



**UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BASES DE AGREGADOS DE CLASE  
3 Y 4 CON POLVO CERÁMICA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL  
CEMENTO**

---

**Autora:** Diego Fernando Trávez Bastidas

**Tutora:** Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres

**AMBATO - ECUADOR**

**Enero – 2023**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BASES DE AGREGADOS DE CLASE 3 Y 4 CON POLVO DE CERÁMICA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”**, elaborado por el Sr. Diego Fernando Trávez Bastidas, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0503432049, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2023



---

**Ing. Mg. Alex Xavier Frías Torres**

**TUTOR**

## AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Diego Fernando Trávez Bastidas, con C.I. 0503432049 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BASES DE AGREGADOS DE CLASE 3 Y 4 CON POLVO DE CERÁMICA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2023

---

**Diego Fernando Trávez Bastidas**

C.I. 0503432049

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2023



---

**Diego Fernando Trávez Bastidas**

C.I. 0503432049

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Diego Fernando Trávez Bastidas, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS DE BASES DE AGREGADOS DE CLASE 3 Y 4 CON POLVO DE CERÁMICA COMO REEMPLAZO PARCIAL DEL CEMENTO.”**.

Ambato, enero 2023

Para constancia firman:

---

**Ing. Mg. Ruth Lorena Pérez Maldonado**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

---

**Ing. Mg. Galo Wilfrido Núñez Aldás**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a toda mi familia en especial a mi querida madre Gloria que con esfuerzo y cariño logró guiarme por el camino correcto, encaminándome siempre a cumplir mis metas. Ya que su cariño y ayuda cada mañana durante estos años lograron llenarme de los mejores ánimos para cumplir este objetivo. Al igual que a mi padre Gustavo quien supo ayudarme y apoyarme en lo que me eh propuesto hacer, con su templanza y esfuerzo diario me permitió lograr cumplir este sueño.

También dedico este proyecto para mis hermanos mayores Mario y Genny que con su gran apoyo incondicional en todo lo que me eh propuesto hacer han estado con sus consejos y ayuda, demostrando siempre a su manera que están para mí siempre. Aquel apoyo que jamás terminaré de agradecerles.

Dedico este proyecto a una gran mujer, Joss quien me acompañó durante el mismo, en el cual fue fundamental para mí y gracias a su comprensión, ánimos que me brindó, me motivó a dar lo mejor de mí y no desfallecer en el camino, motivándome a ser mejor cada día.

Y a todos mis amigos que a su manera supieron darme el aliento necesario en el momento correcto porque quien encuentra un gran amigo encuentra un gran tesoro.

*Diego*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por darme el don de la vida cada día y guiarme durante toda esta etapa por el camino correcto, dándome la oportunidad de mejorar constantemente para cumplir uno de mis mayores sueños.

También agradecer a la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por todos los conocimientos impartidos en mí y todos los docentes que día a día me motivaron a ser un excelente profesional con su ejemplo y dedicación.

A mi tutor el Ing. Alex Frías que con su paciencia y conocimientos me ayudó en el desarrollo de mi tesis de grado, motivándome siempre como un gran profesional.

Agradecer también a todos mis compañeros que estuvieron durante mi vida universitaria, ya que de alguna forma supieron motivarme a ser mejor cada día y me permitieron vivir gratas experiencias junto a ellos en todo momento.

## INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
INDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxi
RESUMEN.....	xxiv
ABSTRACT.....	xxv
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Justificación.....	3
1.1.3. Fundamentación Teórica.....	5
1.1.4. Hipótesis.....	28



1.2.	Objetivos .....	29
1.2.1.	Objetivo General .....	29
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	29
<b>CAPITULO II .....</b>		<b>30</b>
2.	METODOLOGÍA .....	30
2.1.	Materiales y Equipos.....	30
2.2.	Métodos.....	39
2.2.1.	Tipos de Investigación .....	39
2.2.2.	Población y Muestra.....	40
2.3.	Plan de Recolección de Datos .....	41
2.3.1.	Plan de obtención del polvo cerámico del material de desecho sanitario. .	43
2.4.	Plan de procesamiento de datos .....	45
2.5.	Plan de análisis de información.....	45
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>47</b>
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	47
3.1.	Análisis Granulométricos de las Bases de Agregados Clase 3 y 4 .....	47
3.2.	Análisis de Límites Líquido, Plástico de Bases de Agregados Clase 3 y 4, Polvo Cerámico. ....	51
3.3.	Análisis de la resistencia al desgaste del agregado grueso para bases de agregados clase 3 y 4.....	55

3.4.	Análisis de solidez de los áridos que forman las bases de agregados clase 3 y 4.....	56
3.5.	Análisis de Proctor Modificado y CBR de Bases de Agregados Clase 3 y 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	57
3.5.1	Análisis de compactación con Proctor Modificado de Bases de Agregados clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	57
a.	Base de Agregados Clase 3 en estado natural.....	57
b.	Base de Agregados Clase 3 con la adición de cemento y polvo cerámico .....	58
3.5.2	Análisis de compactación con Proctor Modificado de Bases de Agregados clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	62
a.	Base de Agregados Clase 4 en estado natural.....	62
b.	Base de Agregados Clase 4 con la adición de cemento y polvo cerámico .....	63
3.5.3	Análisis de CBR de Bases de Agregados clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.....	67
a.	CBR óptimo de Base de Agregados Clase 3 con alteración de cemento y polvo cerámico.....	68
b.	Análisis de CBR óptimo en función de su humedad óptima y densidad seca máxima de la base de agregados clase 3 alterada. ....	70
3.5.4	Análisis de CBR de Bases de Agregados clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.....	70
a.	CBR óptimo de Base de Agregados Clase 4 con alteración de cemento y polvo cerámico.....	72

b.	Análisis de CBR óptimo en función de su humedad óptima y densidad seca máxima de la base de agregados clase 4 alterada. ....	73
3.6.	Análisis de resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 3 y 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	74
3.6.1.	Resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	75
3.6.2.	Resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	76
3.7.	Análisis de tráfico vehicular.....	78
3.7.1.	Tráfico promedio diario anual (TDPA).....	79
3.7.2.	Cálculo de Tráfico futuro .....	80
3.7.3.	Cálculo de Ejes Equivalentes según la norma AASHTO .....	82
3.8.	Análisis de diseño de estructura de Pavimento flexible (Método AASHTO 93).....	88
3.8.1.	Parámetro para el Diseño de estructura Pavimento Flexible. ....	89
3.9.	Análisis de diseños utilizando las bases de agregados clase 3 y 4.....	122
3.9.1.	Análisis de diseños (D1, D2, D3), con la base de agregados clase 3.....	122
3.9.2.	Análisis de diseños (D4, D5, D6), con la base de agregados clase 4.....	123
3.10.	Análisis económico de los diseños con las bases de agregados clase 3.....	124
3.11.	Análisis económico de los diseños con las bases de agregados clase 4.....	127
3.12.	Verificación de las hipótesis .....	130

<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>132</b>
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	132
4.1. Conclusiones .....	132
4.2. Recomendaciones.....	136
Materiales de Referencia.....	137
Referencia Bibliográfica .....	137
<b>ANEXOS .....</b>	<b>142</b>
C.1. Ensayos.....	142
C.2. Tráfico .....	181
C.3. Análisis Económico.....	183
C.4. Fotografías.....	195

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Asignación de letras según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).....	10
Tabla 2: Sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS).....	11
Tabla 3: Clasificación de suelos según la AASHTO .....	13
Tabla 4: Granulometría para la base de agregados clase 1. ....	25
Tabla 5: Granulometría para la base de agregados clase 2. ....	25
Tabla 6: Granulometría para la base de agregados clase 3 .....	26
Tabla 7: Granulometría para la base de agregados clase 4 .....	26
Tabla 8: Ensayos, normas, equipos y materiales utilizados. ....	30
Tabla 9: Cantidad de muestras y ensayos de las bases de agregados clase 3 y 4 estabilizadas. ....	40
Tabla 10: Comparación de las bases de agregados entre ensayos y porcentajes de adición cemento-polvo cerámico. ....	43
Tabla 11: Granulometría de base de agregados clase 3. ....	48
Tabla 12: Granulometría de base de agregados clase 4. ....	50
Tabla 13: Coeficientes de Bases de Agregados Clase 3 y 4 .....	51
Tabla 14: Determinación de Límite Líquido y Plástico de las bases de Agregados. .	52
Tabla 15: Comparación de datos obtenidos de límite líquido e índices de plasticidad con límites permitidos MOP-001-F-2002 [24]. ....	54
Tabla 16: Determinación de Límite Líquido y Plástico del Polvo Cerámico. ....	54
Tabla 17: Ensayo de resistencia al desgaste mediante la Máquina de los Ángeles. ..	55
Tabla 18: Resistencia al desgaste del agregado fino mediante el uso de sulfatos.....	56
Tabla 19: Resistencia al desgaste del agregado grueso mediante el uso de sulfatos. .	56

Tabla 20: Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3 con % de cemento y % polvo cerámico.....	58
Tabla 21: Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4 con % de cemento y % polvo cerámico.....	63
Tabla 22: %CBR de la base de agregados clase 3 con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	67
Tabla 23: Comparación de valores de CBR con las especificaciones MOP-001-F-2002 [24]. ....	68
Tabla 24: %CBR de la base de agregados clase 4 con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	71
Tabla 25: comparación de valores de CBR con las especificaciones MOP-001-F-2002. ....	74
Tabla 26: Resistencia a la compresión simples de Bases de Agregados clase 3 con la alteración de cemento y polvo cerámico a los 7 días de edad.....	75
Tabla 27: Resistencia a la compresión simples de bases de agregados clase 4 con la alteración de cemento y polvo cerámico a los 7 días de edad.....	77
Tabla 28: Cálculo del TPDA del tramo 1 San Rafael. ....	79
Tabla 29: Cálculo del TPDA del tramo 2 San Juan-Chan .....	80
Tabla 30: Crecimiento vehicular en la provincia de Cotopaxi.....	80
Tabla 31: Cálculo de tráfico futuro para el tramo 1 San Rafael.....	82
Tabla 32: Cálculo de tráfico futuro para el tramo 2 San Juan-Chan. ....	82
Tabla 33: Formulas para el factor de equivalencia de cargas. ....	84
Tabla 34: Factor de Carril para el diseño de Pavimento Flexible .....	85
Tabla 35: Factor de dirección para el diseño de pavimento Flexible.....	85
Tabla 36: Tasa de crecimiento vehicular en la provincia de Cotopaxi. ....	86

Tabla 37: Cálculos realizados de número de ejes equivalentes con el incremento de tráfico para el tramo 1 San Rafael.....	87
Tabla 38: Cálculos realizados de número de ejes equivalentes con el incremento de tráfico para el tramo 2 San Juan -Chan. ....	87
Tabla 39: Resultados de ejes equivalente para el tramo 1 San Rafael. ....	87
Tabla 40: Resultados de ejes equivalente para el tramo 2 San Juan -Chan. ....	88
Tabla 41: Valores de CBR en función de %Cemento-%Polvo cerámico de las bases de agregados.....	89
Tabla 42: Nivel de confiabilidad.....	90
Tabla 43: Desviación estándar normal en función del nivel de confianza.....	91
Tabla 44:Desviación estándar normal en función del tipo de estructura de pavimento. ....	92
Tabla 45: Calidad de drenaje. ....	93
Tabla 46: Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles expuestos a niveles de humedad. ....	93
Tabla 47: Espesores mínimos en función de los ejes equivalentes.....	96
Tabla 48: Resumen de ensayo Marshall (AASHTO T-245).....	97
Tabla 49: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 1. ....	99
Tabla 50: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 1.....	101
Tabla 51: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 2 .....	104
Tabla 52: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 2.....	105
Tabla 53: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 3 .....	108
Tabla 54: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 3.....	109
Tabla 55: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 4. ....	112
Tabla 56: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 4.....	113

Tabla 57: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 5 .....	116
Tabla 58: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 5.....	117
Tabla 59: Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 6 .....	120
Tabla 60: Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 6.....	121
Tabla 61: Diseños de espesores de capa con la utilización de la base de agregados clase 3.....	122
Tabla 62: Diseños de espesores de capa con la utilización de la base de agregados clase 4.....	123
Tabla 63: Presupuesto de diseño 1 .....	125
Tabla 64: Presupuesto de diseño 2 .....	125
Tabla 65: Presupuesto de diseño 3 .....	126
Tabla 66: Presupuesto de diseño 4 .....	128
Tabla 67: Presupuesto de diseño 5 .....	128
Tabla 68: Presupuesto de diseño 6 .....	129



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de fases del suelo con sus índices de poros, vacíos.....	6
Figura 2: Carta Casagrande de plasticidad para suelos finos.....	12
Figura 3: Gráfica de densidad real vs humedad.....	15
Figura 4: Gráfica generalizada de humedad de compactación vs densidad seca.....	16
Figura 5: Diagramas típicos de humedad vs densidad seca con diferentes energías de compactación.....	17
Figura 6: Curva de determinación de índice CBR en laboratorio.....	18
Figura 7: Máquina de los ángeles utilizada en el ensayo de abrasión.....	19
Figura 8: Estructura del pavimento flexible.....	23
Figura 9: Composición química del polvo cerámico.....	27
Figura 10:Recolección de muestras en mina "Molina".....	36
Figura 11: Análisis granulométricos de bases.....	36
Figura 12: Ensayo de Proctor Modificado.....	37
Figura 13: Ensayo de Soporte California (CBR) de bases estabilizadas.....	37
Figura 14: Ensayo Límite líquido del Polvo de Cerámica.....	38
Figura 15: Ensayo de Límite Plástico del polvo de cerámica.....	38
Figura 16: Trituración de la loza sanitaria.....	44
Figura 17: Tamizado del material triturado de loza sanitaria.....	44
Figura 18: Polvo cerámico obtenido del tamizado del tamiz #100 que retiene y pasa.....	45
Figura 19: Curva Granulométrica de Base de Agregados Clase 3.....	49
Figura 20: Curva Granulométrica de Base de Agregados Clase 4.....	50
Figura 21: Límite líquido de las Bases de Agregados.....	53

Figura 22: Curva de contenido de humedad vs Densidad seca de la base de agregados clase 3 natural.....	57
Figura 23: %Polvo Cerámico vs %humedad óptima en base de agregados clase 3.	59
Figura 24: %Polvo Cerámico vs Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) en base de agregados clase 3.....	60
Figura 25: Humedad Óptima vs Densidad seca máxima de la base de agregados clase 3 con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	61
Figura 26: Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3 alteradas.....	61
Figura 27: Curva de contenido de humedad vs Densidad seca de la base de agregados clase 4 natural.....	62
Figura 28: %Polvo Cerámico vs %humedad óptima en base de agregados clase 4.	64
Figura 29: %Polvo Cerámico vs Densidad seca máxima (gr/cm <sup>3</sup> ) en base de agregados clase 4.....	65
Figura 30: Humedad Óptima vs Densidad seca máxima de la base de agregados clase 4 con y sin adición de cemento y polvo cerámico. ....	66
Figura 31:Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4 alteradas.....	66
Figura 32: CBR óptimo de la base de agregados clase 3 vs el porcentaje óptimo de polvo cerámico.....	69
Figura 33: % Cemento óptimo en función del CBR óptimo de la base de agregados clase 3.....	69
Figura 34: Relación óptima de las propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3.....	70
Figura 35: CBR óptimo de la base de agregados clase 4 vs % polvo cerámico. ....	72
Figura 36: % Cemento óptimo en función del CBR óptimo de la base de agregados clase 4.....	73

Figura 37: Relación óptima de las propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4.....	73
Figura 38: Resistencia a la compresión simple de bases de agregados clase 3 alteradas a los 7 días de edad.....	76
Figura 39: Resistencia a la compresión simple de bases de agregados clase 4 alteradas a los 7 días de edad.....	77
Figura 40: Pesos y medidas nacional. ....	83
Figura 41: Número estructural requerido para 20 años.....	95
Figura 42: Estructura de pavimento flexible con sus coeficientes.....	95
Figura 43: Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica. ....	97
Figura 44: Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular. ....	98
Figura 45: Nomograma de coeficiente estructural para subbase granular (a3).....	99
Figura 46: Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño1.....	102
Figura 47:Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento. ....	103
Figura 48:Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño2.....	106
Figura 49:Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento. ....	107
Figura 50:Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño3.....	110
Figura 51: Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular. ....	111
Figura 52: Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 4.....	114

Figura 53:Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.....	115
Figura 54:Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 5.....	118
Figura 55:Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.....	119
Figura 56:Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 6.....	122
Figura 57: Análisis comparativo entre diseños con la base de agregados clase 3 ..	126
Figura 58: Análisis comparativo entre diseños con la base de agregados clase 4 ..	129

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Granulometría de Base de Agregados clase 3 .....	143
Anexo 2: Granulometría de Base de Agregados clase 4.....	144
Anexo 3: Límite líquido y Plástico del polvo cerámico.....	145
Anexo 4: Límite líquido y Plástico del material fino para bases de agregados clase 3 y 4.....	146
Anexo 5: Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles. ....	147
Anexo 6: Ensayo al desgaste mediante el uso de sulfatos. ....	148
Anexo 7: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 0%cemento-0%polvo cerámico. ....	149
Anexo 8: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 5%cemento-0%polvo cerámico. ....	150
Anexo 9: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 4%cemento-5%polvo cerámico. ....	151
Anexo 10: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 3%cemento-9%polvo cerámico. ....	152
Anexo 11: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 2%cemento-13%polvo cerámico. ....	153
Anexo 12: CBR de bases de agregados clase 3, 0%cemento-0%polvo cerámico. ..	154
Anexo 13: CBR de bases de agregados clase 3, 5%cemento-0%polvo cerámico. ..	156
Anexo 14: CBR de bases de agregados clase 3, 4%cemento-5%polvo cerámico. ..	158
Anexo 15: CBR de bases de agregados clase 3, 3%cemento-9%polvo cerámico. ..	160
Anexo 16: CBR de bases de agregados clase 3, 2%cemento-13%polvo cerámico. ..	162

Anexo 17: Ensayo de resistencia a la compresión simple con la base de agregados clase 3.....	164
Anexo 18: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 0% cemento-0% polvo cerámico. ....	165
Anexo 19: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 5% cemento-0% polvo cerámico. ....	166
Anexo 20: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 4% cemento-5% polvo cerámico. ....	167
Anexo 21: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 3% cemento-9% polvo cerámico. ....	168
Anexo 22: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 2% cemento-13% polvo cerámico. ....	169
Anexo 23: CBR de bases de agregados clase 4, 0% cemento-0% polvo cerámico. ..	170
Anexo 24: CBR de bases de agregados clase 4, 5% cemento-0% polvo cerámico. ..	172
Anexo 25: CBR de bases de agregados clase 4, 4% cemento-5% polvo cerámico. ..	174
Anexo 26: CBR de bases de agregados clase 4, 3% cemento-9% polvo cerámico. ..	176
Anexo 27: CBR de bases de agregados clase 4, 2% cemento-13% polvo cerámico. ..	178
Anexo 28: Ensayo de resistencia a la compresión simple con la base de agregados clase 4.....	180
Anexo 29: Tráfico Actual tramo 1 San Rafael.....	182
Anexo 30: Tráfico Actual tramo 2 San Juan-Chan. ....	182
Anexo 31: Análisis de precio Unitario, Capa de Rodadura. ....	184
Anexo 32: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3. ....	185
Anexo 33: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3 estabilizada con cemento.....	186

Anexo 34: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3 estabilizada con cemento y polvo cerámico. ....	187
Anexo 35: Análisis de Precio Unitario, Sub base clase 3. ....	188
Anexo 36: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4. ....	189
Anexo 37: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4 estabilizada con cemento. ....	190
Anexo 38: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4 estabilizada con cemento y Polvo Cerámico. ....	191
Anexo 39: Diseño 1, cuantificación. ....	192
Anexo 40: Diseño 2, cuantificación. ....	192
Anexo 41: Diseño 3, cuantificación. ....	192
Anexo 42: Diseño 4, cuantificación. ....	193
Anexo 43: Diseño 5, cuantificación. ....	193
Anexo 44: Diseño 6, cuantificación. ....	193
Anexo 45: Recolección de Base de Agregados Clase 3 y 4 de la mina "Molina", parroquia Mulalo , cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. ....	196
Anexo 46: Recolección de desecho de losa sanitaria de la industria FV. ....	196
Anexo 47: Obtención del polvo cerámico mediante tamizado. ....	197
Anexo 48: Preparación de agregados, cemento y polvo cerámico para el ensayo CBR .....	197
Anexo 49: Compactación de las muestras de bases de agregados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada. ....	198
Anexo 50: Preparación para el curado de las muestras de bases estabilizadas con cemento y polvo cerámico. ....	198

## RESUMEN

A medida que la población crece, sus desechos constructivos lo hacen por igual, un ejemplo de esto son los desechos de losa sanitaria que al presentar fallas o imperfectos son desechados y no utilizados. Al poseer propiedades puzolánicas como Aluminio, Calcio y Silicio, se pensó en la incorporación de este material en la estabilización con cemento de bases de agregados clase 3 y 4, ya que un reemplazo parcial de cemento reduciría el impacto en cuanto al ámbito constructivo y económico.

Se procedió inicialmente con la recolección de muestras de bases de agregados clase 3 y 4 para que se pueda conocer sobre sus propiedades mecánicas antes de su alteración ya sea con cemento y polvo cerámico. Se realizó la obtención de polvo cerámico a partir de la losa sanitaria desechada de la industria FV (Franze Viegner), para luego su incorporación en la estabilización de dichas bases de agregados, en donde se disminuyó el porcentaje de cemento y se aumentó el porcentaje de polvo cerámico esto siguiendo la normativa (MOP-001-F002). Finalmente se obtuvo las propiedades mecánicas de las muestras alteradas principalmente el CBR y se procedió con el diseño de la estructura de pavimento y su presupuesto en base a estudios ya conocidos del “Asfalto de la vía San Rafael, San Juan, Chan, E35, Parroquia Eloy Alfaro cantón Latacunga provincia de Cotopaxi”. En donde se utilizó el conteo vehicular para encontrar los ejes equivalentes.

**Palabras clave:** CBR, MOP-001-F002, Polvo cerámico, Cemento, Estabilización de bases, Base de agregados, Ejes equivalentes.



## ABSTRACT

As the population grows, its construction waste does the same, an example of this is the waste from sanitary slabs which, when it presents faults or imperfections, are discarded and not used. Having pozzolanic properties such as Aluminum, Calcium and Silicon, it was thought to incorporate this material in the stabilization with cement bases of aggregates class 3 and 4, since a partial replacement of cement would reduce the impact in terms of construction and economy. Initially, we proceeded with the collection of samples of aggregates class 3 and 4 so that we could know about their mechanical properties before altering them either with cement or ceramic powder. Ceramic dust was obtained from the sanitary slab discarded from the FV industry (Franze Viegener), and then incorporated into the stabilization of these aggregates, where the percentage of cement was decreased and the percentage of ceramic dust was increased according to the regulations (MOP-001-F002). Finally, we obtained the mechanical properties of the samples altered mainly the CBR and proceeded with the design of the pavement structure and its budget based on already known studies of the “Asfaltado de la vía San Rafael, San Juan, Chan, E35, Parroquia Eloy Alfaro cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi”. Where vehicle counting was used to find the equivalent axels.

**Key Words:** CBR, MOP-001-F002, Ceramic Powder, Cement, Base Stabilization, Aggregate Base, Equivalent Axes.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

#### 1.1.1. Antecedentes

A medida que la población crece, la industria de construcción crece a la par y por igual sus desechos en este caso los desechos de construcción, los cuales son utilizados en rellenos o reutilizados en la elaboración de hormigón, lo que ayude a disminuir la contaminación ambiental que se produce por dichos desechos [1]. Entre los diferentes desechos de construcción están ya sean, bloques, ladrillos, mampostería, loza sanitaria, todo aquello que es residuo de construcción, ha llevado a la necesidad de su reutilización principalmente por la contaminación ambiental que produce. Varios estudios muestran que dichos materiales reciclados pueden ser incorporados en la elaboración de hormigón, donde muestran resultados favorables en cuanto a sus propiedades mecánicas, tal es el caso de la utilización de desechos cerámicos, en donde al triturarlos y obtener un polvo fino se puede incorporar al concreto, manteniendo su resistencia [2].

Los desechos de loza sanitaria se deben por distintas causas y una de las principales son; defectos causados en sus acabados finales en las industrias, por lo que su comercialización no se realiza, por tanto, estos desechos pasan a ser ubicados en escombreras lo que genera acumulación de este tipo de elemento. Debido a que esto sucede en todo el mundo se han realizado estudios para poder aprovechar este tipo de desecho, tal es el caso de Silvina Zito, Edgardo Irassar y Viviana Rahhal [3], los cuales realizaron el “Estudio sobre pastas y morteros de cemento portland con reemplazo por loza sanitaria”, donde añadieron en

porcentajes de 8, 24 y 40% de loza sanitaria al cemento. Existe un aumento de resistencia y compatibilidad puzolánica en los días iniciales de fraguado, debido a que la composición de la cerámica blanca, utilizados en fontanería es decir la loza sanitaria son los caolines y arcillas caolinitas, esta cerámica al estar compuesta por caolín su producción se la realiza a altas temperaturas de 1200 a 1400°C las cuales son menores a la de la producción de Clinker, es decir para la producción de cemento portland, ya que el mismo se cuece a 1450°C por lo que implica menor energía de producción en comparación con el Clinker [4].

Se han realizado pocos estudios de la utilización de la loza sanitaria o polvo cerámico en el país, el cual se puede obtener de diferentes formas como lo es por desecho del producto cerámico debido a fallas en su fabricación o incluso del desecho de construcciones por lo que una de las investigaciones realizadas en Ecuador trata sobre la utilización parcial de polvo cerámico en morteros el cual según Paulina Viera, Carla Chicaiza [5], mencionan en su trabajo de investigación:

“Uso de residuos cerámicos como sustituto del cemento para fabricación de morteros”, las propiedades químicas obtenidas de laboratorio, lo cual pudieron verificar que este material posee propiedades puzolánicas debido a su composición de Aluminio, Calcio y Silicio. En base a esta investigación se basa el estudio de la estabilización de base de agregados de clase 3 y 4, ya que dicha investigación realizada además de proporcionar la composición química del polvo de cerámica, hace mención acerca de la resistencia que se puede obtener y mantener al reemplazar en porcentajes de 3%, 5%, 7%, 10% y 15% de polvo de cerámica en la mezcla [5].

### **1.1.2. Justificación**

Durante años el cemento ha sido el material principal en la construcción, pero a medida que la tecnología evoluciona en diferentes campos, pasa de igual forma en campo constructivo. La búsqueda de nuevas tecnologías constructivas ha llevado a que se incorpore materiales más amigables con el medio ambiente, por esta razón se ha visto la necesidad de explorar el campo de los materiales como: geo polímeros, desechos de construcción, polvo de cerámica que sirvan como reemplazo del cemento, debido a que al realizar la producción de cemento este emana dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, los cuales son gases nocivos que se descargan en la atmósfera produciendo un daño ambiental [6].

A medida que la población va creciendo, sus desechos lo hacen por igual, como es el caso de desechos de cerámicos, la industria de cerámicos produce gran cantidad de desechos, como claro ejemplo es la Industria EDESA S.A. ubicada en la ciudad de Quito la cual de toda su producción el 4% posee imperfecciones por lo que no son comercializadas, debido a esto son trituradas y enviadas a botaderos autorizados, lo cual produce una reducción de la vida útil de botaderos. Por lo que la incorporación o reemplazo del cemento por este tipo de polvo cerámico ayudaría en diferentes métodos constructivos, que por años han utilizados el cemento como aglomerante principal, ya sea en el campo estructural como en la construcción de vías [7].

La estabilización con cemento ya sea de suelo o de bases es muy usada ya que el fin es economizar los recursos y obtener una capa de rodadura mínima, pero que toda la carpeta asfáltica cumpla con las resistencias requeridas indistintamente del tráfico vehicular, por lo que varios estudios han demostrado con efectividad que la adición de materiales desechados de la construcción como el caso de mampostería son muy favorables para la estabilización de suelos, adicionándolos con cal o con cemento son aún más efectivos para llegar a cumplir su función [8].

Estudios realizados de la estabilización de un suelo-cemento-cal muestran resultados positivos en cuanto a incorporaciones parciales de la cal como sustituto del cemento, por lo que entre los porcentajes que se utilizaron fueron: 3%, 5% y 7%. De entre los cuales el óptimo para la reducción del índice de plasticidad fue del 7% de adición de cal, por lo que la búsqueda de nuevos materiales puzolánicos que reemplacen al cemento portland no es únicamente en el ámbito estructural sino también en la rama vial de la Ingeniería Civil [9].

Al triturarlos y reducirlos a un tamaño de partícula adecuado pueden ser incorporados con el cemento o posiblemente reemplazarlo en el caso de estabilización vial, ya que poseen buenas capacidades puzolánicas y además al no ser químicamente inertes, estos no son biodegradables, un factor importante en la vida útil de una vía [4]. Dicho polvo posee propiedades químicas que componen el cemento como lo son: Aluminio, Calcio, Silicio, lo cual es una ventaja más al hacer uso de este tipo de material como adición con el cemento portland [5].

El polvo cerámico obtenido ya sea de desechos de construcción o desechos industriales como cerámicos sanitarios ha mostrado buenas resistencias al ser incorporados en varios porcentajes (3%,5%,7%,10%,15%) en un mortero con cemento ya que al ser triturado de forma adecuado y tamizado toma características similares a las del cemento [10], tanto en su deformabilidad como en trabajabilidad, los mismos han presentado resistencia de hasta 25Mpa lo cual es un factor muy positivo al realizar morteros con la incorporación de los mismos, debido a esto la estabilización de suelos o de bases no sería un caso excepcional en cuanto a la efectividad de aplicación, ya que esto además de ayudar a reducir costos en la construcción de una vía ayudaría en la resistencia y reducción de espesor que conforma la carpeta asfáltica [7].

Este estudio se basa en la reutilización de los desechos de loza sanitaria, los cuales mediante un proceso de trituración se obtendrá un polvo fino, dicho

polvo se incorporará en la estabilización con cemento de bases de agregados clase 3 y 4, reduciendo parcialmente el peso del cemento y aumentando el peso del polvo cerámico en dicha estabilización.

<b>Composición</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultados</b>
Aluminio	mg/kg	596.2
Calcio	mg/kg	798.3
Hierro Total	mg/kg	637.04
Magnesio	mg/kg	91.6
Silicio	%p/p	22

### **1.1.3. Fundamentación Teórica**

#### **1.1.3.1. Suelo**

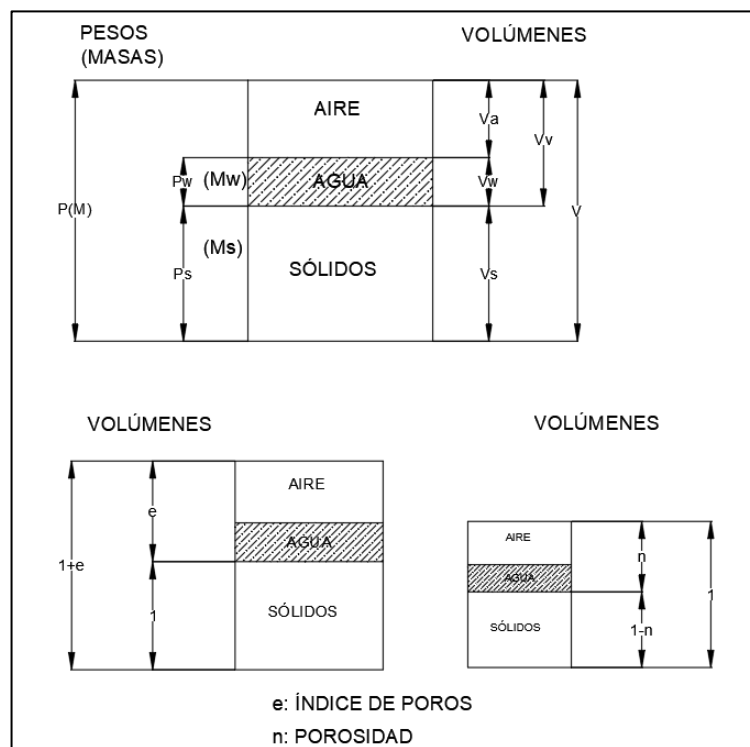
Es aquel agregado de partículas que puede estar formado de diferentes partes de las cuales pueden ser orgánicas e inorgánicas. Desde varios puntos de vista se puede conceptualizar al suelo, como aquel material que cubre la corteza terrestre. La cual se genera por varios factores que disgregan o descomponen a las rocas. Estos factores o agentes generadores de suelo pueden ser principalmente el aire y el agua, lo cuales son agentes físicos que llegan a formar arenas, limos y en casos especiales arcillas. Para poder realizar una selección adecuada de suelos, además para conocer acerca de sus propiedades físicas-mecánicas es necesario considerar principalmente ensayos de granulometrías, plasticidad y retracción del suelo [11], [12].

#### **Componentes de un suelo**

El suelo se compone de partículas sólidas con una conexión entre las mismas, dichas conexiones dejan huecos o espacios en donde puede existir aire o agua. Debido a estos poros y dependiendo de lo que se hallen dentro de los mismos se obtienen tres tipos de fases las cuales pueden ser: sólida,

líquida y gaseosa. En la utilización del suelo para la construcción de carreteras se descarta una cuarta fase que se puede añadir la cual se produce al añadirse materia orgánica, esto por conocimiento general se sabe que no son muy buenas en la aplicación de obras civiles. La humedad que se contiene en dichos huecos o vacíos influirá de forma importante para determinar las propiedades de los suelos como por ejemplo se puede mencionar la resistencia a la deformación la retracción, su permeabilidad, entre otras [12].

**Figura 1:** Gráfico de fases del suelo con sus índices de poros, vacíos.



Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II [12].

### **1.1.3.2. Propiedades físicas del suelo que intervienen en su clasificación.**

#### **Granulometría**

Es la propiedad de los suelos que nos permiten distinguirlos y clasificarlos debido al tamaño de su partícula que puede tener, por lo que puede ser: grava, gravilla, arena, arcilla, limo. Lo que en el campo de la ingeniería es muy importante el conocer los distintos tamaños que intervienen en una porción de suelo estudiada para cumplir con los diferentes parámetros antes de iniciar con la implantación de una obra civil. Este ensayo consiste en tamizar la masa de suelo seco y conocer de forma cuantitativa que cantidad de suelo retienen dichos tamices para su clasificación. Al obtener dichos valores retenidos se puede obtener una gráfica en la cual se puede observar la curva granulométrica de ese suelo, dicha curva es graficada sobre una abscisa logarítmica y los porcentajes que pasan los tamices se ubican sobre una ordenada lineal. Esta propiedad además de proporcionar una clasificación de suelos aporta con otras propiedades como: porosidad, permeabilidad, resistencia a los esfuerzos cortantes [12].

#### **Plasticidad**

Es aquella propiedad de los suelos que le permite moldearse sin fracturarse, esta propiedad depende principalmente del contenido de humedad que posea y además de la naturaleza de los posibles componentes arcillosos que presente. Para determinar el grado de plasticidad que posee el suelo se realiza ensayos que permitan conocer los límites de consistencia o también conocidos como límites de Atterberg. Los estados límites que se miden son: límite líquido (LL), el cual es la humedad con la que una huella se cierra en el suelo con una determinada energía, en cuanto al límite plástico (LP) se define como la humedad con la que al hacer rollos delgados de suelo empiece a presentar agrietamientos mientras se intenta amasarlos. El índice de plasticidad se obtiene a partir de los límites líquido y plástico ( $IP=LL-LP$ ) [12].



## Densidad

Se refiere a la masa que conforma un cuerpo y es contenida en una unidad de volumen; en donde no se incluyan sus vacíos se habla de densidad absoluta, en cambio, si se incluyen los vacíos en su concepto se habla de densidad aparente. En cuanto a la densidad relativa de un suelo es la relación entre la densidad absoluta y la densidad absoluta del agua destilada con una temperatura de 4°C, este valor es 1 gr \*/cm<sup>3</sup>. Mostradas de la siguiente manera [13]:

$$D_a = \frac{P_s}{V_s}$$

$$D'_a = \frac{P_s}{V_t}$$

$$D_r = \frac{D_a}{D_w}$$

Donde [13]:

$D_a$ , Densidad absoluta.

$D'_a$ , Densidad aparente.

$P_s$ , Peso de partícula sólida en [gr].

$V_s$ , Volumen de sólido en [cm<sup>3</sup>].

$V_t$ , Volumen de sólidos más vacíos en [cm<sup>3</sup>].

$D_w$ , Densidad del agua destilada a una temperatura de 4°C, [1gr \*/cm<sup>3</sup>].

## Contenido en sales y yesos en el suelo

Como contenidos importantes son principalmente los carbonatos y sulfatos, yesos y sales solubles que se pueden encontrar en porciones de suelo que tamaño menor a 2mm. Debido a que esto define el comportamiento del suelo y de los hormigones [12].

### **1.1.3.3. Clasificación de los suelos**

La clasificación de suelos se lo hacer mediante dos sistemas muy utilizados y conocidos en el campo de la ingeniería por sus distintas cualidades del suelo que se puede llegar a obtener, estas son: El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) o también conocido por sus siglas USCS (Unfied Solid Classification System), la cual fue desarrollada por la ASTM (American Society for Testing Materials) y mediante el sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) [12], en donde estos sistemas se basan su clasificación en datos de resultados obtenidos de granulometría, Límite Líquido, Plástico y su Índice de Plasticidad, es decir los Límites de Atterberg [14].

#### **a) Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS)**

Este sistema se encuentra estandarizado por la ASTM D2487-93, por lo que es utilizado por muchos países en el mundo en cuanto a trabajos de geotécnica. Este método designa el tipo de suelo mediante dos letras, donde, la primera letra hace referencia al principal componente de la muestra de suelo, en cuanto a la segunda letra designa las propiedades granulométricas o de plasticidad que el suelo analizado posea, se muestra continuación en la Tabla N°1 la forma las letras de designación [14].

**Tabla 1:** Asignación de letras según el sistema unificado de clasificación de suelos  
(SUCS)

<b>Primera Letra</b>		<b>Segunda Letra</b>	
<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
G	Grava	H	Alta plasticidad
S	Arena	L	Bajas plasticidad
M	Limo	W	Bien graduado
C	Arcilla	P	Mal graduado
O	Limos o Arcillas orgánicas	C	Arcillosos
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos		

Fuente: Geotecnia I año académico 2021-2022 [14].

En la determinación de que un suelo sea de grano grueso (grava) o de grano fino (arena), utilizando el sistema mencionado, se deben tomar lo siguiente:

- Si el porcentaje de suelo que pasa el tamice N°200 (0.075mm) es menor al 50% este suelo es de grano grueso y si pasa más del 50% del tamiz N°200 (0.075mm) pertenece al suelo de grano fino, de esta forma se podrá dar la designación de la primera letra en la clasificación.
- Para arenas y gravas que pasen menos del 5% de su peso el tamiz N°200, se asigna la segunda letra tomando en cuenta su granulometría, dependiendo si están bien graduadas o mal graduadas. Si pasa más del 12% el tamiz N°200 se considera para su segunda asignación si son limosas o arcillosas con las letras M y C respectivamente.
- Si el porcentaje que pasa el tamiz N°200 está entre el 5% y 12% reciben una clasificación de limos o arcillas en donde su segunda designación corresponde a la alta o baja plasticidad que posean.

