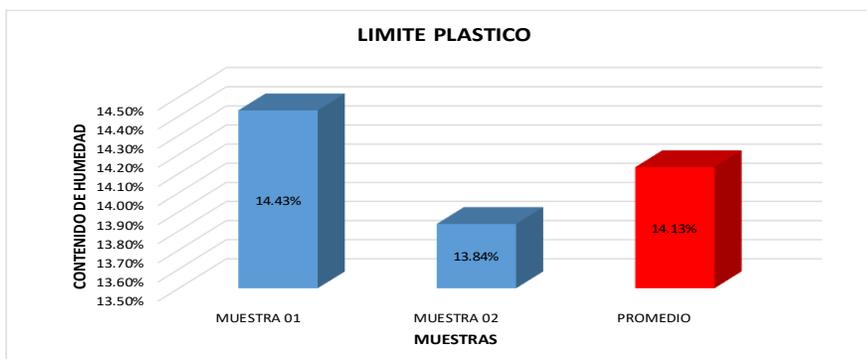
$$\text{LIMITE LIQUIDO} = -0.034 \ln(X) + 0.311$$

$$X = 25$$

$$\text{LIMITE LIQUIDO} = 20.16\%$$

LIMITE PLASTICO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	21.66	22.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	26.18	25.62
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	25.61	25.18
Peso del Agua (gr)	0.57	0.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.95	3.18
CONTENIDO DE HUMEDAD	14.43%	13.84%
PROMEDIO	14.13%	



LIMITE LIQUIDO =	20.16%
LIMITE PLASTICO =	14.13%
INDICE DE PLASTICIDAD =	6.02%

Anexo N Limite líquido, limite plástico e Índice de plasticidad – Cantera Chihuahaco

LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO

MTC E 110 Y MTC E 111

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

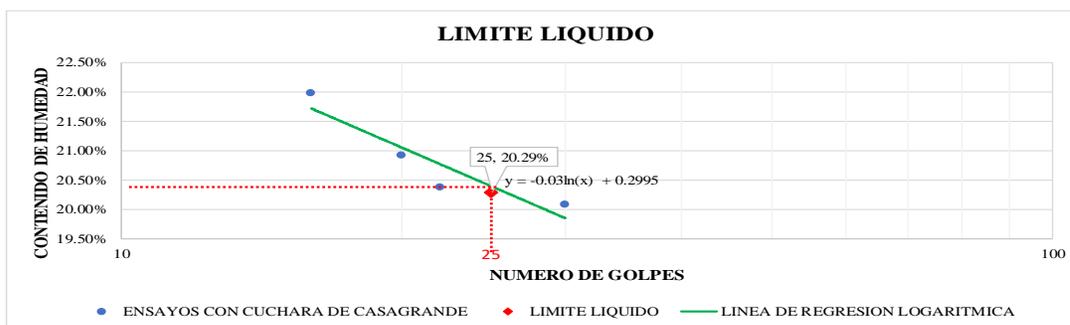
UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO**

MUESTRA 1

FECHA : 00/00/2024

DESCRIPCIÓN	LIMITE LIQUIDO			
	M1	M2	M3	M4
NÚMERO DE GOLPES	30	22	20	16
Peso de Capsula (gr)	59.19	62.51	43.82	53.87
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	72.1	74.38	56.01	66.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	69.94	72.37	53.9	63.92
Peso del Agua (gr)	2.16	2.01	2.11	2.21
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.75	9.86	10.08	10.05
CONTENIDO DE HUMEDAD	20.09%	20.39%	20.93%	21.99%

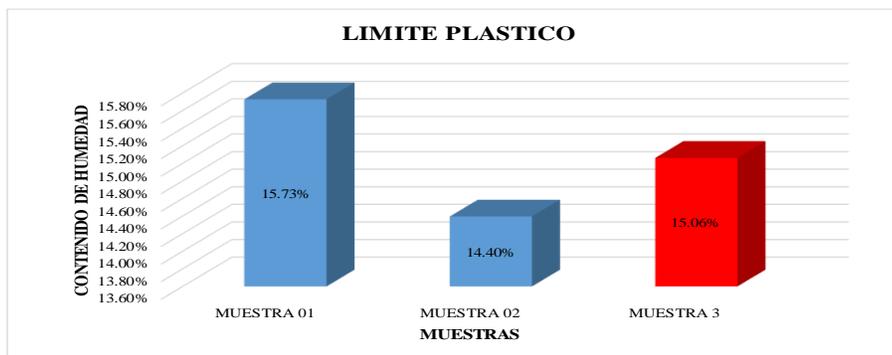


$$\text{LIMITE LIQUIDO} = -0.03 \ln(X) + 0.2995$$

$$X = 25$$

$$\text{LIMITE LIQUIDO} = 20.29\%$$

DESCRIPCIÓN	LIMITE PLASTICO	
	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	22.5	21.80
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	27.43	26.25
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	26.76	25.69
Peso del Agua (gr)	0.67	0.56
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.26	3.89
CONTENIDO DE HUMEDAD	15.73%	14.40%
PROMEDIO	15.06%	



LIMITE LIQUIDO =	20.29%
LIMITE PLASTICO =	15.06%
INDICE DE PLASTICIDAD =	5.23%

Anexo O Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) - Chumo

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D-2487

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

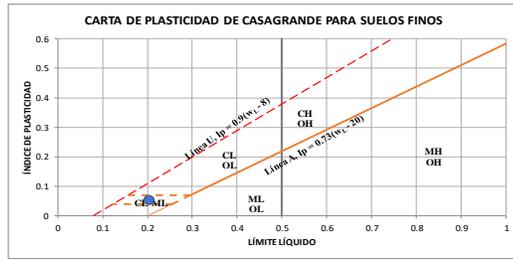
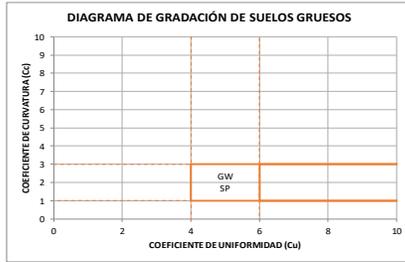
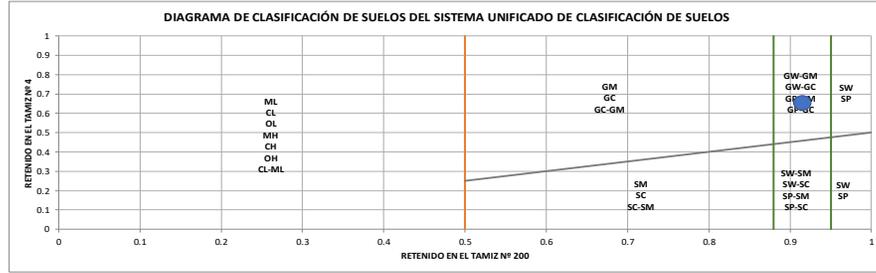
TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHUMO** **MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
DE GRANULOMETRÍA	
% de Gruesos =	91.11%
% de Finos =	8.89%
Total =	100.00%
% de Grava =	64.56%
% de Arena =	26.55%
Total =	91.11%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	70.86%
% de Arena =	29.14%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	77.85
Cc =	5.19
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.16%
LP =	14.13%
IP =	6.02%



GP - GC = GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA LIMOSA Y ARENA

Anexo P Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) - Chihuahua

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D-2487

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

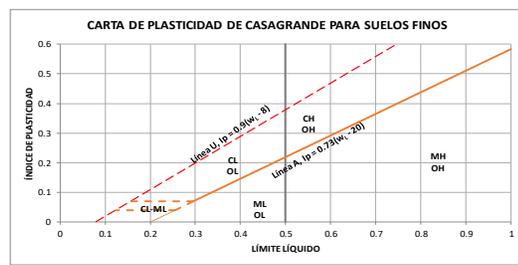
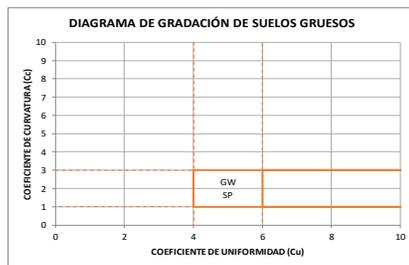
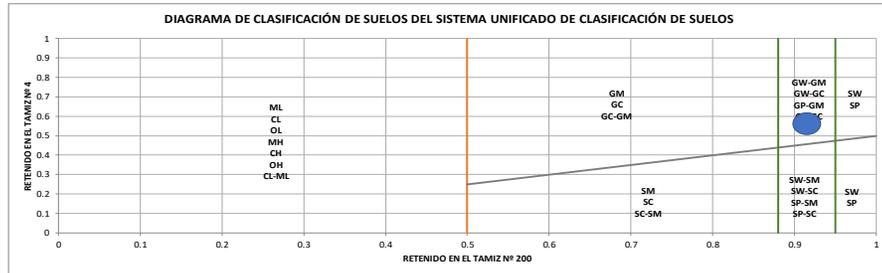
TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"

UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO

CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA 1**

FECHA : 00/00/2024

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
DE GRANULOMETRÍA	
% de Gruesos =	90.61%
% de Finos =	9.39%
Total =	100.00%
% de Grava =	55.89%
% de Arena =	34.72%
Total =	90.61%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	61.68%
% de Arena =	38.32%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	70.84
Cc =	5.75
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.29%
LP =	15.06%
IP =	5.23%



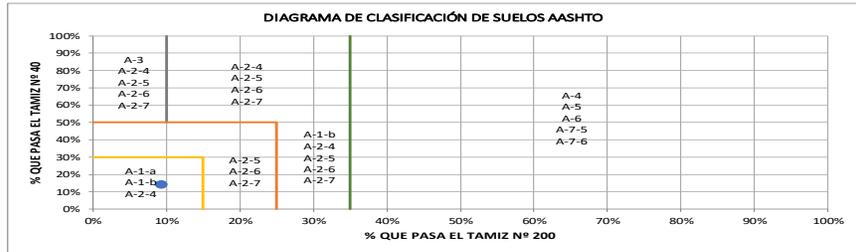
GP - GC = GRAVA MAL GRADUADA CON ARCILLA LIMOSA Y ARENA

Anexo Q Sistema de clasificación de suelos AASHTO - Chumo

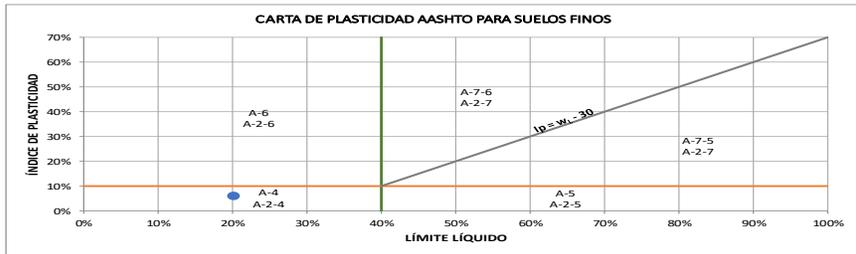
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (AASHTO) ASTM M-145

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : **CHUMO** **MUESTRA 1** FECHA : 00/00/2024

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
DE GRANULOMETRÍA	
% de Gruesos =	91.11%
% de Finos =	8.89%
Total =	100.00%
% de Grava =	64.56%
% de Arena =	26.55%
Total =	91.11%
Fración Gruesa	
% de Grava =	70.86%
% de Arena =	29.14%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	77.85
Cc =	5.19
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.16%
LP =	14.13%
IP =	6.02%



DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
% que pasa el tamiz N° 40 =	14.29%
% que pasa el tamiz N° 200 =	8.89%
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.16%
LP =	14.13%
IP =	6.02%



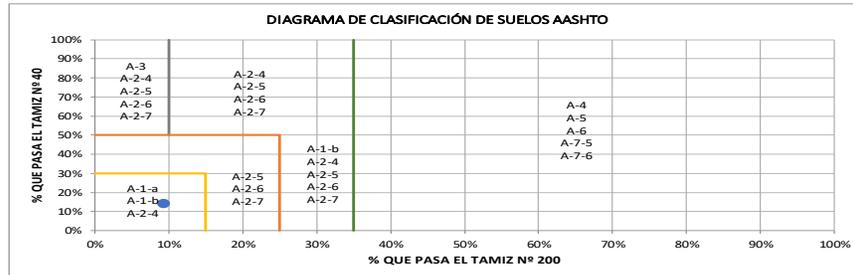
A-2-4 = Materiales granulares con partículas finas limosas

Anexo R Sistema de clasificación de suelos AASHTO - Chihuaco

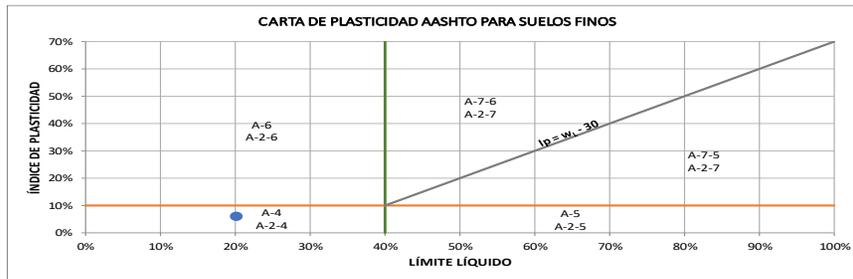
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (AASHTO) ASTM M-145

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : **CHIHUACO** **MUESTRA 1** FECHA : 00/00/2024

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
DE GRANULOMETRÍA	
% de Gruesos =	90.61%
% de Finos =	9.39%
Total =	100.00%
% de Grava =	55.89%
% de Arena =	34.72%
Total =	90.61%
Fración Gruesa	
% de Grava =	61.68%
% de Arena =	38.32%
Total =	100.00%
Coefficientes	
Cu =	70.84
Cc =	5.75
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.29%
LP =	15.06%
IP =	5.23%



DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
% que pasa el tamiz N° 40 =	13.59%
% que pasa el tamiz N° 200 =	9.39%
DE LÍMITES DE CONSISTENCIA	
LL =	20.29%
LP =	15.06%
IP =	5.23%



A-2-4 = Materiales granulares con partículas finas limosas

Anexo S MTC E 114 Equivalente de Arena cantera Chumo

EQUIVALENTE DE ARENA

NORMA MTC E - 114

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

RESPONSABLES : Bach. Condori Gutierrez Rudyard Matthew

Bach. Vera Zambrano Max Junior

ASESOR : Ing. Jose Carlos Solis Ttito

CANTERA CHUMO

UBICACIÓN CHUMO

UBICACIÓN SICUANI - CANCHIS - CUSCO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA MATERIAL PARA SUB BASE CLASIFICACION SUCS : GP - GC
CLASIFICACION AASHTO : A-2-4

N° DE ENSAYO		IDENTIFICACION				PROMEDIO
		1	2	3	4	
TAMAÑO MAXIMO (PASA TAMINZ N° 04)	mm	4.76	4.76			
HORA DE ENTRADA A SATURACIÓN		09:30	10:30			
HORA DE SALIDA DE SATURACIÓN (+ 10')		09:40	10:40			
HORA DE ENTRADA DE DECANTACION		09:42	10:32			
HORA DE SALIDA DE DECANTACION (+ 20')		10:02	10:52			
ALTURA MÁXIMA DE MATERIAL FINO	mm	132	137			
ALTURA MÁXIMA DE ARENA	mm	62	64			
EQUIVALENTE DE ARENA	%	46.97%	46.72%			46.84%

Anexo T MTC E 114 Equivalente de Arena cantera Chihuahua

EQUIVALENTE DE ARENA

NORMA MTC E - 114

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

RESPONSABLES : Bach. Condori Gutierrez Rudyard Matthew

Bach. Vera Zambrano Max Junior

ASESOR : Ing. Jose Carlos Solis Ttito

CANTERA CHIHUACO

UBICACIÓN CHIHUACO

UBICACIÓN SICUANI - CANCHIS - CUSCO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA MATERIAL PARA SUB BASE CLASIFICACION SUCS : GP - GC
CLASIFICACION AASHTO : A-2-4

N° DE ENSAYO		IDENTIFICACION				PROMEDIO
		1	2	3	4	
TAMAÑO MAXIMO (PASA TAMINZ N° 04)	mm	4.76	4.76			
HORA DE ENTRADA A SATURACIÓN		09:30	10:30			
HORA DE SALIDA DE SATURACIÓN (+ 10')		09:40	10:40			
HORA DE ENTRADA DE DECANTACION		09:42	10:32			
HORA DE SALIDA DE DECANTACION (+ 20')		10:02	10:52			
ALTURA MÁXIMA DE MATERIAL FINO	mm	135	138			
ALTURA MÁXIMA DE ARENA	mm	50	48			
EQUIVALENTE DE ARENA	%	37.04%	34.78%			35.91%

Anexo U MTC E 115 Proctor Modificado suelo natural cantera Chumo

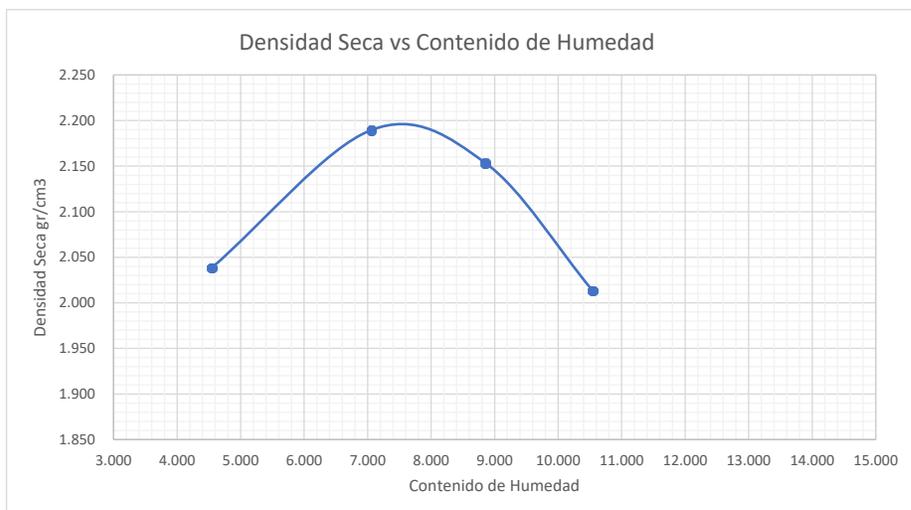
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)	
MTC E 115	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHIHUACO
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	

Datos			
Volumen del molde	:	2111.76	cm3
N° Capas \ N° de golpes por capa	:	5 capas \ 56 golpes por capa	
Unidades	:	masa= gr	
Densidad de Agua	:	1	gr/cm3

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	11000	11450	11450	11200
Masa Suelo compactado	4500	4950	4950	4700
Densidad Humeda gr/cm3	2.131	2.344	2.344	2.226

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	63.11	58.58	58.03	59.13
Masa de la Tara + Suelo Humedo	168.49	138.23	135.96	117.74
Masa de la Tara + Suelo Seco	163.91	132.98	129.62	112.15
Masa de agua (gr)	4.58	5.25	6.34	5.59
Masa del suelo seco (gr)	100.8	74.4	71.59	53.02
w (%)	4.544	7.056	8.856	10.543

w(%) Promedio	4.544	7.056	8.856	10.543
Densidad seca (gr/cm3)	2.038	2.190	2.153	2.013



Optimo contenido de humedad	7.40 %
Densidad seca Maxima	2.192 gr/cm3

Anexo V MTC E 115 Proctor Modificado suelo natural cantera Chihuaco

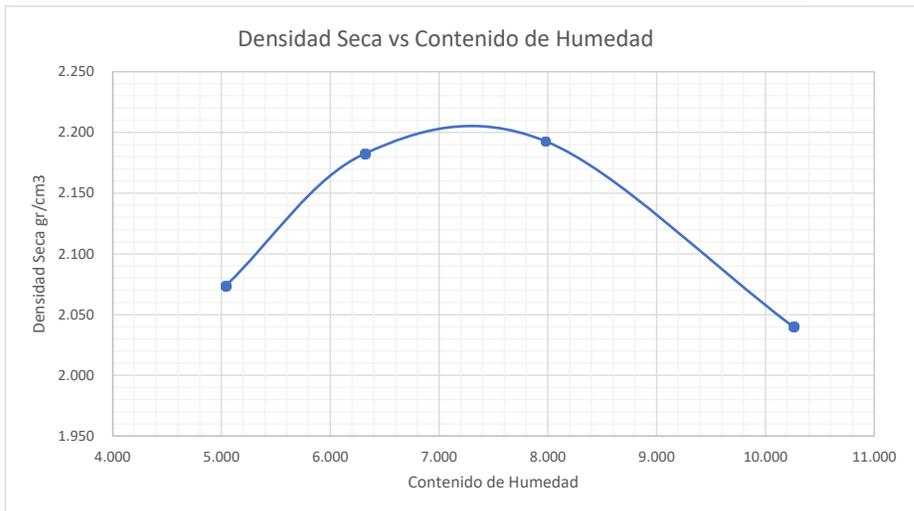
COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)	
MTC E 115	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHUMO
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	

Datos			
Volumen del molde	:	2111.76	cm3
N° Capas \ N° de golpes por capa	:	5 capas \ 56 golpes por capa	
Unidades	:	masa= gr	
Densidad de Agua	:	1	gr/cm3

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	11100	11400	11500	11250
Masa Suelo compactado	4600	4900	5000	4750
Densidad Humeda gr/cm3	2.178	2.320	2.368	2.249

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	22.03	21.71	22.7	59.4
Masa de la Tara + Suelo Humedo	44.96	56.38	67.92	103.48
Masa de la Tara + Suelo Seco	43.86	54.32	64.58	99.38
Masa de agua (gr)	1.1	2.06	3.34	4.1
Masa del suelo seco (gr)	21.83	32.61	41.88	39.98
w (%)	5.039	6.317	7.975	10.255

w(%) Promedio	5.039	6.317	7.975	10.255
Densidad seca (gr/cm3)	2.074	2.182	2.193	2.040



Optimo contenido de humedad	7.26 %
Densidad seca Maxima	2.206 gr/cm3

Anexo W MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 01 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condición de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13557		13448		13058	
Peso del molde (g)	8517		8553		8502	
Peso del suelo húmedo (g)	5040		4895		4556	
Volumen del suelo (cm3)	2121		2124		2123	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.38		2.30		2.15	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	38.61		38.29		39.22	
Peso tara + suelo húmedo (g)	168.51		180.59		205.02	
Peso tara + suelo seco (g)	160.11		171.11		194.09	
Peso del agua (g)	8.4		9.48		10.93	
Peso del suelo seco (g)	121.5		132.82		154.87	
%HUMEDAD	6.91%		7.14%		7.06%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.22		2.15		2.00	
CBR	71.86%		51.48%		16.84%	

SAT = SATURADO
NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0	11:40							
DIA 1		24	0.01	0.20%	0.02	0.40%	0.03	0.60%
DIA 2		48	0.04	0.80%	0.05	1.00%	0.05	1.00%
DIA 3		72	0.05	1.00%	0.07	1.40%	0.08	1.60%
No expansivo								

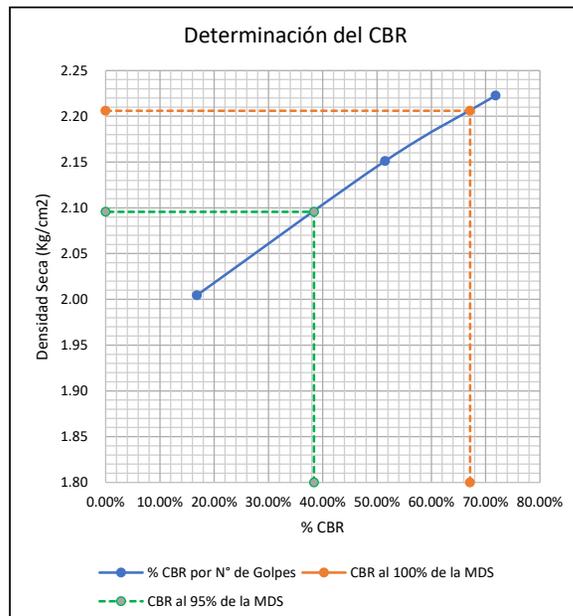
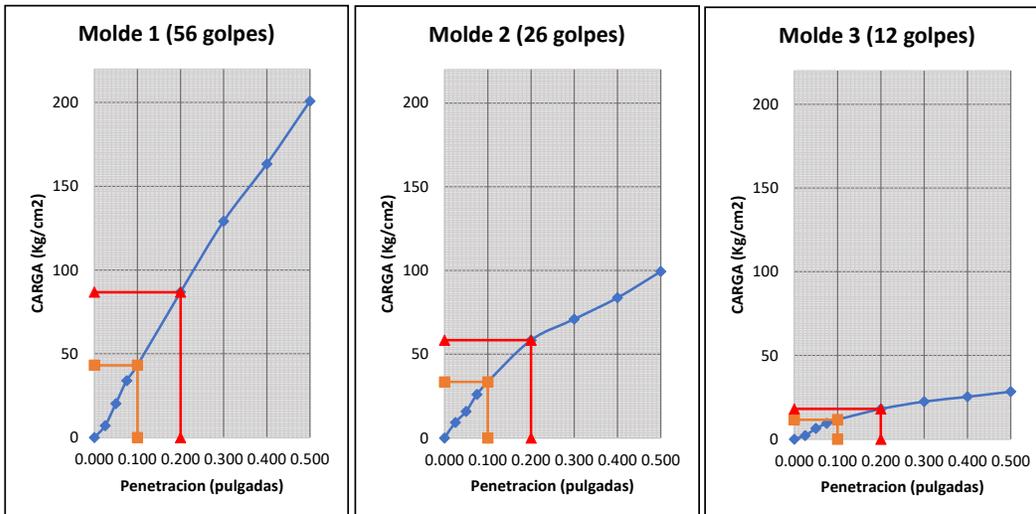
Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0		0	0		
0.025		28	7.02		38	9.23		6	2.17	
0.050		88	20.25		68	15.84		25	6.36	
0.075		150	33.91		114	25.98		39	9.45	
0.100	70.310	192	43.17		148	33.47		49	11.65	
0.200	105.460	390	86.81		261	58.38		78	18.04	
0.300		582	129.13		318	70.94		98	22.45	
0.400		737	163.29		376	83.72		111	25.32	
0.500		907	200.76		447	99.37		125	28.40	

CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2
0.1	70.310	43.17	61.40%	33.47	47.60%	11.65	16.57%
0.2	105.460	86.81	82.32%	58.38	55.35%	18.04	17.11%
PROMEDIO			71.86%		51.48%		16.84%

Anexo X MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 01 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS		
MTC E 132		
RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm3)	:	2.206
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.26%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm3)	:	2.096

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	67.13%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	38.39%

Anexo Y MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 02 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condición de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13549		13417		13022	
Peso del molde (g)	8517		8553		8502	
Peso del suelo húmedo (g)	5032		4864		4520	
Volumen del suelo (cm3)	2121		2124		2123	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.37		2.29		2.13	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	38.61		38.29		39.22	
Peso tara + suelo húmedo (g)	171.52		183.15		208.04	
Peso tara + suelo seco (g)	162.63		173.65		196.69	
Peso del agua (g)	8.89		9.5		11.35	
Peso del suelo seco (g)	124.02		135.36		157.47	
%HUMEDAD	7.17%		7.02%		7.21%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.21		2.14		1.99	
CBR	70.55%		50.12%		16.00%	

SAT = SATURADO

NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0	11:40							
DIA 1		24	0.01	0.20%	0.02	0.40%	0.02	0.40%
DIA 2		48	0.03	0.60%	0.04	0.80%	0.05	1.00%
DIA 3		72	0.04	0.80%	0.06	1.20%	0.07	1.40%
No expansivo								

Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		30	7.46		25	6.36		8	2.61	
0.050		82	18.92		66	15.40		26	6.58	
0.075		131	29.72		110	25.09		38	9.23	
0.100	70.310	187	42.07		134	30.38		45	10.77	
0.200	105.460	385	85.71		269	60.14		76	17.60	
0.300		607	134.64		368	81.96		94	21.57	
0.400		762	168.80		426	94.74		107	24.43	
0.500		922	204.07		497	110.39		123	27.96	

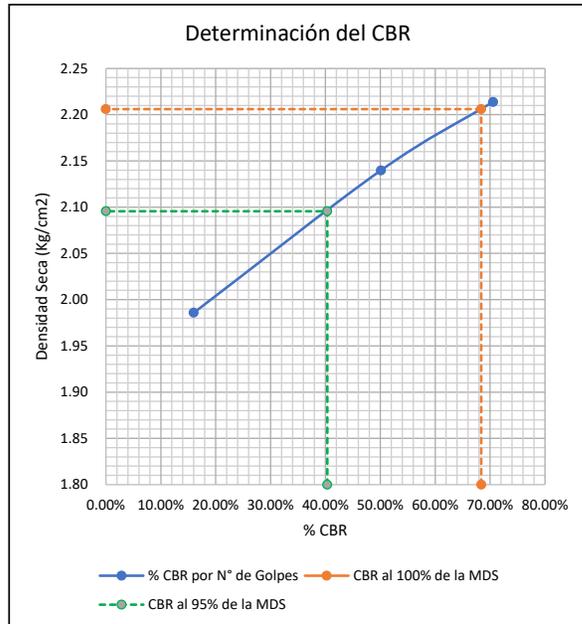
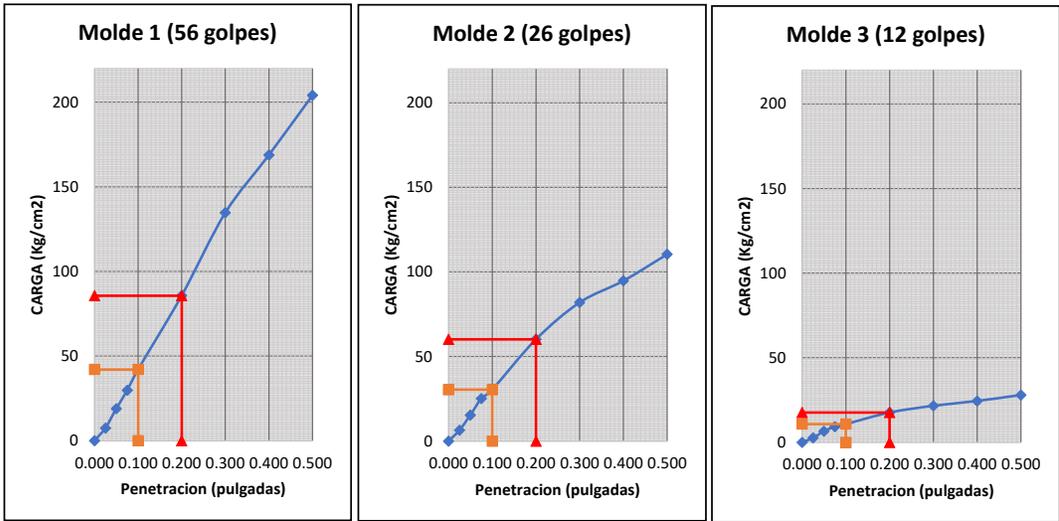
CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.310	42.07	59.83%	30.38	43.22%	10.77	15.32%
0.2	105.460	85.71	81.27%	60.14	57.03%	17.60	16.69%
PROMEDIO			70.55%		50.12%		16.00%

Anexo Z MTC E 132 CBR Cantera de Chumo 02 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm³)	:	2.206
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.26%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm³)	:	2.096

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	68.40%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	40.34%

Anexo AA MTC E 132 CBR Canteras de Chumo 03 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condición de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13547		13438		13081	
Peso del molde (g)	8517		8553		8502	
Peso del suelo húmedo (g)	5030		4885		4579	
Volumen del suelo (cm3)	2121		2124		2123	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.37		2.30		2.16	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	38.61		38.29		39.22	
Peso tara + suelo húmedo (g)	171.82		184.06		208.36	
Peso tara + suelo seco (g)	163.08		174.28		197.14	
Peso del agua (g)	8.74		9.78		11.22	
Peso del suelo seco (g)	124.47		135.99		157.92	
%HUMEDAD	7.02%		7.19%		7.10%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.22		2.15		2.01	
CBR	67.94%		51.43%		18.88%	

SAT = SATURADO

NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0	11:40							
DIA 1		24	0.01	0.20%	0.02	0.40%	0.03	0.60%
DIA 2		48	0.03	0.60%	0.03	0.60%	0.05	1.00%
DIA 3		72	0.04	0.80%	0.05	1.00%	0.06	1.20%
No expansivo								

Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0		0	0		
0.025		30	7.46		22	5.70		8	2.61	
0.050		79	18.26		61	14.29		22	5.70	
0.075		136	30.83		104	23.77		43	10.33	
0.100	70.310	181	40.74		143	32.37		56	13.19	
0.200	105.460	369	82.18		268	59.92		87	20.03	
0.300		564	125.16		338	75.35		101	23.11	
0.400		746	165.28		389	86.59		113	25.76	
0.500		888	196.57		453	100.70		123	27.96	

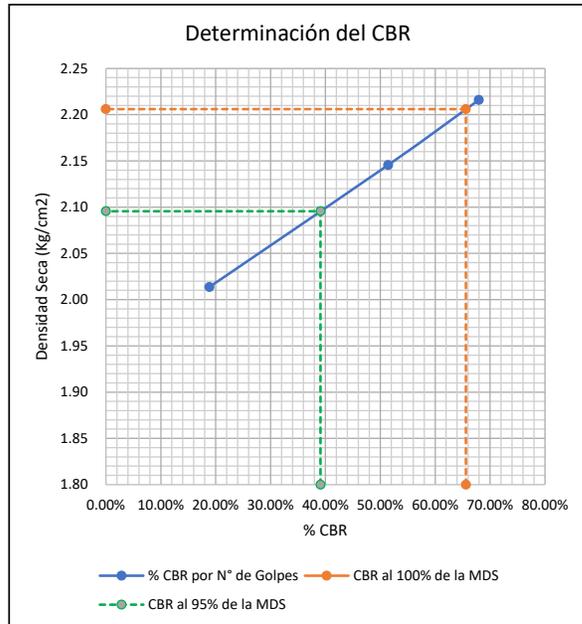
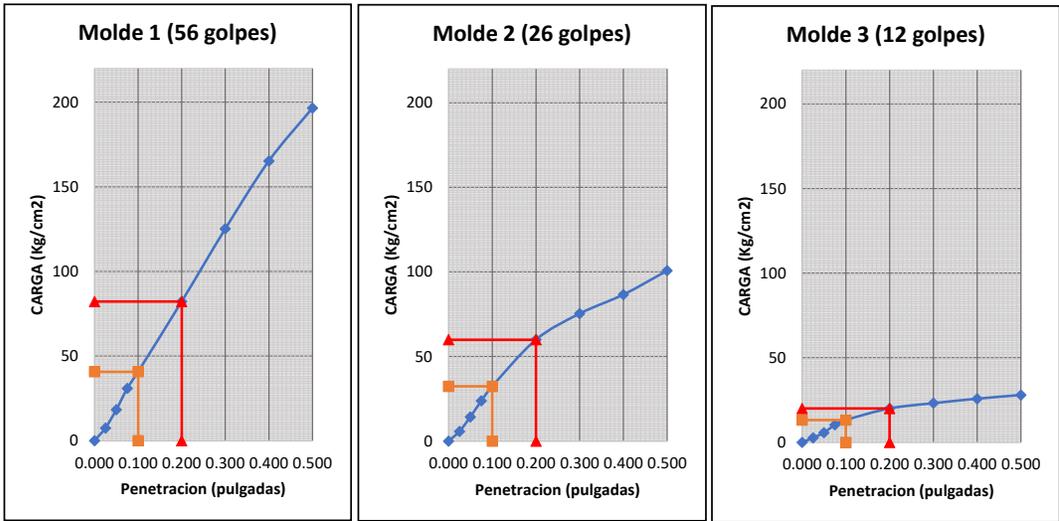
CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.310	40.74	57.95%	32.37	46.04%	13.19	18.76%
0.2	105.460	82.18	77.93%	59.92	56.82%	20.03	18.99%
PROMEDIO			67.94%		51.43%		18.88%

Anexo BB MTC E 132 CBR Canteras de Chumo 03 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - 001



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm3)	:	2.206
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.26%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm3)	:	2.096

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	65.61%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	39.11%

Anexo CC MTC E 132 CBR Cantera de Chihuaco 01 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 001

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condicion de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13623		13361		13253	
Peso del molde (g)	8593		8528		8557	
Peso del suelo humedo (g)	5030		4833		4696	
Volumen del suelo (cm3)	2121		2121		2121	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.37		2.28		2.21	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	28.78		28.74		27.72	
Peso tara + suelo húmedo (g)	300.62		320.92		308.5	
Peso tara + suelo seco (g)	281.42		300.16		288.9	
Peso del agua (g)	19.2		20.76		19.6	
Peso del suelo seco (g)	252.64		271.42		261.18	
%HUMEDAD	7.60%		7.65%		7.50%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.20		2.12		2.06	
CBR	37.10%		15.01%		9.42%	

SAT = SATURADO
NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0	11:40							
DIA 1		24	0	0.00%	0.01	0.20%	0.02	0.40%
DIA 2		48	0.01	0.20%	0.03	0.60%	0.05	1.00%
DIA 3		72	0.02	0.40%	0.05	1.00%	0.06	1.20%
No expansivo								

Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0		0	0		
0.025		2	1.29		5	1.95	6	2.17		
0.050		13	3.72		18	4.82	15	4.16		
0.075		32	7.90		32	7.90	22	5.70		
0.100	70.310	65	15.18	25.50	42	10.11	27	6.80		
0.200	105.460	161	36.34	40.00	71	16.50	40	9.67		
0.300		194	43.61		85	19.58	48	11.43		
0.400		224	50.22		94	21.57	52	12.31		
0.500		271	60.58		111	25.32	62	14.52		

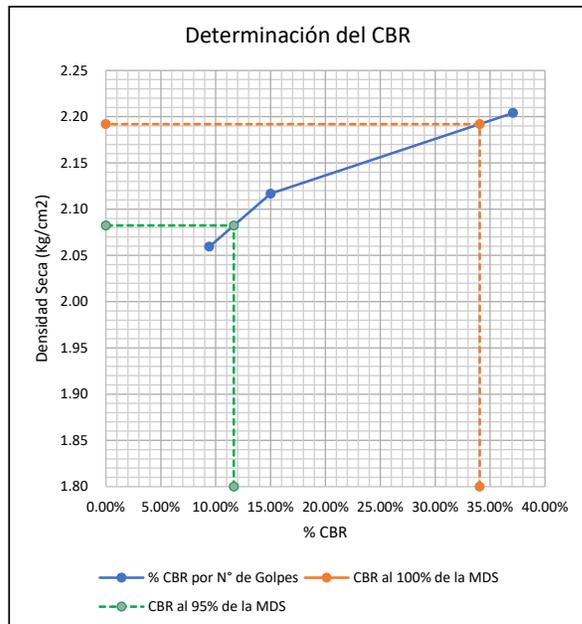
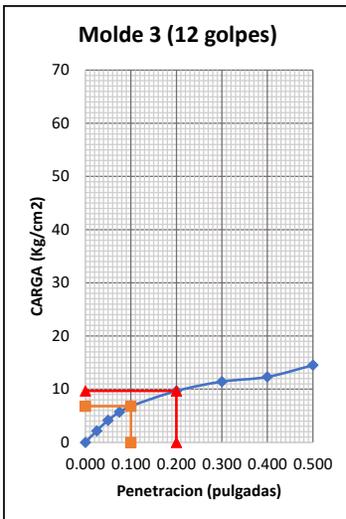
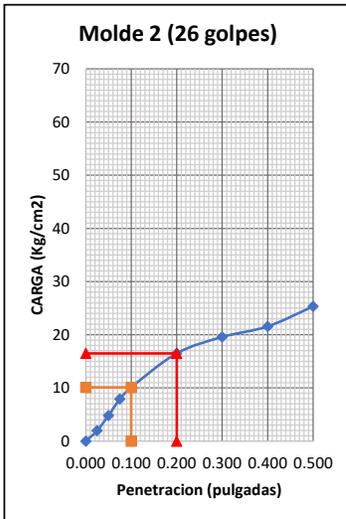
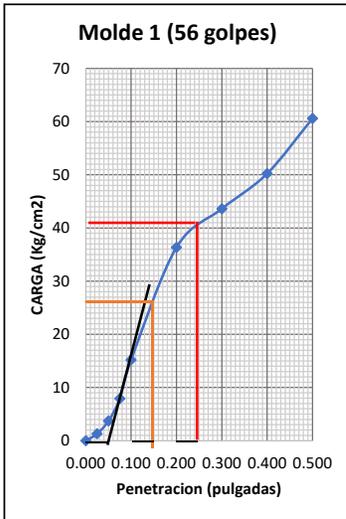
CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.310	25.50	36.27%	10.11	14.37%	6.80	9.67%
0.2	105.460	40.00	37.93%	16.50	15.64%	9.67	9.17%
PROMEDIO			37.10%		15.01%		9.42%

Anexo DD MTC E 132 CBR Cantera de Chihuaco 01 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 001



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.192
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.40%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.082

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	34.06%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	11.66%

Anexo EE MTC E 132 CBR Cantera de Chihuaco 02 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 002

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condicion de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13610		13322		13236	
Peso del molde (g)	8581		8543		8557	
Peso del suelo humedo (g)	5029		4779		4679	
Volumen del suelo (cm3)	2129		2123		2121	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.36		2.25		2.21	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	28.78		28.74		27.72	
Peso tara + suelo húmedo (g)	300.56		329.42		318.85	
Peso tara + suelo seco (g)	281.68		308.17		298.65	
Peso del agua (g)	18.88		21.25		20.2	
Peso del suelo seco (g)	252.9		279.43		270.93	
%HUMEDAD	7.47%		7.60%		7.46%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.20		2.09		2.05	
CBR	34.60%		16.16%		9.37%	

SAT = SATURADO
NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0	11:40							
DIA 1		24	0.01	0.20%	0.01	0.20%	0.02	0.40%
DIA 2		48	0.02	0.40%	0.02	0.40%	0.04	0.80%
DIA 3		72	0.02	0.40%	0.04	0.80%	0.05	1.00%
No expansivo								

Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		8	2.61		5	1.95		4	1.73	
0.050		32	7.90		20	5.26		14	3.94	
0.075		52	12.31		35	8.56		22	5.70	
0.100	70.310	97	22.23		46	10.99		28	7.02	
0.200	105.460	176	39.64		76	17.60		38	9.23	
0.300		214	48.02		86	19.81		46	10.99	
0.400		242	54.19		97	22.23		54	12.75	
0.500		273	61.02		108	24.65		61	14.29	

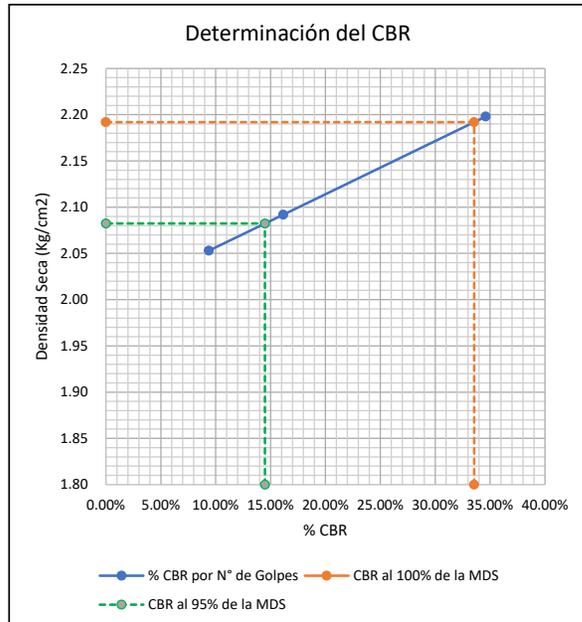
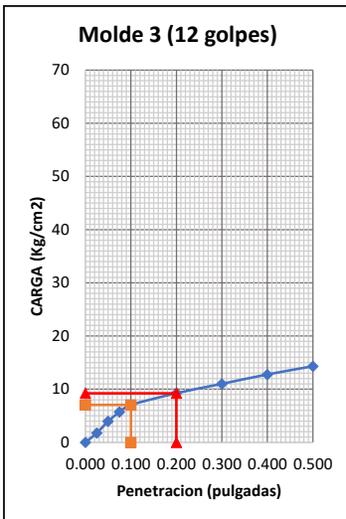
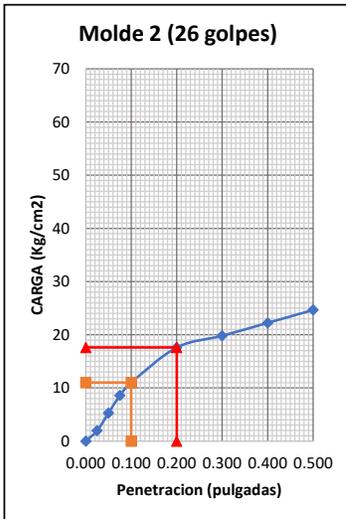
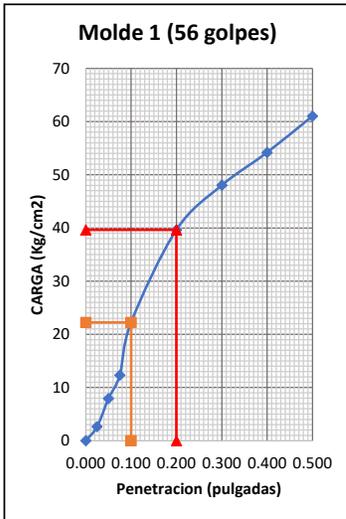
CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.310	22.23	31.62%	10.99	15.63%	7.02	9.99%
0.2	105.460	39.64	37.59%	17.60	16.69%	9.23	8.75%
PROMEDIO			34.60%		16.16%		9.37%

Anexo FF MTC E 132 CBR Cantera de Chihuahco 02 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS
MTC E 132

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 002



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.192
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.40%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.082

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	33.55%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	14.49%

Anexo GG MTC E 132 CBR Cantera de Chihuaco 03 parte 01

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND*
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 003

CALCULO DEL CBR						
Molde N°	1		2		3	
N° capas	5		5		5	
N° de golpes/capa	56		26		12	
Condicion de la muestra	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT	SAT	NO SAT
Peso suelo húmedo + molde (g)	13602		13417		13230	
Peso del molde (g)	8563		8572		8550	
Peso del suelo humedo (g)	5039		4845		4680	
Volumen del suelo (cm3)	2129		2123		2121	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.37		2.28		2.21	
Lata N°	1		2		3	
Peso de la tara (g)	28.78		28.74		27.72	
Peso tara + suelo húmedo (g)	288.4		308.79		286.02	
Peso tara + suelo seco (g)	270.32		288.84		267.53	
Peso del agua (g)	18.08		19.95		18.49	
Peso del suelo seco (g)	241.54		260.1		239.81	
%HUMEDAD	7.49%		7.67%		7.71%	
DENSIDAD SECA (Kg/m3)	2.20		2.12		2.05	
CBR	36.64%		15.85%		8.32%	

SAT = SATURADO
NO SAT = NO SATURADO

EXPANSION								
DIA	HORA	TIEMPO	DIAL (Pulg.)	EXPANSION	DIAL	EXPANSION	DIAL	EXPANSION
DIA 0								
DIA 1	11:40	24	0	0.00%	0.01	0.20%	0.01	0.20%
DIA 2		48	0.01	0.20%	0.03	0.60%	0.03	0.60%
DIA 3		72	0.02	0.40%	0.03	0.60%	0.04	0.80%
No expansivo								

Area del piston 3 pulg2 o 19.354 cm2

PENETRACION										
Penetración (pulg)	Carga Estandar (lbs/in)	Molde 1 (56 golpes)			Molde 2 (26 golpes)			Molde 3 (12 golpes)		
		Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION	Carga de prueba		CORRECCION
		Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2	Lectura	kg/cm2	kg/cm2
0.000		0	0		0	0		0	0	
0.025		16	4.38		7	2.39		3	1.51	
0.050		41	9.89		17	4.60		10	3.05	
0.075		71	16.50		31	7.68		16	4.38	
0.100	70.310	106	24.21		42	10.11		22	5.70	
0.200	105.460	182	40.96		79	18.26		37	9.00	
0.300		212	47.58		91	20.91		45	10.77	
0.400		243	54.41		101	23.11		55	12.97	
0.500		269	60.14		107	24.43		64	14.96	

