



Universidad  
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de  
Ingeniería Civil

Tesis

**Ensayo de Geelong modificado para la evaluación  
de la erosión por lluvia a nivel de afirmado, tratado  
con cemento, cal y emulsión en la carretera  
departamental HV 109, Huancavelica 2018**

**Wilmer Jholiño Rojas Meza**

Huancayo, 2019

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

**ASESOR**

Ing. Augusto Elías García Corzo

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento a nivel de afirmado, tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia a través del Ensayo de Geelong de la carretera departamental Hv 109; se busca obtener el óptimo diseño del afirmado realizando combinaciones de agregado fino y agregado grueso extraído de la cantera del Km 80 de la carretera departamental Hv 109 a través del estudio del CBR, de igual modo se analizó la incidencia de material aditivo como cemento, cal y emulsión en el valor del CBR. Asimismo, se busca analizar y cuantificar el deterioro del afirmado por erosión debido a las lluvias a través de la aplicación del ensayo de Geelong en los análisis para cada muestra con aditivos hasta encontrar el mejor tratamiento del afirmado la cuál sea más resistente a la erosión por lluvia.

Los datos de aforo se obtuvieron a través de ensayos en laboratorio como Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR y el Ensayo de Geelong Modificado con material extraído de la localidad de Huancavelica, el análisis de datos se realizó mediante hojas de cálculo donde se ingresó los resultados según diferentes combinaciones de afirmado más porcentajes progresivos de cal, cemento y emulsión, y resultados del porcentaje de pérdida de material por erosión debido al chorro de agua (Ensayo de Geelong Modificado).

De esta manera se obtuvo una combinación de mezcla óptima de 75% de grava y 25% de fino con un CBR de 48.1% al 100% de Máxima densidad seca a 1" de penetración, donde la mezcla de agregados con el mayor CBR (75% de grava y 25% de fino) se combinó con 0.5%, 0.8%, 1.1% 1.4% y 1.7% de cal, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% y 1.0% de cemento, encontrando una correlación de tendencia positiva del CBR a medida que incrementa el porcentaje de adición de estos tratamientos, y reduciendo el porcentaje de pérdida de peso y profundidad de daño del material de afirmado evaluado a través del Ensayo de Geelong; también se combinó con un

1.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0% y 10.0% de emulsión, donde se obtuvo un valor de CBR máximo al 6.0% de emulsión con un CBR de 56.9% al 100% de Máxima densidad seca a 1” de penetración, y a medida que se incrementa el porcentaje de emulsión asfáltica se reduce el valor de CBR y de igual modo también se reduce la pérdida de material de afirmado; es decir, mientras mayor porcentaje de emulsión tenga el afirmado es más resistente a la erosión causada por el agua.

De esta manera, se presenta una solución para la evaluación de la erosión por lluvia a nivel de afirmado frente al deterioro de las vías.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi padre Magno Rojas; mi madre Pelaya Meza, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste tú sola. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

Mis abuelos Emilia Villanueva y Policarpio Meza (QEPD), por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

Mi hermano, Rosembert Ríos Meza, por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho hermano.

Mi novia, Jenny Huaycañe López, porque en este último tramo de mi vida me enseñaste a ser mejor persona y abriste mi mente hacia nuevos horizontes.

Todos mis amigos, Rubén, Cesar, Ítalo, Danny, Beker, Ángel y Katharine, por compartir los buenos y malos momentos.

Todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

## **DEDICATORIA**

A Dios, por derramar su bendición en mi vida.

A mis padres, porque me brindaron su apoyo incondicional, su amor y comprensión infinita.

A mi hermano, abuelos y amigos por su aliento y motivación para seguir a pesar de las dificultades de la vida.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>ASESOR .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>vi</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>xiv</b>

### CAPITULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del Problema .....	16
1.2. Formulación del Problema .....	18
1.2.1. Problema General .....	18
1.2.2. Problemas Específicos .....	18
1.3. Objetivos de la Investigación.....	18
1.3.1. Objetivo General.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos .....	19
1.4. Justificación de la Investigación .....	19
1.4.1. Justificación Teórica.....	19
1.4.2. Justificación Práctica .....	20
1.4.3. Justificación Metodológica.....	20
1.4.4. Justificación Económica .....	20
1.4.5. Justificación Ambiental .....	21
1.5. Delimitación de la Investigación .....	21
1.5.1. Delimitación Temporal.....	21
1.5.2. Delimitación Social .....	21
1.5.3. Delimitación Espacial.....	21
1.6. Hipótesis de la Investigación .....	23
1.6.1. Hipótesis General .....	23
1.6.2. Hipótesis Específicas .....	23

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación.....	25
2.1.1. Antecedente Internacional .....	25
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	27
2.2. Marco Legal .....	29
2.2.1. Manual de especificaciones técnicas de la construcción de carreteras.....	29

2.2.2.	Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito. ....	29
2.2.3.	Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG- 2001).....	30
2.2.4.	Manual de ensayo de materiales.....	30
2.3.	Bases Teóricas .....	30
2.3.1.	Afirmado.....	30
2.3.2.	Estudios de canteras y fuentes de agua.....	31
2.3.3.	Estudios de tráfico .....	40
2.3.4.	Estudios hidrológicos-pluviométricos .....	41
2.3.5.	Estudios de mecánica de suelos.....	41
2.3.5.1.	Ensayo de Granulometría.....	42
2.3.5.2.	Ensayo de Limites de Atterberg.....	42
2.3.5.3.	Ensayo de Proctor modificado .....	43
2.3.5.4.	Ensayo de CBR .....	44
2.4.	Ensayo de Geelong .....	44
2.5.	Definición de Términos Básicos .....	56

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

3.1.	Método de Investigación.....	58
3.2.	Tipo de Investigación.....	59
3.2.1.	Por Propósito o Finalidad Perseguida.....	59
3.2.2.	Por Clase de Medios Utilizados para Obtener Datos .....	59
3.3.	Nivel de Investigación .....	59
3.4.	Diseño de la Investigación .....	60
3.5.	Variables .....	60
3.5.1.	Variable Independiente.....	60
3.5.2.	Variable Dependiente .....	60
3.6.	Operacionalización de Variables: .....	61
3.7.	Población y Muestra .....	62
3.7.1.	Población .....	62
3.7.2.	Muestra .....	62
3.7.3.	Muestreo .....	63
3.8.	Técnicas E Instrumentos de la Recolección de Datos .....	64
3.8.1.	Técnicas .....	64
3.8.2.	Instrumentos .....	65

3.8.3.	Procesamiento de la Información .....	65
3.9.	Procedimiento de la Metodología .....	66
3.9.1.	Análisis de agregado de cantera del Km 80 de Huancavelica.....	66

**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS**

4.1.	Descripción de Resultados .....	75
4.2.	Análisis de Resultados de Muestras Agregado Grueso – Agregado Fino .....	75
4.2.1.	Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Material Granular y Material Fino .....	76
4.2.2.	Resultados de Combinación Material Granular y Material Fino.....	76
4.2.3.	Análisis Estadístico del Material Granular y Material Fino .....	78
4.3.	Análisis de Resultados de Muestras Óptimo Cbr más Aditivos (Cemento, Cal y Emulsión) .....	83
4.3.1.	Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Cemento.....	83
4.3.2.1.	Combinación Óptimo Cbr más 0,2% Cemento.....	84
4.3.2.2.	Combinación Óptimo Cbr más 0,4% Cemento.....	85
4.3.2.3.	Combinación Óptimo Cbr más 0,6% Cemento.....	87
4.3.2.4.	Combinación Óptimo Cbr más 0,8% Cemento.....	89
4.3.2.5.	Combinación Óptimo Cbr más 1,0% Cemento.....	91
4.3.2.6.	Resumen De Resultados.....	92
4.3.2.	Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Cal.....	94
4.3.2.1.	Combinación Óptimo Cbr y 0,5% Cal .....	95
4.3.2.2.	Combinación Óptimo Cbr y 0,8% Cal .....	96
4.3.2.3.	Combinación Óptimo Cbr Y 1,1% Cal .....	98
4.3.2.4.	Combinación Óptimo Cbr y 1,4% Cal .....	100
4.3.2.5.	Combinación Óptimo Cbr y 1,7% Cal .....	101
4.3.2.6.	Resumen de Resultados .....	103
4.3.3.	Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Emulsión.....	105
4.3.3.1.	Combinación Cbr Óptimo y 2% Emulsión .....	105
4.3.3.2.	Combinación Cbr Óptimo y 4% Emulsión .....	107
4.3.3.3.	Combinación Cbr Óptimo y 6% Emulsión .....	109
4.3.3.4.	Combinación Cbr Óptimo Afirmado y 8% Emulsión.....	110
4.3.3.5.	Combinación Cbr Óptimo y 10% Emulsión .....	112

4.3.3.6.	Resumen de Mezclas.....	114
4.4.	Análisis Estadístico de las Combinaciones de Cbr Óptimo más Aditivos (Cemento, Cal y Emulsión) .....	115
4.4.1.	Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Cemento – Cbr de 1” al 100% .....	115
4.4.2.	Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Cal – Cbr de 1” al 100%.....	119
4.4.3.	Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Emulsión – Cbr de 1” al 100% .....	123
4.5.	Análisis de Cbr y Geelong .....	127
4.5.1.	Análisis Cbr Agregado Fino y Agregado Grueso – Geelong .....	127
4.5.2.	Análisis Óptimo Cbr más Cemento - Geelong .....	129
4.5.3.	Análisis Óptimo Cbr más Cal - Geelong.....	130
4.5.4.	Análisis Óptimo Cbr más Emulsión - Geelong .....	132
4.6.	Contraste de Hipótesis .....	134
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>136</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>138</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>139</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>143</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características Básicas Para la Superficie de Rodadura de los Caminos de Bajo Volumen de Tránsito.....	32
<b>Tabla 2.</b> Husos Granulométricos para Afirmado .....	33
<b>Tabla 3.</b> Ensayos para Material de Afirmado .....	38
<b>Tabla 4.</b> Criterio de Clasificación para la resistencia a la erosión – Caída de Agua .....	47
<b>Tabla 5.</b> Características del Ensayo de Pulverizado, especificado con las diferentes Normas Internacionales.....	49
<b>Tabla 6.</b> Tabla de Clasificación de Tipos de Erosiones .....	50
<b>Tabla 7.</b> Resumen de Resultados del CBR a partir de las combinaciones realizadas.....	77
<b>Tabla 8.</b> Datos estadísticos para CBR al 100% a 1” de penetración.....	79
<b>Tabla 9.</b> Prueba de normalidad para CBR al 100%, penetración de 1” .....	79
<b>Tabla 10.</b> Correlación para CBR al 100%, penetración de 1” .....	80
<b>Tabla 11.</b> Resumen de resultados obtenidos del CBR por Óptimo - Cemento.....	93
<b>Tabla 12.</b> Resumen de resultados obtenidos del CBR Afirmado - %Cal .....	103
<b>Tabla 13.</b> Resumen de resultados obtenidos del CBR por Grava y Fino - %Emulsión.....	114
<b>Tabla 14.</b> Datos Estadísticos para Cbr al 100% a 1” de Penetración.....	115
<b>Tabla 15.</b> Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1” .....	116
<b>Tabla 16.</b> Correlación para CBR al 100%, penetración de 1” .....	118
<b>Tabla 17.</b> Rango de Correlación “r”.....	118
<b>Tabla 18.</b> Datos Estadísticos para Cbr al 100% a 1” de Penetración.....	119
<b>Tabla 19.</b> Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1” .....	120
<b>Tabla 20.</b> Correlación para CBR al 100%, penetración de 1” .....	122
<b>Tabla 21.</b> Rango de Correlación “r”.....	122
<b>Tabla 22.</b> Datos Estadísticos para Cbr al 100% A 1” de Penetración.....	123
<b>Tabla 23.</b> Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1” .....	124
<b>Tabla 24.</b> Correlación para CBR al 100%, penetración de 1” .....	126
<b>Tabla 25.</b> Rango de Correlación “r”.....	126
<b>Tabla 26.</b> Tabla Resumen de los Tratamientos Aplicados.....	135

## INDICE DE FIGURAS:

<b>Figura 1.</b> Ubicación Geográfica Carretera Departamental Hv 109 .....	22
<b>Figura 2.</b> Ubicación del Proyecto .....	22
<b>Figura 3.</b> Ubicación Específica del Proyecto.....	23
<b>Figura 4.</b> Límites de Atterberg.....	42
<b>Figura 5.</b> Esquema de Ensayo por caída de agua.....	47
<b>Figura 6.</b> Esquema de Ensayo SAET.....	48
<b>Figura 7.</b> Esquema de Ensayo por pulverización (Geelong Modificado).....	51
<b>Figura 8.</b> Prototipo del Ensayo de Erosión por pulverizado .....	52
<b>Figura 9.</b> Sistema de Presión - Ensayo de Pulverizado.....	52
<b>Figura 10.</b> Aplicación del Ensayo de erosión por pulverizado .....	53
<b>Figura 11.</b> Boquilla Serie Fulljet 1550.....	54
<b>Figura 12.</b> Sistema de Colocación para muestras - Ensayo por pulverizado.....	55
<b>Figura 13.</b> Obtención de agregado granular y fino – Cantera Km 80.....	63
<b>Figura 14.</b> Toma de muestras en cantera Km. 80 Huancavelica.....	64
<b>Figura 15.</b> Selección del material de muestra .....	67
<b>Figura 16.</b> Tamizado del material seleccionado como muestra.....	67
<b>Figura 17.</b> Pesado del material retenido según cada tamiz .....	68
<b>Figura 18.</b> Compactación de la muestra a 75 golpes .....	68
<b>Figura 19.</b> Proporciones de mezcla para CBR (Fino- Grueso).....	69
<b>Figura 20.</b> Compactación del CBR a 10, 25 y 56 golpes.....	69
<b>Figura 21.</b> Cálculo de Penetración y Dial .....	70
<b>Figura 22.</b> Cemento.....	70
<b>Figura 23.</b> Cal .....	71
<b>Figura 24.</b> Emulsión.....	71
<b>Figura 25.</b> Etiquetado de muestras tratadas con Cemento, cal y emulsión.....	72
<b>Figura 26.</b> Colocación de muestra .....	72
<b>Figura 27.</b> Realización del Ensayo por Pulverizado .....	73
<b>Figura 28.</b> Aplicación del Chorro de Agua.....	73
<b>Figura 29.</b> Colocación de muestras al horno.....	73
<b>Figura 30.</b> Pesado de muestras y toma de datos .....	74
<b>Figura 31.</b> Muestras después del ensayo de Geelong .....	74
<b>Figura 32.</b> Resumen Gráfico de Resultados Obtenidos del CBR con las diferentes combinaciones.....	78
<b>Figura 33.</b> Línea tendencia de agregado fino y el valor de CBR al 100% - 1” .....	81
<b>Figura 34.</b> Grafica de línea tendencia en porcentaje de agregado grueso versus el valor de CBR al 100% - 1”.....	82
<b>Figura 35.</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.2% Cemento .....	84
<b>Figura 36.</b> Gráfica de Curva de Penetración – 0.2% Cemento .....	85
<b>Figura 37.</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.4% Cemento .....	86
<b>Figura 38.</b> Gráfica de Curva de Penetración – 0.4% Cemento .....	87
<b>Figura 39.</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.6% Cemento .....	88
<b>Figura 40.</b> Gráfica de Curva de Penetración – 0.6% Cemento .....	88
<b>Figura 41.</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.8% Cemento .....	89
<b>Figura 42.</b> Gráfica de Curva de Penetración – 0.8% Cemento .....	90
<b>Figura 43.</b> Gráfico de Penetración CBR - 1.0% Cemento .....	91

<b>Figura 44:</b> Gráfica de Curva de Penetración – 1.0% Cemento.....	92
<b>Figura 45.</b> Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR por Óptimo - Cemento .....	94
<b>Figura 46.</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.5% Cal.....	95
<b>Figura 47.</b> Gráfica de Curva de Penetración 0.5% Cal.....	96
<b>Figura 48:</b> Gráfico de Penetración CBR - 0.8% Cal.....	97
<b>Figura 49.</b> Gráfica de Curva de Penetración 0.8% Cal.....	97
<b>Figura 50.</b> Gráfico de Penetración CBR - 1.1% Cal.....	98
<b>Figura 51.</b> Gráfica de Curva de Penetración 1.1% Cal.....	99
<b>Figura 52.</b> Gráfico de Penetración CBR - 1.4% Cal.....	100
<b>Figura 53.</b> Gráfica de Curva de Penetración 1.4% Cal.....	101
<b>Figura 54.</b> Gráfico de Penetración CBR - 1.7% Cal.....	102
<b>Figura 55.</b> Gráfica de Curva de Penetración 1.7% Cal.....	102
<b>Figura 56.</b> Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR - Cal .....	104
<b>Figura 57.</b> Gráfico de Penetración CBR - 2% Emulsión .....	106
<b>Figura 58.</b> Gráfica de Curva de Penetración 2% Emulsión .....	106
<b>Figura 59:</b> Gráfico de Penetración CBR - 4% Emulsión.....	107
<b>Figura 60:</b> Gráfica de Curva de Penetración 4% Emulsión.....	108
<b>Figura 61:</b> Gráfico de Penetración CBR - 6% Emulsión.....	109
<b>Figura 62.</b> Gráfica de Curva de Penetración 6% Emulsión .....	110
<b>Figura 63:</b> Gráfico de Penetración CBR - 8% Emulsión.....	111
<b>Figura 64:</b> Gráfica de Curva de Penetración 8% Emulsión.....	111
<b>Figura 65:</b> Gráfico de Penetración CBR - 10% Emulsión.....	112
<b>Figura 66.</b> Gráfica de Curva de Penetración 10% Emulsión .....	113
<b>Figura 67.</b> Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR – Emulsión Asfáltica.....	115
<b>Figura 68.</b> Línea Tendencia de Porcentaje (%) de cemento y el valor de CBR al 100% - 1” .....	119
<b>Figura 69.</b> Línea Tendencia de Porcentaje (%) de cal y el valor de CBR al 100% - 1” .....	123
<b>Figura 70.</b> Línea Tendencia de Porcentaje (%) de Emulsión y el valor de CBR al 100% - 1” .....	127
<b>Figura 71.</b> CBR -MDS AL 100% (Agregado fino- Agregado Grueso).....	128
<b>Figura 72.</b> %Pérdida de Peso - Geelong (Agregado fino- Agregado Grueso).....	128
<b>Figura 73.</b> CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Cemento).....	130
<b>Figura 74.</b> %Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Cemento) .....	130
<b>Figura 75.</b> CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Cal) .....	131
<b>Figura 76.</b> %Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Cal) .....	132
<b>Figura 77.</b> CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Emulsión).....	133
<b>Figura 78.</b> % Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Emulsión).....	134

## INTRODUCCIÓN

El gobierno del país a través del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), tiene como objetivo principal reducir el déficit de infraestructura vial a nivel nacional para incrementar la productividad y competitividad para así lograr el desarrollo de la población. Para ello el objetivo es mejorar y alcanzar niveles razonables de transitabilidad y gestión vial; para lo cual en 1968 se crea el MTC para la conservación y desarrollo de infraestructura vial que implementa un nuevo sistema de gestión vial en el país, cuyo objetivo moderno es la construcción, rehabilitación, mejoramiento, conservación, atención de emergencias viales, relevamiento de información y operación de la red vial nacional.

En tal sentido, la presente investigación cuyo título es “ENSAYO DE GEELONG MODIFICADO PARA LA EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN POR LLUVIA A NIVEL DE AFIRMADO, TRATADO CON CEMENTO, CAL Y EMULSIÓN EN LA CARRETERA DEPARTAMENTAL HV 109, HUANCVELICA 2018”, analizará la erosión por lluvia del afirmado de la carretera departamental Hv 109 con material extraído de la cantera del Km. 80, alcanzando un óptimo CBR con las combinaciones de cemento, cal y emulsión, para que a través del ensayo de Geelong se mida su pérdida de peso y la profundidad de la erosión causada, y sus efectos consecuentes en el pavimento a nivel de afirmado.

Para un mejor entendimiento la investigación se ha dividido en 4 capítulos que se detallan a continuación:

En el Capítulo I, se detalla el Planteamiento del Estudio, a partir de una situación observada, que permitirá la formulación del problema, y objetivos y la razón de la presente investigación.

En el Capítulo II, se hace la recopilación de información (bases teóricas), como conceptos básicos y fuentes sobre el tema planteado, que permitirán argumentar la presente investigación.

En el Capítulo III se abarca la metodología de la investigación (tipo, nivel, método y diseño), además la manera de cómo se alcanzarán los objetivos planteados.

En el Capítulo IV, se analizarán los resultados de los Ensayos realizados en laboratorio y la correlación de variables.

Se plantean las Conclusiones y Recomendaciones del estudio, y finalmente se anexan las pruebas de Laboratorio “ICCSAH” (Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor y CBR) y el Laboratorio “QAQC Express” (Ensayo de Geelong Modificado).

El Autor

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del Problema**

Se plantea la presente investigación debido a que existe la carencia de un ensayo en la norma peruana que nos permita evaluar el afirmado con respecto al daño causado por la erosión del agua (lluvia), el cual nos brinde información útil para poder analizar y adoptar decisiones para así mejorar los diseños de los afirmados en nuestra localidad, región y país; ya que, según las estadísticas del MTC, el 84.76%, de la red vial del Perú está constituida por carreteras no pavimentadas o a nivel de afirmado que son vías de bajo volumen de tránsito, y para darle un adecuado tratamiento, se debe mejorar la técnica de diseño y construcción de las mismas pues a diferencia de los pavimentos asfaltados, los pavimentos a nivel de afirmado son extremadamente vulnerables a los efectos climatológicos y los causados por el tráfico.

La realización de un afirmado consiste en la construcción de capas, el cual consta de una mezcla de materiales granulares seleccionados, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, tienen que ser debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie. Los materiales aprobados son provenientes de canteras, generalmente el afirmado se utiliza para superficies de rodadura en carreteras no pavimentadas. (1)

La red vial de Huancavelica se encuentra en un 25% a nivel de afirmado, y esto tiene mayor incidencia alrededor de la ciudad, existe la necesidad de conectar poblaciones con la ciudad principal, es por eso por lo que se realizan este tipo de afirmados que en si tienen menores costos a un pavimento flexible o rígido, pero la presencia de un clima variante hace que el afirmado sufra cambios bruscos.

Estos son problemas estructurales y superficiales que se presentan debido a la acción del tráfico y a las condiciones climáticas (sol, lluvias, presencia de hielo, efecto del deshielo). El deterioro ocurre en varias etapas, desde un deterioro lento que no se percibe hasta un deterioro crítico, donde se evidencia un gran daño al afirmado, por lo cual es natural observar en periodos de tiempo cortos su deterioro y desgaste que causan baches, fisuras, huecos, etc. Es por ello por lo que se debe garantizar la funcionabilidad y la durabilidad de las vías; así como la obligatoriedad de los mantenimientos rutinarios para que estas puedan cumplir con su propósito y estar en óptimo estado.

En la presente investigación se plantea la solución de realizar el tratamiento al afirmado con cemento, cal y emulsión para mejorar sus propiedades de resistencia y finalmente evaluar a través del Ensayo de Geelong su pérdida de peso y profundidad de daño causado por el chorro de agua, determinando así el mejor tratamiento que ayude a reducir la erosión del afirmado, realizando para ello ensayos en laboratorio y

comparaciones que conlleven a visualizar el comportamiento entre el afirmado tratado y la resistencia a la erosión por lluvia.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿Cómo es el comportamiento del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia medido a través del Ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

- ¿Cuál es la combinación de Grava y agregado fino que nos brinda el CBR óptimo de la carretera departamental Hv 109 a nivel de afirmado, Huancavelica 2018?
- ¿Cuánto es el valor de pérdida de peso del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia evaluado a través ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018?
- ¿Cuánto es la profundidad de daño del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia evaluada a través ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018?

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

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar el comportamiento del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia medido a través del Ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Lograr la combinación óptima de grava y agregado fino que nos brinda el CBR óptimo de la carretera departamental Hv 109 a nivel de afirmado, Huancavelica 2018.
- Medir la pérdida de peso del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia evaluado a través ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018.
- Medir la profundidad de daño del afirmado tratado con cemento, cal y emulsión ante la erosión por lluvia evaluado a través ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018.

## **1.4. Justificación de la Investigación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

Para el año 2017 el 84.76% de la red de carreteras del Perú no han sido pavimentadas según fuente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), y esto afecta directamente al desarrollo y crecimiento del país pues las carreteras en nuestro país son el medio principal que posibilita el transporte de las personas y cargas (mercado interno).

En la investigación presente se realizarán los ensayos respectivos para encontrar una combinación óptima de agregados a la cual se le aplica tratamientos químicos para obtener una mejor durabilidad y una considerable reducción de costos de mantenimiento y reconstrucción a futuro.

Por ello, la investigación se va a realizar en un lugar trascendental como es la Provincia de Huancavelica, de donde se trasladan una serie de productos

agrícolas como legumbres, tubérculos y otros; que son productos que sostienen económicamente al estado peruano con lo que estaríamos contribuyendo al desarrollo en particular de provincias y regiones aledañas del departamento de Huancavelica y en general al Perú.

#### **1.4.2. Justificación Práctica**

La presente investigación es de gran importancia, ya que nos dará a conocer la medida de la erosión causada por las lluvias a través de una simulación de la red vial en probetas de ensayo evaluado a través del ensayo de Geelong Modificado, la cual busca elevar el tiempo de vida útil y la reducción de costos por mantenimiento o reconstrucción, también se busca generar un impacto en los lectores para promover una mayor investigación en el tema.

#### **1.4.3. Justificación Metodológica**

El análisis del material fino y material grueso en el pavimento a nivel de afirmado se realizará de manera experimental, a través de los ensayos de CBR y Geelong, de esta forma se buscará lograr la combinación óptima de agregados que garantice cierto grado de confiabilidad en el desempeño del pavimento.

#### **1.4.4. Justificación Económica**

Con la presente investigación, se brinda solución a un problema que genera demasiada inversión al gobierno como es la reconstrucción de las vías, que a su vez generan problemas de desvíos y bloqueos temporales por reparaciones, lo cual también afecta a los usuarios.

Como ya se mencionó, las más grandes inversiones se hacen en reconstrucción de carreteras, ya que el gobierno después de la construcción del

afirmado abandona estas vías hasta su colapso, asumiendo el estado estos gastos como parte de sus obligaciones como administrador de la red vial.

#### **1.4.5. Justificación Ambiental**

En el tema ambiental podemos mencionar que con el empleo de cal, cemento y emulsión asfáltica cumplimos con las especificaciones técnicas determinadas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones en cuanto a no emplear productos dañinos para el medio ambiente y no dañar el mismo como se realizó en anteriores años con el uso del asfalto recortado.

### **1.5. Delimitación de la Investigación**

#### **1.5.1. Delimitación Temporal**

Para la presente investigación, se ha requerido tres meses, los cuales se emplearon para hacer los ensayos de laboratorio, que son esenciales para determinar los datos y posterior análisis de estos.

#### **1.5.2. Delimitación Social**

Los agregados se extraerán de la cantera del km. 80 de la Carretera departamental Hv 109, mientras que los ensayos de laboratorio se realizarán en Huancayo, este hecho requerirá de un mayor uso de recursos económicos por los transportes necesarios para muestras y chequeo en campo.

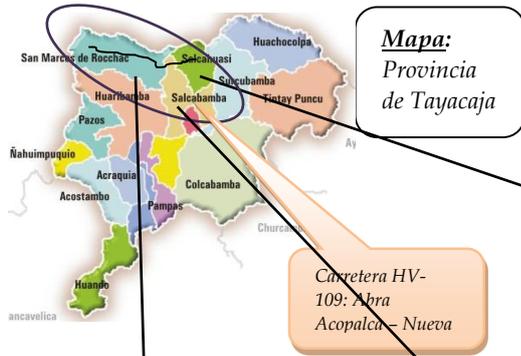
#### **1.5.3. Delimitación Espacial**

Esta investigación se limita a la provincia de Huancavelica en zonas cercanas a la carretera departamental HV 109, ya que las características de los suelos varían según el lugar donde se ubican. A continuación, se detalla la ubicación y características de la carretera departamental HV 109.

**Mapa:** Mapa Político del Perú

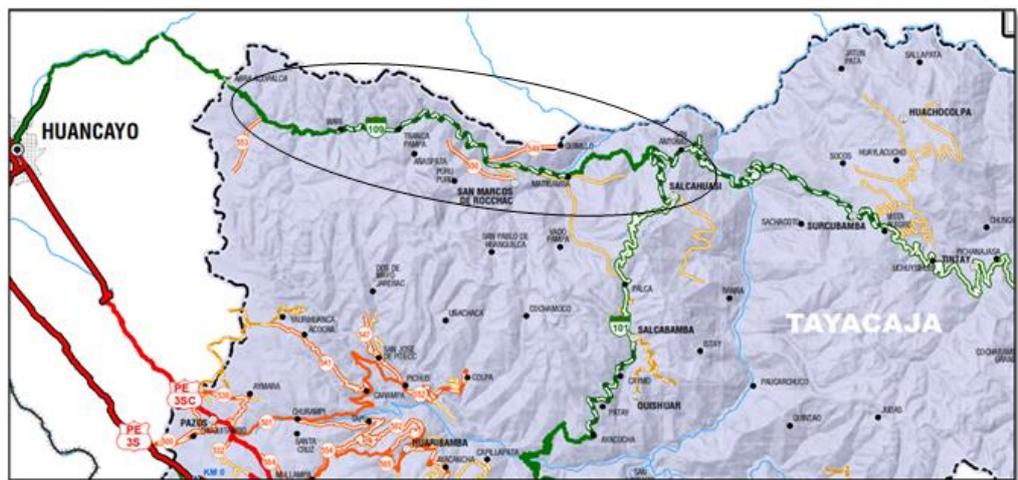


**Mapa:** Departamento de Huancavelica



**Mapa:** Distritos de San Marcos de Rocchac, Salcabamba y Salcahuasi

**Figura 1.** Ubicación Geográfica Carretera Departamental Hv 109  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 2.** Ubicación del Proyecto  
Fuente: Red Vial de Carreteras Departamentales



**Figura 3.** Ubicación Específica del Proyecto  
Fuente: Red Vial de Caminos Vecinales del Departamento de Huancavelica

### Ubicación Específica del Proyecto

- Inicio : Progresiva 0+000, Abra Acopalca

Norte	: 8,538551.53 N	Este	: 0,442625.91 E
Altitud	: 2,725 m.s.n.m.		
  
- Fin : Progresiva 53+450, Nueva Esperanza (EMP. HV-101)

Norte	: 8,535869.39 N	Este	: 0,442698.58 E
Altitud	: 3,280 m.s.n.m.		

## 1.6. Hipótesis de la Investigación

### 1.6.1. Hipótesis General

- Los tratamientos aplicados sobre el afirmado mejoraran la resistencia del suelo y la resistencia a la erosión por lluvia, evaluado a través ensayo de Geelong Modificado a nivel de afirmado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018.

### 1.6.2. Hipótesis Específicas

- Los agregados de la Cantera del Km 80 producirán el material óptimo para la realización del afirmado de la Carretera departamental Hv 109.

- La pérdida de peso del afirmado de la carretera departamental Hv 109 se reducirá después de la aplicación de los tratamientos con cal, cemento y emulsión evaluado a través de ensayo de Geelong.
- La profundidad de perforación del afirmado de la carretera departamental Hv 109 se reducirá después de la aplicación de los tratamientos con cal, cemento y emulsión evaluado a través de ensayo de Geelong.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de la Investigación**

Existen estudios previos respecto al tema de investigación del efecto de la erosión por lluvia en los pavimentos no asfaltados o afirmados, los ensayos realizados como el CBR y el ensayo de Geelong que son de vital importancia para el estudio en mención, en los que encontramos:

##### **2.1.1. Antecedente Internacional**

(2) en su tesis doctoral, que lleva como título “*Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción*” tiene como objetivo aplicar los ensayos de erosión y absorción sobre materiales fabricados en España, en el caso concreto de los bloques de tierra comprimida (BTC).

En esta investigación se tuvieron los siguientes resultados, el ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión es un método aplicable para los bloques de tierra comprimida estabilizados, mientras que el mismo método es muy agresivo para los bloques sin estabilizar.

El ensayo de erosión de agua es un método válido para cuantificar la erosión en los bloques de tierra sin estabilizar. Como criterio de evaluación es necesario limitar la pérdida de peso en bloques sin estabilizar, ya que la mayor erosión se produce por efecto de escorrentía y no por impacto de la gota de agua.

(3) en su investigación en la especialidad de vías y Transporte, que tiene como título *“Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio Ciudadela del Café - Vía la Badea”*, cuyos objetivos son Presentar y comparar los resultados obtenidos por la evaluación de las diversas metodologías empleadas para el diseño de la estructura de pavimento, y definir cuál es la estructura más favorable a emplear según el análisis exhaustivo de las diferentes metodologías y condiciones existentes y proyectadas en la nueva vía.

Otro objetivo es realizar un inventario vial mediante el PCI para determinar la integridad del pavimento y la condición operacional de la superficie de rodadura.

Los resultados de esta investigación fueron los siguientes; la proyección del tránsito normal que circula por la zona se proyectó a 15 años, El estudio de PCI de la zona indica que la vía se encuentra en excelente condición de su estructura de pavimento y en su superficie de rodadura.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

(4) en su Tesis de pregrado, cuyo título es “*Estudio Comparativo del Mejoramiento de la Base Aplicando Estabilizadores: Emulsión Asfáltica, Cal y Cemento -Carretera Cañete- Chupaca: Tramo Km 152+000 - 158+000*” tienen como objetivo principal elegir el mejor estabilizador luego de realizar el estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal y cemento Portland, aplicado para el tipo de suelo característico del tramo de investigación seleccionada en la carretera.

Esta investigación tuvo como resultados, los CBR para los contenidos óptimos de cada estabilizante al 95% de la máxima densidad seca son: 122% para suelo-Cemento Portland (5%), 172.5% para el suelo- Cal (5%), 46.67% suelo-Emulsión Asfáltica (4.3%) y 38.5% Suelo Natural (Afirmado). De los resultados concluimos que presenta mejores características de relación de soporte (CBR) las mezclas suelo-Cemento Portland y suelo Cal Hidratada.

(5) en su Tesis de pregrado, cuyo título es “*Mejoramiento del material afirmado de las canteras adyacentes para el terraplén de la carretera Lircay – Ccochaccasa*”; tienen como objetivo primordial evaluar el empleo del cemento en la estabilización del material afirmado para el mejoramiento del terraplén Lircay – Ccochaccasa”.

En esta investigación se obtuvieron los siguientes resultados; al emplear el 1% de dosificación de cemento mejora la resistencia del suelo y mejora la estabilización del material afirmado para el mejoramiento del terraplén de la carretera Lircay - Ccochaccasa.

Además, Las características y calidad del material afirmado de las canteras de Uchcupampa y Ccochaccasa, son de muy buena calidad según los ensayos practicados análisis Granulométrico el tipo de suelo es A-1, que contiene fragmentos de piedra, grava y arena, este tipo de suelo es recomendado para la estabilización con cemento y cumple con las normas ASTM D 4318, AASSHTO T 89 y ASTM D 4318, AASSHTO T90.

También se obtuvo que, con incremento de 1% de cemento muestra que la densidad seca aumenta en un 0.06 gr/cm<sup>2</sup> y el CBR al 100% es de 48.50% a los dos días de curado, incrementado la resistencia del suelo estabilizado con cemento. Y con incremento de 1% de cemento muestra que la densidad seca aumenta en un 0.041 gr/cm<sup>2</sup> y el CBR al 100% es de 44.50% a los dos días de curado, incrementado la resistencia del suelo estabilizado con cemento.

(6) en su Tesis de pregrado, que lleva como título “*Influencia de la Incorporación de Cuatro Niveles (1 %, 2%, 3% y 4%) de Cloruro de Calcio en la Resistencia Mecánica de un Material para Afirmado*”; tienen como objetivo determinar la influencia de la incorporación de cada uno de los niveles de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado.

Esta investigación tuvo los siguientes resultados; primero, que el cloruro de calcio aumenta la resistencia mecánica del material para afirmado en más del 5% por cada 1% de adición respecto a la muestra patrón. Segundo, que la máxima densidad seca aumenta por cada adición de cloruro de calcio respecto a la muestra patrón la cual tuvo una máxima densidad seca de 2.195 gr./cm<sup>3</sup> y para las adiciones de 1%, 2%, 3% y 4% se obtuvo 2.216, 2.235, 2.235 y 2.253 gr./cm<sup>3</sup> respectivamente. Tercero, que el cloruro de calcio influyó en el CBR del

material para afirmado por cada una de las adiciones 1%, 2%, 3% y 4% obteniendo como resultados para una penetración del 0.1”: 103%, 105%, 142% y 150% respectivamente; siendo el CBR de la muestra patrón 74%. Y finalmente que, el material para afirmado de la cantera El Gavilán cumple con los requisitos mínimos para un material para afirmado según las normas técnicas peruanas del Ministerio de transportes y comunicaciones teniendo una resistencia a la abrasión de 33.23%, CBR al 0.1” de 74%.

## **2.2. Marco Legal**

### **2.2.1. Manual de especificaciones técnicas de la construcción de carreteras.**

El Manual de “*Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*” forma parte de los Manuales de Carreteras señalados por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial y aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC que conforma uno de los documentos técnicos de carácter normativo, que es usado a nivel nacional y es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

### **2.2.2. Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito.**

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) ha puesto a disposición el Manual de Diseño de Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito, teniendo en consideración que estos caminos son de vital importancia en el desarrollo local, regional y nacional, sin embargo, más del 85% de la vialidad se encuentra en esta categoría. Este Manual es de uso

obligatorio por las entidades correspondientes, en todo lo referente a proyectos viales de uso público.

### **2.2.3. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras (DG- 2001)**

Este manual de Diseño Geométrico de Carreteras es usado de modo complementario en todo aquello que no éste considerado en el Manual para Caminos No Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito.

### **2.2.4. Manual de ensayo de materiales**

El Manual de Ensayo de Materiales también forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC y constituye uno de los documentos técnicos normativos, a nivel nacional, que es de cumplimiento obligatorio por los órganos responsables de la gestión de la infraestructura vial de los tres niveles de gobierno: Nacional, Regional y Local.

El “*Manual de Ensayo de Materiales*” tiene por finalidad estandarizar el método y procedimientos, para la ejecución de los ensayos de laboratorio y de campo, de los materiales que se utilizan en los proyectos de infraestructura vial, con el objeto de asegurar que su comportamiento corresponda a los estándares de calidad propuestos en los estudios, para las obras y actividades de mantenimiento vial.

## **2.3. Bases Teóricas**

### **2.3.1. Afirmado**

Consiste en la construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado) como superficie de rodadura de una carretera, que

pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada. (7)

Una vía afirmada, *“es carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables”* (8).

### **2.3.2. Estudios de canteras y fuentes de agua**

Se debe dar importancia al tipo de material que se encuentra disponible en la zona porque de ello dependerá la capacidad de soporte de las capas granulares y, por tanto, del pavimento como estructura.

#### **Material Granular**

Material inerte, resistente a los esfuerzos que se producen en la estructura, generalmente constituido por piedra o constitutivo de ella (piedra partida, arena o polvo de piedra)

#### **Material Fino**

Material de liga, que relaciona entre sí a los elementos resistentes proporcionándoles las extensiones necesarias. Casi siempre es un constitutivo del suelo, como la arcilla, o un aglutinante por reacción química, como el calor del cemento o en su defecto, un material bituminoso. Se le denomina material aglutinante.

**Tabla 1.**  
*Características Básicas Para la Superficie de Rodadura de los Caminos de Bajo Volumen de Tránsito*

CAMINO DE BVT	IMD PROYECTADO	ANCHO CALZADA (m)	ESTRUCTURA Y SUPERFICIE DE RODADURA – ALTERNATIVAS (**)
T4	201 - 400	2 carriles 6.00 – 7.00	Afirmado (material granular, grava, homogenizado natural o por chancado tamaño máximo 5 cm) con superficie de rodadura (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T3	101 - 200	2 carriles 5.50 – 6.60	Afirmado (material granular, grava de tamaño máximo 5 cm homogenizado por zarandeado o por chancado) con superficie de rodadura adicional (min. 15 cm), estabilizada con finos ligantes u otros; perfilado y compactado.
T2	51 - 100	2 carriles 5.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o por chancado (tamaño máximo 5 cm); perfilado y compactado, min. 15 cm.
T1	16 - 50	1 carril (*) o 2 carriles 3.50 – 6.00	Afirmado (material granular natural, grava, seleccionada por zarandeo o a mano, tamaño máximo 5 cm). Perfilada y compactada, min. 15 cm.
T0	< 15	1 carril (*) 3.50 – 4.50	Afirmado (tierra). En lo posible mejorada con grava seleccionada por zarandeo, perfilado y compactado, min. 15 cm.
Trocha carrozable	IMD Indefinido	1 sendero (*)	Suelo natural (tierra) en lo posible mejorado con grava natural seleccionada; perfilado y compactado.

(\*) Con plazoletas de cruce, adelantamiento o volteo cada 500 – 1000 m; mediante regulación de horas o días, por sentido de uso.

(\*\*) En caso de no disponer gravas en distancia cercana los caminos pueden ser estabilizado mediante técnicas de estabilización suelo-cemento o cal o productos químicos u otros.

Fuente: (9)

## Especificaciones técnicas

### Descripción:

*“Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de afirmado (material granular seleccionado) como superficie de rodadura de una carretera, con o sin adición de estabilizadores de suelos, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de*

canteras u otras fuentes. Incluye el suministro, transporte, colocación y compactación del material, en conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en el Proyecto y aprobados por el Supervisor, y teniendo en cuenta lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental.” (1).

## **Materiales**

“Para la construcción de afirmados, con o sin estabilizadores, se utilizarán materiales granulares naturales procedentes de excedentes de excavaciones, canteras, o escorias metálicas, establecidas en el Expediente Técnico y aprobadas por el Supervisor; así mismo podrán provenir de la trituración de rocas, gravas o estar constituidos por una mezcla de productos de diversas procedencias” (1).

“Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrarles y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material” (1)

Los requisitos de calidad que deben cumplir los materiales deberán ajustarse a alguna de las siguientes franjas granulométricas, según lo indicado en la Tabla 2.

**Tabla 2.**  
*Husos Granulométricos para Afirmado*

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
50 mm (2")	100	—				
37,5 mm (1 1/2")	100	—				
25 mm (1")	90-100	100	100	100	100	100

Tamiz	Porcentaje que pasa					
	A-1	A-2	C	D	E	F
19 mm (3/4")	65-100	80-100				
9,5 mm (3/8 ")	45-80	65-100	50-85	60-100		
4,75 mm (N.º 4)	30-65	50-85	35-65	50-85	55-100	70-100
2,0 mm (N.º 10)	22-52	33-67	25-50	40-70	40-100	55-100
425 µm (N.º 40)	15-35	20-45	15-30	25.45	20-50	30-70
75 µm (N.º 200)	5-20	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Fuente: AASHTO M-147

Además, deberán satisfacer los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste Los Ángeles: 50% máx. (MTC E 207)
- Límite Líquido: 35% máx. (MTC E 110)
- Índice de Plasticidad: 4-9% (MTC E 111)
- CBR (1): 40% mín. (MTC E 132)

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0,1”  
(2,5 mm)

### **Requerimientos de construcción**

#### **Explotación de materiales y elaboración de agregados**

*“Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y equipos utilizados para su explotación y para la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del Supervisor, lo que no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el Contratista suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación” (1).*

*“Todos los trabajos de clasificación de agregados y en especial la separación de partículas de tamaño mayor que el máximo especificado para cada gradación, se deberán efectuar en el sitio de explotación o elaboración y no se permitirá ejecutarlos en la vía” (1)*

### **Preparación de la superficie existente**

*“El material de afirmado se descargará cuando se compruebe que la plataforma sobre la cual se va a apoyar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los planos. Todas las irregularidades que excedan las tolerancias admitidas en la especificación respectiva deberán ser corregidas” (1)*

### **Transporte y colocación del material**

*“El Contratista deberá transportar y depositar el material de modo, que no se produzca segregación, evitando los derrames de material y por ende la contaminación de fuentes de agua, suelos y flora cercana al lugar, ni cause daño a las poblaciones aledañas” (1).*

*“La colocación del material sobre la capa subyacente se hará en una longitud que no sobrepase los 1.500 m del lugar de los trabajos de mezcla, conformación y compactación del material” (1).*

### **Extensión, mezcla y conformación del material**

*“El material se dispondrá en un cordón de sección uniforme, donde será verificada su homogeneidad. Si es necesario construir combinando varios materiales, se mezclarán formando cordones separados para cada material en la vía, que luego se unirán para lograr su mezclado. Si fuere necesario humedecer o airear el material, para lograr la humedad de compactación, el*

*Contratista empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique la capa subyacente y deje una humedad uniforme en el material. Después de mezclado, se extenderá en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos” (1).*

### **Compactación**

*“Cuando el material tenga la humedad apropiada, se compactará con el equipo aprobado hasta lograr la densidad especificada. En áreas inaccesibles a los rodillos, se usarán apisonadores mecánicos hasta lograr la densidad requerida” (1).*

*“La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho no menor de un tercio del ancho del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior” (1).*

### **Apertura al tránsito**

*“Sobre las capas en ejecución se prohibirá la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no fuere posible, el tránsito que necesariamente tenga que pasar sobre ellas se distribuirá en forma tal que no se concentren huellas de rodaduras en la superficie” (1).*

### **Aceptación de los trabajos**

#### **Controles**

*“Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:*

- *Verificar la implementación para cada fase de los trabajos.*
- *Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo aprobado por el supervisor y empleado por el Contratista.*
- *Comprobar que los materiales cumplen con los requisitos de calidad exigidos y en la respectiva especificación.*
- *Supervisar la correcta aplicación del método de trabajo aceptado como resultado de los tramos de prueba.*
- *Ejecutar ensayos de compactación.*
- *Verificar la densidad de las capas compactadas efectuando la corrección previa por partículas de tamaño superior al máximo especificado, siempre que ello sea necesario. Este control se realizará en el espesor de capa realmente construida.*
- *Tomar medidas para determinar espesores, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie granular mediante controles del IRI con equipos previamente definidos y calibrados.*
- *Vigilar la ejecución de las consideraciones ambientales incluidas en esta sección para la ejecución de obras.” (1)*

### **Calidad de los materiales**

De cada procedencia de los materiales a utilizarse y para cualquier volumen previsto se tomarán, cuatro muestras para los ensayos y frecuencias que se indican en la **Tabla 3**.