Como un resumen de la clasificación según este método de la ASTM se puede notar en la siguiente tabla del Sistema Unificado de Clasificación de los suelos (SUCS) [14]:

**Tabla 2:** Sistema de clasificación unificada de suelos (SUCS)

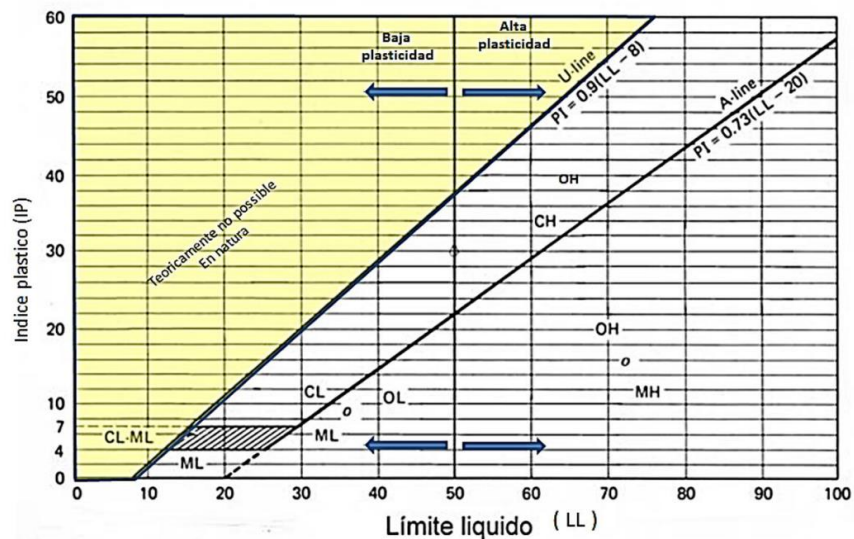
<b>IDENTIFICACIÓN DEL SUELO EN LABORATORIO</b>			<b>Simbología</b>
<b>Gravas</b> Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en el tamiz N°4	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 4$ Coeficiente de uniformidad	$1 \leq Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \leq 3$ Coeficiente de curvatura	GW
	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 4$ Coeficiente de uniformidad	$1 \leq Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}} \leq 3$ Coeficiente de curvatura	GP
<b>Arenas</b> Más del 50% de la fracción gruesa es pasa el tamiz N°4	$Cu \geq 6$ Coeficiente de uniformidad	$1 \leq Cc \leq 3$ Coeficiente de curvatura	SW
	$Cu \geq 6$ Coeficiente de uniformidad	$1 \leq Cc \leq 3$ Coeficiente de curvatura	SP
	IP<4 o debajo de la línea A en la carta de plasticidad		SM
	IP>7 o arriba de la línea A en la carta de plasticidad		SC
<b>Limos y Arcillas</b> LL<50	Inorgánico	IP>7 se grafica arriba de la línea A en la carta de plasticidad	CL
		IP<4 se grafica debajo de la línea A en la carta de plasticidad	ML
<b>Limos y Arcillas</b>	Inorgánico	IP>7 se grafica arriba de la línea A en la carta de plasticidad	CH

LL>50		IP<4 se grafica debajo de la línea A en la carta de plasticidad	MH
<b>Suelos Orgánicos</b>	Materia orgánica de color oscuro		Pt

Fuente: Geotecnia I año académico 2021-2022 [14]

La Carta de Casa grande o también conocida como carta de plasticidad se utiliza para dar la asignación de la segunda letra donde se da las características en suelos finos, dependiendo del valor de límite líquido es mayor o igual a 50% o menor del 50% para ubicarse en el eje X y para ubicarse en el eje Y se utiliza el valor de índice de plasticidad y el punto donde las líneas se crucen permiten conocer si es una arcilla o limo dependiendo que se encuentre encima de la línea A o por debajo de la línea A [14].

**Figura 2:** Carta Casagrande de plasticidad para suelos finos



Fuente: GEOTECNIA I Año Académico 2021-2022 [14].

### b) Clasificación AASHTO de los suelos

Esta clasificación es mayormente utilizada para la construcción de terraplenes y carreteras, por lo que este sistema se enfoca en determinar que tipos de suelos son mejores para la construcción de obras o infraestructuras viales. Se diferencian siete grupos de suelos que van desde el grupo A-1

hasta el A-7 donde los mismos se subdividen desde A-1 hasta A-3 que comprenden a los suelos granulares que el 35% o menos pasa por el tamiz N° 200; en cuanto al grupo que va desde A-4 hasta A-7 está conformado por suelos granulares finos es decir al grupo de arcilla y limo que el porcentaje que pasa el tamiz N°200 es más del 35%; todos éstos sub grupos serán definidos en función de su granulometría y si plasticidad [12],[15].

**Tabla 3:** Clasificación de suelos según la AASHTO

Clasificación General		Materiales granulares 35% o menos pasan la malla 200							Materiales limosos y arcillosos más del 35% pasa la malla No200					
		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
Análisis granulométrico de % que pasa el tamiz N°	10	50 Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	40	30 Max	50 Max	51 Min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	200	15 Max	25 Max	10 Max	35 Max	35 Max	35 Max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min	
Características de la fracción que pasa el tamiz N°40	LL	-	-	-	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	41 Min	41 Min	41 Min	
	LP	6 Max	6 Max	NP	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	11 Min	
<b>Índice de Grupo</b>		0	0	0	0	≤4	≤8	≤4	≤8	≤12	≤16	≤20	≤20	
<b>Tipo usual de materiales constituyentes</b>		Piedra, Grava, Arena		Arena	Arena limosa o arcillosa, arena				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
<b>Comportamiento General como Subbase</b>		EXCELENTE A BUENO						ACEPTABLE A MALO						
<b>Nota :</b>														
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El índice de plasticidad del sub grupo A-7-5 es igual o menor que el límite líquido menos 30</li> <li>- El índice de plasticidad del sub grupo A-7-6 es mayor que el límite líquido menos 30</li> </ul>														

Fuente: Geomecánica [15].

Como parte de esta clasificación se toma en cuenta un complemento que es el Índice de Grupo, el cual toma valores entre 0 y 20 o incluso más, donde los números menores corresponden a los mejores suelos y se calcula con la siguiente fórmula [12]:

$$IG = (F - 35) * [0.2 + 0.05 * (LL - 40)] + 0.01 * (F - 15) * (IP - 10)$$

**Donde [12]:**

IG, Índice de grupo.

F, Proporción de finos (que pasan por el tamiz N°200).

LL, Límite líquido.

IP, Índice de plasticidad.

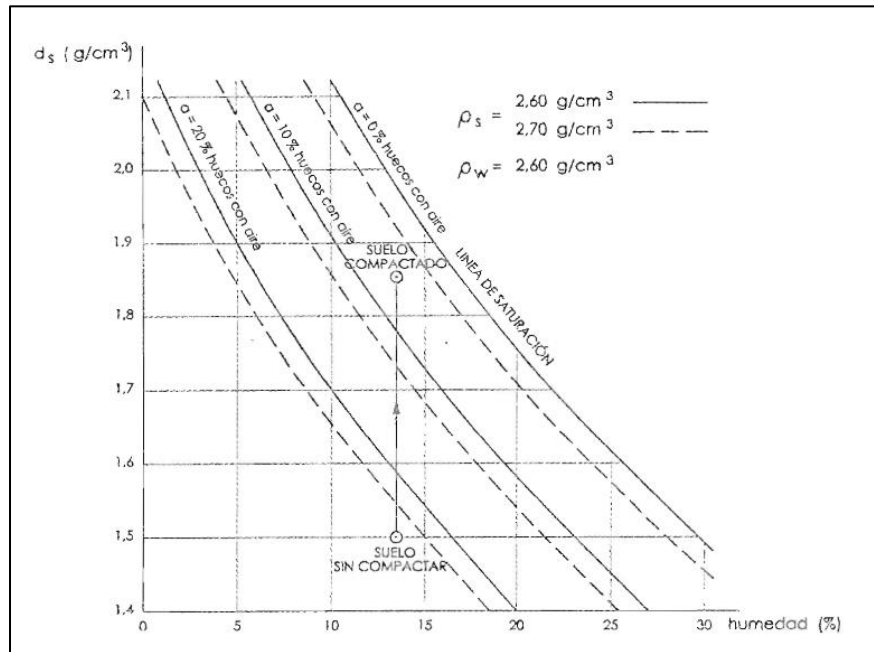
#### **1.1.3.4. Compactación**

Es una forma correcta y eficaz para estabilizar los suelos además de ser una forma económica ya que existen diversas formas de compactación, todo con el fin de cumplir con los requerimientos o solicitudes correctas de deformaciones permanentes admisibles, ya que estas deformaciones mencionadas pueden causar irregularidades en el lugar de implantación de la infraestructura, por lo que este es su principal objetivo para mantener la estabilidad deseada. Todo esto es posible gracias a la energía mecánica que es aplicada a cada unidad de volumen del material a compactar, con ayuda de equipos o máquinas pesadas que compactan a capas de un espesor uniforme [12]. Causando que la resistencia del suelo aumente y sus propiedades físicas cambien a favor de la estructura de implantación [16].

#### **Diagrama de densidad vs humedad**

El diagrama es utilizado para conocer sobre el estado de compactación del suelo, en donde cada eje se puede diferenciar dos propiedades que son; la humedad que va en el eje de las “x” y la densidad seca que se ubica en el de las “y”, dicha densidad seca se refiere a la densidad real del suelo. Mediante la compactación se puede evidenciar que su densidad irá variando ya que los vacíos entre las partículas de suelo empiezan a disminuir, provocando que cambien en dicha densidad. Esta variable no será tomada como una referencia absoluta ya que para distintos suelos el comportamiento será muy diferente durante su proceso de compactación, por lo cual es utilizado un término llamado grado de compactación [12].

**Figura 3:** Gráfica de densidad real vs humedad



Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II [12].

En cuanto al grado de compactación se obtiene de la relación entre la densidad seca del suelo en campo y la densidad máxima seca obtenida en laboratorio de la siguiente manera [16]:

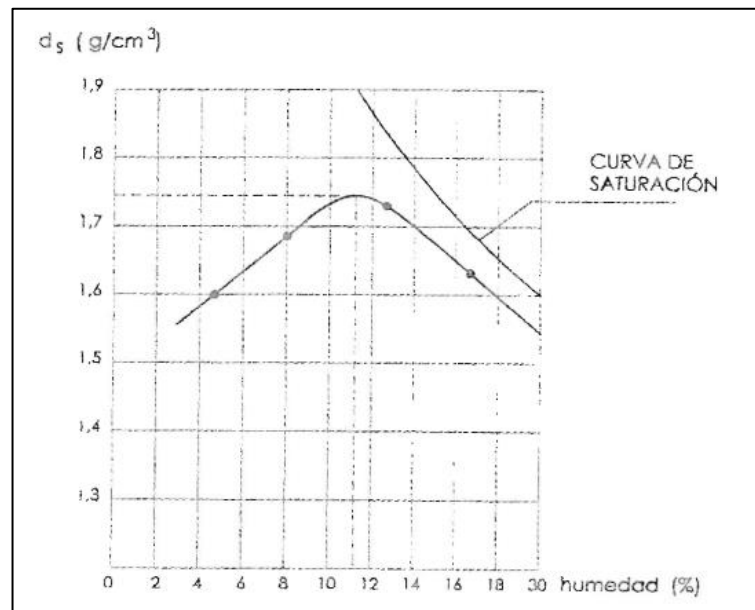
$$G_c \% = \frac{\text{Densidad Seca del Suelo en campo}}{\text{Densidad Máxima Seca en laboratorio}} * 100$$

### Humedad de Compactación

Al añadir diferentes cantidades de agua a una muestra y además se le someta a una compactación, siguiendo métodos normalizados se puede observar que la densidad seca que se obtiene esta correlacionada con la humedad de compactación. Esto ayuda a entender que para una cierta humedad óptima se alcanza en general para cada tipo de suelo y de compactación una densidad seca máxima [12].



**Figura 4:** Gráfica generalizada de humedad de compactación vs densidad seca.



Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II [12].

### Energía de Compactación o Energía Específica

Es aquella energía que el suelo recibe independientemente del proceso de compactación, es una de las características de mayor influencia durante el proceso de compactación, su medición se la puede obtener en laboratorio de forma sencilla como, por ejemplo, mediante la utilización del método de Ensayo Proctor; utilizando un pisón y utilizando la siguiente fórmula [17]:

$$E_e = \frac{N * n * W * h}{V}$$

Donde [17]:

$E_e$ , Energía de Compactación.

$N$ , Número de golpes por capa de suelo.

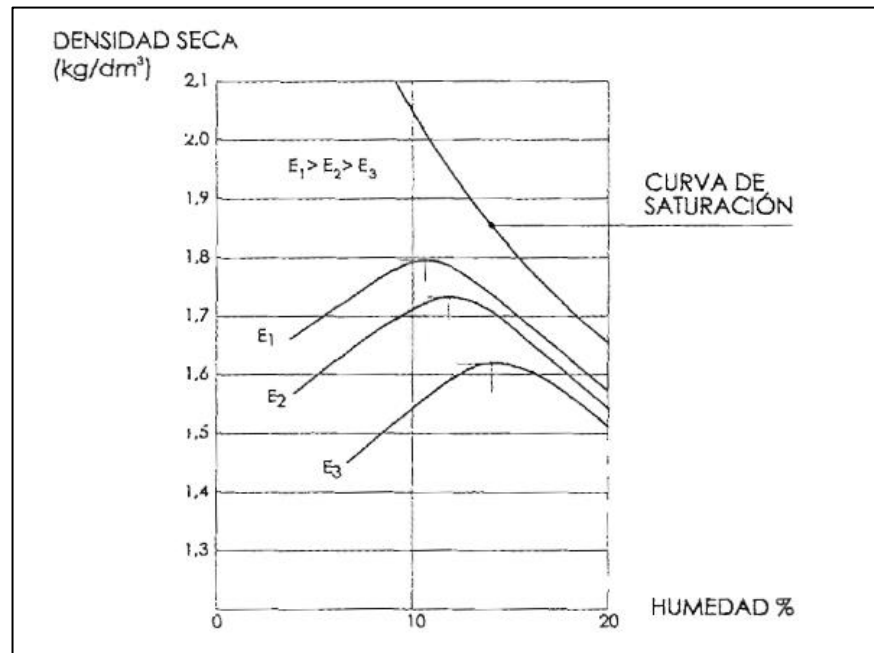
$n$ , Número de capas.

$W$ , Peso del pisón.

$h$ , Altura de caída del pisón.

$V$ , Volumen del molde.

**Figura 5:** Diagramas típicos de humedad vs densidad seca con diferentes energías de compactación.



Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II [12].

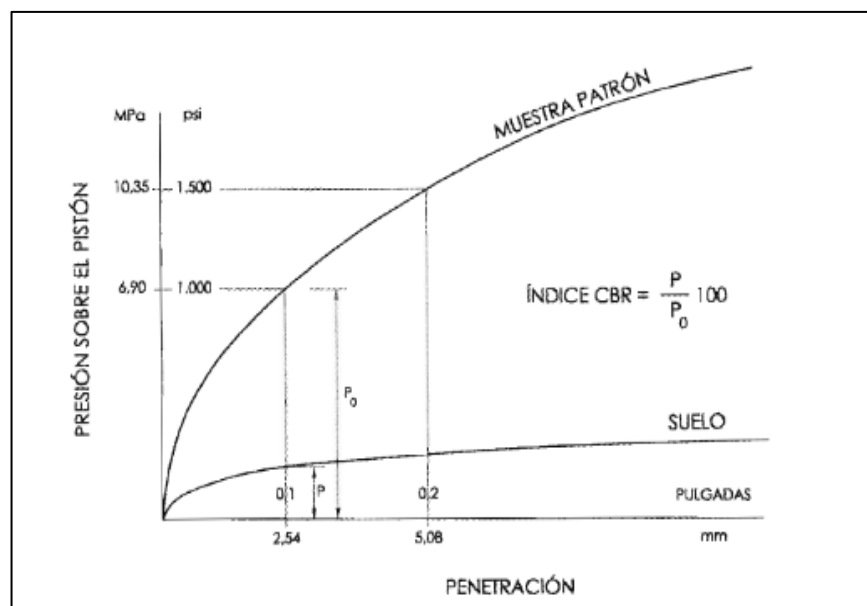
Las curvas típicas son obtenidas de un proceso de compactación normalizado, realizado para un mismo suelo, donde es evidente que la densidad aumenta en relación directa al aumento de energía de compactación en un rango de humedades aplicadas a este proceso [12].

### Ensayo CBR de laboratorio

El ensayo de CBR que en sus siglas se describe como “California Bearing Ratio”, fue usado durante la Segunda Guerra Mundial como un método de conocer la capacidad portante o soporte del suelo durante la construcción de la capa de rodadura sobre la estructura de soporte para la misma, dicho método fue dimensionado por Porter en el año de 1928, en el cual una porción cilíndrica del suelo es confinada y expuesta a la penetración de un vástago a velocidad constante. Antes de realizar dicha penetración se sumerge al suelo compactado en agua para que esto permita conocer el hinchamiento del suelo durante su proceso de saturación. Luego de obtener

los resultados de penetración, se hace una comparación con resultados de una grava hecha de forma normalizada para obtener un índice de CBR. El mencionado índice de CBR permite estimar de forma directa la capa de rodadura flexible en cuanto a su espesor debido a que se analiza la curva que se forma entre ordenada de la presión del pistón y la abscisa que contiene la penetración que es sometida por el pistón a las muestras de suelo evaluadas, las mismas que son compactadas a diferentes golpes que son 12, 30, 70; esto es debido a que es tomado como base de procedimiento un ensayo de Proctor modificado el cual se hace con la densidad seca mínima de los agregados. A partir de esto es posible obtener tres puntos los cuales se puede evaluar bajo la curva de muestra patrón como se muestra la figura 6, donde a mayor valor de índice de CBR es mayor su capacidad portante del suelo, por consecuencia se obtendrá un menor espesor de capa de rodadura [12].

**Figura 6:** Curva de determinación de índice CBR en laboratorio.

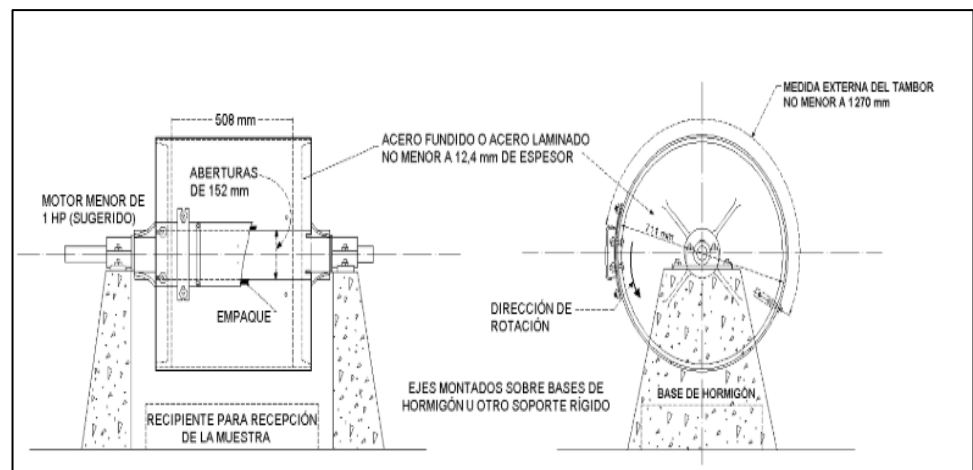


Fuente: Ingeniería de Carreteras Vol. II [12].

## Ensayo de abrasión o degradación del árido grueso

El ensayo permite determinar el desgaste que sufre una masa especificada de agregados pétreos debido a la acción de impacto y trituración que se da dentro una máquina giratoria conocida como “Máquina de los Ángeles”, en donde dicha maquina utiliza un número determinado de esferas de acero en las cuales dentro de un tambor giratorio hace el efecto de triturador por lo que se mide el desgaste que por dicho impacto se genera, dicha porción que se desprende por efecto de las esferas de acero son recolectadas en la bandeja de recolección para así determinar el porcentaje desgaste de dicho material. La máquina a utilizar se llama “Máquina de los Ángeles”, la misma que se compone por un cilindro hecho de acero, su interior debe ser completamente liso, sin ninguna presencia de imperfección ya que esto provocaría que el efecto de molienda no se produjera de forma correcta, partes del equipo se pueden observar en la figura 7 [18].

**Figura 7:** Máquina de los ángeles utilizada en el ensayo de abrasión



**Fuente:** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 860:2011 [18].

### 1.1.3.5. Estabilización de Suelos

Cambiar la calidad y propiedades del material de manera que cumpla con los requerimientos solicitados para la implantación de una obra civil da

alugar al concepto de estabilización de un material o suelo existente. Tomando en cuenta la viabilidad, costo y procedimiento se tomará la selección del tipo de estabilización, ya que existen diversas formas de estabilización de un suelo, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes que son el producto de mezclar un suelo con otro elemento estabilizante [19]:

- Mediante pilotes electro metálicos.
- A través de calcinación y calor.
- Uso de cemento, cal, asfalto, entre otros como agentes estabilizantes.

Elegir el correcto tipo de estabilización principalmente se considerará de forma principal el tipo de suelo a estabilizar, el costo y efectividad. En cuanto a las propiedades que se verán afectadas y serán tomadas en consideración son la estabilidad volumétrica, la resistencia, la permeabilidad, compresibilidad y durabilidad al hablar de un diseño vial.

### **Tipos de Estabilizaciones**

#### **Uso de Cal como estabilizante de suelos**

Este método consiste en la implantación o el uso de la cal, debido que al ser un material de fácil obtención y con un costo que se podría decir medio ya que su producción no implica un proceso costoso. Este elemento sirve como estabilizante de suelos ya que en el transcurso del tiempo ha demostrado un aumento de la capacidad de soporte al suelo que se esté estabilizando, además de mejorar sus características plásticas y por consecuencia mejorar su perceptibilidad al hinchamiento. La incorporación de cal ayuda notablemente al tratarse de sub bases que son tendidas en suelos arcillosos por lo que al mejorar su capacidad de soporte permite, en primer lugar una mejor trabajabilidad y permite que los espesores de las demás capas de la carpeta sean menores, así reduciendo su costo [19].

### **Uso de Cemento como estabilizante de suelos**

Este tipo de estabilización es realizada de hace década atrás por lo que es la más popular ya que inicia este proceso en el año 1917, al hacer la incorporación parcial es decir en proporciones de cemento tipo Portland. Se produce una reacción química en el instante que el cemento entra en contacto con el agua y las partículas del suelo provocando que se entrelacen fuertemente ya que se produce el conocido silicato de calcio y debido a que las partículas del suelo tienen carga negativa permiten dicho entrelazamiento perfecto. Luego de esto se lleva a un proceso de compactación donde se producen los silicatos y aluminatos debido a la reacción del calcio con la alúmina y la sílice, generando una resistencia que va en aumento con el transcurso del tiempo. Esto genera un notable mejoramiento de la capacidad de resistencia del suelo y a la vez ayudando a obtener un menor espesor de las demás capas de la estructura. El único inconveniente que presenta este tipo de estabilización es encontrar el porcentaje de cemento adecuado para su uso, debido a que este material estabilizante implica un poco más de costo cuando se trata de trabajo en obra. Esto dependerá principalmente del tipo de suelo que se vaya a estabilizar ya que de eso dependerá mucho la cantidad de cemento [19]. Se necesita realizar este proceso en laboratorio para someterlos a un análisis de resistencia, al realizar probetas con material humedecido, compactado y luego secado, profesionales de Inglaterra fueron los pioneros de este ensayo para la estabilización de suelo-cemento, donde sometieron a un ensayo de resistencia a la compresión y obtuvieron  $17.5 \text{ kg/cm}^2$  en probetas ensayadas a los 7 días y curadas a una temperatura de  $15^\circ\text{C}$  [20].

### **Uso de Asfalto como estabilizante de suelos**

En esta estabilización intervienen ya sea las emulsiones asfálticas, asfaltos líquidos o inclusive el alquitrán, estos actúan como un ligante mejorador de la capa o suelo a estabilizar en el caso de suelos que no son considerados

plásticos, en cuanto a los suelos que si poseen plasticidad este tipo de estabilizante actúa como un sellador de vacíos, lo cual lo convierte impermeable al suelo. Las propiedades que notoriamente se pueden ver cambios es en cuanto a su densidad máxima, ya que al aumentar el porcentaje de asfalto esta densidad disminuye, además de disminuir la capacidad de absorber agua, lo cual es un notorio mejoramiento en las características mecánicas del suelo [19].

### **Uso de Ácido Fosfórico como estabilizante de suelos**

Es uno de los métodos químicos mas efectivos debido a que ha sido demostrado que funciona o actúa de forma similar al cemento o a la cal, por lo que su característica cementante es rápida y permite obtener densidad mayores a las del suelo natural, la única deficiencia es el costo de éste material para el procedimiento [19].

### **Uso de Cloruro de Sodio como estabilizante de suelos**

Es un procedimiento en el cual se usa la sal como único agente estabilizador, por lo que no es necesario el uso de agua en este caso este agente produciría que se lave por completo el material con sal, por lo que no es un estabilizante perfecto, pero sin embargo puede desplazar químicamente los minerales arcillosos del suelo. Es un método que no proporciona cambios muy notorios al del suelo natural, como por ejemplo en los límites de Atterberg o en la resistencia a la compresión no confinada[19].

### **Uso de Soda Cáustica como estabilizante de suelos**

El uso de hidróxido de calcio fue probado por primera vez en la India, lo que produjo una estabilización de adecuada principalmente para suelos lateríticos, sin embargo el uso de este material conllevaba un alto costo,

además de otras desventajas como la carbonatación inmediata al contacto del oxígeno [19].

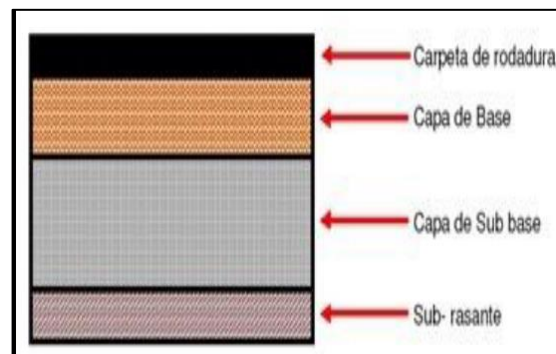
### 1.1.3.6. Pavimento

Es una estructura Ingenieril hecha por diferentes capas granulares, compactadas que son colocadas sobre un terreno para la circulación de diferentes usuarios por lo que debe poseer características que cumplan normas de confortabilidad y seguridad [21]. Dentro de estas características para su diseño se pueden mencionar de forma general el tráfico y carga; por donde van a circular los vehículos, el medio ambiente; elementos de la naturaleza que se deben prever como las precipitación, es decir estados del clima donde será implantado el proyecto vial, materiales; en base al lugar de implantación considerar que tipos de materiales son los adecuados y vayan a la par con el costo-beneficio y criterios de falla; posibles fisuras que se puedan producir y corregir a tiempo. Esta estructura se puede clasificar en tres tipos los cuales son: flexibles, rígidos, compuestos, semirrígidos [22].

#### Estructura del Pavimento Flexible

Los componentes de esta estructura son carpeta o capa asfáltica, losa, base, sub-base y subrasante.

**Figura 8:** Estructura del pavimento flexible



**Fuente:** CARTILLA-GUÍA ILUSTRATIVA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA BAJOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO [21].



### **Carpeta de rodadura o Capa Asfáltica**

Es aquella capa cuya función es permitir de forma segura y confortable el paso de los distintos usuarios de la vía por lo que debe cumplir estándares en cuanto a sus componentes como lo son de mezclas asfálticas y materiales pétreos que conforman dicha capa, ya que esto también permite el efecto de resistencia al medio ambiente y a las cargas de los vehículos [23].

### **Base de Agregados**

Una capa constituida por agregados los cuales pueden contener material triturado en su totalidad o parcialmente, además de que pueden ser cribados, constituidos también con material fino que se obtiene de la trituración o con material fino seleccionado. Ubicada debajo de la capa de rodadura, su principal función es transmitir los esfuerzos producidos por la carga vehicular hacia la capa de sub-base y subrasante, por lo que los agregados deberán ser resistentes y friccional. Los materiales deben cumplir con especificaciones en obra como: límite líquido de la parte que pasa el tamiz N°40 deberá ser menor de 25 y el índice de plasticidad debe ser menor de 6, en cuanto al desgaste por abrasión en la máquina de los ángeles debe ser menor al 40% y el valor de CBR deberá ser igual o mayor al 80% [24].

Se clasifican en función de su granulometría en cuatro tipos de bases las cuales son:

**C** Este tipo de base es obtenida a partir del 100% de su trituración de la grava o roca con equipos que permitan obtener la graduación para dicha clase, la misma puede ser tipo A o B [24].

**Tabla 4:** Granulometría para la base de agregados clase 1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	Tipo A	Tipo B
2" (50.8 mm.)	100	--
1 1/2" (38.1 mm.)	70-100	100
1" (25.4 mm.)	55-85	70-100
3/4" (19.0 mm.)	50-80	60-90
3/8" (9.5 mm.)	35-60	45-75
N°4 (4.76 mm.)	25-50	30-60
N°10 (2.00 mm.)	20-40	20-50
N°40 (0.425 mm.)	10-25	10-25
N°200 (0.075 mm.)	2-12	2-12

Fuente: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES [25].

**Base de agregados clase 2:** Están constituidas con gravas o rocas trituradas en al menos el 50% del material grueso, todo este material hecho preferentemente en planta se obtendrá el material ya graduado y según el caso para obtener la graduación deseada se puede realizar una trituración adicional [25].

**Tabla 5:** Granulometría para la base de agregados clase 2.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1" (25.4 mm.)	100
3/4" (19.0 mm.)	70-100
3/8" (9.5 mm.)	50-80
N°4 (4.76 mm.)	35-65
N°10 (2.00 mm.)	25-50
N°40 (0.425 mm.)	15-30
N°200 (0.075 mm.)	3-15

Fuente: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES [25].

**Base de agregados clase 3:** Están constituidas por gravas o rocas trituradas en la menos el 25% del material grueso [25].

**Tabla 6:** Granulometría para la base de agregados clase 3

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>
3/4" (19.0 mm.)	100
N°4 (4.76 mm.)	45-80
N°10 (2.00 mm.)	30-60
N°40 (0.425 mm.)	20-35
N°200 (0.075 mm.)	3-15

Fuente: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES

[25].

**Base de agregados clase 4:** Están compuestos por material obtenido de trituración o cribado, no debe contener material vegetal, además de tener granulometría uniforme, es decir una graduación correcta de grueso a fino. En caso necesario para obtener una graduación correcta se puede hacer la adición de material triturado en el mismo porcentaje para una base clase 3 [25].

**Tabla 7:** Granulometría para la base de agregados clase 4

<b>TAMIZ</b>	<b>Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada</b>
2" (50.8 mm.)	100
1" (25.4 mm.)	60-90
N°4 (4.76 mm.)	20-50
N°200 (0.075 mm.)	0-15

Fuente: ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES

[25].

### **Sub-base granular**

Esta capa de agregados permite que el agua que se filtre desde la superficie o también que la misma ascienda debido a la capilaridad, en cuanto a costos, su producción es más económica en comparación de la capa base granular [23].

### **Subrasante**

Es aquella capa de la estructura de pavimento que soporta a la misma, la cual está constituida por el terreno natural en donde será implantada la vía, pero en otros casos de ser necesario se realizan procesos de mejoramiento de sus características para que esta capa cumpla con su función correctamente [23].

### 1.1.3.7. Cerámico Sanitario

El cerámico sanitario está constituido principalmente por arcillas que son tratadas químicamente y adicionadas con otros materiales que son inorgánicos, lo que además de ser moldeadas en calor cambian sus propiedades mecánicas. Los cerámicos sanitarios son principalmente duros y poseen bajas densidades. En su materia prima de producción de estos cerámicos es la barbotina que con mezclas con arcillas permiten la producción de losa sanitaria [5].

### 1.1.3.8. Propiedades Químicas del Cerámico Sanitario

Estudios químicos realizados por el laboratorio Químico de la Universidad Central del Ecuador a los cerámicos que produce la Industria de Cerámicos Sanitarios Franz Viegner [5], muestra su composición química al obtener el polvo después de su trituración la cual es:

**Figura 9: Composición química del polvo cerámico**

Composición	Unidades	Resultados
Aluminio	mg/kg	596.2
Calcio	mg/kg	798.3
Hierro Total	mg/kg	637.04
Magnesio	mg/kg	91.6
Silicio	%p/p	22

**Fuente:** USO DE RESIDUOS CERÁMICOS COMO SUSTITUTO DEL CEMENTO PARA LA FAVBRICACIÓN DE MORTEROS [5].

#### **1.1.4. Hipótesis**

1.1.4.1. Mediante la adición y reemplazo parcial del cemento con polvo cerámico en la estabilización convencional con cemento de bases de agregados clase 3 y 4, se mantienen o mejoran las propiedades mecánicas de dichas bases como la resistencia.

1.1.4.2. En la utilización del polvo de cerámico como reemplazo parcial del cemento para la estabilización de bases de agregados clase 3 y 4, el diseño de la estructura de pavimento permitirá obtener una reducción de los espesores de las demás capas como: base, subbase y carpeta asfáltica en comparación con la base de agregados clase 3 y 4 sin estabilizar.

1.1.4.3. Mediante la reducción de espesores de las capas de la estructura de pavimento permitirá un ahorro económico.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Obtener base de agregados clase 3 y 4 estabilizadas, mediante la incorporación de polvo de cerámica de forma parcial, para el cambio de sus propiedades físico-mecánicas como reemplazo del cemento.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Obtener muestras representativas de suelos de bases de agregados clase 3 y 4 de la Mina Molina en la Provincia de Cotopaxi- Cantón Latacunga Parroquia Mulalo.
- Determinar las propiedades físicas-mecánicas como: granulometría, límite líquido, límite plástico, densidad óptima, humedad óptima abrasión, Relación de Soporte California CBR, resistencia a los sulfatos y resistencia a la compresión simple de las muestras de bases de agregados clase 3 y 4, con y sin adición de polvo de cerámica en los porcentajes: 5%, 9%, 13%.
- Realizar un análisis gráfico y numérico de los resultados obtenidos de las propiedades evaluadas para la determinación del porcentaje óptimo de polvo de cerámica en la estabilización de suelos de bases de agregados clase 3 y 4.
- Diseñar la estructura de pavimento flexible con suelos de bases de agregados clase 3 y 4, estabilizadas y sin estabilizar.

## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales y Equipos

**Tabla 8: Ensayos, normas, equipos y materiales utilizados.**

ENSAYO	NORMA	EQUIPO	MATERIALES
Análisis de granulometría de áridos	AASHTO T88 ASTM D-422 INEN-696	-Juego de tamices -Recipientes metálicos -Balanza electrónica -Brocha -Fuente cuadrada -Bandejas plásticas -Mandil -Mascarilla -Guantes de seguridad	-Muestra de base de agregados clase 3.  -Muestra de base de agregados clase 4.

Límite Líquido	AASHTO-T89 ASTM-D-4318 INEN-691	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Copa casa grande</li> <li>-Ranurador</li> <li>-Mortero</li> <li>-Recipiente de Porcelana</li> <li>-Franela</li> <li>-Mandil</li> <li>-Espátula</li> <li>-Mascarilla</li> <li>-Recipiente metálico</li> <li>-Balanza electrónica</li> <li>-Horno</li> <li>-Tamizadora eléctrica</li> <li>-Tamiz #4</li> <li>-Tamiz#10</li> <li>-Tamiza #40</li> <li>-Tamiz #100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muestra lavada de la base de agregados clase 3 y clase 4 que pasa el tamiz #40 (150gr).</li> <li>-Agua</li> <li>-Polvo de cerámico que pasa el tamiz #100.</li> </ul>
Límite Plástico	AASHTO-T90 INEN-692 ASTM-D-4318	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Recipiente de porcelana</li> <li>-Horno</li> <li>-Espátula</li> <li>-Balanza Electrónica</li> <li>-Mortero</li> <li>-Tamiz #4</li> <li>-Tamiz#10</li> <li>-Tamiz #40</li> <li>-Tamiz #100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muestra lavada de la base de agregados clase 3 y clase 4 que pasa el tamiz #40 (150gr).</li> <li>-Agua</li> <li>-Polvo de cerámico que pasa el tamiz #100.</li> </ul>



		-Tamizadora Eléctrica	
Proctor Modificado	AASHTO-T-180 ASTM D-1557	-Molde D=6", base y collarín -Tamiz ¾" -Tamiz 3/8" -Tamiz #4 -Martillo 10lb -Probeta -Bandejas de plástico -Recipientes metálicos -Enrasador -Calibrador pie de rey -Espátula -Mandil -Mascarilla -Guantes de protección -Horno -Palustre -Balanza electrónica	-Muestra de base de agregados clase 3 (6000gr).  -Muestra de base de agregados clase 4 (5000gr).  -Agua  -Polvo de cerámico que pasa el tamiz #100.  -Cemento portland Tipo I.  -Hojas de papel filtro.
Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio)	AASHTO-T-193 ASTM D-1883-07	-Máquina de carga -Diál mecánico indicador - Molde D=6", base y collarín.	-Muestra de base de agregados clase 3 (6000gr), preparada mediante procedimientos de

		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disco espaciador circular de metal D=150.8mm.</li> <li>-Pesas anulares metálicas D=149.23mm y D=150.81mm.</li> <li>- Martillo 10lb</li> <li>-Probeta</li> <li>-Bandejas de plástico</li> <li>-Recipientes metálicos</li> <li>-Enrasador</li> <li>-Calibrador pie de rey</li> <li>-Espátula</li> <li>-Mandil</li> <li>-Mascarilla</li> <li>-Guantes de protección</li> <li>-Horno</li> <li>-Palustre</li> <li>-Balanza electrónica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>compactación de Proctor Modificado tipo D.</li> <li>-Muestra de base de agregados clase 4 (5000gr), preparada mediante procedimientos de compactación de Proctor Modificado tipo D.</li> <li>-Agua</li> <li>-Polvo de cerámico que pasa el tamiz #100.</li> <li>-Cemento portland Tipo I.</li> <li>-Hojas de papel filtro.</li> </ul>
Ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelos moldeados	ASTM-D1633	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Máquina de carga</li> <li>-Diál mecánico indicador</li> <li>- Molde D=4", base y collarín.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Muestra de base de agregados clase 3 (3000gr).</li> </ul>

		<p>Recipientes metálicos</p> <p>-Espátula</p> <p>-Mandil</p> <p>-Mascarilla</p> <p>-Guantes de protección</p> <p>-Palustre</p> <p>-Tamiz ¾”</p> <p>-Tamiz 3/8”</p> <p>-Tamiz #4</p>	<p>-Muestra de base de agregados clase 4 (3000gr).</p> <p>-Agua</p> <p>-Polvo de cerámico que pasa el tamiz #100.</p> <p>-Cemento portland Tipo I.</p>
<p>Solides de los áridos mediante el sulfato de sodio o sulfato de magnesio.</p>	<p>NTE INEN 863</p> <p>AASHTO T-104</p> <p><b>PÉRDIDA DE PESO NO MAYOR A 18%</b></p>	<p>-Juego de tamices</p> <p>-Recipientes perforados</p> <p>-Balanza electrónica</p> <p>-Horno</p> <p>-Hidrómetro</p> <p>-Recipientes metálicos</p> <p>-Espátula</p> <p>-Mandil</p> <p>-Mascarilla</p> <p>-Guantes de protección</p> <p>-Palustre</p>	<p>-Solución de sulfato de magnesio.</p> <p>-Muestra de base de agregados clase 3.</p> <p>-Muestra de base de agregados clase 4.</p>

Determinación de la degradación de áridos gruesos.	AASHTO T-96 NTE INEN 860 NTE INEN 861 <b>DESGASTE NO MAYOR 40%</b>	-Máquina de los Ángeles -Juego de tamices -Balanza electrónica -Recipientes metálicos -Espátula -Mandil -Mascarilla -Guantes de protección	-Agregado grueso para bases clase 3 y 4
--	---	---	---

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

#### Equipos Adicionales:

- Laptop
- Celular (cámara fotográfica y cronómetro)
- Tamizadora eléctrica

**Figura 10:**Recolección de muestras en mina "Molina".



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 11:** Análisis granulométricos de bases.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 12:** Ensayo de Proctor Modificado.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 13:** Ensayo de Soporte California (CBR) de bases estabilizadas.