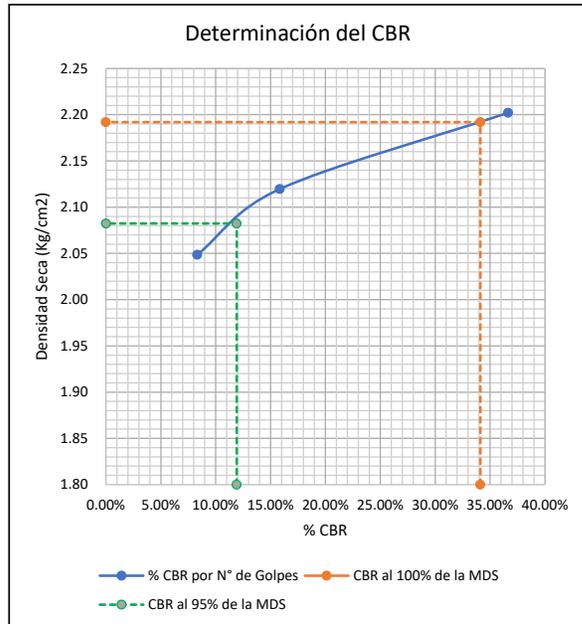
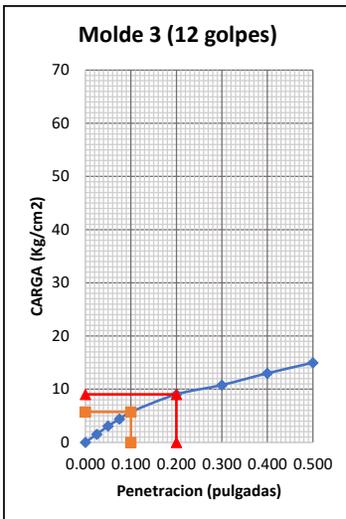
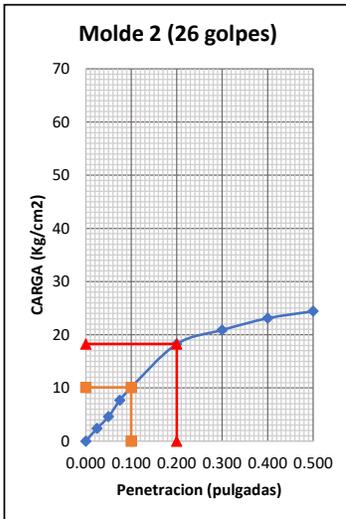
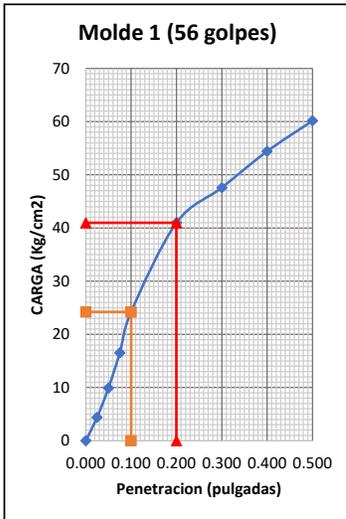
CBR CORREGIDO							
Penetración	Carga Estandar	Molde 1		Molde 2		Molde 3	
		kg/cm2	%	kg/cm2	%	kg/cm2	%
0.1	70.310	24.21	34.44%	10.11	14.37%	5.70	8.11%
0.2	105.460	40.96	38.84%	18.26	17.32%	9.00	8.54%
PROMEDIO			36.64%		15.85%		8.32%

Anexo HH MTC E 132 CBR Cantera de Chihuaco 03 parte 02

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA CBR EN SUELOS	
MTC E 132	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - 003



METODO DE COMPACTACION	:	ASTM D-1567
Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.192
Optimo Contenido de Humedad (%)	:	7.40%
95 % Maxima Densidad Seca (g/cm ³)	:	2.082

RESULTADOS		
Valor de CBR al 100% de la MDS a 1"	:	34.12%
Valor de CBR al 95% de la MDS a 1"	:	11.91%

Anexo II MTC E 207 Ensayo de Abrasión Chumo

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

NORMA MTC E - 207

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

RESPONSABLES : Bach. Condori Gutierrez Rudyard Matthew
Bach. Vera Zambrano Max Junior

ASESOR : Ing. Jose Carlos Solis Ttito

CANTERA CHUMO

UBICACIÓN CHUMO

UBICACIÓN SICUANI - CACNCHIS - CUSCO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA MATERIAL PARA SUB BASE **CLASIFICACION SUCS** : GP - GC
CLASIFICACION AASHTO : A-2-4

		GRADACION A					
		ENSAYO NUMERO					
TAMIZ		1	2	3	4	5	6
2 1/2"	g						
2"	g						
1 1/2"	g						
1"	g	1,250.21	1,250.03	1,250.91			
3/4"	g	1,252.32	1,252.54	1,252.09			
1/2"	g	1,248.56	1,248.68	1,248.05			
3/8"	g	1,251.18	1,251.50	1,251.02			
1/4"	g						
N° 04	g						
N° 08	g						
PESO TOTAL	g	5,002.27	5,002.75	5,002.07	-	-	-
PESO DESPUES DEL ENSAYO							
RETENIDO MALLA NRO 12	g	3,026.00	3,018.97	3,035.55			
PESO OBTENIDO	g	1,976.27	1,983.78	1,966.52	-	-	-
N° DE ESFERAS	N°	12	12	12			
PESO DE LAS ESFERAS	g	4,680.00	4,680.00	4,680.00			
PORCENTAJE OBTENIDO	%	39.51%	39.65%	39.31%			
PROCENTAJE OBTENIDO	%	39.49%					

Anexo JJ MTC E 207 Ensayo de Abrasión Chihuaco

ENSAYO DE ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

NORMA MTC E - 207

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

RESPONSABLES : Bach. Condori Gutierrez Rudyard Matthew
Bach. Vera Zambrano Max Junior

ASESOR : Ing. Jose Carlos Solis Ttito

CANTERA CHIHUACO

UBICACIÓN CHIHUACO

UBICACIÓN SICUANI - CACNCHIS - CUSCO

DATOS DE LA MUESTRA

MUESTRA MATERIAL PARA SUB BASE **CLASIFICACION SUCS** : GP - GC
CLASIFICACION AASHTO : A-2-4

		GRADACION A					
		ENSAYO NUMERO					
TAMIZ		1	2	3	4	5	6
2 1/2"	g						
2"	g						
1 1/2"	g						
1"	g	1,251.00	1,249.18	1,250.74			
3/4"	g	1,249.00	1,249.07	1,249.73			
1/2"	g	1,251.00	1,250.48	1,250.58			
3/8"	g	1,252.00	1,252.47	1,253.00			
1/4"	g						
N° 04	g						
N° 08	g						
PESO TOTAL	g	5,003.00	5,001.20	5,004.05	-	-	-
PESO DESPUES DEL ENSAYO							
RETENIDO MALLA NRO 12	g	3,154.00	3,155.53	3,131.80			
PESO OBTENIDO	g	1,849.00	1,845.67	1,872.25	-	-	-
N° DE ESFERAS	N°	12	12	12			
PESO DE LAS ESFERAS	g	4,680.00	4,680.00	4,680.00			
PORCENTAJE OBTENIDO	%	36.96%	36.90%	37.41%			
PROCENTAJE OBTENIDO	%	37.09%					

Anexo KK MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 1% Cantera Chumo

RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHUMO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 1%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	10850	11400	11500	11150
Masa Suelo compactado	4350	4900	5000	4650
Densidad Humeda gr/cm ³	2.060	2.320	2.368	2.202

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.02	57.74	57.15
Masa de la Tara + Suelo Humedo	112.52	144.91	107.95	119.07
Masa de la Tara + Suelo Seco	110.57	139.78	104.36	113.76
Masa de agua (gr)	1.95	5.13	3.59	5.31
Masa del suelo seco (gr)	52.33	81.76	46.62	56.61
w (%)	3.726	6.274	7.701	9.380

w(%) Promedio	3.726	6.274	7.701	9.380
Densidad seca (gr/cm ³)	1.986	2.183	2.198	2.013



Optimo contenido de humedad	7.123 %
Densidad seca Maxima	2.211 gr/cm³

Anexo LL MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 3% Cantera Chumo

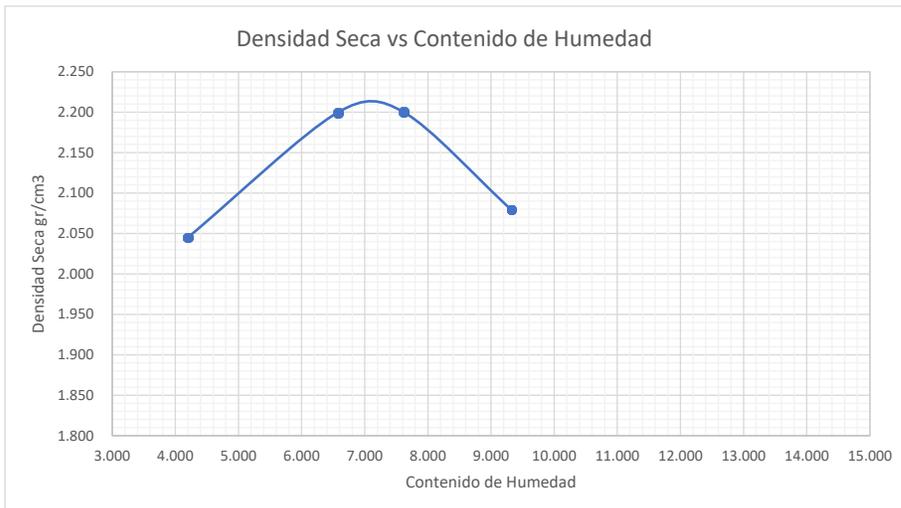
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHUMO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 3%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	11000	11450	11500	11300
Masa Suelo compactado	4500	4950	5000	4800
Densidad Humeda gr/cm ³	2.131	2.344	2.368	2.273

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.02	57.74	57.15
Masa de la Tara + Suelo Humedo	113.06	145.25	107.94	119.17
Masa de la Tara + Suelo Seco	110.85	139.87	104.39	113.88
Masa de agua (gr)	2.21	5.38	3.55	5.29
Masa del suelo seco (gr)	52.61	81.85	46.65	56.73
w (%)	4.201	6.573	7.610	9.325

w(%) Promedio	4.201	6.573	7.610	9.325
Densidad seca (gr/cm ³)	2.045	2.199	2.200	2.079



Optimo contenido de humedad	7.106 %
Densidad seca Maxima	2.207 gr/cm ³

Anexo MM MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 5% Cantera Chumo

RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHUMO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 5%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	10950	11450	11500	11300
Masa Suelo compactado	4450	4950	5000	4800
Densidad Humeda gr/cm ³	2.107	2.344	2.368	2.273

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.02	57.74	57.15
Masa de la Tara + Suelo Humedo	113.28	145.21	108.13	119.32
Masa de la Tara + Suelo Seco	110.81	139.83	104.37	113.83
Masa de agua (gr)	2.47	5.38	3.76	5.49
Masa del suelo seco (gr)	52.57	81.81	46.63	56.68
w (%)	4.698	6.576	8.063	9.686

w(%) Promedio	4.698	6.576	8.063	9.686
Densidad seca (gr/cm ³)	2.013	2.199	2.191	2.072



Optimo contenido de humedad	7.191 %
Densidad seca Maxima	2.208 gr/cm³

Anexo NN MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 7% Cantera Chumo

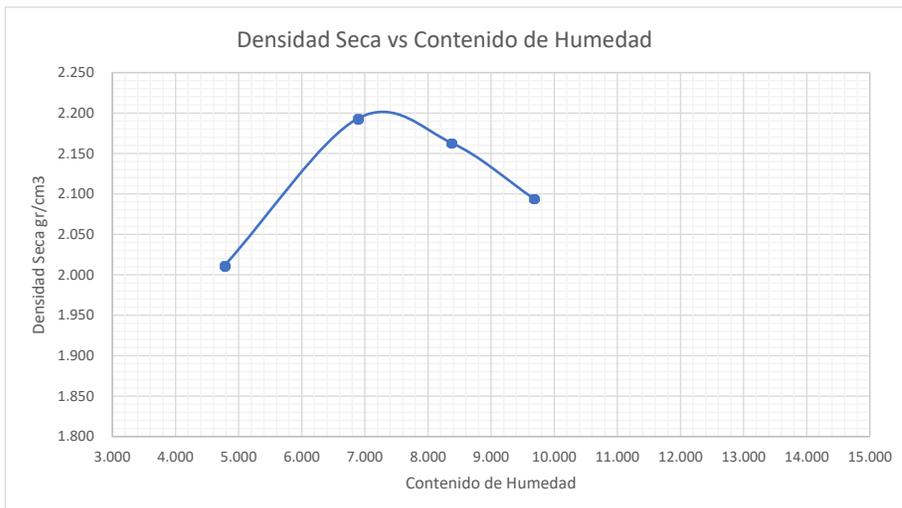
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB : BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHUMO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 7%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	10950	11450	11450	11350
Masa Suelo compactado	4450	4950	4950	4850
Densidad Humeda gr/cm ³	2.107	2.344	2.344	2.297

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.02	57.74	57.15
Masa de la Tara + Suelo Humedo	112.66	144.78	107.56	118.69
Masa de la Tara + Suelo Seco	110.18	139.19	103.71	113.26
Masa de agua (gr)	2.48	5.59	3.85	5.43
Masa del suelo seco (gr)	51.94	81.17	45.97	56.11
w (%)	4.775	6.887	8.375	9.677

w(%) Promedio	4.775	6.887	8.375	9.677
Densidad seca (gr/cm ³)	2.011	2.193	2.163	2.094



Optimo contenido de humedad	7.288 %
Densidad seca Maxima	2.198 gr/cm³

Anexo OO MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 1% Cantera Chihuaco

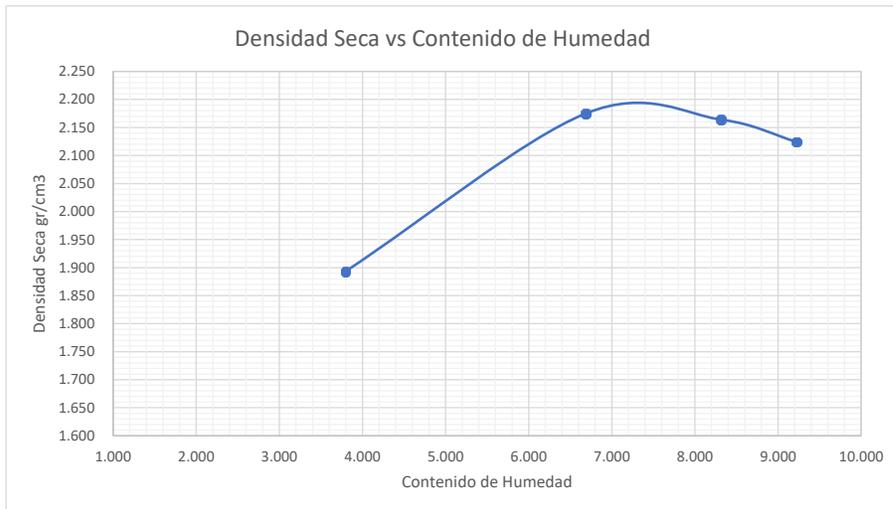
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O : SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHIHUACO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 1%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm3
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm3

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6400	6400	6400	6400
Masa (Suelo compactado + molde)	10550	11300	11350	11300
Masa Suelo compactado	4150	4900	4950	4900
Densidad Humeda gr/cm3	1.965	2.320	2.344	2.320

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	63.08	58.03	58.6	59.16
Masa de la Tara + Suelo Humedo	108.49	126.98	134.29	120.72
Masa de la Tara + Suelo Seco	106.83	122.66	128.48	115.52
Masa de agua (gr)	1.66	4.32	5.81	5.2
Masa del suelo seco (gr)	43.75	64.63	69.88	56.36
w (%)	3.794	6.684	8.314	9.226

w(%) Promedio	3.794	6.684	8.314	9.226
Densidad seca (gr/cm3)	1.893	2.175	2.164	2.124



Optimo contenido de humedad	7.354 %
Densidad seca Maxima	2.185 gr/cm3

Anexo PP MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 3% Cantera Chihuaco

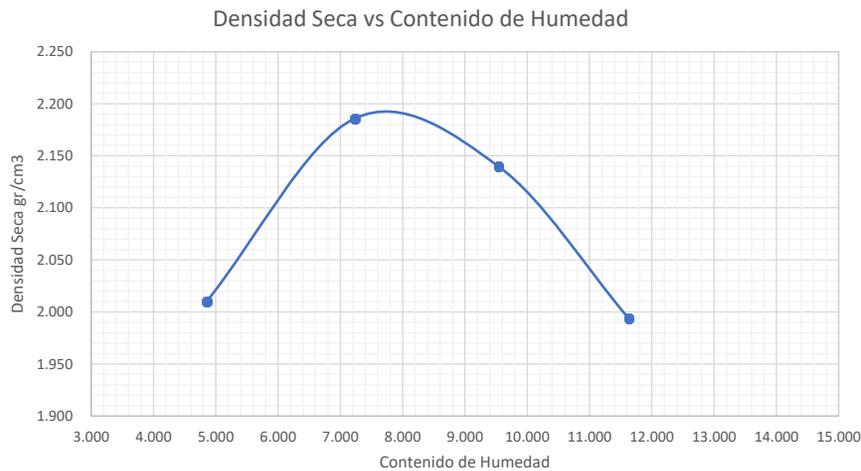
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW : VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O : SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHIHUACO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 3%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	10950	11450	11450	11200
Masa Suelo compactado	4450	4950	4950	4700
Densidad Humeda gr/cm ³	2.107	2.344	2.344	2.226

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.31	53.9	57.82	61.4
Masa de la Tara + Suelo Humedo	156.27	141.23	149.02	102.77
Masa de la Tara + Suelo Seco	151.74	135.34	141.08	98.46
Masa de agua (gr)	4.53	5.89	7.94	4.31
Masa del suelo seco (gr)	93.43	81.44	83.26	37.06
w (%)	4.849	7.232	9.536	11.630

w(%) Promedio	4.849	7.232	9.536	11.630
Densidad seca (gr/cm ³)	2.010	2.186	2.140	1.994



Optimo contenido de humedad	7.886 %
Densidad seca Maxima	2.194 gr/cm³

Anexo QQ MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 5% Cantera Chihuaco

RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	: VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHIHUACO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 5%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	11100	11450	11450	11200
Masa Suelo compactado	4600	4950	4950	4700
Densidad Humeda gr/cm ³	2.178	2.344	2.344	2.226

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.29	57.96	57.36
Masa de la Tara + Suelo Humedo	109.49	124.05	103.14	95.43
Masa de la Tara + Suelo Seco	106.86	119.61	99.52	92
Masa de agua (gr)	2.63	4.44	3.62	3.43
Masa del suelo seco (gr)	48.62	61.32	41.56	34.64
w (%)	5.409	7.241	8.710	9.902

w(%) Promedio	5.409	7.241	8.710	9.902
Densidad seca (gr/cm ³)	2.066	2.186	2.156	2.025



Optimo contenido de humedad	7.586 %
Densidad seca Maxima	2.189 gr/cm³

Anexo RR MTC E 1102 Relaciones de humedad densidad Suelo Cemento 7% Cantera Chihuaco

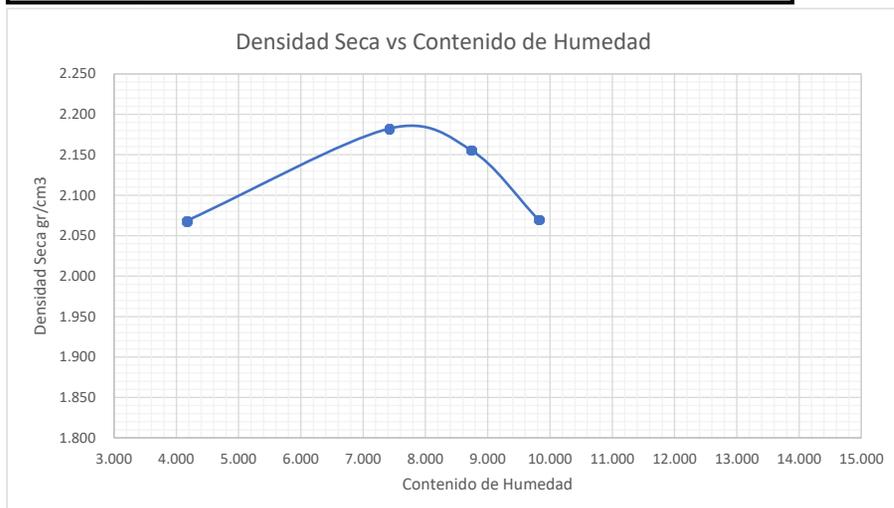
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD (SUELO-CEMENTO)	
MTC E 1102	
RESPONSABLES	: CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	: VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	: DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	: CHIHUACO
RELACIONES HUMEDAD-DENSIDAD SUELO CEMENTO 7%	

Datos	
Volumen del molde	: 2,111.76 cm ³
N° Capas	: 3
Unidades	: masa= gr
Densidad de Agua	: 1 gr/cm ³

N° de Ensayos	1	2	3	4
Masa del Molde	6500	6500	6500	6500
Masa (Suelo compactado + molde)	11050	11450	11450	11300
Masa Suelo compactado	4550	4950	4950	4800
Densidad Humeda gr/cm ³	2.155	2.344	2.344	2.273

N° de Ensayos				
Tara N°	A1	B1	C1	D1
Masa de la Tara	58.24	58.29	57.96	57.36
Masa de la Tara + Suelo Humedo	108.98	124.05	103.04	95.62
Masa de la Tara + Suelo Seco	106.95	119.51	99.42	92.2
Masa de agua (gr)	2.03	4.54	3.62	3.42
Masa del suelo seco (gr)	48.71	61.22	41.46	34.84
w (%)	4.168	7.416	8.731	9.816

w(%) Promedio	4.168	7.416	8.731	9.816
Densidad seca (gr/cm ³)	2.068	2.182	2.156	2.070



Optimo contenido de humedad	7.667 %
Densidad seca Maxima	2.184 gr/cm³

Anexo SS MTC E 1103 Resistencia a la Compresión de Probetas de Suelo-Cemento

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE SUELO-CEMENTO	
MTC E 1103	

RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR

TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - CHIHUACO

DIAMETRO (cm)	:	10.16
ALTURA (cm)	:	11.64

CODIGO	ESTRUCUTRA O ELEMENTO	MUESTRA	CANTERA	HUMEDAD DE PREPARACION (%)	FECHA		DIAS DE CURADO	CARGA (Kg)	Resistencia Compresion Kg/cm2
					MOLDEO	ROTURA			
1	Suelo cemento 1%	M1	Chumo	7.15%	30/07/2024	06/08/2024	7	393.21	4.85
2	Suelo cemento 3%	M1	Chumo	7.26%	30/07/2024	06/08/2024	7	1447.97	17.86
3	Suelo cemento 5%	M1	Chumo	7.25%	30/07/2024	06/08/2024	7	1910.81	23.57
4	Suelo cemento 7%	M1	Chumo	7.21%	30/07/2024	06/08/2024	7	2680.20	33.06
5	Suelo cemento 1%	M2	Chumo	7.19%	30/07/2024	06/08/2024	7	432.77	5.34
6	Suelo cemento 3%	M2	Chumo	7.25%	30/07/2024	06/08/2024	7	1223.09	15.09
7	Suelo cemento 5%	M2	Chumo	7.02%	30/07/2024	06/08/2024	7	1950.21	24.05
8	Suelo cemento 7%	M2	Chumo	6.91%	30/07/2024	06/08/2024	7	2582.32	31.85
9	Suelo cemento 1%	M1	Chihuaco	7.48%	30/07/2024	06/08/2024	7	274.03	3.38
10	Suelo cemento 3%	M1	Chihuaco	7.64%	30/07/2024	06/08/2024	7	1393.65	17.19
11	Suelo cemento 5%	M1	Chihuaco	7.47%	30/07/2024	06/08/2024	7	1849.77	22.82
12	Suelo cemento 7%	M1	Chihuaco	7.24%	30/07/2024	06/08/2024	7	2495.43	30.78
13	Suelo cemento 1%	M2	Chihuaco	7.29%	30/07/2024	06/08/2024	7	335.49	4.14
14	Suelo cemento 3%	M2	Chihuaco	7.62%	30/07/2024	06/08/2024	7	1156.56	14.27
15	Suelo cemento 5%	M2	Chihuaco	7.45%	30/07/2024	06/08/2024	7	1824.68	22.51
16	Suelo cemento 7%	M2	Chihuaco	7.57%	30/07/2024	06/08/2024	7	2343.67	28.91
17	Sin adicion de cemento	M1	Chumo	7.03%	17/07/2024	24/07/2024	7	21.18	2.08
18	Sin adicion de cemento	M1	Chihuaco	7.48%	17/08/2024	24/08/2024	7	20.65	2.03

Anexo TT MTC E 1104 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas al 5% Cantera de Chumo

HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTADAS		
MTC E 1104		
RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHUMO - SUELO CEMENTO 5%

1 DATOS AL MOMENTO DE MOLDEO MUESTRA 01

Diametro	:	101.60	mm
Altura	:	116.4	mm
Volumen	:	943692.01	mm ³
	:	943.69	cm ³
Peso	:	2146.32	gr
Humedad del ciclo	:	7.21%	