**Tabla 3.**  
*Ensayos para Material de Afirmado*

Material o producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de muestreo
Afirmado	Granulometría	MTC E 204	C 136	T27	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T89	1 cada 750 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T96	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T193	1 cada 2.000 m <sup>3</sup>	Cantera (2)
	Densidad-Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	1 cada 750 m <sup>2</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 1556 D 2922	T191 T238	1 cada 250 m <sup>2</sup>	Pista

Fuente: “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción” (EG – 2013)

Notas: *O antes, sí por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad o característica.*

(1) *Material preparado previo a su uso.*

### **Los resultados deberán satisfacer las exigencias indicadas en la Subsección de (materiales).**

*“Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los materiales que presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado”. (1).*

### **Calidad del trabajo terminado**

Los trabajos de afirmado terminados deberán presentar una superficie uniforme y ajustarse a las dimensiones, rasantes y pendientes establecidas en el Proyecto. La distancia entre el eje del Proyecto y el borde de la berma no será inferior a la señalada en los planos. Este, además, deberá efectuar las siguientes comprobaciones:

### **Compactación**

*“Las determinaciones de la densidad de la capa compactada se realizarán de acuerdo con lo indicado y los tramo por aprobar se definirán*

sobre la base de un mínimo de 6 determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar, con la aprobación del Supervisor. Las densidades individuales ( $D_i$ ) deberán ser, como mínimo el 100% de la densidad obtenida en el ensayo Proctor Modificado de referencia (MTC E 115)  $D_i \geq D_e$ .

La humedad de trabajo no debe variar en  $\pm 2,0\%$  con respecto de Óptimo Contenido de Humedad, obtenido con el Proctor Modificado. En caso de no cumplirse estos términos se rechazará el tramo.

Siempre que sea necesario, se efectuarán las correcciones por presencia de partículas gruesas, previamente al cálculo de los porcentajes de compactación. La densidad de las capas compactadas podrá ser determinada por cualquier método aplicable, de los descritos en las normas de ensayo MTC E 117, MTC E 124.” (1).

### **Espesor**

“Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada ( $e_m$ ), el cual no podrá ser inferior al de diseño ( $e_d$ )  $e_m \geq e_d$ .

Además, el valor obtenido en cada determinación individual ( $e_i$ ) deberá ser, cuando menos, igual al 95% del espesor del diseño, en caso contrario se rechazará el tramo controlado  $e_i \geq 0,95 e_d$

Todas las áreas de afirmado donde los defectos de calidad y terminación sobrepasen las tolerancias de la presente especificación, deberán ser corregidas por el Contratista, a su cuenta, costo y riesgo, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor.” (1).

## **Rugosidad**

*“La rugosidad de la superficie afirmada, se medirá en unidades IRI, la que no deberá ser superior a 5 m/km” (1).*

## **Capas del Afirmado**

El material por usarse varía según la región y las fuentes locales de agregados, cantera de cerro o de río, también se diferencia si se utilizará como una capa superficial o capa inferior, porque de ello depende el tamaño máximo de los agregados y el porcentaje de material fino o arcilla, cuyo contenido es una característica obligatoria en el camino de afirmado. El afirmado es una mezcla de tres tamaños o tipos de material: piedra, arena y finos o arcilla. Si no existe una buena combinación de estos tres tamaños, el afirmado será pobre. El afirmado requiere de un porcentaje de piedra para soportar las cargas, asimismo necesita un porcentaje de arena clasificada según tamaño para llenar los vacíos entre las piedras y dar estabilidad a la capa; y, obligatoriamente un porcentaje de finos plásticos para cohesionar los materiales de la capa de afirmado. Hay dos principales aplicaciones en el uso de afirmados: su uso como superficie de rodadura en caminos no pavimentados o su uso como capa inferior granular o como colchón anticontaminante.

### **2.3.3. Estudios de tráfico**

Uno de los aspectos más importantes, si no el determinante para el diseño es determinar el flujo de vehículos; es decir, qué tipo de vehículos transitan por la zona a analizar, según la clasificación del Reglamento Nacional de Vehículos y con qué frecuencia lo hacen. Asimismo, una vez obtenida esta información es necesario estimar una tasa de crecimiento para proyectar cuál será el flujo de

vehículos dentro de los años que contemplará el diseño. Este flujo vehicular se expresa utilizando un parámetro conocido como ESAL (Equivalent Single Axle Load) o carga equivalente de eje simple, que considera un eje simple equivalente de 18 kips. Este valor representa el efecto dañino que producen los vehículos sobre el pavimento. O el valor del consumo de fatiga y el daño por erosión en el caso de la metodología de la PCA.

#### **2.3.4. Estudios hidrológicos-pluviométricos**

Lo que requerimos es la precipitación media diaria de la estación seleccionada registrada para determinar el coeficiente de drenaje (Cd) necesario en la metodología de la AASHTO para pavimentos rígidos o para hallar el valor que modifica los coeficientes estructurales de las capas en los pavimentos flexibles.

#### **2.3.5. Estudios de mecánica de suelos**

Estos ensayos son necesarios para caracterizar el material granular que servirá como base o subbase. Asimismo, para hallar uno de los parámetros de diseño más importantes, el módulo de resiliencia de la subrasante, se puede realizar una correlación en base al CBR del terreno natural.

Los ensayos para tener en cuenta son:

- Ensayo de granulometría
- Límites de Atterberg
- Ensayo de compactación Proctor modificado
- Ensayo de valor de soporte de California o CBR

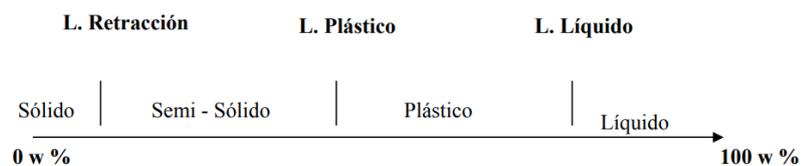
### 2.3.5.1. Ensayo de Granulometría

El análisis granulométrico consiste en la determinación del rango de tamaño de las partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje de peso seco total.

Para este fin, se realiza el análisis con tamices de una muestra de suelo, en donde las porciones retenidas en cada malla se recolectan por separado, calculándose la porción de suelo que representan. La curva granulométrica es una representación gráfica, en escala logarítmica de estos resultados que además puede facilitar la comparación de diferentes suelos. Además, permite determinar tres parámetros básicos del suelo, necesarios para clasificar suelos granulares: Diámetro efectivo, Coeficiente de Uniformidad y Coeficiente de Curvatura.

### 2.3.5.2. Ensayo de Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así, un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso.



**Figura 4.** Límites de Atterberg  
Fuente: Manuel de Ensayos y Materiales MTC

El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

### **2.3.5.3. Ensayo de Proctor modificado**

El ensayo Proctor se realiza para determinar la humedad óptima a la cual un suelo alcanzará su máxima compacidad. La humedad es importante pues aumentando o disminuyendo su contenido en el suelo se pueden alcanzar mayores o menores densidades de este, la razón de esto es que el agua llena los espacios del suelo ocupados por aire (recordemos que el suelo está compuesto de aire, agua y material sólido), permitiendo una mejor acomodación de las partículas, lo que a su vez aumenta la compacidad. Sin embargo, un exceso de agua podría provocar el efecto contrario, es decir separar las partículas disminuyendo su compacidad. Es por esto por lo que el ensayo Proctor tiene una real importancia en la construcción, ya que las carreteras y las estructuras necesitan de una base resistente donde apoyarse, y un suelo mal compactado podría significar el colapso de una estructura bien diseñada, en algunos casos, como por ejemplo en caminos de poco tráfico o de zonas rurales, el suelo constituye la carpeta de rodado, por lo que la importancia de la compactación se hace evidente.

#### **2.3.5.4. Ensayo de CBR**

CBR significa en español relación de soporte California, por las siglas en inglés de “California Bearing Ratio”, donde se debe determinar la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.

Consiste básicamente en compactar un terreno en unos moldes normalizados (determinar la carga que hay que aplicar a un pistón circular de 19,35 cm<sup>2</sup> para introducirlo en una muestra de suelo a una velocidad de 1,27 mm/min y hasta obtener una penetración de 2,54 mm.), sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno mediante un pistón normalizado.

Además de los ensayos anteriormente mencionados se realizará un ensayo para determinar la erosión del material fino en el afirmado, por la condición de la lluvia.

#### **2.4. Ensayo de Geelong**

Describiremos los procedimientos de los diferentes ensayos usados en Australia y España para la evaluación de la erosión de ladrillos y de bloques de tierra comprimida, también se justifica las razones por la cual se emplea el Ensayo de Geelong el cual se recomienda implementar en la normativa peruana; entre ellos están Erosión por caída de agua (Drip test – Ensayo de Geelong), ensayo SAET y ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión (Spray test – Geelong Modificado).

## **Justificación de ensayos propuestos**

Para estudiar la durabilidad y resistencia a la erosión, son tres técnicas de tierra más practicadas en España: obras de fábrica de abobes, obras de fábrica de bloques de tierra comprimida y muros monolítico de tapial.

Se tiene que dentro de los factores que afectan la durabilidad de los materiales del suelo o tierra cruda, la acción directa de agua en forma de lluvia sobre las fabricas es el más influyente, de esta manera se origina una pérdida de funcionabilidad debido a disgregación y pérdida de materia, dando como resultado el consecuente empeoramiento del comportamiento mecánico y térmico. Debido a esto en la presente investigación se tomará como referencia aquellos ensayos que tratan de cuantificar la durabilidad frente a la acción directa del agua que ocasiona pérdida de material, directa o indirectamente.

Se tiene que el material granular o tierra comúnmente conocido es empleado para la construcción sostenible, por ello el ensayo tiene la finalidad de determinar la durabilidad de los materiales frente a la aplicación directa de agua, debido a esto se han seleccionado los dos grupos de ensayos existentes en la normativa internacional de suelos, ensayos de erosión por caída de agua y ensayos de erosión por pulverizado de agua a presión.

Según el código técnico de la edificación (DB HS, CTE) el comportamiento de los edificios frente al agua se caracteriza mediante el estudio de las propiedades hídricas de los productos de construcción que forman parte de su composición de sus cerramientos. Los productos que forman la hoja principal de la fachada se definen mediante las siguientes propiedades:

- La absorción de agua por capilaridad ( $\text{g/m}^2\cdot\text{s}$ )
- La succión o tasa de absorción de agua inicial ( $\text{kg/m}^2\cdot\text{min}$ )
- La absorción al agua a largo plazo por inmersión total (%)

Por esto es por lo que se realizan los ensayos de absorción de agua por capilaridad y el ensayo de absorción por inmersión total. La absorción en los materiales de suelo puede aumentar la susceptibilidad a la presencia de grietas, al daño mecánico con pérdida indirecta de material.

La succión se refiere a la velocidad de absorción y tiene una gran importancia en la adherencia con el mortero (IETcc 2008). Los valores de succión altos pueden originar fisuras por las que abran paso al agua a través del muro en periodos de lluvia relativamente cortos. Estos ensayos nos permitirán comprar los resultados de los materiales de tierra o suelo a materiales de construcción como el ladrillo cocido, hormigón, piedra natural y piedra artificial.

Finalmente, como complemento del grupo de ensayos realizados en esta investigación se ha llevado a cabo el ensayo de Geelong, ajustado a la caracterización de los materiales de suelo.

### **Ensayo de erosión por caída de agua**

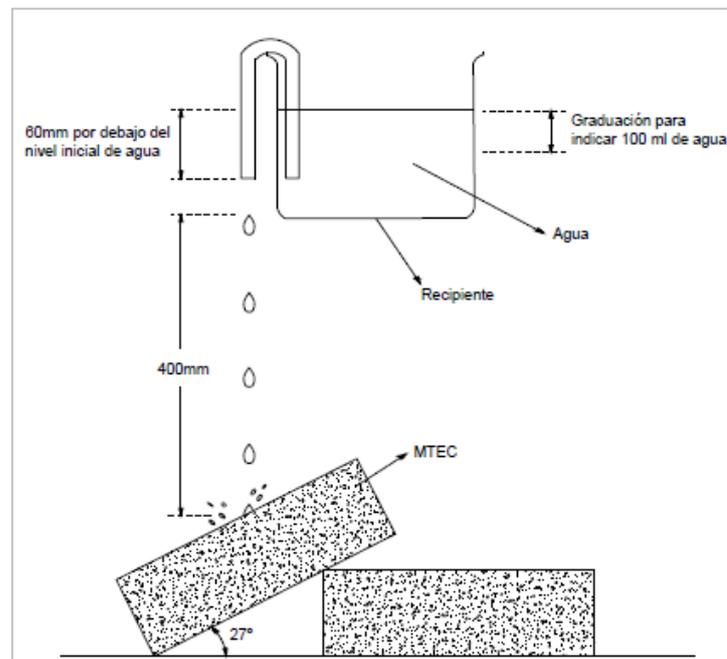
Se tiene que todas las normas estudiadas son dos procedimientos de ensayo aplicados. El ensayo de goteo (drip test), también denominado método de Geelong de erosión o ensayo de Yttrup ya que fue desarrollado por Peter Yttrup y estudiantes de la Universidad de Deakin, en Geelong Australia.

Consiste en liberar 100 ml de agua a través de un paño/esponja de 16 mm de ancho, en unos 20 a 60 mm, desde una distancia de 400 mm a la muestra inclinada 27°. Y se mide la profundidad del hoyito formado, con una varilla de 3mm de diámetro. Los resultados se evalúan conforme a los criterios de la normativa. El prototipo que se muestra en las normas consultadas es el que detalla en la figura.

Mediante este ensayo podemos observar como el fluido en este caso el agua, afecta en la muestra.

**Tabla 4.**  
*Criterio de Clasificación para la resistencia a la erosión – Caída de Agua*

Propiedad	Criterio	Resultado
D (profundidad perforación) en mm	$0 < D \leq 15$	Apto
	$D > 15$	No apto
P (profundidad de penetración del agua) en mm	$P < 120$	Apto
	$P \geq 120$	No apto



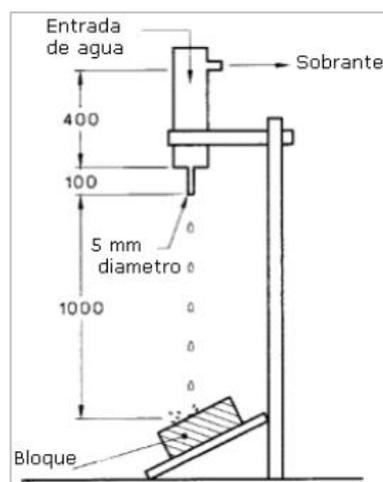
**Figura 5.** Esquema de Ensayo por caída de agua  
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

## Ensayo SAET

Este ensayo fue diseñado ya que el anterior método apenas producía erosión en las muestras aplicadas, por esta razón la Universidad de Tecnología Swinburne, Australia, ideó otro tipo de ensayo de goteo que realizaría mayor grado de erosión, y como resultado de la investigación que llevaron a cabo, se ideó el ensayo de erosión acelerada Swinburne (Swinburne accelerated erosion test - SAET). Ya que el anterior método era más adecuado para materiales como el adobe.

Consiste en liberar una pequeña corriente de agua durante 10 min a través de un tubo de 5 mm de diámetro interior, desde un depósito cuyo nivel se mantiene de forma constante a 1500 mm de altura del espécimen, que se encuentra inclinado  $27^\circ$  (Middleton 1987; Australia 2002). La profundidad del hoyito se medirá con una varilla de 3 mm de diámetro.

Este ensayo es el propuesto por la norma UNE 41410 (AENOR 2008a). Se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque durante 10 min sobre la cara del bloque. Éste se mantiene inclinado a  $27^\circ$  respecto de la horizontal. Con una varilla de  $\varnothing = 3$  mm, se mide la profundidad de las oquedades (D) que aparecen.



**Figura 6.** Esquema de Ensayo SAET  
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

La pieza ensayada se clasificará como “apto” si la profundidad de la oquedad (D) se encuentra entre 0-10mm; mientras que si la profundidad supera los 10 mm el bloque se considera “no apto”

### **Ensayo de erosión por pulverizado a presión (GEELONG MODIFICADO)**

En este ensayo de pulverizado de agua a presión, ensayo de erosión acelerada se basa en someter a la muestra a la acción de agua a presión durante un lapso de tiempo determinado, y observar visualmente los daños causados. Prueba empírica desarrollada por el antiguo Centro Nacional de Tecnología del Edificio – NBTC (Nacional Building Technology Centre), ahora conocido como Organización de Investigación científica e Industrial de la Commonwealth – CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) de Australia.

También se puede encontrar bajo el nombre de ensayo de erosión acelerada EBS, de Experimental Building Station predecesor de NBTC. En la siguiente tabla se puede observar las principales especificaciones de los documentos analizados.

**Tabla 5.**  
*Características del Ensayo de Pulverizado, especificado con las diferentes Normas Internacionales*

Muestra	Bulletin 5	EBBA 2001	HB 195	IS 1725	NZS 4298	SLS 1382
	Entera	Entera	Entera	Entera	Entera	Entera
Cara de ensayo	Tabla	Tabla	Tabla	Tabla	Tabla	Cara puesta en obra
Nº de muestra	1	5	5	3	-	3
Zona expuesta (área - $\phi$ mm)	150	70 - 150	70 - 150	-	150	150
Tiempo de aplicación (min)	60	60		120	60	15
Observaciones cada (min)	15	15		-	15	15
Distancia de aplicación (mm)	470	470		180	470	500
Presión (Kpa)	0 -50	0 -50	0 -50	147	0.5	50
Boquilla de salida ( $\phi$ -mm)	-	-	-	100	153	-
Tasa de erosión (mm/min)	Sí	Sí	Sí	No	Sí	-
Sistema de evaluación	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Máxima velocidad impacto (m/s)	-	-	-	6.5	-	-
Máxima intensidad lluvia (mm/h)	-	-	-	15-30	-	-
$\phi$ gota (mm)	-	-	-	2-4	-	-

Fuente: Norma 724 (SAZ 2001)

Las especificaciones de la tabla anterior muestran todas aquellas normas o documentos normativos que hacen referencia a este tipo de ensayo para ser aplicado sobre bloques de tierra comprimida.

En varios casos analizados, las especificaciones técnicas de los ensayos son exactamente las mismas como presión de agua, diámetro de la tubería, distancia de aplicación, tiempo de aplicación, área de zona expuesta y el procedimiento.

Los tiempos de pulverizado en la SLS-1382 es 15 minutos, o hasta traspasar la muestra. Una vez finalizado, se tiene que medir la profundidad de los hoyos producidos, con una varilla de borde plano de 10 milímetros de diámetro, de esta manera se obtiene el índice de erosión como la profundidad máxima dividida entre 15 minutos, o en el caso de ser atravesado, entre el tiempo total.

Para interpretación de los criterios de evaluación la pérdida de peso del material total de la muestra debe de ser menor o igual al 5 % de su peso; respecto a la validez o no de la muestra, también se establecen los índices de erosión según la norma neozelandesa NZS 4298 (SNZ 1998b).

**Tabla 6.**

*Tabla de Clasificación de Profundidad de Daño del Chorro de Agua*

Índice de erosión	Criterio (mm)	Resultado
1	$0 \leq D < 05$	Apto
2	$05 \leq D < 10$	Apto
3	$10 \leq D < 15$	Apto
4	$15 \leq D < 20$	Apto
5	$D \geq 20$	No Apto

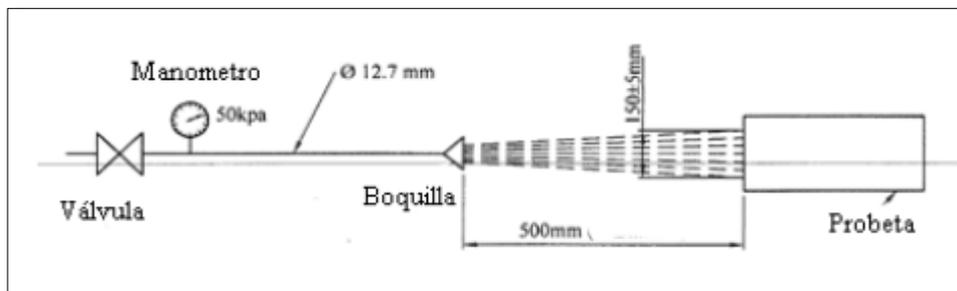
Fuente: Norma NZS 4298

Adicionalmente, se introducen parámetros de espesor del BTC como el elemento de evaluación (SNZ 1998b). Si el espesor del BTC es mayor de 20 milímetros

se recomienda inspeccionar la penetración del agua, de manera que, si esta penetración es superior a 20 milímetros, el bloque de tierra comprimida no es apto.

#### **Procedimiento según norma SLS-1382 (SLSI 2009a).**

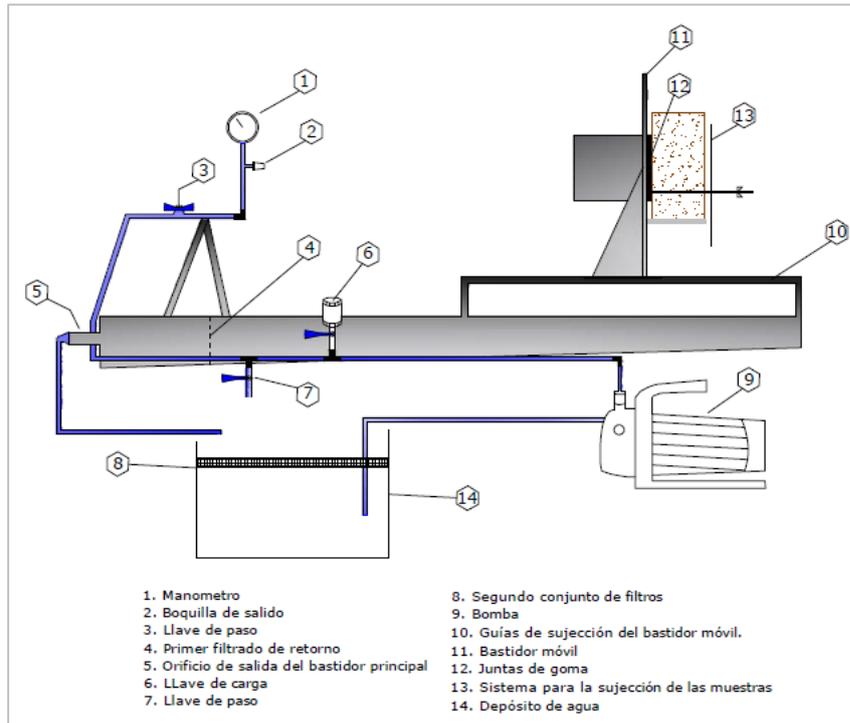
Se tienen las mismas condiciones que el procedimiento, pero se modifica la distancia de aplicación a 0.500 m. Según los criterios de evaluación de este procedimiento de ensayo, las perforaciones realizadas tras la aplicación del ensayo no deben superar los 0.02 metros de profundidad.



**Figura 7.** Esquema de Ensayo por pulverización (Geelong Modificado)  
Fuente: Norma SLS 1382-2

#### **Justificación de su Uso:**

El ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión (Geelong Modificado) fue implementado en el Laboratorio QA/QC Express del distrito de Pilcomayo por alumnos de la Universidad del Centro del Perú para el análisis de la resistencia a la erosión de los ladrillos a la lluvia, este ensayo es el que más se asemeja a dicha condición climática y además fue utilizado en España como se explicó anteriormente para el análisis de bloque de tierra comprimida que simula el afirmado de la carretera departamental; y es por ello que lo utilizaremos para nuestra investigación.



**Figura 8.** Prototipo del Ensayo de Erosión por pulverizado  
 Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

### Sistema de Presión

Este sistema consta de tres partes: bomba, manómetro y boquilla de salida. La bomba dispone de una llave de carga cada vez que se pone en funcionamiento el ensayo, tras una parada de tiempo que haga que esta se descargue. El manómetro utilizado tiene una escala de 0-4 bares de presión, que junto a una llave de paso nos permite regular la presión. Por último, la boquilla es una de las especificaciones más complicadas, hasta poder llegar a una solución que ocasionase una erosión constante sobre la superficie aplicada.



**Figura 9.** Sistema de Presión - Ensayo de Pulverizado  
 Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

Como hemos comentado en apartados anteriores, según la norma analizada, se nos aconseja una boquilla muy específica y detallada, caso de la norma NZS 4298 (SNZ 1998b) o en el peor de los casos, no se especifica nada acerca de la boquilla a utilizar, caso de la norma SLS 1382-2 (SLSI 2009b). En un principio nos decantamos por utilizar una boquilla siguiendo las especificaciones de norma neozelandesa, pero esto nos dio mucha heterogeneidad en la erosión producida sobre la superficie del BTC y no se conseguía un ángulo de aspersión de la boquilla concentrado. Por lo que buscamos un sistema normalizado de boquilla, relativamente barato, conseguir un estrecho ángulo de pulverizado, ser capaz de reproducir tamaños de gota similares a las de una lluvia, ser simple y fácil de adquirir.

Boquilla GG-1550								
Diam. Nominal (mm)	Capacidad (litro/min)					Angulo de aspersión (°)		
	0,7 bar	1,5 bar	2 bar	3 bar	4 bar	0,7	3	7
4,4	9,5	14	16,1	19,7	23	13	15	15



**Figura 10.** Aplicación del Ensayo de erosión por pulverizado  
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

Este tipo de boquilla produce gotas del orden de 1-3 mm de diámetro, que se producen gracias al sistema de rotación interna en el interior de esta, además de caracterizarse por tener:

- Patrón de aspersión de ángulo estrecho en forma de cono sólido con área de impacto redonda y ángulos de aspersión de 15° y 30° a 40 psi (2.8 bar).
- Producen un mayor impacto por unidad de área comparado con las boquillas de ángulo más ancho con los mismos flujos.
- Diseño de vena único con amplios pasos de flujo que proporcionan un control superior y una distribución uniforme.
- Tapas y venas desmontables en la mayoría de los modelos para una fácil inspección y limpieza.



*Figura 11.* Boquilla Serie Fulljet 1550  
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

### **Sistema de colocación para muestras**

Es la parte móvil del modelo UPM-SET, consta de dos guías para desplazar el cuerpo donde se coloca la muestra, un juego de cilindros para variar el área de exposición de la muestra y un sistema de agarre de la muestra.



**Figura 12.** Sistema de Colocación para muestras - Ensayo por pulverizado  
Fuente: Universidad Politécnica de Madrid

El juego de cilindros adaptables nos permite variar el área de exposición de la muestra, podemos utilizar áreas de exposición de 100 mm, 125 mm o 150 mm de diámetro. Las dos guías para desplazar la muestra, nos ayudará a cumplir las especificaciones de las normas internacionales acercar la muestra a 180 mm de distancia de aplicación o alejar la muestra hasta 500 mm de distancia. El sistema de agarre como se ve muestra en la figura anterior, consta de una rejilla y dos barras regulables versátiles para cualquier tamaño de muestra.

### **Aportaciones del modelo desarrollado**

- Dispositivo para el ensayo de erosión mediante pulverizado de agua a presión para materiales fabricados con tierra cruda.
- Dispositivo caracterizado porque te permite aplicar la variabilidad de especificaciones encontradas en las normas de tierra internacionales.
- Dispositivo caracterizado porque además de permitir el ensayo sobre unidades de tierra cruda, permite ensayar fábricas de tierra ya ejecutadas.
- Dispositivo caracterizado por ser un sistema móvil para su uso en campo (a pie de obra) o en laboratorio.
- Dispositivo caracterizado por ser un sistema autónomo al disponer de un ciclo cerrado de agua, permitiendo ensayar las muestras durante varias horas.

- Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la boquilla de salida de agua permite producir gotas del orden de 1-3 mm de diámetro, gracias al sistema de rotación interna que ocasiona una erosión homogénea en toda el área de aplicación.

## 2.5. Definición de Términos Básicos

**Deterioro:** Deficiencia presentada en el pavimento ya sea por el prolongado tiempo de servicio sin un adecuado mantenimiento vial, y que se presenta con alguna falla funcional o estructural en el pavimento.

**Erosión:** La erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua. El proceso se presenta gracias a la presencia del agua en las formas: pluvial (lluvias) o de escorrentía (escurrimiento), que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (Fricción o cohesión) del suelo generándose el proceso de erosión. (10)

**Erosión hídrica:** La *erosión hídrica* engloba todos los fenómenos caracterizados por la acción del agua como agente erosivo y tiene en las lluvias (aguas pluviales) su principal factor desencadenante. Podemos verificar su acción principalmente en el dibujo de los cauces de los ríos y deltas (erosión fluvial), en la formación de valles, lagos y cascadas, pero también en la creación de cañones, grutas y cavernas, debido a corrientes de aguas subterráneas en las regiones con terrenos de composición calcárea (erosión kárstica) (11)

**Emulsión Asfáltica:** La emulsión asfáltica es la dispersión de un líquido en otro, no miscibles entre sí, en forma de partículas microscópicas. En el caso de una emulsión asfáltica, los glóbulos microscópicos de asfalto estarán dispersos una solución jabonosa.

El agente emulsificante actúa al impartir una carga eléctrica a la superficie de los glóbulos de asfalto, de manera que estos no se aglomeren. (12)

**Cemento:** Cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición abarca una gran variedad de materiales de cementación. (13)

**Cal:** La Cal es una sustancia alcalina de color blanco o blanco grisáceo que al contacto con el agua, se hidrata o se apaga, desprendiendo calor.

Su mayor aplicación en la construcción es como componente, mezclada con arena, en la elaboración de Morteros de unión o de revestimiento `putos exterior o interior.

Son de resistencia menor y fraguado más lento que los morteros de Cemento, pero asimismo más trabajables que éstos. (14)

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Método de Investigación**

Según (15 pág. 28) “El método científico involucra el conocimiento científico y la investigación científica, este método es un proceso para descubrir las condiciones en que se detallan hechos específicos, que se caracteriza por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica”

En la presente investigación se realizará la caracterización del material obtenido de la cantera Huancavelica HV 109 con la ayuda de los ensayos de granulometría y los límites de Atterberg para el material fino; para posteriormente controlar las dosificaciones de las mezclas que se van a realizar; asimismo verificar la incidencia de estas dosificaciones en los valores de CBR y obtener un óptimo; que además será analizado con el Ensayo de Geelong para conocer el nivel de erosión por pulverizado a

presión. Debido a lo detallado anteriormente el método empleado será el **Método Científico**.

### **3.2. Tipo de Investigación**

#### **3.2.1. Por Propósito o Finalidad Perseguida**

**Investigación Aplicada:** (16 pág. 147) Indica que *“La investigación aplicada ha enfocado la atención sobre solución de teorías cual concierne solo a un grupo en particular mas no generaliza, se refiere a resultados inmediatos y busca perfeccionar a los individuos implicados en el proceso de investigación”*.

Pues es necesario realizar los ensayos de laboratorio donde se encontrarán los porcentajes del material fino y material granular más apropiados para el afirmado; y además se buscará el Valor de soporte de california del afirmado – CBR para conocer cuanta carga soporta el suelo; la pérdida de peso de las muestras y la profundidad del hueco ocasionado por el chorro de agua evaluados a través del Ensayo de Geelong.

#### **3.2.2. Por Clase de Medios Utilizados para Obtener Datos**

**Investigación Experimental:** Debido a que se está generando información a partir de los ensayos a realizarse en el laboratorio con la finalidad de modificar una realidad de los afirmados.

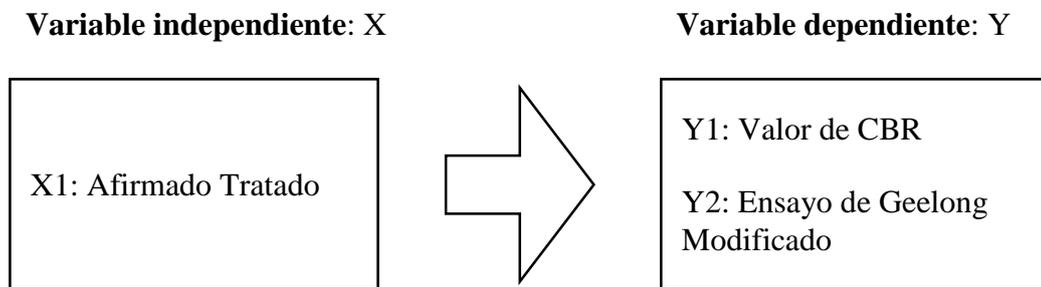
### **3.3. Nivel de Investigación**

Investigación se basa a un nivel “experimental” (17). La investigación que se está llevando a cabo luego de conocer las características del fenómeno o hecho que se

investiga (variables) y las causas que van a determinar corresponderá a los requerimientos de un experimento con poblaciones y condiciones dadas.

### 3.4. Diseño de la Investigación

La investigación se basa a un nivel “comparativo - explicativo” (17). La investigación que se está llevando a cabo será validada únicamente con post prueba y con un grupo de controles aplicados a la realidad de los afirmados, siendo el experimento el método que nos permite extraer más sólidas y exactas conclusiones.



### 3.5. Variables

#### 3.5.1. Variable Independiente

- Afirmado tratado

#### 3.5.2. Variable Dependiente

- Valor de soporte de california del afirmado CBR.
- Ensayo de Geelong Modificado

### 3.6. Operacionalización de Variables:

Variable		Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de Medida
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>Afirmado Tratado Cemento, Cal y Emulsión</b>	El afirmado tratado es un proceso que tiene por objeto aumentar la resistencia, la durabilidad, la insensibilidad al agua y otros aspectos relacionados con el fin perseguido. Entre los métodos para mejorar el suelo sobre el cual se asienta una carretera tenemos: Físicos, químicos y mecánicos.	Porcentaje de Cemento	Dosificación porcentual de Cemento con respecto al peso del Afirmado.	- 0.2 % Peso del suelo - 0.4 % Peso del suelo - 0.6 % Peso del suelo - 0.8 % Peso del suelo - 1.0 % Peso del suelo
			Porcentaje de Cal	Dosificación porcentual de Cal con respecto al peso del Afirmado.	- 0.5 % Peso del suelo - 0.8 % Peso del suelo - 1.0 % Peso del suelo - 1.4 % Peso del suelo - 1.7 % Peso del suelo
			Porcentaje de Emulsión	Dosificación porcentual de Emulsión con respecto al peso del Afirmado.	- 1.0 % Peso del suelo - 2.0 % Peso del suelo - 4.0 % Peso del suelo - 6.0 % Peso del suelo - 10.0 % Peso del suelo
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>Valor de CBR</b>	El CBR es el valor de soporte o resistencia del suelo, es la capacidad que este posee para soportar una carga, estará referido al 95% de la máxima densidad seca, a una penetración de 2.54 mm.	Capacidad de Soporte California (CBR) %	- CBR	- % (porcentaje)  *CBR >40% según manual de Suelos, Geología y Pavimentos del MTC.
	<b>Ensayo de Geelong Modificado</b>	El Ensayo de Geelong Modificado mide la profundidad y la erosión causada por un chorro de agua disparado sobre la muestra en un lapso de 15 minutos haciendo una simulación de la lluvia.	Valor de Pérdida de Peso	- "APTO" - "NO APTO"	- "APTO" ≤ 5% P.P "NO APTO" > 5% P.P  *P.P – pérdida de peso del bloque.
			Valor de la Profundidad causada	- "APTO" - "NO APTO"	- "APTO" ≤ 20 mm "NO APTO" > 20 mm  *mm – milímetros.

### **3.7. Población y Muestra**

Se desea investigar el efecto de la aplicación del Ensayo de Geelong para poder evaluar las carreteras a nivel de afirmado y poder ver el daño ocasionado por el pulverizado a presión, Huancavelica 2018.

#### **3.7.1. Población**

Según (18), la población se refiere a un grupo de personas que coexisten en un ambiente que permite satisfacer sus necesidades. Un grupo de individuos de una especie que ocupan una extensión espacial bien definida, independientemente de otras poblaciones de la misma especie.

Bajo esta definición se tiene que la población está conformada por las Carreteras a nivel de afirmado de la región centro carretera departamental HV 109 Huancavelica Km. 80 – Km. 120.SZA

#### **3.7.2. Muestra**

Según (19) la muestra trata de medir el grado de relación que exista entre dos o más variables.

Para esta investigación la línea de estudio que se realizará sobre la extracción de la muestra con la técnica de muestreo probabilístico se dará en la carretera departamental HV 109 Km.123 – Km. 145 – Huancavelica.

Se realizará 5 ensayos de CBR por cada punto a investigar variando el porcentaje de finos, gravas y aditivos.

### 3.7.3. Muestreo

Según (19) el muestreo es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos de una población con el fin de estudiarlos y poder caracterizar el total de la población.

Mediante este concepto se utilizará el muestreo probabilístico de corte transversal.



**Figura 13.** Obtención de agregado granular y fino – Cantera Km 80  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 13 se muestra la Cantera del Km 80 de la carretera departamental HV 109 Km. del departamento de Huancavelica. Se observa los volúmenes de material listos para pasar por el tamiz respectivo y luego ser utilizados para el afirmado.



*Figura 14.* Toma de muestras en cantera Km. 80 Huancavelica  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

### **3.8. Técnicas e Instrumentos de la Recolección de Datos**

#### **3.8.1. Técnicas**

- Se Recolectó El Material En Estudio De La Cantera HV109 Ubicada En El Departamento De Huancavelica.
- Se Secó El Material Recolectado En Una Estufa.
- Se Realizó El Ensayo De Granulometría De Las Muestras De Material Fino Y Material Granular, Extraídos De La Cantera Del Km 80 De La Carretera Departamental HV 109.
- Se Realizó La Dosificación De Diferentes Proporciones De Material Fino En La Mezcla.
- Se Realizó El Ensayo De Límites De Consistencia De La Muestra.
- Se Realizó El Ensayo De Proctor Modificado De Las Muestras Manipuladas.

- Se Realizó El Ensayo De Valor De Soporte De California CBR De Las Muestras Manipuladas.
- Se Obtuvo El Comportamiento De La Mezcla De Muestra Manipulada Mediante Procedimientos De Correlación Entre El CBR Y Ensayo De Geelong.
- Se Midió La Erosión En El Afirmado Causado Por Agua De Lluvia.
- Con Los Datos Obtenidos Se Buscó La Existencia De Correlación Entre El CBR Más Los Porcentajes De Cal, Cemento Y Emulsión Y El Porcentaje De Pérdida De Peso Del Suelo, Mediante El Coeficiente De Pearson.
- Mediante El Coeficiente De Spearman Se Buscó Conocer El Grado De Asociación Entre Las Variables. Rho De Spearman Puede Determinar La Dependencia O Independencia De Las Variables Aleatorias.

### **3.8.2. Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizarán para la presente investigación serán las siguientes: set de tamices normalizados para ensayo de granulometría, equipo completo de límites de consistencia, balanzas, horno, equipo completo para ensayo de Proctor modificado, equipo completo para ensayo de valor de soporte de california CBR, equipos de Laboratorio para el Ensayo de Geelong, software especializados y equipos de cómputo.

### **3.8.3. Procesamiento de la Información**

El respectivo procesamiento de la recopilación de datos se procesará en Software como Excel, SPSS v.24 y Otros.

### **3.9. Procedimiento de la Metodología**

#### **3.9.1. Análisis de agregado de cantera del Km 80 de Huancavelica**

Se optó por trabajar con la cantera del Km 80 de Huancavelica debido a que las carreteras ejecutadas y en ejecución toman el material de la cantera para las capas que conforman el afirmado como son la base y sub base granular.

Se evaluó las características naturales del agregado obtenido en campo, como fueron la granulometría, límites de consistencia, ensayo de Proctor Modificado y ensayo de CBR. (Ver anexo A).

##### **a. MTC E 105. Obtención en Laboratorio de muestras representativas (Cuarteo)**

- Una vez recepcionada la muestra, se deja secar al aire libre. Se recomienda no efectuar el secado en horno, puesto que podría influenciar en los resultados.
- Se coloca extendiéndola sobre un espacio plano y horizontal
- Posteriormente se desmenuza el material, deshaciendo los terrones con ayuda de un martillo o comba de goma.
- A continuación, hacer una mezcla hasta llegar a constituir una pila en forma de cono, repitiendo esta operación 4 veces.
- Finalmente, se fraccionará en cuatro partes hasta conseguir la cantidad requerida por cada ensayo.

**b. MTC E 107. Ensayo de granulometría**

El ensayo de granulometría por tamizado está normado por El Manual del MTC de Ensayos y Materiales MTC E 107 para determinar los retenidos en cada malla o tamiz y elaborar la curva granulométrica. En la ilustración 3, 4 y 5 se observa el procedimiento del ensayo de granulometría.



**Figura 15.** Selección del material de muestra  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



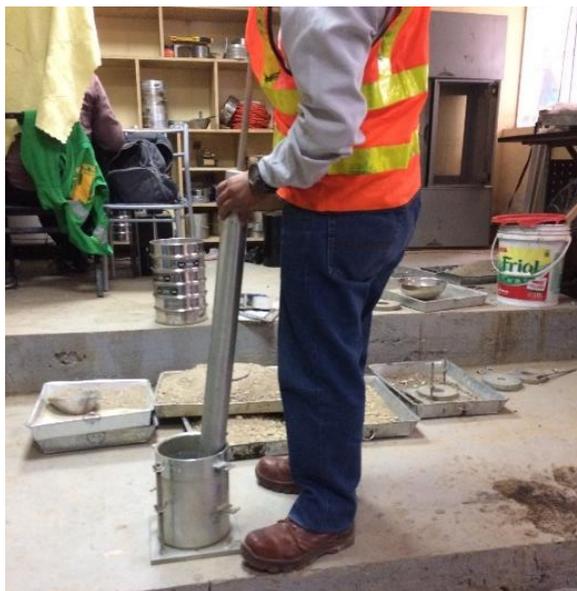
**Figura 16.** Tamizado del material seleccionado como muestra  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 17.** Pesado del material retenido según cada tamiz  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

### c. Ensayo de Proctor Modificado

El ensayo de Proctor Modificado por tamizado está normado por El Manual del MTC de Ensayos y Materiales MTC E 115 para determinar la cantidad de humedad y elaborar la curva de compactación. En la figura 18 se observa el procedimiento del ensayo de Proctor modificado a 75 golpes.



**Figura 18.** Compactación de la muestra a 75 golpes  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

#### d. Ensayo de CBR

El ensayo de CBR está normado por El Manual del MTC de Ensayos y Materiales MTC E 132 para determinar el índice de resistencia del suelo denominado valor de la relación de soporte, en condiciones determinadas de humedad y densidad.