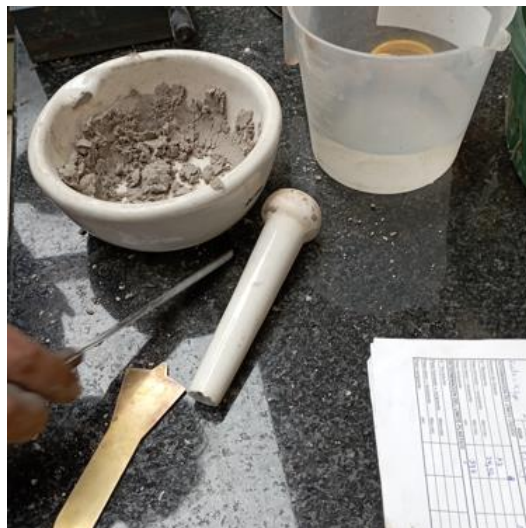
**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 14:** Ensayo Límite líquido del Polvo de Cerámica.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 15:** Ensayo de Límite Plástico del polvo de cerámica.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1. Tipos de Investigación**

En la primera etapa esta la investigación concierne a la parte documental y bibliográfica; donde se recopila información acerca de la cantidad de desecho que produce la fábrica Franz Viegner, además de la composición química de estudios previos realizados del polvo cerámico proveniente de losa sanitaria para el conocimiento de porcentajes aplicados anteriormente con dicho material.

En la etapa siguiente se efectúa la Investigación de Campo donde en la Mina “Molina” ubicada en Mulalo Provincia de Cotopaxi, se obtiene el material para las bases de agregados clase 3 y 4 que será utilizado en este trabajo de investigación. Además, dentro de la Investigación de Campo, se procede a la obtención del material cerámico de desecho obtenido de la fábrica Franz Viegner.

En la última etapa se procede con la Investigación Experimental donde se procede con ensayos normados y su correspondiente análisis de resultados obtenidos a partir de la utilización del polvo cerámico como reemplazo parcial del cemento en la estabilización de las bases de agregados clase 3 y 4. La obtención del polvo cerámico se realizó a partir de la trituración de dicho material con un compactador de suelos (rodillo vibratorio) con un peso de 10555kg. Para luego realizar el tamizado del material y obtener el material que pase y retenga el Tamiz #100 (150 $\mu$ m)

La investigación exploratoria es parte de esta investigación, debido a que se realizan reemplazos parciales del polvo cerámico para la estabilización con cemento por lo que en el área vial es nuevo, debido a esto es importante conocer el comportamiento físico con la adición al cemento.



### 2.2.2. Población y Muestra

Debido a que es un trabajo experimental se obtendrán varias muestras de bases de agregados clase 3 y 4 a las cuales se estabilizarán con porcentajes de cemento y polvo cerámico, las cuales serán evaluadas principalmente el ensayo de compactación con la norma AASHTO-T-180 ( Proctor modificado tipo D), el ensayo de Relación de Soporte CBR (AASHTO-T-193) y el ensayo de compresión simple (ASTM-D1632), ya que al ser un componente nuevo en la estabilización de agregados se obtendrán resultados más fiables al utilizar dichas normas antes mencionadas.

**Tabla 9:** Cantidad de muestras y ensayos de las bases de agregados clase 3 y 4 estabilizadas.

<b>Estabilización</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Base de Agregados clase 3 Muestra/ Especímenes</b>	<b>Base de Agregados clase 3 Muestra/ Especímenes</b>
5% Cemento-0% Polvo Cerámico	Proctor Modificado	1	1
	Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio)	3	3
	Resistencia a la compresión de suelos moldeados	3	3
4% Cemento-5% Polvo Cerámico	Proctor Modificado	1	1
	Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio)	3	3

	Resistencia a la compresión de suelos moldeados	3	3
3% Cemento- 9% Polvo Cerámico	Proctor Modificado	1	1
	Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio)	3	3
	Resistencia a la compresión de suelos moldeados	3	3
2% Cemento- 13% Polvo Cerámico	Proctor Modificado	1	1
	Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio)	3	3
	Resistencia a la compresión de suelos moldeados	3	3

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

### 2.3. Plan de Recolección de Datos

En el inicio de esta investigación como plan de recolección de datos es la obtención del material de base de agregados clase 3 y 4 de la mina “Molina” ubicada la Parroquia Rural de Mulalo, Cantón Latacunga en la Provincia de Cotopaxi, donde se toma las muestras de los áridos gruesos y finos que forman las bases de agregados. En cuanto a la obtención del desecho cerámico la fábrica Fv (Franz Viegner), ubicada en Sangolquí perteneciente al cantón Rumiñahui en la Provincia de Pichincha, donde se recolectó los desechos de cerámico sanitario. Además de la obtención de un cemento indiferente de su

marca, pero cumpla los requerimientos de cemento portland Tipo1 según Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes [26].

Luego de la obtención del material se realiza los ensayos de laboratorio correspondientes al trabajo de investigación con y sin la adición porcentual del cemento y polvo cerámico. El primer ensayo a efectuarse es el ensayo de granulometría AASHTO-T88, en el cual se evalúa los porcentajes adecuados correspondientes a las bases de agregados clase 3 y 4, dentro de este ensayo se utilizó los tamices : 1", ¾", 3/8", #4, #10, #40, #100, #200; donde se realizó el análisis de material grueso y fino, basado en las Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes-sección 404 -Base[26]. Luego de obtener la granulometría correspondiente a las bases de agregados se procedió con el ensayo de límite líquido AASHTO-T89 y límite plástico AASHTO-T90 utilizando el material que pase el tamiza #40 y el polvo cerámico obtenido de trituración según las normas antes mencionadas.

En el siguiente ensayo se realiza la degradación de los áridos gruesos en la máquina de los ángeles según la norma AASHTO T-96, posterior a esto el ensayo de solides de los áridos mediante el sulfato de sodio o sulfato de magnesio según la norma AASHTO T-104.

En la parte final de los ensayos de laboratorio para este trabajo de investigación se efectuó la modificación de la estabilización de bases con cemento al agregar porcentaje parcial de polvo cerámico y disminuir el porcentaje de cemento de la siguiente manera: 0% Cemento-0%Polvo cerámico,5% Cemento-0% Polvo Cerámico, 4% Cemnto-5% Polvo cerámico, 3% Cemnto-9% Polvo cerámico y 2% Cemento-13%Polvo Cerámico. Dichos porcentajes serán adicionados en la estabilización para la base de agregados clase 3, como en la base de agregados clase 4.

Los ensayos correspondientes a la parte final fueron: el ensayo de Proctor Modificado AASHTO-T180, en el cual se realiza la compactación con y sin la adición de cemento y polvo cerámico en los porcentajes antes mencionados. Luego se efectuó el ensayo de Relación de soporte (CBR) según la norma AASHTO T-193 efectuando la adición de los porcentajes antes mencionados

en el ensayo de compactación, donde se realiza 10 ensayos de compactación (Proctor Modificado) y consecuentemente 10 ensayos de Relación de Soporte (CBR).

El final de los ensayos en el trabajo experimental son los ensayos de resistencia a la compresión simple según la norma ASTM D1632 utilizando el material fino y la adición de los porcentajes de cemento y polvo cerámico correspondientes al estudio.

La comparación esencial de entre los ensayos antes mencionado se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 10:** Comparación de las bases de agregados entre ensayos y porcentajes de adición cemento-polvo cerámico.

<b>Tipo de muestra</b>	<b>%Cemento-%Polvo Cerámico</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Especificaciones Mínimas</b>
Base de Agregados Clase 3 y Clase 4	-Natural -5%Cemento-0%Polvo Cerámico. -4%Cemento-5%Polvo Cerámico. -3%Cemento-9%Polvo Cerámico. -2%Cemento-13%Polvo Cerámico.	-Relación de soporte CBR (California Bearing Ratio). -Resistencia a la compresión de suelos moldeados	-CBR $\geq$ 80% -Resistencia a la compresión simple mínimo 25kg/cm <sup>2</sup> .

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

### **2.3.1. Plan de obtención del polvo cerámico del material de desecho sanitario.**

El material polvo de cerámico se obtiene a partir de los desechos de loza sanitaria obtenidos de forma gratuita por parte la Empresa Franz Viegner, cuya empresa en pro de la investigación permitió la apertura de recolección de los desechos sanitarios que son fragmentados en pedazos mayores a 2". Por lo que para la obtención de dicho polvo se procedió a la trituración mediante un rodillo liso de 10555kg de peso sobre una superficie dura, donde se trituro alrededor de 30kg de loza sanitaria, para luego su tamizado utilizando los tamices: #4, #10,#60, #100, #200.

**Figura 16:** Trituración de la loza sanitaria.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 17:** Tamizado del material triturado de loza sanitaria.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 18:** Polvo cerámico obtenido del tamizado del tamiz #100 que retiene y pasa.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

#### **2.4. Plan de procesamiento de datos**

- Organización de resultados obtenidos mediante ensayos de laboratorio en las muestras de bases de agregados clase 3 y 4 obtenidas de la mina “Molina” estabilizadas con cemento y polvo cerámico.
- Almacenamiento de información y procesamiento de datos obtenidos mediante programas computacionales como: Excel, Word, Google Maps y AutoCad.
- Elaboración de gráficos representativos de cada ensayo, que permitan la correcta interpretación de resultados.

#### **2.5. Plan de análisis de información**

- Análisis de granulometría obtenida de la base de agregados clase 3 y 4 que se encuentren en los rangos correspondientes a las Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes [26].
- Evaluación de la densidad seca máxima y humedad óptima de las muestras de bases de agregados con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

- Organización y análisis de valores de CBR de muestras de bases estabilizadas y no estabilizadas con cemento-polvo cerámico, de los cuales se elegirá el porcentaje más favorable para el diseño de la estructura de un pavimento flexible.
- Diseño de la estructura de pavimento flexible considerando como primer diseño una vía ya realizada estudios correspondientes para la elaboración de su estructura de pavimento y como segundo diseño la estructura de pavimento flexible considerando el porcentaje más favorable de CBR obtenido con la estabilización de cemento-polvo cerámico.
- Comparación de las estructuras de pavimento diseñadas en cuanto a sus espesores de las capas que conforman dicha estructura y el costo que representa ya sea su reducción o aumento en la ejecución de una obra vial.
- Presentación de conclusiones respecto al cambio de propiedades mecánicas más favorables en la investigación realizada en función de los porcentajes de cemento-polvo cerámico adicionados, demostrando que la hipótesis se cumplió o falló.

## **CAPITULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente capítulo se muestran resultados que fueron obtenidos durante los distintos ensayos de laboratorio realizados durante el desarrollo del presente trabajo de investigación para llegar a cumplir los objetivos planteados dentro del mismo. Entre los cuales son el análisis granulométrico de las bases de agregados clase 3 y 4, sus propiedades mecánicas, que corresponden a valores obtenidos a través del Proctor Modificado y CBR con los distintos porcentajes de reemplazo parcial del cemento con el polvo de cerámico.

En cuanto a los informes de cada ensayo se encuentran en la sección de Anexos dentro de este trabajo para un mejor entendimiento del resultado de los mismos y datos de la obtención del material de agregados gruesos y finos correspondientes a la Mina perteneciente a la Parroquia de Mulalo en el Cantón Latacunga, de la Provincia de Cotopaxi.

Como parte de la investigación se muestran tres diseños de estructuras de pavimento, en los cuales el primero se lo realiza con datos de CBR sin la adición de los porcentajes de polvo cerámico y cemento (base de agregados natural), dichos datos corresponden al estudio del “Proyecto San Rafael-San Juan Chan y la Vía troncal Panamericana E35” en el Cantón Latacunga de la Provincia de Cotopaxi, el segundo y tercer diseño corresponden con los valores de CBR obtenidos con la adición y reemplazo parcial del cemento con el polvo cerámico en la estabilización de bases de agregados clase 3 y 4.


#### **3.1. Análisis Granulométricos de las Bases de Agregados Clase 3 y 4**

Siguiendo los métodos de ensayos ecuatorianos de granulometría “Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso” (NTE INEN 696). Se realizó los



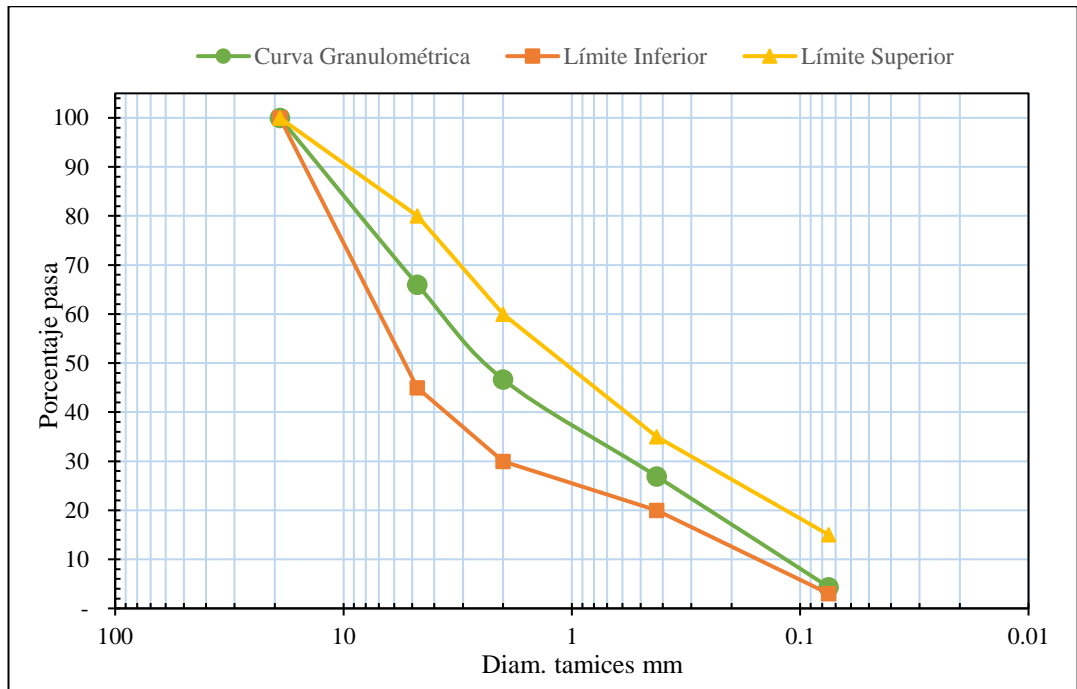
ensayos granulométricos de las bases de agregados clase 3 y 4 obtenidos de la Mina “Molina” ubicada en la provincia de Cotopaxi, por lo cual se realizó tablas y gráficas correspondientes a la granulometría de cada una de las bases estudiadas, además de sus coeficientes de uniformidad y de curvatura, que permiten diferenciar si son bien o mal graduadas.

**Tabla 11:** Granulometría de base de agregados clase 3.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>					
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	<b>1 Representativa</b>		
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42		
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados clase 3		
<b>Fecha:</b>	13/4/2022				
<b>Norma:</b>	INEN 872, INEN 696				
<b>GRANULOMETRÍA DE BASE DE AGREGADOS CLASE 3</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>RET</b>	<b>PESO RET</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>	<b>% ESPECIF.</b>
3/4" (19 mm)	0.00	0.00	-	100.00	100
# 4 (4.75 mm)	7422.30	7422.30	33.99	66.01	45-80
# 10 (2 mm)	140.40	140.40	53.30	46.70	30-60
# 40 (0.425 mm)	143.80	284.20	73.08	26.92	20-35
# 200 (0.0075 mm)	164.20	448.40	95.66	4.34	3-15
<b>TOTAL LAVADO FINOS</b>		479.97		<b>Humedad % =</b>	<b>8.34</b>
<b>TOTAL FINO PASA #4</b>		14416.80			
<b>TOTAL MUESTRA</b>		21839.10			
<b>D10</b>		0.24		<b>Cu</b>	6.27
<b>D30</b>		0.73		<b>Cc</b>	1.14
<b>D60</b>		1.47			

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 19:** Curva Granulométrica de Base de Agregados Clase 3.



Fuente: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

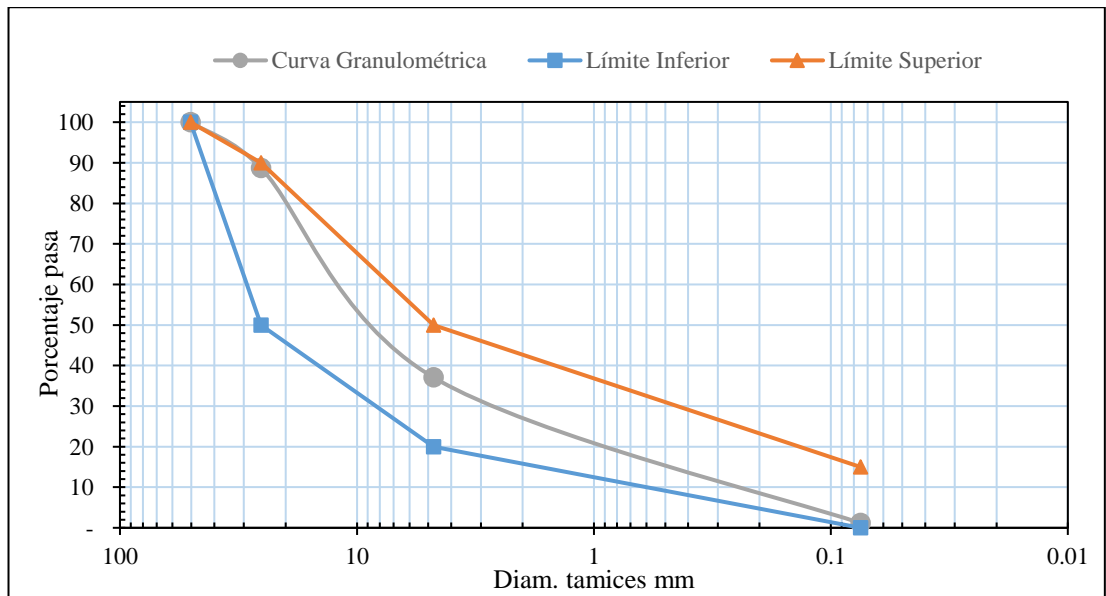
La granulometría de la Base de Agregados Clase 3 muestra según su curva granulométrica que se encuentra dentro de los límites permitidos de graduación, tanto para el agregado grueso y fino, según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y puentes-Sección 404. Bases, pag. 50, Tabla 404-1.3 [26]. Muestra que el material seleccionado es aceptable como una Base de Agregados Clase 3, además de mostrar un material acorde para la estabilización con cemento y polvo cerámico.

**Tabla 12:** Granulometría de base de agregados clase 4.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>					
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa		
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42		
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados clase 4		
<b>Fecha:</b>	13/4/2022				
<b>Norma:</b>	INEN 872, INEN 696				
<b>GRANULOMETRÍA DE BASE DE AGREGADOS CLASE 4</b>					
TAMIZ	RET	PESO RET	% RETENIDO	% PASA	% ESPECIF.
2" (50.4 mm)	0.00	0.00	-	100.00	100
1" (25.4 mm)	6227.00	6227.00	11.29	88.71	50-90
#4 (4.75 mm)	28492.00	34719.00	62.93	37.07	20-50
#200 (0.0075 mm)	462.40	462.40	98.84	1.16	0-15
TOTAL LAVADO FINOS		477.37			
TOTAL FINO PASA #4		20449.20			
TOTAL MUESTRA		55168.20			
<b>D10</b>		2.98			
<b>D30</b>		4.46			
<b>D60</b>		16.15			
			<b>Humedad % =</b>		<b>6.96</b>
			<b>Cu</b>		5.41
			<b>Cc</b>		1.85

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 20:** Curva Granulométrica de Base de Agregados Clase 4.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En cuanto a la granulometría de la Base de Agregados Clase 4 se puede observar mediante la Figura 20, pasa ligeramente por encima del límite superior que las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes -Sección 4 Bases, pág. 50, Tabla 404-1.4 [26], no obstante se muestra en todos los porcentajes dentro del rango permitidos para ser utilizado como una base de agregados clase 4, muestra además que este material seleccionado se lo puede utilizar en la estabilización con cemento y polvo cerámico dentro de este estudio.

**Tabla 13:** Coeficientes de Bases de Agregados Clase 3 y 4

<b>Base de Agregados</b>	<b>(Coeficiente de Uniformidad) Cu</b>	<b>(Coeficiente de Curvatura) Cc</b>	<b>Determinación del tipo de material</b>
Clase 3	6.27	1.14	GW
Clase 4	5.41	1.85	GW



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Como parte de este análisis se obtuvo además los coeficientes de curvatura y uniformidad, en donde se puede apreciar en la **Tabla 13**, que para la muestra seleccionada de Base de Agregados Clase 3 y 4 cumplen la graduación correcta según la Clasificación de Suelos, grava bien graduada (GW) (SUCS) [14]. Ya que como se pudo evidenciar en las granulometrías de las bases de agregados existe una mayor cantidad de porcentaje de material grueso y material fino que no posee ningún tipo de plasticidad, lo cual se mostrará en los siguientes ensayos.

### **3.2. Análisis de Límites Líquido, Plástico de Bases de Agregados Clase 3 y 4, Polvo Cerámico.**

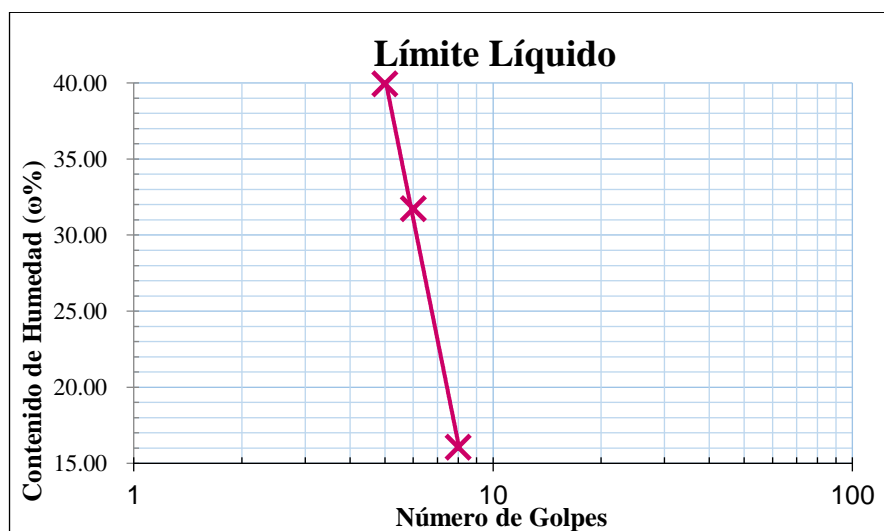
Los resultados obtenidos de los ensayos de límites líquido y plástico de las bases de agregados clase 3 y 4 según las normas INEN 691, INEN 692 respectivamente [27], [28]. Mostraron los siguientes resultados:

**Tabla 14:** Determinación de Límite Líquido y Plástico de las bases de Agregados.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>							
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa				
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42				
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados				
<b>Fecha:</b>	13/4/2022						
<b>Norma:</b>	INEN 691						
<b>1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>							
Número de golpes		8		6		5	
Recipiente Número		X-3	X-5	X-5	16-X	J-6	8-E
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	24.32	24.33	28.34	28.32	25.63	25.60
Peso seco + recipiente	Ws + rec	21.86	21.70	24.30	24.25	21.63	21.60
Peso recipiente	rec	5.98	5.90	11.51	11.49	11.61	11.60
Peso del agua	Ww	2.46	2.63	4.04	4.07	4.00	4.00
Peso de los sólidos	WS	15.88	15.80	12.79	12.76	10.02	10.00
Contenido de humedad	$\omega\%$	15.49	16.65	31.59	31.90	39.92	40.00
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$	16.07		31.74		39.96	
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>							
Recipiente Número		-	-	-			
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	-	-	-			
Peso seco + recipiente	Ws + rec	-	-	-			
Peso recipiente	rec	-	-	-			
peso del agua	Ww	-	-	-			
Peso de los sólidos	WS	-	-	-			
Contenido de humedad	$\omega\%$	-	-	-			
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$	-	-	-			
	<b>Límite líquido =</b>	-	<b>%</b>				
	<b>Límite plástico =</b>	-	<b>%</b>				
	<b>índice plástico =</b>	-	<b>%</b>				

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 21:** Límite líquido de las Bases de Agregados



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



Los resultados obtenidos para el límite líquido fueron valores que corresponden a un agregado fino que no posee plasticidad, debido a que se tomó el material que pase el Tamiz #40 según la norma INEN 691 lo establece, se pudo observar según los datos obtenidos que la cantidad de golpes fueron 8, 6 y 5 por lo que no se logró alcanzar los 25 golpes necesarios para poder determinar un porcentaje de Límite líquido (LL) y por consiguiente no se pudo llevar a cabo el procedimiento de límite plástico según la Norma INEN 692 y obteniendo un índice plástico (IP) de cero, produciendo que no se obtengan datos de plasticidad respecto a esta parte del agregado fino. No hubo la necesidad de otro análisis de Límites líquido o plástico para la base de agregados clase 4, ya que es el mismo agregado fino proveniente de la Mina Molina en la Provincia de Cotopaxi. Cumpliendo así los rangos necesarios que establecen las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, Sección 404. Bases, 404-1.02 Materiales, pág. 48, en donde se especifica que el material que pasa el tamiz #40 para bases de agregados indistintamente de la clase se necesite, deberá tener un valor de Límite líquido menor de 25 y un índice de plasticidad menor de 6 [26].

**Tabla 15:** Comparación de datos obtenidos de límite líquido e índices de plasticidad con límites permitidos MOP-001-F-2002 [24].

Base de Agregados	LL	IP	Especificaciones MOP-001-F-2002	Cumple
Clase 3	-	0	LL<25 IP<6	SI
Clase 4	-	0	LL<25 IP<6	SI

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Tabla 16:** Determinación de Límite Líquido y Plástico del Polvo Cerámico.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 						
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>						
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi					
<b>Cantón:</b>	Latacunga					
<b>Sector:</b>	Mulalo					
<b>Fecha:</b>	13/4/2022					
<b>Norma:</b>	INEN 691					
<b>N° de muestra:</b>	<b>I Representativa</b>					
<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42					
<b>Tipo:</b>	Polvo Cerámico					
<b>1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>						
Número de golpes	6	3	2			
Recipiente Número	133-T	8-E	8-T	16-X	11-F	X-5
Peso húmedo + recipiente W <sub>m+ rec</sub>	43.24	43.24	36.93	36.93	38.14	38.12
Peso seco + recipiente W <sub>s + rec</sub>	37.85	37.85	32.76	32.76	32.84	32.82
Peso recipiente rec	11.63	11.62	11.45	11.45	11.25	11.25
Peso del agua W <sub>w</sub>	5.39	5.39	4.17	4.17	5.30	5.30
Peso de los sólidos W <sub>S</sub>	26.22	26.23	21.31	21.31	21.59	
Contenido de humedad ω%	20.56	20.55	19.57	19.57	24.55	24.57
Contenido de humedad promedio ω%	20.55		19.57		24.56	
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>						
Recipiente Número	-	-	-	-	-	-
Peso húmedo + recipiente W <sub>m+ rec</sub>	-	-	-	-	-	-
Peso seco + recipiente W <sub>s + rec</sub>	-	-	-	-	-	-
Peso recipiente rec	-	-	-	-	-	-
peso del agua W <sub>w</sub>	-	-	-	-	-	-
Peso de los sólidos W <sub>S</sub>	-	-	-	-	-	-
Contenido de humedad ω%	-	-	-	-	-	-
Contenido de humedad promedio ω%	-	-	-	-	-	-
<b>Límite líquido =</b>	-	-	-	-	-	-
<b>Límite plástico =</b>	-	-	-	-	-	-
<b>índice plástico =</b>	-	-	-	-	-	-

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Mediante los ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico se evidenció que el material no posee propiedades plásticas, ya que como se evidencia en la Tabla 16, posee un número de golpes muy bajos, además durante el procedimiento del ensayo de límite plástico no se formaron los rollos plásticos, lo cual es un factor positivo al ser añadido a las bases de agregados clase 3 y 4, ya que al añadir el polvo cerámico actuaría como material fino no plástico.

### 3.3. Análisis de la resistencia al desgaste del agregado grueso para bases de agregados clase 3 y 4.

**Tabla 17:** Ensayo de resistencia al desgaste mediante la Máquina de los Ángeles.

<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3267
Pérdida por desgaste	$C=A-B$	g	1733
Desgaste del agregado	$D=(C/A)*100$	%	34.66

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 17 se observa los resultados del Ensayo de abrasión mediante la máquina de los Ángeles, en el cual se obtiene un valor menor al 40% de desgaste mínimo que puede poseer el agregado que conforma las bases clase 3 y 4 según ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES [24].



**3.4. Análisis de solidez de los áridos que forman las bases de agregados clase 3 y 4.**

**Tabla 18:** Resistencia al desgaste del agregado fino mediante el uso de sulfatos.

<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO (ARIDO FINO)</b>					
FRACCIÓN	MASA INICIAL (gr)	MASA RETENIDA FINAL (gr)	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	% DESGASTE ACUMULADO
1	100	99.4	0.60	1%	1%
2	100	99.5	0.50	1%	1%
3	100	98.3	1.70	2%	3%
4	100	98.1	1.90	2%	5%
5	100	98	2.00	2%	7%
<b>% DESGASTE TOTAL ARIDO FINO</b>					<b>7%</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Tabla 19:** Resistencia al desgaste del agregado grueso mediante el uso de sulfatos.

<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO (ARIDO GRUESO)</b>					
FRACCIÓN	MASA INICIAL (gr)	MASA RETENIDA FINAL (gr)	% PASA	% DESGASTE PARCIAL	% DESGASTE ACUMULADO
1	300	290	10.00	3%	3%
2	1000	995	5.00	1%	4%
3	1500	1485	15.00	1%	5%
4	3000	2915	85.00	3%	8%
<b>% DESGASTE TOTAL ARIDO FINO</b>					<b>8%</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En las tablas 18 y 19 se puede observar el desgaste obtenido mediante la exposición a sulfato de magnesio, en donde luego de su ensayo este es menor que 18% según ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES [24]

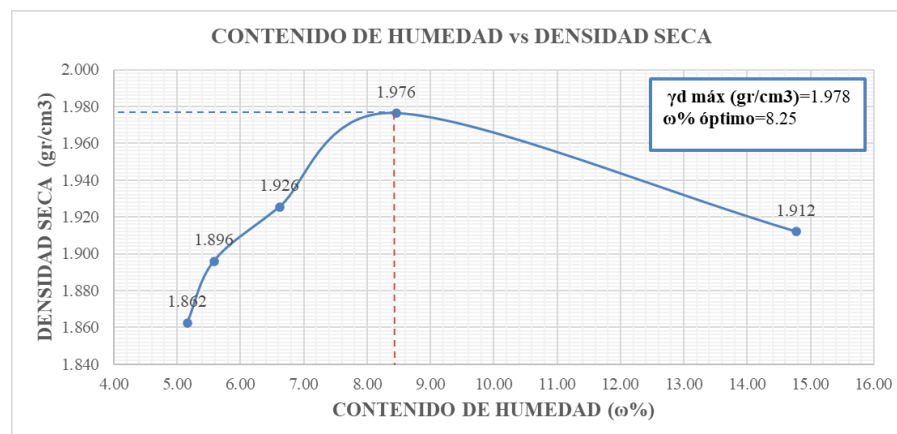
### 3.5. Análisis de Proctor Modificado y CBR de Bases de Agregados Clase 3 y 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

#### 3.5.1 Análisis de compactación con Proctor Modificado de Bases de Agregados clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

##### a. Base de Agregados Clase 3 en estado natural

Luego de realizada la granulometría del material para base de agregados clase 3, se realizó el ensayo de compactación mediante el método de ensayo Proctor Modificado-Tipo B según la Norma AASHTO T180-20 [29], este ensayo se realizó con material natural sin adición de cemento o polvo cerámico.

**Figura 22:** Curva de contenido de humedad vs Densidad seca de la base de agregados clase 3 natural



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la Figura 22, se puede observar la curva de compactación realizada al material de bases de agregados clase 3 sin ninguna alteración o adición de cemento o polvo cerámico, en la cual se puede observar un valor de densidad

seca máxima de 1.978 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 8.25%, en donde dichos valores serán tomados como referencia para su respectivo análisis al añadir el cemento y polvo cerámico.

**b. Base de Agregados Clase 3 con la adición de cemento y polvo cerámico**

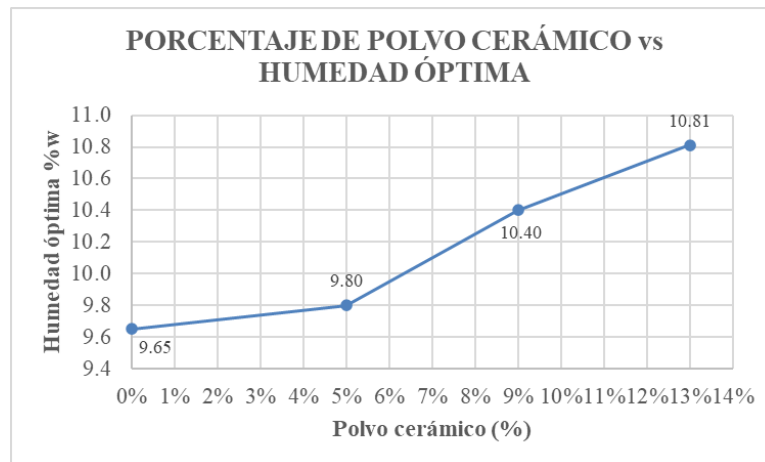
**Tabla 20:** Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3 con % de cemento y % polvo cerámico.

<b>Porcentaje cemento</b>		<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>
<b>Porcentaje Polvo Cerámico</b>		<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>9%</b>	<b>13%</b>
<b>Compactación Proctor Modificado</b>	Humedad Óptima %w	8.25	9.65	9.80	10.40	10.81
	Densidad seca máxima $\gamma_d$ ( $\frac{gr}{cm^3}$ )	1.978	2.003	1.972	1.942	1.931

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

De la tabla 20 se puede observar que, a partir de la adición del cemento y el polvo cerámico, la humedad óptima va aumentando mientras que la densidad seca máxima va disminuyendo en pequeños valores. Dicho análisis se lo hace a partir de la alteración de la base de agregados con el primer porcentaje de 5% cemento y 0% de polvo cerámico.

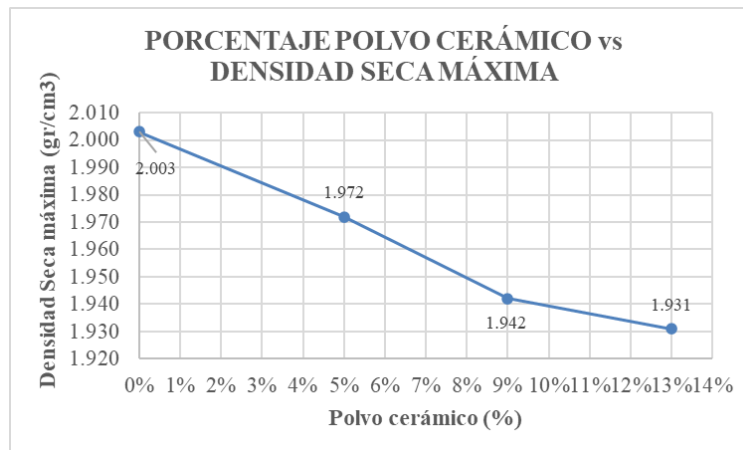
**Figura 23:** %Polvo Cerámico vs %humedad óptima en base de agregados clase 3.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 23 se puede observar como es el comportamiento de la humedad óptima en función de la adición del porcentaje de polvo cerámico que fue de 0%, 5%, 9% y 13%, a la par con el porcentaje de cemento que es 5%, 4%, 3% y 2% correspondientemente, cabe mencionar que dentro de ésta gráfica no se encuentra el valor de humedad óptima de la base de agregados clase 3 en estado natural ya que es un valor de 8.25% y más bien este análisis se enfoca a partir de la adición de cemento y comparación con el reemplazo parcial del cemento con el polvo cerámico. Es notable que en la adición únicamente del primer porcentaje de cemento (5%) es el menor de todos los valores de humedad óptima obtenidos, que es de 9.65%, a partir de aquí al añadir 5% de polvo cerámico y reducir a un 4% de cemento la humedad óptima aumenta un 0.85%. Luego de añadir el segundo porcentaje de polvo cerámico (9%), se puede notar que la humedad óptima mantiene su aumento en un 0.6%, mientras que con la última adición de polvo cerámico la humedad óptima únicamente aumenta en un 0.41%, por lo cual se puede observar que a medida que aumente el porcentaje de polvo cerámico y se reduzca el porcentaje de cemento la humedad óptima seguirá elevándose hasta un punto máximo.

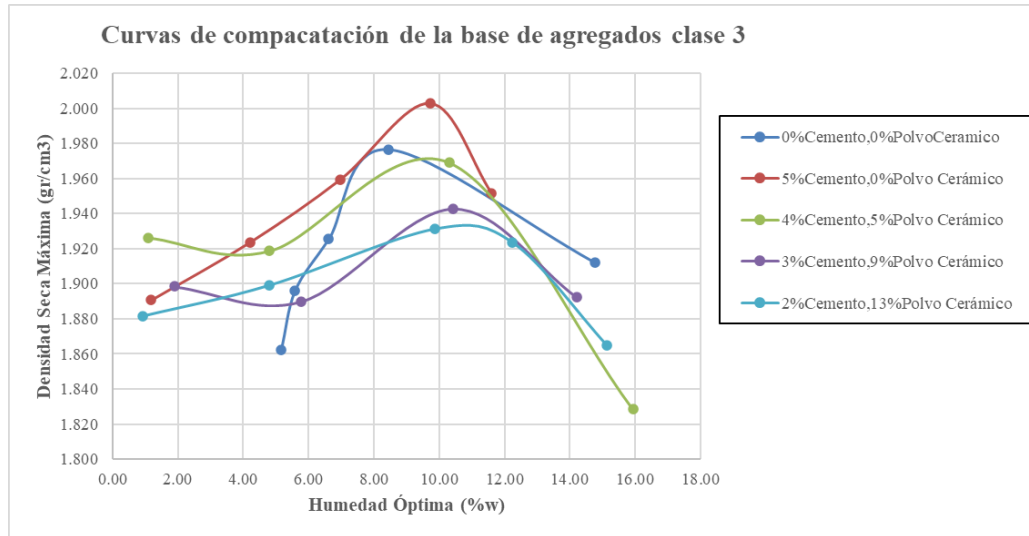
**Figura 24:** %Polvo Cerámico vs Densidad seca máxima (gr/cm<sup>3</sup>) en base de agregados clase 3



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En cuanto a la densidad seca máxima de la base de agregados clase 3, se puede observar en la figura 24 que dentro de las adiciones de porcentaje de polvo cerámico (0%, 5%, 9% y 13%), el mayor valor corresponde a la adición del 0% de polvo cerámico con 5% de cemento es de 2.003 kg/cm<sup>3</sup>. Para la segunda adición de polvo cerámico (5%), se puede observar respecto a únicamente la adición 5% del cemento y 0% de polvo cerámico que, en el primer punto, este valor disminuye un 1.55% (1.972 kg/cm<sup>3</sup>), aproximándose al valor de densidad seca máxima que se obtiene de la base de agregados al natural (1.978 kg/cm<sup>3</sup>), pero en los siguientes aumentos de polvo cerámico y reducciones de cemento; sus valores descienden. Ya que para el caso de la tercera adición (9%), su valor de densidad seca máxima disminuye respecto al valor obtenido de la adición de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico en un 3.05% (1.942 kg/cm<sup>3</sup>) y para la tercera adición de polvo cerámico (13%) y cemento (2%), se evidencia su reducción de 3.59% (1.931 kg/cm<sup>3</sup>) de igual forma con respecto a la adición de cemento de 5%.