Ciclo	Fecha	Muestra Humeda										% RESPECTO AL Vi	Peso	Humedad del ciclo		
		Diametro			Altura				Volumen		%				gr	%
		Medida 1	Medida 2	Promedio	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio	mm ³	cm ³						
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm						
1	17/07/2024	101.50	101.60	101.55	116.30	116.40	116.20	116.30	941953.47	941.95	99.82%	2144.43	7.69%			
2	19/07/2024	101.50	101.50	101.50	116.30	116.40	116.40	116.37	941565.55	941.57	99.77%	2142.50	7.59%			
3	22/07/2024	101.60	101.40	101.50	116.30	116.20	116.30	116.27	940756.41	940.76	99.69%	2138.57	7.40%			
4	24/07/2024	101.30	101.50	101.40	116.30	116.20	116.20	116.23	938634.44	938.63	99.46%	2136.46	7.29%			
5	26/07/2024	101.30	101.30	101.30	116.20	116.30	116.10	116.20	936515.35	936.52	99.24%	2132.47	7.09%			
6	30/07/2024	101.20	101.30	101.25	116.30	116.00	116.10	116.13	935054.31	935.05	99.08%	2131.51	7.04%			
7	01/08/2024	101.10	101.10	101.10	116.10	116.30	116.20	116.20	932821.01	932.82	98.85%	2126.14	6.77%			
8	05/08/2024	101.00	101.10	101.05	116.20	116.10	116.20	116.17	931631.24	931.63	98.72%	2122.83	6.61%			
9	07/08/2024	101.00	100.90	100.95	116.10	116.10	116.10	116.10	929254.66	929.25	98.47%	2118.24	6.38%			
10	09/08/2024	100.80	100.70	100.75	116.20	116.10	116.10	116.13	925842.01	925.84	98.11%	2111.46	6.04%			
11	12/08/2024	100.60	100.60	100.60	116.20	116.00	116.10	116.10	922822.26	922.82	97.79%	2106.66	5.79%			
12	14/08/2024	100.50	100.60	100.55	116.00	116.10	116.10	116.07	921640.48	921.64	97.66%	2098.81	5.40%			

Ciclo	Fecha	Muestra Seca										% RESPECTO AL Vi	Peso	
		Diametro			Altura				Volumen		%			gr
		Medida 1	Medida 2	Promedio	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio	mm ³	cm ³				
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm						
1	17/07/2024	101.40	101.20	101.30	116.20	116.20	116.10	116.17	936246.70	936.25	99.21%	1991.27		
2	19/07/2024	101.40	101.10	101.25	116.20	116.10	116.00	116.10	934785.93	934.79	99.06%	1987.98		
3	22/07/2024	101.40	101.00	101.20	116.10	116.10	115.90	116.03	933226.67	933.33	98.90%	1982.81		
4	24/07/2024	101.30	100.90	101.10	116.10	116.10	115.90	116.03	931483.06	931.48	98.71%	1977.73		
5	26/07/2024	101.30	100.70	101.10	116.10	116.10	115.80	116.00	931215.47	931.22	98.68%	1975.80		
6	30/07/2024	101.20	100.80	101.00	116.00	116.10	115.80	115.97	929107.15	929.11	98.45%	1972.75		
7	01/08/2024	101.10	100.70	100.90	116.00	116.00	115.70	115.90	926735.18	926.74	98.20%	1971.14		
8	05/08/2024	101.10	100.60	100.85	115.90	116.00	115.60	115.83	925284.40	925.28	98.05%	1965.52		
9	07/08/2024	101.00	100.50	100.75	115.80	115.90	115.60	115.77	922918.86	922.92	97.80%	1961.62		
10	09/08/2024	100.90	100.30	100.60	115.70	115.80	115.50	115.67	919377.91	919.38	97.42%	1960.90		
11	12/08/2024	100.80	100.30	100.55	115.60	115.80	115.50	115.63	918199.55	918.20	97.30%	1960.08		
12	14/08/2024	100.70	100.20	100.45	115.60	115.70	115.50	115.60	916109.94	916.11	97.08%	1959.55		

Perdida maxima de Volumen	97.08%
---------------------------	--------

2 DATOS AL MOMENTO DE MOLDEO MUESTRA 02

Peso Seco	:	1966.13	gr
Tipo de Suelo	:	A-2	
Agua retenida despues del secamiento	:	2.50%	

Clasificacion AASHTO	Agua retenida despues de secado a 110 °C (%)
A-1, A-3	1.50
A-2	2.50
A-4, -5	3.00
A-6, A-7	3.50

Ciclo	Fecha	PSr
		gr
1	17/07/2024	1963.13
2	19/07/2024	1958.94
3	22/07/2024	1956.28
4	24/07/2024	1948.15
5	26/07/2024	1936.99
6	30/07/2024	1935.35
7	01/08/2024	1930.98
8	05/08/2024	1928.28
9	07/08/2024	1925.37
10	09/08/2024	1924.78
11	12/08/2024	1918.22
12	14/08/2024	1905.15

PSr: *Peso seco despues del raspado

Peso seco Inicial = 1966.13 gr

Peso Seco Raspado Final = 1905.15 gr

Peso seco Raspado Final corregido = 1858.68 gr

Perdida suelo Cemento	=	5.46	%
-----------------------	---	------	---

Anexo UU MTC E 1104 Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento compactadas al 5% Cantera de Chihuahua

HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO-CEMENTO COMPACTADAS		
MTC E 1104		
RESPONSABLES	:	CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
	:	VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACIÓN	:	DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
CANTERA	:	CHIHUACO - SUELO CEMENTO 5%

1 DATOS AL MOMENTO DE MOLDEO MUESTRA 01

Diametro	:	101.60	mm
Altura	:	116.4	mm
Volumen	:	943692.01	mm ³
	:	943.69	cm ³
Peso	:	2146.32	gr
Humedad del ciclo	:	7.21%	

Ciclo	Fecha	Muestra Humeda										% RESPECTO AL Vi	Peso	Humedad del ciclo		
		Diametro			Altura				Volumen		%				gr	%
		Medida 1	Medida 2	Promedio	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio	mm ³	cm ³						
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm					
1	17/07/2024	101.60	101.70	101.65	116.20	116.40	116.30	116.30	943809.54	943.81	100.01%	2132.07	7.41%			
2	19/07/2024	101.60	101.70	101.65	116.20	116.40	116.30	116.30	943809.54	943.81	100.01%	2133.64	7.49%			
3	22/07/2024	101.40	101.60	101.50	116.10	116.30	116.10	116.17	939947.28	939.95	99.60%	2123.49	6.98%			
4	24/07/2024	101.20	101.50	101.35	115.90	116.30	116.10	116.10	936633.33	936.63	99.25%	2119.59	6.79%			
5	26/07/2024	101.20	101.30	101.25	115.90	116.20	115.90	116.00	933980.77	933.98	98.97%	2112.36	6.42%			
6	30/07/2024	101.20	101.10	101.15	115.70	116.10	115.70	115.83	930797.50	930.80	98.63%	2111.29	6.37%			
7	01/08/2024	101.10	101.10	101.10	115.60	115.90	115.70	115.73	929074.74	929.07	98.45%	2104.69	6.04%			
8	05/08/2024	100.90	101.10	101.00	115.50	115.90	115.70	115.70	926970.66	926.97	98.23%	2098.81	5.74%			
9	07/08/2024	100.80	100.90	100.85	115.30	115.80	115.70	115.60	923420.52	923.42	97.85%	2090.96	5.34%			
10	09/08/2024	100.80	100.90	100.85	115.30	115.80	115.50	115.53	922887.98	922.89	97.80%	2089.48	5.27%			
11	12/08/2024	100.60	100.70	100.65	115.20	115.70	115.30	115.40	918170.32	918.17	97.30%	2089.48	5.27%			
12	14/08/2024	100.50	100.70	100.60	115.10	115.50	115.30	115.30	916463.45	916.46	97.11%	2074.92	4.54%			

Ciclo	Fecha	Muestra Seca										% RESPECTO AL Vi	Peso	
		Diametro			Altura				Volumen		%			gr
		Medida 1	Medida 2	Promedio	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Promedio	mm ³	cm ³				
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			
1	17/07/2024	101.30	101.40	101.35	116.30	116.40	116.30	116.33	938515.74	938.52	99.45%	1984.90		
2	19/07/2024	101.10	101.40	101.25	116.10	116.30	116.30	116.23	935859.47	935.86	99.17%	1981.46		
3	22/07/2024	101.00	101.20	101.10	116.10	116.20	116.20	116.17	932553.42	932.55	98.82%	1974.15		
4	24/07/2024	100.90	101.00	100.95	116.00	116.10	116.10	116.07	928987.86	928.99	98.44%	1964.04		
5	26/07/2024	100.90	100.80	100.85	116.00	116.10	115.90	116.00	926615.75	926.62	98.19%	1963.64		
6	30/07/2024	100.90	100.80	100.85	115.90	116.00	115.70	115.87	925550.67	925.55	98.08%	1960.66		
7	01/08/2024	100.90	100.70	100.80	115.90	115.90	115.70	115.83	924367.14	924.37	97.95%	1957.12		
8	05/08/2024	100.70	100.60	100.65	115.70	115.90	115.70	115.77	921087.67	921.09	97.60%	1953.27		
9	07/08/2024	100.70	100.60	100.65	115.60	115.80	115.70	115.70	920557.24	920.56	97.55%	1950.46		
10	09/08/2024	100.60	100.50	100.55	115.50	115.70	115.70	115.63	918199.55	918.20	97.30%	1945.43		
11	12/08/2024	100.60	100.40	100.50	115.40	115.60	115.60	115.53	916493.33	916.49	97.12%	1942.41		
12	14/08/2024	100.60	100.30	100.45	115.30	115.50	115.60	115.47	915053.30	915.05	96.97%	1938.38		

Perdida maxima de Volumen	96.97%
---------------------------	--------

2 DATOS AL MOMENTO DE MOLDEO MUESTRA 02

Peso Seco	:	1964.6	gr
Tipo de Suelo	:	A-2	
Agua retenida despues del secamiento	:	2.50%	

Clasificacion AASHTO	Agua retenida despues de secado a 110 °C (%)
A-1, A-3	1.50
A-2	2.50
A-4, -5	3.00
A-6, A-7	3.50

Ciclo	Fecha	PSr
		gr
1	17/07/2024	1956.56
2	19/07/2024	1929.31
3	22/07/2024	1916.15
4	24/07/2024	1914.74
5	26/07/2024	1894.95
6	30/07/2024	1883.11
7	01/08/2024	1869.77
8	05/08/2024	1867.22
9	07/08/2024	1859.94
10	09/08/2024	1857.26
11	12/08/2024	1851.35
12	14/08/2024	1846.59

PSr: "Peso seco despues del raspado"

Peso seco Inicial = 1964.6 gr

Peso Seco Raspado Final = 1846.59 gr

Peso seco Raspado Final corregido = 1801.55 gr

Perdida suelo Cemento	=	8.30	%
-----------------------	---	------	---

Anexo VV Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 1

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : **CHUMO**

01" CALCULO DEL PORCENTAJE DE EMULSION (MARSHALL MODIFICADO)

Ecuación del Manual MS-14 del Instituto del Asfalto, apéndice F (ecuación 1):

$$E = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) + 0.7$$

Donde:

E = Porcentaje en peso de la emulsión asfáltica

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°8

B = Porcentaje de agregado que pasó por el tamiz N°8 y quedó retenido en el tamiz N°200

C = Porcentaje de agregado que pasó por el tamiz N°200

A = 73.26%
 B = 18.05%
 C = 8.69%

% E = 6.90%

01.01" CALCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA ENSAYO DE RECUBRIMIENTO

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	56.7	57.13
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	169.18	271.55
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	168.22	269.87
Peso del Agua (gr)	0.96	1.68
Peso de la Muestra Seca (gr)	111.52	212.74
CONTENIDO DE HUMEDAD	0.86%	0.79%
PROMEDIO	0.83%	

02" ENSAYO DE COBERTURA

02.01" CONTENIDO ÓPTIMO DE RECUBRIMIENTO DE LA MEZCLA

Ficha técnica de la emulsión Asfáltica

Contenido de asfalto en la emulsión, CA 57%

Contenido de agua en la emulsión, CW 43%

Peso del agregado = 500 gr

Peso de la Emulsión = 34.50 gr

Peso de la muestra Pt (g)	500	CA %	57%
---------------------------	-----	------	-----

Contenido de humedad, W en (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso agregados Ps (g)	Peso de la mezcla	Vr	1/2 HORA	1 HORA	1 1/2 HORA	2 HORAS	% Estimado de partículas
4%	0.21%	1.04	34.43	464.53	500.00	ok		80.00%	80.00%	80.00%	80%
5%	1.21%	6.04	34.08	459.88	500.00	ok		80.00%	90.00%	90.00%	90%
6%	2.21%	11.04	33.74	455.22	500.00	ok			100.00%	100.00%	100%
7%	3.21%	16.04	33.39	450.57	500.00	ok			100.00%	100.00%	100%
8%	4.21%	21.04	33.05	445.91	500.00	ok			100.00%	100.00%	100%

Anexo WW Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 2

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

03° FABRICACION DE BRIQUETAS DE PRUEBA (MARSHALL MODIFICADO)

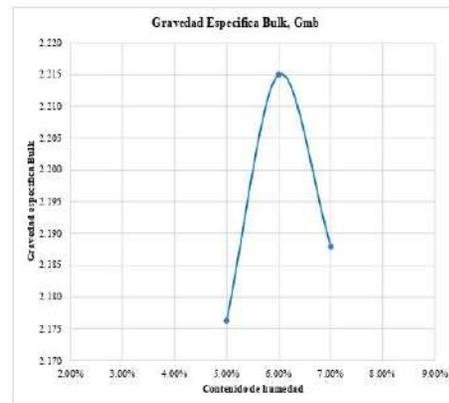
Peso de la muestra Pt (g)	1200	CA %	57%
---------------------------	------	------	-----

Contenido de humedad, W en (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso agregados Ps (g)	Peso de la mezcla	% Agua perdida, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%), Wcomp
4.00%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00	1.00%	12.00	3.00%
4.00%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00	1.00%	12.00	3.00%
4.00%	0.21%	2.49	82.63	1114.88	1200.00	1.00%	12.00	3.00%
5.00%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00	1.00%	12.00	4.00%
5.00%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00	1.00%	12.00	4.00%
5.00%	1.21%	14.49	81.80	1103.71	1200.00	1.00%	12.00	4.00%
6.00%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
6.00%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
6.00%	2.21%	26.49	80.97	1092.54	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
7.00%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00	1.00%	12.00	6.00%
7.00%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00	1.00%	12.00	6.00%
7.00%	3.21%	38.49	80.14	1081.36	1200.00	1.00%	12.00	6.00%

03.01° GRAVEDAD BULK

Contenido de humedad, W en (%)	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk, Gmb media
4.00%	1180.84	652.69	1209.69	2.120	
4.00%	1183.39	651.59	1209.53	2.121	2.124
4.00%	1181.36	652.91	1207.28	2.131	
5.00%	1182.16	659.05	1204.48	2.171	
5.00%	1183.32	663.29	1207.85	2.173	2.176
5.00%	1188.18	663.91	1207.7	2.185	
6.00%	1183.6	676.26	1210.38	2.216	
6.00%	1187.58	672.34	1209.47	2.211	2.215
6.00%	1191.9	669.44	1206.82	2.218	
7.00%	1182.26	656.62	1202.53	2.184	
7.00%	1184.1	661.63	1203.31	2.186	2.188
7.00%	1186.72	668.25	1209.15	2.194	

Gmb máxima: 2.21
 Humedad óptima de la mezcla: 6%



04° MEZCLA ASFALTICA (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO) 04.01° VARIACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL

Humedad de los agreg	0.83%	Peso de la mue	1200	CA %	57%	Humedad óptima de compactación la mezcla (%), Wop	5.00%				
% de emulsión, E	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso del agregado combinado (g), Pcom	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%), Wcomp	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar
5.40%	2.32%	3.08%	1.85%	22.233	63.599	1114.17	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
5.90%	2.54%	3.36%	1.64%	19.653	69.640	1110.71	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.40%	2.75%	3.65%	1.42%	17.073	75.707	1107.22	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
6.90%	2.97%	3.93%	1.21%	14.493	81.800	1103.71	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.40%	3.18%	4.22%	0.99%	11.913	87.918	1100.17	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
7.90%	3.40%	4.50%	0.78%	9.333	94.083	1096.60	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
8.40%	3.61%	4.79%	0.56%	6.753	100.233	1093.01	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00
% de emulsión, E	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%), Wcomp	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar						
5.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
5.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
6.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
6.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
7.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
7.90%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						
8.40%	1.00%	12.00	5.00%	1,200.00	1,188.00						

Anexo XX Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 3

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

DATOS REALES *El peso no es exacto, por eso debe variar las proporciones del peso del material combinado*

Humedad de los agreg:	0.83%	Peso de la muc	1200	CA % -	57%
-----------------------	-------	----------------	------	--------	-----

% de emulsión, E	Peso de emulsión (g), Pe	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso del agregado combinado (g), Psc	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar
5.40%	46.96	29.75	1123.89	1200.60	1190.04
	46.73	29.72	1122.60	1199.05	1186.66
	46.99	28.99	1124.78	1200.76	1188.13
	46.71	29.26	1122.98	1198.95	1186.81
5.90%	52.61	27.07	1119.45	1199.13	1188.75
	52.88	27.33	1120.63	1200.84	1187.17
	52.94	26.57	1120.73	1200.24	1189.52
	52.70	26.61	1119.72	1199.03	1186.46
6.40%	58.93	24.62	1117.50	1201.05	1189.95
	58.61	24.45	1115.66	1198.72	1188.62
	58.67	24.10	1115.77	1198.54	1188.31
	58.92	23.82	1117.93	1200.67	1188.41
6.90%	64.70	21.88	1113.24	1199.82	1186.43
	64.98	21.87	1113.94	1200.79	1189.43
	64.73	21.60	1114.81	1201.14	1188.15
	64.93	21.60	1112.22	1198.75	1186.35
7.40%	70.93	19.32	1109.39	1199.64	1189.90
	71.02	19.44	1110.12	1200.58	1189.84
	70.72	19.04	1110.61	1200.37	1187.44
	70.70	18.70	1109.15	1198.55	1188.89
7.90%	76.77	16.76	1107.95	1201.48	1191.170
	77.10	16.93	1106.03	1200.06	1188.430
	77.10	16.25	1106.13	1199.48	1188.980
	76.83	16.35	1106.94	1200.12	1187.650
8.40%	83.12	14.28	1103.14	1200.54	1188.600
	83.08	14.14	1102.00	1199.22	1187.340
	83.21	13.67	1102.21	1199.09	1187.130
	82.88	13.64	1104.35	1200.87	1188.080

TABLA Nº 1

SISTEMA ANALÓGICO "A" DIVISIONES	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)			PROMEDIO "B" kgf
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	
50	400.02	401.03	400.51	400.52
100	781.54	781.54	781.03	781.37
150	1163.03	1161.03	1161.55	1160.87
200	1535.51	1536.02	1535.54	1535.69
250	1908.52	1906.03	1905.53	1906.03
300	2271.03	2272.52	2271.51	2271.69
350	2645.55	2646.05	2645.05	2645.55
400	3014.00	3014.05	3014.55	3014.20

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

Coefficiente de correlación: $R^2 = 1,0000$

Ecuación de ajuste para valores en kgf: $y = 7,4570x + 36,6617$

Donde: x: Lectura del dial
y: Fuerza promedio (kgf)

Ecuación de ajuste para valores en lbf: $y = 16,4390x + 80,3626$

Donde: x: Lectura del dial
y: Fuerza promedio (lbf)

04.02° CALCULO DE LA ESTABILIDAD USANDO EL APARATO MARSHALL

ECUACION >>>> $KG-f$ $Y = 7,457x + 36,6617$
 2" por 1 minuto Velocidad de ensayo

% EMULSION	ESTABILIDAD SECA		FLUJO	
	LECTURA DEL DIAL	ESTABILIDAD SECA Kg-f	LECTURA DEL DIAL	FLUJO (mm)
5.40%	205	1565.3467	41	1.0414
5.40%	210	1602.6317	43	1.0922
5.90%	185	1416.2067	54	1.3716
5.90%	187	1431.1207	58	1.4732
6.40%	170.5	1308.0802	61	1.5494
6.40%	176	1349.0937	60	1.5234
6.90%	165	1267.0667	75	1.905
6.90%	162.5	1248.4242	71	1.8034
7.40%	152.5	1173.8542	99	2.5146
7.40%	146	1125.3837	96	2.4384
7.90%	140	1080.6417	98	2.4892
7.90%	137	1058.2707	96	2.4384
8.40%	123	953.8727	105	2.667
8.40%	124	961.3297	103	2.6162

LECTURA DEL DIAL	ESTABILIDAD INMERSION		FLUJO	
	D EN INMERSION Kg-f	LECTURA DEL DIAL	LECTURA DEL DIAL	FLUJO (mm)
144	1110.4697	63	1.6002	
142	1095.5557	65	1.651	
131	1013.5287	72	1.8288	
127	983.7007	77	1.9558	
117	909.1307	73	1.8342	
126	976.2437	75	1.905	
127	983.7007	81	2.0574	
115	894.2167	79	2.0066	
116	901.6737	94	2.3876	
112	871.8457	90	2.286	
104	812.1897	95	2.413	
102	797.2757	93	2.3622	
89	700.3347	111	2.8194	
87	685.4207	108	2.7432	

Anexo YY Calculo del optimo contenido de emulsion asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 4

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

ESTABILIDAD, FLUJO Y GS BRIQUETAS SECAS										
Briquetas secas falladas										
N.	% emulsion	Espesor (mm)	Díametro (mm)	Volumen (cm ³)	Estabilidad seca (Kg)	Factor de corrección por espesor	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilidad seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.40%	64.4	101.5	521.084	1565.347	1.00	1,565.35	15,340.40	1.041	14,730.55
2	5.40%	63.9	101.1	512.971	1602.632	1.00	1,602.63	15,705.79	1.092	14,379.96
3	5.90%	63.0	101.3	507.749	1416.207	1.04	1,472.85	14,433.98	1.372	10,523.46
4	5.90%	64.9	100.8	517.912	1431.121	1.00	1,431.12	14,024.98	1.473	9,520.08
5	6.40%	63.9	101.8	520.099	1308.080	1.00	1,308.08	12,819.19	1.549	8,273.65
6	6.40%	64.5	101	516.764	1349.094	1.00	1,349.09	13,221.12	1.524	8,675.27
7	6.90%	64.2	100.4	508.267	1267.067	1.04	1,317.75	12,913.94	1.905	6,778.97
8	6.90%	64.2	101.9	523.568	1248.424	0.96	1,196.49	11,745.17	1.803	6,512.80
9	7.40%	63.9	101.4	516.020	1173.854	1.00	1,173.85	11,503.77	2.515	4,574.79
10	7.40%	64.1	101.3	516.615	1125.384	1.00	1,125.38	11,028.76	2.438	4,522.95
11	7.90%	63.6	101.4	513.598	1080.642	1.00	1,080.64	10,590.29	2.489	4,254.49
12	7.90%	63.4	101.7	515.016	1058.271	1.00	1,058.27	10,371.05	2.438	4,253.22
13	8.40%	63.3	100.8	505.143	953.873	1.04	992.03	9,721.87	2.667	3,645.25
14	8.40%	63.6	100	499.513	961.330	1.04	999.78	9,797.87	2.616	3,745.08

N.	% emulsion	Resultados gravedad bulk				
		Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.40%	1125	633.39	1140.84	2.217	
2	5.40%	1117.05	634.51	1131.65	2.247	2.232
3	5.90%	1103.93	634.82	1121.14	2.270	
4	5.90%	1105.95	641.63	1120.4	2.310	2.290
5	6.40%	1116.67	645.23	1135.01	2.280	
6	6.40%	1099.44	634.72	1110.68	2.310	2.295
7	6.90%	1079.82	615.60	1093.4	2.260	
8	6.90%	1131.93	653.93	1148.23	2.290	2.275
9	7.40%	1111.97	625.02	1132.78	2.190	
10	7.40%	1093.38	611.89	1106.86	2.210	2.200
11	7.90%	1117.3	614.32	1131.59	2.160	
12	7.90%	1145.92	641.83	1160.35	2.210	2.185
13	8.40%	1124.4	617.35	1145.24	2.130	
14	8.40%	1112.21	613.57	1123.76	2.180	2.155

Tabla 1. Factores de Estabilidad de Corrección *

Volumen de espécimen, cm ³	Especimen del espécimen *		Razon de la Corrección
	mm	Pulg	
200 - 213	75.4	2.98 (1)	5.56
224 - 225	27	1.06 (1/8)	5
254 - 255	33.6	1.32 (1/2)	4.25
258 - 260	33.2	1.19 (1/2)	4.27
281 - 284	31.8	1.25 (1/2)	3.65
283 - 276	33.3	1.31 (1/2)	3.57
277 - 299	34.5	1.36 (1/2)	3.33
282 - 301	36.5	1.43 (1/2)	3.23
301 - 316	38.1	1.50 (1/2)	3.28
317 - 338	39.7	1.56 (1/2)	3.5
329 - 340	41.3	1.62 (1/2)	2.77
341 - 353	42.8	1.68 (1/2)	2.88
354 - 357	44.4	1.75 (1/2)	3.22
368 - 379	46	1.81 (1/2)	3.29
388 - 392	47.6	1.88 (1/2)	3.47
393 - 405	49.2	1.94 (1/2)	3.56
406 - 420	50.8	2.00 (1/2)	3.47
421 - 441	52.4	2.06 (1/2)	3.29
452 - 443	54	2.12 (1/2)	3.52
444 - 456	55.6	2.19 (1/2)	3.25
457 - 470	57.2	2.25 (1/2)	3.29
471 - 489	58.7	2.31 (1/2)	3.34
480 - 495	60.3	2.38 (1/2)	3.69
496 - 508	61.9	2.44 (1/2)	3.64
509 - 522	63.5	2.50 (1/2)	3
523 - 535	65.1	2.56 (1/2)	0.86
536 - 546	66.7	2.62 (1/2)	0.93
547 - 559	68.3	2.68 (1/2)	0.89
560 - 573	69.9	2.75 (1/2)	0.86
574 - 585	71.4	2.81 (1/2)	0.83
586 - 598	73	2.88 (1/2)	0.81
599 - 610	74.6	2.94 (1/2)	0.78
611 - 626	76.2	3.00 (3)	0.76