En las ilustraciones 19, 20 y 21 se observa el procedimiento del ensayo de California Bearing Ratio (CBR).



*Figura 19.* Proporciones de mezcla para CBR (Fino- Grueso)  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



*Figura 20.* Compactación del CBR a 10, 25 y 56 golpes  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 21.** Cálculo de Penetración y Dial  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

Además, se realizó el CBR para el óptimo de material granular y fino (75% - 25%) y porcentajes graduales de cemento, cal y emulsión, como se observa en las ilustraciones 22, 23 y 24.



**Figura 22.** Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 23.** Cal

Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 24.** Emulsión

Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

#### **e. Ensayo de Geelong**

El ensayo de Geelong consiste en someter a un chorro de agua a los moldes de los ensayos de mezcla óptima de CBR más porcentajes progresivos de cemento, cal y emulsión, y después de 15 minutos de observación medir la pérdida de peso y la profundidad del hueco en cada muestra, que es el deterioro o porcentaje de erosión que sufre el afirmado. En la presente investigación se utilizó agua de lluvia que fue almacenada previamente en cilindros y fue bombeada a través del sistema del Ensayo de

Geelong Modificado, por lo que no se realizó ensayos químicos al agua seleccionada.

Para ser considerado **APTO** la pérdida de peso debe ser **menor a 5%**.

En las ilustraciones siguientes se observa el procedimiento del ensayo de Geelong.



**Figura 25.** Etiquetado de muestras tratadas con Cemento, cal y emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 26.** Colocación de muestra  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 27.** Realización del Ensayo por Pulverizado  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 28.** Aplicación del Chorro de Agua  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 29.** Colocación de muestras al horno  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 30.** Pesado de muestras y toma de datos  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza



**Figura 31.** Muestras después del ensayo de Geelong  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Descripción de Resultados**

Para la descripción de resultados se utilizará la data obtenida gracias a los ensayos elaborados para lograr el diseño óptimo de mezcla, a través de diferentes combinaciones de mezcla entre el material granular y el material fino proveniente de la cantera del Km 80 de la Carretera Departamental HV-109, y con los aditivos como cemento, cal y emulsión con los que se buscará mayor resistencia; siempre cumpliendo con los requerimientos mínimos de calidad.

#### **4.2. Análisis de Resultados de Muestras Agregado Grueso – Agregado Fino**

El análisis de resultados consistirá en procesar y explicar los resultados obtenidos y cotejarlos con la base teórica y los antecedentes.

#### **4.2.1. Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Material Granular y Material Fino**

Para obtener el óptimo valor de CBR (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) se han realizado los ensayos de Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor Modificado y CBR para 11 combinaciones con porcentajes progresivos de material granular y material fino, como se muestra en el **ANEXO A**:

1. 100% Material Granular y 0% Material Fino
2. 95% Material Granular y 5% Material Fino
3. 90% Material Granular y 10% Material Fino
4. 85% Material Granular y 15% Material Fino
5. 80% Material Granular y 20% Material Fino
6. 75% Material Granular y 25% Material Fino
7. 70% Material Granular y 30% Material Fino
8. 65% Material Granular y 35% Material Fino
9. 60% Material Granular y 40% Material Fino
10. 55% Material Granular y 45% Material Fino
11. 50% Material Granular y 50% Material Fino

#### **4.2.2. Resultados de Combinación Material Granular y Material Fino**

##### **Resumen de Resultados**

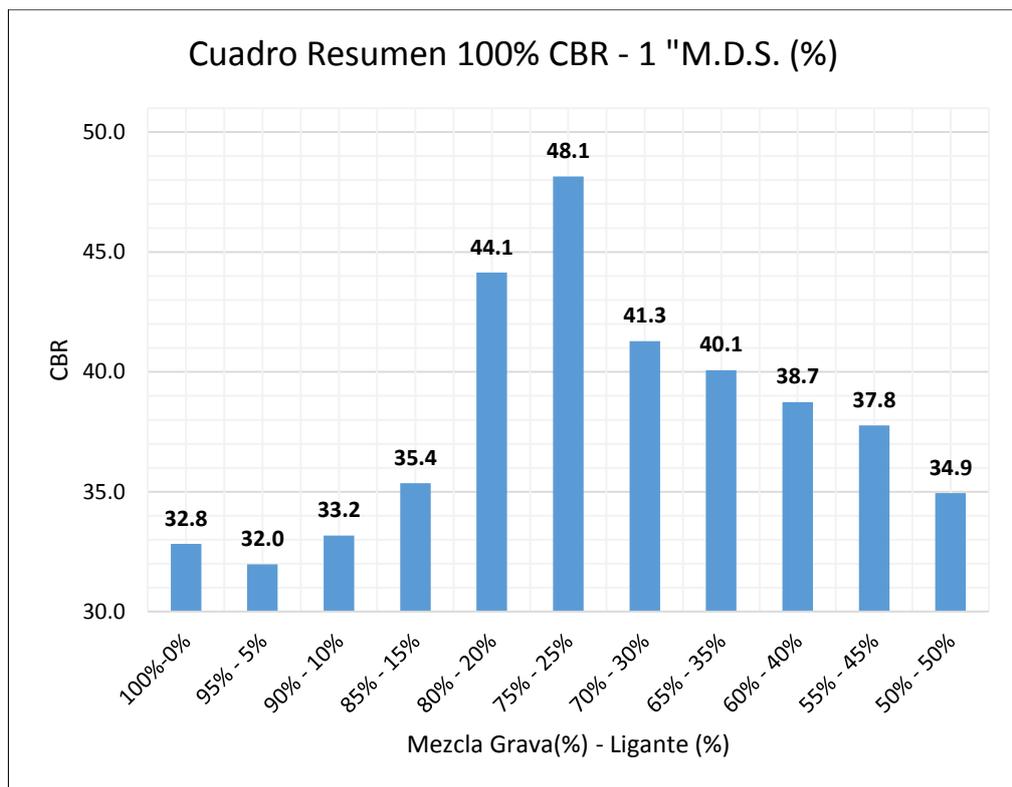
En la tabla 07 los datos obtenidos en relación con las distintas combinaciones entre agregado grueso y agregado fino presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente.

**Tabla 7.**  
Resumen de Resultados del CBR a partir de las combinaciones realizadas

<b>Grava - Fino</b>				
<b>50%-50%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>34.9</b>	0.2": <b>46.3</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>32.0</b>	0.2": <b>42.7</b>
<b>55%-45%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>37.8</b>	0.2": <b>49.9</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>34.3</b>	0.2": <b>45.5</b>
<b>60%-40%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>38.7</b>	0.2": <b>51.1</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>34.0</b>	0.2": <b>45.1</b>
<b>65%-35%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>40.1</b>	0.2": <b>52.8</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>35.0</b>	0.2": <b>46.4</b>
<b>70%-30%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>41.3</b>	0.2": <b>54.3</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>34.7</b>	0.2": <b>46.1</b>
<b>75%-25%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>48.1</b>	0.2": <b>62.9</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>37.9</b>	0.2": <b>50.0</b>
<b>80%-20%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>44.1</b>	0.2": <b>57.9</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>35.5</b>	0.2": <b>47.0</b>
<b>85%-15%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>35.4</b>	0.2": <b>46.8</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>27.3</b>	0.2": <b>36.1</b>
<b>90%-10%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>33.2</b>	0.2": <b>44.1</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>30.1</b>	0.2": <b>40.2</b>
<b>95%-5%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>32.0</b>	0.2": <b>42.6</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>28.1</b>	0.2": <b>37.4</b>
<b>100%-0%</b>	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>32.8</b>	0.2": <b>43.7</b>
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	<b>29.4</b>	0.2": <b>39.4</b>

Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 32 los datos obtenidos en relación con las distintas combinaciones entre agregado grueso y agregado fino presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente, teniendo un máximo CBR en la combinación de 75% de material granular y 25% de material fino.



**Figura 32.** Resumen Gráfico de Resultados Obtenidos del CBR con las diferentes combinaciones

Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

Con estos resultados de CBR óptimo se realizará más ensayos en los cuales se buscará incrementar la resistencia del afirmado y evaluar que tratamiento es el que ayuda a reducir la erosión por lluvia.

#### 4.2.3. Análisis Estadístico del Material Granular y Material Fino

**Datos de análisis de CBR de 1” al 100%.**

En la tabla 08 se tiene los resultados de análisis descriptivos del valor de CBR 100% - 1". Se obtuvieron los parámetros estadísticos como la media, mediana varianza, desviación estándar a partir de los datos de CBR de cada mezcla.

**Tabla 8.**  
*Datos estadísticos para CBR al 100% a 1" de penetración.*

CBR al 100% de M.D.S. (%) – 1"				
			Estadístico	Error estándar
Valor de CBR 100% - 1"	Media		38,0364	1,52996
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	34,6274	
		Límite superior	41,4453	
	Mediana		37,8000	
	Varianza		25,749	
	Desviación estándar		5,07430	
	Mínimo		32,00	
	Máximo		48,10	

En la tabla 09 se realizó el análisis de los datos obtenidos bajo observación si siguen una distribución normal para CBR al 100%. Mediante el uso del programa estadístico SPSS.

**Tabla 9.**  
*Prueba de normalidad para CBR al 100%, penetración de 1"*

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl.	Sig.
Valor de CBR 100% - 1"	,941	11	,536

Se analizó con la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk debido a que se tiene una cantidad menor a los 50 datos. Se observa que el nivel de significancia (sig.) es mayor a 0.05 en todos los casos, con lo cual se puede

indicar que existe una distribución normal de datos para todas las mezclas por tipo de agregado empleado.

Determinando la distribución normal de los datos, esto nos indica si los datos son paramétricos o si son no paramétricos y con ello se puede analizar si existe correlación entre las variables. Para este caso se empleará el coeficiente de correlación de Pearson por ser grupo de datos no paramétricos.

Luego planteamos las siguientes hipótesis para CBR al 100% a penetración de 1”:

**H<sub>0</sub>:**  $r = 0$  (No existe correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de agregado en la mezcla trabajada)

**H<sub>1</sub>:**  $r \neq 0$  (Existe correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de agregado en la mezcla trabajada)

**Nivel de significancia: 0.05**

En la tabla 10 se tiene el análisis de coeficiente de relación de Pearson, donde el nivel de significancia de 0.310 cuyo valor mayor al 0.05 ya establecido, al tener el  $r \neq 0$  nos indica que existe correlación entre las variables.

**Tabla 10.**  
*Correlación para CBR al 100%, penetración de 1”*

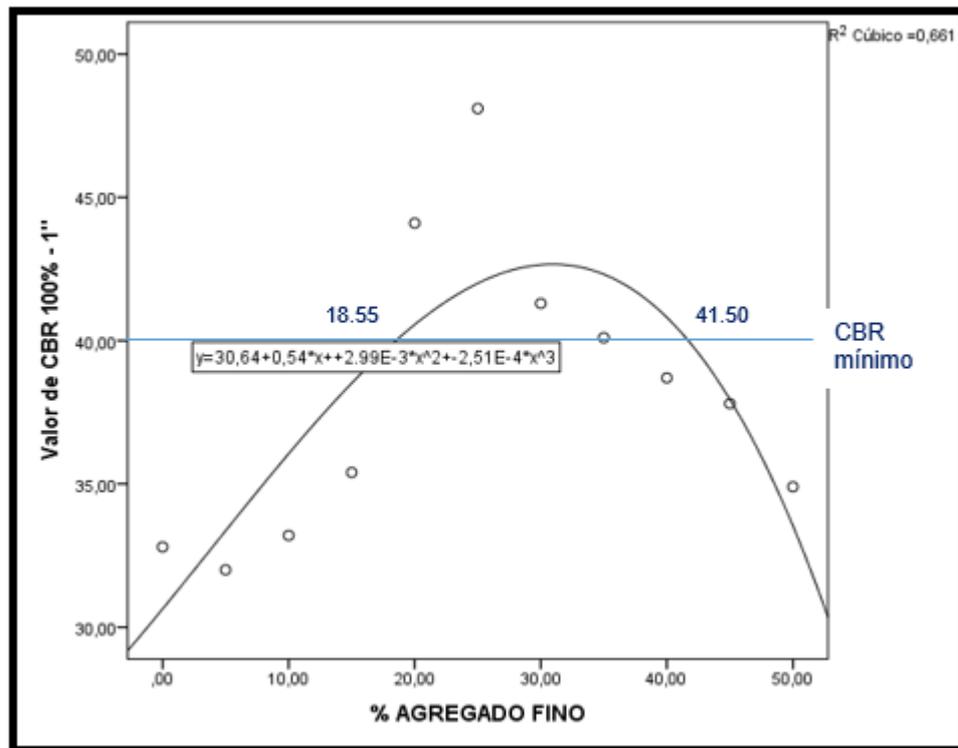
		Valor de CBR 100% - 1”	Grava (%) - Ligante(%)
Valor de CBR 100% - 1”	Correlación de Pearson	1	,338
	Sig. (bilateral)		,310
	N	11	11
Grava (%) – Ligante (%)	Correlación de Pearson	,338	1
	Sig. (bilateral)	,310	
	N	11	11

En la figura 33 se detalla la curva de penetración para el CBR al 100% de 1" de penetración, donde también se tomó en cuenta el  $R^2$  que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso el  $R^2$  cubico teniendo un valor de ajuste de 0.661. Se observa que el CBR al 100% a una penetración 1", se obtuvo la ecuación con la que se puede determinar el porcentaje agregado fino con su valor de CBR.

Se tiene que según las especificaciones para afirmado del MTC el CBR mínimo es de 40%, a 100% del CBR en 1" de penetración, resultando un rango entre 18.55% y 41.50% de agregado fino dentro del uso recomendado en el MTC.

$$y = -0.0003x^3 + 0.003x^2 + 0.5355x + 30.641$$

$$R^2 = 0.657$$



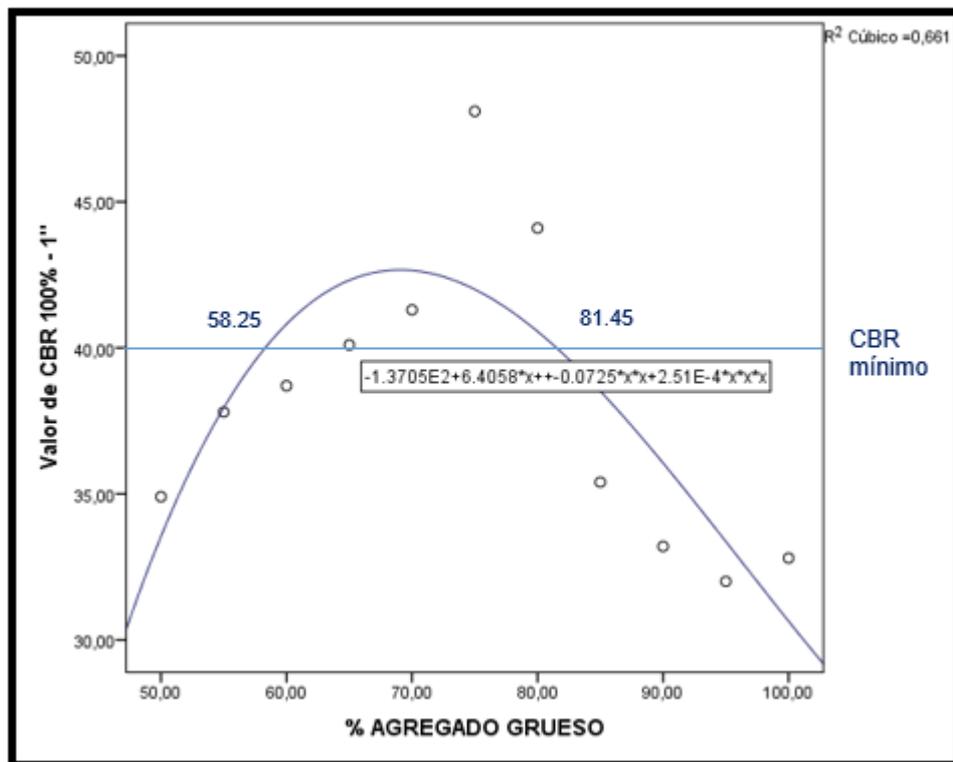
**Figura 33.** Línea tendencia de agregado fino y el valor de CBR al 100% - 1" Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 34 se detalla la curva de penetración para el CBR al 100% de 1" de penetración, donde también se tomó en cuenta el  $R^2$  que genera la línea tendencia, el mayor fue el elegido, en este caso el  $R^2$  cubico teniendo un valor de ajuste de 0.661. Se observa que el CBR al 100% a una penetración 1", se obtuvo la ecuación con la que se puede determinar el porcentaje agregado grueso con su valor de CBR.

Se tiene que según las especificaciones para afirmado del MTC el CBR mínimo es de 40%, a 100% del CBR en 1" de penetración, resultando un rango entre 58.25% y 81.45% de agregado grueso dentro del uso recomendado en el MTC.

$$y = 0.0003x^3 - 0.0725x^2 + 6.4058x - 137.05$$

$$R^2 = 0.657$$



**Figura 34.** Grafica de línea tendencia en porcentaje de agregado grueso versus el valor de CBR al 100% - 1"

Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

#### **4.3. Análisis de Resultados de Muestras Óptimo Cbr más Aditivos (Cemento, Cal y Emulsión)**

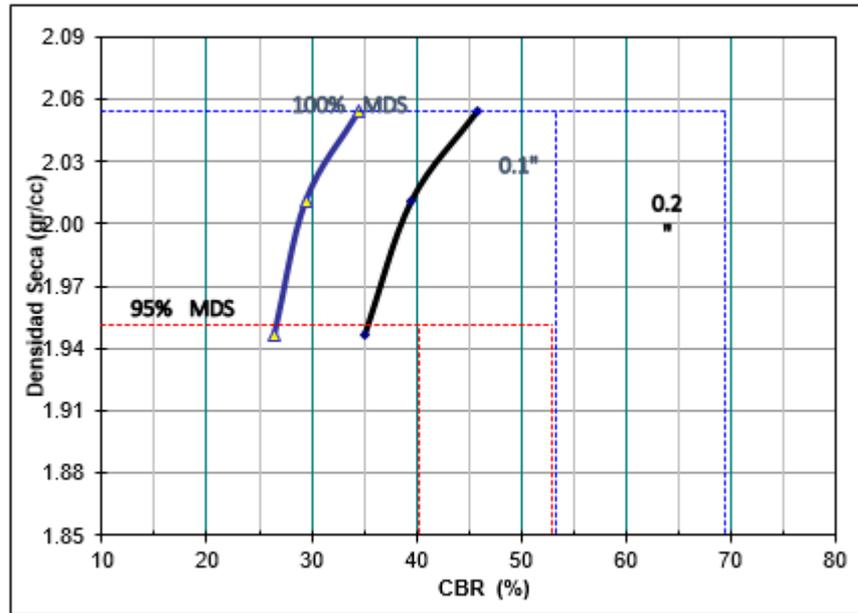
El análisis de resultados consistirá en procesar y explicar los resultados obtenidos y cotejarlos con la base teórica y los antecedentes.

##### **4.3.1. Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Cemento**

Para obtener valores óptimos del CBR (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) se han mezclado la óptima combinación de CBR de agregado grueso y fino (75% -25%) y se ha añadido porcentajes graduales de Cemento, como se indica a continuación:

1. Óptimo CBR y 0,2 % Cemento
2. Óptimo CBR y 0,4 % Cemento
3. Óptimo CBR y 0,6% Cemento
4. Óptimo CBR y 0,8 % Cemento
5. Óptimo CBR y 1,0 % Cemento

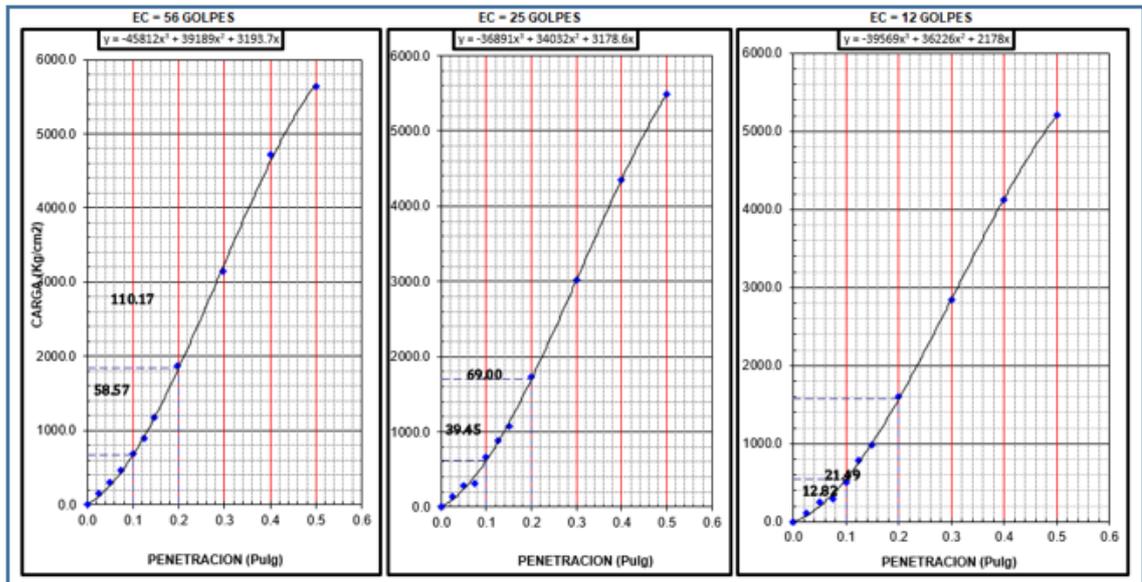
#### 4.3.2.1. Combinación Óptimo Cbr más 0,2% Cemento



**Figura 35.** Gráfico de Penetración CBR - 0.2% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 35 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,2% de cemento, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.

En la figura 36 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1'' y a 2''.



**Figura 36.** Gráfica de Curva de Penetración – 0.2% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

### RESULTADOS:

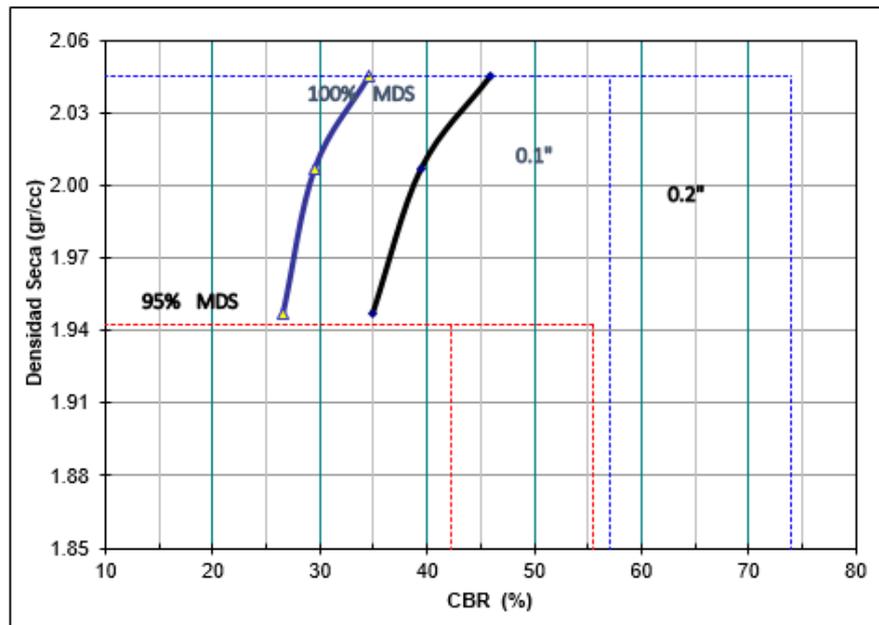
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.6	0.2":	64.7
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.6	0.2":	50.9

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

#### 4.3.2.2. Combinación Óptimo Cbr más 0,4% Cemento

En la figura 37 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,4% de cemento, que se comparará con

las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 37.** Gráfico de Penetración CBR - 0.4% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 38 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".

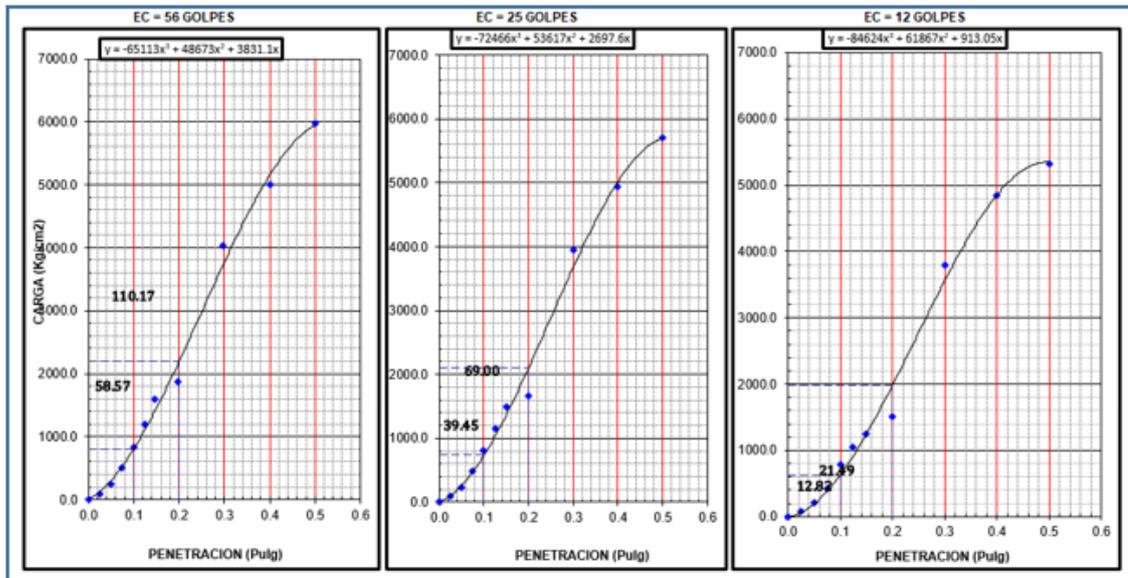


Figura 38. Gráfica de Curva de Penetración – 0.4% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

### RESULTADOS:

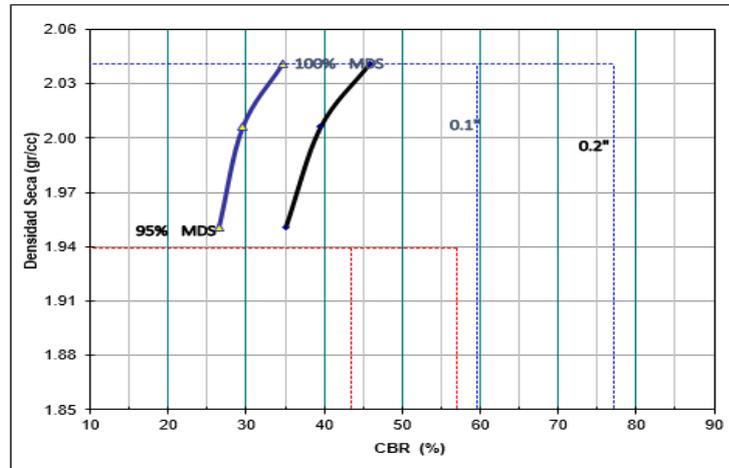
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	50.4	0.2":	65.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	39.1	0.2":	51.6

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

#### 4.3.2.3. Combinación Óptimo Cbr más 0,6% Cemento

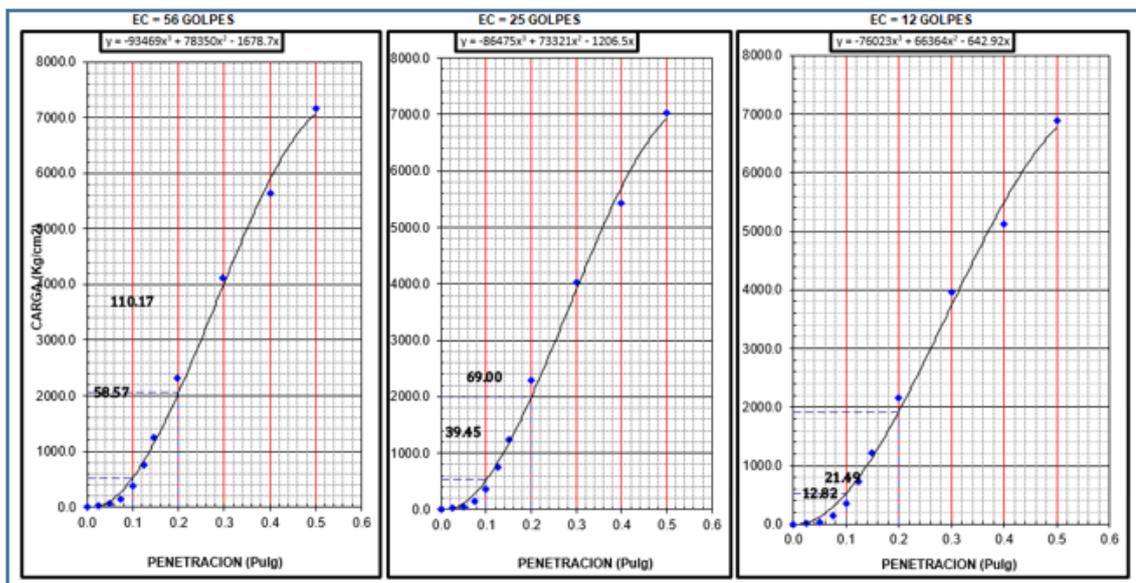
En la figura 39 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,6% de cemento, que se comparará con

las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 39.** Gráfico de Penetración CBR - 0.6% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 40 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 40.** Gráfica de Curva de Penetración - 0.6% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

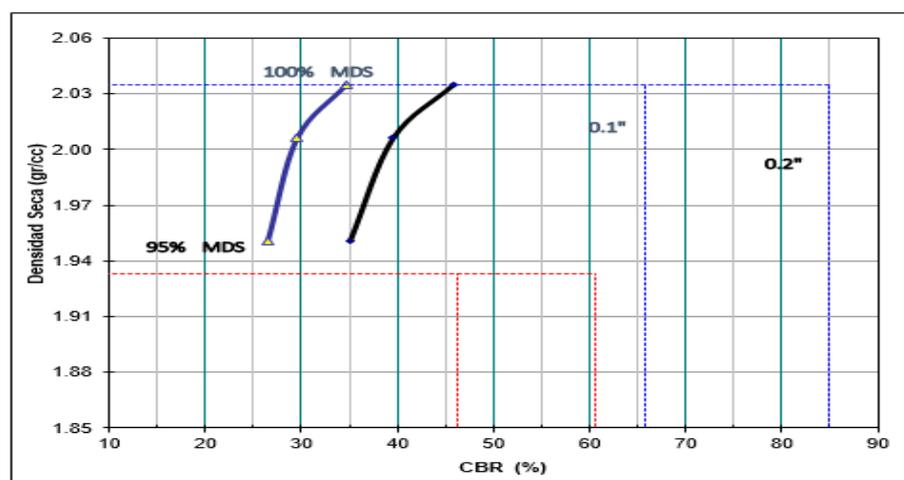
## RESULTADOS

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	51.4	0.2":	67.0
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	39.6	0.2":	52.2

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

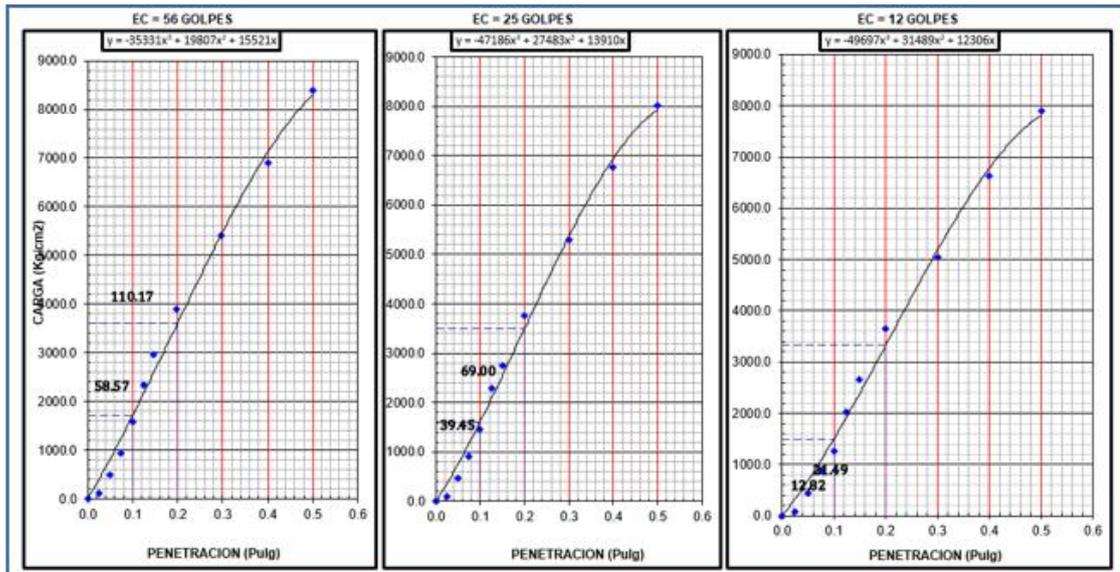
### 4.3.2.4. Combinación Óptimo Cbr más 0,8% Cemento

En la figura 41 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,8% de cemento, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 41.** Gráfico de Penetración CBR - 0.8% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 42 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 42.** Gráfica de Curva de Penetración – 0.8% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

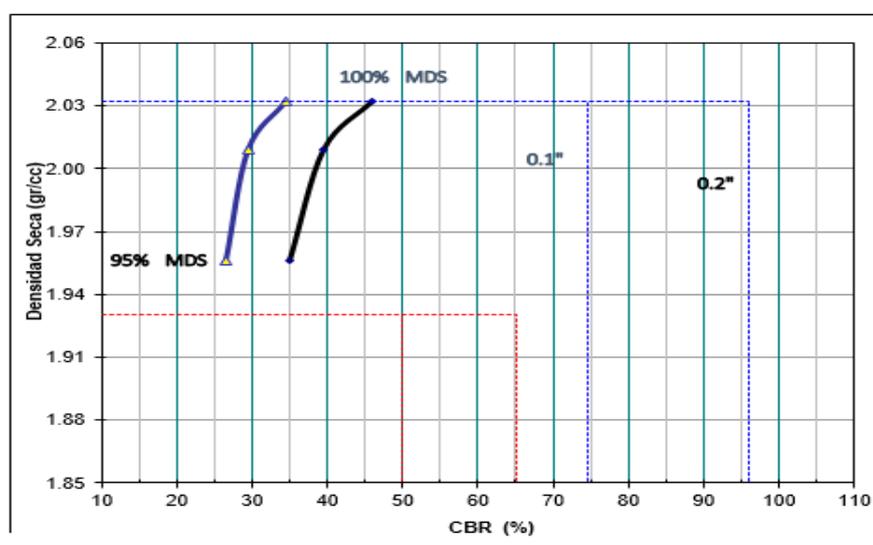
## RESULTADOS

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	52.9	0.2":	68.8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	40.3	0.2":	53.1

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

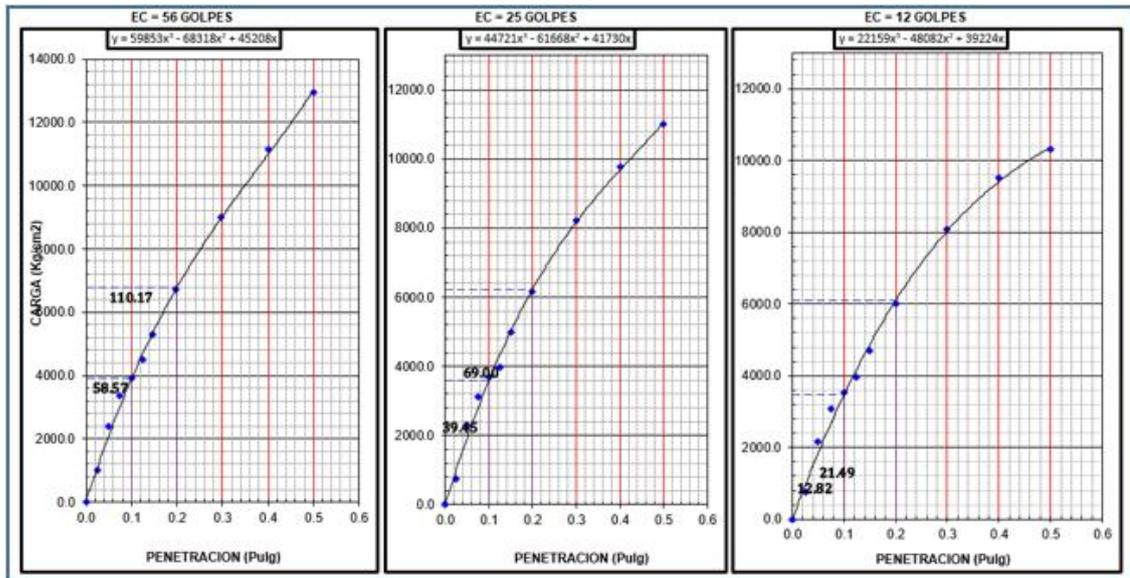
#### 4.3.2.5. Combinación Óptimo Cbr más 1,0% Cemento

En la figura 43 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 1,0% de cemento, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 43.** Gráfico de Penetración CBR - 1.0% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 44 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 44:** Gráfica de Curva de Penetración – 1.0% Cemento  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

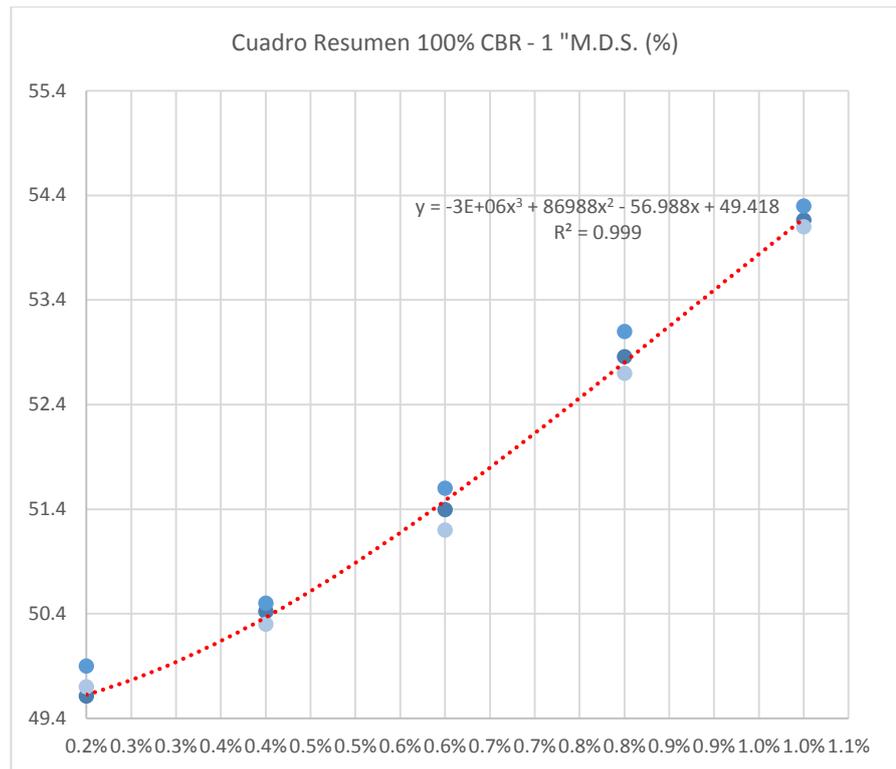
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	54.2	0.2":	70.5
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	40.7	0.2":	53.6

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

### 4.3.2.6. Resumen De Resultados

En la tabla 11 se muestran los datos obtenidos en relación a las distintas combinaciones entre el óptimo CBR y porcentajes progresivos de cemento que presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente.





**Figura 45.** Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR por Óptimo - Cemento

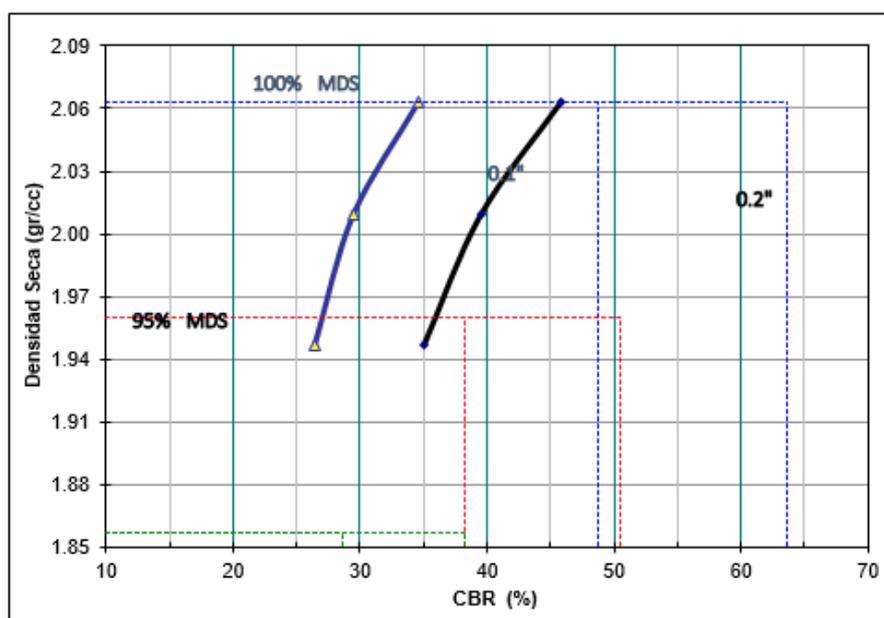
#### 4.3.2. Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Cal

Para obtener valores óptimos del CBR (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) se han mezclado la óptima combinación de CBR de agregado grueso y fino (75% -25%) y se ha añadido porcentajes graduales de Cal, como se indica a continuación:

1. Óptimo CBR y 0,5 % Cal
2. Óptimo CBR y 0,8 % Cal
3. Óptimo CBR y 1,1% Cal
4. Óptimo CBR y 1,1% Cal
5. Óptimo CBR y 1,7% Cal

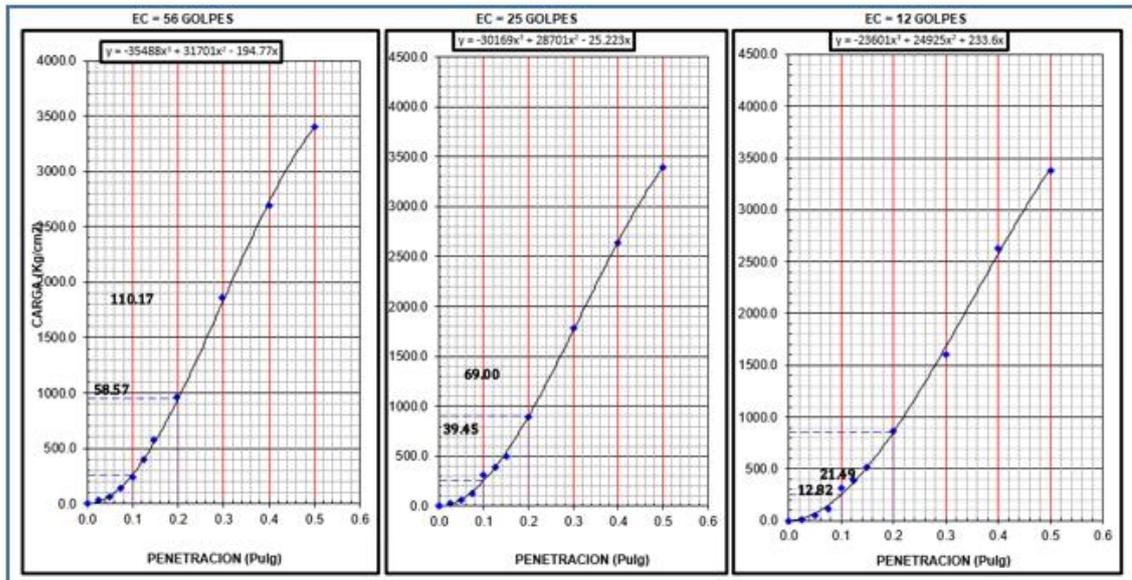
#### 4.3.2.1. Combinación Óptimo Cbr y 0,5% Cal

En la figura 46 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,5% de cal, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 46.** Gráfico de Penetración CBR - 0.5% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 47 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1'' y a 2''.