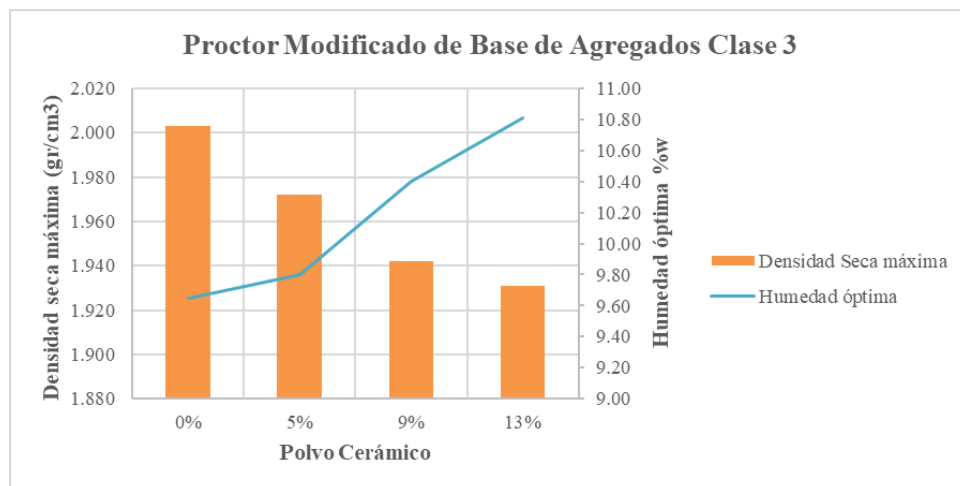
**Figura 25:** Humedad Óptima vs Densidad seca máxima de la base de agregados clase 3 con y sin adición de cemento y polvo cerámico.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 25 se evidencia que el mayor valor de densidad seca es 2.003 kg/cm<sup>3</sup> y humedad óptima de 9.65%, correspondiente a la base de agregados clase 3 con la adición de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico.

**Figura 26:** Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3 alteradas.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

De la figura 26 se puede observar el comportamiento de la base de agregados al adicionar porcentajes de cemento y polvo cerámico. Ya que el primer porcentaje de alteración de la base de agregados corresponde al añadir 5% cemento y es evidente la alteración en cuanto su densidad seca máxima y su

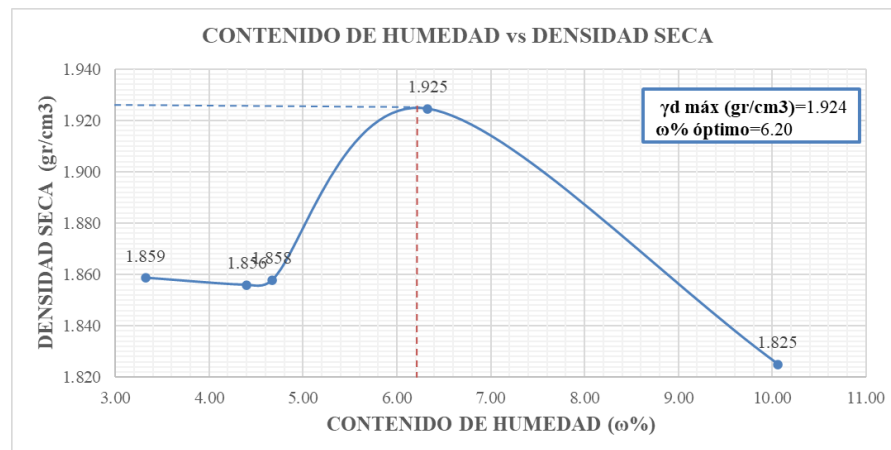
humedad óptima ya que, al empezar con la disminución del cemento y el aumento de porcentaje de polvo cerámico la densidad seca máxima disminuye mientras que la humedad óptima aumenta.

### 3.5.2 Análisis de compactación con Proctor Modificado de Bases de Agregados clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

#### a. Base de Agregados Clase 4 en estado natural

Realizada la granulometría para la base de agregados clase 4, se procedió con el ensayo de compactación mediante el método de ensayo Proctor Modificado-Tipo B, el mismo que fue realizado con la base de agregados clase 3 según la Norma AASHTO T180-20 [29], cabe mencionar que para este ensayo se realizó sin la modificación o alteración del material de la base de agregados clase 4.

**Figura 27:** Curva de contenido de humedad vs Densidad seca de la base de agregados clase 4 natural.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

La figura 27 muestra la curva de compactación realizada al material de base de agregados clase 4, en el cual no figura ninguna alteración o adición del cemento/polvo cerámico. Se puede observar un valor de densidad seca máxima de  $1.924 \text{ gr/cm}^3$  y una humedad óptima de 6.20%; dichos valores

serán tomados en cuenta durante el análisis después de añadir los porcentajes de cemento y polvo cerámico.

**b. Base de Agregados Clase 4 con la adición de cemento y polvo cerámico**

**Tabla 21:** Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4 con % de cemento y % polvo cerámico.

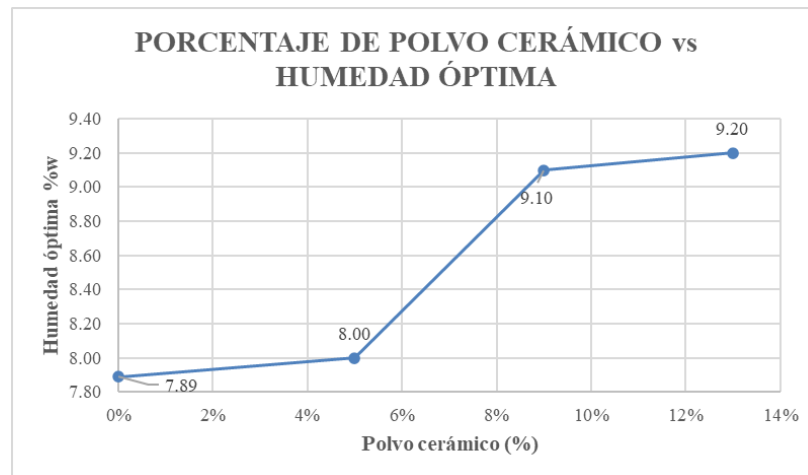
Porcentaje cemento		0%	5%	4%	3%	2%
Porcentaje Polvo Cerámico		0%	0%	5%	9%	13%
Compactación Proctor Modificado	Humedad Óptima % w	6.20	7.89	8.00	9.10	9.20
	Densidad seca máxima $\gamma_d$ ( $\frac{gr}{cm^3}$ )	1.924	2.031	2.012	2.000	1.975

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 21 se puede apreciar los valores antes de añadir los porcentajes de cemento y polvo cerámico, en donde la humedad óptima; su valor a partir de su estado natural posee un valor bajo de 6.20% y mientras se agrega los porcentajes de cemento polvo cerámico empieza a presentar alteración; empieza aumentar en pequeños valores hasta alcanzar un valor de 9.20% de humedad óptima para la adición de 2% de cemento y 13% de polvo cerámico. En cuanto a la densidad seca máxima se evidencia que a partir de la primera alteración que es al añadir únicamente 5% de cemento empieza a disminuir hasta alcanzar un valor de 1.975 gr/cm<sup>3</sup>, correspondiente a la última adición de cemento y polvo cerámico que fue de 2% y 13% respectivamente.



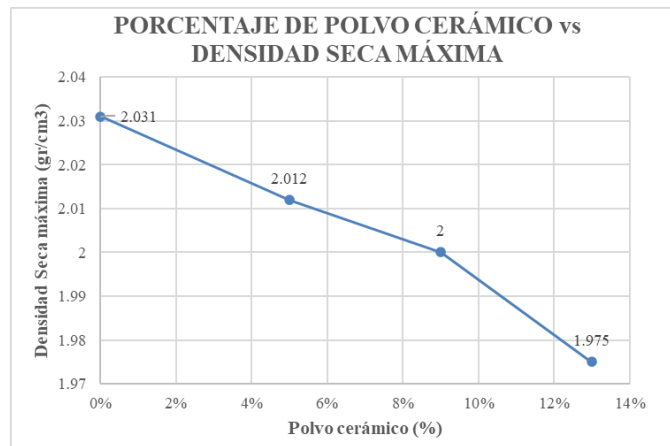
**Figura 28:** %Polvo Cerámico vs %humedad óptima en base de agregados clase 4.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 28 se puede observar el comportamiento de la humedad óptima de la base de agregados clase 4, en función de la adición del polvo cerámico, el cual fue de 0%, 5%, 9% y 13%, conjuntamente con el porcentaje de cemento que fue de 5%, 4%, 3%, 2%, correspondientemente. Cabe mencionar que dentro de la figura 27 no se encuentra el valor de humedad óptima de la base de agregados clase 4 en estado natural, el cual fue 6.20%, sino más bien se puede apreciar que el análisis se enfoca a partir de la primera adición de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, en donde se obtuvo un valor de 7.89%, el cual es el menor valor de porcentaje de humedad óptima al hacer las adiciones antes mencionadas. Es notable apreciar que aumenta a medida que se realiza las combinaciones antes mencionadas, para el segundo punto aumenta 0.11% en su humedad óptima y para el tercero y cuarto punto sigue su aumento de 1.21% y 1.31% respectivamente.

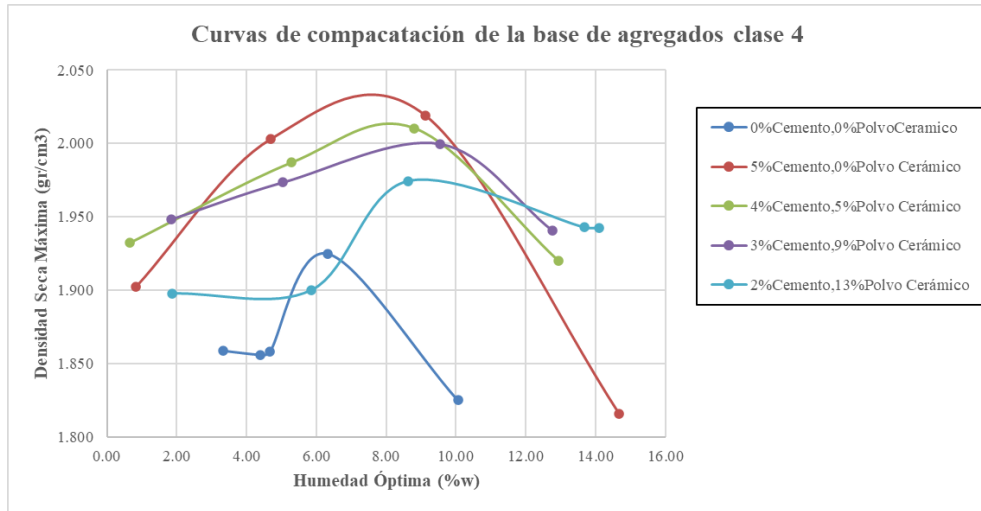
**Figura 29:** %Polvo Cerámico vs Densidad seca máxima (gr/cm<sup>3</sup>) en base de agregados clase 4.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

De la figura 29 se puede observar el comportamiento de la densidad seca máxima en la base de agregados clase 4 con las adiciones de cemento y polvo cerámico. Se puede evidenciar que el mayor valor de densidad seca máxima corresponde a la adición de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, siendo este igual a  $2.031 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ , dicho valor sigue siendo aún mayor que el valor de densidad seca máxima de la base de agregados clase 4 sin ninguna adición o alteración ( $1.924 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ ). A partir de la primera adición de cemento con polvo cerámico se puede observar que esta densidad disminuye con la adición de 4% de cemento y 5% de polvo cerámico reduciéndose 0.93% ( $2.012 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ ). Para luego, a partir de la segunda alteración que fue de 3% cemento y 9% polvo cerámico, donde su densidad seca máxima disminuye 1.53% ( $2.000 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ ) en comparación con la primera alteración de la base de agregados y como última alteración se añadió el 2% cemento y 13% polvo cerámico, donde se evidencia que la densidad seca máxima decrece 2.76% ( $1.975 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ ) tomando como punto de comparación la primera alteración antes mencionada.

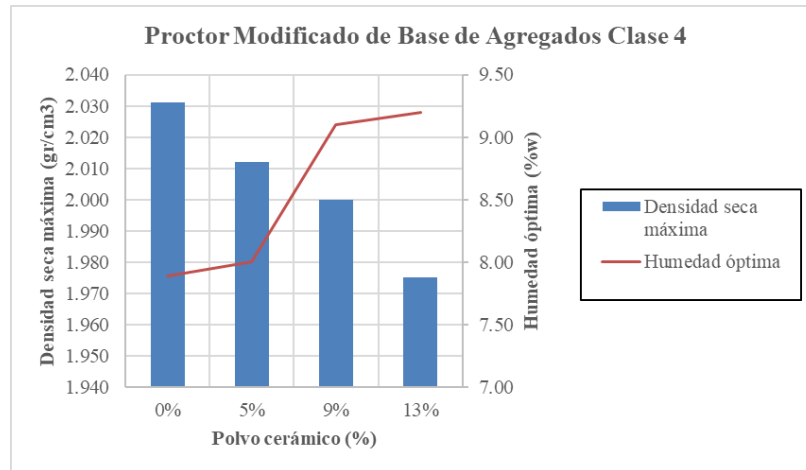
**Figura 30:** Humedad Óptima vs Densidad seca máxima de la base de agregados clase 4 con y sin adición de cemento y polvo cerámico.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

De la figura 30 se observa que el mayor valor de densidad seca que se obtuvo fue de 2.031 kg/cm<sup>3</sup> y humedad óptima de 7.89%, correspondiente a la base de agregados clase 4 con adición de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico.

**Figura 31:**Propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4 alteradas.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 31 se observa el comportamiento de la densidad seca máxima y la humedad óptima de la base de agregados clase 4 con alteración debido al polvo

cerámico y el cemento, donde se aprecia que a medida que aumenta los porcentajes de polvo cerámico la densidad seca máxima disminuye, mientras que la humedad óptima aumenta.

### 3.5.3 Análisis de CBR de Bases de Agregados clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

Luego de realizado los ensayos concernientes de Proctor Modificado, para encontrar el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima para las muestras de bases de agregados clase 3 con y sin alteración; se procedió con el ensayo de Soporte California (CBR).

**Tabla 22:** %CBR de la base de agregados clase 3 con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

Porcentaje cemento		0%	5%	4%	3%	2%
Porcentaje Polvo Cerámico		0%	0%	5%	9%	13%
CBR	%CBR	65.08	97.15	157.81	166.27	105.01
	Densidad seca máxima 100% $\gamma_d \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$	1.978	2.003	1.972	1.942	1.931

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 22 se puede observar como es el comportamiento del porcentaje de CBR para la base de agregados clase 3, en donde a partir del estado natural de la base de agregados, sin ninguna adición o alteración tiene un valor de 65.08%. A partir de la primera alteración de la muestra de base de agregados clase 3 se puede observar un incremento únicamente con la adición del 5% de cemento y 0% de polvo cerámico de un valor de 97.15%. Para la segunda combinación que se realiza (4% cemento-5% polvo cerámico) se puede observar el

incremento del valor de CBR a 157.81%. Muestra un incremento de su valor de CBR hasta la tercera combinación (3% cemento-9% polvo cerámico), con un valor de 166.27%, mientras que para la cuarta combinación que se puede observar en la tabla 18 (2% cemento-13% polvo cerámico), su valor de CBR desciende a 105.1%, mismo que aún es mayor que el valor de CBR de la base de agregados en estado natural.

**Tabla 23:** Comparación de valores de CBR con las especificaciones MOP-001-F-2002 [24].

<b>Cemento</b>	<b>Polvo cerámico</b>	<b>%CBR</b>	<b>Especificaciones MOP-001-F-2002</b>	<b>Cumple</b>
0%	0%	65.08	CBR>80%	NO
5%	0%	97.15	CBR>80%	SI
4%	5%	157.81	CBR>80%	SI
3%	9%	166.27	CBR>80%	SI
2%	13%	105.01	CBR>80%	SI

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

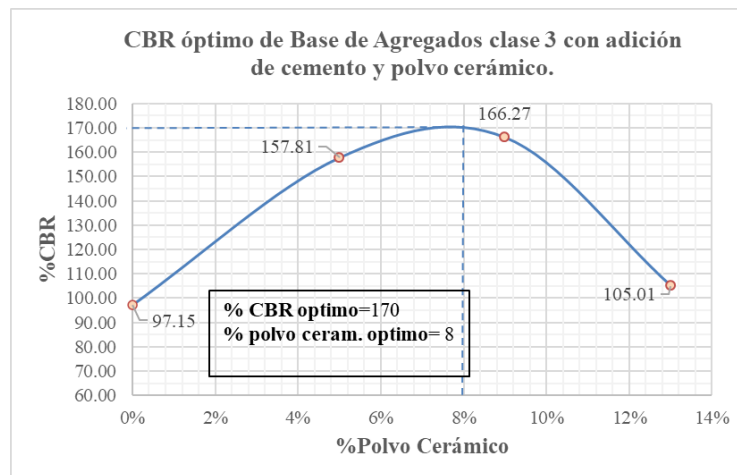
Se observa además de la tabla 23 la comparación de los valores de CBR con los requeridos de las especificaciones MOP-001-F-2002 [24], en donde llegan a cumplir y sobre pasar los valores estimados para una base de agregados excelente, excepto para la base de agregado sin alterar, la cual no cumple dichas especificaciones.

**a. CBR óptimo de Base de Agregados Clase 3 con alteración de cemento y polvo cerámico.**

De la figura 32 se observa el comportamiento de CBR de la base de agregados clase 3, en función de la adición del porcentaje de polvo cerámico, el primer valor corresponde a la combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico ya que el análisis se lo hará de la primera alteración que se realiza a la base de agregados. Es posible determinar el valor óptimo de CBR para esta base de

agregados ya que muestra un punto máximo de la curva entre los valores de 5 % y 9% de polvo cerámico, ya que al aumentar el porcentaje de polvo cerámico se puede observar un descenso de valor hasta 105.01%. Obteniendo un valor de CBR igual a 170% con la adición de 8% de polvo cerámico.

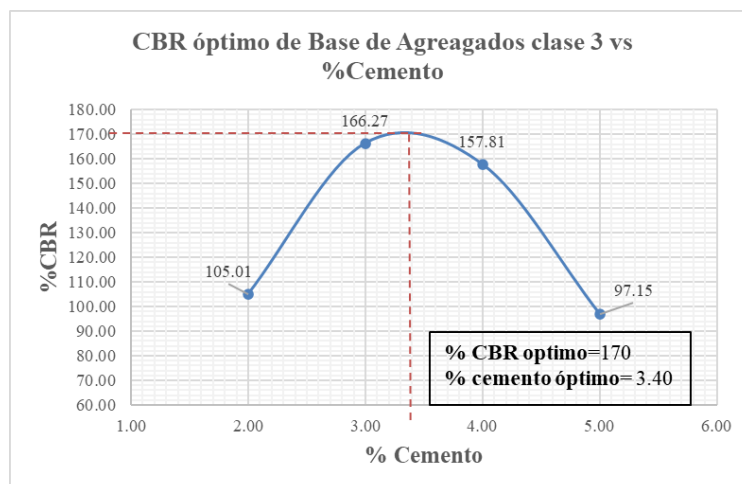
**Figura 32:** CBR óptimo de la base de agregados clase 3 vs el porcentaje óptimo de polvo cerámico.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

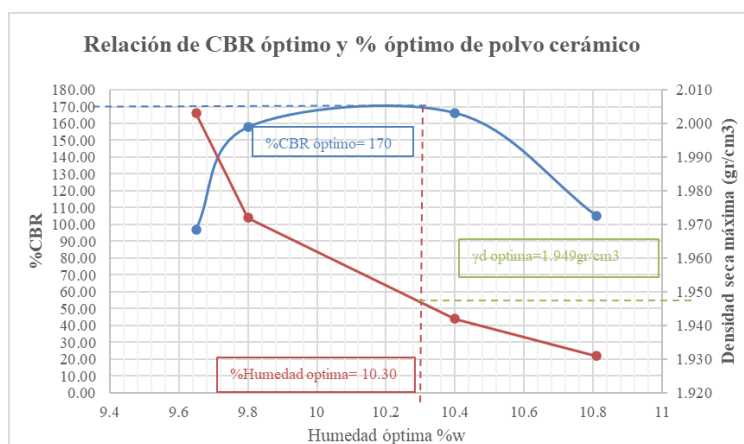
En función del CBR óptimo se puede observar el porcentaje de cemento óptimo de cemento en la figura 33, en la cual el porcentaje óptimo de cemento es de 3.40 %, obteniendo así para la base de agregados clase 3 un porcentaje óptimo de CBR de 170% con una combinación de 3.40% de cemento y 8% de polvo cerámico.

**Figura 33:** % Cemento óptimo en función del CBR óptimo de la base de agregados clase 3.



**b. Análisis de CBR óptimo en función de su humedad óptima y densidad seca máxima de la base de agregados clase 3 alterada.**

**Figura 34:** Relación óptima de las propiedades mecánicas de la base de agregados clase 3.



Se puede observar de la figura 34 los valores de humedad óptima y densidad seca máxima de la base de agregados clase 3 alterada con cemento y polvo cerámico. Manteniendo el valor de CBR óptimo (170%), se puede determinar un valor de 10.3% de humedad óptima y 1.949 gr/cm<sup>3</sup> correspondiente a su densidad seca máxima al 100%, ya que para bases de agregados según ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, la densidad mínima de la base de agregados no será menor que el 100% que su densidad máxima obtenida por los ensayos de compactación [24].

**3.5.4 Análisis de CBR de Bases de Agregados clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.**

Luego de realizado los ensayos concernientes de Proctor Modificado, para encontrar el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima para las muestras de bases de agregados clase 4 con y sin alteración; se procedió con el ensayo de Soporte California (CBR).

**Tabla 24:** %CBR de la base de agregados clase 4 con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

Porcentaje cemento		0%	5%	4%	3%	2%
Porcentaje Polvo Cerámico		0%	0%	5%	9%	13%
CBR	%CBR	66.27	95.78	142.08	155.06	150.92
	Densidad seca máxima 100% $\gamma_d \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$	1.924	2.031	2.012	2.000	1.975

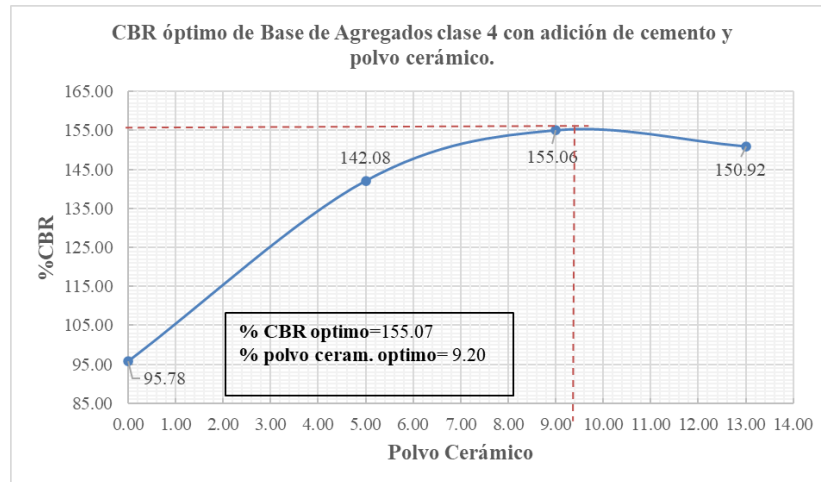
Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Se observa en la tabla 24 que los valores de CBR a partir del estado natural de la base de agregados clase 4 empieza aumentar de forma que se aumenta el porcentaje de polvo cerámico, en estado natural la base de agregados tiene un valor CBR de 66.27%, siendo el menor valor de todos los obtenidos. Empezando con la combinación de porcentajes de 5% cemento y 0% polvo cerámico, se puede observar que adquiere un valor de CBR de 95.78%. Luego en su segunda alteración se adiciona 4% cemento y 5% polvo cerámico en el cual da un valor de CBR de 142.08%. Para el tercer punto o combinación de porcentajes (3% cemento-9% polvo cerámico), aumenta a un valor de CBR de 155.06%, a partir de esta combinación el valor de CBR empieza a disminuir hasta un valor de 150.92, en el cual es notable una disminución de 4.14% con la combinación de 2% de cemento y 13% de polvo cerámico. Todos los valores de CBR obtenidos de las bases de agregados clase 4 alterados o inalterados, muestran que son buenas bases de agregados ya que según Bowles se considera una buena base aquellos valores de CBR que son mayores de 50 [30].



a. **CBR óptimo de Base de Agregados Clase 4 con alteración de cemento y polvo cerámico.**

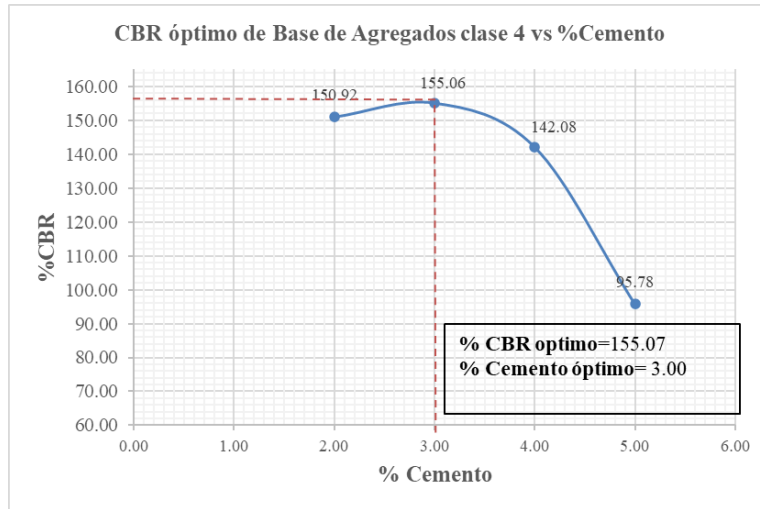
**Figura 35:** CBR óptimo de la base de agregados clase 4 vs % polvo cerámico.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 35 se puede observar el aumento del valor de CBR de la base de agregados clase 4, en función de los porcentajes de polvo cerámico que han sido adicionados a partir de la primera alteración que es el 5% de cemento. Se puede obtener un valor óptimo de CBR a partir de la curva que se forma con la alteración. Se muestra un leve decrecimiento en el valor de CBR entre las combinaciones de 3% cemento-9% polvo cerámico y 2% cemento-13% polvo cerámico, en donde se observa un valor de 155.07% y 9.20% de polvo cerámico.

**Figura 36:** % Cemento óptimo en función del CBR óptimo de la base de agregados clase 4.

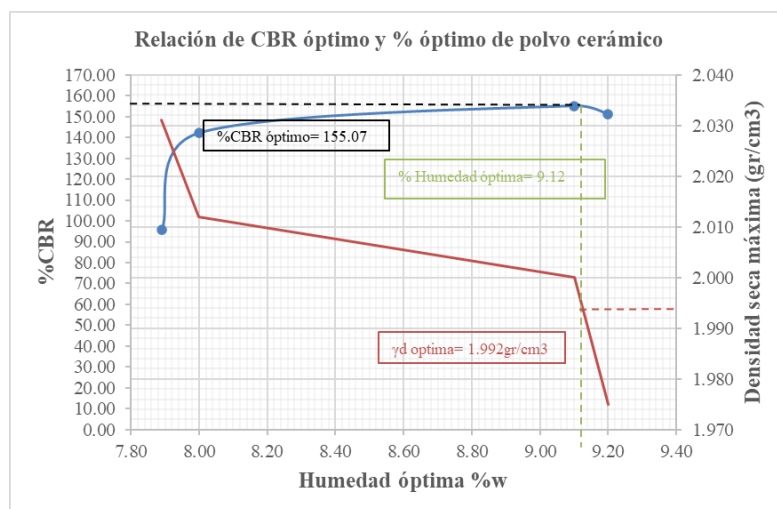


Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 36 se observa el porcentaje óptimo de cemento de 3.00%, que la base de agregados clase 4 requiere para alcanzar el porcentaje óptimo de CBR que es 155.07%. Para la obtención óptimo de CBR de 155.07%, se requiere una combinación de 3% de cemento y 9.20% de polvo cerámico.

**b. Análisis de CBR óptimo en función de su humedad óptima y densidad seca máxima de la base de agregados clase 4 alterada.**

**Figura 37:** Relación óptima de las propiedades mecánicas de la base de agregados clase 4.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

A partir de la obtención del CBR óptimo se obtiene un valor óptimo de la humada y la densidad seca máxima que la base de agregados clase 4 necesitará para alcanzar dicho valor de CBR. Fijando el valor de CBR de 155.07% se determina el valor de 9.12% de humedad óptima y 1.992 gr/cm<sup>3</sup> como el valor de densidad seca máxima, dicho valor al tratarse de una base de agregados se debe tomar su valor al 100%. Según ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES la densidad mínima de la base de agregados no será menor al 100% de su densidad seca máxima obtenida mediante los ensayos de compactación [24].

**Tabla 25:** comparación de valores de CBR con las especificaciones MOP-001-F-2002.

<b>Cemento</b>	<b>Polvo cerámico</b>	<b>%CBR</b>	<b>Especificaciones MOP-001-F-2002</b>	<b>Cumple</b>
0%	0%	66.27	CBR>80%	NO
5%	0%	95.78	CBR>80%	SI
4%	5%	142.08	CBR>80%	SI
3%	9%	155.06	CBR>80%	SI
2%	13%	150.92	CBR>80%	SI

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Se puede observar además de la tabla 25 la comparación de los valores de CBR con los requeridos de las especificaciones MOP-001-F-2002, en donde llegan a cumplir y sobrepasar los valores estimados para una base de agregados excelente. Haciendo excepción el valor de CBR de la base de agregados sin alterar, la cual no cumple con las especificación MOP-001-F-2002 [24].

### **3.6. Análisis de resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 3 y 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.**

### 3.6.1. Resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 3, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

Luego de realizado los ensayos de Proctor modificado se obtienen los datos de humedad óptima y densidad seca máxima de las bases de agregados clase 3, de los cuales se toman los datos de humedad óptima para cada combinación de porcentajes de cemento y polvo cerámico, para la elaboración de especímenes, que serán sometidos a los ensayos de resistencia a compresión simple de bases estabilizadas.

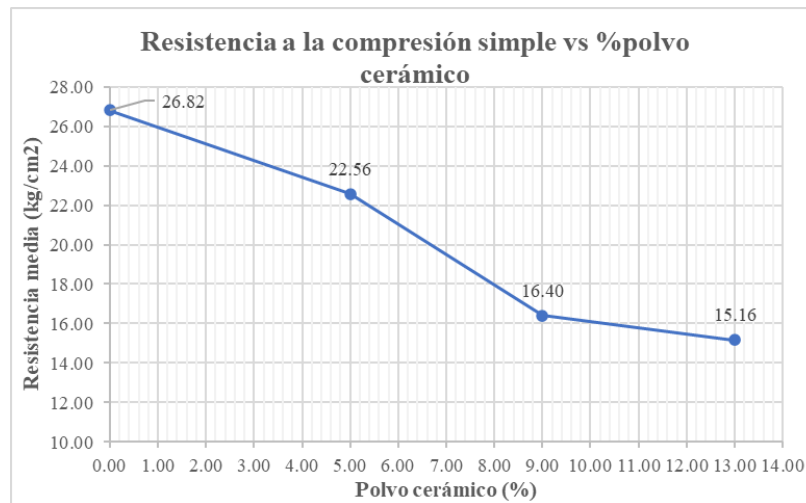
**Tabla 26:** Resistencia a la compresión simple de Bases de Agregados clase 3 con la alteración de cemento y polvo cerámico a los 7 días de edad.

Porcentaje cemento	5%	4%	3%	2%
Porcentaje Polvo Cerámico	0%	5%	9%	13%
Resistencia Media (kg/cm <sup>2</sup> )	26.82	22.56	16.40	15.16

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 26 se puede observar los resultados obtenidos de resistencias de las bases de agregados clase 3 alteradas con cemento y polvo cerámico. Es notable que los valores de resistencia empiezan desde un valor alto de 26.82 kg/cm<sup>2</sup>, para la combinación de 5% cemento-0% polvo cerámico, este valor es el mayor de todos los valores obtenidos, ya que empieza a disminuir su resistencia a medida que aumenta el porcentaje de polvo cerámico y disminuye el porcentaje de cemento llegando a un valor de 15.16 kg/cm<sup>2</sup>. Dicho valor no llega al valor mínimo de resistencia para bases estabilizadas que es de 25 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días de edad [24].

**Figura 38:** Resistencia a la compresión simple de bases de agregados clase 3 alteradas a los 7 días de edad.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Se observa en la figura 38 como la resistencia a la compresión simple va disminuyendo a medida que se agrega el porcentaje de polvo cerámico, tomando como referencia el primer punto de 26.82 kg/cm<sup>2</sup>, el cual corresponde a la combinación de 5% cemento-0% polvo cerámico, el segundo punto desciende un 15.88% respecto al primero con un valor de 22.56 kg/cm<sup>2</sup>, el primer valor es el mayor entre las demás combinaciones de cemento con polvo cerámico, este valor supera el permisible por las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, (MOP-001-F2002), en donde establece para bases estabilizadas una resistencia mínima de 25 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días edad [24]. Con cada aumento de polvo cerámico la resistencia disminuye hasta la cuarta combinación (2% cemento-13% polvo cerámico) en un 43.48% respecto al primer punto donde se ha alterado la muestra únicamente con cemento.

### 3.6.2. Resistencia a la compresión de Bases de Agregados Clase 4, con y sin adición de cemento y polvo cerámico.

Una vez realizados los ensayos de Proctor modificado para las bases de agregados clase 4, con la alteración del polvo cerámico, se obtienen los valores de humedad óptima y densidad seca máxima, lo cuales son utilizados para el

desarrollo del ensayo de resistencia a compresión simple para bases estabilizadas. El dato que es utilizado para elaborar los especímenes necesarios para esta prueba es el contenido de humedad óptimo

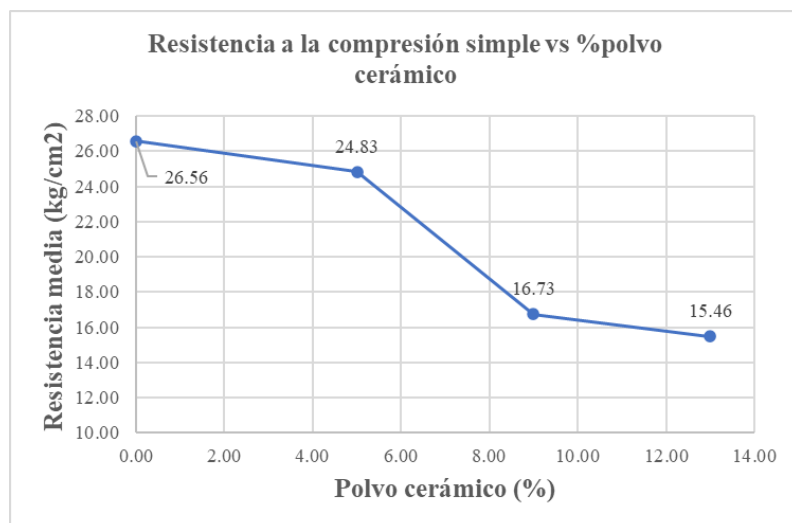
**Tabla 27:** Resistencia a la compresión simples de bases de agregados clase 4 con la alteración de cemento y polvo cerámico a los 7 días de edad.

Porcentaje cemento	5%	4%	3%	2%
Porcentaje Polvo Cerámico	0%	5%	9%	13%
Resistencia Media (kg/cm <sup>2</sup> )	26.56	24.83	16.73	15.46

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 27 se puede observar que los resultados de resistencia de las bases de agregados clase 4 alteradas con cemento y polvo cerámico empiezan a disminuir a partir de la primera combinación de 5% cemento y 0% polvo cerámico con un valor de 26.56 kg/cm<sup>2</sup>, en cuanto al segundo punto, donde existe la combinación del polvo cerámico con el cemento (4% cemento-5 polvo cerámico), su valor de resistencia disminuye un 6.51% con un valor de 24.83 kg/cm<sup>2</sup>, el cual es el mayor entre todos los valores de resistencia obtenidos de las combinación entre polvo cerámico y cemento.

**Figura 39:** Resistencia a la compresión simple de bases de agregados clase 4 alteradas a los 7 días de edad.



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la figura 39 se puede evidenciar la disminución de resistencia a la compresión simple a partir de la combinación de cemento y polvo cerámico, en donde para el valor más alto corresponde a la alteración de la base de agregados únicamente con el 5% de cemento. En cuanto al segundo punto que se pueda observar corresponde a la combinación de 4% cemento y 5% polvo cerámico con un valor de  $24.83 \text{ kg/cm}^2$ , siendo este valor el mayor de todas las combinaciones realizadas con el polvo cerámico, sin embargo este valor no cumple con los requerimientos de resistencia a la compresión de la estabilización de bases de agregados con cemento que debe ser mínimo de  $25 \text{ kg/cm}^2$  [24].

### **3.7. Análisis de tráfico vehicular**

La información de tráfico es de suma importancia ya que es parte de la información considerada para definir las características del diseño geométrico y consecuentemente en la estructura de pavimento que se diseñará [31].

Para el análisis del presente estudio se utilizó datos obtenidos del del Asfaltado de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35, perteneciente a la Parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga en la provincia de Cotopaxi, dichos datos serán utilizados para realizar un análisis de diseño con datos obtenidos de las bases de agregados clase 3 y 4 con y sin adición de cemento, además con adición de polvo cerámico óptimo encontrado en los análisis mencionados anteriormente para las bases de agregados clase 3 y 4 [32].

Es necesario mencionar que éste trabajo de investigación se basa principalmente en los espesores de la capa de estructura que se pueden llegar a tener al hacer la estabilización con cemento y polvo cerámico en las bases de agregados antes mencionadas, haciendo un análisis comparativo entre diferentes espesores de la estructura de pavimento, mas no se enfocará en el volumen de tráfico y únicamente el valor necesario para el diseño de la estructura de pavimento.

### 3.7.1. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Para la obtención del tránsito total que circula por la carretera durante un año dividido entre 365 días, se utilizó las indicaciones que se mencionan en las Normas de Diseño Geométrico del Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador, Capitulo A, en donde menciona un conteo durante 7 días [33]. Los valores de TPDA de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35 se presentan a continuación para los dos tramos:

$$TPDA = \frac{\text{N}^\circ \text{ de vehículos en la semana}}{7}$$

Donde:

TPDA, tráfico promedio diario anual

#### Datos del Proyecto

$$TPDA_{Livianos} = \frac{3553}{7} = 508 \text{ livianos/día}$$

$$TPDA_{Buses} = \frac{224}{7} = 32 \text{ buses/día}$$

Los valores de cálculos típicos realizados según la MOP 2003 para la obtención de TPDA del estudio para el tramo 1 San Rafael y tramo 2 San Juan- Chan se muestran en la tabla 28 y tabla 29 correspondientemente.

**Tabla 28:** Cálculo del TPDA del tramo 1 San Rafael.

Día	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL	TOTAL
			2D	2DB	3A-4C	2S3		
1	426	32	13	12	12	12	49	507
2	523	32	12	12	12	12	48	603
3	614	32	9	9	8	8	34	680
4	519	32	10	10	10	9	39	590
5	521	32	9	9	9	8	35	588
6	479	32	10	9	9	9	37	548
7	471	32	9	9	8	8	34	537
Tráfico Actual	508	32	10	10	10	9	39	579
%	87.74	5.53	1.73	1.73	1.73	1.55	6.74	100.00

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



**Tabla 29:**Cálculo del TPDA del tramo 2 San Juan-Chan

Día	LIVIANOS	BUSES	PESADOS				TOTAL	TOTAL
			2D	2DB	3A-4C	2S3		
1	168	32	6	5	5	5	21	221
2	169	32	7	7	8	8	30	231
3	186	32	7	7	7	6	27	245
4	191	32	9	8	8	8	33	256
5	216	32	15	15	15	15	60	308
6	262	32	10	9	9	9	37	331
7	201	32	9	9	9	9	36	269
Tráfico Actual	201	32	9	9	9	9	35	269
%	74.72	11.90	3.35	3.35	3.35	3.35	13.40	100.00

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

### 3.7.2. Cálculo de Tráfico futuro

Para el proyecto de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35 re calculó su proyección de crecimiento para 20 años, por lo cual se utilizó en el mismo el método de crecimiento lineal como se muestra a continuación [31]:

$$TPDA_{futuro} = TPDA * (1 + i)^n$$

Donde [31]:

TPDA, tráfico promedio diario anual.