Anexo ZZ *Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 5*

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : **CHUMO**

ESTABILIDAD, FLUJO Y GS BRIQUETAS HUMEDAS										
Briquetas Húmedas falladas										
N.	% emulsion	Espesor (mm)	Díametro (mm)	Volumen (cm3)	Estabilidad en inmersión (Kg)	Factor de corrección por espesor	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilidad seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad /flujo (N/mm)
1	5.40%	64.5	101.9	526.015	1110.470	0.96	1,066.05	10,447.30	1.600	6,528.75
2	5.40%	64.0	101.6	518.868	1095.556	1.00	1,095.56	10,736.45	1.651	6,508.00
3	5.90%	63.2	101.5	510.970	1013.529	1.00	1,013.53	9,932.58	1.829	5,431.20
4	5.90%	65.0	101.2	522.835	983.701	1.00	983.70	9,640.27	1.956	4,929.07
5	6.40%	64.0	100.2	504.667	909.131	1.04	945.50	9,265.86	1.854	4,997.23
6	6.40%	64.6	101.5	522.702	976.244	1.00	976.24	9,567.19	1.905	5,022.15
7	6.90%	64.3	100.9	514.142	983.701	1.00	983.70	9,640.27	2.057	4,685.66
8	6.90%	64.3	101.4	519.250	894.217	1.00	894.22	8,763.32	2.007	4,367.25
9	7.40%	64.0	101.8	520.913	901.674	1.00	901.67	8,836.40	2.388	3,700.96
10	7.40%	64.2	101.7	521.515	871.846	1.00	871.85	8,544.09	2.286	3,737.57
11	7.90%	63.7	101.9	519.491	812.190	1.00	812.19	7,959.46	2.413	3,298.57
12	7.90%	63.5	101.1	509.760	797.276	1.00	797.28	7,813.30	2.362	3,307.64
13	8.40%	63.4	101.1	508.957	700.335	1.04	728.35	7,137.81	2.819	2,531.68
14	8.40%	63.7	100.5	505.314	685.421	1.04	712.84	6,985.81	2.743	2,546.59

Briquetas Húmedas falladas		Resultados gravedad bulk				
N.	% emulsion	Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.40%	1145.35	610.20	1158.26	2.090	2.115
2	5.40%	1162.32	624.80	1167.99	2.140	2.115
3	5.90%	1162.55	659.63	1174.35	2.259	2.284
4	5.90%	1157.87	667.30	1168.85	2.309	2.284
5	6.40%	1155.81	685.76	1164.29	2.415	2.435
6	6.40%	1160.15	698.78	1171.28	2.455	2.435
7	6.90%	1166.24	670.01	1173.16	2.318	2.338
8	6.90%	1163.43	686.46	1179.88	2.358	2.338
9	7.40%	1169.86	671.73	1176.36	2.318	2.348
10	7.40%	1149.51	676.06	1159.4	2.378	2.348
11	7.90%	1147.51	616.25	1155.16	2.129	2.149
12	7.90%	1176.19	631.40	1173.59	2.169	2.149
13	8.40%	1142.04	638.93	1165.13	2.170	2.195
14	8.40%	1145.65	646.51	1162.5	2.220	2.195

Anexo AAA Calculo del optimo contenido de emulsion asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 6

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

04.03" PERDIDA DE ESTABILIDAD

% emulsion	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)	Pérdida de estabilidad
5.40%	15,340.40	10,447.30	31.90%
5.40%	15,705.79	10,736.45	31.64%
5.40%	15,523.09	10,591.87	31.77%
5.90%	14,433.98	9,932.58	31.19%
5.90%	14,024.98	9,640.27	31.26%
5.90%	14,229.48	9,786.42	31.22%
6.40%	12,819.19	9,265.86	27.72%
6.40%	13,221.12	9,567.19	27.64%
6.40%	13,020.15	9,416.52	27.68%
6.90%	12,913.94	9,640.27	25.35%
6.90%	11,745.17	8,763.32	25.39%
6.90%	12,329.56	9,201.80	25.37%
7.40%	11,303.77	8,836.40	23.19%
7.40%	11,028.76	8,544.09	22.53%
7.40%	11,266.27	8,690.25	22.86%
7.90%	10,590.29	7,959.46	24.84%
7.90%	10,371.05	7,813.30	24.66%
7.90%	10,480.67	7,886.38	24.75%
8.40%	9,721.87	7,137.81	26.58%
8.40%	9,797.87	6,985.81	28.70%
8.40%	9,759.87	7,061.81	27.64%

% emulsion	Flujo Seco	Flujo Húmedo
5.40%	1.04	1.60
5.40%	1.09	1.65
5.40%	1.07	1.63
5.90%	1.37	1.83
5.90%	1.47	1.96
5.90%	1.42	1.89
6.40%	1.55	1.85
6.40%	1.52	1.91
6.40%	1.54	1.88
6.90%	1.91	2.06
6.90%	1.80	2.01
6.90%	1.85	2.03
7.40%	2.51	2.39
7.40%	2.44	2.29
7.40%	2.48	2.34
7.90%	2.49	2.41
7.90%	2.44	2.36
7.90%	2.46	2.39
8.40%	2.67	2.82
8.40%	2.62	2.74
8.40%	2.64	2.78

05" PORCENTAJE EN VOLUMEN DE VACÍOS CON AIRE (VTM)

Gravedad específica Rice - EMULSION 5.40%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2148.34
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1165.76
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3820.42
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.5371

Gravedad específica Rice - EMULSION 5.90%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2151.62
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1169.04
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3808.57
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.4632

Gravedad específica Rice - EMULSION 6.40%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2154.40
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1171.82
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3821.72
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.5242

Gravedad específica Rice - EMULSION 6.90%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2157.31
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1174.73
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3804.06
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.4231

Gravedad específica Rice - EMULSION 7.40%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2160.29
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1177.71
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3836.06
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3839

Gravedad específica Rice - EMULSION 7.90%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2154.43
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1171.87
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3830.51
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.5727

Gravedad específica Rice - EMULSION 8.40%	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2153.97
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1171.39
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Despues de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3824.98
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.5435

% Emulsion	5.40%	5.90%	6.40%	6.90%	7.40%	7.90%	8.40%
Masa del Picnometro	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2,148.34	2,151.62	2,154.40	2,157.31	2,160.29	2,154.45	2,153.97
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1,165.76	1,169.04	1,171.82	1,174.73	1,177.71	1,171.87	1,171.39
Masa del picnometro con agua (B)	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14
Despues de la bomba de vacios							
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla	3,820.42	3,808.57	3,821.72	3,804.06	3,836.06	3,830.51	3,824.98
Gravedad específica teorica maxima de la n	2.537	2.463	2.524	2.423	2.584	2.573	2.543

Anexo BBB Calculo del optimo contenido de emulsion asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 7

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMIO

% de emulsion	Gravidad especifica teorica maxima de la mezcla
5.40%	2.54
5.90%	2.46
6.40%	2.52
6.90%	2.42
7.40%	2.38
7.90%	2.37
8.40%	2.54
PROMEDIO	2.52108

% de emulsion	Asfalto residual (Ar)	Gravidad especifica bulk promedio	Gravidad especifica maxima Gmm	Porcentaje en volumen de vacios con aire
5.40%	3.08%	2.173	2.521	13.79%
5.90%	3.36%	2.287	2.521	9.29%
6.40%	3.65%	2.365	2.521	6.18%
6.90%	3.93%	2.306	2.521	8.51%
7.40%	4.22%	2.274	2.521	9.80%
7.90%	4.50%	2.167	2.521	14.04%
8.40%	4.79%	2.175	2.521	13.72%

06" DIAGRAMA DE FASES

Gsb 2.59 Gravidad especifica de los agregados
Gb 1.057 Gravidad especifica de la emulsion asfáltica

06.01" Gravidad especifica de los agregados

AGREGADO GRUESO M1	M2	M3	
Peso del material sat. Y	1,244.72	1,178.80	1,206.63
Peso al aire del material	1,203.81	1,156.13	1,174.05
Peso del material sumer.	790.390	739.120	751.290
Gravidad Especifica	2.650	2.629	2.578
PROMEDIO	2.619		

AGREGADO FINO M1	M2	M3	
Masa de la muestra seca	294.12	294.73	295.34
Masa del picnometro lle	675.8	675.8	675.8
Masa del picnometro lle	864.69	864.02	863.35
Masa de la muestra sss	305.1	305.08	305.12
Gravidad Especifica	2.521	2.522	2.512
PROMEDIO	2.522		

De la curva granulometrica

FRACCION GRUESA

% Grava = 71.10%
 % Arena = 28.90%
 Total = 100.00%

Gsb	2.59
-----	------

Mezcla	1	2	3	4	5	6	7
%Peso Asfalto residual	3.08%	3.36%	3.65%	3.93%	4.22%	4.50%	4.79%
%Peso Agregados	96.92%	96.64%	96.35%	96.07%	95.78%	95.50%	95.21%
Gmb	2.173	2.287	2.365	2.306	2.274	2.167	2.175
Gmm	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521	2.521
Gmt	2.48	2.47	2.46	2.45	2.44	2.43	2.42

CALCULO RELACIONES VOLUMETRICAS

Va	6.345	4.064	2.615	3.661	4.308	6.478	6.908
Vv	13.79%	9.29%	6.18%	8.51%	9.80%	14.04%	13.72%
Vba	0.665	0.824	0.984	1.143	1.303	1.463	1.622
Vba	1.44%	1.88%	2.33%	2.64%	2.96%	3.17%	3.33%
Vbe	2.24733	2.35736	2.46738	2.57741	2.68744	2.79747	2.90750
Vbe	4.88%	5.39%	5.84%	5.94%	6.11%	6.06%	6.32%
Vb	2.912	3.182	3.451	3.721	3.991	4.260	4.530
Vb	6.33%	7.28%	8.16%	8.58%	9.07%	9.23%	9.65%
Vs	81.32%	85.32%	87.98%	85.54%	84.09%	79.90%	79.95%
Vt	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Vmm	86.21%	90.71%	93.82%	91.49%	90.20%	85.96%	86.28%
Vmt	87.65%	92.59%	96.14%	94.12%	93.17%	89.13%	89.81%
VTM	13.79%	9.29%	6.18%	8.51%	9.80%	14.04%	13.72%
VAM	18.63%	14.68%	12.02%	14.46%	15.91%	20.10%	20.05%
VFA	66.02%	72.32%	78.25%	74.47%	72.92%	67.77%	68.53%

CALCULO RELACIONES DE MASA

%Wba	0.860%	0.833%	1.021%	1.190%	1.360%	1.532%	1.704%
%Wbe	2.4133%	2.5387%	2.6641%	2.7895%	2.9149%	3.0403%	3.1657%
%Wb	3.099%	3.392%	3.685%	3.980%	4.275%	4.572%	4.870%
%Wb	3.078%	3.363%	3.648%	3.933%	4.218%	4.503%	4.788%

Anexo CCC Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 8

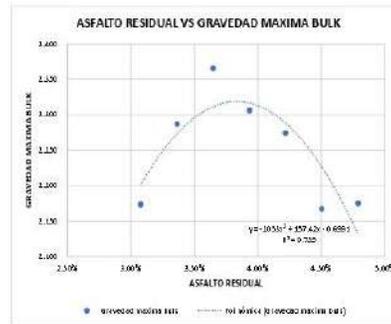
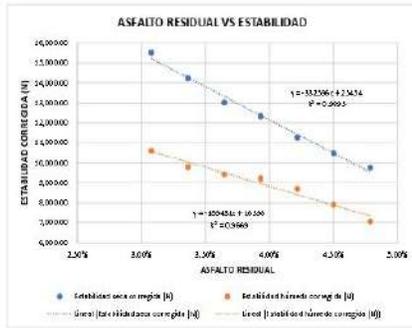
CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

07" GRAFICAS PARA EL DISEÑO

Asfalto residual (Ar)	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)
3.08%	15.523.09	10.591.87
3.36%	14.229.48	9.786.42
3.65%	13.020.15	9.416.52
3.93%	12.329.56	9.201.80
4.22%	11.266.27	8.690.25
4.50%	10.480.67	7.896.38
4.79%	9.759.87	7.051.81

Asfalto residual (Ar)	Gravedad maxima bulk
3.08%	2.173
3.36%	2.287
3.65%	2.365
3.93%	2.305
4.22%	2.274
4.50%	2.167
4.79%	2.175



Estabilidad seca	-332596	25454
Estabilidad húmeda	-189431	16398

Gravedad maxima bulk	-2053	157.42	-0.6991
	2.3170		

Asfalto residual (Ar)	Pérdida de estabilidad
3.08%	31.77%
3.36%	31.22%
3.65%	27.68%
3.93%	25.37%
4.22%	22.86%
4.50%	24.75%
4.79%	27.64%

Asfalto residual (Ar)	Flujo seco (mm)	Flujo húmedo (mm)
3.08%	1.067	1.626
3.36%	1.422	1.892
3.65%	1.537	1.880
3.93%	1.854	2.032
4.22%	2.477	2.337
4.50%	2.464	2.388
4.79%	2.642	2.781



Pérdida de estabilidad	644.31	-54.46	1.3976
	26.167%		

Flujo seco	61.59	-0.2887
	2.018294305	
Flujo húmedo	97.08	-1.895
	1.7415342	

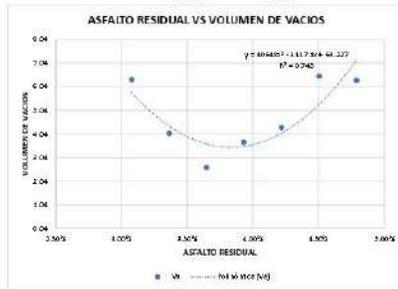
Anexo DDD Calculo del optimo contenido de emulsion asfáltica – Marshall Modificado Chumo parte 9

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA
 UBICACION : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHUMO

Asfalto residual (Ar)	Va
3.08%	6.35
3.36%	4.06
3.65%	2.62
3.93%	3.69
4.22%	4.31
4.50%	6.48
4.79%	6.31

Asfalto residual (Ar)	% de vacios llenos de
3.08%	66.02%
3.36%	72.32%
3.65%	78.25%
3.93%	74.47%
4.22%	72.92%
4.50%	67.77%
4.79%	68.53%

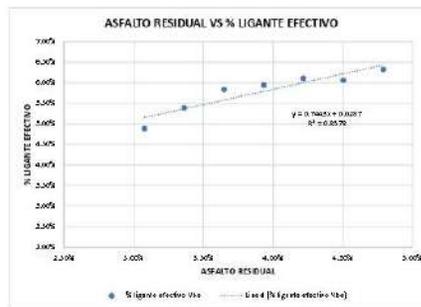


Va	40648	-1117.1	63.227
3.5	40648	-1117.1	59.727

VFA	15.06	-189.24	780.49	-983.12
3.5	15.06	-189.24	780.49	-983.12

x1 3.73%

Asfalto residual (Ar)	% ligante efectivo Vbe
3.08%	4.88%
3.36%	5.39%
3.65%	5.84%
3.93%	5.94%
4.22%	6.11%
4.50%	6.06%
4.79%	6.32%



Vbe	0.7442	0.0287
5.66%	0.7442 <td>0.0287</td>	0.0287

Tabla VII.2. Especificaciones Marshall de diseño.

Especificaciones del Método Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Mediano		Tráfico Pesado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Nº de golpes	30		30		45	
Estabilidad (Densidad Libre)	3350	250	>358	1700	3006	1000
Fluencia 0.25 mm (P61.7)	8	11	8	10	8	14
% de tránsito	3	5	3	5	3	5

Fuente: The Asphalt Institute's Manual (6th Ed.)

REQUISITOS	TRAFICO LIVIANO	TRAFICO MEDIO	TRAFICO PESADO	DISÑO
Estabilidad mínim	3336	5338	8006	9,302.329
Gravedad maxim	2.40 - 2.55	2.45 - 2.60	2.50 - 2.65	2.317
	2.20 - 2.30	2.25 - 2.35	2.30 - 2.40	
Perdida de estabi	2.5%	20% - 25%	15 - 20%	26.167%
Flujo	2-4.5	2-4	2 - 3.5	2.018
VFA	78-80%	78-80%	75-80%	76.710
	65%	65-70%	70-75%	
Ligante efectivo	4-5%	5-6%	5.5-7%	5.68%

CA % =	57.00%
% EMULSION ASFALTICA	Asfalto residual % Ar
	6.57% 3.746%

Anexo EEE Calculo del optimo contenido de emulsion asfáltica – Marshall Modificado Chihuahua parte 1

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
TESIS : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROYECTANCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
UBICACION : DISTRITO DE SUCAM - CANCHIS - CUSCO
CANTERA : **CHIHUAHO**

01° CALCULO DEL PORCENTAJE DE EMULSION (MARSHALL MODIFICADO)

Ecuación del Manual MS-14 del Instituto del Asfalto, apéndice F (ecuación 1)

$$E = (0.05 A + 0.1 B + 0.5 C) + 0.7$$

Donde:

E = Porcentaje en peso de la emulsión asfáltica

A = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N°8

B = Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz N°8 y queda retenido en el tamiz N°200

C = Porcentaje de agregado que pasa por el tamiz N°200

A = 71.93%
 B = 11.76%
 C = 9.31%

% E = 7.10%

01.01° CALCULO DE CONTENIDO DE HUMEDAD PARA ENSAYO DE RECUBRIMIENTO

DESCRIPCION	MUESTRA 01	MUESTRA 02
Peso de Capsula (gr)	57.7	55.63
Peso de Capsula + Muestra Humeda (gr)	214.67	316.85
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	212.83	313.95
Peso del Agua (gr)	1.84	2.9
Peso de la Muestra Seca (gr)	155.13	258.32
CONTENIDO DE HUMEDAD	1.19%	1.12%
PROMEDIO	1.15%	

01° ENSAYO DE COBERTURA

01.01° CONTENIDO ÓPTIMO DE RECUBRIMIENTO DE LA MEZCLA

Ficha técnica de la emulsion Asfáltica

Contenido de asfalto en la emulsión, C, 57%
 Contenido de agua en la emulsión, CW 43%

Peso del agregado = 500 gr
 Peso de la Emulsion = 35.50 gr

Peso de la muestra Pt (g)	500	CA %	57%
---------------------------	-----	------	-----

Contenido de humedad, Wem (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsion (g), Pe	Peso agregado Ps (g)	Peso de la mezcla	Wt	1/2 HORA	1 HORA	1 1/2 HORA	2 HORAS	% Estimado de porculos cubiertas
5%	0.79%	3.96	35.21	460.81	500.00	alc		70.00%	70.00%	70.00%	70%
6%	1.79%	8.96	34.16	456.17	500.00	alc		90.00%	95.00%	95.00%	95%
7%	2.79%	13.96	34.51	451.53	500.00	alc		100.00%	100.00%	100.00%	100%
8%	3.79%	18.96	34.15	446.88	500.00	alc		100.00%	100.00%	100.00%	100%
9%	4.79%	23.96	33.80	442.24	500.00	alc		100.00%	100.00%	100.00%	100%

Anexo FFF Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 2

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMERANO, MAX JUNIOR
 TESIS : 'EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND'
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUAN - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

03° FABRICACION DE BRIQUETAS DE PRUEBA (MARSHALL MODIFICADO)

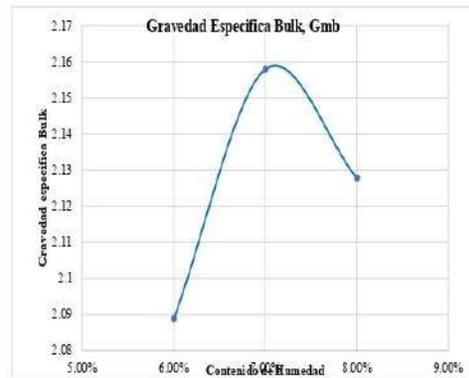
Peso de la muestra Pt (g)	1200	CA %	57%
---------------------------	------	------	-----

Contenido de humedad, Wem (%)	Agua a adicionar, Waa (%)	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso de emulsión (g), Pe	Peso agregado: Ps (g)	Peso de la mezcla	% Agua perdida, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%), Wcomp
6.00%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
6.00%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
6.00%	1.79%	21.51	83.67	1094.82	1200.00	1.00%	12.00	5.00%
7.00%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00	1.00%	12.00	6.00%
7.00%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00	1.00%	12.00	6.00%
7.00%	2.79%	33.51	82.82	1083.67	1200.00	1.00%	12.00	6.00%
8.00%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00	1.00%	12.00	7.00%
8.00%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00	1.00%	12.00	7.00%
8.00%	3.79%	45.51	81.97	1072.52	1200.00	1.00%	12.00	7.00%

03.01° GRAVEDAD BULK

Contenido de humedad, Wem (%)	especimen seco al aire	especimen en agua	especimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk, Gmb media
6.00%	1184.09	634.81	1201.36	2.090	
6.00%	1188.39	631.1	1200.59	2.087	2.089
6.00%	1191.23	635.44	1205.68	2.089	
7.00%	1194.65	652.43	1208.05	2.150	
7.00%	1188.34	654.83	1200.94	2.176	2.158
7.00%	1192.13	651.68	1206.78	2.148	
8.00%	1190.63	643.54	1201.18	2.135	
8.00%	1189.51	647.36	1204.08	2.137	2.128
8.00%	1186.53	637.52	1199.45	2.112	

Gmb máxima: 2.16
 Humedad óptima de la mezcla: 7%



04° MEZCLA ASFALTICA (MÉTODO MARSHALL MODIFICADO)

04.01° VARIACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO RESIDUAL

Humedad de los agregados =	11.5%	Peso de la muestra	1200	CA % =	57%	Humedad óptima de compactación la mezcla (%), Wop	6.00%
----------------------------	-------	--------------------	------	--------	-----	---	-------

% de emulsión, E	Peso de emulsión (g), Pe	Agua en la emulsión %, Aae	Asfalto residual %, Ar	Agua a agregar %, Waa	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso del agregado combinado (g)	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%)	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar
5.60%	656.19%	2.41%	3.19%	0.024	29.252	1105.19	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
6.10%	7157.30%	2.62%	3.48%	0.022	26.672	1101.76	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
6.60%	7761.00%	2.84%	3.76%	0.020	24.092	1096.30	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
7.10%	8367.27%	3.05%	4.03%	0.018	21.512	1094.82	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
7.60%	8976.12%	3.27%	4.33%	0.016	18.932	1091.31	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
8.10%	9587.55%	3.48%	4.62%	0.014	16.352	1087.77	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
8.60%	10201.56%	3.70%	4.90%	0.011	13.772	1084.21	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00

% de emulsión, E	Agua perdida %, Wperd	Agua perdida (g), Pperd	Humedad de compactación (%)	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar
5.60%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
6.10%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
6.60%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
7.10%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
7.60%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
8.10%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00
8.60%	1.00%	12.00	6.00%	1200.00	1188.00

Anexo GGG Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 3

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHES ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUAN - CANCHES - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

DATOS REALES El peso no es exacto, por eso debe variar las proporciones del peso del material combinado