**Figura 47.** Gráfica de Curva de Penetración 0.5% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

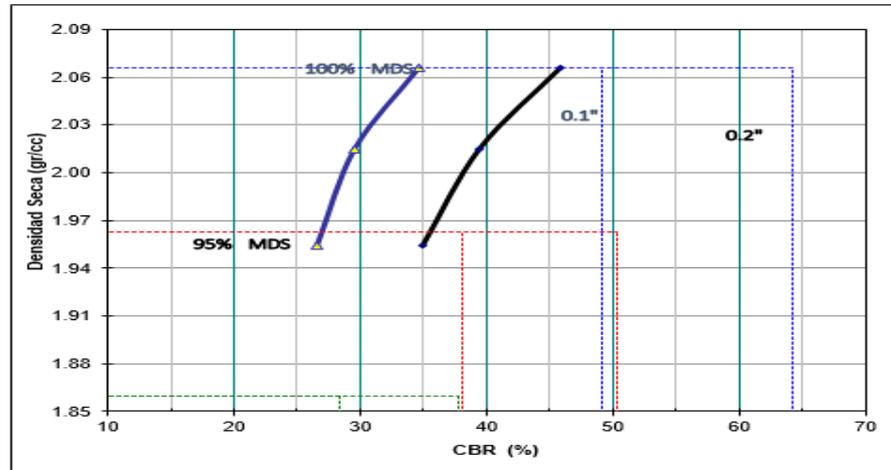
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	48.7	0.2":	63.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.2	0.2":	50.5

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

### 4.3.2.2. Combinación Óptimo Cbr y 0,8% Cal

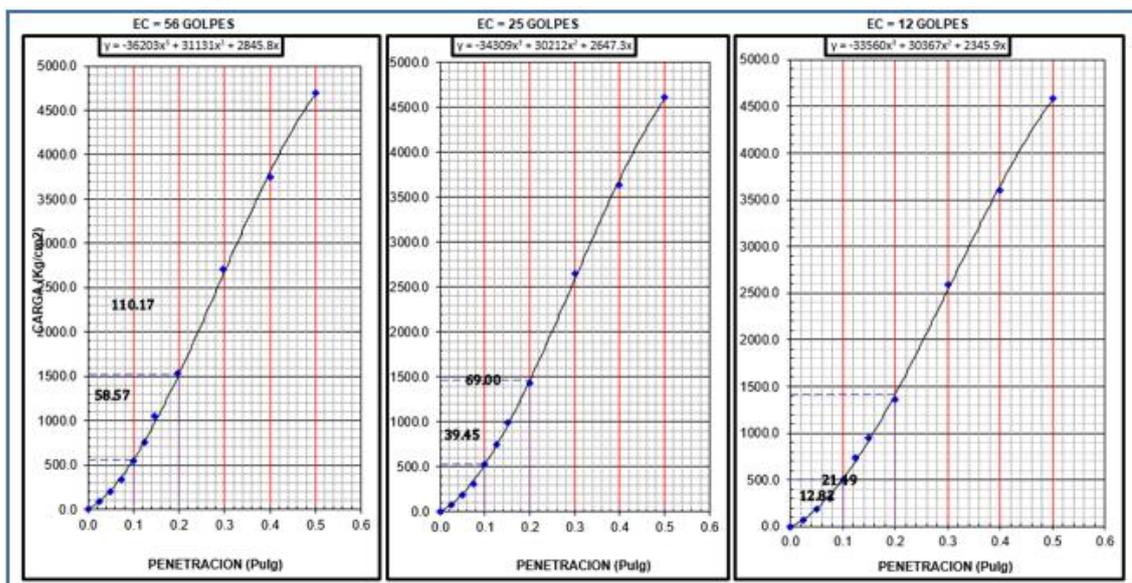
En la figura 48 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 0,8% de cal, que se comparará con las

demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 48:** Gráfico de Penetración CBR - 0.8% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 49 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 49.** Gráfica de Curva de Penetración 0.8% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

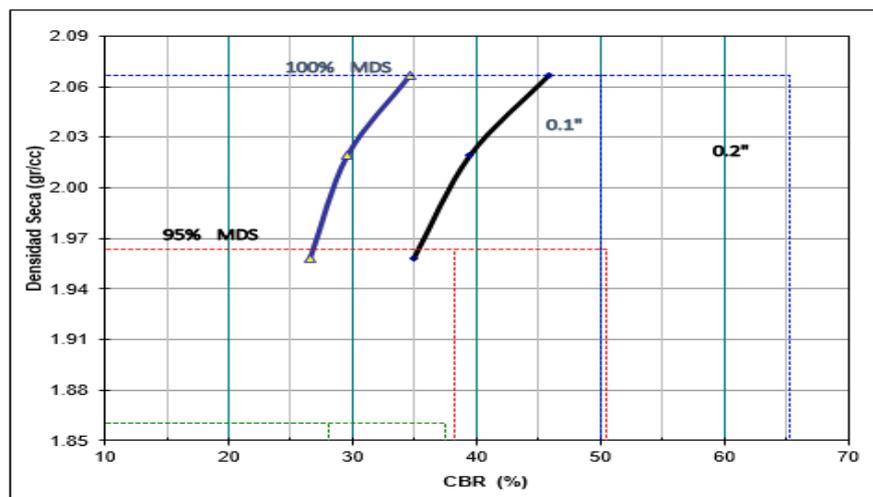
## RESULTADOS

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.2	0.2":	64.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.2	0.2":	50.4

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

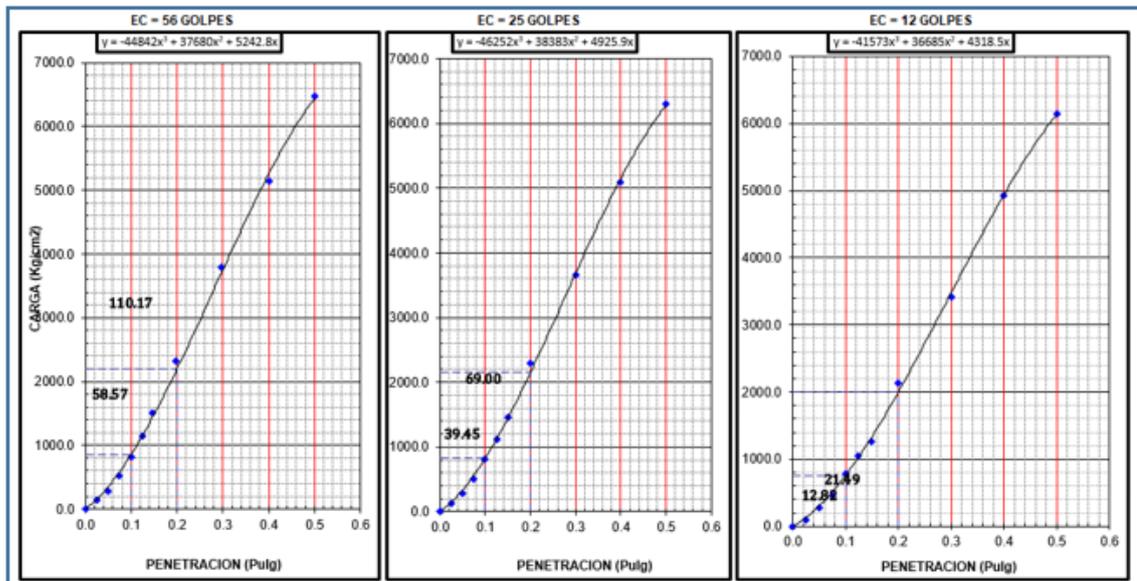
### 4.3.2.3. Combinación Óptimo Cbr Y 1,1% Cal

En la figura 50 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 1,1% de cal, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 50.** Gráfico de Penetración CBR - 1.1% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 51 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 51.** Gráfica de Curva de Penetración 1.1% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

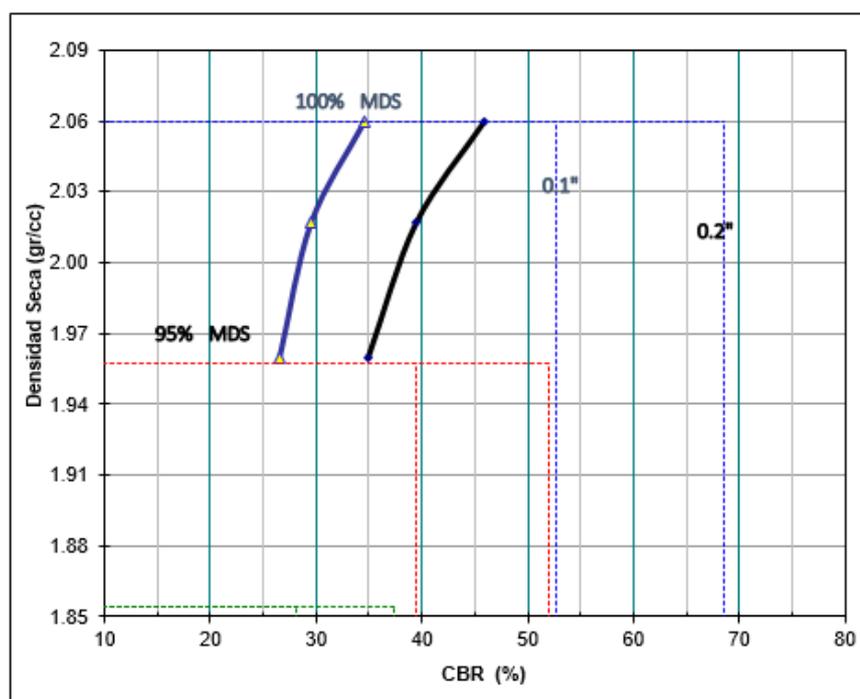
## RESULTADOS

:			
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.2	0.2": 64.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.2	0.2": 50.4

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

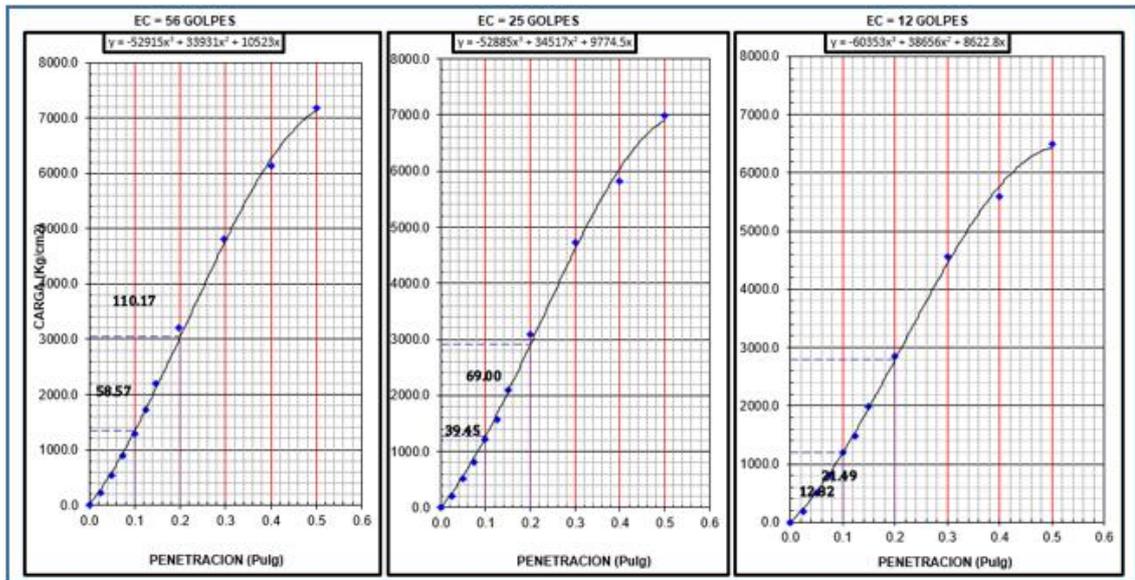
#### 4.3.2.4. Combinación Óptimo Cbr y 1,4% Cal

En la figura 52 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 1,4% de cal, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 52.** Gráfico de Penetración CBR - 1.4% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 53 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 53.** Gráfica de Curva de Penetración 1.4% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

### RESULTADOS:

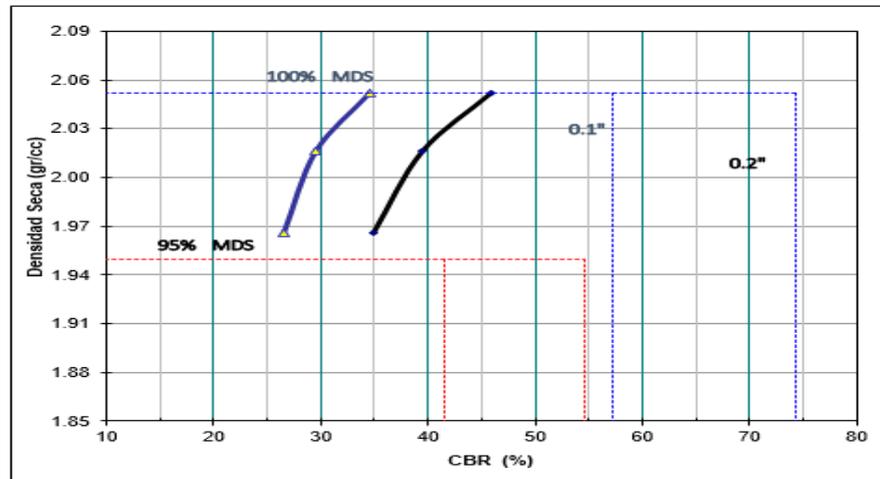
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	51.1	0.2":	66.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.9	0.2":	51.3

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

#### 4.3.2.5. Combinación Óptimo Cbr y 1,7% Cal

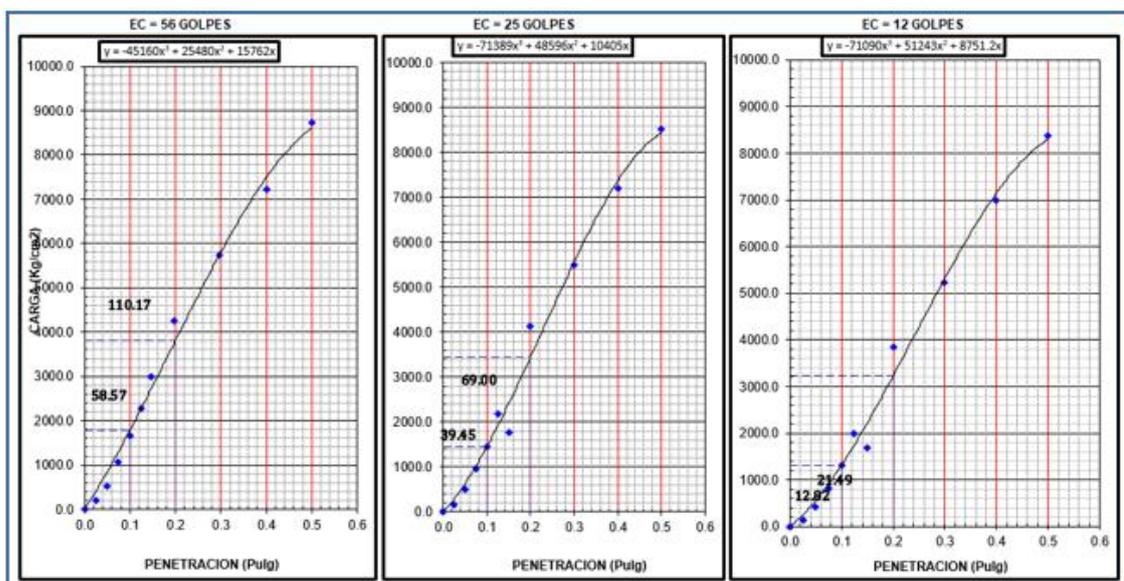
En la figura 54 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 1,7% de cal, que se comparará con las

demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 54.** Gráfico de Penetración CBR - 1.7% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 55 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1'' y a 2''.



**Figura 55.** Gráfica de Curva de Penetración 1.7% Cal  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	52.8	0.2":	68.7
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	39.6	0.2":	52.2

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

### 4.3.2.6. Resumen de Resultados

En la tabla 12 se muestran los datos obtenidos en relación a las distintas combinaciones entre el Óptimo CBR más porcentajes progresivos de cal presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente.

**Tabla 12.**

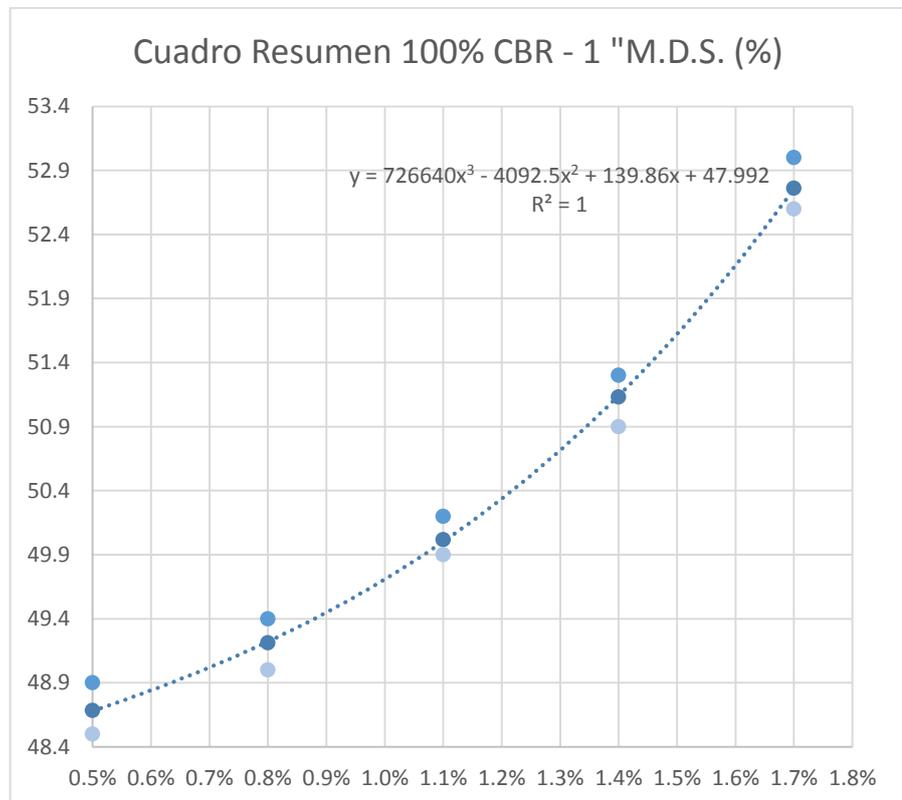
*Resumen de resultados obtenidos del CBR Afirmado - %Cal*

<b>CAL</b>				
0.5%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	48.7	0.2": 63.6
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.2	0.2": 50.5
0.8%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.2	0.2": 64.2
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.2	0.2": 50.4
1.1%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	50.0	0.2": 65.2
	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.3	0.2": 50.5

CAL					
1.4%	<b>RESULTADOS:</b>				
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	51.1	0.2":	66.6
	C.B.R. AL 95%				
	DE M.D.S. (%)	0.1":	38.9	0.2":	51.3
1.7%	<b>RESULTADOS:</b>				
	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	52.8	0.2":	68.7
	C.B.R. AL 95%				
	DE M.D.S. (%)	0.1":	39.6	0.2":	52.2

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 56 los datos obtenidos en relación a las distintas combinaciones entre el Óptimo CBR y porcentajes progresivos de cal que presentan como resultado que mientras mayor cantidad de cal se adhiera mayor será su valor de CBR (con 1,7% de cal tenemos un CBR de 52,8).



**Figura 56.** Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR - Cal

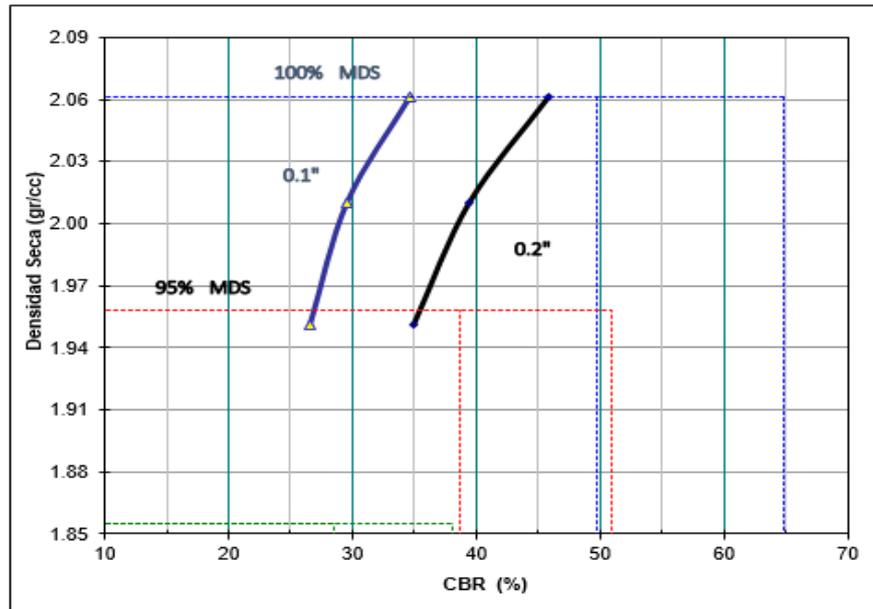
### **4.3.3. Análisis de Resultados y Estadístico de la Combinación Óptima de Cbr y Emulsión**

Para obtener valores óptimos del CBR (Óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca) se han mezclado la óptima combinación de CBR de agregado grueso y fino (75% -25%) y se ha añadido porcentajes graduales de Emulsión, como se indica a continuación:

1. Óptimo CBR y 2 % Emulsión
2. Óptimo CBR y 4 % Emulsión
3. Óptimo CBR y 6% Emulsión
4. Óptimo CBR y 8 % Emulsión
5. Óptimo CBR y 10 % Emulsión

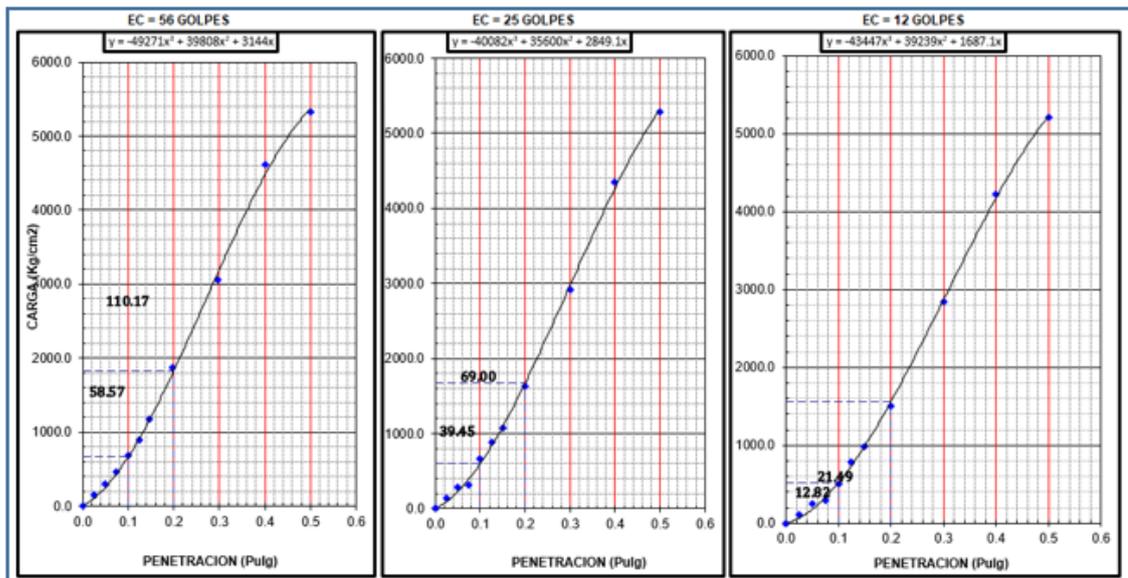
#### **4.3.3.1. Combinación Cbr Óptimo y 2% Emulsión**

En la figura 57 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 2% de emulsión, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 57.** Gráfico de Penetración CBR - 2% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 58 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 58.** Gráfica de Curva de Penetración 2% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

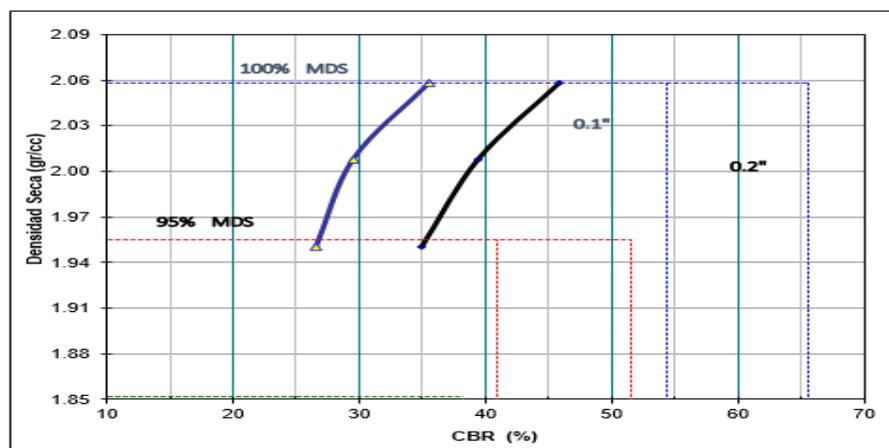
:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.7	0.2":	64.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.7	0.2":	51.0

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

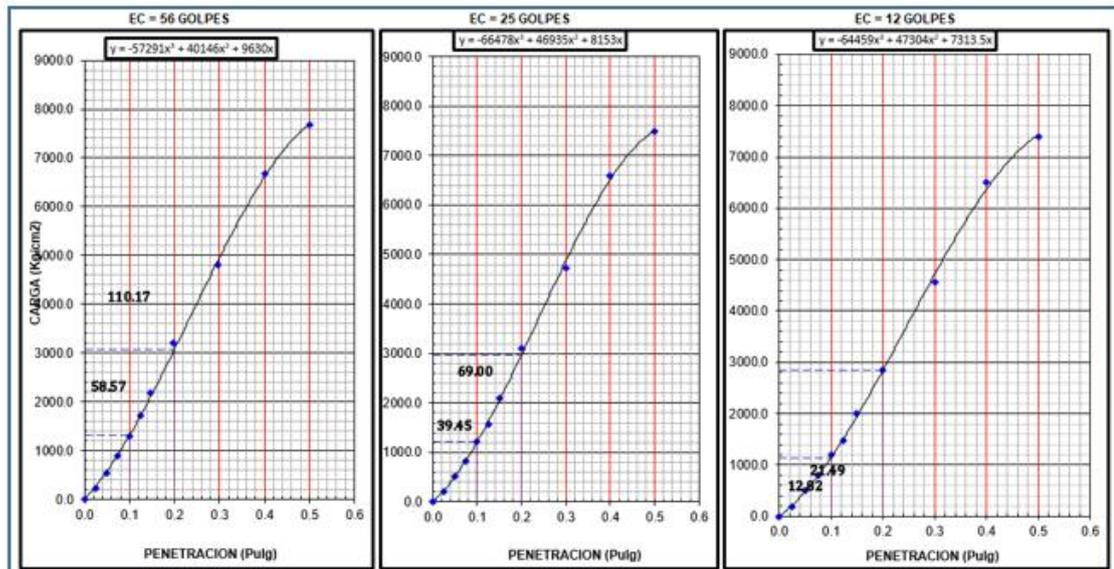
### 4.3.3.2. Combinación Cbr Óptimo y 4% Emulsión

En la figura 59 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 4% de emulsión, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 59:** Gráfico de Penetración CBR - 4% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 60 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 60:** Gráfica de Curva de Penetración 4% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

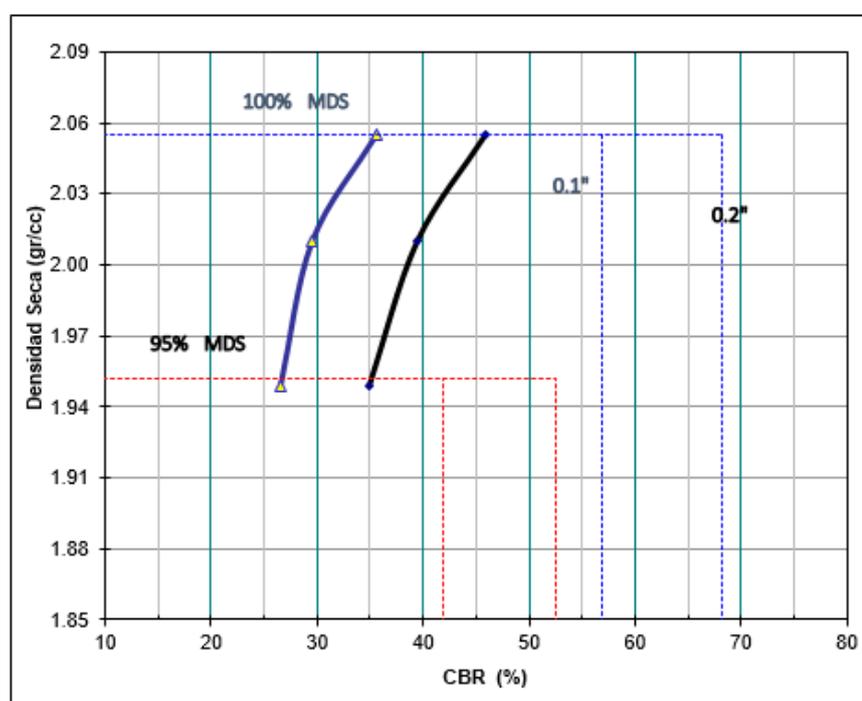
## RESULTADO

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	54.4	0.2":	65.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	40.9	0.2":	51.5

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

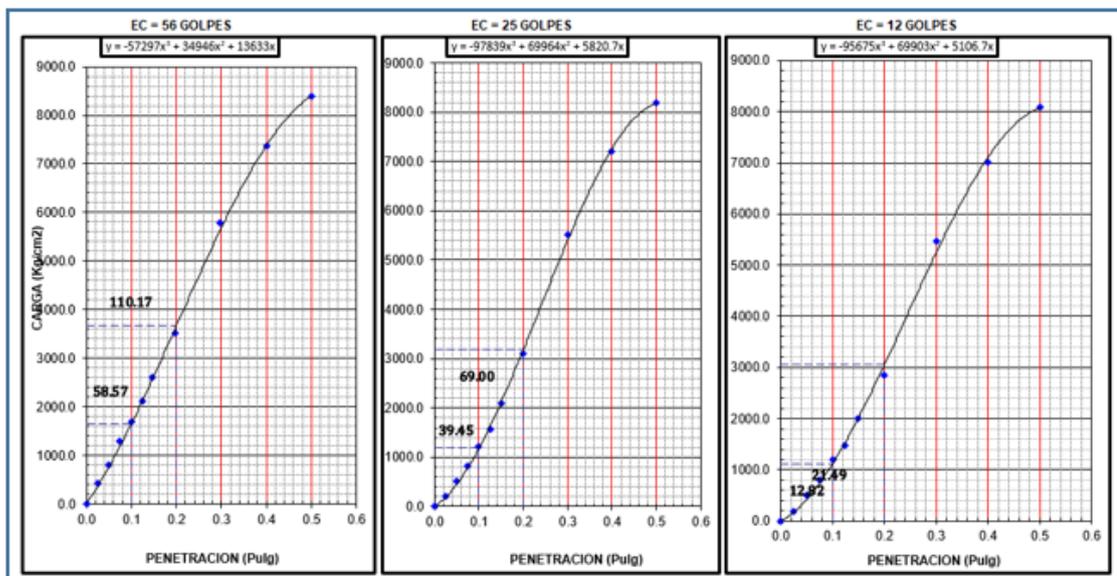
### 4.3.3.3. Combinación Cbr Óptimo y 6% Emulsión

En la figura 61 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 6% de emulsión, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 61:** Gráfico de Penetración CBR - 6% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 62 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 62.** Gráfica de Curva de Penetración 6% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

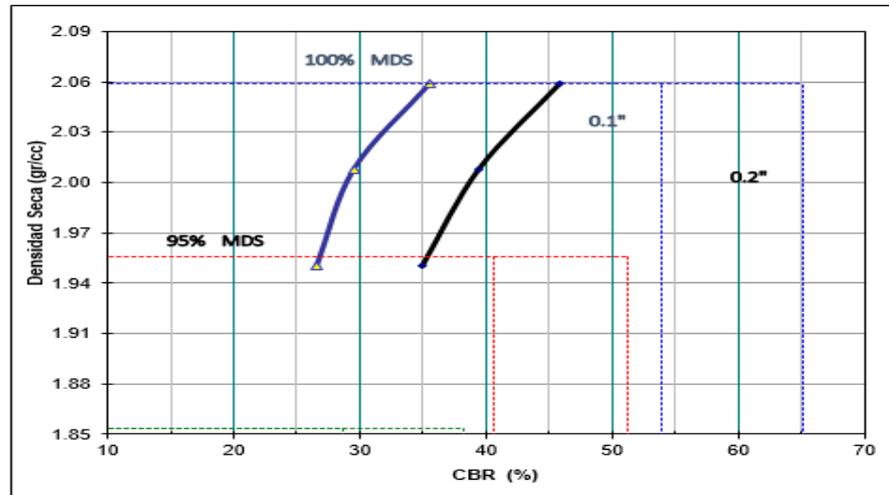
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	56.9	0.2":	68.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	41.9	0.2":	52.5

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

### 4.3.3.4. Combinación Cbr Óptimo Afirmado y 8% Emulsión

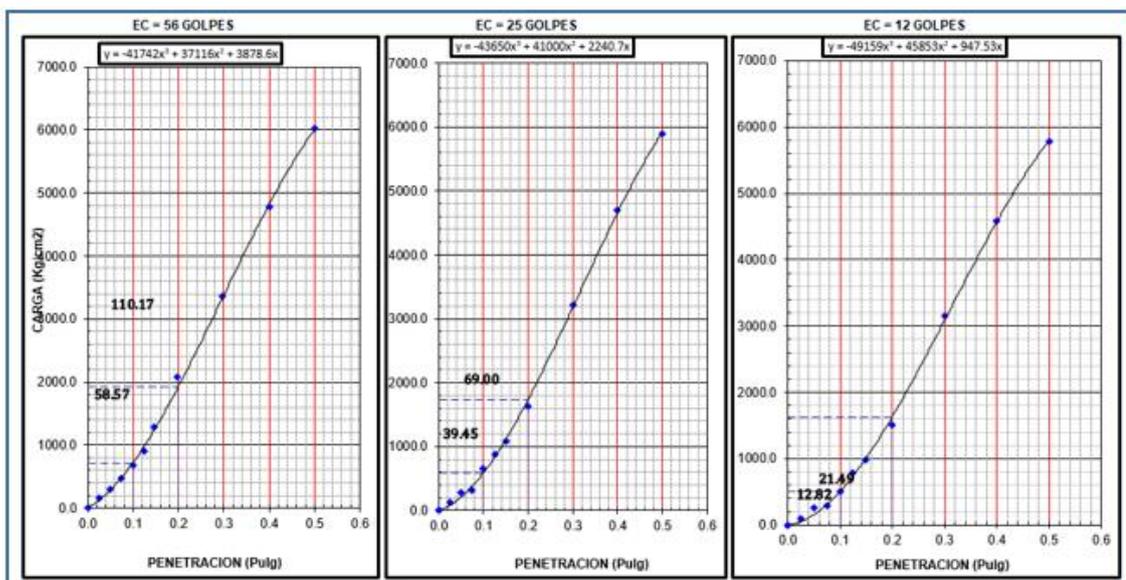
En la figura 63 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 8% de emulsión, que se comparará con las

demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento, cal y emulsión.



**Figura 63.** Gráfico de Penetración CBR - 8% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 64 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1'' y a 2''.



**Figura 64.** Gráfica de Curva de Penetración 8% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

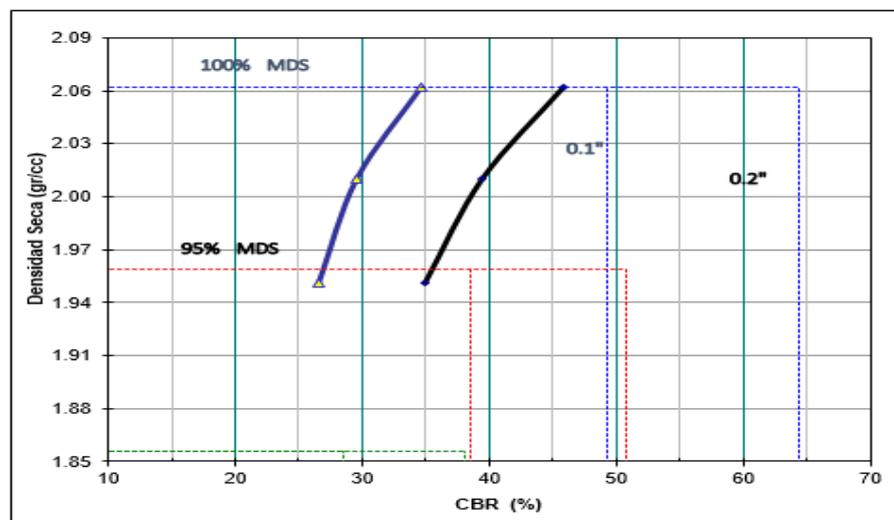
:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	53.9	0.2":	65.1
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	40.7	0.2":	51.2

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27.mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

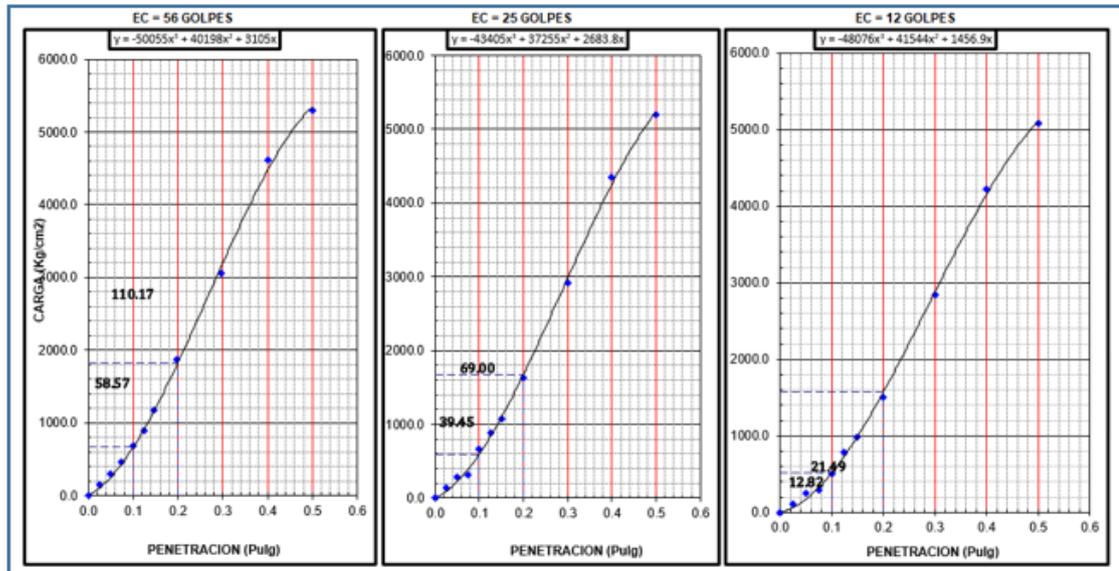
### 4.3.3.5. Combinación Cbr Óptimo y 10% Emulsión

En la figura 65 se observa la gráfica de penetración, presentando el CBR en porcentaje y la densidad seca en gr/cc; obtenido de la muestra del óptimo CBR (75% de material granular y 25% de material fino) más 10% de emulsión, que se comparará con las demás combinaciones de mezcla del afirmado con cemento y cal.



**Figura 65.** Gráfico de Penetración CBR - 10% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

En la figura 66 se tiene la resistencia a la penetración en pulgadas por carga en kg/cm<sup>2</sup>, en cada muestra trabajada a 12, 25 y 56 golpes. El valor de relación de soporte (CBR) se presenta al 100% y al 95% de su máxima densidad seca, teniendo valores de penetración a 1" y a 2".



**Figura 66.** Gráfica de Curva de Penetración 10% Emulsión  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

## RESULTADOS

:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	49.3	0.2":	64.4
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.5	0.2":	50.8

Se aplica la carga sobre el pistón de penetración mediante el mecanismo de la prensa, tratando de mantener una velocidad uniforme de 1.27 mm por minuto, esto si se cuenta con una prensa manual que no cuenta con una velocidad automática, y es controlado con el Dial (deformación por la penetración de la aguja) y un cronometro; de este modo se obtienen las lecturas de carga para cada penetración.

### 4.3.3.6. Resumen de Mezclas

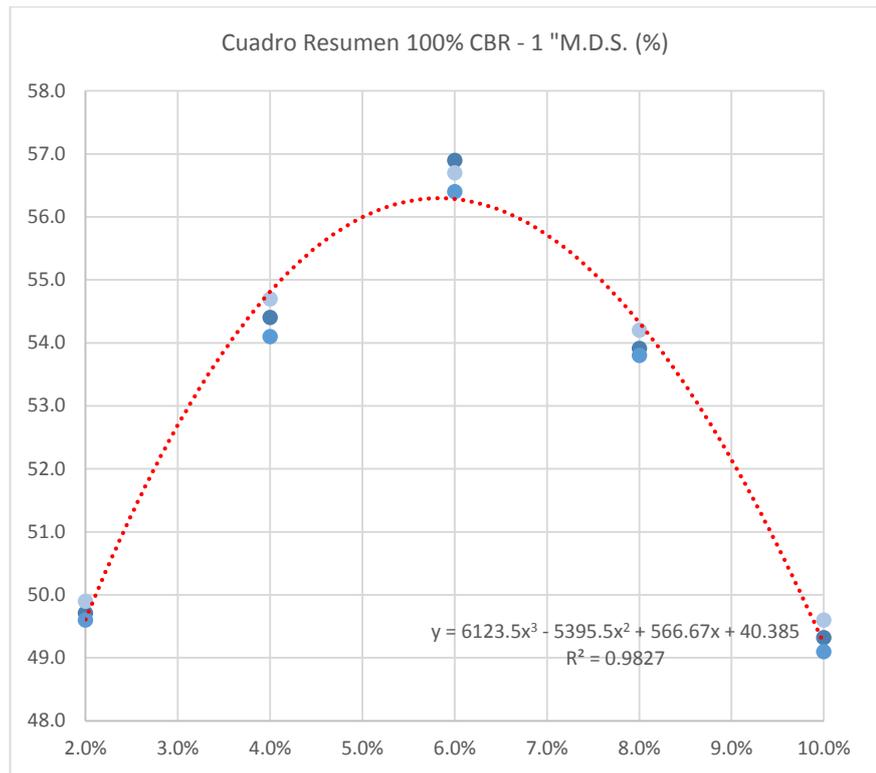
En la tabla 13 se muestran los datos obtenidos en relación a las distintas combinaciones entre el óptimo CBR y porcentajes progresivos de emulsión asfáltica que presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente.

**Tabla 13.**  
*Resumen de resultados obtenidos del CBR por Grava y Fino - %Emulsión*

<b>EMULSIÓN</b>				
2.0%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>49.7</b>	<b>0.2"</b> : <b>64.9</b>
4.0%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>54.4</b>	<b>0.2"</b> : <b>65.6</b>
6.0%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>56.9</b>	<b>0.2"</b> : <b>68.2</b>
8.0%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>53.9</b>	<b>0.2"</b> : <b>65.1</b>
10.0%	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 100%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>49.3</b>	<b>0.2"</b> : <b>64.4</b>
	<b>RESULTADOS:</b>			
	C.B.R. AL 95%			
	DE M.D.S. (%)	<b>0.1"</b> :	<b>38.5</b>	<b>0.2"</b> : <b>50.8</b>

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 67 los datos obtenidos en relación a las distintas combinaciones entre el Óptimo CBR y porcentajes progresivos de emulsión asfáltica presentan como resultado una óptima mezcla analizada gráficamente, que tiene un máximo CBR en la combinación de 6% de Emulsión Asfáltica y Óptimo para afirmado.