$TPDA_{futuro}$ , tráfico futuro.

$i$ , Tasa de crecimiento del tráfico.

$n$ , Número de años proyectos para el proyecto.

Los datos de tráfico futuro se muestra un ejemplo de los cálculos típicos para todos los tipos de vehículos y los años proyectados para los tramos 1 y 2.

**Tabla 30:** Crecimiento vehicular en la provincia de Cotopaxi.

Periodo	Tipo de Vehículo		
	Liviano-Motos	Bus	Camión
2020-2025	3.5	2.63	2.88
2025-2030	3.15	2.36	2.59
2035-2040	2.86	2.15	2.35

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En la tabla 30 se puede encontrar las tasas de crecimiento de tráfico para los tipos de vehículos para el periodo de diseño de 20 años y reemplazar dichos valores en los cálculos.

#### Datos del Proyecto

$$TPDA_{futuro} = TPDA * (1 + i)^n$$

$$TPDA = 584$$

$$i = 3.5\%$$

$$n = 5 \text{ años}$$

#### Tramo 1 San Rafael

##### Livianos (5 años)

$$TPDA_{futuro} = 584 * \left(1 + \left(\frac{3.5}{100}\right)\right)^5 = 693.61 \approx 694$$

##### Livianos (10 años)

$$TPDA_{futuro} = 584 * \left(1 + \left(\frac{3.15}{100}\right)\right)^{10} = 796.35 \approx 797$$

##### Livianos (20 años)

$$TPDA_{futuro} = 584 * \left(1 + \left(\frac{2.86}{100}\right)\right)^{20} = 1026.46 \approx 127$$

Se muestran como ejemplos los cálculos típicos realizados para obtención de del tráfico futuro de vehículos livianos para los 5 años, 10 años y 20 años, los demás cálculos serán repetitivos para los otros tipos de vehículos. En la tabla 31 y tabla 32 se muestran los resultados de dichos cálculos.

**Tabla 31:** Cálculo de tráfico futuro para el tramo 1 San Rafael.

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>TPDA Actual</b>	<b>TPDA (5años)</b>	<b>TPDA (10años)</b>	<b>TPDA (20años)</b>
Livianos	584	694	797	1027
Buses	37	42	46	56
Camion 2P	12	13	15	18
Camion 2G	12	13	15	18
Camion 3-4 ejes	12	13	15	18
Camion 5 ejes	10	12	13	16
<b>Total</b>	<b>667</b>	<b>787</b>	<b>901</b>	<b>1154</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Tabla 32:** Cálculo de tráfico futuro para el tramo 2 San Juan-Chan.

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>TPDA Actual</b>	<b>TPDA (5años)</b>	<b>TPDA (10años)</b>	<b>TPDA (20años)</b>
Livianos	231	275	315	406
Buses	37	42	46	56
Camion 2P	10	12	13	16
Camion 2G	10	12	13	16
Camion 3-4 ejes	10	12	13	16
Camion 5 ejes	10	12	13	16
<b>Total</b>	<b>309</b>	<b>364</b>	<b>415</b>	<b>528</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**3.7.3. Cálculo de Ejes Equivalentes según la norma AASHTO**

Este cálculo es desarrollado por la AASHTO a 8.2 toneladas (18kips) para convertir un valor de cargas repetidas por los ejes de cada tipo de vehículo a un valor de cargas de ejes estándar, el cual se produce durante su vida útil (ESAL= número de ejes equivalentes repetidos a 8.2Ton (18kips)) [19].

$$N_t = N * F_c * F_d * 365 \left( \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right)$$

Donde [34]:

N<sub>t</sub>, número de ejes equivalentes en el final del periodo de diseño.

N, número de ejes equivalentes al inicio del periodo de diseño.

F<sub>c</sub>, Factor de carril.

Fd, Factor de dirección.

i, tasa de crecimiento

n, número de años de proyección.

a) Número de ejes equivalentes al inicio del periodo de diseño (N).

Para encontrar el número de ejes equivalentes es necesario hacer la transformación de su valor de TPDA, mediante su factor equivalente de carga, por lo cual se debe asignar la carga en toneladas para cada eje. Además, se podrá obtener el respectivo número de ESAL.


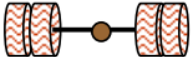
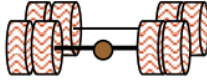
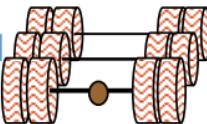
**Figura 40:** Pesos y medidas nacional.

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Ton.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
				Largo	Ancho	Alto
2 D			7	5,00	2,60	3,00
2DA			10	7,50	2,60	3,50
2DB			18	12,20	2,60	4,10
3-A			27	12,20	2,60	4,10
4-C			31	12,20	2,60	4,10
4-0 octopus			32	12,20	2,60	4,10
V2DB			18	12,20	2,60	4,10
V3A			27	12,20	2,60	4,10
VZS			27	12,20	2,60	4,10
T2			18	8,50	2,60	4,10
T3			27	8,50	2,60	4,10
S3			24	13,00	2,60	4,10
S2			20	13,00	2,60	4,10
S1			11	13,00	2,60	4,10
R2			22	10,00	2,60	4,10
R3			31	10,00	2,60	4,10
B1			11	10,00	2,60	4,10
B2			20	10,00	2,60	4,10
B3			24	10,00	2,60	4,10

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR [35].

Es necesario el uso fórmulas simplificadas para para encontrar los factores equivalentes de carga

**Tabla 33:** Formulas para el factor de equivalencia de cargas.

TIPO DE EJE	CONFIGURACIÓN	FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE EQUIVALENCIA
Simple rueda simple		$F.E.C = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{6.6}\right)^4$
Simple rueda doble		$F.E.C = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{8.2}\right)^4$
Tándem		$F.E.C = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{15}\right)^4$
Tridem		$F.E.C = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{23}\right)^4$

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34]

A continuación, se muestra un ejemplo de los cálculos típicos realizados en cuanto a la obtención de valores de factores equivalentes de carga.

#### Datos del Proyecto

**TPDA<sub>liviano</sub>** = 584 veh/día

**Tipo de vehículo** = liviano

**Carga eje delantero** = 1.5 (T)

**Carga eje delantero** = 3 (T)

**Tipo de Eje** = Simple

$$\mathbf{FEC} = \left(\frac{\text{Carga del eje}}{6.6 T}\right)^4$$

$$\mathbf{FEC1} = \left(\frac{1.5 T}{6.6 T}\right)^4 = 0.0027$$

$$\mathbf{FEC2} = \left(\frac{3 T}{6.6 T}\right)^4 = 0.0427$$

**FEC Total** = 0.0454

$$\mathbf{N} = \mathbf{TPDA}_{\text{liviano}} * \mathbf{FEC Total}$$

**ESALS (N)** = 584 \* 0.0454 = 26 ejes equivalentes

**b) Factor de Carril (Fc).**

El factor que se escoge corresponde a la cantidad de carriles a diseñar en el proyecto vial. Se muestra a continuación los factores concernientes y el valor escogido será al de dos carriles en los dos tramos.

**Tabla 34:** Factor de Carril para el diseño de Pavimento Flexible

<b>Fc</b>	<b>Número de carriles en cada dirección</b>	
	1	1
	2	0.9
	3	0.75
	4	0.5

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

**c) Factor de dirección (Fd).**

El factor de dirección corresponde al porcentaje de los vehículos que circulan en una dirección para lo cual se utilizará el factor igual a 0.5 ya que dicho porcentaje en los tramos uno y dos se encuentran entre el 40 % y 60%. En la tabla 35 se puede observar los factores en función del número de vehículos que circularán por una dirección.

**Tabla 35:** Factor de dirección para el diseño de pavimento Flexible.

<b>Fd</b>	<b>Factor de dirección en función del número de vehículos que pasarán en una sola dirección.</b>	
	40-60%	Fd=0.5
	70-30%	Fd=0.7
	1	Fd=1.0

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

**d) Tasa de crecimiento (i).**

La tasa de crecimiento es correspondiente al incremento porcentual de los tipos de vehículo en el periodo de diseño, como se ha mencionado para el proyecto Asfaltado de la vía San Rafael – San Juan – Chan – 35, parroquia

Eloy Alfaro Cantón Latacunga. En la tabla 36 se puede observar la tasa de crecimiento para el periodo de 20 años.

**Tabla 36:** Tasa de crecimiento vehicular en la provincia de Cotopaxi.

Periodo	Tipo de Vehículo		
	Liviano-Motos	Bus	Camión
2020-2025	3.5	2.63	2.88
2025-2030	3.15	2.36	2.59
2035-2040	2.86	2.15	2.35

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

#### Datos del Proyecto

**N** = 26 ejes equivalentes

**F<sub>c</sub>** = 0.9

**F<sub>d</sub>** = 0.5

**i** = 0.035 (Livianos)

**n** = 5 años

$$N_t = N * F_c * F_d * 365 \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$N_t = 26 * 0.9 * 0.5 * 365 * \left( \frac{(1 + 0.035)^5 - 1}{0.035} \right)$$

**N<sub>t</sub>** = 23338 ESALS (5años)

Se muestra un cálculo típico realizado en la obtención de ejes equivalentes para el periodo de 5 años para los vehículos livianos.

**Tabla 37:** Cálculos realizados de número de ejes equivalentes con el incremento de tráfico para el tramo 1 San Rafael.

Tipo de vehículo	Carga por eje (T)	Tipo de Eje	FEC	FEC TOTAL	TPDA Actual	N	Fc	Fd	Esals 5 años	Esals 10 años	Esals 20 años
Liviano (auto, jeep, camioneta)	1.5	Simple	0.0027	0.0454	584	26	0.9	0.5	23338	50239	115293
	3		0.0427								
Bus intermedio y buseta	3	Simple	0.0427	1.3081	37	48	0.9	0.5	41667	88012	195001
	7		1.2654								
Volqueta	7	Doble	0.5311	3.7693	0	0	0.9	0.5	0	0	0
	11		3.2383								
Camión 2P-2G	7	Doble	0.5311	3.7693	23	87	0.9	0.5	75419	160192	358304
	11		3.2383								
Camión 3-4 ejes	7	Tandem	0.0474	6.601	22	144	0.9	0.5	125473	266509	596103
	24		6.5536								
TOTAL									<b>265897</b>	<b>564951</b>	<b>1264701</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 38:** Cálculos realizados de número de ejes equivalentes con el incremento de tráfico para el tramo 2 San Juan -Chan.

Tipo de vehículo	Carga por eje (T)	Tipo de Eje	FEC	FEC TOTAL	TPDA Actual	N	Fc	Fd	Esals 5 años	Esals 10 años	Esals 20 años
Liviano (auto, jeep, camioneta)	1.5	Simple	0.0027	0.0454	231	10	0.9	0.5	9234	19878	45618
	3		0.0427								
Bus intermedio y buseta	3	Simple	0.0427	1.3081	37	48	0.9	0.5	41667	88012	195001
	7		1.2654								
Volqueta	7	Doble	0.5311	3.7693	0	0	0.9	0.5	0	0	0
	11		3.2383								
Camión 2P-2G	7	Doble	0.5311	3.7693	21	78	0.9	0.5	67877	144173	322473
	11		3.2383								
Camión 3-4 ejes	7	Tandem	0.0474	6.601	21	137	0.9	0.5	118869	252482	564729
	24		6.5536								
TOTAL									<b>237647</b>	<b>504545</b>	<b>1127821</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

En la tabla 37 y tabla 38 se muestra el resumen de resultados de ejes equivalentes para el tramo 1 San Rafael y tramo 2 San Juan – Chan respectivamente.

**Tabla 39:** Resultados de ejes equivalente para el tramo 1 San Rafael.

Tipo Vehículo	Nt(5 años)	Nt(10 años)	Nt(20 años)
<b>Livianos</b>	23338	50239	115293
<b>Buses</b>	41667	88012	195001
<b>Volqueta</b>	0	0	0
<b>Camión 2P-2G</b>	75419	160192	358304
<b>Camión 3-4 ejes</b>	125473	266509	596103
<b>Total</b>	<b>265897</b>	<b>564951</b>	<b>1264701</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Para el tramo 1 San Rafael el valor de ejes equivalentes por carril será igual a **632351** ESALS o **6.32 \* 10<sup>5</sup>** ejes equivalentes de 18.6 Ton.



**Tabla 40:** Resultados de ejes equivalente para el tramo 2 San Juan -Chan.

<b>Tipo Vehículo</b>	<b>Nt(5 años)</b>	<b>Nt(10 años)</b>	<b>Nt(20 años)</b>
<b>Livianos</b>	9234	19878	45618
<b>Buses</b>	41667	88012	195001
<b>Volqueta</b>	0	0	0
<b>Camión 2P-2G</b>	67877	144173	322473
<b>Camión 3-4 ejes</b>	118869	252482	564729
<b>Total</b>	237647	504545	1127821

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Para el tramo 2 San Juan – Chan el valor de ejes equivalentes por carril será igual a **563911** ESALS o **5.63 \* 10<sup>5</sup>** de 18.6 Ton.

### **3.8. Análisis de diseño de estructura de Pavimento flexible (Método AASHTO 93)**

Dentro de este análisis se presenta el diseño de la estructura de pavimento flexible con valores obtenidos de las bases de agregados estabilizados con cemento-polvo cerámico y bases de agregados sin estabilizar. Los diseños por clase de base de agregados serán tres, realizando las siguientes combinaciones: 0% cemento-0% polvo cerámico, 5% Cemento-0% polvo cerámico, %óptimo de polvo cerámico y % óptimo de cemento.

Los valores de CBR para los diseños han sido seleccionados en función de las combinaciones de cemento y polvo cerámico óptimo de las dos bases de agregados antes mencionadas. A continuación, se muestran dichos valores utilizados para el diseño de pavimento flexibles.

**Tabla 41:** Valores de CBR en función de %Cemento-%Polvo cerámico de las bases de agregados.

Base de agregados	%Cemento	%Polvo Cerámico	%CBR	Diseño
Clase 3	0	0	65.08	1
	5	0	133.26	2
	10	8	170	3
Clase 4	0	0	66.27	4
	5	0	118.24	5
	9.44	10.4	151	6

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

En la tabla 41 se muestran la cantidad de diseños que se realizarán en función de las combinaciones de porcentaje de cemento y polvo cerámico de las bases de agregados clase 3 y 4.

### 3.8.1. Parámetro para el Diseño de estructura Pavimento Flexible.

En cuanto a los parámetros para el diseño, se utilizarán los mismos valores para todos los diseños, la variable que cambiara en los parámetros en el CBR en función de las combinaciones de porcentajes de cemento con polvo cerámico en las bases de agregados clase 3 y 4.

#### a) Fórmula AASHTO de diseño

La norma AASHTO muestra la siguiente fórmula para determinar los espesores de capas de la estructura de pavimento encontrando su número estructural total [36].

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{4.2-1.5}{1094}} + 2.32 * \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Donde [36]:

$W_{18}$ , ejes equivalentes de cargas.

$Z_R$ , desviación estándar normal.

$S_0$ , desviación estándar global.

SN, número estructural.

$\Delta PSI$ , pérdida o cambio en la servicialidad.

$M_R$ , módulo de resiliencia de la subrasante.

**b) Tiempo o periodo de análisis de diseño.**

En el proyecto se ha estimado un periodo de diseño de 20 años.

**c) Número de ejes equivalentes.**

En las tablas 36 y tabla 37 se encuentran los valores de ejes equivalentes para el periodo de veinte años el cual es de 1264701 ejes equivalentes para el tramo 1 San Rafael y 1127821 ejes equivalentes para el tramo 2 San Juan -Chan.

**d) Confiabilidad de Diseño.**

Es un grado de certidumbre que se estima en cuanto a que el diseño de pavimento llegue en buenas condiciones al final del periodo de diseño [36]. Este método incorpora este criterio de confiabilidad en función de las diferentes variables que influyen en la variabilidad de la estructura y su comportamiento. A continuación, se muestran las tablas de confiabilidad recomendada y su relación con las tablas de desviación estándar normal y desviación estándar global.

En base al proyecto vía analizado se obtienen los siguientes datos para el proyecto:

**Tabla 42:** Nivel de confiabilidad.

Clasificación Funcional	Nivel de Confiabilidad R(%)	
	Urbana	Rural
Autopistas y carreteras importantes	85.0-99.0	80.0-99.9
Arterias principales	80.0-99.0	75.0-99.0
Colectoras	80.0-95.0	75.0-95.0
Locales	50.0-80.0	50.0-80.0

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

En la tabla 42 se elige un nivel de confiabilidad de 80%, ya que el proyecto analizado es considerado como una arteria principal en una zona rural de la provincia de Cotopaxi.

**Tabla 43:** Desviación estándar normal en función del nivel de confianza.

Desviación estándar normal ( $Z_r$ ) correspondiente a los niveles de confiabilidad	
Nivel de Confianza R(%)	Desviación estándar normal ( $Z_r$ )
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

**Fuente:** Guide for Design of Pavement Structures [34].

**Tabla 44:**Desviación estándar normal en función del tipo de estructura de pavimento.

<b>Estructura Pavimento</b>	<b>Desviación estándar global (So)</b>	
	<b>Flexible</b>	<b>Rígido</b>
	0.40-0.50	0.30-0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobre Capas	0.50	0.40

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

En cuanto al tipo de pavimento, para este proyecto se ha seleccionado el pavimento flexible, por lo cual seleccionando los datos para el proyecto se tiene los siguientes:

#### Datos del Proyecto

$$R = 80\%$$

$$Z_R = -0.841$$

$$S_0 = 0.49$$

#### e) Índice de serviciabilidad.

Este índice corresponde a la capacidad que tiene la estructura para servir al tránsito diseñado, es decir también la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Se obtienen un índice inicial y final, los cuales están en función del diseño de la estructura de pavimento y su calidad de construcción [36].

$$\Delta PSI = P_t - P_o$$

Donde[36] :

$P_t$ , Serviciabilidad final.

$P_o$ , Serviciabilidad inicial.

## Datos del Proyecto

$$P_0 = 3.80$$

$$P_t = 2.00$$

$$\Delta\text{PSI} = 3.80 - 2.00 = 1.80$$

### f) Drenaje.

Estos factores permiten tener en cuenta el drenaje en las capas granulares y a la vez el tiempo en que dichas capas llegan a niveles próximos a la saturación, en la siguiente tabla se muestra el porcentaje de saturación en función del drenaje [36]:

**Tabla 45:** Calidad de drenaje.

Calidad de drenaje	Saturación de 50%	Saturación de 85%
Excelente	2 (horas)	2 (horas)
Bueno	1 (día)	2 a 5 (horas)
Regular	1 (semana)	5 a 10 (horas)
Pobre	1 (mes)	Mas de 10 (horas)
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 (horas)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

**Tabla 46:** Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles expuestos a niveles de humedad.

Calidad de drenaje	Porcentaje que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

### Datos del Proyecto

Para el análisis del proyecto se asume un valor de saturación del 40%, con una calidad de drenaje regular para que se pueda drenar dicho porcentaje en las capas granulares. Al poseer una calidad regular de drenaje se obtiene un coeficiente de 0.90, al considerar estos valores con fines investigativos se asume este valor de drenaje para la capa base alterada, mientras que para el coeficiente de drenaje para la subbase se considerará una calidad de drenaje buena con un coeficiente de drenaje de valor 1.00, debido a que no sufre ninguna alteración.

#### g) Módulo resiliente de la Subrasante.

Las ecuaciones que proponen la AASHTO para encontrar el módulo resiliente en función del CBR son las siguientes:

$$M_{R(\text{psi})} = 1500 * (\text{CBR}) \text{ para CBR} < 10\% \text{ [36].}$$

$$M_{R(\text{psi})} = 3000 * (\text{CBR})^{0.65} \text{ para CBR de } 10\% \text{ a } 20\%$$

$$M_{R(\text{psi})} = 4326 * \ln \text{CBR} + 241 \text{ [36]}$$

### Datos del Proyecto

El valor de CBR de la subrasante para este proyecto es igual a 8.19, por lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$M_{R(\text{psi})} = 1500 * (\text{CBR})$$

$$M_{R(\text{psi})} = 1500 * (8.19) = \mathbf{12285 \text{ psi}}$$

#### h) Número estructural del diseño de pavimento flexible (SN).

Utilizando la ecuación propuesta por la AASHTO se determina el valor requerido para la carretera en el periodo de diseño.

**Figura 41:** Número estructural requerido para 20 años.

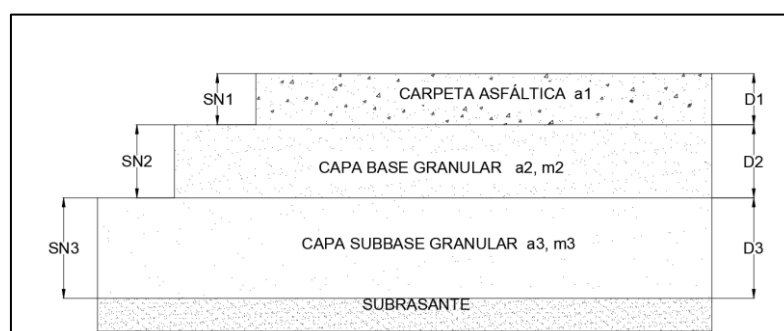
Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Luego de obtenido los datos necesarios para encontrar el número estructural se obtiene un valor de SN igual a 2.50. Este valor de número estructural se mantendrá en todos los diseños propuestos ya que el valor que cambiará será el valor de CBR de las bases de agregados.

### 3.8.2. Determinación de los espesores de las capas

Una vez encontrado el número estructural mediante el método propuesto por la AASHTO, se requiere encontrar un valor suficiente de capacidad y soporte que sea equivalente al número estructural de diseño original.

**Figura 42:** Estructura de pavimento flexible con sus coeficientes



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

$$SN = (a1 * D1) + (a2 * m2 * D2) + (a3 * m3 * D3)$$



Donde [36] :

$a_1, a_2, a_3$  , coeficientes estructurales de la carpeta, base y subbase correspondientemente.

$m_2, m_3$ , coeficientes de drenaje de la base y subbase.

$D_1, D_2, D_3$ , espesores de la carpeta, base y subbase respectivamente.

La guía de diseño de pavimento asfáltico muestra espesores de la carpeta y base mínimos [34] :

**Tabla 47:** Espesores mínimos en función de los ejes equivalentes.

Tránsito ESAL's en ejes equivalentes	Carpetas de concreto Asfáltico (D1)		Base granular (D2)	
	pulg	cm	pulg	cm
Menos de 50,000	1.0 ó T.S.	2.5	4.0	10.0
50,001-150,000	2.0	5.0	4.0	10.0
150,001-500,000	2.5	6.5	4.0	10.0
500,001-2'000,000	3.0	7.5	6.0	15.0
2'000,001-7'000,000	3.5	9.0	6.0	15.0
Mayor de 7'000,000	4.0	10.0	6.0	15.0

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

En la tabla 47 se muestran los espesores mínimos para la carpeta asfáltica y la base granular en función de los ejes equivalentes distribuidos en cada carril, debido a que para este proyecto se tomó valores del “Estudio para el asfaltado de la vía San Rafael, San Juan, Chan, E35, parroquia Eloy Alfaro cantón Latacunga provincia de Cotopaxi”[32] . Es un tipo de vía que está dentro del tipo III con una función colectora ya que posee un tráfico proyectado de 300 a 1000 según su TPDA.

### 3.8.3. Análisis de diseños de los espesores de carpeta de pavimento flexible con la base de agregados clase 3

#### Diseño 1 con Base de Agregados clase 3 Natural (0% cemento-0%Polvo Cerámico)

En el primer diseño se utiliza los valores de CBR de las bases de agregados clase 3 sin alterar, es decir sin la adición de cemento o polvo cerámico.

**a) Coeficiente estructural de la Carpeta Asfáltica (a1).**

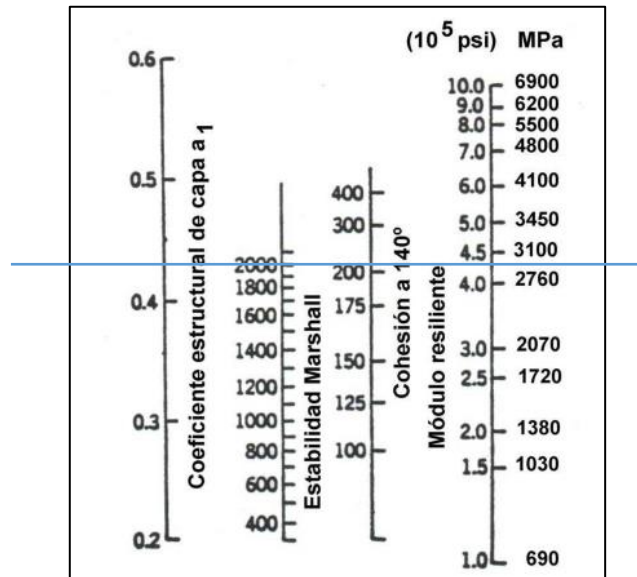
Para este proyecto en la determinación de la capa asfáltica se determina su coeficiente estructural en base a la tabla de ensayo Marshall (AASHTO-T245) que se muestra a continuación:

**Tabla 48:** Resumen de ensayo Marshall (AASHTO T-245)

Capa	Granulometría Tipo	Estabilidad (lbs)	Flujo (0.01pulg)	Vacíos totales (%)	VAM (%)	Vacíos llenados (VFA), (%)
Rodamiento	TNM 12	>1.800	8-14	3-5	>13	65-75

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34]

**Figura 43:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la carpeta asfáltica.

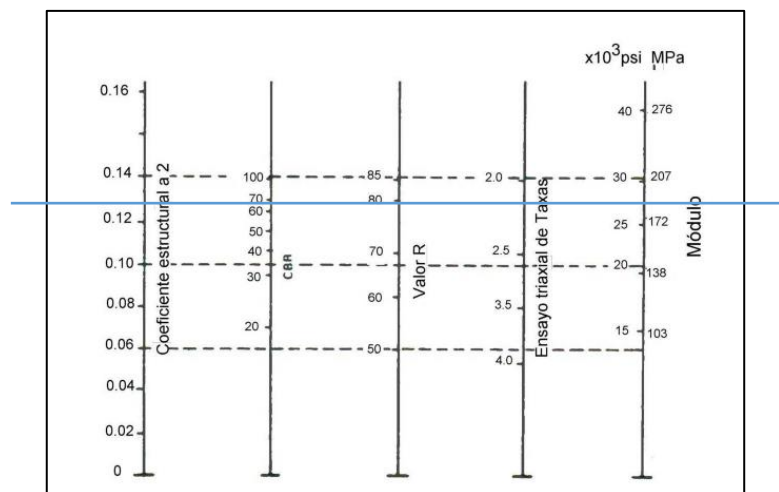


Fuente: Diseño de Pavimentos, (AASHTO T-93) [36].

La estabilidad en libras seleccionada para esta capa es de 2000 lbs, con un coeficiente estructural (a1) de 0.44 y con un módulo de elasticidad de  $4.25 \times 10^5$  psi (425ksi).

**b) Coeficiente estructural de la base granular clase 3 sin adición de cemento o polvo cerámico (a2).**

**Figura 44:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular.

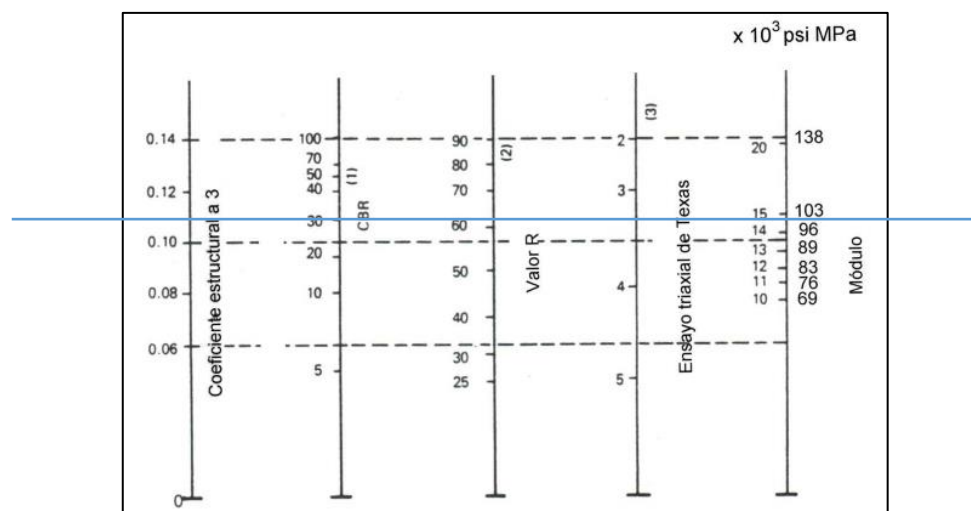


**Fuente:** Diseño de Pavimentos, (AASHTO T-93) [36].

En cuanto al coeficiente estructural de la base de agregados para este primer diseño, se utiliza el valor de CBR igual a 65.08, con el cual se obtiene un valor de coeficiente (a2) igual a 0.125 y un valor de módulo de elasticidad de  $28 \times 10^3$  psi (28 ksi). Según las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, (MOP-001-F2002), el valor de CBR para una base de agregados debe ser mayor que 80, por lo cual no se procede con el diseño 1 ya que no cumple las especificaciones necesarias para continuar con el mismo, sin embargo, al tratarse de un análisis con fines investigativos se procederá con el diseño. [24].

c) **Coefficiente estructural de la subbase granular clase 3 sin adición de %cemento o % polvo cerámico (a3).**

**Figura 45:** Nomograma de coeficiente estructural para subbase granular (a3)



d) Fuente: Diseño de Pavimentos, (AASHTO T-93) [36].

Para este proyecto se estima un valor %CBR de 30 por lo cual en la figura 45 se puede encontrar un valor de coeficiente estructural de 0.11 y un módulo de elasticidad de  $14.9 \times 10^3$  psi (14.9ksi).

**Tabla 49:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible- Diseño 1.

Diseño 1 Base de agregados clase 3 (0%Cemento-0%polvo cerámico)			
Elemento de Diseño de Pavimento Flexible		Valores	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal (Z <sub>r</sub> )		-0.841	
Desviación estándar global (S <sub>o</sub> )		0.49	
Índice de serviciabilidad (Δpsi)	Inicial (P <sub>o</sub> )	3.80	Δpsi=1.80
	Final (P <sub>t</sub> )	2.00	
Coeficiente de drenaje de base y subbase (m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> )		1.00	
% CBR Base (0%Cemento-0%Polvo Cerámico)	65.08	Menor que CBR=80 <b>No Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)	

Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)	12285.00
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)	0.44
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)	4.25 x10 <sup>5</sup>
Coeficiente estructural de la base de agregados (a2)	0.125
Módulo de elasticidad de la base de agregados	28 x10 <sup>3</sup> psi
Coeficiente estructural de la sub base (a3)	0.11
Módulo de elasticidad de la sub base	14.9 x10 <sup>3</sup> psi
<b>Cálculo de Número Estructural</b>	
NE Requerido	2.50
NE Obtenido	2.69

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 50:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 1.

<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b> : Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b> : 1 y 2		
<b>SECCION</b> : km + a km 8+500	<b>FECHA</b> : 2/08/2022		
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			425.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			632,350
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.49
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.28
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			3.8
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.440
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.125
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.110
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			1.000
Subbase (m <sub>3</sub> )			1.000
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>2.49</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>1.80</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BC</sub> )	<b>0.51</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>0.18</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
	TEORICO	PROPUESTA	
		ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10.4 cm	<b>5.0 cm</b>	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	10.3 cm	<b>15.0 cm</b>	0.74
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	<b>25.0 cm</b>	1.08
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>45.0 cm</b>	<b>2.69</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

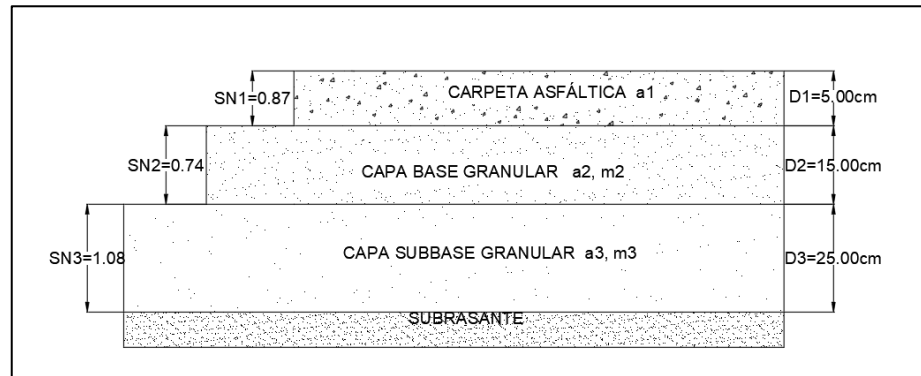
Con la muestra de base de agregados clase 3 sin estabilizar, es decir sin la adición de cemento o polvo cerámico se obtienen los siguientes espesores de capa:

-Espesor Carpeta asfáltica= 5 cm

-Espesor de la capa base granular= 15 cm

-Espesor de la capa subbase granular=25 cm

**Figura 46:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 1



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

### Diseño 2 con Base de Agregados clase 3 (5% cemento-0%Polvo Cerámico)

En el segundo diseño se utiliza el valor de %CBR (97.15) de la base de agregados clase 3 alterada con la combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, un método de estabilización.

#### e) Coeficiente estructural de la base granular clase 3 con adición de 5% cemento o 0% polvo cerámico (a2).

En cuanto al segundo diseño de la estructura de pavimento flexible se utiliza el nomograma correspondiente a las bases estabilizadas, para lo cual es posible encontrar su coeficiente y módulo de elasticidad a partir de la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días o también utilizando la siguiente fórmula [34]:

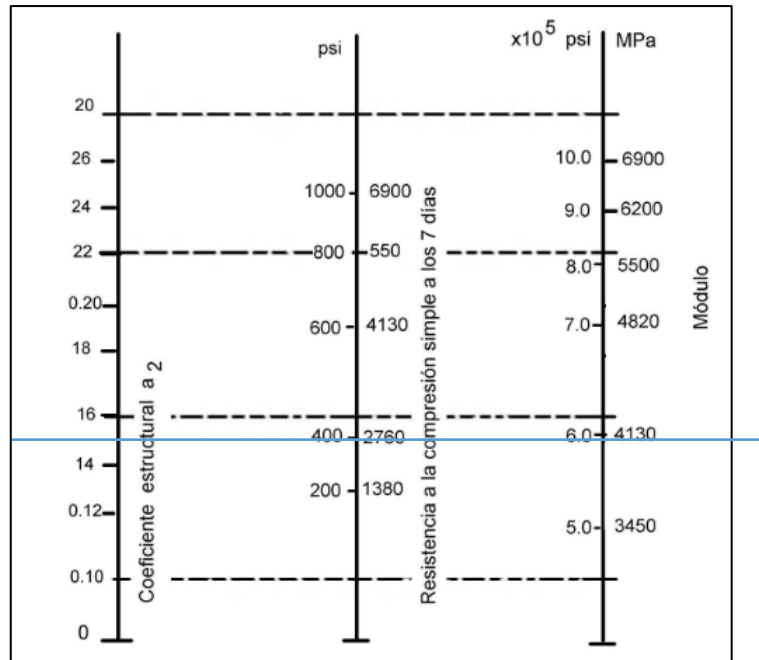
$$a_2 = 0.0918(f'c)^{0.514}$$

Donde [34]:

$a_2$ , coeficiente estructural de la base estabilizada.

$f'c$ , resistencia a la compresión inconfiada (Mpa).

**Figura 47:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

Para esta combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico se obtiene una resistencia de 2.63 Mpa (381.47 psi).

$$a_2 = 0.0918(2.63)^{0.514}$$

$$a_2 = 0.15$$

A partir de los datos de proyecto se obtiene un coeficiente ( $a_2$ ) igual a 0.15 y un módulo de elasticidad de  $5.9 \times 10^5$  psi.



**Tabla 51:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 2

<b>Diseño 2 Base de agregados clase 3 (5% Cemento-0% polvo cerámico)</b>			
<b>Elemento de Diseño de Pavimento Flexible</b>		<b>Valores</b>	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal (Zr)		-0.841	
Desviación estándar global (So)		0.49	
Índice de serviciabilidad ( $\Delta$ psi)	Inicial (Po)	3.80	$\Delta$ psi=1.80
	Final (Pt)	2.00	
Coeficiente de drenaje de base		0.90	
Coeficiente de drenaje de subbase		1.00	
% <b>CBR Base (5% Cemento-0% Polvo Cerámico)</b>		97.15	Mayor que CBR=80 <b>Si Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)
Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)		12285.00	
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)		0.44	
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)		4.25 x10 <sup>5</sup>	
Coeficiente estructural de la base de agregados (a2)		0.15	
Módulo de elasticidad de la base de agregados		5.9 x10 <sup>5</sup> psi	
Coeficiente estructural de la sub base (a3)		0.11	
Módulo de elasticidad de la sub base		14.9 x10 <sup>3</sup> psi	
<b>Cálculo de Número Estructural</b>			
NE Requerido		2.50	
NE Obtenido		2.53	

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

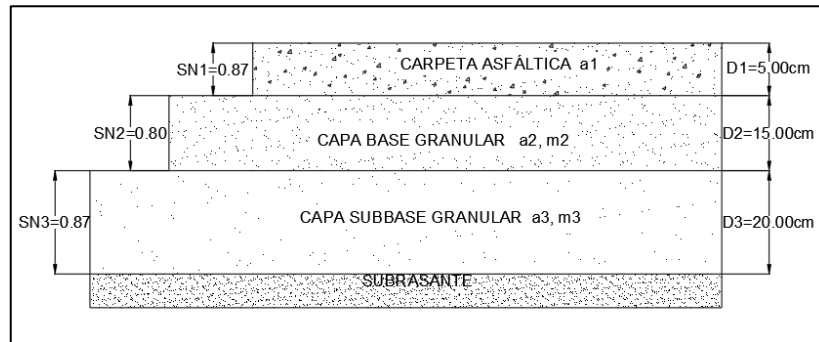
**Tabla 52:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 2.

<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b> : Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b> : 1km		
<b>SECCION</b> : km + a km 1+000	<b>FECHA</b> : 2/08/2022		
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)		425.00	
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)		590.00	
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)		14.90	
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		632.350	
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		80%	
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)		-0.841	
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)		0.49	
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)		12.28	
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		3.8	
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)		2.0	
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)		20	
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )		0.440	
Base granular (a <sub>2</sub> )		0.150	
Subbase (a <sub>3</sub> )		0.110	
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m <sub>2</sub> )		0.900	
Subbase (m <sub>3</sub> )		1.000	
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	2.49		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	0.31		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	2.00		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	0.18		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	1.8 cm	5.0 cm	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	37.6 cm	15.0 cm	0.80
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	20.0 cm	0.87
ESPESOR TOTAL (cm)		40.0 cm	2.53
<b>DISEÑADO POR</b> :		<i>fm</i>	

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Con la muestra de la base de agregados clase 3 con 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, es decir con la base estabilizada se obtienen los siguientes espesores por capa:

**Figura 48:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño2



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

-Espesor Carpeta asfáltica= 5.0 cm

-Espesor de la capa base granular= 15.0 cm

-Espesor de la capa subbase granular= 20.0 cm

### Diseño 3 con Base de Agregados clase 3 (3.40% cemento-8%Polvo Cerámico)

Para el tercer diseño se utiliza los porcentajes óptimos obtenidos, a partir del valor de %CBR óptimo (170), se obtiene la combinación de 3.40% Cemento y 8% de polvo cerámico para la estabilización de la base de agregados clase 3 con una resistencia a la compresión simple de 1.79 Mpa (18.24 kg/cm<sup>2</sup>).