Humedad de los agregados = 11.5% Peso de la muestra 1200 CA % = 57%

% de emulsión, E	Peso de emulsión (g), Pe	Peso Agua a agregar (g), Paa	Peso del agregado combinado (g), Pae	Peso del mat. Combinado	Peso final antes de compactar
5.60%	58.33	32.40	1109.36	1200.09	1188.07
	58.12	32.98	1109.92	1201.02	1189.22
	58.75	32.29	1109.10	1200.14	1188.62
	58.49	32.94	1110.26	1201.69	1187.56
6.10%	64.51	29.85	1105.90	1200.26	1187.94
	64.28	29.97	1105.93	1200.18	1188.09
	64.55	29.37	1106.06	1200.48	1188.16
	64.42	30.06	1105.95	1200.43	1188.24
6.60%	70.42	27.30	1102.47	1200.19	1187.83
	70.86	27.79	1103.64	1201.39	1187.98
	70.32	27.16	1102.19	1199.67	1188.05
	70.46	26.82	1102.7	1199.98	1187.61
7.10%	76.40	24.71	1099.07	1200.18	1187.69
	76.64	24.83	1099.27	1200.74	1187.71
	76.47	24.90	1099.11	1200.48	1187.93
	76.25	24.51	1098.90	1199.66	1187.47
7.60%	82.52	22.10	1095.64	1200.26	1188.17
	82.66	22.15	1095.93	1200.74	1188.43
	82.70	22.33	1095.79	1200.82	1188.27
	82.49	21.92	1095.58	1199.99	1187.90
8.10%	88.49	19.52	1092.20	1200.21	1188.140
	88.62	19.64	1092.47	1200.73	1187.970
	88.52	19.71	1092.40	1200.63	1188.380
	88.30	19.43	1091.95	1199.68	1188.230
8.60%	94.71	16.90	1088.52	1200.13	1188.090
	94.91	17.06	1088.62	1200.59	1188.210
	94.88	16.91	1088.79	1200.58	1188.240
	94.68	16.68	1088.46	1199.82	1187.930

TABLA N° 1

SISTEMA ANALÓGICO "A" DIVISIONES	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)			PROMEDIO "B" kgf
	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	
50	400.02	401.03	400.51	400.52
100	781.54	781.54	781.03	781.37
150	1160.03	1161.03	1161.55	1160.87
200	1535.51	1535.02	1535.54	1535.69
250	1905.52	1905.03	1905.53	1905.03
300	2271.03	2272.52	2271.61	2271.69
350	2645.55	2648.05	2645.05	2645.55
400	3014.00	3014.05	3014.55	3014.20

NOTAS SOBRE LA GALIBRACIÓN

Coefficiente Correlación: $R^2 = 1.0000$

Ecuación de ajuste para valores en kgf: $y = 7.4570x + 36.6817$

Donde: x: Lectura del dial
y: Fuerza promedio (kgf)

Ecuación de ajuste para valores en lbf: $y = 16.4298x + 80.8250$

Donde: x: Lectura del dial
y: Fuerza promedio (lbf)

04.02° CALCULO DE LA ESTABILIDAD USANDO EL APARATO MARSHALL

ECUACION >>>> $Y = 7.457 X + 36.6817$
 2" por 1 minuto Velocidad de ensayo

ESTABILIDAD SECA				
% EMULSION	LECTURA DEL DIAL	ESTABILIDAD SECA Kg-f	FLUJO LECTURA DEL DIAL	FLUJO (mm)
5.00%	190	1431.4917	46	1.1894
5.60%	183	1401.2927	49	1.2446
6.10%	171	1311.8087	59	1.4866
6.10%	175	1341.6367	63	1.6002
6.60%	156	1199.0537	70	1.778
6.60%	161	1237.2387	73	1.8542
7.10%	153	1177.5827	78	1.9812
7.10%	149	1147.7547	75	1.905
7.60%	138	1065.7277	90	2.286
7.60%	131.5	1017.2572	85	2.139
8.10%	128	991.1577	103	2.6162
8.10%	123	953.8727	105	2.687
8.60%	107	834.5607	107	2.7178
8.60%	110	856.9317	112	2.8448

ESTABILIDAD INMERSION			
LECTURA DEL DIAL	ESTABILIDAD EN INMERSION Kg-f	FLUJO LECTURA DEL DIAL	FLUJO (mm)
146	1125.3837	70	1.778
148	1149.2977	72	1.8388
140	1066.6417	70	2.0666
133	1021.4427	83	2.1081
135	1043.3567	82	2.0828
140	1066.6417	80	2.092
124	981.3297	86	2.1844
126	991.5017	84	2.1326
112	871.6457	98	2.4892
101.5	793.5472	92	2.3368
105	819.6467	101	2.5654
100	782.5417	103	2.6182
83	655.9827	111	2.8194
88	692.8777	115	2.921

Anexo HHH Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 4

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDOBI GUTERREZ, RUDYARD MATHEW
 VERA ZAMBRANO, MAKJUNOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SUCUAN - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

ESTABILIDAD, FLUJO Y GS BRIQUETAS SECAS										
Briquetas secas fallidas										
N.	% emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	Estabilidad seca (Kg)	Factor de corrección por espesor	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilidad seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad/flujo (N/mm)
1	5.0%	64.1	101.1	514.577	1453.492	1.00	1453.49	14,244.22	1.183	12,191.22
2	5.0%	65.3	100.3	515.552	1401.293	1.00	1401.29	13,732.67	1.245	11,033.00
3	6.1%	66.8	101	535.191	1311.809	0.96	1259.34	12,341.50	1.499	8,335.35
4	6.1%	64.5	100.6	512.879	1341.637	1.00	1341.64	13,148.04	1.690	8,216.59
5	6.0%	63.7	101.6	516.486	1199.954	1.00	1199.95	11,759.55	1.778	6,613.92
6	6.0%	65.5	100.7	521.265	1237.239	1.00	1237.24	12,124.94	1.854	6,539.18
7	7.1%	63.9	101.85	520.810	1177.583	1.00	1177.58	11,540.31	1.981	5,824.91
8	7.1%	66.5	101	532.788	1147.755	0.96	1101.84	10,798.08	1.995	5,668.28
9	7.0%	63.4	101.1	508.957	1065.723	1.04	1108.36	10,861.90	2.216	4,751.49
10	7.0%	64.2	101.9	523.568	1017.257	0.96	976.57	9,570.86	2.339	4,432.77
11	8.1%	62.7	101	502.343	991.153	1.04	1030.80	10,101.88	2.616	3,851.28
12	8.1%	63.6	100.9	508.545	953.873	1.04	992.03	9,721.87	2.667	3,645.35
13	8.0%	63.4	100.35	501.434	834.561	1.04	867.94	8,505.84	2.718	3,129.68
14	8.0%	62.9	101.35	505.443	858.932	1.04	891.21	8,733.85	2.845	3,070.11

N.	% emulsión	Resultados gravedad bulc				Gravedad específica Bulk, Camb	Gravedad específica Bulk promedio
		Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Camb		
1	5.0%	1147.43	656.57	1159.34	2.230	2.310	
2	5.0%	1167.92	680.71	1179.35	2.240	2.310	
3	6.1%	1148.06	651.47	1161.47	2.255	2.267	
4	6.1%	1141.95	656.49	1157.29	2.230	2.267	
5	6.0%	1164.04	652.85	1184.52	2.189	2.209	
6	6.0%	1166.95	655.73	1179.29	2.229	2.209	
7	7.1%	1167.54	650.88	1178.91	2.211	2.232	
8	7.1%	1167.97	668.94	1185.48	2.252	2.232	
9	7.0%	1144.97	640.69	1159.32	2.208	2.188	
10	7.0%	1154.09	638.80	1171.21	2.168	2.188	
11	8.1%	1176.95	667.19	1191.5	2.245	2.215	
12	8.1%	1167.17	650.13	1184.41	2.186	2.215	
13	8.0%	1169.91	646.25	1180.77	2.189	2.175	
14	8.0%	1170.02	641.59	1182.88	2.161	2.175	

TABLA 1. Factores de Estabilidad de Correlación *

Volumen del espécimen, cm ³	Espesor del espécimen *		Relación de la correlación
	mm	Pulg.	
200 - 213	25.6	1.00 (1)	5.56
214 - 225	27	1.06 (1 3/16)	5
226 - 237	28.6	1.12 (1 1/8)	4.55
238 - 250	30.2	1.19 (1 3/16)	4.17
251 - 264	31.6	1.25 (1 1/4)	3.85
265 - 276	33.5	1.31 (1 5/16)	3.57
277 - 289	34.5	1.36 (1 3/8)	3.33
290 - 301	36.5	1.43 (1 7/16)	3.07
302 - 316	38.1	1.50 (1 1/2)	2.78
317 - 328	39.7	1.56 (1 9/16)	2.5
329 - 340	41.2	1.62 (1 5/8)	2.27
341 - 353	42.5	1.69 (1 11/16)	2.08
354 - 367	44.4	1.75 (1 3/4)	1.92
368 - 379	46	1.81 (1 13/16)	1.79
380 - 392	47.6	1.88 (1 7/8)	1.67
393 - 405	49.2	1.94 (1 15/16)	1.56
406 - 420	50.8	2.00 (2)	1.47
421 - 431	52.5	2.06 (1 3/8)	1.39
432 - 442	54	2.12 (2 1/8)	1.32
443 - 456	55.6	2.19 (2 1/4)	1.25
457 - 470	57.2	2.25 (2 1/4)	1.19
471 - 483	58.7	2.31 (2 5/16)	1.14
484 - 495	60.2	2.38 (2 3/8)	1.09
496 - 508	61.8	2.44 (2 7/16)	1.04
509 - 522	63.5	2.50 (2 1/2)	1
523 - 535	65.1	2.56 (2 5/8)	0.96
536 - 546	66.7	2.62 (2 3/8)	0.93
547 - 559	68.2	2.69 (2 11/16)	0.89
560 - 573	69.8	2.75 (2 3/4)	0.86
574 - 585	71.4	2.81 (2 13/16)	0.82
586 - 598	73	2.88 (2 7/8)	0.81
599 - 610	74.6	2.94 (2 15/16)	0.78
611 - 626	76.2	3.00 (3)	0.76

Anexo III *Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 5*

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORLAND"
 UBICACIÓN : DESIRITO DE SICUAN - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

ESTABILIDAD, FLUJO Y GS BRIQUETAS HUMEDAS										
Briquetas Húmedas falladas										
N.	% emulsión	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Volumen (cm ³)	Estabilidad en inmersión (Kg)	Factor de corrección por espesor	Estabilidad seca corregida (Kg)	Estabilidad seca corregida (N)	Flujo (mm)	Relación estabilidad a flujo (N/mm)
1	5.60%	65.9	101.8	536.378	1125.364	0.93	1046.61	10,256.75	1.778	5,768.70
2	5.60%	67.7	100.4	535.977	1140.296	0.96	1094.69	10,727.92	1.829	5,866.10
3	6.10%	67.9	100.8	541.812	1080.642	0.93	1005.00	9,145.97	1.007	4,968.29
4	6.10%	67.2	101.1	539.463	1028.443	0.93	956.45	9,373.23	1.108	4,446.08
5	6.60%	65.9	101.8	536.378	1043.357	0.93	970.32	9,509.15	1.083	4,565.56
6	6.60%	68.2	101.75	554.553	1080.642	0.89	961.77	9,425.36	1.032	4,638.46
7	7.10%	69.6	101.4	513.593	961.330	1.00	961.33	9,421.09	1.184	4,512.87
8	7.10%	65.1	101.8	529.866	931.502	0.96	894.24	8,763.57	1.134	4,167.41
9	7.60%	62.0	100.6	492.803	871.846	1.09	950.31	9,313.06	1.489	3,741.39
10	7.60%	61.7	101.5	499.237	793.547	1.04	825.29	8,067.83	1.337	3,461.07
11	8.10%	61.2	101.9	499.162	819.647	1.04	852.43	8,353.84	1.565	3,256.35
12	8.10%	62.9	101.2	505.943	782.362	1.04	813.66	7,973.83	1.616	3,647.87
13	8.60%	62.3	100.6	495.192	655.593	1.04	681.62	6,661.80	1.819	2,369.94
14	8.60%	61.6	101.9	497.471	692.878	1.04	720.58	7,061.81	1.921	2,417.60

N.	% emulsión	Resultados gravedad bulk				
		Masa del espécimen seco al aire	Masa del espécimen en agua	Masa del espécimen en condición SSS	Gravedad específica Bulk, Gmb	Gravedad específica Bulk promedio
1	5.60%	1150.73	643.44	1165.36	2.205	2.188
2	5.60%	1130.64	628.35	1149.19	2.171	
3	6.10%	1170.64	670.35	1185.24	2.274	2.254
4	6.10%	1173.47	661.46	1186.84	2.234	
5	6.60%	1148.31	678.28	1159.28	2.367	2.335
6	6.60%	1154.65	664.82	1170.36	2.283	
7	7.10%	1145.40	686.01	1163.69	2.398	2.308
8	7.10%	1164.60	659.54	1184.65	2.218	
9	7.60%	1133.17	671.44	1151.54	2.360	2.298
10	7.60%	1159.12	654.41	1172.73	2.236	
11	8.10%	1167.47	659.00	1177.88	2.250	2.179
12	8.10%	1150.11	614.73	1160.24	2.308	
13	8.60%	1133.07	655.40	1153.24	2.289	2.220
14	8.60%	1160.57	640.24	1179.71	2.151	

Anexo JJJ Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 6

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDY AND MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO POR ILAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUAN - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

04.93 PERDIDA DE ESTABILIDAD

% emulsión	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad basada corregida (S)	Pérdida de estabilidad	% emulsión	Flujo Seco	Flujo Humedo
5.60%	14,244.22	16,256.75	27.99%	5.60%	1.17	1.78
5.60%	13,732.67	16,727.92	21.88%	5.60%	1.24	1.83
5.60%	13,983.44	16,492.33	24.94%	5.60%	1.21	1.89
6.10%	12,341.50	9,848.97	20.20%	6.10%	1.50	2.01
6.10%	13,143.04	9,373.23	23.71%	6.10%	1.60	2.11
6.10%	12,744.77	9,611.10	24.45%	6.10%	1.55	2.06
6.60%	11,759.55	8,509.15	19.14%	6.60%	1.73	2.08
6.60%	12,114.04	8,425.36	23.26%	6.60%	1.85	2.03
6.60%	11,942.24	8,467.25	20.79%	6.60%	1.82	2.06
7.10%	11,540.31	8,421.03	13.26%	7.10%	1.98	2.18
7.10%	10,793.08	8,765.57	13.54%	7.10%	1.91	2.13
7.10%	11,169.10	8,002.30	18.60%	7.10%	1.94	2.16
7.60%	10,861.90	8,313.06	14.26%	7.60%	2.29	2.40
7.60%	9,579.36	8,087.83	15.49%	7.60%	2.16	2.34
7.60%	10,216.13	8,700.44	14.89%	7.60%	2.22	2.41
8.10%	10,101.88	8,359.84	17.30%	8.10%	2.62	2.57
8.10%	9,711.87	7,973.83	17.68%	8.10%	2.67	2.62
8.10%	9,921.87	8,163.83	17.54%	8.10%	2.64	2.59
8.60%	8,065.84	6,881.10	21.44%	8.60%	2.72	2.82
8.60%	8,733.85	7,001.51	19.14%	8.60%	2.84	2.92
8.60%	8,619.85	6,871.81	20.79%	8.60%	2.73	2.87

06° PORCENTAJE EN VOLUMEN DE VACÍOS CON AIRE (VTM)

Gravedad específica Rice - EMULSION 5.60 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2163.84
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1161.26
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3803.65
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.4022

Gravedad específica Rice - EMULSION 6.10 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2143.32
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1160.74
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3771.46
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3957

Gravedad específica Rice - EMULSION 6.60 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2150.06
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1167.48
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3702.74
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3391

Gravedad específica Rice - EMULSION 7.10 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2162.47
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1179.89
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3786.57
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3251

Gravedad específica Rice - EMULSION 7.60 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2146.30
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1163.72
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3803.21
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.4517

Gravedad específica Rice - EMULSION 8.10 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2137.89
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1155.31
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3707.99
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3053

Gravedad específica Rice - EMULSION 8.60 %	
Masa del Picnometro	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2144.12
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1161.54
Masa del picnometro con agua (B)	3114.14
Después de la bomba de vacios	
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3785.10
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.3677

% Emulsión	5.60%	6.10%	6.60%	7.10%	7.60%	8.10%	8.60%
Masa del Picnometro	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58	982.58
Masa del Picnometro + Mezcla	2,163.84	2,143.32	2,150.06	2,162.47	2,146.30	2,137.89	2,144.12
Masa en el aire de la muestra seca (A)	1,161.26	1,160.74	1,167.48	1,179.89	1,163.72	1,155.31	1,161.54
Masa del picnometro con agua (B)	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14	3,114.14
Después de la bomba de vacios							
Masa del picnometro lleno de agua + mezcla (C)	3,803.65	3,771.46	3,792.74	3,786.57	3,803.21	3,767.96	3,785.10
Gravedad específica teorica maxima de la mezcla	2.402	2.306	2.388	2.325	2.452	2.304	2.368

Anexo KKK Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 7

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAN JUNIOR
 TESIS : 'EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND'
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICALI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

% de emulsion	Gravedad específica teorica maxima de la mezcla
5.50%	2.46
6.10%	2.31
6.50%	2.39
7.10%	2.33
7.50%	2.45
8.10%	2.30
8.50%	2.37
PROMEDIO	2.36345

% de emulsion	Asfalto residual (Ar)	Gravedad específica bulk promedio Gmb	Gravedad específica maxima Gmm	Porcentaje en volumen de vacios con aire VTM
5.50%	3.19%	2.346	2.363	4.53%
6.10%	3.40%	2.261	2.363	4.38%
6.50%	3.76%	2.272	2.363	3.88%
7.10%	4.05%	2.270	2.363	3.98%
7.50%	4.33%	2.243	2.363	5.19%
8.10%	4.62%	2.197	2.363	7.03%
8.50%	4.90%	2.158	2.363	7.02%

66° DIAGRAMA DE FASES

Gsb = 2.38 Gravedad específica de los agregados
Gs = 1.087 Gravedad específica de la emulsion asfáltica

66.01° Gravedad específica de los agregados

AGREGADO GRUESO	M1	M2	M3
Peso del material seco y sup. seco	1,219.56	1,221.08	1,236.19
Peso al aire del material seco al horno	1,211.12	1,194.56	1,211.83
Peso del material sumergido	793.520	746.360	745.840
Gravedad Especifica	2.522	2.527	2.479
PROMEDIO	2.507		

AGREGADO FINO	M1	M2	M3
Masa de la muestra seca al horno	293.9	284.59	294.52
Masa del picnometro llenado con agua	675.8	675.8	675.8
Masa del picnometro llenado con la muestra	841.76	842.1	842.83
Masa de la muestra ssa	306.06	306.1	300.12
Gravedad Especifica	1.192	1.202	1.215
PROMEDIO	1.203		

De la curva granulometrica

FRACCION GRUESA
 % Grava = 62.15%
 % Arena = 37.85%
 Total = 100.00%

Gsb = 2.38

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
%Peso Asfalto residual	3.19%	3.48%	3.76%	4.05%	4.33%	4.62%	4.90%
%Dens Agregados	96.81%	96.52%	96.24%	95.95%	95.67%	95.38%	95.10%
Gmb	2.249	2.261	2.272	2.270	2.243	2.197	2.198
Gmm	1.365	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363	1.363
Gsr	2.20	2.28	2.27	2.27	2.26	2.25	2.24

CALCULO RELACIONES VOLUMETRICAS

Va	1.150	1.927	1.693	1.746	2.273	3.198	3.193
Vv	4.33%	4.36%	3.86%	3.96%	5.30%	7.03%	7.02%
Vbs	1.348	1.491	1.641	1.791	1.948	2.098	2.241
Vvb	5.93%	5.93%	5.74%	4.08%	4.37%	4.01%	4.84%
Vbe	1.67218	1.79182	1.81146	2.02110	2.15074	2.27038	2.39002
Vv	2.78%	4.05%	4.31%	4.63%	4.82%	4.90%	5.25%
Vv	1.020	1.239	1.539	1.839	2.139	2.439	2.739
Vv	4.79%	7.44%	9.09%	8.69%	9.39%	9.89%	10.19%
Vv	91.20%	91.59%	91.89%	91.43%	90.03%	87.04%	87.73%
Vv	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
Vmm	95.15%	95.64%	96.14%	96.64%	94.90%	92.97%	91.98%
Vmr	91.18%	89.03%	88.11%	100.12%	98.27%	97.53%	97.02%
VTD	4.51%	4.36%	3.86%	3.96%	5.30%	7.03%	7.02%
VAD	8.61%	8.41%	8.20%	8.57%	9.92%	12.02%	12.27%
VPA	74.96%	77.08%	79.26%	76.64%	77.00%	73.39%	73.08%

CALCULO RELACIONES DE MASA

%Vb	1.392%	1.552%	1.712%	1.873%	2.033%	2.193%	2.353%
%Vbs	1.8443%	1.6783%	2.1143%	2.2683%	2.3143%	2.5104%	2.6744%
%Vb	3.286%	3.531%	3.826%	4.123%	4.420%	4.716%	5.012%
%Vb	3.192%	3.477%	3.762%	4.047%	4.332%	4.617%	4.902%

Anexo LLL Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 8

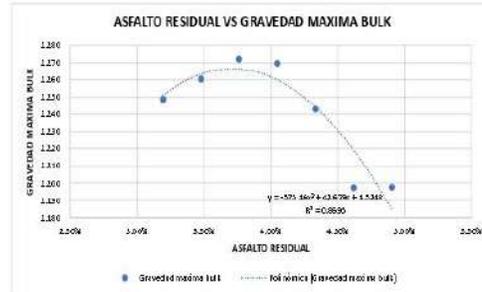
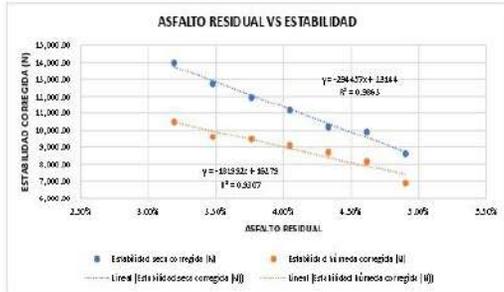
CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABILIZADAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUAN - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : **CHIHLACO**

97* GRÁFICAS PARA EL DISEÑO

Asfalto residual (Ar)	Estabilidad seca corregida (N)	Estabilidad húmeda corregida (N)
3.19%	13,983.44	10,492.33
3.48%	12,744.77	9,611.10
3.76%	11,942.24	9,467.25
4.05%	11,169.19	9,092.30
4.33%	10,216.13	8,700.44
4.62%	9,911.87	8,163.83
4.90%	8,619.85	6,871.81

Asfalto residual (Ar)	Gravedad maxima bulk
3.19%	2.249
3.48%	2.261
3.76%	2.272
4.05%	2.270
4.33%	2.243
4.62%	2.197
4.90%	2.198

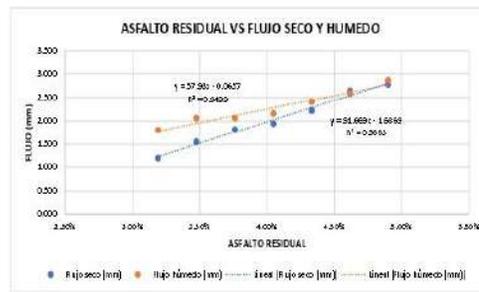


Estabilidad seca	-294.477	231.44
	9.217.285954	
Estabilidad húmeda	-181.992	192.79
	7.677.640132	

Gravedad maxima	-575.867	42.679	1.5388
	2.257158471		

Asfalto residual (Ar)	Pérdida de estabilidad
3.19%	24.91%
3.48%	24.45%
3.76%	20.76%
4.05%	18.60%
4.33%	14.88%
4.62%	17.64%
4.90%	20.29%

Asfalto residual (Ar)	Flujo seco (mm)	Flujo húmedo (mm)
3.19%	1.207	1.893
3.48%	1.549	2.057
3.76%	1.816	2.057
4.05%	1.943	2.159
4.33%	2.223	2.413
4.62%	2.642	2.591
4.90%	2.781	2.870



Pérdida de estabilidad	609.82	-57.588	1.4306
	18.272%		

Flujo seco	57.983	-0.0657
	2.672204837	
Flujo húmedo	91.669	-1.6169
	2.645587459	

Anexo MMM Calculo del optimo contenido de emulsión asfáltica – Marshall Modificado Chihuaco parte 9

CALCULO DEL OPTIMO CONTENIDO DE EMULSION ASFALTICA - MARSHALL MODIFICADO

RESPONSABLES : CONDORI GUTIERREZ, RUDYARD MATTHEW
 VERA ZAMBRANO, MAX JUNIOR
 TESIS : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE MATERIAL GRANULAR PARA BASE O SUB BASE DE LAS CANTERAS DE LA PROVINCIA DE CANCHIS ESTABLECIDAS CON EMULSION ASFALTICA Y CEMENTO PORTLAND"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE SICUANI - CANCHIS - CUSCO
 CANTERA : CHIHUACO

Asfalto residual (Ar)	Va
3.19%	2.16
3.43%	1.93
3.78%	1.79
4.03%	1.75
4.33%	2.27
4.63%	3.20
4.90%	3.19

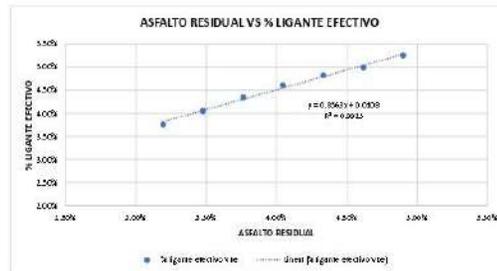
Asfalto residual (Ar)	% de vacíos llenos de asfalto
3.19%	74.98%
3.43%	77.00%
3.78%	78.20%
4.03%	78.64%
4.33%	77.00%
4.63%	73.30%
4.90%	73.98%