**Figura 67.** Resumen gráfico de resultados obtenidos del CBR – Emulsión Asfáltica  
Fuente: Elaborado por Wilmer Jholiño Rojas Meza

#### 4.4. Análisis Estadístico de las Combinaciones de Cbr Óptimo más Aditivos (Cemento, Cal y Emulsión)

##### 4.4.1. Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Cemento – Cbr de 1” al 100%

Se realizó un análisis estadístico mediante el SPSS, para poder determinar los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar a partir de los datos de CBR de cada mezcla con porcentajes progresivos de cemento; como se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14.**  
Datos Estadísticos para Cbr al 100% a 1” de Penetración

Descriptivos				
	% CEMENTO		Estadístico	Error estándar
CBR 100% 1"	,2	Media	53,383	,1167
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	52,881
	Límite superior		53,885	
	,4	Media	56,710	,2577
		Límite inferior	55,601	

Descriptivos					
	% CEMENTO			Estadístico	Error estándar
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite superior	57,819	
	,6	Media		59,517	,1099
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	59,044	
			Límite superior	59,990	
	,8	Media		65,750	,0866
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	65,377	
			Límite superior	66,123	
	1,0	Media		74,500	,1286
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	73,947	
			Límite superior	75,053	

Para poder determinar si existe influencia entre el Porcentaje (%) de Cemento y el CBR 100% se debe observar si los datos cumplen una distribución normal (Datos Paramétricos) o si es lo contrario. Es por ello que se realizó la Prueba de Normalidad la cual se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 15.**  
*Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1"*

	% CEMENTO	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl.	Sig.
CBR 100% 1"	0,2	,980	3	,726
	0,4	,864	3	,279
	0,6	,996	3	,884
	0,8	1,000	3	1,000
	1,0	,976	3	,702

Donde se describe dos tipos de análisis para normalidad, una de ella es del análisis por Kolmogorov – Smirnov que se emplea cuando el tamaño de muestra es mayor a 50 datos y la otra Shapiro – Wilk que se emplea cuando el tamaño de muestra es menor o igual a 50 datos.

Para el presente análisis del Porcentaje (%) de Cemento adicionado se trabajará con Shapiro – Wilk pues la presente investigación tiene 3 datos por dosificación.

El análisis de Shapiro – Wilk consiste en que si el nivel de significancia (sig.) es mayor o igual a 0.05, entonces se deduce que si existe una distribución normal de los datos analizados y si fuera lo contrario donde el nivel de sig. fuera menor a 0.05, entonces indica que los datos si presentan una distribución normal.

Después de observar si los datos son Paramétricos o No Paramétricos mediante el análisis de normalidad de datos se procede a analizar la correlación entre variables en este caso la variable de Porcentaje (%) de Cemento y el CBR al 100% - 1”

Para este caso se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson por ser grupo de datos no paramétricos.

El análisis de correlación de Pearson indica que:

**H<sub>0</sub>:**  $r = 0 \rightarrow$  No existe Correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de cemento en la mezcla trabajada

**H<sub>1</sub>:**  $r \neq 0 \rightarrow$  Existe Correlación (Existe correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de cemento en la mezcla trabajada; va depender del signo que presente pues también la intensidad de correlación)

#### **Nivel de Significancia: 1.000**

En la tabla 16 se tiene el análisis de coeficiente de relación de Pearson, donde el nivel de significancia de 0 cuyo valor menor al 0.05 ya establecido, al tener el  $r \neq 0$  nos indica que existe correlación entre las variables.

**Tabla 16.**  
*Correlación para CBR al 100%, penetración de 1"*

Correlaciones			
		% CEMENTO	CBR 100% 1"
% CEMENTO	Correlación de Pearson	1	,987**
	Sig. (bilateral)		,623
	N	15	15
CBR 100% 1"	Correlación de Pearson	,987**	1
	Sig. (bilateral)	,623	
	N	15	15

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Como se observa en la tabla de correlación indica que  $r = 0.987$  cual indica que existe una correlación muy alta como se describe en el rango de correlación (ver tabla 17)

**Tabla 17.**  
*Rango de Correlación "r"*

Coefficiente	Interpretación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.80 < r < 1$	Muy alta
$0.60 < r < 0.80$	Alta
$0.40 < r < 0.60$	Moderada
$0.20 < r < 0.40$	Baja
$0 < r < 0.20$	Muy baja
$r = 0$	Nula

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 68 Se observa que si existe correlación entre las variables de % de Cemento y CBR al 100% - 1" se realiza un análisis gráfico donde se busca la línea tendencia que se genera con los datos obtenidos, como se observa en la siguiente figura. Se observa que a un  $R^2 = 0.993$  que la ecuación presente es:

$$Y = 49.93 - 3.31*x + 13.15*x^2 - 5.56*x^3$$

$$R^2 = 0.993$$

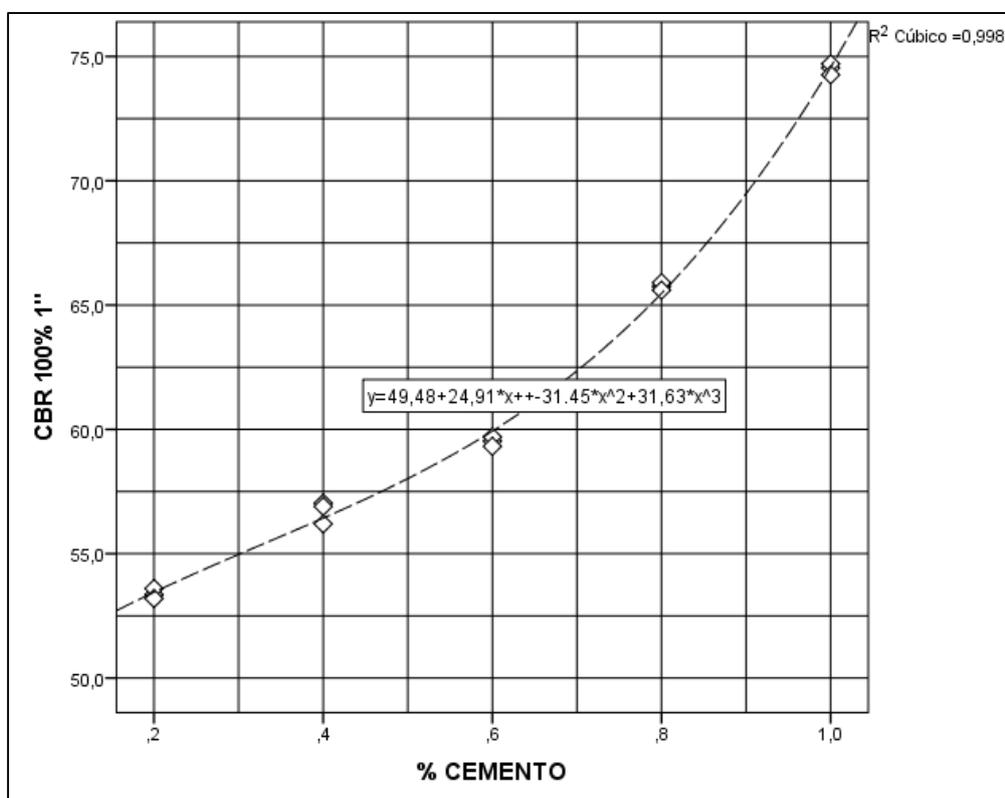


Figura 68. Línea Tendencia de Porcentaje (%) de cemento y el valor de CBR al 100% - 1''

#### 4.4.2. Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Cal – Cbr de 1'' al 100%

Se realizó un análisis estadístico mediante el SPSS, para poder determinar los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar a partir de los datos de CBR de cada mezcla con porcentajes progresivos de cal; como se muestra en la tabla 18.

**Tabla 18.**  
Datos estadísticos para Cbr al 100% a 1'' de Penetración

CBR al 100% de M.D.S. (%) – 1''				
	% CAL		Estadístico	Error estándar
CBR 100% 1''	0,5	Media	48,700	,1155
		Mínimo	48,5	
		Máximo	48,9	
	0,8	Media	49,200	,1155
		Mínimo	49,0	

CBR al 100% de M.D.S. (%) – 1”				
	% CAL		Estadístico	Error estándar
		Máximo	49,4	
	1,1	Media	50,033	,0882
		Mínimo	49,9	
		Máximo	50,2	
	1,4	Media	51,100	,1155
		Mínimo	50,9	
		Máximo	51,3	
	1,7	Media	52,800	,1155
		Mínimo	52,6	
		Máximo	53,0	

Fuente: Elaboración Propia

Para poder determinar si existe influencia entre el Porcentaje (%) de cal y el CBR 100% se debe de observar si los datos cumplen una distribución normal (Datos Paramétricos) o si es lo contrario. Es por que se realizó la Prueba de Normalidad la cual se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 19.**

*Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1”*

	% CAL	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl.	Sig.
CBR 100% 1”	0,5	1,000	3	1,000
	0,8	1,000	3	1,000
	1,1	,964	3	,637
	1,4	1,000	3	1,000
	1,7	1,000	3	1,000

Fuente: Elaboración propia

Donde se describe dos tipos de análisis para normalidad, una de ella es del análisis por Kolmogorov – Smirnov que se emplea cuando el tamaño de muestra es mayor a 50 datos y la otra Shapiro – Wilk que se emplea cuando el tamaño de muestra es menor o igual a 50 datos.

Para el presente análisis del Porcentaje (%) de Cal adicionada se trabajará con Shapiro – Wilk pues la presente investigación tiene 3 datos por punto.

El análisis de Shapiro – Wilk consiste en que si el nivel de significancia (sig.) el mayor o igual a 0.05, entonces se deduce que si existe una distribución normal de los datos analizados y si fuera lo contrario donde el nivel de sig. fuera menor a 0.05, entonces indica que los datos no presentar una distribución normal.

Después de observar si los datos son Paramétricos o No Paramétricos mediante el análisis de normalidad de datos se procede a analizar la correlación entre variables en este caso la variable de Porcentaje (%) de Cal y el CBR al 100% - 1”

Para este caso se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson por ser grupo de datos paramétricos.

El análisis de correlación de Pearson indica que:

**H<sub>0</sub>:**  $r = 0 \rightarrow$  No existe Correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de cal en la mezcla trabajada

**H<sub>1</sub>:**  $r \neq 0 \rightarrow$  Existe Correlación (Existe correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de cal en la mezcla trabajada; va depender del signo que presente pues también la intensidad de correlación

#### **Nivel de Significancia: 1.000**

En la tabla 20 se tiene el análisis de coeficiente de relación de Pearson, donde el nivel de significancia de 0 cuyo valor menor al 0.05 ya establecido, al tener el  $r \neq 0$  nos indica que existe correlación entre las variables.

**Tabla 20.**  
*Correlación para CBR al 100%, penetración de 1”*

Correlaciones			
		% CAL	CBR 100% 1”
% CAL	Correlación de Pearson	1	,970**
	Sig. (bilateral)		,415
	N	15	15
CBR 100% 1”	Correlación de Pearson	,970**	1
	Sig. (bilateral)	,415	
	N	15	15
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).			

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla de correlación indica que  $r = 0.970$  cual indica que existe una correlación muy alta como se describe en el rango de correlación (ver tabla 21)

**Tabla 21.**  
*Rango de Correlación “r”*

Coefficiente	Interpretación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.80 < r < 1$	Muy alta
$0.60 < r < 0.80$	Alta
$0.40 < r < 0.60$	Moderada
$0.20 < r < 0.40$	Baja
$0 < r < 0.20$	Muy baja
$r = 0$	Nula

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 69 Se observa que si existe correlación entre las variables de Porcentaje (%) de Cal y CBR al 100% - 1” se realiza un análisis gráfico donde se busca la línea tendencia que se genera con los datos obtenidos, como se observa en la siguiente figura. Se observa que a un  $R^2 = 0.988$  que la ecuación presente es:

$$Y = 47.9 + 1.85*x - 0.97*x^2 + 0.93*x^3$$

$$R^2 = 0.988$$

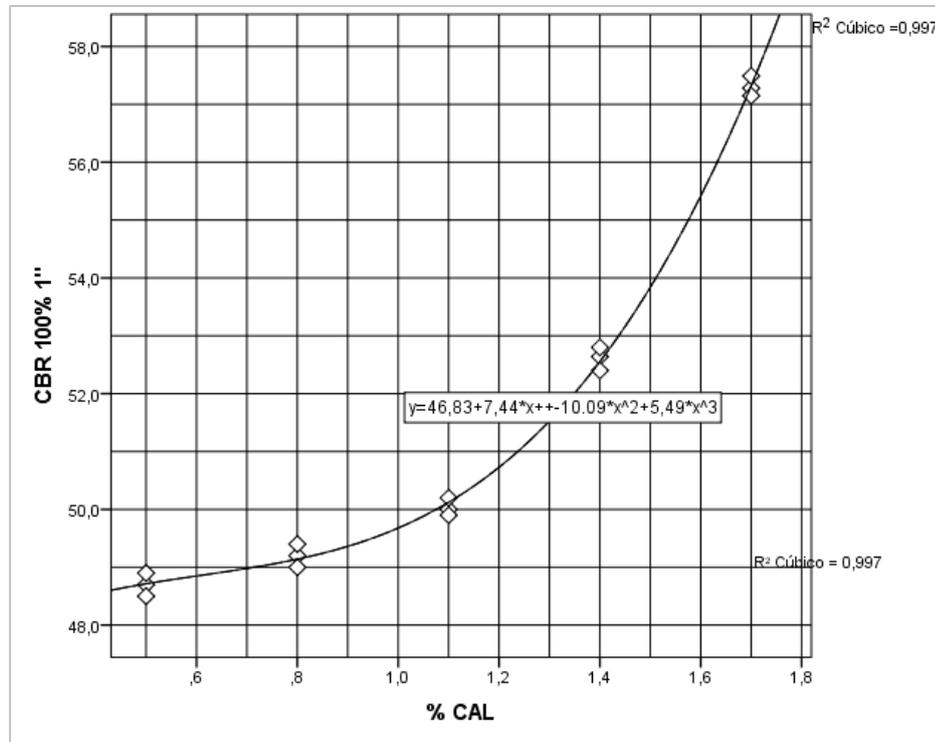


Figura 69. Línea Tendencia de Porcentaje (%) de cal y el valor de CBR al 100% - 1''

#### 4.4.3. Datos de Análisis con Porcentajes (%) de Emulsión – Cbr de 1'' al 100%

Se realizó un análisis estadístico mediante el SPSS, para poder determinar los parámetros estadísticos como la media, mediana, varianza, desviación estándar a partir de los datos de CBR de cada mezcla con porcentajes progresivos de emulsión; como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

Datos Estadísticos para Cbr al 100% A 1'' de Penetración

CBR al 100% de M.D.S. (%) – 1''				
	% EMULSIÓN		Estadístico	Error estándar
CBR 100% 1''	2,0	Media	49,733	,0882
		Mínimo	49,6	
		Máximo	49,9	
	4,0	Media	54,400	,1732
		Mínimo	54,1	
		Máximo	54,7	

CBR al 100% de M.D.S. (%) – 1”				
	% EMULSIÓN		Estadístico	Error estándar
	6,0	Media	56,667	,1453
		Mínimo	56,4	
		Máximo	56,9	
	8,0	Media	53,967	,1202
		Mínimo	53,8	
		Máximo	54,2	
	10,0	Media	49,333	,1453
		Mínimo	49,1	
		Máximo	49,6	

Fuente: Elaboración Propia

Para poder determinar si existe influencia entre el Porcentaje (%) de Emulsión y el CBR 100% se debe de observar si los datos cumplen una distribución normal (Datos Paramétricos) o si es lo contrario. Es por que se realizó la Prueba de Normalidad la cual se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 23.**

*Prueba de Normalidad para CBR al 100%, penetración 1”*

	% EMULSIÓN	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl.	Sig.
CBR 100% 1”	2,0	,964	3	,637
	4,0	1,000	3	1,000
	6,0	,987	3	,780
	8,0	,923	3	,463
	10,0	,987	3	,780

Fuente: Elaboración propia

Donde se describe dos tipos de análisis para normalidad, una de ella es del análisis por Kolmogorov – Smirnov que se emplea cuando el tamaño de muestra es mayor a 50 datos y la otra Shapiro – Wilk que se emplea cuando el tamaño de muestra es menor o igual a 50 datos.

Para el presente análisis del Porcentaje (%) de emulsión adicionado se trabajará con Shapiro – Wilk pues la presente investigación tiene 3 datos por punto.

El análisis de Shapiro – Wilk consiste en que si el nivel de significancia (sig.) el mayor o igual a 0.05, entonces se deduce que si existe una distribución normal de los datos analizados y si fuera lo contrario donde el nivel de sig. fuera menor a 0.05, entonces indica que los datos no presentan una distribución normal.

Después de observa si los datos son Paramétricos o No Paramétricos mediante el análisis de normalidad de datos se procede a analizar la correlación entre variables en este caso la variable Porcentaje (%) de Emulsión y el CBR al 100% - 1”

Para este caso se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson por ser grupo de datos no paramétricos.

El análisis de correlación de Pearson indica que:

**H<sub>0</sub>:**  $r = 0 \rightarrow$  No existe Correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de emulsión en la mezcla trabajada

**H<sub>i</sub>:**  $r \neq 0 \rightarrow$  Existe Correlación (Existe correlación entre el valor de CBR y el porcentaje de emulsión en la mezcla trabajada; va depender del signo que presente pues también la intensidad de correlación)

En la tabla 24 se tiene el análisis de coeficiente de relación de Pearson, donde el nivel de significancia de 0 cuyo valor menor al 0.05 ya establecido, al tener el  $r \neq 0$  nos indica que existe correlación entre las variables.

**Tabla 24.**  
*Correlación para CBR al 100%, penetración de 1''*

Correlaciones			
		% EMULSIÓN	CBR 100% 1''
% EMULSIÓN	Correlación de Pearson	1	-,061
	Sig. (bilateral)		,828
	N	15	15
CBR 100% 1''	Correlación de Pearson	-,061	1
	Sig. (bilateral)	,828	
	N	15	15

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la tabla de correlación indica que  $r = -0.061$  cual indica que existe una correlación muy baja como se describe en el rango de correlación (ver tabla 25)

**Tabla 25.**  
*Rango de Correlación "r"*

Coefficiente	Interpretación
$r = 1$	Correlación perfecta
$0.80 < r < 1$	Muy alta
$0.60 < r < 0.80$	Alta
$0.40 < r < 0.60$	Moderada
$0.20 < r < 0.40$	Baja
$0 < r < 0.20$	Muy baja
$r = 0$	Nula

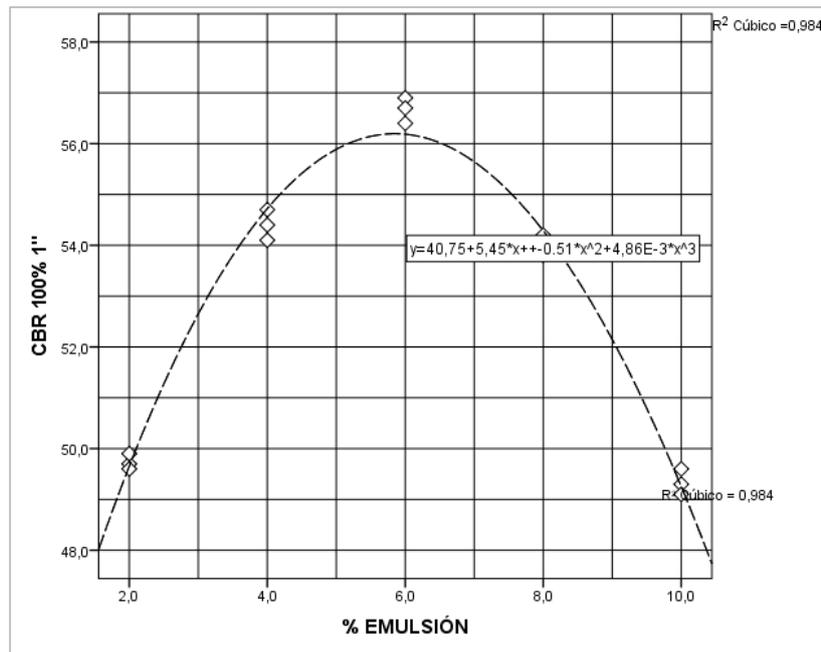
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 70 se observa que si existe correlación entre las variables de Porcentaje (%) de Emulsión y CBR al 100% - 1'' se realiza un análisis gráfico

donde se busca la línea tendencia que se genera con los datos obtenidos, como se observa en la siguiente figura. Se observa que a un  $R^2 = 0.984$  que la ecuación presente es:

$$Y = 40.75 + 5.45*x + 0.51*x^2 + 4.86E-3*x^3$$

$$R^2 = 0.984$$



**Figura 70.** Línea Tendencia de Porcentaje (%) de Emulsión y el valor de CBR al 100% - 1''

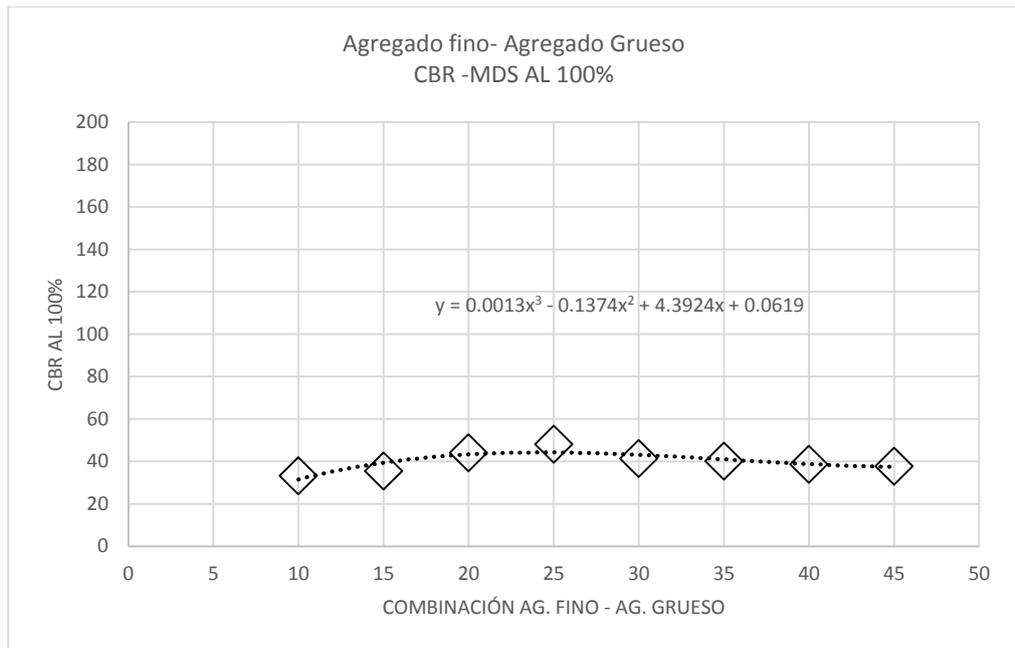
#### 4.5. Análisis de Cbr y Geelong

Este análisis permitirá conocer la relación que existe entre ambos ensayos a través para obtener un mejor afirmado con mayor resistencia y durabilidad

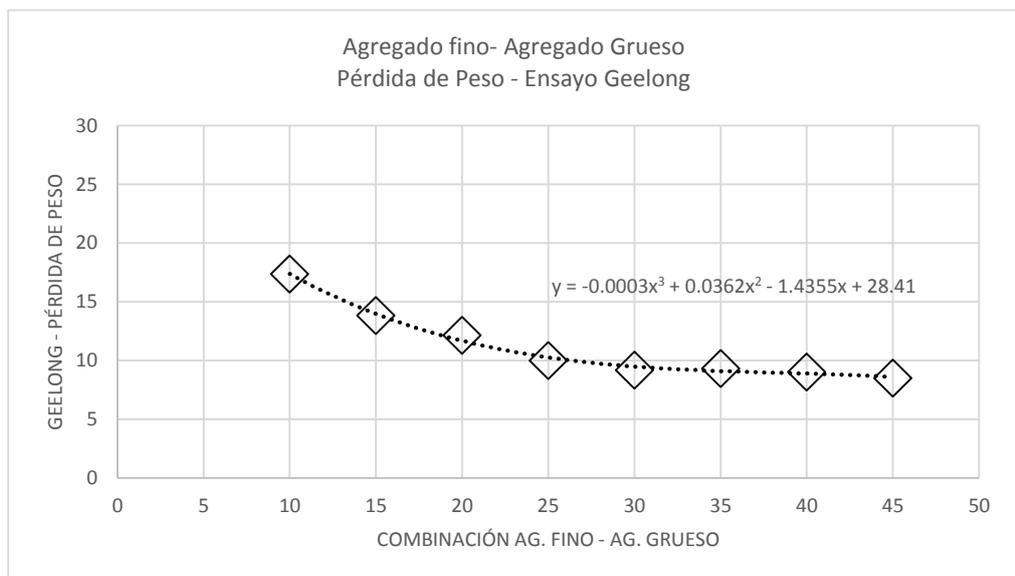
##### 4.5.1. Análisis Cbr Agregado Fino y Agregado Grueso – Geelong

La figura 71 presenta los valores de CBR con porcentajes progresivos de agregado fino y agregado grueso respectivamente; donde el punto máximo representa el óptimo CBR; asimismo la figura 72 muestra el porcentaje de Pérdida de Peso según el ensayo de Geelong para las combinaciones previas de

agregado fino y agregado grueso. El análisis de ambas figuras indica que a medida que aumenta el porcentaje de agregado fino aumenta el CBR y disminuye la erosión (existe menor pérdida de peso); y mientras sigue aumentando el porcentaje de finos baja el CBR; sin embargo, la erosión no aumenta. (El Geelong se mantiene)



**Figura 71.** CBR -MDS AL 100% (Agregado fino- Agregado Grueso)

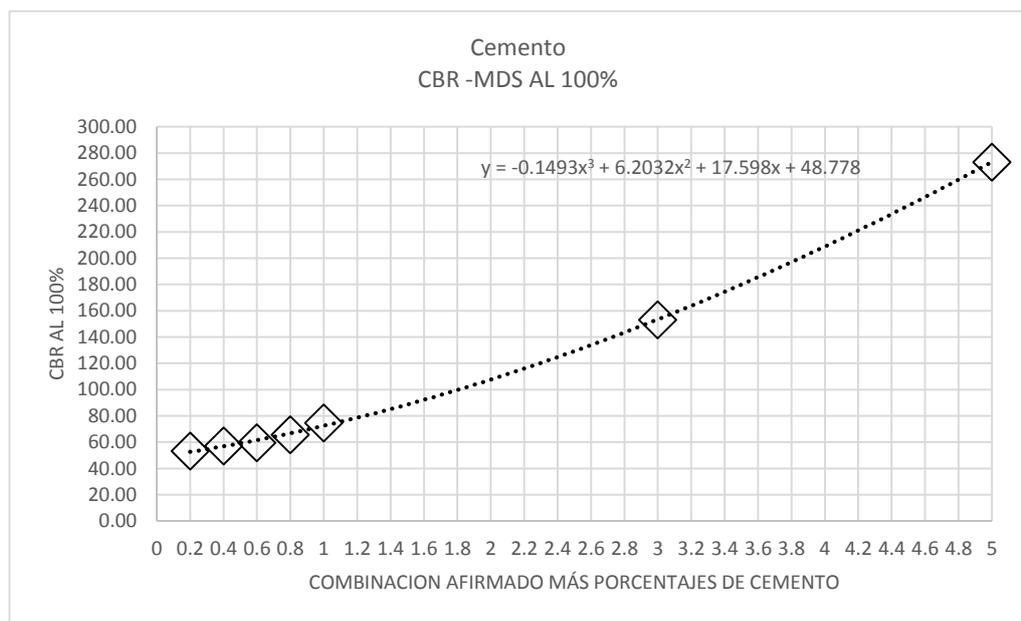


**Figura 72.** %Pérdida de Peso - Geelong (Agregado fino- Agregado Grueso)

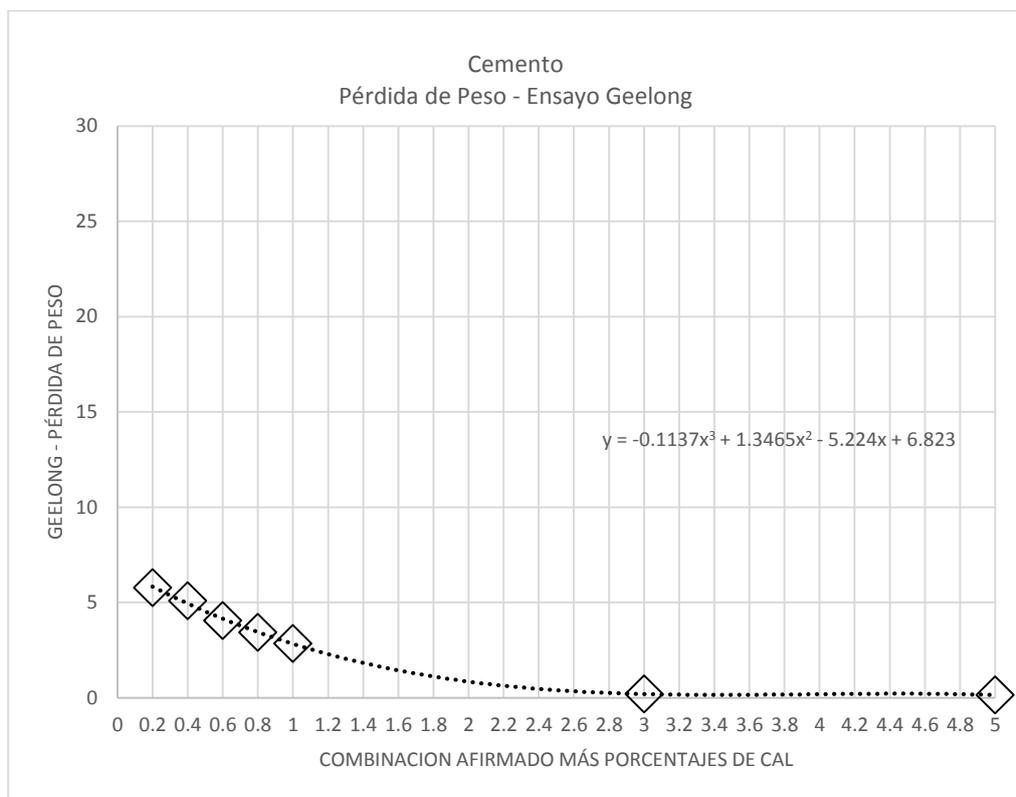
#### 4.5.2. Análisis Óptimo Cbr más Cemento - Geelong

La figura 73 presenta los valores de CBR con el óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes progresivos de cemento; donde el punto máximo representa el mejor valor de CBR; además se observa que mientras mayor sea el porcentaje de incremento de cemento el valor de soporte de la muestra (CBR) también se incrementa. En la figura 74 se observa el porcentaje de Pérdida de Peso según el ensayo de Geelong para las combinaciones previas del óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes graduales de cemento, donde se observa que cuando el porcentaje de cemento se va incrementando la Pérdida de peso va disminuyendo, es decir tiene mayor resistencia.

El análisis de ambas figuras indica que a medida que aumenta el porcentaje de CBR existe menos pérdida de peso (erosión), pues el cemento tiene la propiedad de endurecerse con el agua (endurecimiento hidráulico) logrando así mayor resistencia.



**Figura 73.** CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Cemento)

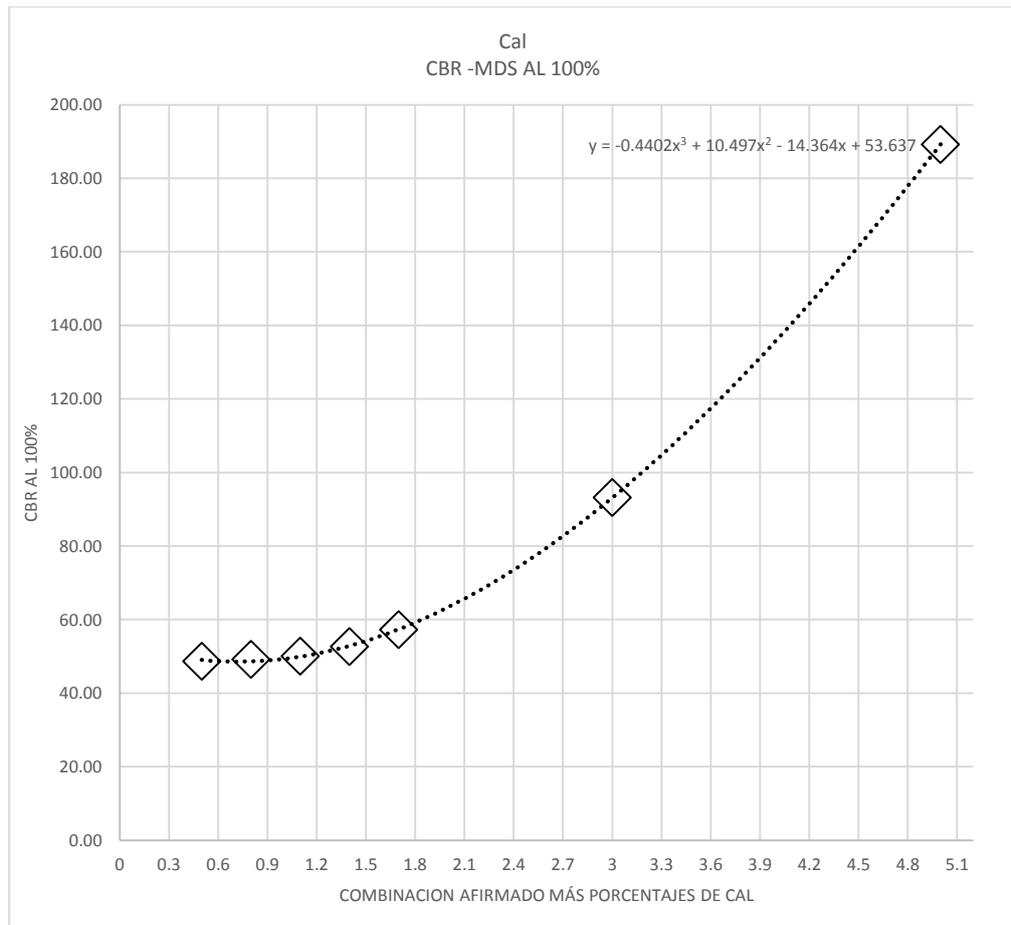


**Figura 74.** %Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Cemento)

### 4.5.3. Análisis Óptimo Cbr más Cal - Geelong

La figura 75 presenta los valores de CBR con el óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes progresivos de cal; donde el punto máximo representa el mejor valor de CBR; además se observa que mientras mayor sea el porcentaje de incremento de cal el valor de soporte de la muestra (CBR) también se incrementa. En la figura 76 se observa el porcentaje de Pérdida de Peso según el ensayo de Geelong para las combinaciones previas del óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes graduales de cal, donde se observa que cuando el porcentaje de cal se va incrementando la Pérdida de peso va disminuyendo, es decir tiene mayor resistencia.

El análisis de ambas figuras indica que a medida que aumenta el porcentaje de CBR existe menos pérdida de peso (erosión), pues la cal; similarmente al cemento reacciona con la hidratación (agua), es decir se va endureciendo con mayores proporciones de agua hasta llegar a un límite y donde ya no hay más endurecimiento, y tampoco erosión.



**Figura 75.** CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Cal)

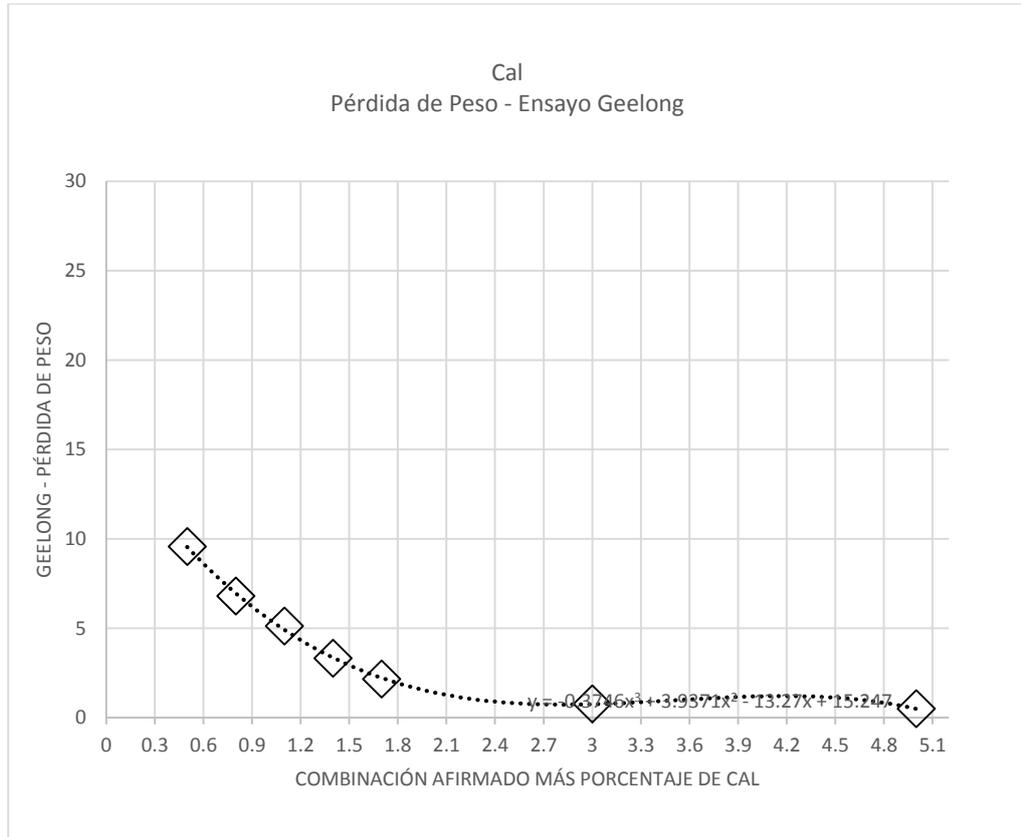
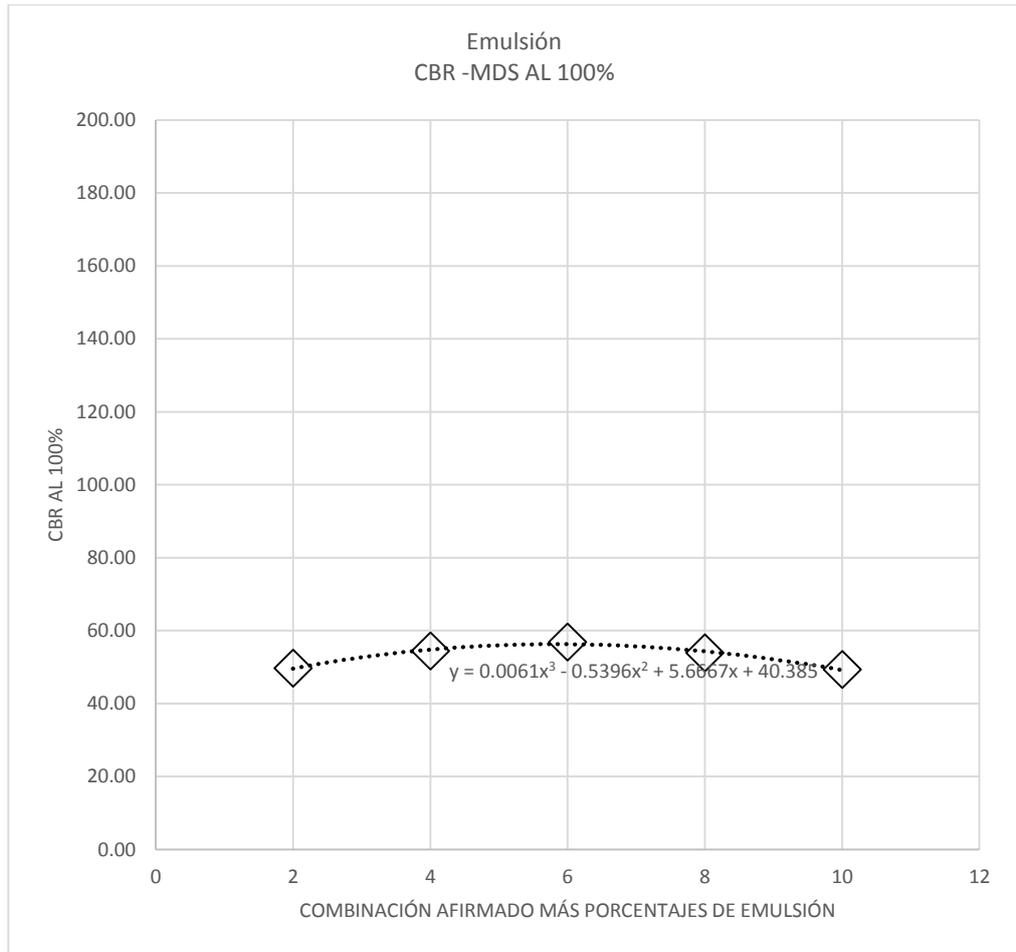


Figura 76. %Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Cal)

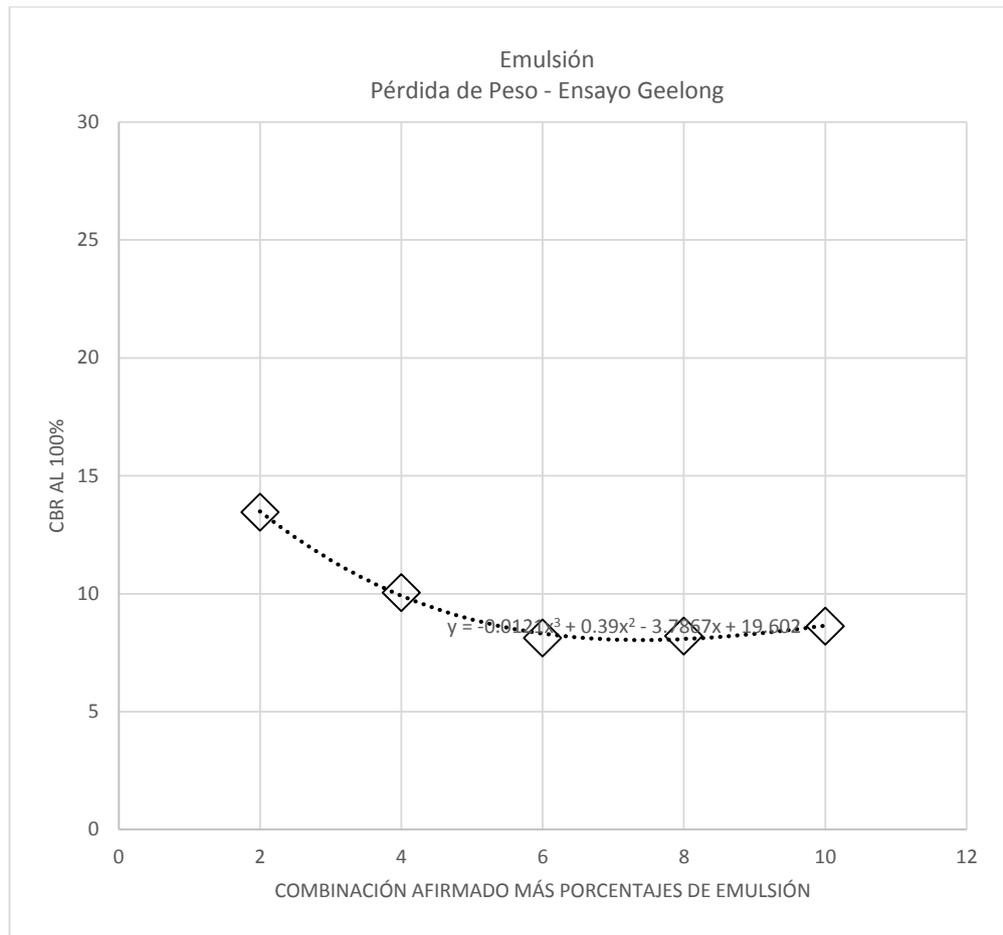
#### 4.5.4. Análisis Óptimo Cbr más Emulsión - Geelong

La figura 77 presenta los valores de CBR con el óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes progresivos de emulsión; donde el punto máximo representa el mejor valor de CBR; donde el punto máximo representa el óptimo valor de CBR; Sin embargo, también se observa que si se continúa incrementando emulsión el CBR empieza a decrecer, lo cual nos indica que solo se debe trabajar con el óptimo. Asimismo, en la figura 78 se observa el porcentaje de Pérdida de Peso según el ensayo de Geelong para las combinaciones previas del óptimo de agregado fino y agregado grueso más porcentajes graduales de emulsión, donde se observa que cuando el porcentaje de cal se va incrementando la Pérdida de peso va disminuyendo, es decir tiene mayor resistencia.

El análisis de ambas figuras indica que a medida que se incrementa la emulsión el CBR también se incrementa, hasta un punto máximo donde empieza a caer; sin embargo, también se observa que, a mayor emulsión, el porcentaje de pérdida (Geelong) va bajando; es decir se gana resistencia de tracción. Lo cual es conveniente.