#### f) Coeficiente estructural de la base granular clase 3 con adición de 3.40% cemento y 8% polvo cerámico (a2).

En cuanto al tercer diseño de la estructura de pavimento flexible se utiliza el nomograma correspondiente a las bases estabilizadas, para lo cual es posible encontrar su coeficiente y módulo de elasticidad a partir de la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días o también utilizando la siguiente fórmula [34]:

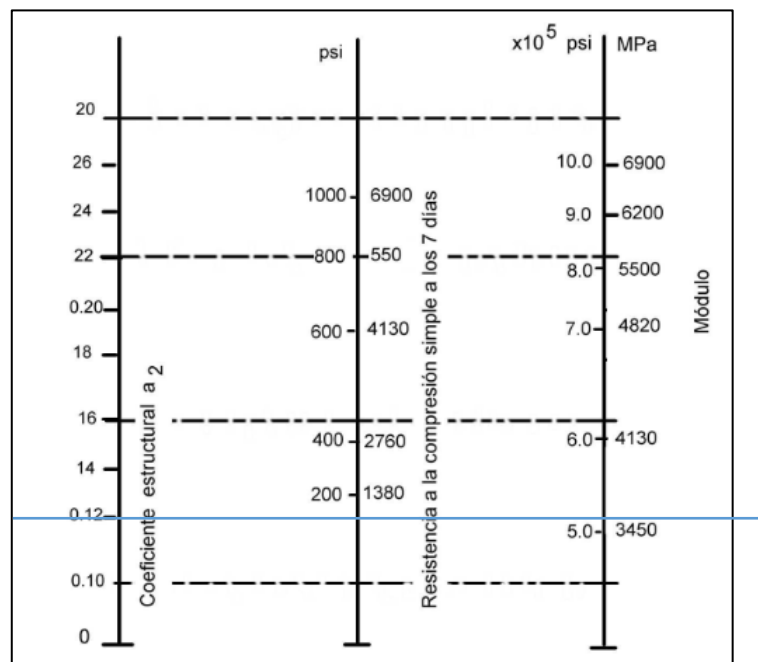
$$a_2 = 0.0918(f'c)^{0.514}$$

Donde [34]:

$a_2$ , coeficiente estructural de la base estabilizada.

$f'c$ , resistencia a la compresión inconfiada (Mpa).

**Figura 49:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

Para esta combinación de 3.40% de cemento y 8% de polvo cerámico se obtiene una resistencia de 1.79 Mpa (259.4 psi).

$$a_2 = 0.0918(1.79)^{0.514}$$

$$a_2 = 0.124$$

A partir de los datos de proyecto se obtiene un coeficiente ( $a_2$ ) igual a 0.124 y un módulo de elasticidad de  $5.1 \times 10^5$  psi.

**Tabla 53:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 3

<b>Diseño 3 Base de agregados clase 3 (3.40%Cemento-8%polvo cerámico)</b>			
<b>Elemento de Diseño de Pavimento Flexible</b>		<b>Valores</b>	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal (Zr)		-0.841	
Desviación estándar global (So)		0.49	
Índice de serviciabilidad ( $\Delta$ psi)	Inicial (Po)	3.80	$\Delta$ psi=1.80
	Final (Pt)	2.00	
Coeficiente de drenaje de base		0.90	
Coeficiente de drenaje de subbase		1.00	
% <b>CBR Base (10%Cemento-8%Polvo Cerámico)</b>		170	Mayor que CBR=80 <b>Si Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)
Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)		12285.00	
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)		0.44	
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)		4.25 x10 <sup>5</sup>	
Coeficiente estructural de la base de agregados (a2)		0.124	
Módulo de elasticidad de la base de agregados		5.1 x10 <sup>5</sup> psi	
Coeficiente estructural de la sub base (a3)		0.11	
Módulo de elasticidad de la sub base		14.9 x10 <sup>3</sup> psi	
<b>Cálculo de Número Estructural</b>			
NE Requerido		2.50	
NE Obtenido		2.52	

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

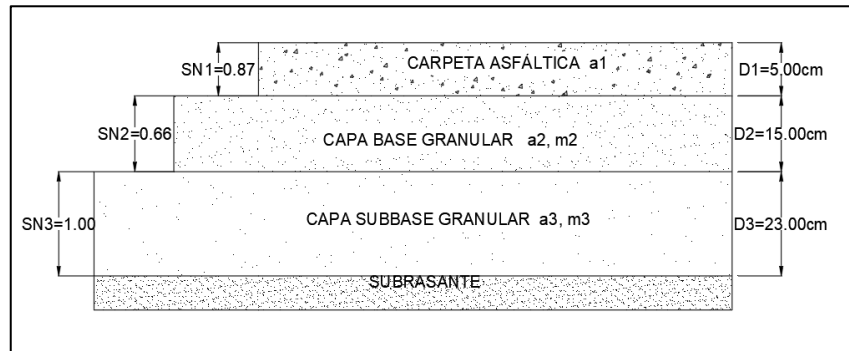
**Tabla 54:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 3.

<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b>	: Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b>	: 1
<b>SECCION</b>	: km + a km 1+000	<b>FECHA</b>	: 2/08/2022
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			425.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			510.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			632,350
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.49
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.28
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			3.8
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.440
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.124
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.110
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.900
Subbase (m <sub>3</sub> )			1.000
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	2.49		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	0.36		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	1.95		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	0.18		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	<b>TEORICO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>SN*</b>
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	2.1 cm	<b>5.0 cm</b>	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	44.5 cm	<b>15.0 cm</b>	0.66
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	<b>23.0 cm</b>	1.00
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>43.0 cm</b>	<b>2.52</b>
<b>DISEÑADO POR</b>	:		<i>fm</i>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Con la muestra de la base de agregados clase 3 con los porcentajes óptimos 3.40% de cemento y 8% de polvo cerámico, es decir con la base estabilizada se obtienen los siguientes espesores por capa:

**Figura 50:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño3



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

- Espesor Carpeta asfáltica= 5.0 cm
- Espesor de la capa base granular= 15.0 cm
- Espesor de la capa subbase granular= 23.0 cm

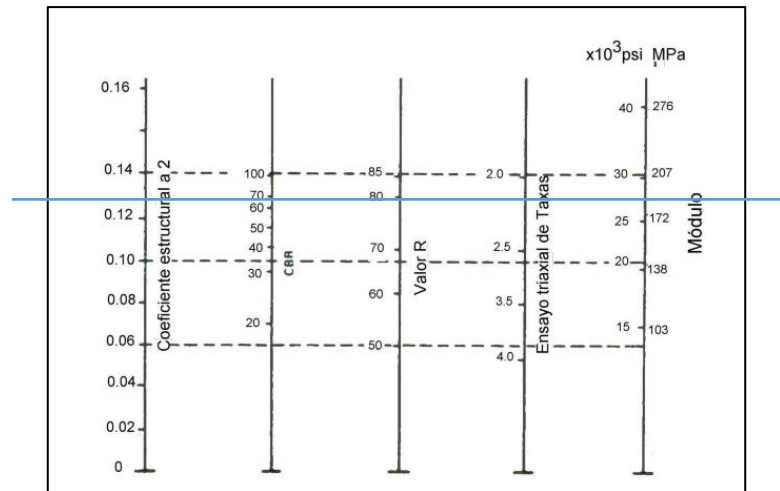
### 3.8.4. Análisis de diseños de los espesores de carpeta de pavimento flexible con la base de agregados clase 4

#### Diseño 4 con Base de Agregados clase 4 Natural (0% cemento-0%Polvo Cerámico)

En cuanto al diseño 4 se utiliza los valores de CBR de las bases de agregados clase 4 sin alterar, es decir sin la adición de cemento o polvo cerámico. Además, que los valores para los coeficientes estructurales de la carpeta asfáltica y la subbase de agregados se utilizan los valores utilizados en los diseños de la base de agregados clase 3.

- a) Coeficiente estructural de la base granular clase 4 sin adición de cemento o polvo cerámico (a2).

**Figura 51:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base Granular.



**Fuente:** Diseño de Pavimentos, (AASHTO T-93) [36].

En cuanto al coeficiente estructural de la base de agregados para este primer diseño, se utiliza el valor de CBR igual a 66.27, con el cual se obtiene un valor de coeficiente (a2) igual a 0.13 y un valor de módulo de elasticidad de  $28.5 \times 10^3$  psi (28.5ksi). Según las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES, (MOP-001-F2002), el valor de CBR para una base de agregados debe ser mayor que 80, por lo cual no se procede con el diseño 4 ya que no cumple las especificaciones necesarias para continuar con el mismo, sin embargo, al tratarse de un análisis con fines investigativos se procederá con el diseño. [24].



**Tabla 55:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-  
Diseño 4.

<b>Diseño 4 Base de agregados clase 4 (0%Cemento-0%polvo cerámico)</b>			
<b>Elemento de Diseño de Pavimento Flexible</b>		<b>Valores</b>	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal ( $Z_r$ )		-0.841	
Desviación estándar global ( $S_o$ )		0.49	
Índice de serviciabilidad ( $\Delta\psi$ )	Inicial ( $P_o$ )	3.80	$\Delta\psi=1.80$
	Final ( $P_t$ )	2.00	
Coeficiente de drenaje de base y subbase (m2, m3)		1.00	
% <b>CBR Base (0%Cemento-0%Polvo Cerámico)</b>		66.27	Menor que CBR=80 <b>No Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)
Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)		12285.00	
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica ( $a_1$ )		0.44	
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)		$4.25 \times 10^5$	
Coeficiente estructural de la base de agregados ( $a_2$ )		0.13	
Módulo de elasticidad de la base de agregados		$28.5 \times 10^3$ psi	
Coeficiente estructural de la sub base ( $a_3$ )		0.11	
Módulo de elasticidad de la sub base		$14.9 \times 10^3$ psi	
<b>Cálculo de Número Estructural</b>			
NE Requerido		2.50	
NE Obtenido		2.72	

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 56:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 4.

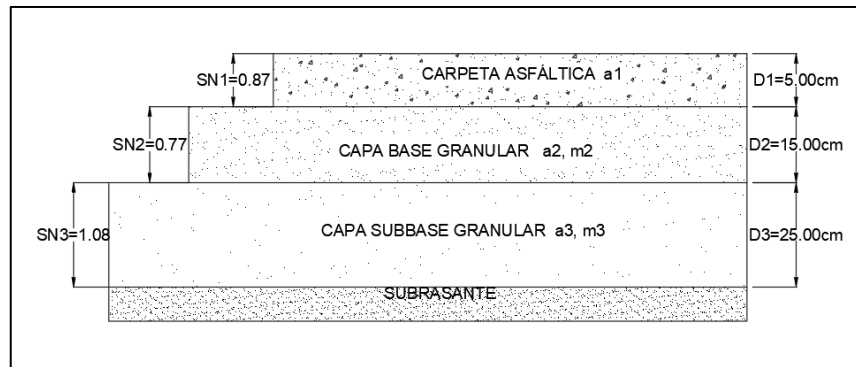
<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b> : Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b> :	1	
<b>SECCION</b> : km + a km 1+000	<b>FECHA</b> :	2/08/2022	
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			425.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			28.50
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			632,350
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.49
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.28
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			3.8
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.440
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.130
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.110
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m <sub>2</sub> )			1.000
Subbase (m <sub>3</sub> )			1.000
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )		<b>2.49</b>	
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )		<b>1.80</b>	
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )		<b>0.52</b>	
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )		<b>0.18</b>	
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	10.4 cm	<b>5.0 cm</b>	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	10.1 cm	<b>15.0 cm</b>	0.77
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	<b>25.0 cm</b>	1.08
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>45.0 cm</b>	<b>2.72</b>
<b>DISEÑADO POR :</b>			<i>fm</i>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Con la muestra de base de agregados clase 4 sin estabilizar, es decir sin la adición de cemento o polvo cerámico se obtienen los siguientes espesores de capa:

- Espesor Carpeta asfáltica= 5.0 cm
- Espesor de la capa base granular= 15.0 cm
- Espesor de la capa subbase granular=25.0 cm

**Figura 52:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 4



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

### Diseño 5 con Base de Agregados clase 4 (5% cemento-0%Polvo Cerámico)

En el segundo diseño se utiliza el valor de %CBR (95.78) de la base de agregados clase 4 alterada con la combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, un método de estabilización.

#### b) Coeficiente estructural de la base granular clase 4 con adición de 5% cemento o 0% polvo cerámico (a2).

En cuanto al segundo diseño de la estructura de pavimento flexible se utiliza el nomograma correspondiente a las bases estabilizadas, para lo cual es posible encontrar su coeficiente y módulo de elasticidad a partir de la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días o también utilizando la siguiente fórmula [34]:

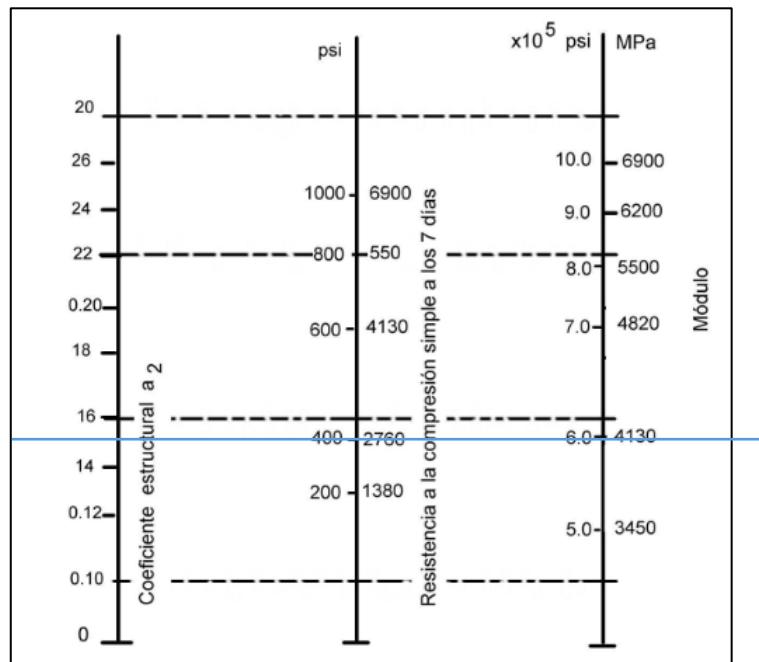
$$a_2 = 0.0918(f'c)^{0.514}$$

Donde [34]:

$a_2$ , coeficiente estructural de la base estabilizada.

$f'_c$ , resistencia a la compresión inconfiada (Mpa).

**Figura 53:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

Para esta combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico se obtuvo una resistencia de 2.61 Mpa (378.55 psi o 26.61 kg/cm<sup>2</sup>).

$$a_2 = 0.0918(2.61)^{0.514}$$

$$a_2 = 0.152$$

A partir de los datos de proyecto se obtiene un coeficiente ( $a_2$ ) igual a 0.152 y un módulo de elasticidad de  $6 \times 10^5$  psi.

**Tabla 57:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 5

<b>Diseño 5 Base de agregados clase 4 (5%Cemento-0%polvo cerámico)</b>			
<b>Elemento de Diseño de Pavimento Flexible</b>		<b>Valores</b>	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal (Zr)		-0.841	
Desviación estándar global (So)		0.49	
Índice de serviciabilidad ( $\Delta$ psi)	Inicial (Po)	3.80	$\Delta$ psi=1.80
	Final (Pt)	2.00	
Coeficiente de drenaje de base		0.90	
Coeficiente de drenaje de subbase		1.00	
<b>% CBR Base (5%Cemento-0%Polvo Cerámico)</b>		95.78	Mayor que CBR=80 <b>Si Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)
Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)		12285.00	
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)		0.44	
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)		4.25 x10 <sup>5</sup>	
Coeficiente estructural de la base de agregados (a2)		0.152	
Módulo de elasticidad de la base de agregados		6.0 x10 <sup>5</sup> psi	
Coeficiente estructural de la sub base (a3)		0.11	
Módulo de elasticidad de la sub base		14.9 x10 <sup>3</sup> psi	
<b>Cálculo de Número Estructural</b>			
NE Requerido		2.50	
NE Obtenido		2.54	

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

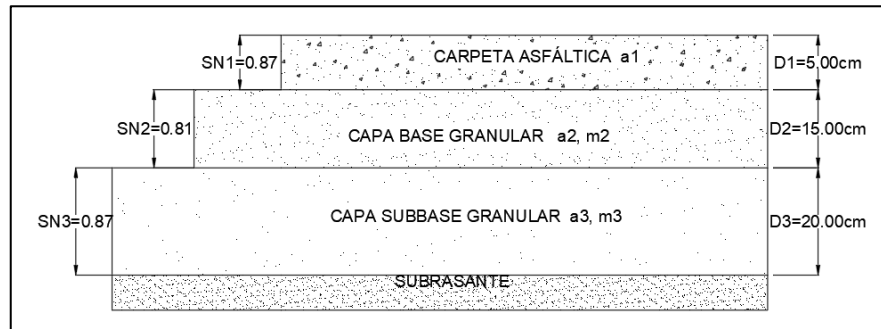
**Tabla 58:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 5.

<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b> :	Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b> :	1
<b>SECCION</b> :	km + a km 1+000	<b>FECHA</b> :	2/08/2022
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			425.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			600.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			632,350
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.49
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.28
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			3.8
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a1)			0.440
Base granular (a2)			0.152
Subbase (a3)			0.110
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m2)			0.900
Subbase (m3)			1.000
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	2.49		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	0.31		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>GC</sub> )	2.01		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	0.18		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	TEORICO	ESPESOR	SN*
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	1.8 cm	<b>5.0 cm</b>	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	37.2 cm	<b>15.0 cm</b>	0.81
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	<b>20.0 cm</b>	0.87
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>40.0 cm</b>	<b>2.54</b>
<b>DISEÑADO POR</b> :			<i>fm</i>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Con la muestra de la base de agregados clase 4 con 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, es decir con la base estabilizada se obtienen los siguientes espesores por capa:

**Figura 54:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 5



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

-Espesor Carpeta asfáltica= 5.00 cm

-Espesor de la capa base granular= 15.00 cm

-Espesor de la capa subbase granular= 20.00 cm

#### Diseño 6 con Base de Agregados clase 4 (3.00% cemento-9.20%Polvo Cerámico)

Para el tercer diseño se utiliza los porcentajes óptimos obtenidos, a partir del valor de %CBR óptimo (155.07), se obtiene la combinación de 3.00% Cemento y 9.20% de polvo cerámico para la estabilización de la base de agregados clase 4 con una resistencia a la compresión simple de 1.57 Mpa (15.94 kg/cm<sup>2</sup>).

- c) **Coefficiente estructural de la base granular clase 4 con adición de 3% cemento o 9.20% polvo cerámico (a2).**

En cuanto al tercer diseño de la estructura de pavimento flexible se utiliza el nomograma correspondiente a las bases estabilizadas, para lo cual es posible encontrar su coeficiente y módulo de elasticidad a partir de la resistencia a la compresión alcanzada a los 7 días o también utilizando la siguiente fórmula [34]:

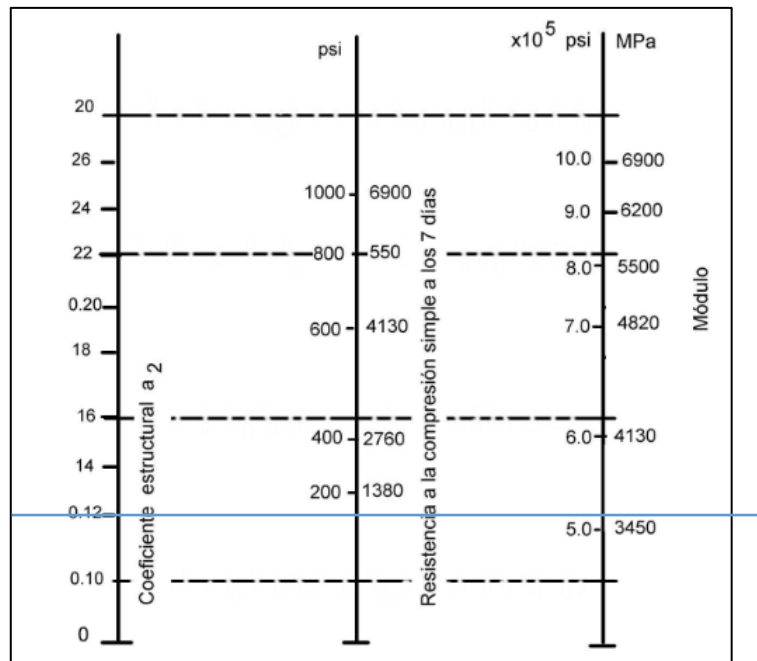
$$a_2 = 0.0918(f'c)^{0.514}$$

Donde [34]:

$a_2$ , coeficiente estructural de la base estabilizada.

$f'_c$ , resistencia a la compresión inconfiada (Mpa).

**Figura 55:** Nomograma para estimar el coeficiente estructural de la Base tratada con cemento.



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures [34].

Para esta combinación de 3% de cemento y 9.20% de polvo cerámico se obtuvo una resistencia de 1.57 Mpa (227.13 psi o 15.94 kg/cm<sup>2</sup>).

$$a_2 = 0.0918(1.57)^{0.514}$$

$$a_2 = 0.121$$

A partir de los datos de proyecto se obtiene un coeficiente ( $a_2$ ) igual a 0.121 y un módulo de elasticidad de  $5.1 \times 10^5$  psi.



**Tabla 59:** Resumen de parámetros del diseño de pavimento flexible-Diseño 6

<b>Diseño 6 Base de agregados clase 4 (3%Cemento-9.20%polvo cerámico)</b>			
<b>Elemento de Diseño de Pavimento Flexible</b>		<b>Valores</b>	
Periodo de Diseño		20 años	
Carga de Tráfico o ejes equivalentes (W18)		632350	
Confiabilidad (R)		80%	
Desviación estándar normal (Zr)		-0.841	
Desviación estándar global (So)		0.49	
Índice de serviciabilidad ( $\Delta$ psi)	Inicial (Po)	3.80	$\Delta$ psi=1.80
	Final (Pt)	2.00	
Coeficiente de drenaje de base		0.90	
Coeficiente de drenaje de subbase		1.00	
% <b>CBR Base (5%Cemento-0%Polvo Cerámico)</b>		95.78	Mayor que CBR=80 <b>Si Cumple</b> especificaciones (MOP-001-F2002)
Módulo resiliente de la Subrasante (MR)(psi)		12285.00	
Coeficiente estructural de la carpeta asfáltica (a1)		0.44	
Módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica (psi)		4.25 x10 <sup>5</sup>	
Coeficiente estructural de la base de agregados (a2)		0.121	
Módulo de elasticidad de la base de agregados		5.1 x10 <sup>5</sup> psi	
Coeficiente estructural de la sub base (a3)		0.11	
Módulo de elasticidad de la sub base		14.9 x10 <sup>3</sup> psi	
<b>Cálculo de Número Estructural</b>			
NE Requerido		2.50	
NE Obtenido		2.51	

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

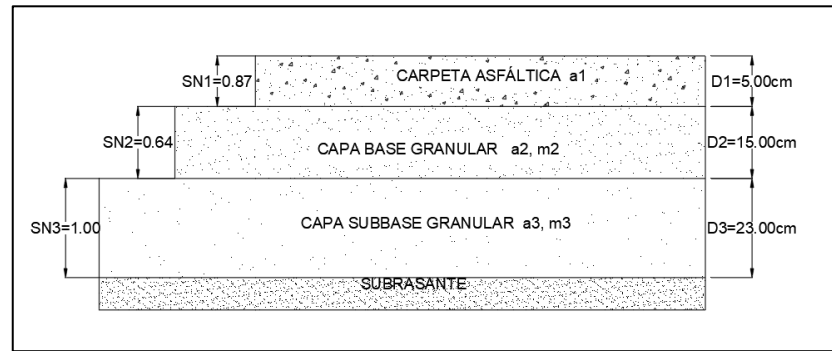
**Tabla 60:** Diseño de Pavimento Flexible (AASHTO 93)- Diseño 6.

<b>DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHTO 1993</b>			
<b>PROYECTO</b>	: Vía San Rafael-San Juan-Chan-E35	<b>TRAMO</b>	: 1
<b>SECCION</b>	: km + a km 1+000	<b>FECHA</b>	: 2/08/2022
<b>DATOS DE ENTRADA :</b>			
<b>1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES</b>			<b>DATOS</b>
A. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA MEZCLA ASFALTICA (ksi)			425.00
B. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BASE GRANULAR (ksi)			510.00
C. MODULO DE ELASTICIDAD DE LA SUB-BASE (ksi)			14.90
<b>2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE</b>			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)			632,350
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)			80%
DESVIACION ESTANDAR NORMAL (Zr)			-0.841
DESVIACION ESTANDAR GLOBAL (So)			0.49
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			12.28
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)			3.8
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)			2.0
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)			20
<b>3. DATOS PARA ESTRUCTURACION DEL REFUERZO</b>			
<b>A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA</b>			
Concreto Asfáltico Convencional (a <sub>1</sub> )			0.440
Base granular (a <sub>2</sub> )			0.121
Subbase (a <sub>3</sub> )			0.110
<b>B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA</b>			
Base granular (m <sub>2</sub> )			0.900
Subbase (m <sub>3</sub> )			1.000
<b>DATOS DE SALIDA :</b>			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN <sub>REQ</sub> )	<b>2.49</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA (SN <sub>CA</sub> )	<b>0.22</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL BASE GRANULAR (SN <sub>BG</sub> )	<b>2.09</b>		
NUMERO ESTRUCTURAL SUB BASE (SN <sub>SB</sub> )	<b>0.18</b>		
<b>ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO</b>			
		<b>PROPUESTA</b>	
	<b>TEORICO</b>	<b>ESPESOR</b>	<b>SN*</b>
ESPESOR CARPETA ASFALTICA (cm)	1.3 cm	<b>5.0 cm</b>	0.87
ESPESOR BASE GRANULAR (cm)	48.7 cm	<b>15.0 cm</b>	0.64
ESPESOR SUB BASE GRANULAR (cm)	4.2 cm	<b>23.0 cm</b>	1.00
ESPESOR TOTAL (cm)		<b>43.0 cm</b>	<b>2.51</b>
<b>DISEÑADO POR</b>	:		<i>fm</i>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

Con la muestra de la base de agregados clase 4 con los porcentajes óptimos 3% de cemento y 9.20% de polvo cerámico, es decir con la base estabilizada se obtienen los siguientes espesores por capa:

**Figura 56:** Espesores de la capa de pavimento flexible-Diseño 6



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

- Espesor Carpeta asfáltica= 5.0 cm
- Espesor de la capa base granular= 15.0 cm
- Espesor de la capa subbase granular= 23.0 cm

### 3.9. Análisis de diseños utilizando las bases de agregados clase 3 y 4

#### 3.9.1. Análisis de diseños (D1, D2, D3), con la base de agregados clase 3

Los espesores de las diferentes capas en los diseños obtenidos para la base de agregados clase 3 fueron los siguientes:

**Tabla 61:** Diseños de espesores de capa con la utilización de la base de agregados clase 3.

<b>DISEÑO 1</b>			
<b>Cemento= 0%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 0%</b>			
<b>Espesor Carpeta asfáltica (cm)</b>	<b>Espesor Base de Agregados (cm)</b>	<b>Espesor Sub base de Agregados (cm)</b>	<b>Espesor Total (cm)</b>
5.00	15.00	25.00	45.00

<b>DISEÑO 2</b>			
<b>Cemento= 5%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 0%</b>			
5.00	15.00	20.00	40.00
<b>DISEÑO 3</b>			
<b>Cemento= 3.40%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 8%</b>			
5.00	15.00	23.00	43.00

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

En el diseño 1 se trata de los espesores que conforman la estructura de pavimento con la base de agregados clase 3 sin ninguna alteración, en donde se obtiene un espesor de 45.00cm, mientras que el diseño 2 y diseño 3 con la adición de cemento y el polvo cerámico como se muestra en la tabla 58, muestran espesores menores que el espesor de carpeta asfáltica sin alteración. Cabe mencionar que los porcentajes óptimos obtenidos para el diseño 3 se obtienen a partir del %CBR óptimo que es de 170, el cual sobrepasa el mínimo establecido que es de 80% en la resistencia del suelo.

### 3.9.2. Análisis de diseños (D4, D5, D6), con la base de agregados clase 4

Los espesores obtenidos en los diseños de estructura de pavimento para la base de agregados clase 4 con y sin alteración fueron los siguientes:

**Tabla 62:** Diseños de espesores de capa con la utilización de la base de agregados clase 4.

<b>DISEÑO 4</b>			
<b>Cemento= 0%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 0%</b>			
<b>Espesor Carpeta asfáltica (cm)</b>	<b>Espesor Base de Agregados (cm)</b>	<b>Espesor Sub base de Agregados (cm)</b>	<b>Espesor Total (cm)</b>
5.00	15.00	25.00	45.00

<b>DISEÑO 5</b>			
<b>Cemento= 5%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 0%</b>			
5.00	15.00	20.00	40.00
<b>DISEÑO 6</b>			
<b>Cemento= 3%</b>			
<b>Polvo Cerámico= 9.20%</b>			
5.00	15.00	23.00	43.00

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

En la tabla 62 se muestran los espesores por capa y espesores totales de los diseños para la base de agregados clase 4 alterada e inalterada, en donde se observa un espesor de 45.00 cm para el diseño que esta conformado por la base de agregados clase 4 sin alterar, mientras que para los demás diseños que se muestran se obtienen espesores de 40.00cm y 43.00cm para el diseño 5 y 6 respectivamente. Es notable mencionar que para el diseño 6 se usa porcentajes óptimos de cemento y polvo cerámico para alcanzar un %CBR de 155.07, sin embargo, en los resultados de resistencia a la compresión simple se puede notar que su resistencia disminuye al reducir el contenido de cemento.

### **3.10. Análisis económico de los diseños con las bases de agregados clase 3**

En cuanto al análisis económico de los diseños de la estructura de pavimento que utilizan las bases de agregados clase 3, se analizará la capa asfáltica, la base de agregados clase 3 alterada o sin alterar y la capa de subbase clase 3, en el cual se analiza en función de los espesores obtenidos para los diseños 1, 2 y 3.

Para este análisis se utilizó como referente el análisis de precios unitarios del proyecto “Asfaltado de la vía San Rafael, San Juan, Chan, E35, parroquia Eloy Alfaro cantón Latacunga provincia Cotopaxi”[32], todos los datos concernientes al proyecto mencionado anteriormente son utilizados para la base de agregados clase 3 y la base de agregados clase 4 alteradas e inalteradas.

En cuanto al análisis y cuantificación por capa se tomó como referencia un ancho de la calzada de 7.30m, conformado por dos carriles de 3.65 m cada uno y una longitud

de análisis de 1000m. En función de las dimensiones antes mencionadas se muestran a continuación los presupuestos para los diseños 1,2 y 3, utilizando las bases de agregados clase 3 alteradas y sin alterar.

**Tabla 63:** Presupuesto de diseño 1

<b>DISEÑO 1- PRESUPUESTO</b>					
<b>Cemento: 0%</b>					
<b>Polvo Cerámico: 0%</b>					
<b>%CBR= 65.08</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 3	m3	1095	15.98	17497.94
3	Subbase clase 3	m3	1825	6.34	11579.25
<b>TOTAL</b>					<b>75452.12</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 64:** Presupuesto de diseño 2

<b>DISEÑO 2- PRESUPUESTO</b>					
<b>Cemento: 5%</b>					
<b>Polvo Cerámico: 0%</b>					
<b>%CBR: 97.15</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 3 estabilizada con 5% cemento	m3	1095	28.43	31132.22
3	Subbase clase 3	m3	1460	6.34	9263.40
<b>TOTAL</b>					<b>86770.56</b>

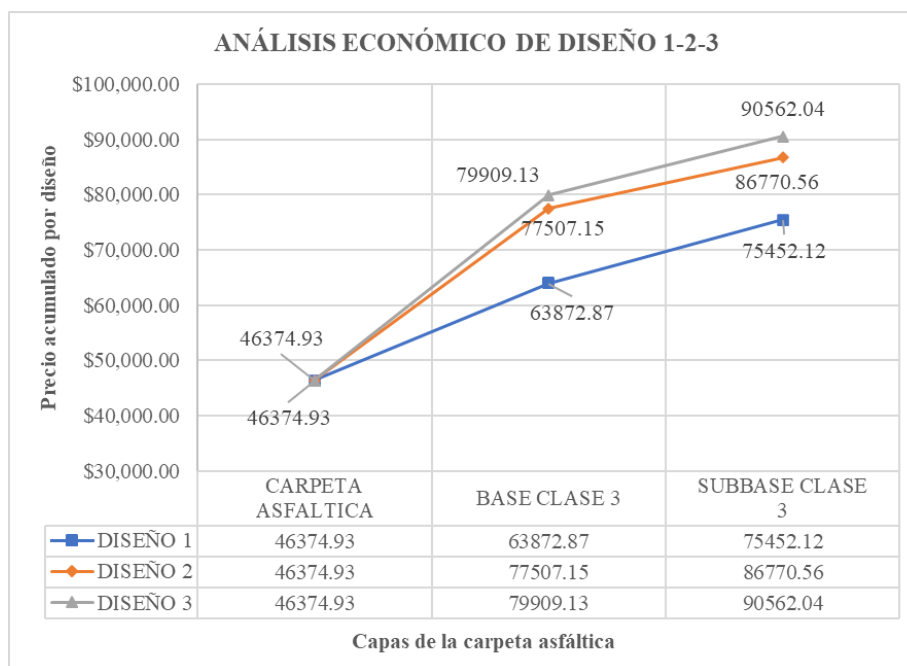
Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 65:**Presupuesto de diseño 3

<b>DISEÑO 3- PRESUPUESTO</b>					
<b>Cemento: 3.40%</b>					
<b>Polvo Cerámico: 8%</b>					
<b>%CBR: 170</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 3 estabilizada con 3.40% cemento-8% polvo cerámico	m3	1095	30.62	33534.20
3	Subbase clase 3	m3	1679	6.34	10652.91
<b>TOTAL</b>					<b>90562.04</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Figura 57:** Análisis comparativo entre diseños con la base de agregados clase 3



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

En la figura 57 se puede observar la variación económica en cuanto a la utilización de la base de agregados alterada e inalterada. El diseño 1 corresponde a la utilización de la base de agregados clase 3 sin alterar, es decir en su estado natural, en donde según sus espesores de capa se obtiene un valor acumulado de \$75,452.12, mientras que al realizar la estabilización con la combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico concerniente al diseño 2, muestra una reducción de espesor en las capas, sin embargo existe un aumento en el presupuesto debido a que en el rubro se adiciona el porcentaje de cemento, por lo que se obtiene un precio acumulado de \$86,770.56, en el cual se observa un aumento de \$11,318.43. En el diseño 3 se realiza la combinación óptima de cemento (3.40%) y polvo cerámico (8%), lo que permite obtener una reducción en los espesores, mientras tanto en el presupuesto para este diseño el valor es mayor con \$90,562.04 en comparación al diseño 2 que es la estabilización con el 5% de cemento. Debido a la adición de polvo cerámico en la estabilización se puede observar este incremento del presupuesto. Sin embargo, es necesario mencionar que, gracias a la adición del polvo cerámico, esta base de agregados llega a obtener un alto porcentaje de CBR de 170. El incremento que se produce al realizar el reemplazo parcial del cemento con el polvo cerámico es de \$3791.48 un 4.37% de aumento en comparación con el diseño 2, lo cual en una obra de gran magnitud no representaría un excesivo valor por cada kilómetro.

### **3.11. Análisis económico de los diseños con las bases de agregados clase 4**

El análisis concerniente a la base de agregados clase 4 alterada e inalterada, se lo realiza de la misma manera en cuanto a fue el análisis con la base de agregados clase 3. En donde se analiza la capa asfáltica, la capa base de agregados clase 4 y la capa subbase clase 3 en función a sus espesores en los diseños 4, 5 y 6.

La dimensión para la cuantificación de cada capa de la estructura de pavimento es para 1000m de longitud y un ancho de vía de 7.30m, dos carriles de 3.65m cada uno.

A continuación, se muestran las tablas de presupuestos obtenidas a partir de cada diseño.



**Tabla 66:** Presupuesto de diseño 4

<b>DISEÑO 4- PRESUPUESTO</b>					
<b>Cemento: 0%</b>					
<b>Polvo Cerámico: 0%</b>					
<b>%CBR: 66.27</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 4	m3	1095	6.41	7014.41
3	Subbase clase 3	m3	1825	6.33	11550.14
				<b>TOTAL</b>	<b>64939.48</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 67:** Presupuesto de diseño 5

<b>DISEÑO 5- PRESUPUESTO</b>					
<b>Cemento: 5%</b>					
<b>Polvo Cerámico: 0%</b>					
<b>%CBR: 95.78</b>					
<b>NÚMERO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL RUBRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 4 estabilizada con 5% cemento	m3	1095	19.04	20850.06
3	Subbase clase 3	m3	1460	6.33	9240.11
				<b>TOTAL</b>	<b>76465.11</b>

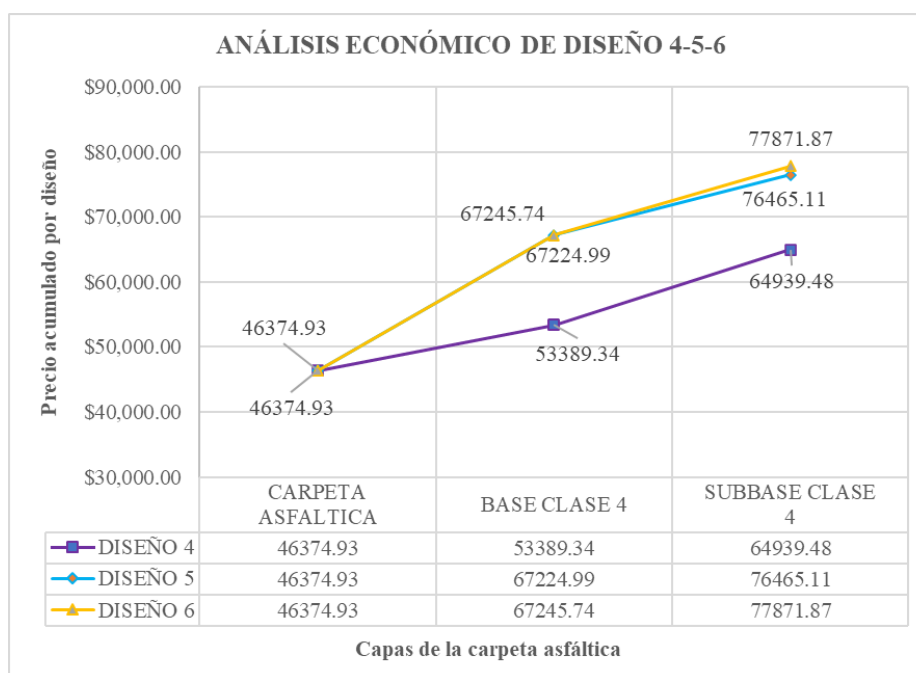
Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO.