Va	11.501	-352.88	17.619	VFA	5.73E+00	-75.0	321.77	-384.88
Σ	11.501	-352.88	14.619	4.736216652	73.76015407			

XI **4.736%**

Asfalto residual (Ar)	% ligante efectivo Vbe
3.19%	3.78%
3.43%	4.05%
3.78%	4.34%
4.03%	4.61%
4.33%	4.82%
4.63%	4.99%
4.90%	5.25%



Vbe	0.8197	0.011
Σ	5.12%	

Tabla VIII.2. Especificaciones Marshall de diseño

Especificación del Método Marshall	Tráfico Liviano		Tráfico Medio		Tráfico Pesado	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Nº de golpes	35		50		75	
Estabilidad	2200		2300		2400	
	Libre	750	2300		2400	
Flujo (0.3% max. (0.3))	8	14	8	15	8	14
	% de vacíos	5	5	3	3	3

fuente: The Asphalt Institute, Manual 105-D

REQUISITOS	TRAFICO LIVIANO	TRAFICO MEDIO	TRAFICO PESADO	DISEÑO
Estabilidad mínima	3336	5338	8006	7,077.040
Gravedad máxima b	1.40 - 2.55	1.45 - 2.60	2.50 - 2.65	2.237
	2.20 - 2.30	2.25 - 2.35	2.30 - 2.40	
Porcentaje de estabilidad	25%	20% - 25%	15 - 20%	10.172%
Flujo	2.4-5	2.4	2.1-3.5	2.673
	78.80%	78.80%	75.80%	73.761
VFA	65%	65-70%	70-75%	
	4.5%	5-8%	5.5-7%	5.12%

CA % =	57.00%
% EMULSION ASFALTICA	Asfalto residual % Ar
Σ	4.736%

Anexo NNN Comparaciones múltiples de resistencia – Cantera Chumo

(I) CEMENTO _CHUMO	(J) CEMENTO _CHUMO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
,00	1,00	-3,01500	,98018	,125	-6,9470	,9170
	3,00	-14,39500*	,98018	,000	-18,3270	-10,4630
	5,00	-21,73000*	,98018	,000	-25,6620	-17,7980
	7,00	-30,37500*	,98018	,000	-34,3070	-26,4430
1,00	,00	3,01500	,98018	,125	-,9170	6,9470
	3,00	-11,38000*	,98018	,000	-15,3120	-7,4480
	5,00	-18,71500*	,98018	,000	-22,6470	-14,7830
	7,00	-27,36000*	,98018	,000	-31,2920	-23,4280
3,00	,00	14,39500*	,98018	,000	10,4630	18,3270
	1,00	11,38000*	,98018	,000	7,4480	15,3120
	5,00	-7,33500*	,98018	,004	-11,2670	-3,4030
	7,00	-15,98000*	,98018	,000	-19,9120	-12,0480
5,00	,00	21,73000*	,98018	,000	17,7980	25,6620
	1,00	18,71500*	,98018	,000	14,7830	22,6470
	3,00	7,33500*	,98018	,004	3,4030	11,2670
	7,00	-8,64500*	,98018	,002	-12,5770	-4,7130
7,00	,00	30,37500*	,98018	,000	26,4430	34,3070
	1,00	27,36000*	,98018	,000	23,4280	31,2920
	3,00	15,98000*	,98018	,000	12,0480	19,9120
	5,00	8,64500*	,98018	,002	4,7130	12,5770

Anexo 000 Comparaciones múltiples de resistencia – Cantera Chihuaco

(I) CEMENTO_CHI HUACO	(J) CEMENTO_CHIHUAC O	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
,00	1,00	-1,73000	1,12681	,585	-6,2502	2,7902
	3,00	-13,70000*	1,12681	,000	-18,2202	-9,1798
	5,00	-20,63500*	1,12681	,000	-25,1552	-16,1148
	7,00	-27,81500*	1,12681	,000	-32,3352	-23,2948
1,00	,00	1,73000	1,12681	,585	-2,7902	6,2502
	3,00	-11,97000*	1,12681	,001	-16,4902	-7,4498
	5,00	-18,90500*	1,12681	,000	-23,4252	-14,3848
	7,00	-26,08500*	1,12681	,000	-30,6052	-21,5648
3,00	,00	13,70000*	1,12681	,000	9,1798	18,2202
	1,00	11,97000*	1,12681	,001	7,4498	16,4902
	5,00	-6,93500*	1,12681	,009	-11,4552	-2,4148
	7,00	-14,11500*	1,12681	,000	-18,6352	-9,5948
5,00	,00	20,63500*	1,12681	,000	16,1148	25,1552
	1,00	18,90500*	1,12681	,000	14,3848	23,4252
	3,00	6,93500*	1,12681	,009	2,4148	11,4552
	7,00	-7,18000*	1,12681	,007	-11,7002	-2,6598
7,00	,00	27,81500*	1,12681	,000	23,2948	32,3352
	1,00	26,08500*	1,12681	,000	21,5648	30,6052
	3,00	14,11500*	1,12681	,000	9,5948	18,6352
	5,00	7,18000*	1,12681	,007	2,6598	11,7002

Anexo PPP Comparaciones múltiples propiedades con emulsión asfáltica– Cantera Chumo

Variable dependiente	(I) Emulsión n	(J) Emulsión n	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Estabilidad_Sec a	5,40	5,90	1293,61339	388,02025	,106	-244,4382	2831,6649
		6,40	2502,94205*	388,02025	,004	964,8905	4040,9936
		6,90	3193,53482*	388,02025	,001	1655,4833	4731,5864
		7,40	4256,82845*	388,02025	,000	2718,7769	5794,8800
		7,90	5042,42340*	388,02025	,000	3504,3718	6580,4750
		8,40	5763,22273*	388,02025	,000	4225,1712	7301,2743
	5,90	5,40	-1293,61339	388,02025	,106	-	244,4382 2831,6649
		6,40	1209,32867	388,02025	,137	-328,7229	2747,3802
		6,90	1899,92144*	388,02025	,017	361,8699	3437,9730
		7,40	2963,21507*	388,02025	,001	1425,1635	4501,2666
		7,90	3748,81001*	388,02025	,000	2210,7585	5286,8616
		8,40	4469,60935*	388,02025	,000	2931,5578	6007,6609
6,40	5,40	-2502,94205*	388,02025	,004	-	-964,8905 4040,9936	

	5,90	-1209,32867	388,0202	,137	-	328,7229
			5		2747,3802	
	6,90	690,59277	388,0202	,595	-847,4588	2228,6443
			5			
	7,40	1753,88640*	388,0202	,026	215,8348	3291,9380
			5			
	7,90	2539,48135*	388,0202	,003	1001,4298	4077,5329
			5			
	8,40	3260,28068*	388,0202	,001	1722,2291	4798,3322
			5			
6,90	5,40	-	388,0202	,001	-	-
		3193,53482*	5		4731,5864	1655,4833
	5,90	-	388,0202	,017	-	-361,8699
		1899,92144*	5		3437,9730	
	6,40	-690,59277	388,0202	,595	-	847,4588
			5		2228,6443	
	7,40	1063,29363	388,0202	,215	-474,7579	2601,3452
			5			
	7,90	1848,88858*	388,0202	,020	310,8370	3386,9401
			5			
	8,40	2569,68791*	388,0202	,003	1031,6363	4107,7395
			5			
7,40	5,40	-	388,0202	,000	-	-
		4256,82845*	5		5794,8800	2718,7769
	5,90	-	388,0202	,001	-	-
		2963,21507*	5		4501,2666	1425,1635
	6,40	-	388,0202	,026	-	-215,8348
		1753,88640*	5		3291,9380	
	6,90	-1063,29363	388,0202	,215	-	474,7579
			5		2601,3452	
	7,90	785,59495	388,0202	,473	-752,4566	2323,6465
			5			

		8,40	1506,39428	388,0202 5	,055	-31,6573	3044,4458
	7,90	5,40	-	388,0202 5	,000	-	-
			5042,42340*	5		6580,4750	3504,3718
		5,90	-	388,0202 5	,000	-	-
			3748,81001*	5		5286,8616	2210,7585
		6,40	-	388,0202 5	,003	-	-
			2539,48135*	5		4077,5329	1001,4298
		6,90	-	388,0202 5	,020	-	-310,8370
			1848,88858*	5		3386,9401	
		7,40	-785,59495	388,0202 5	,473	-	752,4566
				5		2323,6465	
		8,40	720,79933	388,0202 5	,555	-817,2522	2258,8509
	8,40	5,40	-	388,0202 5	,000	-	-
			5763,22273*	5		7301,2743	4225,1712
		5,90	-	388,0202 5	,000	-	-
			4469,60935*	5		6007,6609	2931,5578
		6,40	-	388,0202 5	,001	-	-
			3260,28068*	5		4798,3322	1722,2291
		6,90	-	388,0202 5	,003	-	-
			2569,68791*	5		4107,7395	1031,6363
		7,40	-1506,39428	388,0202 5	,055	-	31,6573
				5		3044,4458	
		7,90	-720,79933	388,0202 5	,555	-	817,2522
				5		2258,8509	
Estabilidad_Hu meda	5,40	5,90	805,45000	287,7009 6	,200	-334,9516	1945,8516
		6,40	1175,35000*	287,7009 6	,043	34,9484	2315,7516
		6,90	1390,08000*	287,7009 6	,019	249,6784	2530,4816

	7,40	1901,63000*	287,7009 6	,003	761,2284	3042,0316
	7,90	2705,49500*	287,7009 6	,000	1565,0934	3845,8966
	8,40	3530,06500*	287,7009 6	,000	2389,6634	4670,4666
5,90	5,40	-805,45000	287,7009 6	,200	-	334,9516
					1945,8516	
	6,40	369,90000	287,7009 6	,840	-770,5016	1510,3016
	6,90	584,63000	287,7009 6	,470	-555,7716	1725,0316
	7,40	1096,18000	287,7009 6	,060	-44,2216	2236,5816
	7,90	1900,04500*	287,7009 6	,003	759,6434	3040,4466
	8,40	2724,61500*	287,7009 6	,000	1584,2134	3865,0166
6,40	5,40	-	287,7009 6	,043	-	-34,9484
		1175,35000*			2315,7516	
	5,90	-369,90000	287,7009 6	,840	-	770,5016
	6,90	214,73000	287,7009 6	,984	-925,6716	1355,1316
	7,40	726,28000	287,7009 6	,276	-414,1216	1866,6816
	7,90	1530,14500*	287,7009 6	,011	389,7434	2670,5466
	8,40	2354,71500*	287,7009 6	,001	1214,3134	3495,1166
6,90	5,40	-	287,7009 6	,019	-	-249,6784
		1390,08000*			2530,4816	

	5,90	-584,63000	287,7009 6	,470	-	555,7716
					1725,0316	
	6,40	-214,73000	287,7009 6	,984	-	925,6716
					1355,1316	
	7,40	511,55000	287,7009 6	,596	-628,8516	1651,9516
	7,90	1315,41500*	287,7009 6	,025	175,0134	2455,8166
	8,40	2139,98500*	287,7009 6	,002	999,5834	3280,3866
7,40	5,40	-	287,7009 6	,003	-	-761,2284
		1901,63000*			3042,0316	
	5,90	-1096,18000	287,7009 6	,060	-	44,2216
					2236,5816	
	6,40	-726,28000	287,7009 6	,276	-	414,1216
					1866,6816	
	6,90	-511,55000	287,7009 6	,596	-	628,8516
					1651,9516	
	7,90	803,86500	287,7009 6	,202	-336,5366	1944,2666
	8,40	1628,43500*	287,7009 6	,008	488,0334	2768,8366
7,90	5,40	-	287,7009 6	,000	-	-
		2705,49500*			3845,8966	1565,0934
	5,90	-	287,7009 6	,003	-	-759,6434
		1900,04500*			3040,4466	
	6,40	-	287,7009 6	,011	-	-389,7434
		1530,14500*			2670,5466	
	6,90	-	287,7009 6	,025	-	-175,0134
		1315,41500*			2455,8166	
	7,40	-803,86500	287,7009 6	,202	-	336,5366
					1944,2666	

		8,40	824,57000	287,7009	,185	-315,8316	1964,9716
				6			
	8,40	5,40	- 3530,06500*	287,7009	,000	-	-
				6		4670,4666	2389,6634
		5,90	- 2724,61500*	287,7009	,000	-	-
				6		3865,0166	1584,2134
		6,40	- 2354,71500*	287,7009	,001	-	-
				6		3495,1166	1214,3134
		6,90	- 2139,98500*	287,7009	,002	-	-999,5834
				6		3280,3866	
		7,40	- 1628,43500*	287,7009	,008	-	-488,0334
				6		2768,8366	
		7,90	-824,57000	287,7009	,185	-	315,8316
				6		1964,9716	
Flujo_Seco	5,40	5,90	-,35560*	,04988	,002	-,5533	-,1579
		6,40	-,46990*	,04988	,000	-,6676	-,2722
		6,90	-,78740*	,04988	,000	-,9851	-,5897
		7,40	-1,40970*	,04988	,000	-1,6074	-1,2120
		7,90	-1,39700*	,04988	,000	-1,5947	-1,1993
		8,40	-1,57480*	,04988	,000	-1,7725	-1,3771
	5,90	5,40	,35560*	,04988	,002	,1579	,5533
		6,40	-,11430	,04988	,358	-,3120	,0834
		6,90	-,43180*	,04988	,001	-,6295	-,2341
		7,40	-1,05410*	,04988	,000	-1,2518	-,8564
		7,90	-1,04140*	,04988	,000	-1,2391	-,8437
		8,40	-1,21920*	,04988	,000	-1,4169	-1,0215
	6,40	5,40	,46990*	,04988	,000	,2722	,6676
		5,90	,11430	,04988	,358	-,0834	,3120
		6,90	-,31750*	,04988	,004	-,5152	-,1198

	7,40	-,93980*	,04988	,000	-1,1375	-,7421
	7,90	-,92710*	,04988	,000	-1,1248	-,7294
	8,40	-1,10490*	,04988	,000	-1,3026	-,9072
6,90	5,40	,78740*	,04988	,000	,5897	,9851
	5,90	,43180*	,04988	,001	,2341	,6295
	6,40	,31750*	,04988	,004	,1198	,5152
	7,40	-,62230*	,04988	,000	-,8200	-,4246
	7,90	-,60960*	,04988	,000	-,8073	-,4119
	8,40	-,78740*	,04988	,000	-,9851	-,5897
7,40	5,40	1,40970*	,04988	,000	1,2120	1,6074
	5,90	1,05410*	,04988	,000	,8564	1,2518
	6,40	,93980*	,04988	,000	,7421	1,1375
	6,90	,62230*	,04988	,000	,4246	,8200
	7,90	,01270	,04988	1,000	-,1850	,2104
	8,40	-,16510	,04988	,109	-,3628	,0326
7,90	5,40	1,39700*	,04988	,000	1,1993	1,5947
	5,90	1,04140*	,04988	,000	,8437	1,2391
	6,40	,92710*	,04988	,000	,7294	1,1248
	6,90	,60960*	,04988	,000	,4119	,8073
	7,40	-,01270	,04988	1,000	-,2104	,1850
	8,40	-,17780	,04988	,080	-,3755	,0199
8,40	5,40	1,57480*	,04988	,000	1,3771	1,7725
	5,90	1,21920*	,04988	,000	1,0215	1,4169
	6,40	1,10490*	,04988	,000	,9072	1,3026
	6,90	,78740*	,04988	,000	,5897	,9851
	7,40	,16510	,04988	,109	-,0326	,3628

		7,90	,17780	,04988	,080	-,0199	,3755
Flujo_Humedo	5,40	5,90	-,27000*	,05632	,020	-,4932	-,0468
		6,40	-,25500*	,05632	,026	-,4782	-,0318
		6,90	-,41000*	,05632	,002	-,6332	-,1868
		7,40	-,71500*	,05632	,000	-,9382	-,4918
		7,90	-,76000*	,05632	,000	-,9832	-,5368
		8,40	-1,15500*	,05632	,000	-1,3782	-,9318
	5,90	5,40	,27000*	,05632	,020	,0468	,4932
		6,40	,01500	,05632	1,000	-,2082	,2382
		6,90	-,14000	,05632	,289	-,3632	,0832
		7,40	-,44500*	,05632	,001	-,6682	-,2218
		7,90	-,49000*	,05632	,001	-,7132	-,2668
		8,40	-,88500*	,05632	,000	-1,1082	-,6618
	6,40	5,40	,25500*	,05632	,026	,0318	,4782
		5,90	-,01500	,05632	1,000	-,2382	,2082
		6,90	-,15500	,05632	,212	-,3782	,0682
		7,40	-,46000*	,05632	,001	-,6832	-,2368
		7,90	-,50500*	,05632	,000	-,7282	-,2818
		8,40	-,90000*	,05632	,000	-1,1232	-,6768
	6,90	5,40	,41000*	,05632	,002	,1868	,6332
		5,90	,14000	,05632	,289	-,0832	,3632
		6,40	,15500	,05632	,212	-,0682	,3782
		7,40	-,30500*	,05632	,010	-,5282	-,0818
		7,90	-,35000*	,05632	,005	-,5732	-,1268
		8,40	-,74500*	,05632	,000	-,9682	-,5218
	7,40	5,40	,71500*	,05632	,000	,4918	,9382

	5,90	,44500*	,05632	,001	,2218	,6682	
	6,40	,46000*	,05632	,001	,2368	,6832	
	6,90	,30500*	,05632	,010	,0818	,5282	
	7,90	-,04500	,05632	,978	-,2682	,1782	
	8,40	-,44000*	,05632	,001	-,6632	-,2168	
7,90	5,40	,76000*	,05632	,000	,5368	,9832	
	5,90	,49000*	,05632	,001	,2668	,7132	
	6,40	,50500*	,05632	,000	,2818	,7282	
	6,90	,35000*	,05632	,005	,1268	,5732	
	7,40	,04500	,05632	,978	-,1782	,2682	
	8,40	-,39500*	,05632	,002	-,6182	-,1718	
8,40	5,40	1,15500*	,05632	,000	,9318	1,3782	
	5,90	,88500*	,05632	,000	,6618	1,1082	
	6,40	,90000*	,05632	,000	,6768	1,1232	
	6,90	,74500*	,05632	,000	,5218	,9682	
	7,40	,44000*	,05632	,001	,2168	,6632	
	7,90	,39500*	,05632	,002	,1718	,6182	
Perdida_Estabil	5,40	5,90	,54500	,60017	,960	-1,8340	2,9240
idad		6,40	4,09000*	,60017	,003	1,7110	6,4690
		6,90	6,40000*	,60017	,000	4,0210	8,7790
		7,40	8,91000*	,60017	,000	6,5310	11,2890
		7,90	7,02000*	,60017	,000	4,6410	9,3990
		8,40	4,13000*	,60017	,003	1,7510	6,5090
5,90	5,40	-,54500	,60017	,960	-2,9240	1,8340	
	6,40	3,54500*	,60017	,006	1,1660	5,9240	
	6,90	5,85500*	,60017	,000	3,4760	8,2340	

	7,40	8,36500*	,60017	,000	5,9860	10,7440
	7,90	6,47500*	,60017	,000	4,0960	8,8540
	8,40	3,58500*	,60017	,006	1,2060	5,9640
6,40	5,40	-4,09000*	,60017	,003	-6,4690	-1,7110
	5,90	-3,54500*	,60017	,006	-5,9240	-1,1660
	6,90	2,31000	,60017	,057	-,0690	4,6890
	7,40	4,82000*	,60017	,001	2,4410	7,1990
	7,90	2,93000*	,60017	,018	,5510	5,3090
	8,40	,04000	,60017	1,000	-2,3390	2,4190
6,90	5,40	-6,40000*	,60017	,000	-8,7790	-4,0210
	5,90	-5,85500*	,60017	,000	-8,2340	-3,4760
	6,40	-2,31000	,60017	,057	-4,6890	,0690
	7,40	2,51000*	,60017	,039	,1310	4,8890
	7,90	,62000	,60017	,930	-1,7590	2,9990
	8,40	-2,27000	,60017	,062	-4,6490	,1090
7,40	5,40	-8,91000*	,60017	,000	-11,2890	-6,5310
	5,90	-8,36500*	,60017	,000	-10,7440	-5,9860
	6,40	-4,82000*	,60017	,001	-7,1990	-2,4410
	6,90	-2,51000*	,60017	,039	-4,8890	-,1310
	7,90	-1,89000	,60017	,132	-4,2690	,4890
	8,40	-4,78000*	,60017	,001	-7,1590	-2,4010
7,90	5,40	-7,02000*	,60017	,000	-9,3990	-4,6410
	5,90	-6,47500*	,60017	,000	-8,8540	-4,0960
	6,40	-2,93000*	,60017	,018	-5,3090	-,5510
	6,90	-,62000	,60017	,930	-2,9990	1,7590
	7,40	1,89000	,60017	,132	-,4890	4,2690

		8,40	-2,89000*	,60017	,019	-5,2690	-,5110
8,40	5,40	5,40	-4,13000*	,60017	,003	-6,5090	-1,7510
		5,90	-3,58500*	,60017	,006	-5,9640	-1,2060
		6,40	-,04000	,60017	1,000	-2,4190	2,3390
		6,90	2,27000	,60017	,062	-,1090	4,6490
		7,40	4,78000*	,60017	,001	2,4010	7,1590
		7,90	2,89000*	,60017	,019	,5110	5,2690
Volumen_Vaci	5,40	5,90	2,28150	,59244	,057	-,0668	4,6298
os		6,40	3,73250*	,59244	,004	1,3842	6,0808
		6,90	2,65550*	,59244	,028	,3072	5,0038
		7,40	2,03850	,59244	,093	-,3098	4,3868
		7,90	-,13350	,59244	1,000	-2,4818	2,2148
		8,40	,03550	,59244	1,000	-2,3128	2,3838
5,90	5,40	5,40	-2,28150	,59244	,057	-4,6298	,0668
		6,40	1,45100	,59244	,301	-,8973	3,7993
		6,90	,37400	,59244	,993	-1,9743	2,7223
		7,40	-,24300	,59244	,999	-2,5913	2,1053
		7,90	-2,41500*	,59244	,044	-4,7633	-,0667
		8,40	-2,24600	,59244	,061	-4,5943	,1023
6,40	5,40	5,40	-3,73250*	,59244	,004	-6,0808	-1,3842
		5,90	-1,45100	,59244	,301	-3,7993	,8973
		6,90	-1,07700	,59244	,575	-3,4253	1,2713
		7,40	-1,69400	,59244	,187	-4,0423	,6543
		7,90	-3,86600*	,59244	,003	-6,2143	-1,5177
		8,40	-3,69700*	,59244	,005	-6,0453	-1,3487
6,90	5,40	5,40	-2,65550*	,59244	,028	-5,0038	-,3072

	5,90	-,37400	,59244	,993	-2,7223	1,9743
	6,40	1,07700	,59244	,575	-1,2713	3,4253
	7,40	-,61700	,59244	,927	-2,9653	1,7313
	7,90	-2,78900*	,59244	,021	-5,1373	-,4407
	8,40	-2,62000*	,59244	,030	-4,9683	-,2717
7,40	5,40	-2,03850	,59244	,093	-4,3868	,3098
	5,90	,24300	,59244	,999	-2,1053	2,5913
	6,40	1,69400	,59244	,187	-,6543	4,0423
	6,90	,61700	,59244	,927	-1,7313	2,9653
	7,90	-2,17200	,59244	,071	-4,5203	,1763
	8,40	-2,00300	,59244	,100	-4,3513	,3453
7,90	5,40	,13350	,59244	1,000	-2,2148	2,4818
	5,90	2,41500*	,59244	,044	,0667	4,7633
	6,40	3,86600*	,59244	,003	1,5177	6,2143
	6,90	2,78900*	,59244	,021	,4407	5,1373
	7,40	2,17200	,59244	,071	-,1763	4,5203
	8,40	,16900	,59244	1,000	-2,1793	2,5173
8,40	5,40	-,03550	,59244	1,000	-2,3838	2,3128
	5,90	2,24600	,59244	,061	-,1023	4,5943
	6,40	3,69700*	,59244	,005	1,3487	6,0453
	6,90	2,62000*	,59244	,030	,2717	4,9683
	7,40	2,00300	,59244	,100	-,3453	4,3513
	7,90	-,16900	,59244	1,000	-2,5173	2,1793
Vacios_Llenos_ Asfalto	5,40	-6,33450	1,67983	,063	-12,9931	,3241
	6,40	-12,26550*	1,67983	,002	-18,9241	-5,6069
	6,90	-8,46450*	1,67983	,015	-15,1231	-1,8059