**Figura 77.** CBR -MDS AL 100% (Óptimo más Emulsión)



**Figura 78.** % Pérdida de Peso - Geelong (Óptimo más Emulsión)

#### 4.6. Contraste de Hipótesis

##### Hipótesis General

Los tratamientos aplicados sobre el afirmado mejoran la resistencia del suelo y la resistencia a la erosión por lluvia, disminuyendo la pérdida de peso y la profundidad del hueco causado por el chorro de agua evaluado a través ensayo de Geelong Modificado de la carretera departamental Hv 109, Huancavelica 2018.

##### Hipótesis Específicas

- Los agregados de la Cantera del Km 80 producen el material óptimo con todos los estándares que especifica la norma del MTC para la realización del afirmado de la Carretera departamental Hv 109.

- La pérdida de peso del afirmado de la carretera departamental Hv 109 se redujo después de la aplicación de los tratamientos con cal, cemento y emulsión evaluados a través de ensayo de Geelong.
- La profundidad de perforación del afirmado de la carretera departamental Hv 109 se redujo después de la aplicación de los tratamientos con cal, cemento y emulsión evaluados a través de ensayo de Geelong.

**Tabla 26.**  
*Tabla Resumen de los Tratamientos Aplicados*

	TRATADO CON CEMENTO (% DE DOSIFICACIÓN)					TRATADO CON CAL (% DE DOSIFICACIÓN)					TRATADO CON EMULSIÓN (% DE DOSIFICACIÓN)				
	0.2 %	0.4 %	0.6 %	0.8 %	1.0 %	0.5 %	0.8 %	1.1 %	1.4 %	1.7 %	2%	4%	6%	8%	10 %
<b>CBR AL 100% MDS A 1" DE PEN. (%)</b>	49.6	50.4	51.4	52.9	54.2	48.7	49.2	50.0	51.1	52.8	49.7	54.4	56.9	53.9	49.3
<b>CBR AL 100% MDS A 2" DE PEN. (%)</b>	64.7	65.8	67.0	68.8	70.5	63.6	64.2	65.2	66.6	68.7	64.9	65.6	68.2	65.1	64.4
<b>PERDIDA DE PESO (%)</b>	5.77	5.09	3.12	2.84	2.42	6.89	4.18	2.56	1.72	1.43	16.4	11.1	10.0	7.3	7.0
<b>PROFUNDIDAD DE DAÑO (mm)</b>	36	29	20	15	12	48	26	23	17	13	79	34	30	20	20

## CONCLUSIONES

- Según lo experimentado a través de los ensayos de CBR y Geelong, en las distintas combinaciones de material grueso y material fino, expresados en las siguientes proporciones 100-0; 95-5; 90-10; 85-15; 80-20; 75-25; 70-30; 65-35; 60-40; 55-45; 50-50, el CBR óptimo se obtiene al combinar 75% de material granular y 25% de Material fino, resultando el punto más alto en un porcentaje de 48.1% al 100% de Máxima densidad seca a 1” de penetración, cumpliendo con las especificaciones técnicas para afirmado del MTC; es decir a medida que se va incrementando el material fino el CBR tiende a incrementarse hasta un tope y luego baja; de igual forma la pérdida de material de afirmado causada por el chorro de agua (Ensayo de Geelong Modificado) sigue un comportamiento similar, ya que el afirmado al tener mucho o poco fino no logra una compactación óptima.
- Según lo experimentado a través de los ensayos de CBR y Geelong, en la combinación óptima de material grueso y material fino más porcentajes de cemento en las siguientes proporciones: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0; se obtiene que a medida que se aumenta la dosificación de tiene un mayor valor de CBR y el porcentaje de pérdida de peso del material de afirmado (Ensayo de Geelong) es menor, lo cual quiere decir que este afirmado tratado es más resistente a la erosión causada por el agua
- Según lo experimentado a través de los ensayos de CBR y Geelong, en la combinación óptima de material grueso y material fino más porcentajes de cal en las siguientes proporciones: 0,5; 0,8; 1,1; 1,4 y 1,7; se obtiene datos similares a los del cemento, pues a mayor dosificación el valor de CBR aumenta y el porcentaje de pérdida de peso del material de afirmado (Ensayo de Geelong) es menor, lo cual indica que este afirmado tratado es muy resistente a la erosión causada por el agua.

- Según lo experimentado a través de los ensayos de CBR y Geelong, en la combinación óptima de material grueso y material fino más porcentajes de emulsión en las siguientes proporciones: 1; 2; 4; 6; 8 y 10; se obtiene que a mayor emulsión aumenta el CBR hasta un punto máximo y luego decrece; sin embargo, para el ensayo de Geelong a medida que se incrementa la emulsión asfáltica se reduce la pérdida de material de afirmado. Es decir, mientras mayor porcentaje de emulsión tenga el afirmado es más resistente a la erosión causada por el agua, pero se vuelve muy flexible.
- Finalmente, debido a que el suelo encaja dentro del uso granulométrico tipo “A-1” especificado por el MTC, con clasificación de suelo según AASHTO “A-1-a (1)” y según SUCS “GM” grava limosa; y presentando la cal un mejor comportamiento que el cemento debido a que logra una mejor adherencia con las partículas finas y reduce la erosión del afirmado, se concluye que para este tipo de suelos es mejor utilizar un tratamiento químico con Cal.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar la presente investigación para suelos que estén dentro de la granulometría tipo A-2, C, D, E y F para así determinar que tratamientos químicos son más favorables para estos tipos de suelos.
- Se recomienda que a partir de esta investigación se tome en cuenta la inclusión de un ensayo en la norma peruana que mida la erosión por agua (lluvia) como lo es el Ensayo de Geelong Modificado pues se debe tener en cuenta que la lluvia es uno de los factores que mayor daño causa a los pavimentos a nivel de afirmado.
- Se recomienda analizar los factores climatológicos de la zona donde se va a colocar el pavimento a nivel de afirmado, sobre todo el Estudio de lluvias.
- Se recomienda realizar los ensayos de laboratorio de manera minuciosa y cuidadosa para obtener datos reales que nos permitan mejorar la calidad del pavimento a nivel de afirmado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción.* Perú : s.n., 2013.
2. **Cid Falceto, Jaime Jesús.** *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida. Evaluación y recomendaciones para la normalización de los ensayos de erosión y absorción.* Madrid, España : Universidad Politécnica de Madrid, 2012.
3. **Mba Lozano, Eduardo y Tabares Gonzales, Ricardo.** *Diagnóstico de vía existente y diseño del pavimento flexible de la vía nueva mediante parámetros obtenidos del estudio en fase I de la vía acceso al barrio Ciudadela del Café - Vía la Badea.* Manizales, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2005.
4. **Cora Montes, Jubertt y Montenegro Santacruz, Humberto.** *Estudio comparativo del mejoramiento de la base aplicando estabilizadores: emulsión asfáltica, cal, cemento - Carretera Cañete - Chupaca Tramo km 152+000 - 158+000.* Lima, Perú : s.n., 2011.
5. **Ramos Guzman, Betzabe y Torres Sueldo, José Antonio.** *"Mejoramiento del material afirmado de las canteras adyacentes para el terrazo de la carretera Lircay - Ccochaccasa.* Huancavelica, Perú : s.n., 2012.
6. **Rivera León, Cristhian y Medina Sánchez, María.** *Influencia de la incorporación de cuatro niveles (1%, 2%, 3% y 4%) de cloruro de calcio en la resistencia mecánica de un material para afirmado.* Cajamarca, Perú : s.n., 2016.
7. **MTC.** *Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción - EG 2013.* Lima, Perú : MTC, 2013.
8. **Rico, A., y Del Castillo, H.** *La ingeniería de suelos en las vías terrestres.* México : D.F.: Limusa, 1999.
9. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones .** *MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADO DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO.* Perú : s.n., 2005.
10. **Escobar, Duque y Enrique, Carlos.** *Geomecánica.* Bogotá, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2016.
11. *Guía Geotécnica y Ambiental.* **Secretaría de Estado de obras Públicas y Comunicaciones - República Dominicana.** 2001, Erosión y Obras de control, pág. 77.
12. *Emulsiones Asfálticas.* **Universidad de Costa Rica.** 2014, Ficha Técnica, pág. 1.
13. **Giordani, Claudio y Leone, Diego.** *Cementos.* Argentina : Universidad Tecnológica Nacional, 2015.
14. **Construmática.** *Construpedia.* [En línea] 09 de Mayo de 2017. <https://www.construmatica.com/construpedia/Cal>.
15. **Tamayo, Mario Tamayo y.** *El Proceso de la Investigación Científica.* México : LIMUSA, 2003.

16. **Tan Malaga, Jorgue, Vera, Giovanni y Oliveros Ramos, Ricardo.** *Tipos y estrategias de investigacion cientifica.* s.l. : Morata, 2008.
17. **Romero, Alejandro Caballero.** *Metodología integral innovadora para planes y tesis.* Mexico : CENGAGE Learnig, 2014.
18. **Blacutt Mendoza, Mario.** *El desarrollo local complementario.* s.l. : Fundacion Universitaria Andalu, 2013.
19. **Ochoa, Carlos.** *El muestreo ¿Que es ? y porque funciona.* 2015.
20. **Montejo Fonseca, Alfonso.** *Ingeniería de Pavimentos; Fundamentos, estudios básicos y diseño.* Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2006.
21. **Huang, Yang H.** *Pavement Analysis and Disign.* s.l. : Person Prentice- Hall, Inc., 1993.
22. **Hoffman , Mario S. y Del Aguila , Pablo M.** *Estudios de evaluacion estructural de Pavimentos Basados en la interpretacion de curvas de Deflexiones.* s.l. : Louis Berger Internacional Inc., 1985.
23. **Florez Gonzales , Leonardo.** *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de carreteras de bajo Volumen de Transito.* Lima : s.n., 2012.
24. **AASHTO, Guide for Dising Of Pavement Structures. Washington D.C. :** American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993.
25. **Gutiérrez Lázares, José W.** *Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de Análisis y Diseño en el Perú.* Lima : s.n., 2007.
26. **Hanser López, José A.** *Analisis de la Evaluacion Tecnica y Economica de Proyectos viales con el Modelo de estandares de Conservacion y Diseño de Carreteras.* Guatemala : s.n., 2008.
27. **Systems, Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement. ASTM E867 - 06.** *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems.* 2012.
28. **Kraemer C, Rocci S.** *Ingenieria de Carreteras Vol.2, 1ª ed.* s.l. : Editorial McGraw Hill, 2004.
29. **Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados .** Pradena Miquel, Mauricio. 2006, Revista de la Construcción, págs. pp. 16-22.
30. **Determinación de la regularidad superficial del pavimento, mediante el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) . Vargas, Gustavo Badilla. 2008-2009.**
31. **330/98, NLT. CALCULO DEL INDICE DE REGULARIDAD ( IRI ) EN PAVIEMNTOS DE CARRETERAS.**
32. **Ruiz, Tracy Gutiérrez. ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL. 2004.**
33. **Granados Villafuerte, Francisco Javier.** *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MATHCAD.* 2012.

34. American Society for Testing and Materials. *ASTM D4439 Standard Terminology for Geosynthetics* . 1997.
35. National Highway Institute. *Geosynthetic desing and construction guidelines*. Virginia : s.n., 1998.
36. Departamento de Ingeniería de Geosistemas Pavco. *Soluciones con geotextiles tejidos y no tejidos*.
37. Danilo Galecio Castillo TDM. *Uso de geomallas biaxiales camiinos - Sistema Spectra (R)*. 2009.
38. BASF The Chemical Company. *Geocompuestos drenantes*.
39. AQUAPRUF S.A. *Manual de instalacion de geomembranas de polietileno HDPE*. Medellín : s.n.
40. Bonterra Ibéroca S.I. *Geoceldas Bonterra para la estabilización de suelos*.
41. Department of the army U.S. Army Corps of Engineers. *Use de geogrids in pavement construction*. Washington : s.n., 2003.
42. Beltrán B., Carlos Arturo. Ventajas de la utilización de geosintéticos para el refuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio Museo Nacional. Bogotá, Colombia : s.n., 2013.
43. Tello Villarruel, David TDM Perú. *Uso de geomallas en caminos mineros*.
44. Ministerio de Obras Públicas y comunicaciones. *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. Quito : s.n., 2002.
45. Tensar Earth Technologies, Inc. Sistemas para pavimentos Mejoramiento de subrasantes: Construcción sobre suelos blandos.
46. Ministerio de tranportes y comunicaciones. *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para la construcción EG - 2013*. Lima : s.n., 2013.
47. American Association of State Highway and Transportation Officials. *Guía para el diseño de estructuras de pavimento*. Washington : AASHTO, 1993.
48. Palma, Ismael. *Estabilización y refuerzo en vías con geomallas biaxiales*. Cancún, Quintana Roo, México : s.n., 14 de Noviembre de 2012.
49. Geosistemas Pavco. *Manual de software de diseño Geosoft Pavco*.
50. Montejo, A. *Pavimentos de Ingeniería* . Bogotá : Universidad Católica de Colombia., 2006.
51. Huang, Y. *Pavement analysis and design*. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2004.
52. Rengifo, K. *tesis diseño de Pavimentos de la nueva carretera Panamericana Norte en el Tramo de Huacho a Pativilca*. PUCP. Huacho a Pativilca -Perú : PUCP, 2014.
53. Garcia, Miguel Angel Tapia. *Pavimentos*. Mexico : DECDFI, 2013.

54. **Sánchez, José Cegarra.** *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA.* Madrid : Ediciones Diaz de Santos, 2004.
55. **Jonathan Q. Addo, PE, Thomas G.Sanders, Ph.D., Melani Chenard, E.I.T.** *Road Dust Suppression: Effect on Maintenance Stability, Safety and the Environm.* USA : s.n., 2004.
56. **Menéndez, José Rafael.** *MANUAL TECNICO DE MATENIMIENTO RUTINARTIO CON MICROEMPRESAS.* Lima- Perú : Oficina internacional del trabajo, 2003.
57. **Michael W. Sayers, Thomas D. Gillespie, and Cesar A.V.Queiroz, DC.** *The International Road Roughness Experiment. Paper Technical Numberm 45 World Bank.* Washington. USA : s.n., 1986.
58. **Permazyme, Miguel Ángel Ballarin Zavala.** *Mejoramiento de caminos no pavimentados en el departamento de Huánuco mediante la estabilización de suelos comparando el estabilizador orgánico 22x y el probase TX-55.* Lima-Perú : Facultad de Ingeniería Civil. UNI., 2006.
59. **California., Technology and Development Center. San Dimas. Peter Bolander, Alan Yamada.** *San Dimas.* USA : s.n., 1999.
60. **Huancavelica, Gobierno de.** *EXPEDIENTE TÉCNICO PARA EL MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA DEPARTAMENTAL .* Huancavelica - Perú : s.n., 2017.
61. **Dr. Roberto Hernández Sampieri, Dr. Carlos Fernández Collado, Dra. María del Pilar Baptista Lucio.** *METODOLOGÍA de la investigación .* Mexico : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2010.
62. **Ministerio de Tranpostes y Comunicaciones.** *MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES.* PERÚ : s.n., 2016.
63. **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO.** *Estabilización de Suelos.* Argentina : FACULTAD DE INGENIERÍA, 2005.
64. **UNIVESIDAD TECNOLOGICA DEL PERÚ.** *Metodología de la Investigación Científica.* Lima : Imprenta Grupo IDAT.
65. *Consideraciones para el diseño y construcción de vías en afirmado estabilizadas con cloruro de calcio.* Orobio, Armando . 2012, Universidad del Valle, Colombia.
66. **Cid Falceto, Jaime Jesús.** *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida.Evaluación y recomendaciones para la normalizaión de los ensayos de erosión y absorción.* Madrid : Universidad Politecnica de Madrid, 2012.
67. **Cid Falceto, Jaime.** *Durabilidad de los bloques de tierra comprimida.* Madrid : Universidad Politecnica de Madrid, 2012.

## **ANEXOS**

**ANEXO A: Ensayos de laboratorio**

**RESULTADOS DE MUESTRAS AGREGADO GRUESO – AGREGADO FINO**

## COMBINACIÓN: 100% AGREGADO GRUESO – 0% AGREGADO FINO

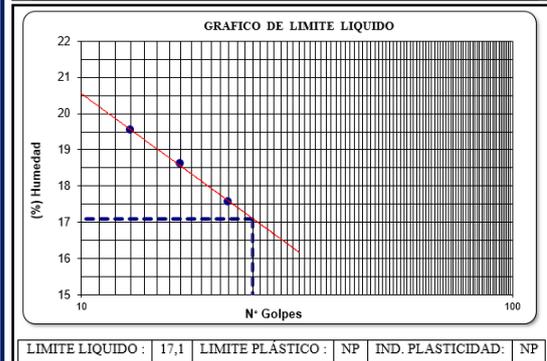
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101,600				
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				
1 1/2"	38,100				100,0
1"	25,400	545,0	18,2	18,2	81,8
3/4"	19,050	308,0	10,3	28,4	71,6
1/2"	12,700	359,0	12,0	40,4	59,6
3/8"	9,525	325,0	10,8	51,2	48,8
1/4"	6,350				
No. 4	4,760	557,0	18,6	69,8	30,2
No. 8	2,360	380,0	12,7	82,5	17,5
No. 10	2,000	156,0	5,2	87,7	12,3
No. 16	1,190	92,0	3,1	90,7	9,3
No. 20	0,834				
No. 30	0,600	122,0	4,1	94,8	5,2
No. 40	0,420	49,0	1,6	96,4	3,6
No. 50	0,300	30,0	1,0	97,4	2,6
No. 60	0,250				
No. 80	0,177				
No. 100	0,149	56,0	1,9	99,3	0,7
No. 200	0,075	17,0	0,6	99,9	0,1
< No. 200		4,0	0,1	100,0	

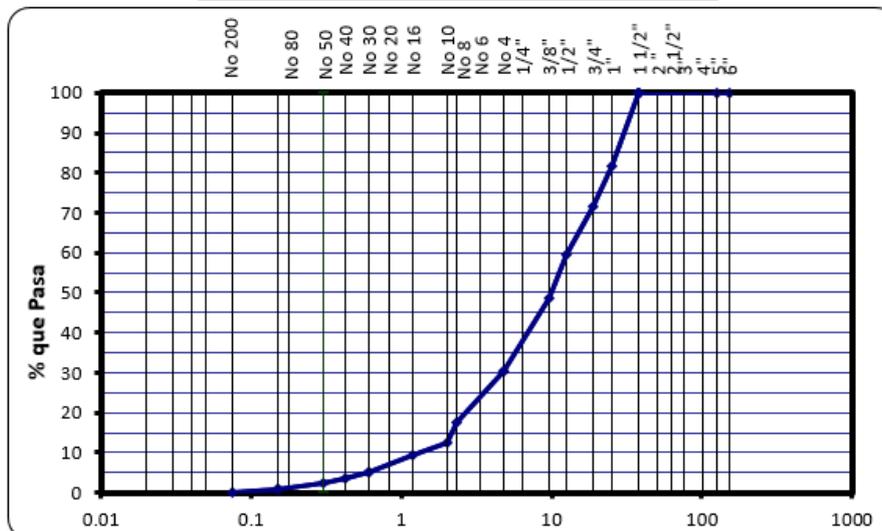
Fuente: Elaboración propia

	LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	SC-01	RT	MT
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)			8,92
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)			16,23
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)			15
Peso del Agua (g)			1
Peso del Suelo Seco (g)			6
Contenido de Humedad (%)			18,09
<b>PROMEDIO</b>	<b>NP</b>		<b>18,09</b>

	LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110)		
	TP-02	T-01	R
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	15,99	18,05	17,95
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	44,26	46,48	53,44
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	39,64	42,02	48,14
Numero de Golpes	13	17	22
Peso del agua (g)	4,62	4,46	5,30
Peso del Suelo Seco (g)	23,65	23,97	30,19
Contenido de Humedad (%)	19,53	18,61	17,56



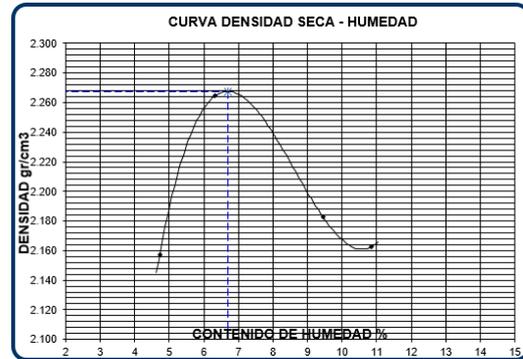
### CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS AGREGADOS



**ENSAYO DE PROCTOR:**

<b>Método de compactación</b>					C
<b>Numero de golpes</b>					56
<b>Numero de capas</b>					5
<b>CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA</b>					
		1	2	3	4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	11087	11389	11354	11367
2. Peso del molde	g	6485	6485	6488	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4602	4904	4866	4882
<b>5. Densidad suelo húmedo</b>	<b>g/cc</b>	<b>2,259</b>	<b>2,407</b>	<b>2,389</b>	<b>2,397</b>
<b>CALCULO DE HUMEDAD</b>					
6. Capsula N°		T-08	TARA T	T-P 01	TP-02
7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	449,0	436,0	410,0	450,0
8. Peso del suelo seco capsula	g	431,0	413,0	379,0	411,0
9. Peso del agua	g	18,0	23,0	31,0	39,0
10. Peso de la capsula	g	50,0	49,0	51,0	51,0
11. Peso del suelo seco	g	381,0	364,0	328,0	360,0
12. Contenido de humedad	%	4,72	6,32	9,45	10,83
13. Promedio de cont. de humedad	%	4,7	6,3	9,5	10,8
<b>CALCULO DE DENSIDAD SECA</b>					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2,157	2,264	2,183	2,162

**GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA**

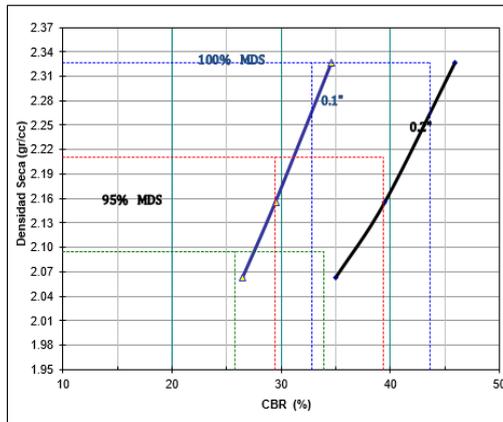


RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	6,7
Densidad Máxima (g/cm³)	2,268

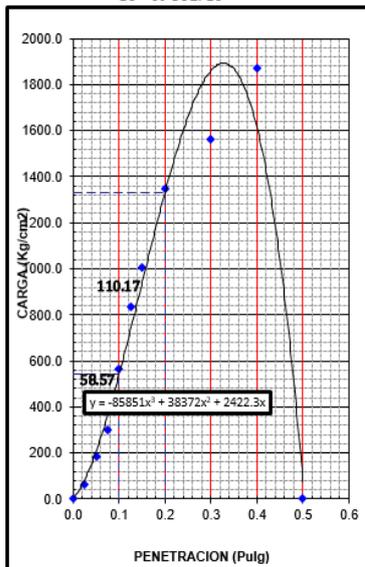
**ENSAYO DE CBR:**

N° Capa	5		5		5	
	56		25		10	
Golpes por capa N°						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)	9581		9079		8920	
Peso de molde (g)	4208		4129		4157	
Peso del suelo húmedo (g)	5373		4950		4763	
Volumen del molde (cm³)	2127		2113		2119	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.526		2.343		2.248	
Humedad (%)	8.55		8.65		8.99	
<b>Densidad seca (g/cm³)</b>	<b>2.327</b>		<b>2.156</b>		<b>2.063</b>	
Tarro N°	25		32		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)	943.00		1003.60		1074.80	
Tarro + Suelo seco (g)	873.60		930.80		993.50	
Peso del Agua (g)	69.40		72.80		81.30	
Peso del tarro (g)	61.50		69.20		69.50	
Peso del suelo seco (g)	812.10		841.60		904.00	
<b>Humedad (%)</b>	<b>8.55</b>		<b>8.65</b>		<b>8.99</b>	

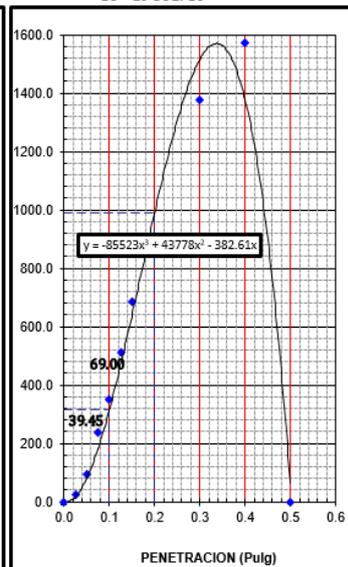
EXPANSION														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL			EXPANSION			DIAL			EXPANSION		
			mm	%		mm	%		mm	%		mm	%	
<b>NO EXPANSIVO</b>														
PENETRACION														
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kgf/cm <sup>2</sup>	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15				
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	
		Dial (div)	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	Dial (div)	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	%	
0.000		0	0			0	0			0	0			
0.025		15	61			5	26			2	15			
0.050		51	186			24	93			7	34			
0.075		84	302			59	235			19	77			
0.100	70.3	169	566	470.00	34.6	98	351	400.00	29.5	37	138	360.00	26.5	
0.125		205	835			144	512			103	368			
0.150		258	1004			193	684			140	498			
0.200	105.0	328	1349	930.00	45.9	246	870	800.00	39.5	183	649	710.00	35.0	
0.300		415	1562			306	1376			231	887			
0.400		495	1874			360	1570			291	1128			
0.500			0				0							



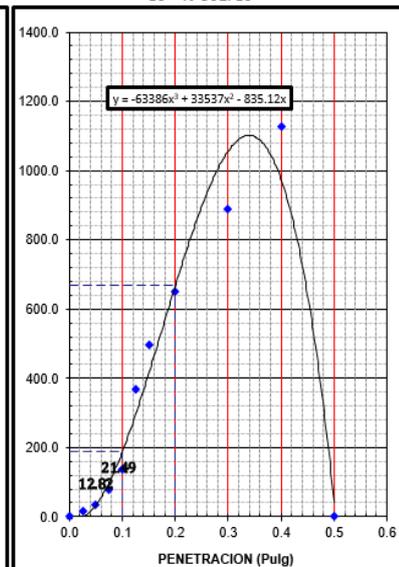
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 10 GOLPES



RESULTADOS:

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	32,8	0.2":	43,7
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	29,4	0.2":	39,4

## COMBINACIÓN: 95% AGREGADO GRUESO – 5% AGREGADO FINO

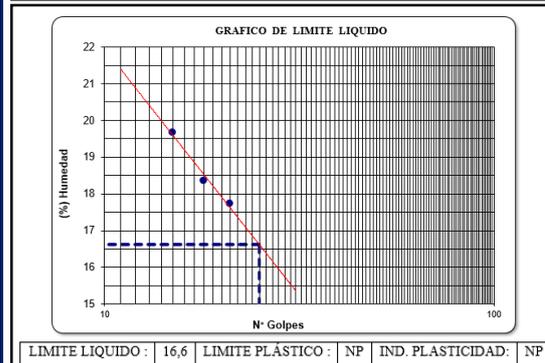
### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	531.0	17.7	17.7	82.3
3/4"	19.050	295.0	9.8	27.5	72.5
1/2"	12.700	347.0	11.6	39.1	60.9
3/8"	9.525	326.0	10.9	50.0	50.0
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	542.0	18.1	68.0	32.0
No. 8	2.360	387.0	12.9	80.9	19.1
No. 10	2.000	168.0	5.6	86.5	13.5
No. 16	1.190	98.0	3.3	89.8	10.2
No 20	0.834				
No 30	0.600	145.0	4.8	94.6	5.4
No. 40	0.420	78.0	2.6	97.2	2.8
No. 50	0.300	28.0	0.9	98.2	1.8
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	35.0	1.2	99.3	0.7
No. 200	0.075	17.0	0.6	99.9	0.1
< No. 200		3.0	0.1	100.0	

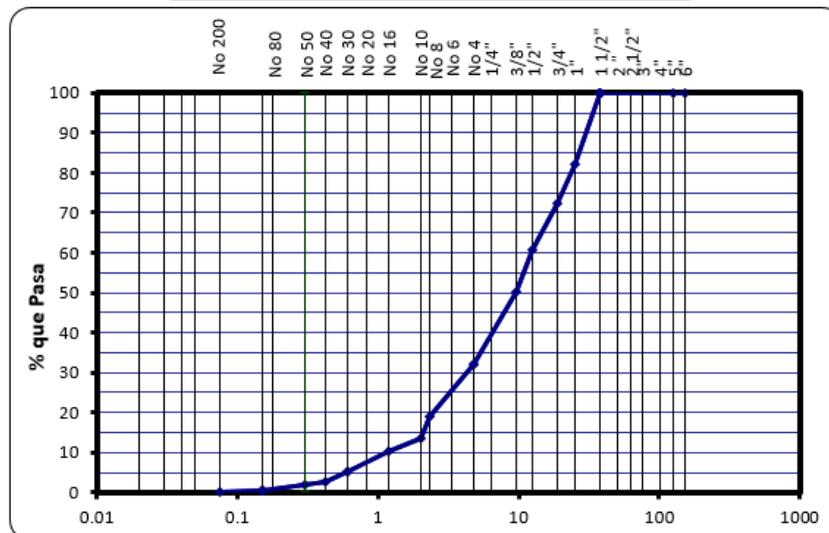
Fuente: Elaboración Propia

	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	SC-01	RT	MT
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)			8.92
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)			16.23
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)			15
Peso del Agua (g)			1
Peso del Suelo Seco (g)			6
Contenido de Humedad (%)			18.09
<b>PROMEDIO</b>	<b>NP</b>		<b>18.09</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	TP-01	T	Z
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	16.1	18.2	17.47
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	44.27	46.39	51.08
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	39.64	42.02	46.02
Numero de Golpes	15	18	21
Peso del agua (g)	4.63	4.37	5.06
Peso del Suelo Seco (g)	23.54	23.82	28.55
Contenido de Humedad (%)	19.67	18.35	17.72



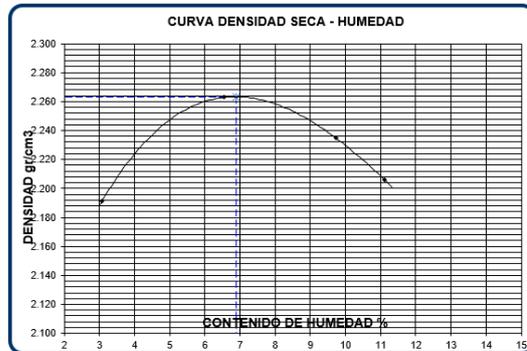
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación (Proctor Modificado)					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	11086	11396	11483	11478
2. Peso del molde	g	6485	6485	6488	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4601	4911	4995	4993
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.259	2.411	2.452	2.451
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-02	R	T-P 15	TP-05
7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	453.0	441.0	422.0	451.0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	441.0	417.0	389.0	411.0
9. Peso del agua	g	12.0	24.0	33.0	40.0
10. Peso de la capsula	g	51.0	50.0	50.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	390.0	367.0	339.0	360.0
12. Contenido de humedad	%	3.08	6.54	9.73	11.11
13. Promedio de cont. de humedad	%	3.1	6.5	9.7	11.1
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2.191	2.263	2.235	2.206

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	6,9
Densidad Máxima (g/cm³)	2,263

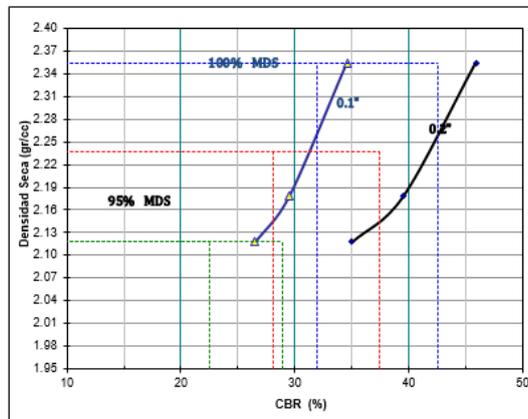
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		10	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9613		9594		9513	
Peso de molde (g)	4252		4598		4682	
Peso del suelo húmedo (g)	5361		4996		4831	
Volumen del molde (cm3)	2127		2113		2119	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.520		2.364		2.280	
Humedad (%)	7.04		8.54		7.67	
Densidad seca (g/cm3)	2.354		2.178		2.118	
Tarro N°	25		25		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)	583.00		458.00		471.00	
Tarro + Suelo seco (g)	548.00		426.00		441.00	
Peso del Agua (g)	35.00		32.00		30.00	
Peso del tarro (g)	51.00		51.50		50.00	
Peso del suelo seco (g)	497.00		374.50		391.00	
Humedad (%)	7.04		8.54		7.67	

EXPANSION												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL		DIAL		DIAL		DIAL		DIAL	
			mm	%	mm	%	mm	%	mm	%		
<b>NO EXPANSIVO</b>												

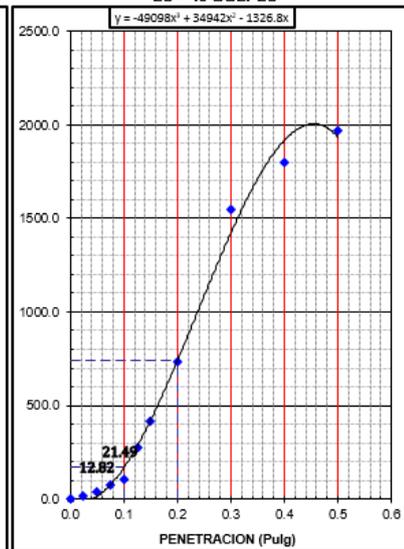
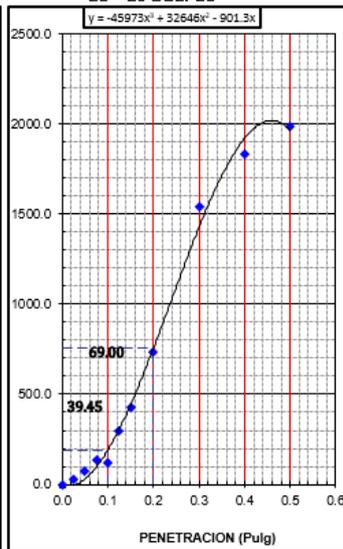
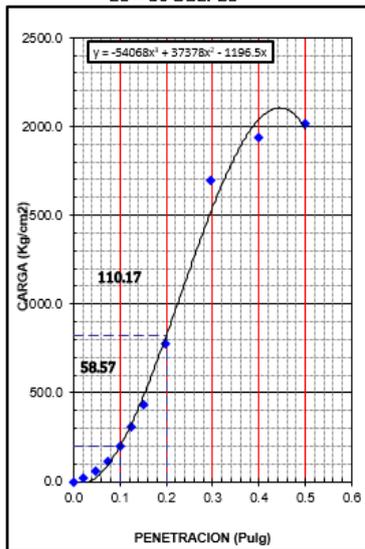
PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 56				MOLDE N° 25				MOLDE N° 10			
		CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION			CARGA	CORRECCION		
		Dist (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dist (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dist (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	24			0.64	27			0.64	15		
0.050		1.27	58			1.27	70			1.27	38		
0.075		1.91	115			1.91	137			1.91	75		
0.100	70.3	2.54	200	470.00	34.6	2.54	116	400.00	29.5	2.54	103	360.00	26.5
0.125		3.18	305			3.18	298			3.18	278		
0.150		3.81	435			3.81	426			3.81	415		
0.200	105.0	5.08	775	930.00	45.9	5.08	735	800.00	39.5	5.08	731	710.00	35.0
0.300		7.62	1695			7.62	1538			7.62	1547		
0.400		10.16	1934			10.16	1834			10.16	1802		
0.500		12.70	2015			12.70	1987			12.70	1968		



EC = 56 GOLPES

EC = 25 GOLPES

EC = 10 GOLPES



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	32.0	0.2":	42.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	28.1	0.2":	37.4

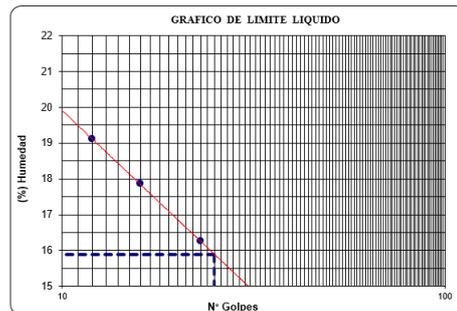
## COMBINACIÓN: 90% AGREGADO GRUESO – 10% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	542.0	18.1	18.1	81.9
3/4"	19.050	289.0	9.6	27.7	72.3
1/2"	12.700	343.0	11.4	39.1	60.9
3/8"	9.525	313.0	10.4	49.6	50.4
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	538.0	17.9	67.5	32.5
No. 8	2.360	373.0	12.4	79.9	20.1
No. 10	2.000	176.0	5.9	85.8	14.2
No. 16	1.190	108.0	3.6	89.4	10.6
No. 20	0.834				
No. 30	0.600	162.0	5.4	94.8	5.2
No. 40	0.420	79.0	2.6	97.4	2.6
No. 50	0.300	24.0	0.8	98.2	1.8
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	27.0	0.9	99.1	0.9
No. 200	0.075	19.0	0.6	99.8	0.2
< No. 200		7.0	0.2	100.0	

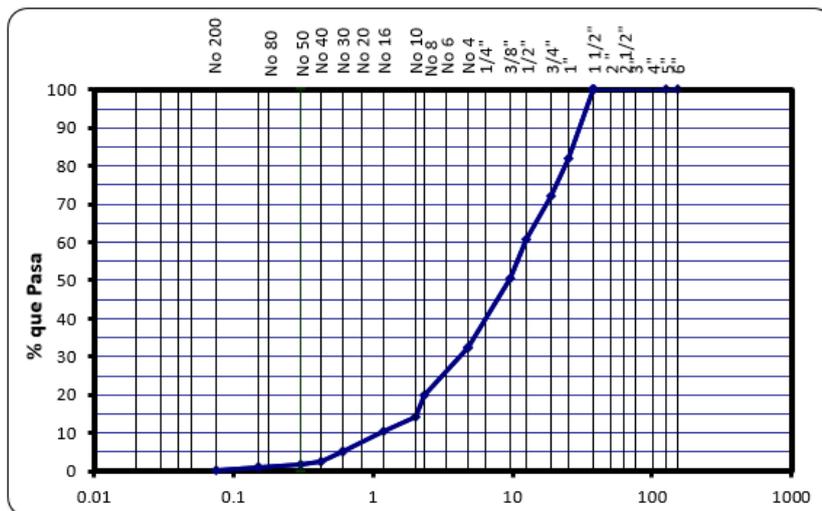
	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	T	Z	MT
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)			16
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)			32.3
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)			31
Peso del Agua (g)			2
Peso del Suelo Seco (g)			15
Contenido de Humedad (%)			10.88
<b>PROMEDIO</b>	<b>NP</b>		<b>10.88</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	C02	IP	R
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	16.2	18.1	17.46
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	52.80	45.23	49.50
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	46.93	41.12	45.02
Numero de Golpes	12	16	23
Peso del agua (g)	5.87	4.11	4.48
Peso del Suelo Seco (g)	30.73	23.02	27.56
Contenido de Humedad (%)	19.10	17.85	16.26



LIMITE LIQUIDO : 16,6    LIMITE PLÁSTICO : NP    IND. PLASTICIDAD : NP

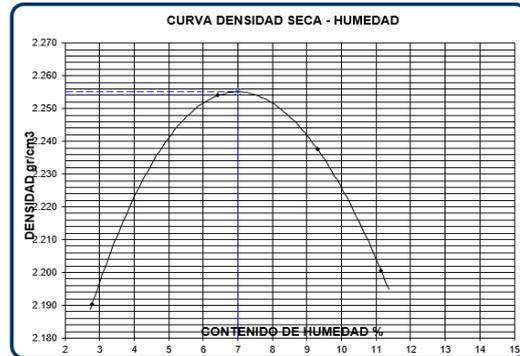
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



**ENSAYO DE PROCTOR:**

<b>Método de compactación</b>					C
<b>Numero de golpes</b>					56
<b>Numero de capas</b>					5
<b>CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA</b>					
		1	2	3	4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	11072	11374	11471	11469
2. Peso del molde	g	6486	6488	6489	6487
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4586	4886	4982	4982
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.251	2.399	2.446	2.446
<b>CALCULO DE HUMEDAD</b>					
6. Capsula N°		T-02	T-01	T-P 15	TP-05
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	456.0	448.0	426.0	450.0
8. Peso del suelo seco+capsula	g	445.0	424.0	394.0	410.0
9. Peso del agua	g	11.0	24.0	32.0	40.0
10. Peso de la capsula	g	50.0	50.0	50.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	395.0	374.0	344.0	359.0
12. Contenido de humedad	%	2.78	6.42	9.30	11.14
13. Promedio de cont. de humedad	%	2.8	6.4	9.3	11.1
<b>CALCULO DE DENSIDAD SECA</b>					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2.190	2.254	2.238	2.201

**GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA**



RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7,0
Densidad Máxima (g/cm³)	2,263

**ENSAYO DE CBR:**

Molde N°		56		25		10	
N° Capa		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		10	
Cond. de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)		9653		9594		9513	
Peso de molde (g)		4252		4598		4682	
Peso del suelo húmedo (g)		5401		4996		4831	
Volumen del molde (cm³)		2127		2113		2119	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.539		2.364		2.280	
Humedad (%)		10.06		11.48		10.23	
Densidad seca (g/cm³)		2.307		2.121		2.068	
Tarro N°		25		25		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)		538.00		469.00		481.00	
Tarro + Suelo seco (g)		548.00		428.00		441.00	
Peso del Agua (g)		50.00		43.00		40.00	
Peso del tarro (g)		51.00		51.50		50.00	
Peso del suelo seco (g)		497.00		374.50		391.00	
Humedad (%)		10.06		11.48		10.23	



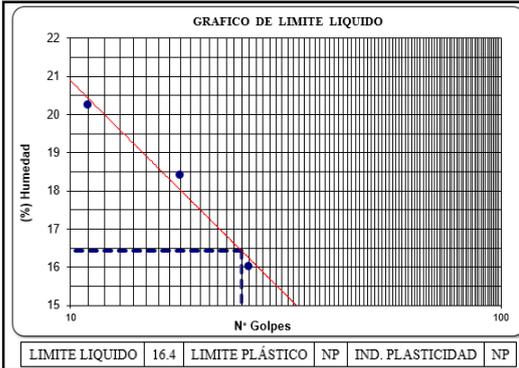
## COMBINACIÓN: 85% AGREGADO GRUESO – 15% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

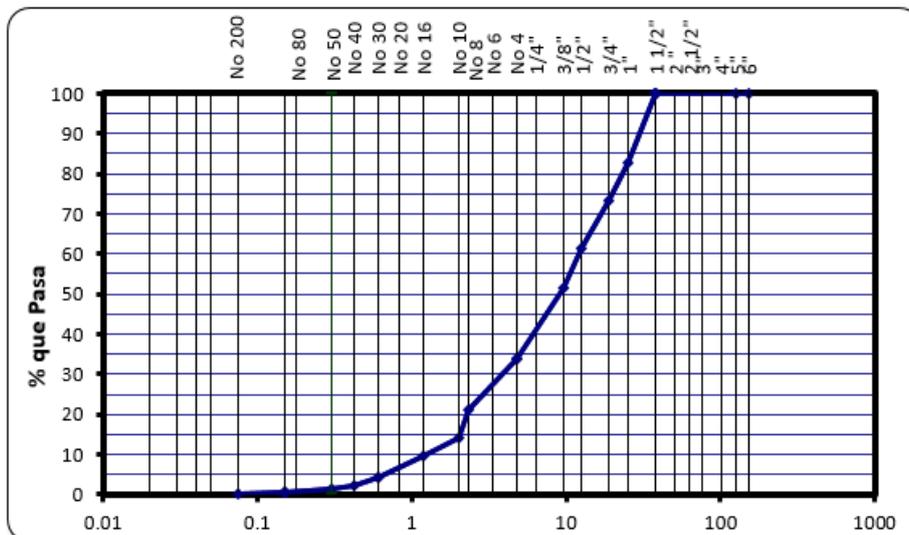
Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	522.0	17.4	17.4	82.6
3/4"	19.050	281.0	9.4	26.8	73.2
1/2"	12.700	351.0	11.7	38.5	61.5
3/8"	9.525	305.0	10.2	48.6	51.4
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	528.0	17.6	66.2	33.8
No. 8	2.360	376.0	12.5	78.8	21.2
No. 10	2.000	214.0	7.1	85.9	14.1
No. 16	1.190	137.0	4.6	90.5	9.5
No 20	0.834				
No 30	0.600	154.0	5.1	95.6	4.4
No. 40	0.420	71.0	2.4	98.0	2.0
No. 50	0.300	16.0	0.5	98.5	1.5
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	23.0	0.8	99.3	0.7
No. 200	0.075	17.0	0.6	99.8	0.2
< No. 200		5.0	0.2	100.0	