**Tabla 68:** Presupuesto de diseño 6

DISEÑO 6- PRESUPUESTO					
Cemento: 3%					
Polvo Cerámico: 9.20%					
%CBR: 155.07					
NÚMERO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Capa de rodadura de hormigón asfáltico, e=5cm	m2	7300	6.35	46374.93
2	Base clase 4 estabilizada con 3% cemento-9.20% polvo cerámico	m3	1095	19.06	20870.81
3	Subbase clase 3	m3	1679	6.33	10626.13
				<b>TOTAL</b>	<b>77871.87</b>

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Figura 58:** Análisis comparativo entre diseños con la base de agregados clase 4



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

En cuanto al análisis comparativo de diseños con la base de agregados clase 4 alterada y sin alterar, se puede observar en la figura 58 los diseños 4, 5 y 6, en donde el diseño 4 corresponde a la utilización de la base de agregados clase 4 sin ninguna alteración,

es decir en su estado natural, se observa un valor acumulado de \$64,939.48 en su presupuesto. El diseño 5 corresponde a la utilización de la base de agregados clase 4 alterada con la combinación del 5% de cemento, en donde se puede observar que alcanza un valor acumulado de \$76,465.11, este presupuesto del diseño presenta un aumento debido a que al rubro se le aumenta el peso de cemento para realizar la estabilización de la base de agregados clase 4, el incremento que presenta en comparación con el presupuesto del diseño 4 es de \$11,525.63. El diseño 6 corresponde a la utilización de la base de agregados clase 4 alterada con la combinación de 3.00% de cemento y 9.20% de polvo cerámico, valores óptimos obtenidos anteriormente. Mediante esta combinación se obtiene un presupuesto de \$77,871.87, el cual en comparación con la base de agregados clase 4 estabilizada con el 5% cemento, muestra un incremento de \$1,406.77 es decir aumenta en 1.84%, lo que cual al tratarse de una obra vial de gran envergadura presentaría un aumento no muy notorio. Cabe mencionar que al agregar los porcentajes óptimos tanto de cemento como de polvo cerámico esto ayuda notablemente en el aumento de su CBR con un valor de 155.07% lo cual muestra un beneficio en cuanto al añadir el polvo cerámico a pesar del aumento de su costo.

### **3.12. Verificación de las hipótesis**

3.12.1. En base a los ensayos de CBR y de compactación obtenidos al combinar el polvo cerámico y el cemento de las bases de agregados clase 3 y 4 se pudo determinar que en cuanto a sus valores de resistencia estos se incrementan considerablemente.

- Base de agregados clase 3 (%óptimo cemento=3.40 ; %óptimo de polvo cerámico=8.00), CBR 170%
- Base de agregados clase 4 (%óptimo cemento= 3; %óptimo de polvo cerámico=9.20), CBR 155.07%

3.12.2. En cuanto a los ensayos de resistencia a la compresión simple de las bases de agregados clase 3 y 4 mostraron que no mejora en cuanto a esta propiedad y no cumple con las especificaciones mínimas y necesarias para considerar una buena estabilización por lo cual no se puede realizar el diseño de la estructura de pavimento para ninguna de las bases de agregados clase 3 y 4.

3.12.3. En cuanto al diseño de pavimento flexible con la base de agregados clase 3 y 4 estabilizados con la adición de polvo cerámico se obtiene una reducción en cuanto a los espesores de capa en comparación con el diseño con bases sin estabilizar, lo cual afirma la hipótesis planteada.

- Carpeta Asfáltica de 5.00cm a 5.00cm.
- Base de agregados de 15.00cm a 15.00cm.
- Subbase de agregados de 25.00cm a 23.00cm.

3.12.4. Mediante el análisis económico se puede observar un ahorro económico en cuanto a la reducción de espesores, al realizar el reemplazo parcial de cemento por polvo cerámico, sin embargo, al añadir el peso de polvo cerámico este es el causante del aumento de precio en comparación con una base sin estabilizar, lo cual no genera un ahorro económico y fallando en cuanto la hipótesis planteada.

- Aumento de precio producido por el reemplazo parcial de polvo cerámico en la estabilización de la base de agregados clase 3: \$15,109.92.
- Aumento de precio producido por el reemplazo parcial de polvo cerámico en la estabilización de la base de agregados clase 4: \$12,932.39.

# CAPITULO IV

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- Se obtuvo cambios en las propiedades físico-mecánicas como: densidad seca máxima, humedad óptima, CBR y resistencia a la compresión simple de las bases de agregados clase 3 y 4 estabilizadas con la incorporación del polvo cerámico.
- Se obtuvo muestras representativas de los suelos de bases de agregados clase 3 y 4 de forma correcta para que se pueda proceder con los ensayos.
- Al realizar la granulometría de las bases de agregados clase 3 y 4 se determinó que los porcentajes retenidos para cada tipo se encontraban en los límites establecidos por Especificaciones Generales de Construcción de Caminos y Puentes, Sección 404, por lo cual contiene material granular y fino bueno para la elaboración de bases de agregados.
- Al determinar lo Límites Líquidos del material pasante del tamiz #40 de las muestras seleccionadas de bases de agregados se obtuvo un número de golpes bajos, los cuales se puede mencionar fueron 8, 6 y 5, por lo cual al no llegar al número de golpes necesarios que dicta la Norma INEN 691 para determinar así un valor de límite líquido se concluyó que el material ensayado para las bases de agregados no poseen un Índice de Plasticidad lo cual es una característica correcta al tratarse de bases de agregados para la construcción de obras viales.
- Se determinó mediante los ensayos de Límite Líquido y Límite Plástico que el polvo cerámico posee un LL igual a cero y Límite Plástico igual a cero, ya que durante la elaboración de dichos ensayos no mostró propiedades plásticas, por lo cual es un material que no modifica el Índice de Plasticidad del material que pasa el Tamiz #40 de Bases de Agregados clase 3 y 4.

- Se determinó el máximo porcentaje de adición de polvo cerámico (13%), una humedad óptima para las bases de agregados clase 3 es de 10.81%, y para la base de agregados clase 4 es de 9.20%, por lo cual mientras se aumente este porcentaje de polvo cerámico y se disminuya el porcentaje de cemento dentro de la estabilización estos valores de humedad óptima irán en aumento.
- Al adicionar el cemento y polvo cerámico en la estabilización de las base de agregados clase 3 y 4 se determinó que los valores de densidad seca aumentan hasta la combinación de 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, luego empieza a disminuir dicho valor, en el caso de las bases de agregados clase 3 disminuyen de  $2.003 \frac{gr}{cm^3}$  a  $1.931 \frac{gr}{cm^3}$ , en la última combinación de 2% cemento y 13% polvo cerámico, mientras que en la base de agregados clase 4, su valor máximo es de  $2.031 \frac{gr}{cm^3}$  con 5% de cemento y 0% de polvo cerámico, se reduce hasta la última combinación a un valor de  $1.975 \frac{gr}{cm^3}$ , por lo cual al añadir mayor cantidad de polvo cerámico los valores de densidad seca disminuyen.
- En la adición del polvo cerámico para los ensayos de CBR de la base de agregados clase 3, se determinó que a medida que aumenta el porcentaje de dicho polvo, el valor porcentual de CBR aumenta hasta su tercera combinación (3% cemento-9% polvo cerámico) con un valor de 166.27%, para luego disminuir hasta 105.01 en la última combinación (2% cemento-13% polvo cerámico) por lo cual se muestra un mejoramiento de dicha base hasta agregar 9% de polvo cerámico, sobrepasando los estándares de una buena base de agregados la cual según Bowles debe poseer un CBR mayor de 50% [30].
- Mediante el análisis gráfico numérico de los ensayos de CBR en las bases de agregados clase 3 y 4, se determinó que a medida que se aumentan los porcentajes de polvo cerámico y se disminuyen porcentajes de cemento, su valor empieza a aumentar. Para las bases de agregados clase 4 la combinación de (3% cemento-9% polvo cerámico) con un valor de 166.27% y para la base de agregados clase 4 con la combinación que alcanza su mayor valor de CBR es

de 3% cemento-9% polvo cerámico, con un valor de 155.06% ya que a partir de esta combinación empieza a decrecer en ambas bases de agregados por lo cual muestra un mejoramiento al alterar la muestra con el polvo cerámico.

- Mediante los ensayos de CBR en las bases de agregados clase 3 y 4 se determinó los valores óptimos de: CBR, %cemento y % polvo cerámico, obteniendo para la base de agregados clase 3 un valor óptimo de 170% de CBR con la combinación de 3.40% cemento-8.00% polvo cerámico. Mientras que para la base de agregados clase 4 se determinó un valor de CBR de 155.07% con la combinación de 3.00% cemento-9.20% polvo cerámico, lo cual es un mejoramiento considerable al adicionar el polvo cerámico óptimo.
- Se determinó que los porcentajes de polvo cerámico y cemento utilizados en las bases de agregados clase 3 no ayudan en el aumento de la resistencia a la compresión simple ya que el mayor valor de resistencia entre las combinaciones fue de 22.56 kg/cm<sup>2</sup>, el cual no cumple con el requerimiento mínimo de resistencia de 25 kg/cm<sup>2</sup> según las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES Y CAMINOS, (MOP-001-F2002) [24].
- Se observó mediante los ensayos de resistencia a la compresión simple tanto en la base de agregados clase 3 y 4 sus valores empiezan a decrecer a medida que se aumenta el porcentaje polvo cerámico y se disminuye su porcentaje de cemento. En el caso de la base de agregados clase 3 su resistencia más alta es de 26.82 kg/cm<sup>2</sup> la cual es obtenida con la adición únicamente del 5% de cemento y empieza a disminuir hasta el 15.16 kg/cm<sup>2</sup> con la adición de 2% de cemento y 13% de polvo cerámico. Mientras que para el caso de la base de agregados clase 4 presenta el mismo comportamiento ya que el máximo valor obtenido fue de 26.56 kg/cm<sup>2</sup> el cual corresponde a la única adición de 5% de cemento y empieza a disminuir hasta un valor de 15.46 kg/cm<sup>2</sup> con la combinación de 2% de cemento y 13% de polvo cerámico el cual no cumple

con los requerimientos mínimos de resistencia debido a la calidad de agregado obtenido para la elaboración de las muestras, en donde el valor mínimo de resistencia es de  $25 \text{ kg/cm}^2$ , según las ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PUENTES Y CAMINOS (MOP-001-F2002) [24].

- Se determinó mediante el análisis de los diseños de pavimento flexible con la base de agregados clase 3, al adicionar el polvo cerámico óptimo (8.00%) y cemento óptimo (3.40%), se puede obtener una reducción de espesor total de 45.00cm a 43.00cm, tomando en cuenta que los espesores utilizados fueron los mínimos para las capas de carpeta asfáltica y base, es un factor positivo en la adición del polvo cerámico en la estabilización.
- Se obtuvo mediante el análisis de diseños de pavimento flexible para la base de agregados clase 4 con el porcentaje óptimo de cemento (3.00%) y polvo cerámico óptimo (9.20%) una reducción de espesor total de carpeta de 45.00cm a 43.00cm, por lo cual la adición del polvo cerámico mejora la calidad de los agregados y se equipara a una estabilización convencional con cemento.
- Se concluye mediante el análisis económico que a pesar de aumentar la resistencia de CBR en las bases de agregados clase 3 su aumento el presupuesto en comparación con el diseño de este tipo de base sin alterar es de \$15,109.92 debido al aumento del peso de polvo cerámico en el rubro.
- Mediante el análisis económico se determina el aumento económico en la base de agregados clase 4, a pesar de aumentar los valores de resistencia CBR su presupuesto aumenta en comparación a este tipo de base sin alterar, este aumento es de \$12,932.39, debido a que al rubro se adiciona el polvo cerámico conjuntamente con el cemento.



- Se diseñó la estructura de pavimento flexible para las bases de agregados clase 3 y 4 con sus respectivos porcentajes óptimos de cemento y polvo cerámico, mediante los cuales se obtuvo 6 diseños de estructuras de pavimento flexible, lo cual permitió una comparación económica.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que en la obtención del polvo cerámico se reduzca el desecho a un tamaño mínimo de 2", debido a que será más fácil su transporte y también su trituración.
- Durante la elaboración del ensayo de CBR constatar que el material posee la cantidad de humedad óptima necesaria debido a que el polvo cerámico absorbe una gran cantidad de agua.
- Para la recolección del material granular para las bases de agregados se recomienda hacerlo cuando el material no se encuentra saturado o parcialmente saturado debido a las lluvias.
- Se recomienda que para futuras investigaciones en estabilizaciones de bases de agregados se utilicen varios tipos de cemento no sólo el tipo I, sino más bien un tipo de cemento que se utilizó directamente para la estabilización de bases en obras viales.
- En cuanto al ensayo de compresión simple se recomienda tratar de mantener la humedad de los especímenes con plástico y un cuarto de humedad que permita realizar el curado acorde a las normas establecidas.

## **Materiales de Referencia**

### **Referencia Bibliográfica**

- [1] Y. Haitao and T. Shizhu, "Preparation and properties of high-strength recycled concrete in cold areas," *Mater. Constr.*, vol. 65, no. 318, pp. 1–6, 2015, doi: 10.3989/mc.2015.03214.
- [2] A. T. Harini, "Experimental study on utilization of ceramic wastes in concrete," *J. Chem. Pharm. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. E94–E99, 2016.
- [3] S. Zito, I. Edgardo, and R. Viviana, "Estudio Sobre Pastas Y Morteros De Cemento Portland Con Reemplazo Por Loza Sanitaria," *Av. en Ciencias e Ing.*, vol. 7, no. 2, pp. 57–66, 2016.
- [4] L. Reig, L. Soriano, M. Victoria, and J. María, "Potential use of ceramic sanitary ware waste as pozzolanic material," *Boletín la Soc. Española Cerámica y Vidr.*, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1016/j.bsecv.2021.05.006.
- [5] P. Viera and C. Chicaiza, "Uso de residuos cerámicos como sustituto del cemento para fabricación de morteros," *Rev. Cienc.*, vol. 20, pp. 35–44, 2018.
- [6] K. Mermerdaş, S. Manguri, D. E. Nassani, and S. M. Oleiwi, "Effect of aggregate properties on the mechanical and absorption characteristics of geopolymer mortar," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 1642–1652, 2017, doi: 10.1016/j.jestch.2017.11.009.
- [7] E. Hernández and F. Saravia, "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ELABORADO CON CERÁMICOS RECICLADOS COMO SUSTITUTO DEL AGREGADO GRUESO. AUTORES:," 2018.

- [8] J. James and P. K. Pandian, “Strength and microstructure of micro ceramic dust admixed lime stabilized soil Resistencia y microestructura del polvo micro cerámica mezclado suelo cal estabilizado,” vol. c, pp. 5–22, 2018, doi: 10.7764/RDLC.17.1.5.
- [9] A. M. A. Sanchez, “Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón Tosagua povincia de Manabí,” 2014.
- [10] C. Carla and G. Gabriela, ““ESTUDIO DEL USO DE RESIDUOS CERÁMICOS COMO SUSTITUTO DE UN PORCENTAJE DEL CEMENTO PARA LA FABRICACIÓN DE MORTEROS,”” 2017.
- [11] E. Juárez Badillo and A. Rico Rodríguez, *Mecánica de suelos, Tomo I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. 2005.
- [12] C. Kraemer, J. M. Pardillo, S. Rocci, M. Romana, V. Sánchez, and M. Ángel del Val, *Ingenieria de Carreteras VolIII, Vol II*. 2004.
- [13] C. Crespo Villalaz, *Mecanica de suelos y cimentaciones*, 5a ed. 2004.
- [14] L. Borselli, “GEOTECNIA I Año Académico 2021-2022.” p. 77, 2017, [Online]. Available: [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu).
- [15] G. Duque Escobar, “Geomecanica,” in *Geomecánica*, 2003, pp. 78–88.
- [16] R. C. Rosetti and H. F. Begliardo, “Generalidades Sobre Compactación De Suelos \*,” pp. 1–5, 2005.
- [17] A. D. C. Rico Rodriguez, *La Ingenieria De Los Suelos en las Vias Terrestres*. 2005.
- [18] NTE INEN 860, “Determinación del valor de la degradación del árido grueso

- de partículas menores a 37.5 mm (1½") mediante el uso de la máquina de Los Ángeles.” *Norma técnica ecuatoriana.*, pp. 1–6, 2011.
- [19] A. Moreno Fonseca, *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, 2da ed., vol. 7, no. 1. Bogotá, 1999.
- [20] ICPA, “Construcción de Bases y Subbases de Suelo Cemento,” *Dep. técnico Paviment.*, pp. 1–17, 2011.
- [21] A. Manuela, G. Reina, and L. Y. Hern, “Cartilla-guia ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito.”
- [22] J. R. Menendez Acurio, *001 Ingenieria De Pavimentos Menendez Pp 32*. 2009.
- [23] A. L. Ortiz Mancera, “Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible,” *Bogotá*, p. 22, 2017, [Online]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6833/2/OrtizManceraAngieLorenaAnexo-1.pdf>.
- [24] Mop-001-F 2002, “ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES,” p. 772, 2002, [Online]. Available: [http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf).
- [25] N. T. Ecuatoriana *et al.*, “Publicas Y Comunicaciones Mop - 001-F 2002,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 772, 2002, [Online]. Available: <http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01->

07-2013\_ConcursoPublico\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf.

- [26] Mop-001-F 2002, “ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES.” p. 772, 2002, [Online]. Available: [http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf).
- [27] NTE INEN 691, “Mecánica de Suelos. Determinación del limite liquido. Método de Casa Grande.” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–14, 1982.
- [28] NTE INEN 691 and NTE INEN 692, “Mecánicade suelos. Determinación de límite plástico.” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–14, 1982.
- [29] S. Sharifi *et al.*, “Primer taller de mecanica de suelos – marzo 2006,” *J. Irrig. Drain. Eng.*, vol. 137, no. 254 mm, pp. 1–2, 2006.
- [30] J. E. Bowles, *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingenieria Civil*, vol. 91, no. 5. 1981.
- [31] CORPECUADOR, “Normas de diseño geometrico de carreteras,” *Mtop*, p. 475, 2003.
- [32] O. publicas Cotopaxi, “Planificación Operativa Anual 2020-Competencias Vialidad-Presupuesto 2020-Cotopaxi,” 2020. [https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/2020/POA/POA\\_VIALIDAD NUEVO.pdf](https://www.cotopaxi.gob.ec/images/Documentos/2020/POA/POA_VIALIDAD NUEVO.pdf).
- [33] Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, “Volumen No. 2 - Libro



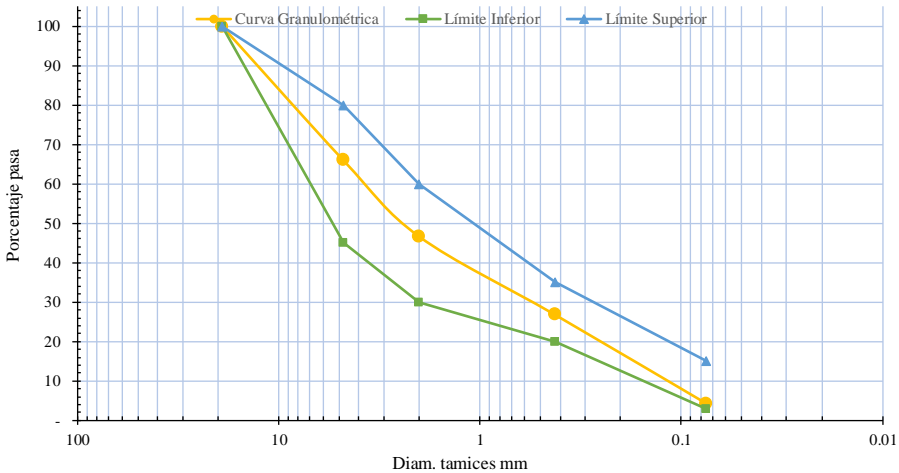
A Norma para estudios y diseños viales,” *Minist. Transp. y Obras Públicas del Ecuador*, vol. Volumen 2A, pp. 1–382, 2012.

- [34] J. J. Bester, D. Kruger, and A. Hinks, “AASHTO GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURES,” *American Association of State Highway and Transportation Officials*. pp. 63–70, 2001.
- [35] Ministerio de obras publicas, “Tabla nacional de pesos y dimensiones,” *Registro Oficial*, 2012. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/LOTAIP2015\\_R.O.-717.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/03/LOTAIP2015_R.O.-717.pdf).
- [36] AASHTO, “Diseño de Pavimentos - AASHTO 93,” *AASHTO Des. Proced. New Pavements*, 2003, [Online]. Available: [https://www.academia.edu/34103801/DISENO\\_DE\\_PAVIMENTO\\_METODO\\_AASHTO\\_93\\_ESPANOL\\_1\\_](https://www.academia.edu/34103801/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_).

# **ANEXOS**

## **C.1. Ensayos**



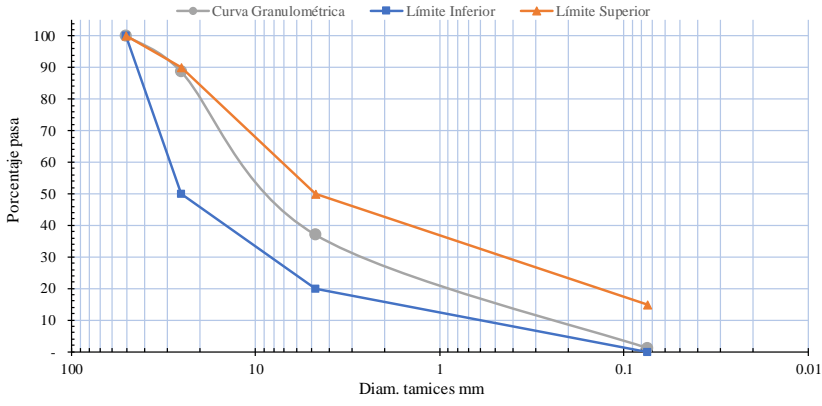
## Anexo 1: Granulometría de Base de Agregados clase 3

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>				
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.					
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa		
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42		
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados clase 3		
<b>Fecha:</b>	13/4/2022				
<b>Norma:</b>	INEN 872, INEN 696				
<b>GRANULOMETRÍA DE BASE DE AGREGADOS CLASE 3</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>RET</b>	<b>PESO RET</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>	<b>% ESPECIF.</b>
3/4" (19 mm)	0.00	0.00	-	100.00	100
# 4 (4.75 mm)	7422.30	7422.30	33.99	66.01	45-80
# 10 (2 mm)	140.40	140.40	53.30	46.70	30-60
# 40 (0.425 mm)	143.80	284.20	73.08	26.92	20-35
# 200 (0.0075 mm)	164.20	448.40	95.66	4.34	3-15
<b>TOTAL LAVADO FINOS</b>		479.97	<b>Humedad % =</b>		<b>8.34</b>
<b>TOTAL FINO PASA #4</b>		14416.80	<b>Cu</b>		6.27
<b>TOTAL MUESTRA</b>		21839.10	<b>Cc</b>		1.14
<b>D10</b>		0.24			
<b>D30</b>		0.73			
<b>D60</b>		1.47			
<p><b>Granulometría Base de Agregados Clase 3</b></p> 					
<b>Clasificación SUCS: GW-Grava bien graduada</b>					
<b>CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN</b>					
Pt+SH		Pt+SS	Pt.	Pagua	PSS
	232.33		218.71	55.31	13.62
					163.40
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



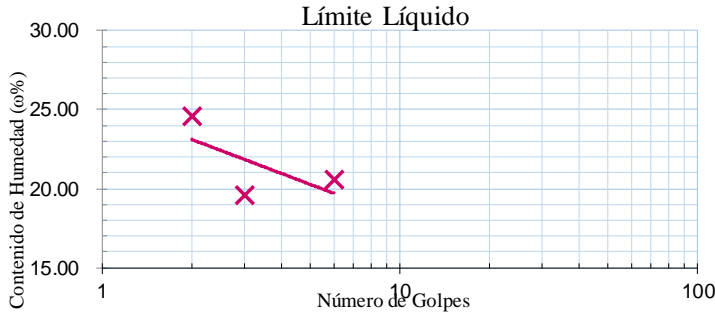


## Anexo 2: Granulometría de Base de Agregados clase 4.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 v 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>					
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa		
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42		
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados clase 4		
<b>Fecha:</b>	13/4/2022				
<b>Norma:</b>	INEN 872, INEN 696				
<b>GRANULOMETRÍA DE BASE DE AGREGADOS CLASE 3</b>					
<b>TAMIZ</b>	<b>RET</b>	<b>PESO RET</b>	<b>% RETENIDO</b>	<b>% PASA</b>	<b>% ESPECIF.</b>
2" (50.4 mm)	0.00	0.00	-	100.00	100
1" (25.4 mm)	6227.00	6227.00	11.29	88.71	50-90
#4 (4.75 mm)	28492.00	34719.00	62.93	37.07	20-50
#200 (0.0075 mm)	462.40	462.40	98.84	1.16	0-15
<b>TOTAL LAVADO FINOS</b>		477.37		<b>Humedad % =</b>	<b>6.96</b>
<b>TOTAL FINO PASA #4</b>		20449.20			
<b>TOTAL MUESTRA</b>		55168.20			
<b>D10</b>		2.98		<b>Cu</b>	5.41
<b>D30</b>		4.46		<b>Cc</b>	1.85
<b>D60</b>		16.15			
<b>Granulometría Base de Agregados Clse 4</b>					
					
<b>Clasificación SUCS: GW-Grava bien graduada</b>					
<b>CUMPLE CON LA ESPECIFICACIÓN</b>					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>					
Pt+SH	168.99	Pt+SS	160.80	Pt.	43.16
				Pagua	8.19
				PSS	117.64
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		



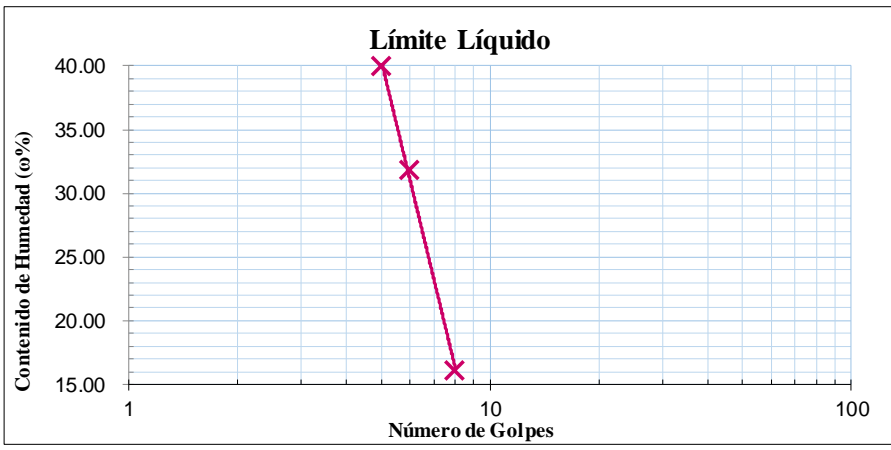
**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

### Anexo 3: Límite líquido y Plástico del polvo cerámico.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>							
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>Nº de muestra:</b>	1 Representativa				
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42				
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Polvo Cerámico				
<b>Fecha:</b>	13/4/2022						
<b>Norma:</b>	INEN 691						
<b>1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>							
Número de golpes		6		3		2	
Recipiente Número		133-T	8-E	8-T	16-X	11-F	X-5
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	43.24	43.24	36.93	36.93	38.14	38.12
Peso seco + recipiente	Ws + rec	37.85	37.85	32.76	32.76	32.84	32.82
Peso recipiente	rec	11.63	11.62	11.45	11.45	11.25	11.25
Peso del agua	Ww	5.39	5.39	4.17	4.17	5.30	5.30
Peso de los sólidos	WS	26.22	26.23	21.31	21.31	21.59	21.57
Contenido de humedad	$\omega\%$	20.56	20.55	19.57	19.57	24.55	24.57
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$	20.55		19.57		24.56	
							
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>							
Recipiente Número		-	-	-			
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	-	-	-			
Peso seco + recipiente	Ws + rec	-	-	-			
Peso recipiente	rec	-	-	-			
peso del agua	Ww	-	-	-			
Peso de los sólidos	WS	-	-	-			
Contenido de humedad	$\omega\%$	-	-	-			
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$		-				
	<b>Límite líquido =</b>	-	%				
	<b>Límite plástico =</b>	-	%				
	<b>índice plástico =</b>	-	%				
<b>REALIZÓ:</b>				<b>REVISÓ:</b>			
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas				Ing. Alex Frías			



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 4: Límite líquido y Plástico del material fino para bases de agregados clase 3 y 4 y 4**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>						
	<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>						
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 13/4/2022 <b>Norma:</b> INEN 691	<b>N° de muestra:</b> 1 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados						
<b>1.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO</b>							
Número de golpes		8		6		5	
Recipiente Número		X-3	X-5	X-5	16-X	J-6	8-E
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	24.32	24.33	28.34	28.32	25.63	25.60
Peso seco + recipiente	Ws + rec	21.86	21.70	24.30	24.25	21.63	21.60
Peso recipiente	rec	5.98	5.90	11.51	11.49	11.61	11.60
Peso del agua	Ww	2.46	2.63	4.04	4.07	4.00	4.00
Peso de los sólidos	WS	15.88	15.80	12.79	12.76	10.02	10.00
Contenido de humedad	$\omega\%$	15.49	16.65	31.59	31.90	39.92	40.00
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$	16.07		31.74		39.96	
							
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO</b>							
Recipiente Número		-	-	-			
Peso húmedo + recipiente	Wm+ rec	-	-	-			
Peso seco + recipiente	Ws + rec	-	-	-			
Peso recipiente	rec	-	-	-			
peso del agua	Ww	-	-	-			
Peso de los sólidos	WS	-	-	-			
Contenido de humedad	$\omega\%$	-	-	-			
Contenido de humedad promedio	$\omega\%$	-	-	-			
	<b>Límite líquido =</b>	-	%				
	<b>Límite plástico =</b>	-	%				
	<b>índice plástico =</b>	-	%				
<b>REALIZÓ:</b>				<b>REVISÓ:</b>			
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas				Ing. Alex Frías			

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

## Anexo 5: Ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 13/4/2022 <b>Norma:</b> INEN 0860	<b>N° de muestra:</b> 5 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Material granular para la bases bases de agreagdos		
<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3267
Pérdida por desgaste	C=A-B	g	1733
Desgaste del agregado	$D=(C/A)*100$	%	34.66
<b>REALIZÓ:</b>		<b>REVISÓ:</b>	
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas		Ing. Alex Frías	

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



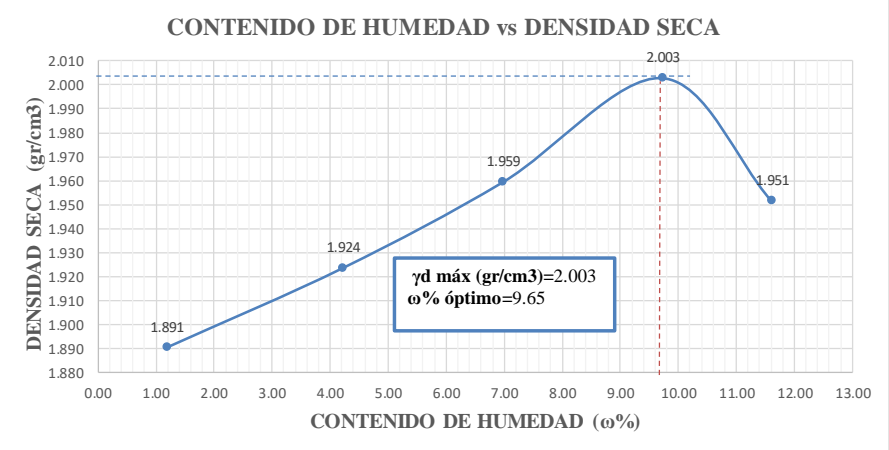
**Anexo 6:** Ensayo al desgaste mediante el uso de sulfatos.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.					
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 13/4/2022 <b>Norma:</b> INEN 863	<b>N° de muestra:</b> 6 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Material granular para las bases bases de agregados				
<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO (ARIDO FINO)</b>					
FRACCIÓN	MASA INICIAL (gr)	MASA RETENIDA FINAL (gr)	%PASA	% DESGASTE PARCIAL	% DESGASTE ACUMULADO
1	100	99.4	0.60	1%	1%
2	100	99.5	0.50	1%	1%
3	100	98.3	1.70	2%	3%
4	100	98.1	1.90	2%	5%
5	100	98	2.00	2%	7%
<b>% DESGASTE TOTAL ARIDO FINO</b>					<b>7%</b>
<b>RESISTENCIA AL DESGASTE MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE MAGNESIO (ARIDO GRUESO)</b>					
FRACCIÓN	MASA INICIAL (gr)	MASA RETENIDA FINAL (gr)	%PASA	% DESGASTE PARCIAL	% DESGASTE ACUMULADO
1	300	290	10.00	3%	3%
2	1000	995	5.00	1%	4%
3	1500	1485	15.00	1%	5%
4	3000	2915	85.00	3%	8%
<b>% DESGASTE TOTAL ARIDO FINO</b>					<b>8%</b>
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



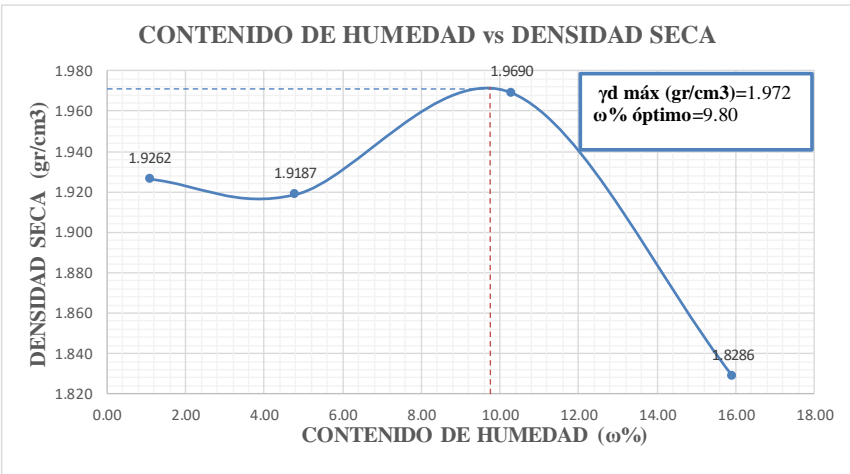


**Anexo 8: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 5% cemento-0% polvo cerámico.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
	<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.									
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 14/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T180-20	<b>N° de muestra:</b> 2 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3 <b>Cemento/Polvo</b> 5%;0%									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5	PESO MARTILLO (lb):	10					
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr):	5425.6	VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.908					
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	56582.28			ALTURA (cm):	15.15					
				DIÁMETRO (cm):	11.66					
<b>PESO INICIAL (gr):</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	200	400	600	800					
P molde + suelo húmedo (gr)	9446.40	9639.40	9831.40	10044.40	10003.60					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4020.80	4213.80	4405.80	4618.80	4578.00					
Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.913	2.005	2.096	2.197	2.178					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	4-A	W-3	D-1	C-9	1-P	W-6	W-1	C-5	P-4	A-5
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	200.85	200.85	218.49	217.99	202.23	202.53	261.95	261.95	273.01	273.00
Peso seco + recipiente Ws+ rec	197.56	200.56	210.33	212.02	191.92	193.18	244.00	243.01	251.14	248.24
Peso del recipiente rec	46.46	46.55	43.50	43.45	53.18	49.80	53.78	53.77	48.73	48.73
Peso del agua Ww	3.29	0.29	8.16	5.97	10.31	9.35	17.95	18.94	21.87	24.76
Peso suelo seco Ws	151.10	154.01	166.83	168.57	138.74	143.38	190.22	189.24	202.41	199.51
Contenido humedad w%	2.18	0.19	4.89	3.54	7.43	6.52	9.44	10.01	10.80	12.41
Contenido humedad promedio w%	1.18		4.22		6.98		9.72		11.61	
Densidad Seca $\gamma_d$	1.891		1.924		1.959		2.003		1.951	
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA</b>										
										
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	<b>2.003</b>				<b>Contenido de Humedad Óptimo <math>\omega</math>% =</b>	<b>9.65</b>				
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías							

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



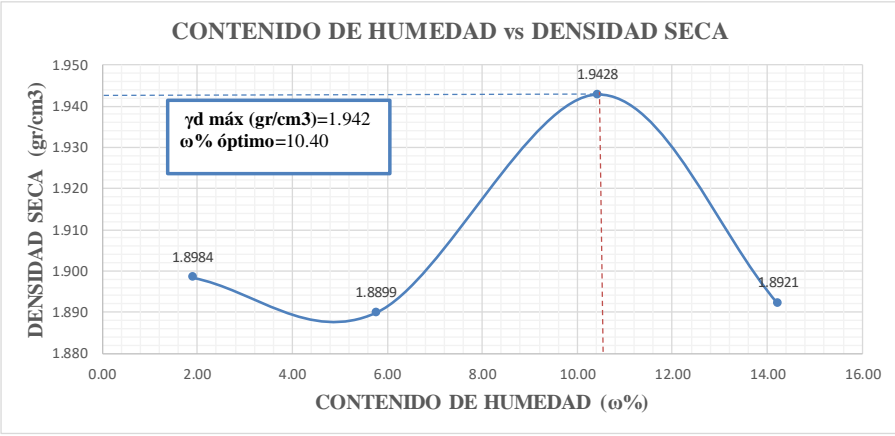
**Anexo 9: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 4% cemento-5% polvo cerámico.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
	<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.									
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 14/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T180-20	<b>N° de muestra:</b> 3 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3 <b>Cemento/Polvo</b> 4%;5%									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES : 56 ALTURA DE CAÍDA (in): 18" ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ): 56582.28	NÚMERO DE CAPAS : 5 PESO MOLDE (gr): 5425.6	PESO MARTILLO (lb): 10 VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> : 2101.908 ALTURA (cm): 15.15 DIÁMETRO (cm): 11.66								
<b>PESO INICIAL (gr):</b>	6000	6000	6000	6000	-					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra Humedad inicial añadida en (cc) P molde + suelo húmedo (gr) Peso suelo húmedo Wm (gr) Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1	2	3	4	5					
	0	250	600	950	-					
	9519.00	9652.20	9991.00	9881.40	-					
	4093.40	4226.60	4565.40	4455.80	-					
	1.947	2.011	2.172	2.120	-					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente # Peso húmedo + recipiente Wm+ rec Peso seco + recipiente Ws+ rec Peso del recipiente rec Peso del agua Ww Peso suelo seco Ws Contenido humedad w% Contenido humedad promedio w% Densidad Seca $\gamma_d$	W-5	2-P	B-8	C-9	C-5	W-1	F-5	C-5	-	-
	300.77	300.76	250.30	250.29	216.31	216.30	359.82	358.82	-	-
	297.83	298.31	240.56	244.97	200.25	200.39	317.68	316.91	-	-
	53.53	53.54	41.78	41.78	45.26	45.27	53.51	53.53	-	-
	2.94	2.45	9.74	9.56	16.06	15.91	42.14	41.91	-	-
	244.30	244.77	198.78	203.19	154.99	155.12	264.17	263.38	-	-
	1.20	1.00	4.90	4.70	10.36	10.26	15.95	15.91	-	-
	1.10	4.80	10.31	15.93	-	-	-	-	-	-
	1.926	1.919	1.969	1.829	-	-	-	-	-	-
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA</b>										
										
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	1.972				<b>Contenido de Humedad</b> <b>Óptimo <math>\omega</math> % =</b>	9.80				
<b>REALIZÓ:</b>						<b>REVISÓ:</b>				
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas						Ing. Alex Frías				