	7,40	-6,91650*	1,67983	,042	-13,5751	-,2579
	7,90	-1,75450	1,67983	,927	-8,4131	4,9041
	8,40	-2,51750	1,67983	,740	-9,1761	4,1411
5,90	5,40	6,33450	1,67983	,063	-,3241	12,9931
	6,40	-5,93100	1,67983	,083	-12,5896	,7276
	6,90	-2,13000	1,67983	,847	-8,7886	4,5286
	7,40	-,58200	1,67983	1,000	-7,2406	6,0766
	7,90	4,58000	1,67983	,218	-2,0786	11,2386
	8,40	3,81700	1,67983	,366	-2,8416	10,4756
6,40	5,40	12,26550*	1,67983	,002	5,6069	18,9241
	5,90	5,93100	1,67983	,083	-,7276	12,5896
	6,90	3,80100	1,67983	,370	-2,8576	10,4596
	7,40	5,34900	1,67983	,127	-1,3096	12,0076
	7,90	10,51100*	1,67983	,004	3,8524	17,1696
	8,40	9,74800*	1,67983	,007	3,0894	16,4066
6,90	5,40	8,46450*	1,67983	,015	1,8059	15,1231
	5,90	2,13000	1,67983	,847	-4,5286	8,7886
	6,40	-3,80100	1,67983	,370	-10,4596	2,8576
	7,40	1,54800	1,67983	,957	-5,1106	8,2066
	7,90	6,71000*	1,67983	,048	,0514	13,3686
	8,40	5,94700	1,67983	,083	-,7116	12,6056
7,40	5,40	6,91650*	1,67983	,042	,2579	13,5751
	5,90	,58200	1,67983	1,000	-6,0766	7,2406
	6,40	-5,34900	1,67983	,127	-12,0076	1,3096
	6,90	-1,54800	1,67983	,957	-8,2066	5,1106
	7,90	5,16200	1,67983	,145	-1,4966	11,8206

	8,40	4,39900	1,67983	,248	-2,2596	11,0576
7,90	5,40	1,75450	1,67983	,927	-4,9041	8,4131
	5,90	-4,58000	1,67983	,218	-11,2386	2,0786
	6,40	-10,51100*	1,67983	,004	-17,1696	-3,8524
	6,90	-6,71000*	1,67983	,048	-13,3686	-,0514
	7,40	-5,16200	1,67983	,145	-11,8206	1,4966
	8,40	-,76300	1,67983	,999	-7,4216	5,8956
8,40	5,40	2,51750	1,67983	,740	-4,1411	9,1761
	5,90	-3,81700	1,67983	,366	-10,4756	2,8416
	6,40	-9,74800*	1,67983	,007	-16,4066	-3,0894
	6,90	-5,94700	1,67983	,083	-12,6056	,7116
	7,40	-4,39900	1,67983	,248	-11,0576	2,2596
	7,90	,76300	1,67983	,999	-5,8956	7,4216

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Anexo QQQ Comparaciones múltiples propiedades con emulsión asfáltica– Canteras Chihuahua

Variable dependiente	(I) Emulsión	(J) Emulsión	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
Estabilidad_Sec a	5,60	6,10	1243,67500	497,21202	,284	-727,1957	3214,5457	
		6,60	2046,20000*	497,21202	,042	75,3293	4017,0707	
		7,10	2819,25000*	497,21202	,008	848,3793	4790,1207	
		7,60	3772,31500*	497,21202	,001	1801,4443	5743,1857	
		8,10	4076,57000*	497,21202	,001	2105,6993	6047,4407	
		8,60	5368,60000*	497,21202	,000	3397,7293	7339,4707	
	6,10	5,60	6,60	-1243,67500	497,21202	,284	-	727,1957 3214,5457
			7,10	802,52500	497,21202	,681	-	2773,3957 1168,3457
			7,60	1575,57500	497,21202	,129	-395,2957	3546,4457
			8,10	2528,64000*	497,21202	,014	557,7693	4499,5107
			8,60	2832,89500*	497,21202	,008	862,0243	4803,7657
			8,60	4124,92500*	497,21202	,001	2154,0543	6095,7957
	6,60	5,60	7,60	-	497,21202	,042	-	-75,3293 4017,0707
			8,60	2046,20000*	497,21202			

	6,10	-802,52500	497,2120	,681	-	1168,3457
			2		2773,3957	
	7,10	773,05000	497,2120	,711	-	2743,9207
			2		1197,8207	
	7,60	1726,11500	497,2120	,090	-244,7557	3696,9857
			2			
	8,10	2030,37000*	497,2120	,043	59,4993	4001,2407
			2			
	8,60	3322,40000*	497,2120	,003	1351,5293	5293,2707
			2			
7,10	5,60	-	497,2120	,008	-	-848,3793
		2819,25000*	2		4790,1207	
	6,10	-1575,57500	497,2120	,129	-	395,2957
			2		3546,4457	
	6,60	-773,05000	497,2120	,711	-	1197,8207
			2		2743,9207	
	7,60	953,06500	497,2120	,525	-	2923,9357
			2		1017,8057	
	8,10	1257,32000	497,2120	,275	-713,5507	3228,1907
			2			
	8,60	2549,35000*	497,2120	,014	578,4793	4520,2207
			2			
7,60	5,60	-	497,2120	,001	-	-
		3772,31500*	2		5743,1857	1801,4443
	6,10	-	497,2120	,014	-	-557,7693
		2528,64000*	2		4499,5107	
	6,60	-1726,11500	497,2120	,090	-	244,7557
			2		3696,9857	
	7,10	-953,06500	497,2120	,525	-	1017,8057
			2		2923,9357	
	8,10	304,25500	497,2120	,994	-	2275,1257
			2		1666,6157	

		8,60	1596,28500	497,2120 2	,123	-374,5857	3567,1557
8,10	5,60		- 497,2120 4076,57000*	2	,001	-	-
		6,10	- 497,2120 2832,89500*	2	,008	-	-862,0243
		6,60	- 497,2120 2030,37000*	2	,043	-	-59,4993
		7,10	-1257,32000	497,2120 2	,275	-	713,5507
		7,60	-304,25500	497,2120 2	,994	-	1666,6157
		8,60	1292,03000	497,2120 2	,254	-678,8407	3262,9007
8,60	5,60		- 497,2120 5368,60000*	2	,000	-	-
		6,10	- 497,2120 4124,92500*	2	,001	-	-
		6,60	- 497,2120 3322,40000*	2	,003	-	-
		7,10	- 497,2120 2549,35000*	2	,014	-	-578,4793
		7,60	-1596,28500	497,2120 2	,123	-	374,5857
		8,10	-1292,03000	497,2120 2	,254	-	678,8407
Estabilidad_Hu meda	5,60	6,10	881,23500	437,3302 0	,478	-852,2735	2614,7435
		6,60	1025,08000	437,3302 0	,338	-708,4285	2758,5885
		7,10	1400,03500	437,3302 0	,124	-333,4735	3133,5435

	7,60	1791,89000*	437,3302	,043	58,3815	3525,3985
			0			
	8,10	2328,50000*	437,3302	,011	594,9915	4062,0085
			0			
	8,60	3620,53000*	437,3302	,001	1887,0215	5354,0385
			0			
6,10	5,60	-881,23500	437,3302	,478	-	852,2735
			0		2614,7435	
	6,60	143,84500	437,3302	1,000	-	1877,3535
			0		1589,6635	
	7,10	518,80000	437,3302	,880	-	2252,3085
			0		1214,7085	
	7,60	910,65500	437,3302	,447	-822,8535	2644,1635
			0			
	8,10	1447,26500	437,3302	,109	-286,2435	3180,7735
			0			
	8,60	2739,29500*	437,3302	,004	1005,7865	4472,8035
			0			
6,60	5,60	-1025,08000	437,3302	,338	-	708,4285
			0		2758,5885	
	6,10	-143,84500	437,3302	1,000	-	1589,6635
			0		1877,3535	
	7,10	374,95500	437,3302	,969	-	2108,4635
			0		1358,5535	
	7,60	766,81000	437,3302	,608	-966,6985	2500,3185
			0			
	8,10	1303,42000	437,3302	,162	-430,0885	3036,9285
			0			
	8,60	2595,45000*	437,3302	,006	861,9415	4328,9585
			0			
7,10	5,60	-1400,03500	437,3302	,124	-	333,4735
			0		3133,5435	

	6,10	-518,80000	437,3302	,880	-	1214,7085
			0			2252,3085
	6,60	-374,95500	437,3302	,969	-	1358,5535
			0			2108,4635
	7,60	391,85500	437,3302	,962	-	2125,3635
			0			1341,6535
	8,10	928,46500	437,3302	,429	-805,0435	2661,9735
			0			
	8,60	2220,49500*	437,3302	,014	486,9865	3954,0035
			0			
<hr/>						
7,60	5,60	-	437,3302	,043	-	-58,3815
		1791,89000*	0			3525,3985
	6,10	-910,65500	437,3302	,447	-	822,8535
			0			2644,1635
	6,60	-766,81000	437,3302	,608	-	966,6985
			0			2500,3185
	7,10	-391,85500	437,3302	,962	-	1341,6535
			0			2125,3635
	8,10	536,61000	437,3302	,864	-	2270,1185
			0			1196,8985
	8,60	1828,64000*	437,3302	,039	95,1315	3562,1485
			0			
<hr/>						
8,10	5,60	-	437,3302	,011	-	-594,9915
		2328,50000*	0			4062,0085
	6,10	-1447,26500	437,3302	,109	-	286,2435
			0			3180,7735
	6,60	-1303,42000	437,3302	,162	-	430,0885
			0			3036,9285
	7,10	-928,46500	437,3302	,429	-	805,0435
			0			2661,9735
	7,60	-536,61000	437,3302	,864	-	1196,8985
			0			2270,1185

		8,60	1292,03000	437,3302 0	,167	-441,4785	3025,5385
	8,60	5,60	- 3620,53000*	437,3302 0	,001	-	-
		6,10	2739,29500*	437,3302 0	,004	-	-
		6,60	2595,45000*	437,3302 0	,006	-	-861,9415
		7,10	2220,49500*	437,3302 0	,014	-	-486,9865
		7,60	1828,64000*	437,3302 0	,039	-	-95,1315
		8,10	-1292,03000	437,3302 0	,167	-	441,4785
						3025,5385	
Flujo_Seco	5,60	6,10	-,34500*	,06464	,011	-,6012	-,0888
		6,60	-,61000*	,06464	,000	-,8662	-,3538
		7,10	-,74000*	,06464	,000	-,9962	-,4838
		7,60	-1,02000*	,06464	,000	-1,2762	-,7638
		8,10	-1,44000*	,06464	,000	-1,6962	-1,1838
		8,60	-1,57500*	,06464	,000	-1,8312	-1,3188
	6,10	5,60	,34500*	,06464	,011	,0888	,6012
		6,60	-,26500*	,06464	,043	-,5212	-,0088
		7,10	-,39500*	,06464	,005	-,6512	-,1388
		7,60	-,67500*	,06464	,000	-,9312	-,4188
		8,10	-1,09500*	,06464	,000	-1,3512	-,8388
		8,60	-1,23000*	,06464	,000	-1,4862	-,9738
	6,60	5,60	,61000*	,06464	,000	,3538	,8662
		6,10	,26500*	,06464	,043	,0088	,5212
		7,10	-,13000	,06464	,480	-,3862	,1262

	7,60	-,41000*	,06464	,004	-,6662	-,1538
	8,10	-,83000*	,06464	,000	-1,0862	-,5738
	8,60	-,96500*	,06464	,000	-1,2212	-,7088
7,10	5,60	,74000*	,06464	,000	,4838	,9962
	6,10	,39500*	,06464	,005	,1388	,6512
	6,60	,13000	,06464	,480	-,1262	,3862
	7,60	-,28000*	,06464	,033	-,5362	-,0238
	8,10	-,70000*	,06464	,000	-,9562	-,4438
	8,60	-,83500*	,06464	,000	-1,0912	-,5788
7,60	5,60	1,02000*	,06464	,000	,7638	1,2762
	6,10	,67500*	,06464	,000	,4188	,9312
	6,60	,41000*	,06464	,004	,1538	,6662
	7,10	,28000*	,06464	,033	,0238	,5362
	8,10	-,42000*	,06464	,004	-,6762	-,1638
	8,60	-,55500*	,06464	,001	-,8112	-,2988
8,10	5,60	1,44000*	,06464	,000	1,1838	1,6962
	6,10	1,09500*	,06464	,000	,8388	1,3512
	6,60	,83000*	,06464	,000	,5738	1,0862
	7,10	,70000*	,06464	,000	,4438	,9562
	7,60	,42000*	,06464	,004	,1638	,6762
	8,60	-,13500	,06464	,444	-,3912	,1212
8,60	5,60	1,57500*	,06464	,000	1,3188	1,8312
	6,10	1,23000*	,06464	,000	,9738	1,4862
	6,60	,96500*	,06464	,000	,7088	1,2212
	7,10	,83500*	,06464	,000	,5788	1,0912
	7,60	,55500*	,06464	,001	,2988	,8112

		8,10	,13500	,06464	,444	-,1212	,3912
Flujo_Humedo	5,60	6,10	-,25500*	,06124	,040	-,4977	-,0123
		6,60	-,25000*	,06124	,044	-,4927	-,0073
		7,10	-,35000*	,06124	,007	-,5927	-,1073
		7,60	-,61000*	,06124	,000	-,8527	-,3673
		8,10	-,79000*	,06124	,000	-1,0327	-,5473
		8,60	-1,06500*	,06124	,000	-1,3077	-,8223
	6,10	5,60	,25500*	,06124	,040	,0123	,4977
		6,60	,00500	,06124	1,000	-,2377	,2477
		7,10	-,09500	,06124	,713	-,3377	,1477
		7,60	-,35500*	,06124	,007	-,5977	-,1123
		8,10	-,53500*	,06124	,001	-,7777	-,2923
		8,60	-,81000*	,06124	,000	-1,0527	-,5673
	6,60	5,60	,25000*	,06124	,044	,0073	,4927
		6,10	-,00500	,06124	1,000	-,2477	,2377
		7,10	-,10000	,06124	,671	-,3427	,1427
		7,60	-,36000*	,06124	,006	-,6027	-,1173
		8,10	-,54000*	,06124	,001	-,7827	-,2973
		8,60	-,81500*	,06124	,000	-1,0577	-,5723
	7,10	5,60	,35000*	,06124	,007	,1073	,5927
		6,10	,09500	,06124	,713	-,1477	,3377
		6,60	,10000	,06124	,671	-,1427	,3427
		7,60	-,26000*	,06124	,036	-,5027	-,0173
		8,10	-,44000*	,06124	,002	-,6827	-,1973
		8,60	-,71500*	,06124	,000	-,9577	-,4723
	7,60	5,60	,61000*	,06124	,000	,3673	,8527

		6,10	,35500*	,06124	,007	,1123	,5977
		6,60	,36000*	,06124	,006	,1173	,6027
		7,10	,26000*	,06124	,036	,0173	,5027
		8,10	-,18000	,06124	,170	-,4227	,0627
		8,60	-,45500*	,06124	,002	-,6977	-,2123
	8,10	5,60	,79000*	,06124	,000	,5473	1,0327
		6,10	,53500*	,06124	,001	,2923	,7777
		6,60	,54000*	,06124	,001	,2973	,7827
		7,10	,44000*	,06124	,002	,1973	,6827
		7,60	,18000	,06124	,170	-,0627	,4227
		8,60	-,27500*	,06124	,027	-,5177	-,0323
	8,60	5,60	1,06500*	,06124	,000	,8223	1,3077
		6,10	,81000*	,06124	,000	,5673	1,0527
		6,60	,81500*	,06124	,000	,5723	1,0577
		7,10	,71500*	,06124	,000	,4723	,9577
		7,60	,45500*	,06124	,002	,2123	,6977
		8,10	,27500*	,06124	,027	,0323	,5177
Perdida_Estabil	5,60	6,10	,54500	,60017	,960	-1,8340	2,9240
idad		6,60	4,09000*	,60017	,003	1,7110	6,4690
		7,10	6,40000*	,60017	,000	4,0210	8,7790
		7,60	8,91000*	,60017	,000	6,5310	11,2890
		8,10	7,02000*	,60017	,000	4,6410	9,3990
		8,60	4,13000*	,60017	,003	1,7510	6,5090
	6,10	5,60	-,54500	,60017	,960	-2,9240	1,8340
		6,60	3,54500*	,60017	,006	1,1660	5,9240
		7,10	5,85500*	,60017	,000	3,4760	8,2340

	7,60	8,36500*	,60017	,000	5,9860	10,7440
	8,10	6,47500*	,60017	,000	4,0960	8,8540
	8,60	3,58500*	,60017	,006	1,2060	5,9640
6,60	5,60	-4,09000*	,60017	,003	-6,4690	-1,7110
	6,10	-3,54500*	,60017	,006	-5,9240	-1,1660
	7,10	2,31000	,60017	,057	-,0690	4,6890
	7,60	4,82000*	,60017	,001	2,4410	7,1990
	8,10	2,93000*	,60017	,018	,5510	5,3090
	8,60	,04000	,60017	1,000	-2,3390	2,4190
7,10	5,60	-6,40000*	,60017	,000	-8,7790	-4,0210
	6,10	-5,85500*	,60017	,000	-8,2340	-3,4760
	6,60	-2,31000	,60017	,057	-4,6890	,0690
	7,60	2,51000*	,60017	,039	,1310	4,8890
	8,10	,62000	,60017	,930	-1,7590	2,9990
	8,60	-2,27000	,60017	,062	-4,6490	,1090
7,60	5,60	-8,91000*	,60017	,000	-11,2890	-6,5310
	6,10	-8,36500*	,60017	,000	-10,7440	-5,9860
	6,60	-4,82000*	,60017	,001	-7,1990	-2,4410
	7,10	-2,51000*	,60017	,039	-4,8890	-,1310
	8,10	-1,89000	,60017	,132	-4,2690	,4890
	8,60	-4,78000*	,60017	,001	-7,1590	-2,4010
8,10	5,60	-7,02000*	,60017	,000	-9,3990	-4,6410
	6,10	-6,47500*	,60017	,000	-8,8540	-4,0960
	6,60	-2,93000*	,60017	,018	-5,3090	-,5510
	7,10	-,62000	,60017	,930	-2,9990	1,7590
	7,60	1,89000	,60017	,132	-,4890	4,2690

		8,60	-2,89000*	,60017	,019	-5,2690	-,5110
8,60	5,60		-4,13000*	,60017	,003	-6,5090	-1,7510
		6,10	-3,58500*	,60017	,006	-5,9640	-1,2060
		6,60	-,04000	,60017	1,000	-2,4190	2,3390
		7,10	2,27000	,60017	,062	-,1090	4,6490
		7,60	4,78000*	,60017	,001	2,4010	7,1590
		8,10	2,89000*	,60017	,019	,5110	5,2690
Volumen_Vaci	5,60	6,10	,22900	,93396	1,000	-3,4731	3,9311
os		6,60	,45600	,93396	,998	-3,2461	4,1581
		7,10	,40050	,93396	,999	-3,3016	4,1026
		7,60	-,13100	,93396	1,000	-3,8331	3,5711
		8,10	-1,06500	,93396	,896	-4,7671	2,6371
		8,60	-1,05200	,93396	,901	-4,7541	2,6501
6,10	5,60		-,22900	,93396	1,000	-3,9311	3,4731
		6,60	,22700	,93396	1,000	-3,4751	3,9291
		7,10	,17150	,93396	1,000	-3,5306	3,8736
		7,60	-,36000	,93396	1,000	-4,0621	3,3421
		8,10	-1,29400	,93396	,795	-4,9961	2,4081
		8,60	-1,28100	,93396	,801	-4,9831	2,4211
6,60	5,60		-,45600	,93396	,998	-4,1581	3,2461
		6,10	-,22700	,93396	1,000	-3,9291	3,4751
		7,10	-,05550	,93396	1,000	-3,7576	3,6466
		7,60	-,58700	,93396	,993	-4,2891	3,1151
		8,10	-1,52100	,93396	,673	-5,2231	2,1811
		8,60	-1,50800	,93396	,681	-5,2101	2,1941
7,10	5,60		-,40050	,93396	,999	-4,1026	3,3016

	6,10	-,17150	,93396	1,000	-3,8736	3,5306	
	6,60	,05550	,93396	1,000	-3,6466	3,7576	
	7,60	-,53150	,93396	,996	-4,2336	3,1706	
	8,10	-1,46550	,93396	,704	-5,1676	2,2366	
	8,60	-1,45250	,93396	,711	-5,1546	2,2496	
7,60	5,60	,13100	,93396	1,000	-3,5711	3,8331	
	6,10	,36000	,93396	1,000	-3,3421	4,0621	
	6,60	,58700	,93396	,993	-3,1151	4,2891	
	7,10	,53150	,93396	,996	-3,1706	4,2336	
	8,10	-,93400	,93396	,939	-4,6361	2,7681	
	8,60	-,92100	,93396	,942	-4,6231	2,7811	
8,10	5,60	1,06500	,93396	,896	-2,6371	4,7671	
	6,10	1,29400	,93396	,795	-2,4081	4,9961	
	6,60	1,52100	,93396	,673	-2,1811	5,2231	
	7,10	1,46550	,93396	,704	-2,2366	5,1676	
	7,60	,93400	,93396	,939	-2,7681	4,6361	
	8,60	,01300	,93396	1,000	-3,6891	3,7151	
8,60	5,60	1,05200	,93396	,901	-2,6501	4,7541	
	6,10	1,28100	,93396	,801	-2,4211	4,9831	
	6,60	1,50800	,93396	,681	-2,1941	5,2101	
	7,10	1,45250	,93396	,711	-2,2496	5,1546	
	7,60	,92100	,93396	,942	-2,7811	4,6231	
	8,10	-,01300	,93396	1,000	-3,7151	3,6891	
Vacios_Llenos_	5,60	6,10	-2,10950	4,72669	,999	-20,8454	16,6264
Asfalto		6,60	-4,46550	4,72669	,952	-23,2014	14,2704
		7,10	-5,29750	4,72669	,903	-24,0334	13,4384

	7,60	-2,71950	4,72669	,996	-21,4554	16,0164
	8,10	1,06850	4,72669	1,000	-17,6674	19,8044
	8,60	,65200	4,72669	1,000	-18,0839	19,3879
6,10	5,60	2,10950	4,72669	,999	-16,6264	20,8454
	6,60	-2,35600	4,72669	,998	-21,0919	16,3799
	7,10	-3,18800	4,72669	,990	-21,9239	15,5479
	7,60	-,61000	4,72669	1,000	-19,3459	18,1259
	8,10	3,17800	4,72669	,990	-15,5579	21,9139
	8,60	2,76150	4,72669	,995	-15,9744	21,4974
6,60	5,60	4,46550	4,72669	,952	-14,2704	23,2014
	6,10	2,35600	4,72669	,998	-16,3799	21,0919
	7,10	-,83200	4,72669	1,000	-19,5679	17,9039
	7,60	1,74600	4,72669	1,000	-16,9899	20,4819
	8,10	5,53400	4,72669	,885	-13,2019	24,2699
	8,60	5,11750	4,72669	,915	-13,6184	23,8534
7,10	5,60	5,29750	4,72669	,903	-13,4384	24,0334
	6,10	3,18800	4,72669	,990	-15,5479	21,9239
	6,60	,83200	4,72669	1,000	-17,9039	19,5679
	7,60	2,57800	4,72669	,997	-16,1579	21,3139
	8,10	6,36600	4,72669	,813	-12,3699	25,1019
	8,60	5,94950	4,72669	,851	-12,7864	24,6854
7,60	5,60	2,71950	4,72669	,996	-16,0164	21,4554
	6,10	,61000	4,72669	1,000	-18,1259	19,3459
	6,60	-1,74600	4,72669	1,000	-20,4819	16,9899
	7,10	-2,57800	4,72669	,997	-21,3139	16,1579
	8,10	3,78800	4,72669	,977	-14,9479	22,5239

	8,60	3,37150	4,72669	,987	-15,3644	22,1074
8,10	5,60	-1,06850	4,72669	1,000	-19,8044	17,6674
	6,10	-3,17800	4,72669	,990	-21,9139	15,5579
	6,60	-5,53400	4,72669	,885	-24,2699	13,2019
	7,10	-6,36600	4,72669	,813	-25,1019	12,3699
	7,60	-3,78800	4,72669	,977	-22,5239	14,9479
	8,60	-,41650	4,72669	1,000	-19,1524	18,3194
8,60	5,60	-,65200	4,72669	1,000	-19,3879	18,0839
	6,10	-2,76150	4,72669	,995	-21,4974	15,9744
	6,60	-5,11750	4,72669	,915	-23,8534	13,6184
	7,10	-5,94950	4,72669	,851	-24,6854	12,7864
	7,60	-3,37150	4,72669	,987	-22,1074	15,3644
	8,10	,41650	4,72669	1,000	-18,3194	19,1524

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.