Capsula Nro.	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	T	Z	MT
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)			16
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)			32.3
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)			31
Peso del Agua (g)			2
Peso del Suelo Seco (g)			15
Contenido de Humedad (%)			10.88
<b>PROMEDIO</b>	<b>NP</b>		<b>10.88</b>

Capsula Nro.	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	TP	Z	R
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	16	17.3	17.35
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	56.80	46.69	49.60
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	49.93	42.12	45.15
Numero de Golpes	11	18	26
Peso del agua (g)	6.87	4.57	4.45
Peso del Suelo Seco (g)	33.93	24.82	27.80
Contenido de Humedad (%)	<b>20.25</b>	<b>18.41</b>	<b>16.01</b>



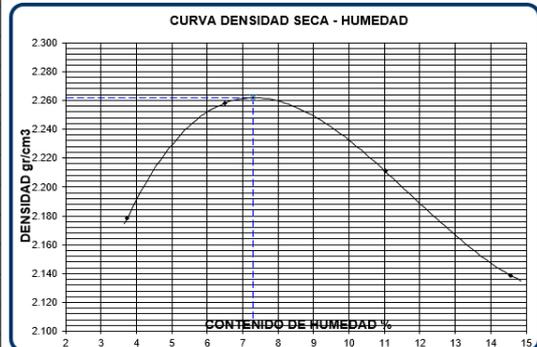
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	11089	11386	11489	11478
2. Peso del molde	g	6486	6488	6489	6487
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4603	4898	5000	4991
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.260	2.405	2.455	2.450
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	T-02	T-P 04	TP-03
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	355.0	444.0	322.0	350.0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	344.0	420.0	295.0	312.0
9. Peso del agua	g	11.0	24.0	27.0	38.0
10. Peso de la capsula	g	50.0	50.0	50.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	294.0	370.0	245.0	261.0
12. Contenido de humedad	%	3.74	6.49	11.02	14.56
13. Promedio de cont. de humedad	%	3.7	6.5	11.0	14.6
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2.178	2.258	2.211	2.139

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



### RESULTADOS

Humedad óptima (%)	7,3
Densidad Máxima (g/cm³)	2,262

### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		10	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9898		9674		9413	
Peso de molde (g)	4514		4514		4514	
Peso del suelo húmedo (g)	5384		5160		4899	
Volumen del molde (cm³)	2127		2127		2127	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.531		2.426		2.303	
Humedad (%)	12.31		10.20		8.08	
<b>Densidad seca (g/cm³)</b>	<b>2.254</b>		<b>2.201</b>		<b>2.131</b>	
Tarro N°	25		25		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)	498.00		354.00		371.00	
Tarro + Suelo seco (g)	449.00		326.00		347.00	
Peso del Agua (g)	49.00		28.00		24.00	
Peso del tarro (g)	51.00		51.50		50.00	
Peso del suelo seco (g)	398.00		274.50		297.00	
<b>Humedad (%)</b>	<b>12.31</b>		<b>10.20</b>		<b>8.08</b>	



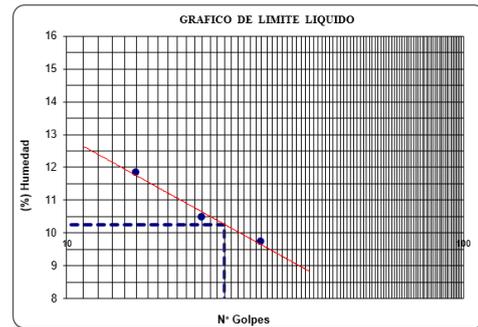
## COMBINACIÓN: 80% AGREGADO GRUESO – 20% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	393.0	13.1	13.1	86.9
3/4"	19.050	262.0	8.7	21.8	78.2
1/2"	12.700	301.0	10.0	31.9	68.1
3/8"	9.525	343.0	11.4	43.3	56.7
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	536.0	17.9	61.2	38.8
No. 8	2.360	405.0	13.5	74.7	25.3
No. 10	2.000	193.0	6.4	81.1	18.9
No. 16	1.190	122.0	4.1	85.2	14.8
No 20	0.834				
No 30	0.600	166.0	5.5	90.7	9.3
No. 40	0.420	100.0	3.3	94.0	6.0
No. 50	0.300	78.0	2.6	96.6	3.4
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	68.0	2.3	98.9	1.1
No. 200	0.075	24.0	0.8	99.7	0.3
< No. 200		9.0	0.3	100.0	

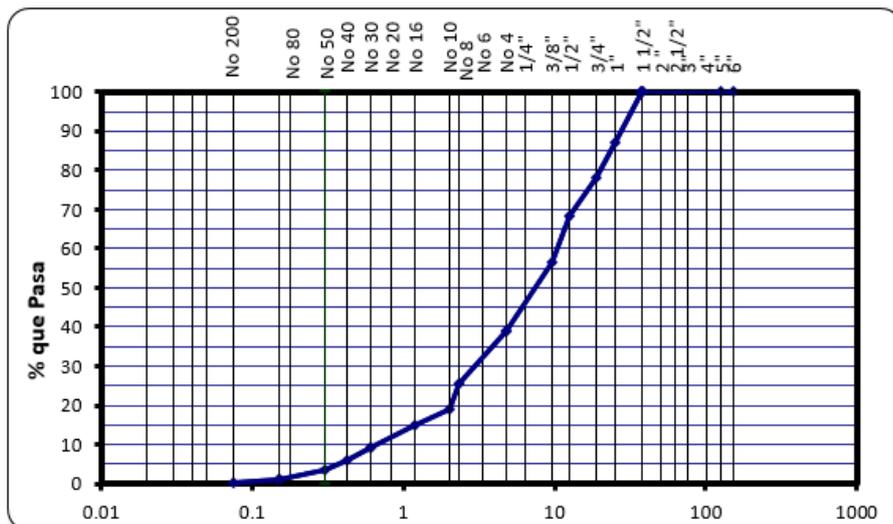
	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	4.67	4.43	284.2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9.17	9.11	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8.80	8.96	2078
Peso del Agua (g)	0.37	0.15	60
Peso del Suelo Seco (g)	4.13	4.53	1794
Contenido de Humedad (%)	8.96	3.31	3.34
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.14</b>		<b>3.34</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	37.6	49.2	37.9
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	62.20	86.10	72.90
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	59.60	82.6	69.80
Numero de Golpes	15	22	31
Peso del agua (g)	2.6	3.50	3.10
Peso del Suelo Seco (g)	22	33.4	31.90
Contenido de Humedad (%)	11.82	10.48	9.72



LIMITE LIQUIDO : 10.3    LIMITE PLÁSTICO 6.1    IND. PLASTICIDAD 4.1

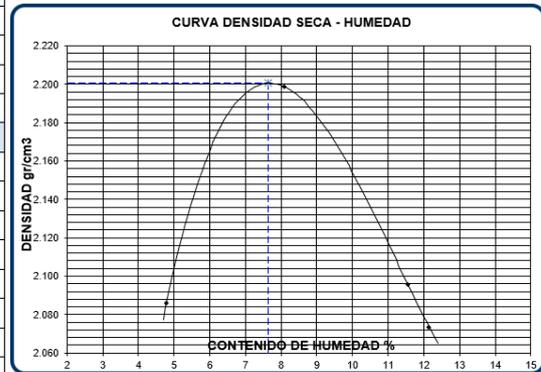
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
		1	2	3	4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10937	11326	11247	11222
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4452	4841	4762	4737
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.186	2.377	2.338	2.325
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	TARA R	T-P	TP-02
7. Peso del suelo húmedo + capsula	g	443.0	345.0	408.0	448.0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	425.0	323.0	371.0	405.0
9. Peso del agua	g	18.0	22.0	37.0	43.0
10. Peso de la capsula	g	49.0	51.0	51.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	376.0	272.0	320.0	354.0
12. Contenido de humedad	%	4.79	8.09	11.56	12.15
13. Promedio de cont. de humedad	%	4.8	8.1	11.6	12.1
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2.086	2.199	2.095	2.074

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7,6
Densidad Máxima (g/cm³)	2,201

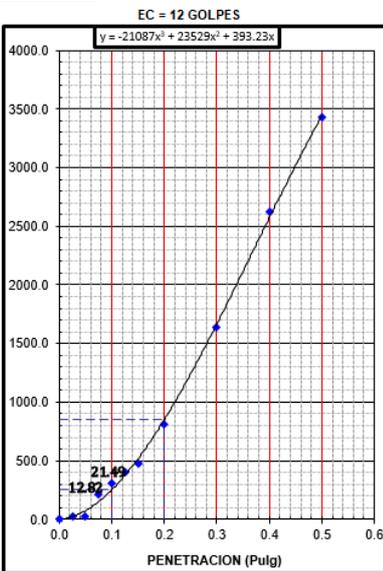
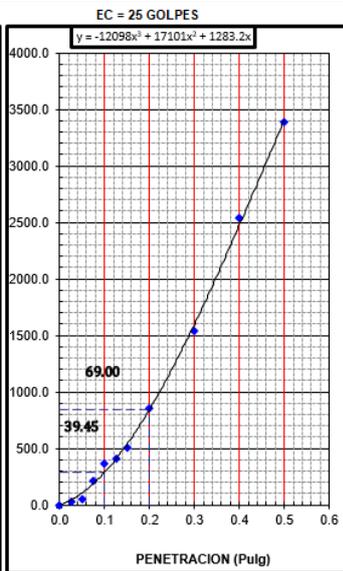
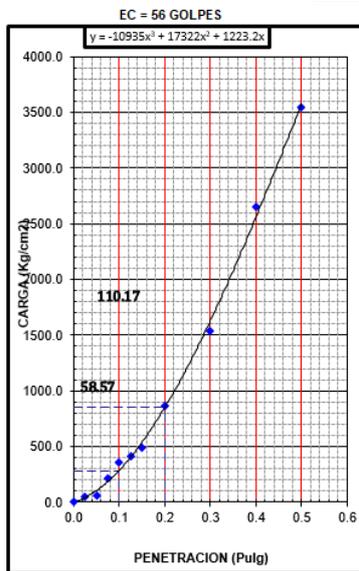
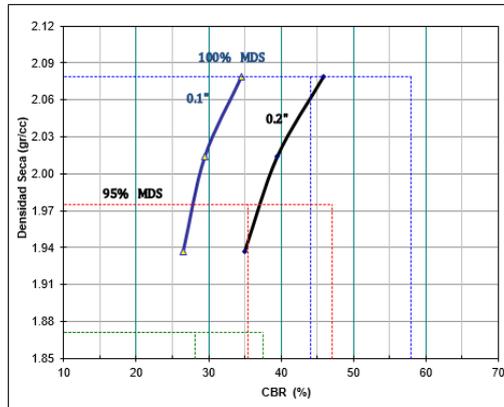
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°						
Cond. de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)	9314		9123		8987	
Peso de molde (g)	4514		4514		4514	
Peso del suelo húmedo (g)	4800		4609		4473	
Volumen del molde (cm³)	2127		2113		2119	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.257		2.181		2.111	
Humedad (%)	8.55		8.28		8.99	
Densidad seca (g/cm³)	2.079		2.014		1.937	
Tarro N°	25		32		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)	943.00		1001.60		1074.80	
Tarro + Suelo seco (g)	873.60		931.80		993.50	
Peso del Agua (g)	69.40		69.80		81.30	
Peso del tarro (g)	61.50		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	812.10		842.60		904.00	
Humedad (%)	8.55		8.28		8.99	

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>NO EXPANSIVO</b>											

PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		15	48			5	31			2	27		
0.050		51	64			24	48			7	30		
0.075		84	215			59	207			19	211		
0.100	70.3	169	361	470.00	34.6	98	365	400.00	29.5	37	307	360.00	26.5
0.125		205	408			144	410			103	399		
0.150		258	489			193	503			140	472		
0.200	105.0	328	861	930.00	45.9	246	853	800.00	39.5	183	813	710.00	35.0
0.300		415	1541			306	1534			231	1642		
0.400		495	2654			360	2536			291	2623		
0.500			3547				3387				3425		



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	44.1	0.2":	57.9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	35.5	0.2":	47.0

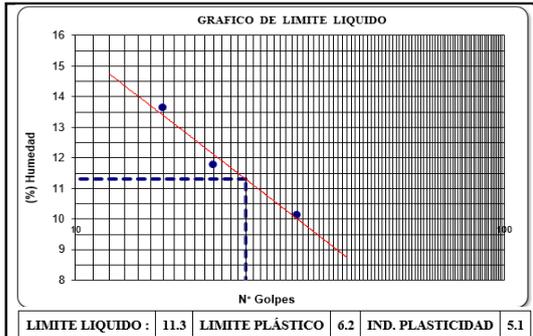
## COMBINACIÓN: 75% AGREGADO GRUESO – 25% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

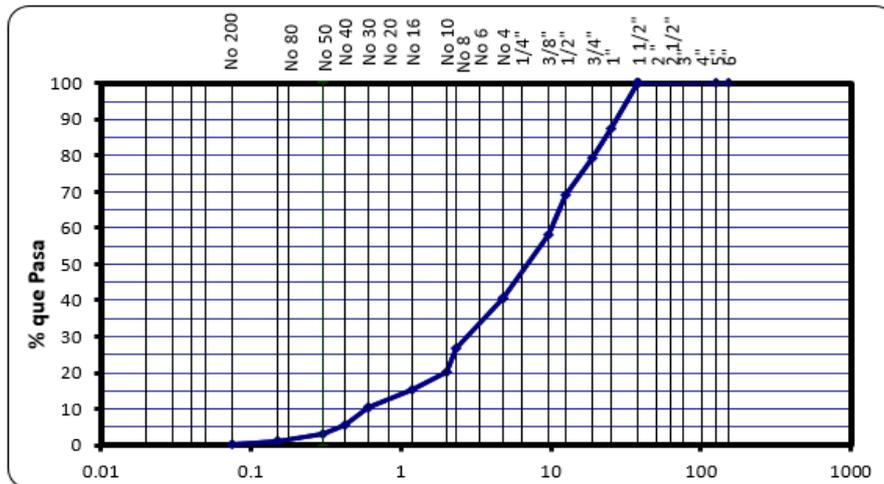
Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	373.0	12.4	12.4	87.6
3/4"	19.050	252.0	8.4	20.8	79.2
1/2"	12.700	295.0	9.8	30.7	69.3
3/8"	9.525	332.0	11.1	41.7	58.3
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	534.0	17.8	59.5	40.5
No. 8	2.360	410.0	13.7	73.2	26.8
No. 10	2.000	193.0	6.4	79.6	20.4
No. 16	1.190	150.0	5.0	84.6	15.4
No 20	0.834				
No 30	0.600	145.0	4.8	89.5	10.5
No. 40	0.420	146.0	4.9	94.3	5.7
No. 50	0.300	76.0	2.5	96.9	3.1
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	66.0	2.2	99.1	0.9
No. 200	0.075	19.0	0.6	99.7	0.3
< No. 200		9.0	0.3	100.0	

	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	4.66	4.50	284.2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	8.46	8.61	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8.32	8.29	2078
Peso del Agua (g)	0.14	0.32	60
Peso del Suelo Seco (g)	3.66	3.79	1794
Contenido de Humedad (%)	3.83	8.44	3.34
<b>PROMEDIO</b>	<b>6.13</b>		<b>3.34</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	37.8	49.1	38.1
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	62.00	87.10	72.90
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	59.10	83.1	69.70
Numero de Golpes	<b>16</b>	<b>21</b>	<b>33</b>
Peso del agua (g)	2.9	4.00	3.20
Peso del Suelo Seco (g)	21.3	34	31.60
Contenido de Humedad (%)	<b>13.62</b>	<b>11.76</b>	<b>10.13</b>



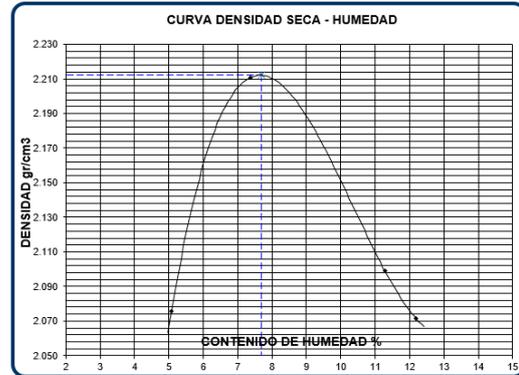
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



**ENSAYO DE PROCTOR:**

Método de compactación (Proctor modificado)					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo húmeda. + molde	g	10928	11321	11243	11219
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmeda	g	4443	4836	4758	4734
5. Densidad suelo húmeda	g/cc	2.181	2.374	2.336	2.324
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	TARA R	T-P	TP-02
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	442.0	342.0	406.0	447.0
8. Peso del suelo seco+capsula	g	423.0	322.0	370.0	404.0
9. Peso del agua	g	19.0	20.0	36.0	43.0
10. Peso de la capsula	g	49.0	51.0	51.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	374.0	271.0	319.0	353.0
12. Contenido de humedad	%	5.08	7.38	11.29	12.18

**GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA**



RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7,7
Densidad Máxima (g/cm³)	2,212

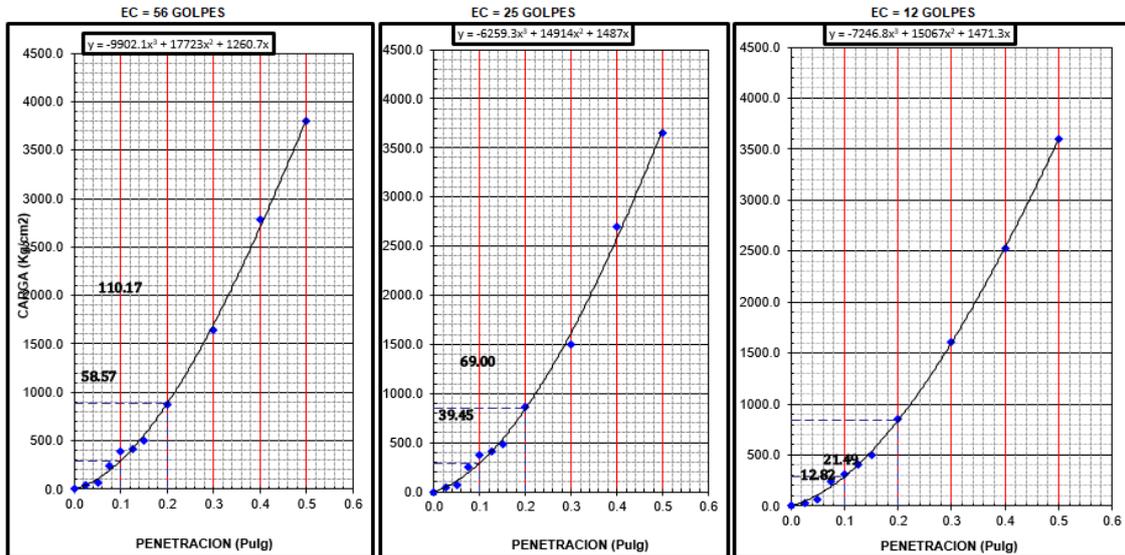
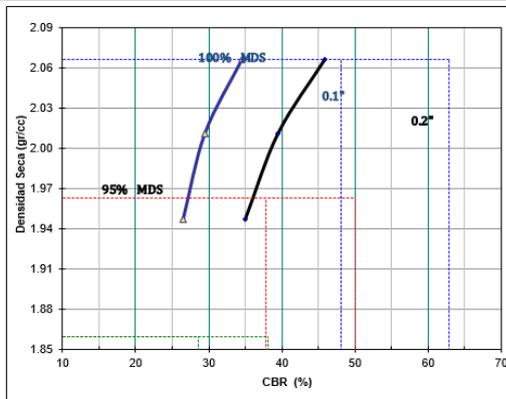
**ENSAYO DE CBR:**

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9298		9118		8992	
Peso de molde (g)	4514		4514		4514	
Peso del suelo húmedo (g)	4784		4604		4478	
Volumen del molde (cm3)	2127		2113		2119	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.249		2.179		2.113	
Humedad (%)	8.88		8.36		8.50	
Densidad seca (g/cm3)	2.066		2.011		1.947	
Tarro N°	25		32		15	
Tarro + Suelo húmedo (g)	947.00		1006.60		1075.80	
Tarro + Suelo seco (g)	874.80		935.80		998.50	
Peso del Agua (g)	72.20		70.80		77.30	
Peso del tarro (g)	61.50		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	813.30		846.60		909.00	
Humedad (%)	8.88		8.36		8.50	

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>NO EXPANSIVO</b>											

PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		15	38			5	42			2	31		
0.050		51	65			24	68			7	67		
0.075		84	235			59	245			19	236		
0.100	70.3	169	384	470.00	34.6	98	367	400.00	29.5	37	311	360.00	26.5
0.125		205	417			144	415			103	408		
0.150		258	496			193	483			140	495		
0.200	105.0	328	875	930.00	45.9	246	862	800.00	39.5	183	854	710.00	35.0
0.300		415	1642			306	1503			231	1605		
0.400		495	2785			360	2698			291	2531		
0.500			3798				3654				3598		



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE			
M.D.S. (%)	0.1":	48.1	0.2": 62.9
C.B.R. AL 95% DE			
M.D.S. (%)	0.1":	37.9	0.2": 50.0

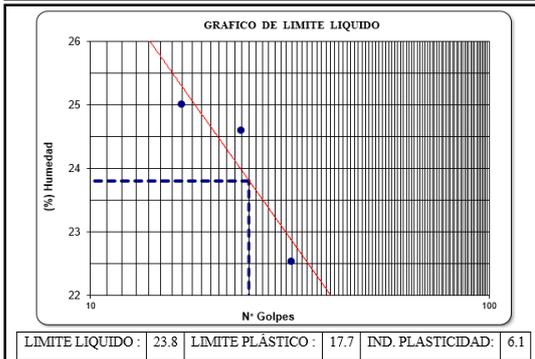
## COMBINACIÓN: 70% AGREGADO GRUESO – 30% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

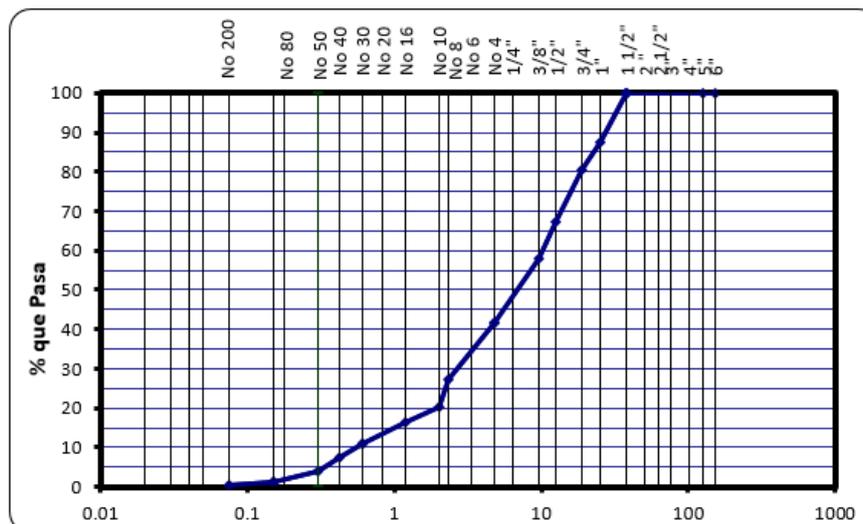
Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	373.0	12.4	12.4	87.6
3/4"	19.050	217.0	7.2	19.7	80.3
1/2"	12.700	387.0	12.9	32.6	67.4
3/8"	9.525	285.0	9.5	42.1	57.9
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	489.0	16.3	58.4	41.6
No. 8	2.360	431.0	14.4	72.7	27.3
No. 10	2.000	205.0	6.8	79.6	20.4
No. 16	1.190	117.0	3.9	83.5	16.5
No 20	0.834				
No 30	0.600	169.0	5.6	89.1	10.9
No. 40	0.420	103.0	3.4	92.5	7.5
No. 50	0.300	105.0	3.5	96.0	4.0
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	87.0	2.9	98.9	1.1
No. 200	0.075	23.0	0.8	99.7	0.3
< No. 200		9.0	0.3	100.0	

	LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	
Capsula Nro.	10	35	14
Peso de la Capsula (g)	4.66	4.45	284.2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9.48	9.36	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8.74	8.64	2078
Peso del Agua (g)	0.74	0.72	60
Peso del Suelo Seco (g)	4.08	4.19	1794
Contenido de Humedad (%)	18.14	17.18	3.34
<b>PROMEDIO</b>	<b>17.66</b>		<b>3.34</b>

	LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.	33	9	37
Peso de la Capsula (g)	37.4	49.5	38.1
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	62.90	87.50	74.00
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	57.80	80	67.40
Numero de Golpes	17	24	32
Peso del agua (g)	5.1	7.50	6.60
Peso del Suelo Seco (g)	20.4	30.5	29.30
Contenido de Humedad (%)	25.00	24.59	22.53



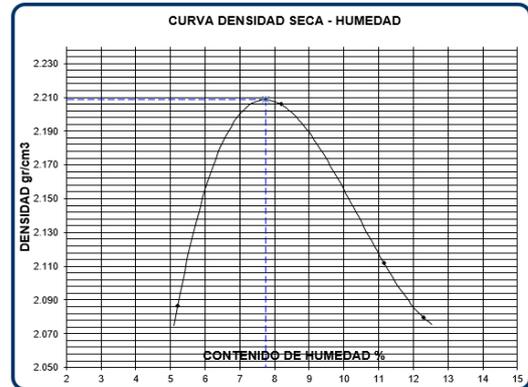
### CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10957	11346	11267	11242
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4472	4861	4782	4757
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.195	2.386	2.348	2.335
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	TARA R	T-P	TP-02
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	453.0	355.0	410.0	453.0
8. Peso del suelo seco+ capsula	g	433.0	332.0	374.0	409.0
9. Peso del agua	g	20.0	23.0	36.0	44.0
10. Peso de la capsula	g	49.0	51.0	51.0	51.0
11. Peso del suelo seco	g	384.0	281.0	323.0	358.0
12. Contenido de humedad	%	5.21	8.19	11.15	12.29
13. Promedio de cont. de humedad	%	5.2	8.2	11.1	12.3
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2.087	2.206	2.112	2.080

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



#### RESULTADOS

Humedad óptima (%)	7,7
Densidad Máxima (g/cm³)	2,209

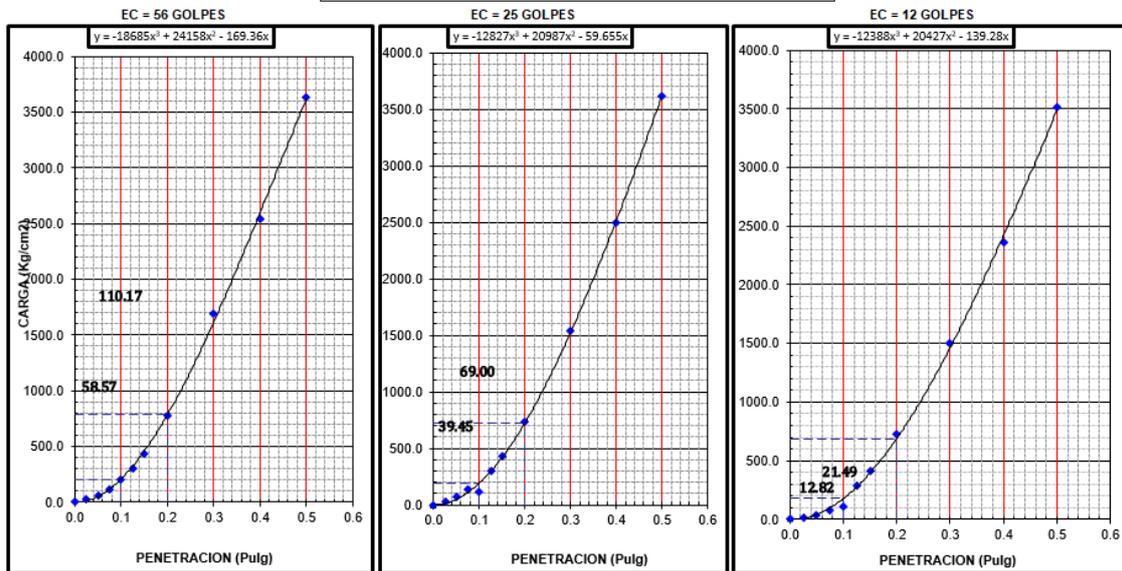
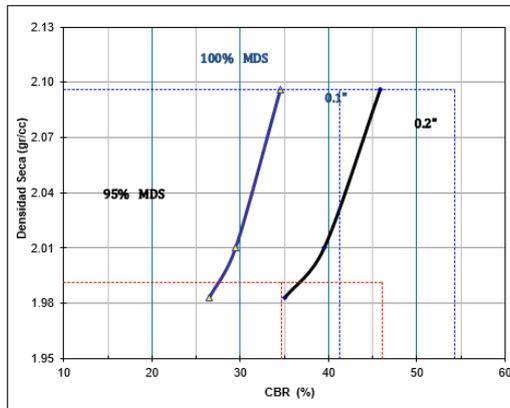
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9384		9174		9089	
Peso de molde (g)	4514		4512		4476	
Peso del suelo húmedo (g)	4870		4662		4613	
Volumen del molde (cm3)	2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.282		2.184		2.161	
Humedad (%)	8.85		8.65		8.99	
<b>Densidad seca (g/cm3)</b>	<b>2.096</b>		<b>2.010</b>		<b>1.983</b>	
Tarro N°	56		25		10	
Tarro + Suelo húmedo (g)	945.50		1003.60		1074.80	
Tarro + Suelo seco (g)	873.60		930.80		993.50	
Peso del Agua (g)	71.90		72.80		81.30	
Peso del tarro (g)	61.50		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	812.10		841.60		904.00	
<b>Humedad (%)</b>	<b>8.85</b>		<b>8.65</b>		<b>8.99</b>	

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>NO EXPANSIVO</b>											

PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	24			0.64	27			0.64	15		
0.050		1.27	58			1.27	70			1.27	38		
0.075		1.91	115			1.91	137			1.91	79		
0.100	70.3	2.54	200	470.00	34.6	2.54	116	400.00	29.5	2.54	106	360.00	26.5
0.125		3.18	305			3.18	302			3.18	289		
0.150		3.81	438			3.81	426			3.81	415		
0.200	105.0	5.08	775	930.00	45.9	5.08	735	800.00	39.5	5.08	731	710.00	35.0
0.300		7.62	1695			7.62	1538			7.62	1497		
0.400		10.16	2536			10.16	2498			10.16	2358		
0.500		12.70	3638			12.70	3618			12.70	3510		



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	41.3	0.2":	54.3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	34.7	0.2":	46.1

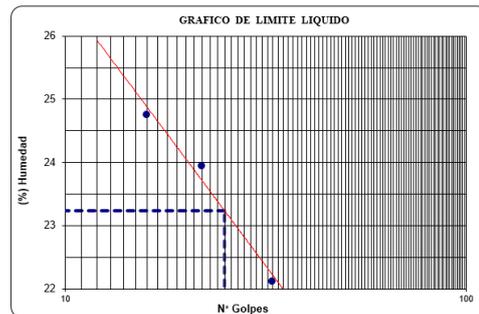
## COMBINACIÓN: 65% AGREGADO GRUESO – 35% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO:

Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101,600				
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				
1 1/2"	38,100				100,0
1"	25,400	353,0	11,8	11,8	88,2
3/4"	19,050	212,0	7,1	18,8	81,2
1/2"	12,700	387,0	12,9	31,7	68,3
3/8"	9,525	255,0	8,5	40,2	59,8
1/4"	6,350				
No. 4	4,760	467,0	15,6	55,8	44,2
No. 8	2,360	436,0	14,5	70,3	29,7
No. 10	2,000	225,0	7,5	77,8	22,2
No. 16	1,190	117,0	3,9	81,7	18,3
No 20	0,834				
No 30	0,600	169,0	5,6	87,4	12,6
No. 40	0,420	134,0	4,5	91,8	8,2
No. 50	0,300	115,0	3,8	95,7	4,3
No. 60	0,250				
No. 80	0,177				
No. 100	0,149	88,0	2,9	98,6	1,4
No. 200	0,075	33,0	1,1	99,7	0,3
< No. 200		9,0	0,3	100,0	

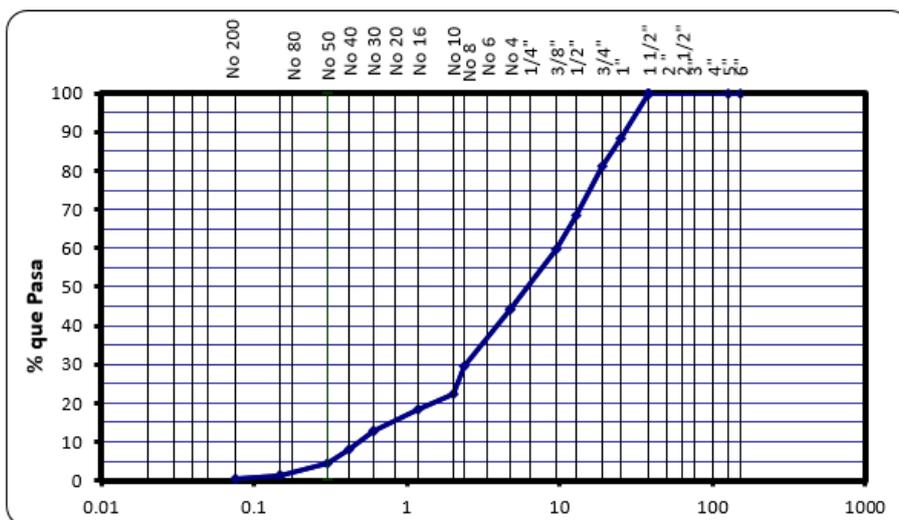
	LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	4,66	4,45	284,2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9,48	9,36	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8,75	8,67	2078
Peso del Agua (g)	0,73	0,69	60
Peso del Suelo Seco (g)	4,09	4,22	1794
Contenido de Humedad (%)	17,85	16,35	3,34
<b>PROMEDIO</b>	<b>17,10</b>		<b>3,34</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	38	49,5	38,1
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	62,70	87,30	74,00
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	57,80	80	67,50
Numero de Golpes	<b>16</b>	<b>22</b>	<b>33</b>
Peso del agua (g)	4,9	7,30	6,50
Peso del Suelo Seco (g)	19,8	30,5	29,40
Contenido de Humedad (%)	<b>24,75</b>	<b>23,93</b>	<b>22,11</b>



LIMITE LIQUIDO 23.2    LIMITE PLÁSTICO 17.1    IND. PLASTICIDAD 6.1

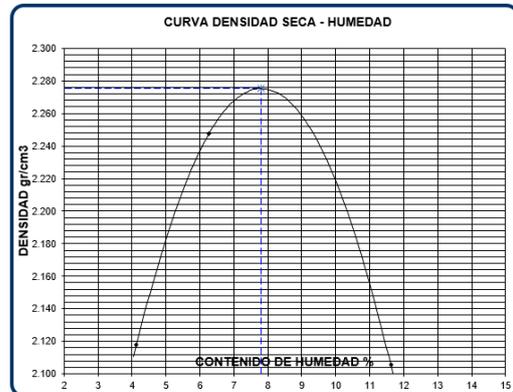
### CURVA GRANULOMÉTRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación (Proctor Modificado)					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10977	11351	11272	11254
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4492	4866	4787	4769
<b>5. Densidad suelo húmedo</b>	<b>g/cc</b>	<b>2,205</b>	<b>2,389</b>	<b>2,350</b>	<b>2,341</b>
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	R	T	TP-03
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	452,0	356,0	416,0	451,0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	436,0	338,0	378,0	409,0
9. Peso del agua	g	16,0	18,0	38,0	42,0
10. Peso de la capsula	g	49,0	51,0	51,0	51,0
11. Peso del suelo seco	g	387,0	287,0	327,0	358,0
12. Contenido de humedad	%	4,13	6,27	11,62	11,73
<b>13. Promedio de cont. de humedad</b>	<b>%</b>	<b>4,1</b>	<b>6,3</b>	<b>11,6</b>	<b>11,7</b>
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
<b>14. Densidad seca del suelo</b>	<b>g/cc</b>	<b>2,118</b>	<b>2,248</b>	<b>2,105</b>	<b>2,095</b>

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA

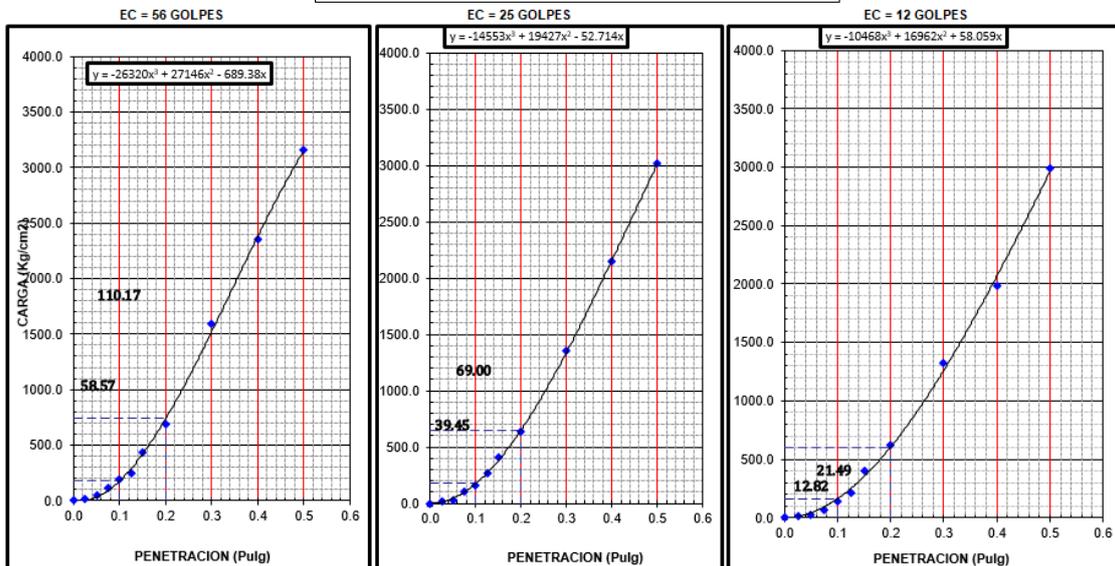
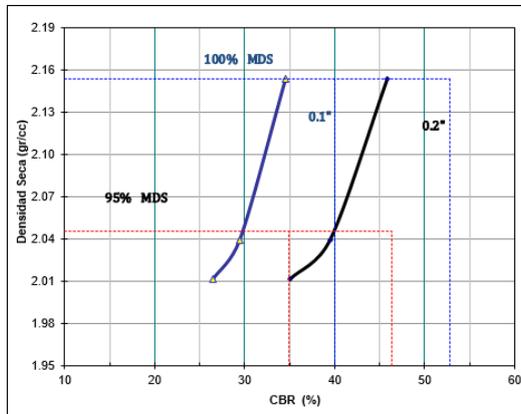


RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7,8
Densidad Máxima (g/cm³)	2,275

### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9449		9183		9102	
Peso de molde (g)	4514		4512		4476	
Peso del suelo húmedo (g)	4935		4671		4626	
Volumen del molde (cm³)	2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.312		2.188		2.167	
Humedad (%)	7.40		7.30		7.78	
<b>Densidad seca (g/cm³)</b>	<b>2.153</b>		<b>2.039</b>		<b>2.011</b>	
Tarro N°	56		25		10	
Tarro + Suelo húmedo (g)	930.50		997.60		1063.80	
Tarro + Suelo seco (g)	870.60		935.80		993.50	
Peso del Agua (g)	59.90		61.80		70.30	
Peso del tarro (g)	61.50		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	809.10		846.60		904.00	
<b>Humedad (%)</b>	<b>7.40</b>		<b>7.30</b>		<b>7.78</b>	

EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
<b>NO EXPANSIVO</b>													
PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	18			0.64	20			0.64	17		
0.050		1.27	48			1.27	31			1.27	29		
0.075		1.91	112			1.91	105			1.91	67		
0.100	70.3	2.54	189	470.00	34.6	2.54	157	400.00	29.5	2.54	142	360.00	26.5
0.125		3.18	247			3.18	264			3.18	214		
0.150		3.81	432			3.81	412			3.81	398		
0.200	105.0	5.08	684	930.00	45.9	5.08	632	800.00	39.5	5.08	624	710.00	35.0
0.300		7.62	1587			7.62	1351			7.62	1324		
0.400		10.16	2354			10.16	2147			10.16	1987		
0.500		12.70	3157			12.70	3014			12.70	2987		



RESULTADOS:				
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	40,1	0.2":	52,8
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	35,0	0.2":	46,4

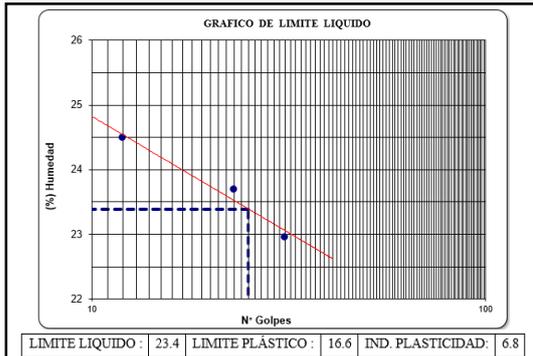
## COMBINACIÓN: 60% AGREGADO GRUESO – 40% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

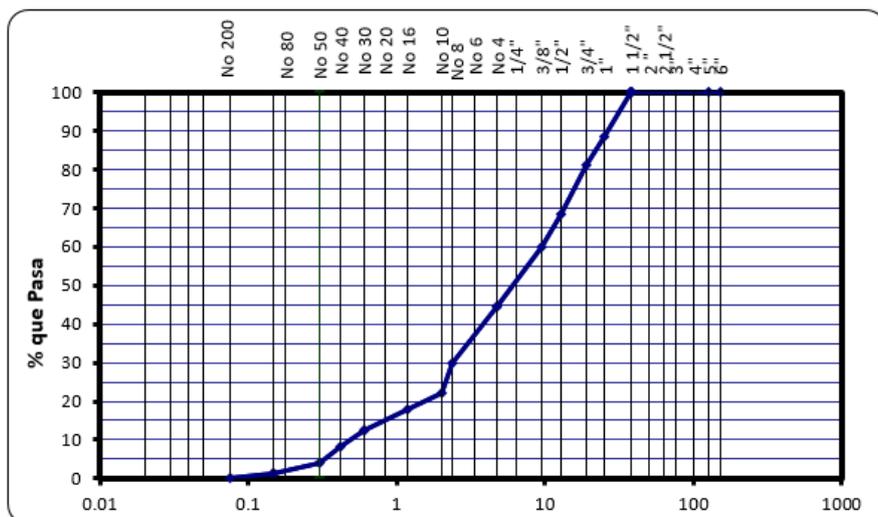
Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101.600				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				100.0
1"	25.400	349.0	11.6	11.6	88.4
3/4"	19.050	211.0	7.0	18.7	81.3
1/2"	12.700	383.0	12.8	31.4	68.6
3/8"	9.525	255.0	8.5	39.9	60.1
1/4"	6.350				
No. 4	4.760	465.0	15.5	55.4	44.6
No. 8	2.360	447.0	14.9	70.3	29.7
No. 10	2.000	231.0	7.7	78.0	22.0
No. 16	1.190	117.0	3.9	81.9	18.1
No 20	0.834				
No 30	0.600	165.0	5.5	87.4	12.6
No. 40	0.420	134.0	4.5	91.9	8.1
No. 50	0.300	118.0	3.9	95.8	4.2
No. 60	0.250				
No. 80	0.177				
No. 100	0.149	83.0	2.8	98.6	1.4
No. 200	0.075	33.0	1.1	99.7	0.3
< No. 200		9.0	0.3	100.0	

	LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	4.65	4.46	284.2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9.46	9.34	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8.75	8.67	2078
Peso del Agua (g)	0.71	0.67	60
Peso del Suelo Seco (g)	4.10	4.21	1794
Contenido de Humedad (%)	17.32	15.91	3.34
<b>PROMEDIO</b>	<b>16.62</b>		<b>3.34</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	38	49.5	38.1
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	62.40	87.10	74.00
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	57.60	79.9	67.30
Numero de Golpes	12	23	31
Peso del agua (g)	4.8	7.20	6.70
Peso del Suelo Seco (g)	19.6	30.4	29.20
Contenido de Humedad (%)	24.49	23.68	22.95



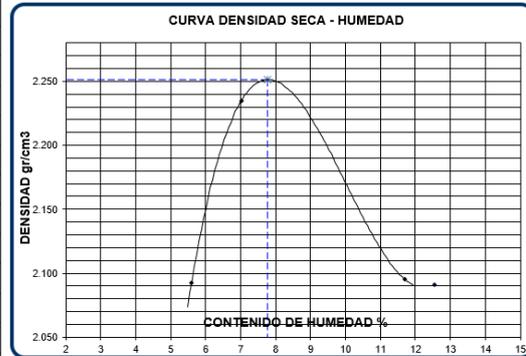
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación (Proctor Modificado)					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10986	11357	11278	11252
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4501	4872	4793	4767
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2.210	2.392	2.353	2.340
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	R	T	Z
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	352.0	356.0	418.0	451.0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	336.0	336.0	377.0	409.0
9. Peso del agua	g	16.0	20.0	41.0	42.0
10. Peso de la capsula	g	50.0	51.0	50.0	50.0
11. Peso del suelo seco	g	286.0	285.0	327.0	359.0
12. Contenido de humedad	%	5.59	7.02	12.54	11.70
13. Promedio de cont. de humedad	%	5.6	7.0	12.5	11.7
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	<b>2.093</b>	<b>2.235</b>	<b>2.091</b>	<b>2.095</b>

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	7,8
Densidad Máxima (g/cm³)	2,251

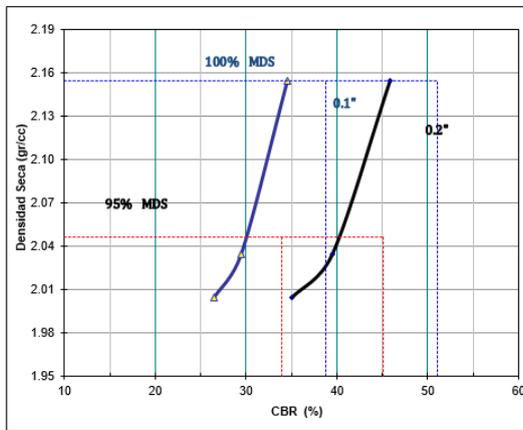
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	Golpes por capa N°	5		5		5	
		56		25		12	
Cond. de la muestra		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso molde + suelo húmedo (g)		9438		9172		9081	
Peso de molde (g)		4514		4512		4476	
Peso del suelo húmedo (g)		4924		4660		4605	
Volumen del molde (cm³)		2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm³)		2.307		2.183		2.158	
Humedad (%)		7.10		7.30		7.67	
<b>Densidad seca (g/cm³)</b>		<b>2.154</b>		<b>2.034</b>		<b>2.004</b>	
Tarro N°		<b>56</b>		<b>25</b>		<b>10</b>	
Tarro + Suelo húmedo (g)		829.50		834.60		963.80	
Tarro + Suelo seco (g)		778.60		839.80		901.50	
Peso del Agua (g)		50.90		54.60		62.30	
Peso del tarro (g)		61.50		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)		717.10		750.60		812.00	
<b>Humedad (%)</b>		<b>7.10</b>		<b>7.30</b>		<b>7.67</b>	

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>NO EXPANSIVO</b>											

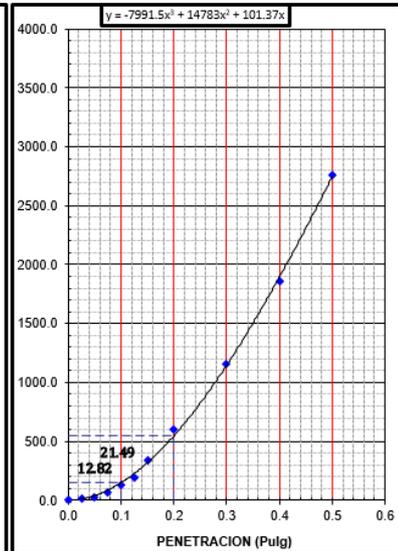
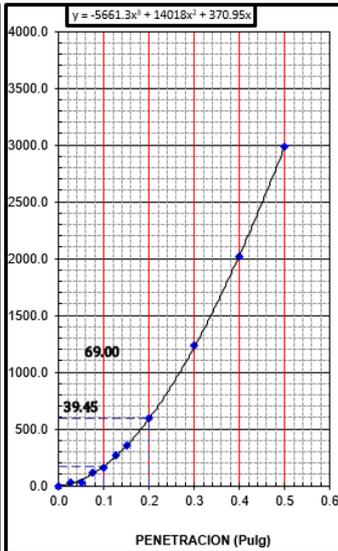
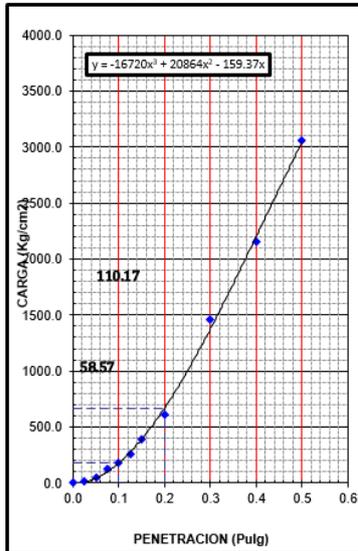
PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	19			0.64	23			0.64	16		
0.050		1.27	51			1.27	29			1.27	27		
0.075		1.91	125			1.91	114			1.91	63		
0.100	70.3	2.54	175	470.00	34.6	2.54	162	400.00	23.5	2.54	134	360.00	26.5
0.125		3.18	254			3.18	261			3.18	197		
0.150		3.81	394			3.81	352			3.81	342		
0.200	105.0	5.08	613	930.00	45.3	5.08	592	800.00	39.5	5.08	598	710.00	35.0
0.300		7.62	1458			7.62	1231			7.62	1154		
0.400		10.16	2157			10.16	2015			10.16	1856		
0.500		12.70	3057			12.70	2987			12.70	2762		



EC = 56 GOLPES

EC = 25 GOLPES

EC = 12 GOLPES



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	38.7	0.2":	51.1
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	34.0	0.2":	45.1

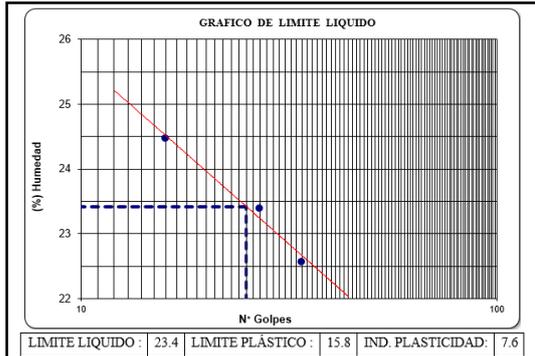
## COMBINACIÓN: 55% AGREGADO GRUESO – 45% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

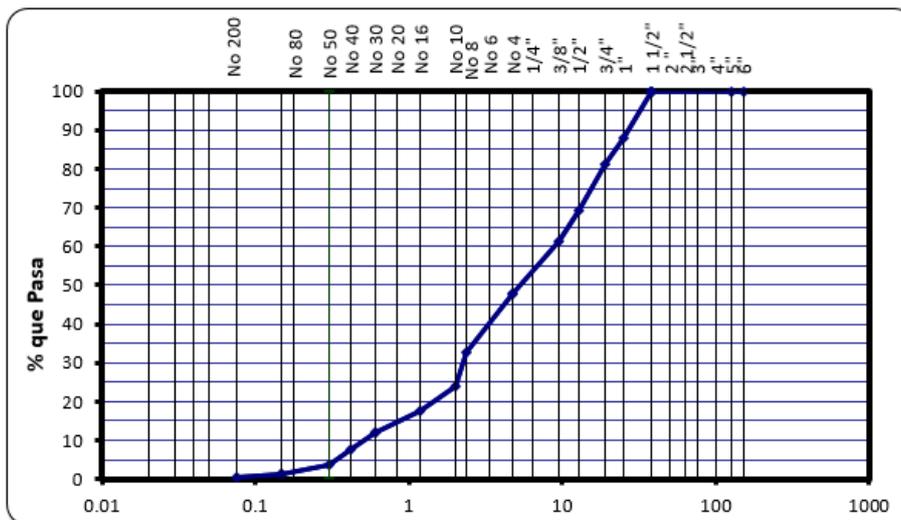
Tamiz ASTM	Abertura ( mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101,600				
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				
1 1/2"	38,100				100,0
1"	25,400	359,0	12,0	12,0	88,0
3/4"	19,050	204,0	6,8	18,8	81,2
1/2"	12,700	362,0	12,1	30,8	69,2
3/8"	9,525	238,0	7,9	38,8	61,2
1/4"	6,350				
No. 4	4,760	408,0	13,6	52,4	47,6
No. 8	2,360	449,0	15,0	67,3	32,7
No. 10	2,000	257,0	8,6	75,9	24,1
No. 16	1,190	198,0	6,6	82,5	17,5
No 20	0,834				
No 30	0,600	165,0	5,5	88,0	12,0
No. 40	0,420	134,0	4,5	92,5	7,5
No. 50	0,300	111,0	3,7	96,2	3,8
No. 60	0,250				
No. 80	0,177				
No. 100	0,149	73,0	2,4	98,6	1,4
No. 200	0,075	33,0	1,1	99,7	0,3
< No. 200		9,0	0,3	100,0	

	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	4,65	4,46	284,2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9,44	9,33	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8,76	8,69	2078
Peso del Agua (g)	0,68	0,64	60
Peso del Suelo Seco (g)	4,11	4,23	1794
Contenido de Humedad (%)	16,55	15,13	3,34
<b>PROMEDIO</b>	<b>15,84</b>		<b>3,34</b>

	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Capsula Nro.			
Peso de la Capsula (g)	38	38	38,1
Peso de la Capsula+ Suelo Húmedo (g)	61,40	93,40	74,50
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	56,80	82,9	67,80
Numero de Golpes	16	27	34
Peso del agua (g)	4,6	10,50	6,70
Peso del Suelo Seco (g)	18,8	44,9	29,70
Contenido de Humedad (%)	24,47	23,39	22,56



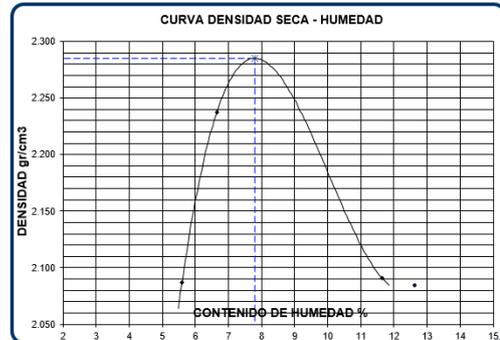
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Método de compactación					C
Numero de golpes					56
Numero de capas					5
<b>CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA</b>					
		1	2	3	4
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10974	11345	11266	11240
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4489	4860	4781	4755
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2,204	2,386	2,347	2,334
<b>CALCULO DE HUMEDAD</b>					
6. Capsula N°		T-01	R	T	Z
7. Peso del suelo húmedo. + capsula	g	352,0	356,0	416,0	453,0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	336,0	337,0	375,0	411,0
9. Peso del agua	g	16,0	19,0	41,0	42,0
10. Peso de la capsula	g	50,0	51,0	50,0	50,0
11. Peso del suelo seco	g	286,0	286,0	325,0	361,0
12. Contenido de humedad	%	5,59	6,64	12,62	11,63
13. Promedio de cont. de humedad	%	5,6	6,6	12,6	11,6
<b>CALCULO DE DENSIDAD SECA</b>					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	<b>2,087</b>	<b>2,237</b>	<b>2,084</b>	<b>2,091</b>

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA



### RESULTADOS

Humedad óptima (%)	7,8
Densidad Máxima (g/cm³)	2,285

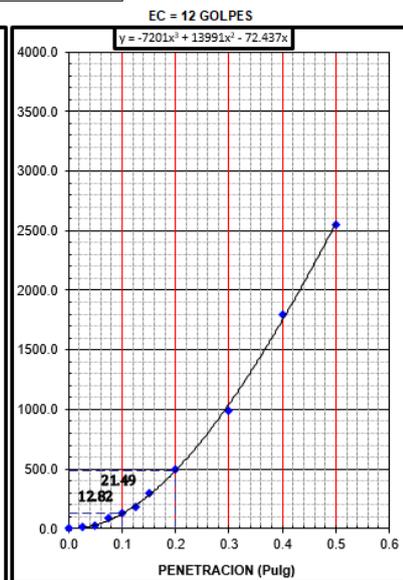
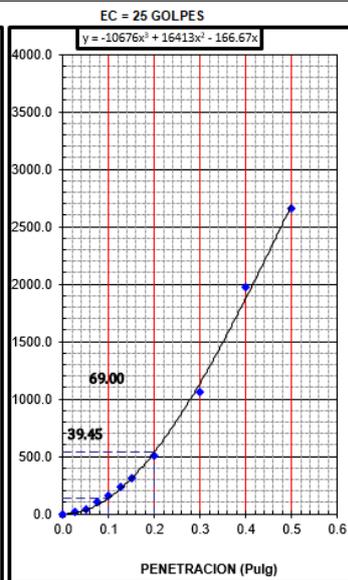
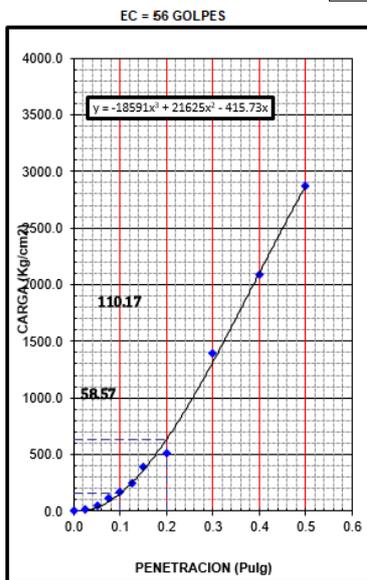
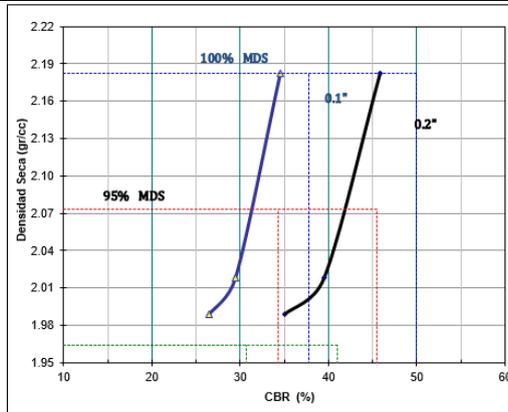
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9453		9183		9033	
Peso de molde (g)	4514		4512		4476	
Peso del suelo húmedo (g)	4939		4671		4557	
Volumen del molde (cm3)	2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm3)	2.314		2.188		2.135	
Humedad (%)	6.06		8.41		7.36	
<b>Densidad seca (g/cm3)</b>	<b>2.182</b>		<b>2.018</b>		<b>1.989</b>	
Tarro N°	56		25		10	
Tarro + Suelo húmedo (g)	812.50		901.60		961.90	
Tarro + Suelo seco (g)	771.20		838.60		902.10	
Peso del Agua (g)	41.30		63.00		59.80	
Peso del tarro (g)	89.20		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	682.00		749.40		812.60	
<b>Humedad (%)</b>	<b>6.06</b>		<b>8.41</b>		<b>7.36</b>	

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
<b>NO EXPANSIVO</b>											

PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		Dial (div)	CARGA kg/cm2	CORRECCION kg/cm2	%	Dial (div)	CARGA kg/cm2	CORRECCION kg/cm2	%	Dial (div)	CARGA kg/cm2	CORRECCION kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	17			0.64	21			0.64	16		
0.050		1.27	49			1.27	38			1.27	24		
0.075		1.91	115			1.91	98			1.91	86		
0.100	70.3	2.54	168	470.00	34.6	2.54	154	400.00	29.5	2.54	132	360.00	26.5
0.125		3.18	247			3.18	235			3.18	178		
0.150		3.81	385			3.81	314			3.81	297		
0.200	105.0	5.08	514	930.00	45.9	5.08	504	800.00	39.5	5.08	495	710.00	35.0
0.300		7.62	1398			7.62	1057			7.62	989		
0.400		10.16	2085			10.16	1975			10.16	1798		
0.500		12.70	2874			12.70	2654			12.70	2547		



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1": 37,8	0.2": 49,9
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1": 34,3	0.2": 45,5

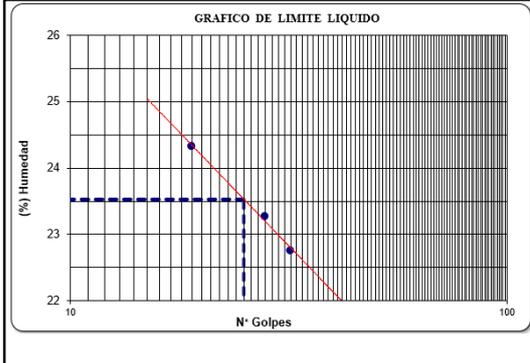
## COMBINACIÓN: 50% AGREGADO GRUESO – 50% AGREGADO FINO

### ANÁLISIS GRANULOMETRICO:

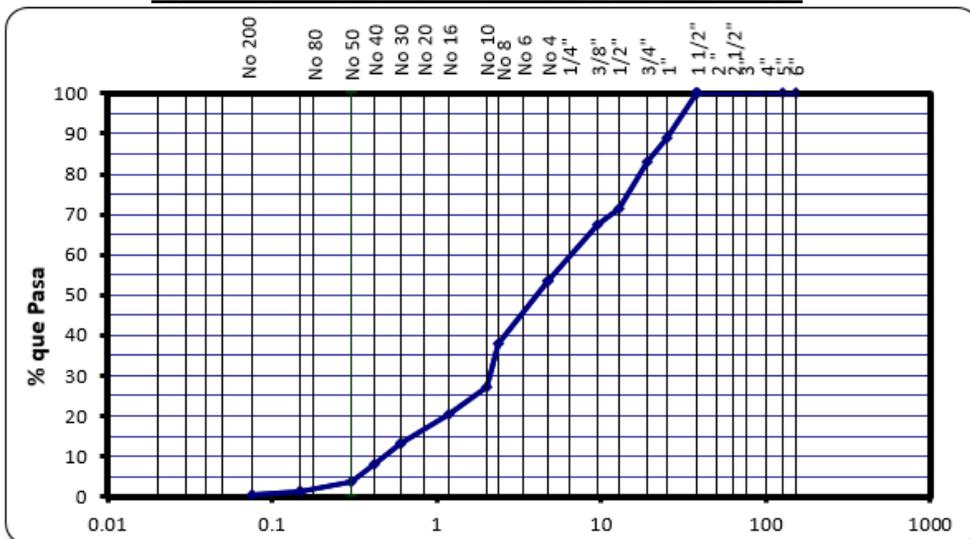
Tamiz ASTM	Abertura (mm.)	Peso Retenido	% Retenido		% que Pasa
			Parcial	Acumulado	
4"	101,600				
3"	76,200				
2 1/2"	63,500				
2"	50,800				
1 1/2"	38,100				100,0
1"	25,400	327,0	10,9	10,9	89,1
3/4"	19,050	184,0	6,1	17,0	83,0
1/2"	12,700	342,0	11,4	28,4	71,6
3/8"	9,525	128,0	4,3	32,7	67,3
1/4"	6,350				
No. 4	4,760	418,0	13,9	46,6	53,4
No. 8	2,360	462,0	15,4	62,0	38,0
No. 10	2,000	324,0	10,8	72,8	27,2
No. 16	1,190	208,0	6,9	79,8	20,2
No 20	0,834				
No 30	0,600	208,0	6,9	86,7	13,3
No. 40	0,420	157,0	5,2	91,9	8,1
No. 50	0,300	131,0	4,4	96,3	3,7
No. 60	0,250				
No. 80	0,177				
No. 100	0,149	71,0	2,4	98,7	1,3
No. 200	0,075	29,0	1,0	99,6	0,4
< No. 200		11,0	0,4	100,0	

Capsula Nro.	LIMITE PLASTICO (MTC E 111)		HUM. NAT. (MTC E 108)
	10	35	14
Peso de la Capsula (g)	4,65	4,46	284,2
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	9,41	9,43	2138
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	8,79	8,69	2078
Peso del Agua (g)	0,62	0,74	60
Peso del Suelo Seco (g)	4,14	4,23	1794
Contenido de Humedad (%)	14,98	17,49	3,34
<b>PROMEDIO</b>	<b>16,23</b>		<b>3,34</b>

Capsula Nro.	LIMITE LIQUIDO (MTC E 110)		
	33	9	37
Peso de la Capsula (g)	38	38	38,1
Peso de la Capsula+Suelo Húmedo (g)	56,40	93,10	72,10
Peso de la Capsula+Suelo Seco (g)	52,80	82,7	65,80
Numero de Golpes	19	28	32
Peso del agua (g)	3,6	10,40	6,30
Peso del Suelo Seco (g)	14,8	44,7	27,70
Contenido de Humedad (%)	24,32	23,27	22,74



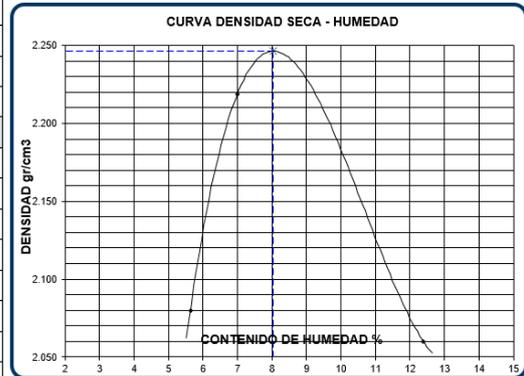
### CURVA GRANULOMETRICA DE LOS AGREGADOS



### ENSAYO DE PROCTOR:

Numero de golpes					56
Numero de capas					5
CALCULO DE DENSIDAD HUMEDA					
	1	2	3	4	
1. Peso suelo húmedo. + molde	g	10961	11321	11214	11201
2. Peso del molde	g	6485	6485	6485	6485
3. Volumen del molde	cc	2037	2037	2037	2037
4. Peso suelo húmedo	g	4476	4836	4729	4716
5. Densidad suelo húmedo	g/cc	2,197	2,374	2,322	2,315
CALCULO DE HUMEDAD					
6. Capsula N°		T-01	R	T	Z
7. Peso del suelo húmedo.+ capsula	g	350,0	357,0	419,0	458,0
8. Peso del suelo seco + capsula	g	334,0	337,0	375,0	413,0
9. Peso del agua	g	16,0	20,0	44,0	45,0
10. Peso de la capsula	g	50,0	51,0	50,0	50,0
11. Peso del suelo seco	g	284,0	286,0	325,0	363,0
12. Contenido de humedad	%	5,63	6,99	13,54	12,40
13. Promedio de cont. de humedad	%	5,6	7,0	13,5	12,4
CALCULO DE DENSIDAD SECA					
14. Densidad seca del suelo	g/cc	2,080	2,219	2,045	2,060

### GRÁFICA DE CURVA DE DENSIDAD SECA

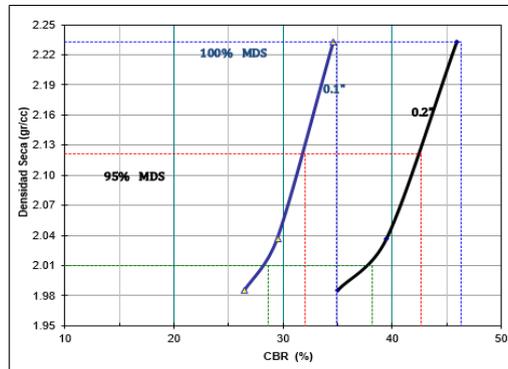


RESULTADOS	
Humedad óptima (%)	8.0
Densidad Máxima (g/cm³)	2,246

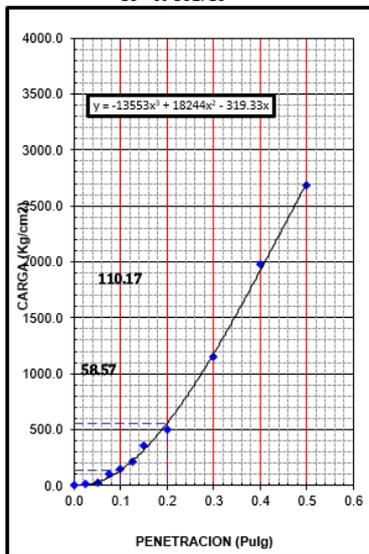
### ENSAYO DE CBR:

N° Capa	5		5		5	
	56		25		12	
Golpes por capa N°	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (g)	9563		9193		9026	
Peso de molde (g)	4514		4512		4476	
Peso del suelo húmedo (g)	5055		4687		4550	
Volumen del molde (cm³)	2134		2134		2134	
Densidad húmeda (g/cm³)	2.368		2.196		2.132	
Humedad (%)	6.06		7.83		7.42	
Densidad seca (g/cm³)	2.233		2.037		1.985	
Tarro N°	56		25		10	
Tarro + Suelo húmedo (g)	812.50		898.60		963.90	
Tarro + Suelo seco (g)	771.20		839.80		909.10	
Peso del Agua (g)	41.30		58.80		60.80	
Peso del tarro (g)	89.20		89.20		89.50	
Peso del suelo seco (g)	682.00		750.60		819.60	
Humedad (%)	6.06		7.83		7.42	

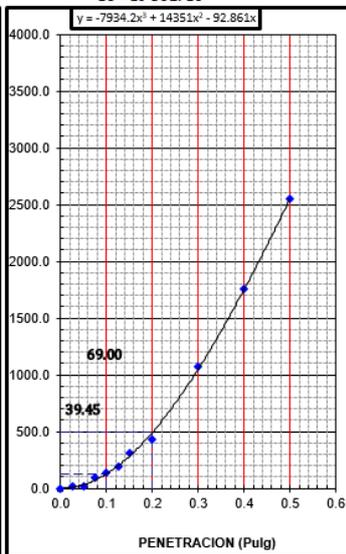
EXPANSION													
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION			
				mm	%		mm	%		mm	%		
<b>NO EXPANSIVO</b>													
PENETRACION													
PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 25				MOLDE N° 32				MOLDE N° 15			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0	0			0	0			0	0		
0.025		0.64	11			0.64	13			0.64	10		
0.050		1.27	29			1.27	21			1.27	19		
0.075		1.91	105			1.91	89			1.91	74		
0.100	70.3	2.54	147	470.00	34.6	2.54	135	400.00	29.5	2.54	105	360.00	26.5
0.125		3.18	213			3.18	195			3.18	179		
0.150		3.81	357			3.81	315			3.81	281		
0.200	105.0	5.08	495	930.00	45.9	5.08	425	800.00	39.5	5.08	354	710.00	35.0
0.300		7.62	1147			7.62	1074			7.62	851		
0.400		10.16	1983			10.16	1754			10.16	1632		
0.500		12.70	2687			12.70	2546			12.70	2214		



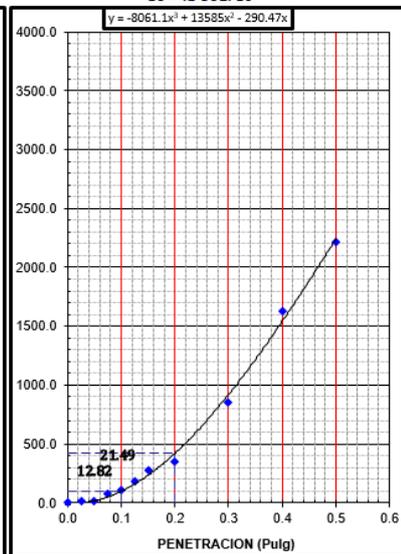
EC = 56 GOLPES



EC = 25 GOLPES



EC = 12 GOLPES



**RESULTADOS:**

C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1":	34,9	0.2":	46,3
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1":	32,0	0.2":	42,7



## INFORME TÉCNICO ENSAYO DE EROSIÓN PROCEDIMIENTO SLS 1382



**INFORME N°:** 011-2018-EP  
**INTERESADO:** Bach. Wilmer J. Rojas Meza  
**FINALIDAD:** Tesis de pregrado  
**FECHA:** 19 de Julio del 2018

TABLA GENERAL DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN								CONDICIÓN FINAL
#MUESTRA	Peso Inicial	Profundidad	Ø de perforación	Peso final	Pérdida de peso	Pérdida de peso		
NOMENCLATURA	(kg)	(mm)	(cm)	(kg)	(gramos)	(%)		
M1	CE 5	4,457	12mm	5,1cm	4,349	108,0	2,42%	APTO
M2	CE 4	4,428	15mm	6,9cm	4,289	139,0	2,84%	APTO
M3	CE 3-B	4,435	21mm	6,8cm	4,316	119,0	2,68%	APTO
M4	CE 3-A	4,521	18mm	6,6cm	4,360	161,0	3,56%	APTO
M5	CE 2	4,536	29mm	7cm	4,305	231,0	5,09%	NO APTO
M6	CE 1	4,521	36mm	6,1cm	4,260	261,0	5,77%	NO APTO
M7	CA 5-A	4,521	11mm	4,9cm	4,423	62,0	1,37%	APTO
M8	CA 5-B	4,420	15mm	3,1cm	4,332	66,0	1,49%	APTO
M9	CA 4-A	4,045	16mm	2,2cm	3,970	75,0	1,85%	APTO
M10	CA 4-B	4,582	18mm	2,4cm	4,509	73,0	1,59%	APTO
M11	CA 3	4,301	23mm	4,6cm	4,191	110,0	2,56%	APTO
M12	CA 2	4,518	26mm	2,2cm	4,229	189,0	4,18%	APTO
M13	CA 1-A	4,377	47mm	9,3cm	4,079	298,0	6,81%	NO APTO
M14	CA 1-B	4,353	49mm	8,9cm	3,936	303,0	6,96%	NO APTO
M15	EM 5	4,598	20mm	7,6cm	4,136	324,0	7,05%	NO APTO
M16	EM 4	4,636	20mm	8,3cm	4,065	339,0	7,32%	NO APTO
M17	EM 3-A	4,632	21mm	5cm	4,256	376,0	8,12%	NO APTO
M18	EM 3-B	4,673	40mm	7,7cm	4,116	557,0	11,92%	NO APTO
M19	EM 2-A	4,619	28mm	4,1cm	4,221	398,0	8,62%	NO APTO
M20	EM 2-B	4,598	40mm	7,6cm	3,979	619,0	13,46%	NO APTO
M21	EM 1-A	4,765	95mm	12,3cm	4,038	727,0	15,26%	NO APTO
M22	EM 1-B	4,562	62mm	11,8cm	3,760	802,0	17,58%	NO APTO
M23	SE 5	4,602	>110 mm	8cm	3,427	1175,0	25,53%	NO APTO
M24	SE 4	4,671	>110 mm	9,2cm	3,534	1137,0	24,34%	NO APTO
M25	SE 3-A	4,730	55mm	8,5cm	4,173	557,0	11,78%	NO APTO
M26	SE 3-B	4,629	35mm	9cm	4,204	425,0	9,18%	NO APTO
M27	SE 2-A	4,788	65mm	11cm	4,134	654,0	13,66%	NO APTO
M28	SE 2-B	4,724	65mm	7,4cm	4,150	574,0	12,15%	NO APTO
M29	SE 1-A	4,730	70mm	10,3cm	4,076	654,0	13,83%	NO APTO
M30	SE 1-B	4,509	64mm	14,5cm	3,862	647,0	14,35%	NO APTO

**INFORME:** Jesús Manuel Meza López  
**GEOTÉCNIA Y ALBAÑILERÍA**

QAQC Express  
 Av. Leoncio Prado esquina con Jr. Las Balsas -Dilcomayo.  
[qaqcexpress@gmail.com](mailto:qaqcexpress@gmail.com)  
 Contacto: 995 002130

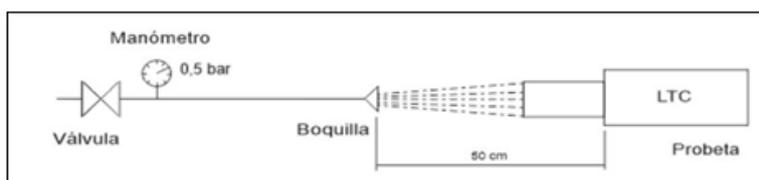


# INFORME TÉCNICO ENSAYO DE EROSIÓN PROCEDIMIENTO SLS 1382



**INFORME N°:** 011-2018-EP  
**INTERESADO:** Bach. Wilmer J. Rojas Meza  
**FINALIDAD:** Tesis de pregrado  
**FECHA:** 19 de Julio del 2018

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCEDIMIENTO SLS 1382



## 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:

- El grupo #1 de muestras recepcionadas corresponden a especímenes estabilizados con CEMENTO (CE).
- Las muestras recepcionadas son de forma cilíndrica compactadas en molde de CBR.
- Las dimensiones de las muestras son de: 4,5" de altura y 6" de diámetro.
- El peso de cada espécimen se detalla dentro del cuadro de resultados, que se muestra a continuación.

## 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN

#MUESTRA	Peso Inicial (kg)	Profundidad (mm)	Ø de perforación (cm)	Peso final (kg)	Pérdida de peso (gramos)	Pérdida de peso (%)	CONDICIÓN FINAL	
M1	CE 5	4,457	12mm	5,1cm	4,349	108,0	2,42%	APTO
M2	CE 4	4,428	15mm	6,9cm	4,289	139,0	2,84%	APTO
M3	CE 3-B	4,435	21mm	6,8cm	4,316	119,0	2,68%	APTO
M4	CE 3-A	4,521	18mm	6,6cm	4,360	161,0	3,56%	APTO
M5	CE 2	4,536	29mm	7cm	4,305	231,0	5,09%	NO APTO
M6	CE 1	4,521	36mm	6,1cm	4,260	261,0	5,77%	NO APTO

## 4. OBSERVACIONES:

- Se realizaron periodos de observación de 15 min. para cada muestra.
- La condición final de la muestra fue evaluada de acuerdo al método Geelong por pérdida de peso en %.
- Para ser considerado "APTO", la pérdida de peso de la muestra no debe sobrepasar el 5%. (Norma SLS 1382)

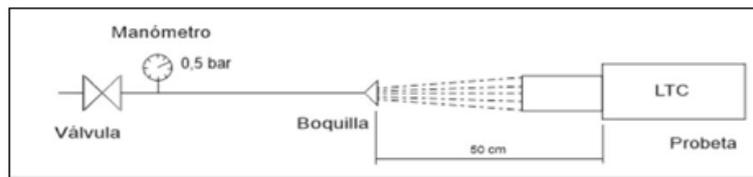
**INFORME:** Jesús Manuel Meza López  
**GEOTÉCNIA Y ALBAÑILERÍA**

HOJA 1-4

QAQC Express  
Av. Leoncio Prado esquina con Jr. Las Balsas -Pilcomayo.  
[qaqcexpress@gmail.com](mailto:qaqcexpress@gmail.com)  
Contacto: 995 002130

**INFORME N°:** 011-2018-EP  
**INTERESADO:** Bach. Wilmer J. Rojas Meza  
**FINALIDAD:** Tesis de pregrado  
**FECHA:** 19 de Julio del 2018

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCEDIMIENTO SLS 1382



### 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:

- El grupo #2 de muestras recepcionadas corresponden a especímenes estabilizados con CAL (CA).
- Las muestras recepcionadas son de forma cilíndrica compactadas en molde de CBR.
- Las dimensiones de las muestras son de: 4,5" de altura y 6" de diámetro.
- El peso de cada espécimen se detalla dentro del cuadro de resultados, que se muestra a continuación.

## 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN

#MUESTRA	Peso Inicial	Profundidad	Ø de perforación	Peso final	Pérdida de peso	Pérdida de peso	CONDICIÓN FINAL
NOMENCLATURA	(kg)	(mm)	(cm)	(kg)	(gramos)	(%)	
M7 CA 5-A	4,521	11mm	4,9cm	4,423	62,0	1,37%	APTO
M8 CA 5-B	4,420	15mm	3,1cm	4,332	66,0	1,49%	APTO
M9 CA 4-A	4,045	16mm	2,2cm	3,970	75,0	1,85%	APTO
M10 CA 4-B	4,582	18mm	2,4cm	4,509	73,0	1,59%	APTO
M11 CA 3	4,301	23mm	4,6cm	4,191	110,0	2,56%	APTO
M12 CA 2	4,518	26mm	2,2cm	4,229	189,0	4,18%	APTO
M13 CA 1-A	4,377	47mm	9,3cm	4,079	298,0	6,81%	NO APTO
M14 CA 1-B	4,353	49mm	8,9cm	3,936	303,0	6,96%	NO APTO

### 4. OBSERVACIONES:

- Se realizaron períodos de observación de 15 min. para cada muestra.
- La condición final de la muestra fue evaluada de acuerdo al método Geelong por pérdida de peso en %.
- Para ser considerado "APTO", la pérdida de peso no debe sobrepasar el 5%. (Norma SLS 1382)

**INFORME:** Jesús Manuel Meza López  
**GEOTÉCNIA Y ALBAÑILERÍA**

HOJA 2-4

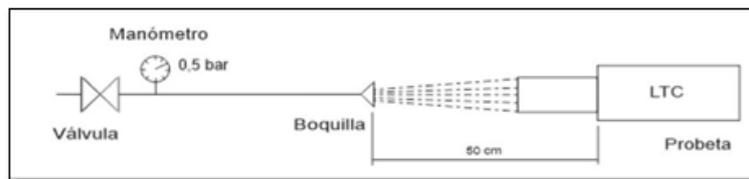


# INFORME TECNICO ENSAYO DE EROSIÓN PROCEDIMIENTO SLS 1382



**INFORME N°:** 011-2018-EP  
**INTERESADO:** Bach. Wilmer J. Rojas Meza  
**FINALIDAD:** Tesis de pregrado  
**FECHA:** 19 de Julio del 2018

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCEDIMIENTO SLS 1382



### 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:

- El grupo #3 de muestras recepcionadas corresponden a especímenes estabilizados con **EMULSIÓN (EM)**.
- Las muestras recepcionadas son de forma cilíndrica compactadas en molde de CBR.
- Las dimensiones de las muestras son de: 4,5" de altura y 6" de diámetro.
- El peso de cada espécimen se detalla dentro del cuadro de resultados, que se muestra a continuación.

## 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN

3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN								
#MUESTRA	Peso Inicial	Profundidad	Ø de perforación	Peso final	Pérdida de peso	Pérdida de peso	CONDICIÓN FINAL	
	(kg)	(mm)	(cm)	(kg)	(gramos)	(%)		
NOMENCLATURA								
M15	EM 5	4,598	20mm	7,6cm	4,136	324,0	7,05%	NO APTO
M16	EM 4	4,636	20mm	8,3cm	4,065	339,0	7,32%	NO APTO
M17	EM 3-A	4,632	21mm	5cm	4,256	376,0	8,12%	NO APTO
M18	EM 3-B	4,673	40mm	7,7cm	4,116	557,0	11,92%	NO APTO
M19	EM 2-A	4,619	28mm	4,1cm	4,221	398,0	8,62%	NO APTO
M20	EM 2-B	4,598	40mm	7,6cm	3,979	619,0	13,46%	NO APTO
M21	EM 1-A	4,765	95mm	12,3cm	4,038	727,0	15,26%	NO APTO
M22	EM 1-B	4,562	62mm	11,8cm	3,760	802,0	17,58%	NO APTO

### 4. OBSERVACIONES:

- Se realizaron periodos de observación de 15 min. para cada muestra.
- La condición final de la muestra fue evaluada de acuerdo al método Geelong por pérdida de peso en %.
- Para ser considerado "APTO", la pérdida de peso no debe sobrepasar el 5%. (Norma SLS 1382)

**INFORME:** Jesús Manuel Meza López  
**GEOTÉCNIA Y ALBAÑILERÍA**

HOJA 3-4

QAQC Express  
 Av. Leoncio Prado esquina con Jr. Las Balsas -Pilcomayo.  
[qaqcexpress@gmail.com](mailto:qaqcexpress@gmail.com)  
 Contacto: 995 002130

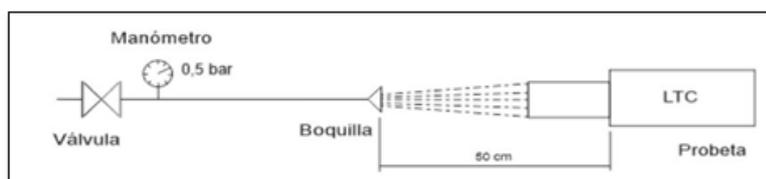


# INFORME TÉCNICO ENSAYO DE EROSIÓN PROCEDIMIENTO SLS 1382



**INFORME N°:** 011-2018-EP  
**INTERESADO:** Bach. Wilmer J. Rojas Meza  
**FINALIDAD:** Tesis de pregrado  
**FECHA:** 19 de Julio del 2018

## 1. CARACTERÍSTICAS DEL PROCEDIMIENTO SLS 1382



### 2. CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS:

- El grupo #4 de muestras recepcionadas corresponden a especímenes SIN ESTABILIZAR (SE).
- Las muestras recepcionadas son de forma cilíndrica compactadas en molde de CBR.
- Las dimensiones de las muestras son de: 4,5" de altura y 6" de diámetro.
- El peso de cada espécimen se detalla dentro del cuadro de resultados, que se muestra a continuación.

## 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN

3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE EROSIÓN							
#MUESTRA	Peso Inicial	Profundidad	Ø de perforación	Peso final	Pérdida de peso	Pérdida de peso	CONDICIÓN FINAL
	(kg)	(mm)	(cm)	(kg)	(gramos)	(%)	
NOMENCLATURA							
M23 SE 5	4,602	>110 mm	8cm	3,427	1175,0	25,53%	NO APTO
M24 SE 4	4,671	>110 mm	9,2cm	3,534	1137,0	25,34%	NO APTO
M25 SE 3-A	4,730	55mm	8,5cm	4,173	557,0	11,78%	NO APTO
M26 SE 3-B	4,629	35mm	9cm	4,204	425,0	9,18%	NO APTO
M27 SE 2-A	4,788	65mm	11cm	4,134	654,0	13,66%	NO APTO
M28 SE 2-B	4,724	65mm	7,4cm	4,150	574,0	12,15%	NO APTO
M29 SE 1-A	4,730	70mm	10,3cm	4,076	654,0	13,83%	NO APTO
M30 SE 1-B	4,509	64mm	14,5cm	3,862	647,0	14,35%	NO APTO

### 4. OBSERVACIONES:

- Se realizaron períodos de observación de 15 min. para cada muestra.
- La condición final de la muestra fue evaluada de acuerdo al método Geelong por pérdida de peso en %.
- Para ser considerado "APTO", la pérdida de peso no debe sobrepasar el 5%. (Norma SLS 1382)

**INFORME:** Jesús Manuel Meza López  
**GEOTÉCNIA Y ALBAÑILERÍA**

HOJA 4-4

QAQC Express  
 Av. Leoncio Prado esquina con Jr. Las Balsas -Pilcomayo.  
[qaqcexpress@gmail.com](mailto:qaqcexpress@gmail.com)  
 Contacto: 995 002130

## PANEL FOTOGRAFICO



Colocación del molde de CBR para ser evaluada a través del Ensayo de Geelong Modificado.



Apertura de la Llave de Paso para iniciar el proceso de ensayo a una presión de 50 Kips.



Ensayo de Geelong Modificado en ejecución por el lapso de 15 minutos.



Extracción del molde ensayado después de los 15 minutos de ejecución.



Colocación del molde ensayado en una superficie plana para tomar las mediciones correspondientes.



Nivelación con nivel de mano y posterior medición de la profundidad de daño ocasionado por el chorro de agua.



Medición del diámetro del hueco ocasionado por el chorro de agua.



Toma de datos en una ficha para los futuros cálculos.



Colocación de muestras al horno por 24 horas para su futuro pesado v cálculo de pérdida de peso.



Foto durante la ejecución del ensayo de Geelong Modificado con el Ing. Jesús Manuel Meza López encargado del Laboratorio QA/QC EXPRESS de la Sede en el Distrito de Pilcomayo.