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



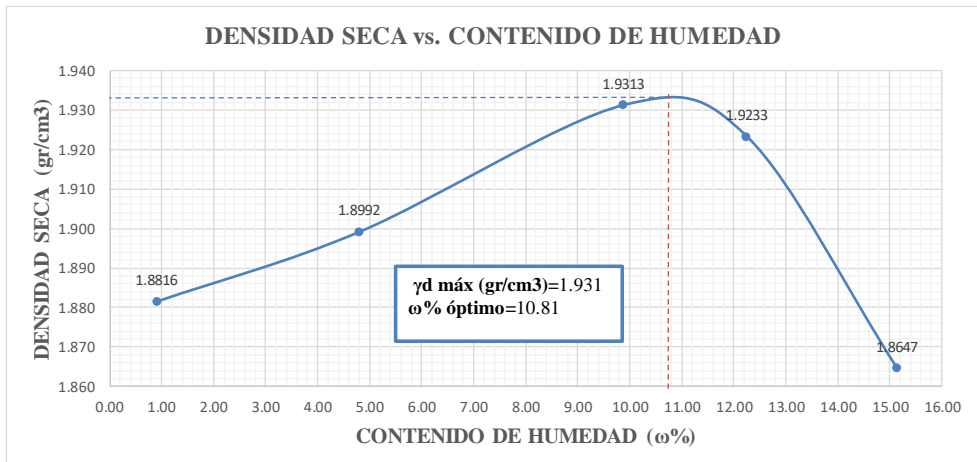


**Anexo 10: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 3% cemento-9% polvo cerámico.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
	<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.									
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 15/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T180-20	<b>Nº de muestra:</b> 4 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3 <b>Cemento/Polvo</b> 3%;9%									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES : 56 ALTURA DE CAÍDA (in): 18" ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*fi/ft³): 56582.28	NÚMERO DE CAPAS : 5 PESO MOLDE (gr) 5425.6	PESO MARTILLO (lb): 10 VOLUMEN MOLDE cm³ : 2101.908 ALTURA (cm): 15.15 DIÁMETRO (cm): 11.66								
<b>PESO INICIAL (gr):</b>	6000	6000	6000							
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra Humedad inicial añadida en (cc) P molde + suelo húmedo (gr) Peso suelo húmedo Wm (gr) Densidad Húmeda γm (gr/cm³)	1	2	3	4	5					
	0	300	600	900	-					
	9491.60	9626.80	9934.60	9968.20	-					
	4066.00	4201.20	4509.00	4542.60	-					
	1.934	1.999	2.145	2.161	-					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente # Peso húmedo + recipiente Wm+ rec Peso seco + recipiente Ws+ rec Peso del recipiente rec Peso del agua Ww Peso suelo seco Ws Contenido humedad w% Contenido humedad promedio w% Densidad Seca γd	C-8	4-A	W-1	C-9	B-8	W-1	D-8	C-5	-	-
	242.58	242.50	263.70	263.69	236.60	236.60	310.43	310.40	-	-
	238.76	238.87	252.02	252.50	218.17	218.26	277.37	277.91	-	-
	42.80	42.80	53.75	53.75	41.76	41.76	47.13	47.13	-	-
	3.82	3.63	11.68	11.19	18.43	18.34	33.06	32.49	-	-
	195.96	196.07	198.27	198.75	176.41	176.50	230.24	230.78	-	-
	1.95	1.85	5.89	5.63	10.45	10.39	14.36	14.08	-	-
	1.90	1.85	5.76	5.63	10.42	10.39	14.22	14.08	-	-
	1.898	1.85	1.890	1.890	1.943	1.943	1.892	1.892	-	-
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD vs DENSIDAD SECA</b>										
										
<b>Densidad Seca γd máximo (gr/cm³)=</b>	1.942				<b>Contenido de Humedad Óptimo ω% =</b>	10.40				
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas					<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías					



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 11: Proctor Modificado de bases de agregados clase 3, 2% cemento-13% polvo cerámico.**

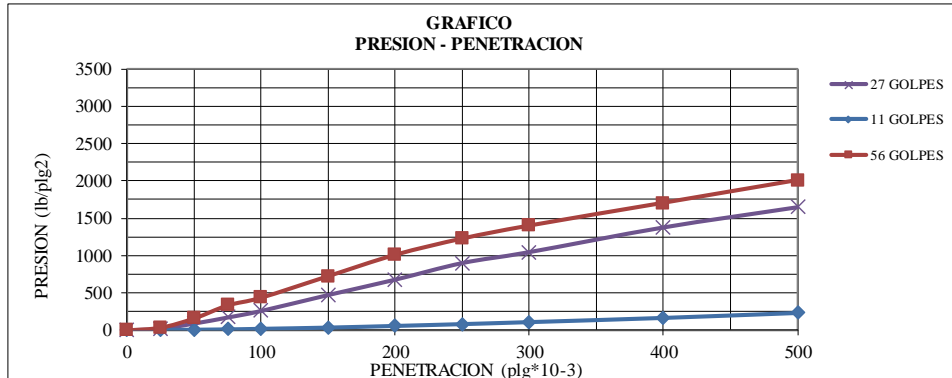
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
	<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.									
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 15/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T180-20 D	<b>N° de muestra:</b> 5 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3 <b>Cemento/Polvo</b> 2%;13%									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5	PESO MARTILLO (lb):	10					
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr):	5425.6	VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.908					
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	56582.28			ALTURA (cm):	15.15					
				DIÁMETRO (cm):	11.66					
PESO INICIAL (gr):	6000	6000	6000	6000	6000					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	300	600	900	1000					
P molde + suelo húmedo (gr)	9416.40	9609.00	9886.00	9963.40	9938.20					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	3990.80	4183.40	4460.40	4537.80	4512.60					
Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.899	1.990	2.122	2.159	2.147					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	B-8	4-A	R-5	C-9	C-2	W-1	R-4	C-5	H-2	A-5
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	281.54	281.54	266.50	266.50	246.56	246.50	328.96	328.95	322.55	321.00
Peso seco + recipiente Ws+ rec	279.34	279.42	256.01	256.54	228.14	228.32	297.31	298.21	284.44	285.91
Peso del recipiente rec	41.75	41.75	43.13	43.13	42.97	42.99	43.00	43.12	43.28	43.28
Peso del agua Ww	2.20	2.12	10.49	9.96	18.42	18.18	31.65	30.74	38.11	35.09
Peso suelo seco Ws	237.59	237.67	212.88	213.41	185.17	185.33	254.31	255.09	241.16	242.63
Contenido humedad w%	0.93	0.89	4.93	4.67	9.95	9.81	12.45	12.05	15.80	14.46
Contenido humedad promedio w%	0.91		4.80		9.88		12.25		15.13	
Densidad Seca $\gamma_d$	1.882		1.899		1.931		1.923		1.865	
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
<b>DENSIDAD SECA vs. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
										
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo</b> <b>(gr/cm<sup>3</sup>)=</b>			<b>Contenido de Humedad</b> <b>Óptimo w% =</b>							
1.931			10.81							
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>							
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías							

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

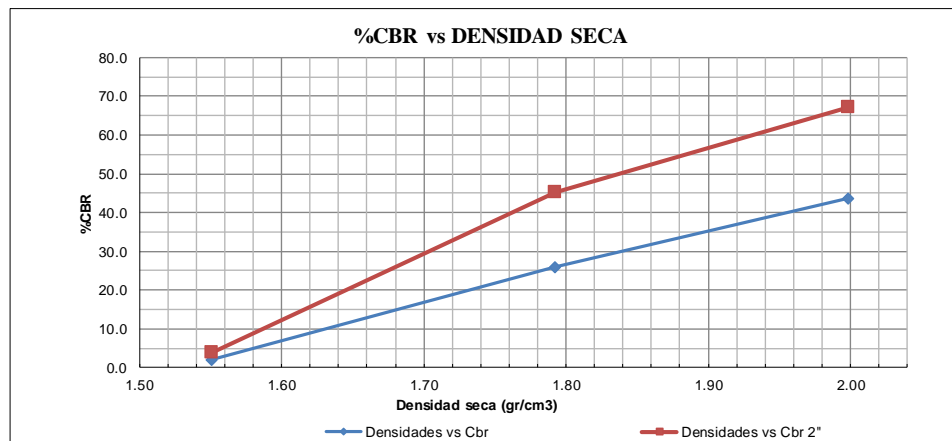
**Anexo 12: CBR de bases de agregados clase 3, 0% cemento-0% polvo cerámico.**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
<b>PROYECTO: Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.</b>												
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa									
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados Clase 3									
<b>Fecha:</b>	18/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b>	0%;0%									
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 / ASTM D-1833											
<b>ENSAYO CBR</b>												
MOLDE #	10		11		12							
# DE CAPAS	5		5		5							
# DE GOLPES POR CAPA	11		27		56							
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO						
Wm+MOLDE (gr)	9989.2	9979.4	10501.2	10499.8	10975.2	10898.8						
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8	6454	6454	6460	6460						
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	3547.4	3537.6	4047.2	4045.8	4515.2	4438.8						
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2120.73	2120.73	2112.26	2112.26	2100.1	2100.1						
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.673	1.668	1.916	1.915	2.150	2.114						
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.537	1.565	1.745	1.841	1.930	2.067						
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.551		1.793		1.999							
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>												
	Fondo	Arriba	Arriba'	Fondo	Arriba	Arriba''						
TARRO #	P-5	Y6	C-5	2-R	M-2	61-7						
Wm+TARRO (gr)	253.19	253.19	186.94	219.99	219.99	159.71						
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	241.1	230.82	178.2	205.14	203.14	155.24						
PESO AGUA (gr)	12.09	22.37	8.74	14.85	16.85	4.47						
PESO TARRO (gr)	39.76	39.76	45.30	42.88	42.88	45.11						
PESO MUESTRA SECA (gr)	201.34	191.06	132.9	162.26	160.26	110.13						
CONTENIDO DE HUMEDAD %	6.00	11.71	6.58	9.15	10.51	4.06						
AGUA ABSORBIDA %	0.57		5.09		8.53							
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	8.86		6.58	9.83		4.06						
<b>ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)</b>												
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2												
MOLDE N°	10			11			12					
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG	
" 10-3	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%
0	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
25	7.10	5.22			29.80	21.89			48.70	35.78		
50	12.50	9.18			124.70	91.61			217.60	159.86		
75	18.30	13.44			234.20	172.06			453.90	333.47		
100	28.40	20.86	20.9	2.1	353.80	259.93	259.9	26.0	594.00	436.39	436.4	43.6
150	50.60	37.17			644.40	473.42			985.60	724.09		
200	80.60	59.21	59.2	3.9	923.80	678.69	678.7	45.2	1373.60	1009.14	1009.1	67.3
250	113.50	83.38			1225.60	900.41			1668.80	1226.01		
300	149.90	110.13			1425.10	1046.97			1904.90	1399.47		
400	225.70	165.81			1873.90	1376.69			2318.30	1703.18		
500	315.50	231.79			2242.00	1647.12			2731.70	2006.89		
CBR corregido 1":				2.1				26.0				43.6
CBR corregido 2":				3.9				45.2				67.3

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	436.4	43.6	1.999	1009.1	67.3	1.999
11	259.9	26.0	1.793	678.7	45.2	1.793
10	20.9	2.1	1.551	59.2	3.9	1.551



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





**CBR**

DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.978	41.88	65.08

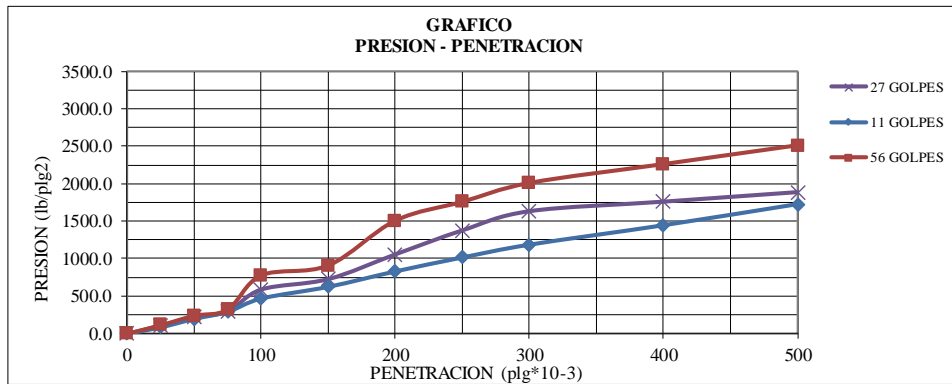
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

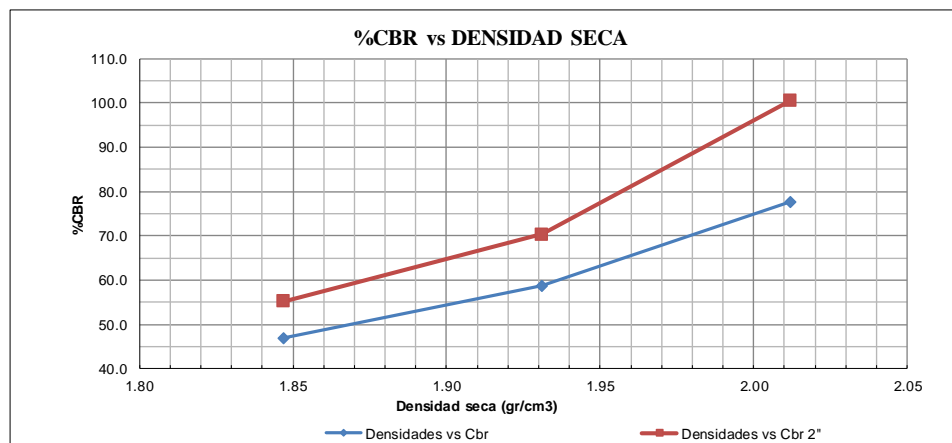
### Anexo 13: CBR de bases de agregados clase 3, 5% cemento-0% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL												
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.														
<b>Provincia:</b> Cotopaxi	<b>Nº de muestra:</b> 2 Representativa													
<b>Cantón:</b> Latacunga	<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42													
<b>Sector:</b> Mulalo	<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3													
<b>Fecha:</b> 18/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b> 5%;0%													
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833														
ENSAYO CBR														
MOLDE #	10			11			12							
# DE CAPAS	5			5			5							
# DE GOLPES POR CAPA	11			27			56							
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO						
Wm+MOLDE (gr)	10696.6	10689.6		10919.4	10911.8		11097.97	11095.95						
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8		6454	6454		6480	6480						
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4254.8	4247.8		4465.4	4457.8		4617.97	4615.95						
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2114.54	2114.54		2115.08	2115.08		2110.3	2110.3						
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.012	2.009		2.111	2.108		2.188	2.187						
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.842	1.852		1.941	1.921		2.008	2.016						
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.847			1.931			2.012							
CONTENIDO DE HUMEDAD														
TARRO #	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"					
	C-5	Y-1	C-2	D-7	D-2	C-7	2-R	W-1	F-5					
Wm+TARRO (gr)	193.89	250.2	259.95	173.2	211.99	231.92	187.57	231.3	248.92					
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	181.31	230.82	243.03	159.8	202.93	215.11	171.97	220.97	233.62					
PESO AGUA (gr)	12.58	19.38	16.92	13.4	9.06	16.81	15.6	10.33	15.3					
PESO TARRO (gr)	38.27	30.76	43.06	45.96	45.9	41.63	43.32	42.67	54.12					
PESO MUESTRA SECA (gr)	143.04	200.06	199.97	113.84	157.03	173.48	128.65	178.3	179.5					
CONTENIDO DE HUMEDAD %	8.79	9.69	8.46	11.77	5.77	9.69	12.13	5.79	8.52					
AGUA ABSORBIDA %	0.33			2.08			3.60							
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	9.25		8.46	8.77		9.69	8.96		8.52					
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)														
CONSTANTE DE CELDA 2.204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2														
MOLDE Nº	10				11				12					
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR		
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%		
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0				
25	116.10	85.3			148.00	108.7			153.70	112.9				
50	269.00	197.6			304.10	223.4			326.40	239.8				
75	397.70	292.2			404.60	297.2			438.60	322.2				
100	638.00	468.7	468.7	46.9	801.70	589.0	589.0	58.9	1059.30	778.2	778.2	77.8		
150	850.80	625.1			990.00	727.3			1238.60	910.0				
200	1129.70	830.0	830.0	55.3	1437.90	1056.4	1056.4	70.4	2051.70	1507.3	1507.3	100.5		
250	1382.40	1015.6			1873.40	1376.3			2393.20	1758.2				
300	1614.70	1186.3			2220.40	1631.3			2734.80	2009.2				
400	1967.00	1445.1			2393.20	1758.2			3076.40	2260.1				
500	2350.10	1726.5			2565.90	1885.1			3417.90	2511.0				
CBR corregido 1":				46.9	CBR corregido 1":				58.9	CBR corregido 1":				77.8
CBR corregido 2":				55.3	CBR corregido 2":				70.4	CBR corregido 2":				100.5

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	778.2	77.8	2.012	1507.3	100.5	2.012
11	589.0	58.9	1.931	1056.4	70.4	1.931
10	468.7	46.9	1.847	830.0	55.3	1.847



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	2.003	75.72	97.15

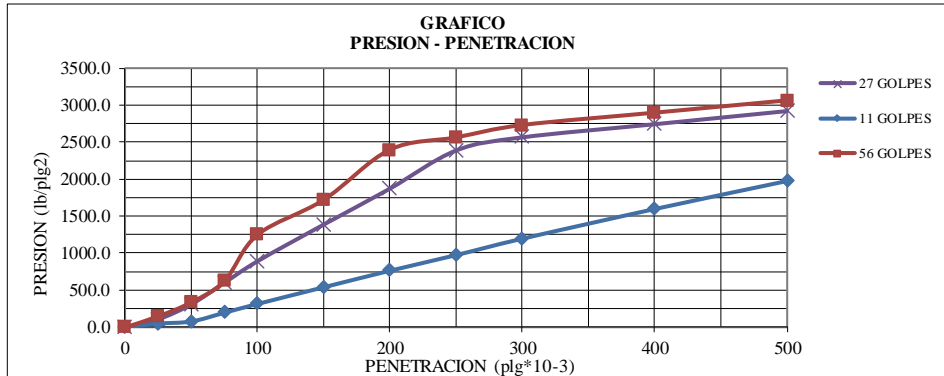
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

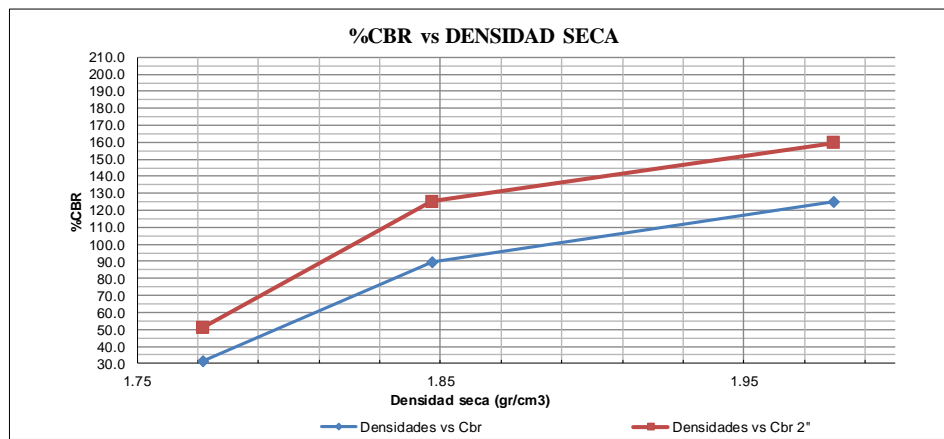
## Anexo 14: CBR de bases de agregados clase 3, 4% cemento-5% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.												
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 3 Representativa								
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42								
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3								
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 4%;5%								
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833												
<b>ENSAYO CBR</b>												
MOLDE #	10			11			12					
# DE CAPAS	5			5			5					
# DE GOLPES POR CAPA	11			27			56					
	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			
W <sub>m</sub> +MOLDE (gr)	10498.8		10569.4	10740.8		10733.6	10998.8		10997.8			
PESO MOLDE (gr)	6441.8		6441.8	6454		6454	6480		6480			
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4057		4127.6	4286.8		4279.6	4518.8		4517.8			
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2114.54		2114.54	2115.08		2115.08	2110.3		2110.3			
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.919		1.952	2.027		2.023	2.141		2.141			
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.755		1.788	1.845		1.850	1.980		1.980			
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.772			1.847			1.980					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>												
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"			
TARRO #	R-4	W-8	M-8	2-R	A-1	Y-1	B-8	W-6	H-2			
W <sub>m</sub> +TARRO (gr)	258.88	243.2	272.77	157.34	218.56	282.61	264.64	230.3	292.6			
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	240.78	225.79	257.81	146.5	203.74	263.24	246.83	217.12	273.85			
PESO AGUA (gr)	18.1	17.41	14.96	10.84	14.82	19.37	17.81	13.18	18.75			
PESO TARRO (gr)	44.91	39.76	94.31	42.37	45.24	56.75	42.11	44.58	43.2			
PESO MUESTRA SECA (gr)	195.87	186.03	163.5	104.13	158.5	206.49	204.72	172.54	230.65			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.24	9.36	9.15	10.41	9.35	9.38	8.70	7.64	8.13			
AGUA ABSORBIDA %	0.09			1.03			0.57					
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	9.30		9.15	9.88		9.38	8.17		8.13			
<b>ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)</b>												
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2												
MOLDE N°	10				11				12			
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG	
" 10-3	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0		
25	68.90	50.6			147.80	108.6			203.40	149.4		
50	108.20	79.5			424.90	312.2			460.00	337.9		
75	269.60	198.1			821.50	603.5			851.00	625.2		
100	431.40	316.9	316.9	<b>31.7</b>	1219.20	895.7	895.7	<b>89.6</b>	1701.90	1250.3	1250.3	<b>125.0</b>
150	738.70	542.7			1894.80	1392.0			2342.30	1720.8		
200	1043.10	766.3	766.3	<b>51.1</b>	2556.70	1878.3	1878.3	<b>125.2</b>	3263.30	2397.4	2397.4	<b>159.8</b>
250	1331.50	978.2			3259.90	2394.9			3490.10	2564.1		
300	1633.60	1200.2			3502.30	2573.0			3716.90	2730.7		
400	2180.20	1601.7			3744.60	2751.0			3943.70	2897.3		
500	2696.90	1981.3			3987.00	2929.1			4170.50	3063.9		
CBR corregido 1":				31.7				89.6				125.0
CBR corregido 2":				51.1				125.2				159.8

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	1250.3	125.0	1.980	2397.4	159.8	1.980
11	895.7	89.6	1.847	1878.3	125.2	1.847
10	316.9	31.7	1.772	766.3	51.1	1.772



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**



**CBR**



DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.972	122.97	157.81

<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

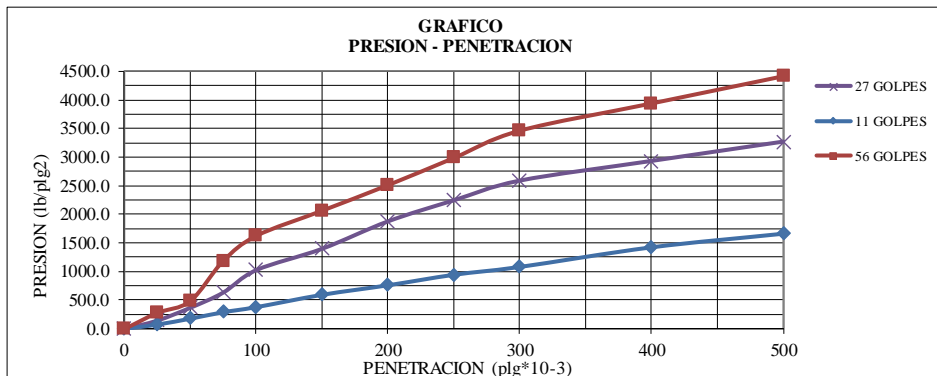
**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



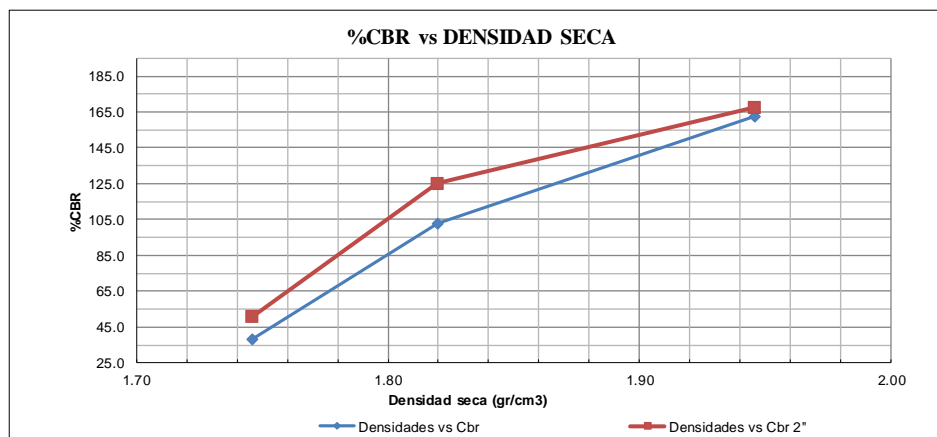
## Anexo 15: CBR de bases de agregados clase 3, 3% cemento-9% polvo cerámico.

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 4 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3									
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 3%;9%									
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833													
ENSAYO CBR													
MOLDE #	10			11			12						
# DE CAPAS	5			5			5						
# DE GOLPES POR CAPA	11			27			56						
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO		ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO					
Wm+MOLDE (gr)	10504.8	10499		10706.4	10700.8		10949.6	10944.2					
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8		6454	6454		6480	6480					
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4063	4057.2		4252.4	4246.8		4469.6	4464.2					
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2114.54	2114.54		2115.08	2115.08		2110.3	2110.3					
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.921	1.919		2.011	2.008		2.118	2.115					
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.741	1.751		1.819	1.820		1.952	1.939					
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.746			1.820			1.946						
CONTENIDO DE HUMEDAD													
TARRO #	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
	C-8	X-2	W-1	D-7	Y-1	H-1	R-5	P-6	F-5				
Wm+TARRO (gr)	212.34	253.4	313.81	184.2	219.46	275.63	232.89	226.8	354.26				
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	197.5	232.1	291.04	170.1	204.14	253.9	216.21	214.42	329.25				
PESO AGUA (gr)	14.84	21.3	22.77	14.1	15.32	21.73	16.68	12.38	25.01				
PESO TARRO (gr)	43.12	39.76	53.85	46	45.24	43.49	43.09	45.32	53.61				
PESO MUESTRA SECA (gr)	154.38	192.34	237.19	124.1	158.9	210.41	173.12	169.1	275.64				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.61	11.07	9.60	11.36	9.64	10.33	9.63	7.32	9.07				
AGUA ABSORBIDA %	0.01			1.03			0.56						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	10.34		9.60	10.50		10.33	8.48		9.07				
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE N°	10				11				12				
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG		
" 10-3	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	DIAL	lb/plg <sup>2</sup>		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	105.40	77.4			201.50	148.0			383.60	281.8			
50	245.50	180.4			504.40	370.6			665.60	489.0			
75	398.70	292.9			865.30	635.7			1619.10	1189.5			
100	518.90	381.2	381.2	<b>38.1</b>	1397.70	1026.8	1026.8	<b>102.7</b>	2215.00	1627.3	1627.3	<b>162.7</b>	
150	812.10	596.6			1904.80	1399.4			2814.40	2067.6			
200	1038.60	763.0	763.0	<b>50.9</b>	2555.80	1877.7	1877.7	<b>125.2</b>	3421.90	2514.0	2514.0	<b>167.6</b>	
250	1287.40	945.8			3056.00	2245.1			4069.90	2990.0			
300	1473.80	1082.8			3523.30	2588.5			4717.90	3466.1			
400	1939.80	1425.1			3990.70	2931.8			5365.90	3942.1			
500	2263.40	1662.8			4450.00	3269.3			6013.90	4418.2			
CBR corregido 1°:				38.1					102.7				
CBR corregido 2°:				50.9					125.2				

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	1627.3	162.7	1.946	2514.0	167.6	1.946
11	1026.8	102.7	1.820	1877.7	125.2	1.820
10	381.2	38.1	1.746	763.0	50.9	1.746



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.942	160.85	166.27

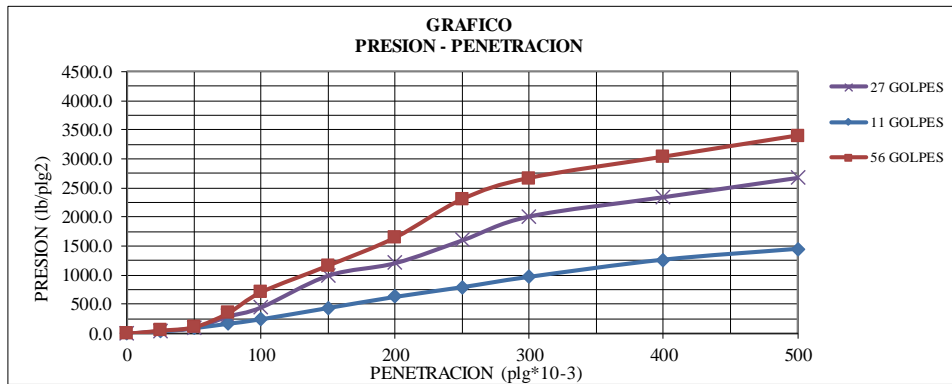
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

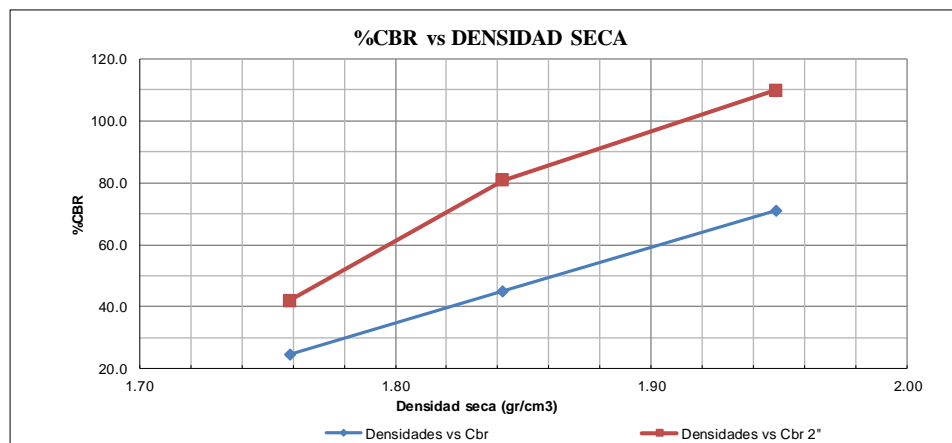
**Anexo 16: CBR de bases de agregados clase 3, 2% cemento-13% polvo cerámico.**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL										
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.												
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	5 Representativa									
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados Clase 3									
<b>Fecha:</b>	19/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b>	2%:13%									
<b>Norma:</b>	AASHTO T193-13 / ASTM D-1833											
<b>ENSAYO CBR</b>												
MOLDE #	9			8			7					
# DE CAPAS	5			5			5					
# DE GOLPES POR CAPA	11			27			56					
	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO			
Wm+MOLDE (gr)	10431.2	10426.8	10607.4	10603.2	10854.2	10846.4						
PESO MOLDE (gr)	6372.4	6372.4	6370.8	6370.8	6393.8	6393.8						
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4058.8	4054.4	4236.6	4232.4	4460.4	4452.6						
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm <sup>3</sup> )	2114.54	2114.54	2115.08	2115.08	2109.3	2109.3						
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.919	1.917	2.003	2.001	2.115	2.111						
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.753	1.765	1.835	1.849	1.933	1.964						
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.759			1.842			1.949					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>												
	Fondo	Arriba'	Arriba''	Fondo	Arriba	Arriba''	Fondo	Arriba	Arriba''			
TARRO #	61-T	T-4	B-6	P-4	P-1	D-5	F-3	W-2	P-5			
Wm+TARRO (gr)	174.27	252.3	265.05	209.23	220.12	337.27	288.32	227.9	247.63			
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	162.04	235.72	247.32	195.55	205.58	316.67	261.93	217.59	233.2			
PESO AGUA (gr)	12.23	16.58	17.73	13.68	14.54	20.6	26.39	10.31	14.43			
PESO TARRO (gr)	45.15	42.74	41.62	48.8	44.19	65.52	55.26	45.32	40.06			
PESO MUESTRA SECA (gr)	116.89	192.98	205.7	146.75	161.39	251.15	206.67	172.27	193.14			
CONTENIDO DE HUMEDAD %	10.46	8.59	8.62	9.32	9.01	8.20	12.77	5.98	7.47			
AGUA ABSORBIDA %	1.84			1.12			5.30					
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	9.53		8.62	9.17		8.20	9.38		7.47			
<b>ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)</b>												
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2												
MOLDE N°	9				8				7			
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG	
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0		
25	49.10	36.1			60.40	44.4			70.90	52.1		
50	131.00	96.2			134.30	98.7			152.00	111.7		
75	230.50	169.3			397.70	292.2			474.80	348.8		
100	336.50	247.2	247.2	<b>24.7</b>	615.70	452.3	452.3	<b>45.2</b>	968.50	711.5	711.5	<b>71.2</b>
150	597.40	438.9			1356.90	996.9			1588.10	1166.7		
200	856.10	628.9	628.9	<b>41.9</b>	1650.00	1212.2	1212.2	<b>80.8</b>	2242.60	1647.6	1647.6	<b>109.8</b>
250	1080.80	794.0			2182.00	1603.0			3136.60	2304.4		
300	1321.20	970.6			2739.80	2012.8			3630.40	2667.1		
400	1719.40	1263.2			3190.20	2343.7			4124.30	3030.0		
500	1971.60	1448.5			3640.80	2674.8			4618.10	3392.8		
CBR corregido 1°:	24.7				45.2				71.2			
CBR corregido 2°:	41.9				80.8				109.8			

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
7	711.5	71.2	1.949	1647.6	109.8	1.949
8	452.3	45.2	1.842	1212.2	80.8	1.842
9	247.2	24.7	1.759	628.9	41.9	1.759



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.931	66.84	105.01

<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------



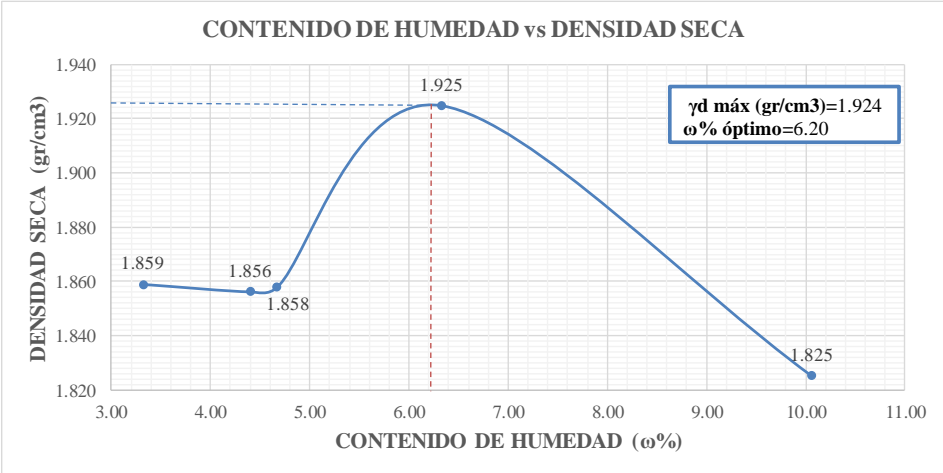
**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

**Anexo 17: Ensayo de resistencia a la compresión simple con la base de agregados clase 3.**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.								
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 15/7/2022 <b>Norma:</b> ASTM D-1633		<b>N° de muestra:</b> 1 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 3						
ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE BASES ESTABILIZADAS								
Cemento	Polvo Cerámico	Cilindro	CARGA P	Diametro	Area	Max Esfuerzo Axial	Max Esfuerzo Axial	RESISTENCIA
		N°	Kg	cm	cm <sup>2</sup>	Mpa	Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIA kg/cm <sup>2</sup>
5%	0%	1	2098.66557	10.3	83.323086	2.47	25.187084	26.82
		2	2291.37515	10.43	85.4396605	2.63	26.818636	
		3	2475.79286	10.47	86.0962549	2.82	28.756104	
4%	5%	1	2360.78262	10.47	86.0962549	2.69	27.4202708	22.56
		2	1529.05212	10.49	86.4254945	1.74	17.692142	
		3	914.686789	10.38	84.6224518	1.06	10.809032	
3%	9%	1	1381.86232	10.5	86.59035	1.57	15.958618	16.40
		2	1424.66782	10.38	84.6224518	1.65	16.8355772	
		3	1719.4125	10.49	86.4254945	1.95	19.8947372	
2%	13%	1	1262.01881	10.49	86.4254945	1.43	14.6023904	15.2
		2	1289.44305	10.43	85.4396605	1.48	15.091856	
		3	1346.1028	10.42	85.2759046	1.55	15.7852656	
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas				<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías				



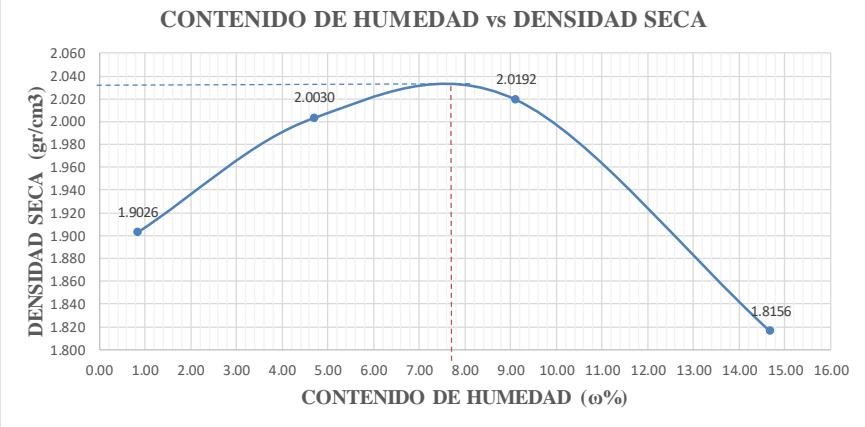
**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

**Anexo 18:** Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 0% cemento-0% polvo cerámico.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>										
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.										
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	1 Representativa							
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42							
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados Clase 4							
<b>Fecha:</b>	20/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b>	0%;0%							
<b>Norma:</b>	AASHTO T 180-20									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5							
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr)	5427							
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*fi/ft^3):	56582.28	PESO MARTILLO (lb):	10							
		VOLUMEN MOLDE cm3 :	2101.908							
		ALTURA (cm):	15.15							
		DIÁMETRO (cm):	11.66							
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	120	240	360	480					
P molde + suelo húmedo (gr)	9463.60	9499.80	9514.60	9728.40	9648.80					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4036.60	4072.80	4087.60	4301.40	4221.80					
Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.920	1.938	1.945	2.046	2.009					
<b>PESO INICIAL (gr)</b>	6000	6000	6000	6000	6000					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	C-5	4-A	D-7	C-9	C-8	W-1	R-5	C-2	61-T	A-5
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	190.05	254.72	146.85	158.36	165.27	195.19	306.48	149.56	240.89	321.00
Peso seco + recipiente Ws+ rec	184.40	249.84	142.20	153.95	158.80	190.05	289.80	143.82	223.26	296.24
Peso del recipiente rec	45.37	60.47	46.08	42.71	42.70	53.85	43.03	46.56	45.12	54.00
Peso del agua Ww	5.65	4.88	4.65	4.41	6.47	5.14	16.68	5.74	17.63	24.76
Peso suelo seco Ws	139.03	189.37	96.12	111.24	116.10	136.20	246.77	97.26	178.14	242.24
Contenido humedad w%	4.06	2.58	4.84	3.96	5.57	3.77	6.76	5.90	9.90	10.22
Contenido humedad promedio w%	3.32		4.40		4.67		6.33		10.06	
Densidad Seca $\gamma_d$	1.859		1.856		1.858		1.925		1.825	
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
										
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	1.924		<b>Contenido de Humedad Óptimo <math>\omega</math>% =</b>		6.2					
<b>REALIZÓ:</b>										
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			<b>REVISÓ:</b>							
			Ing. Alex Frías							



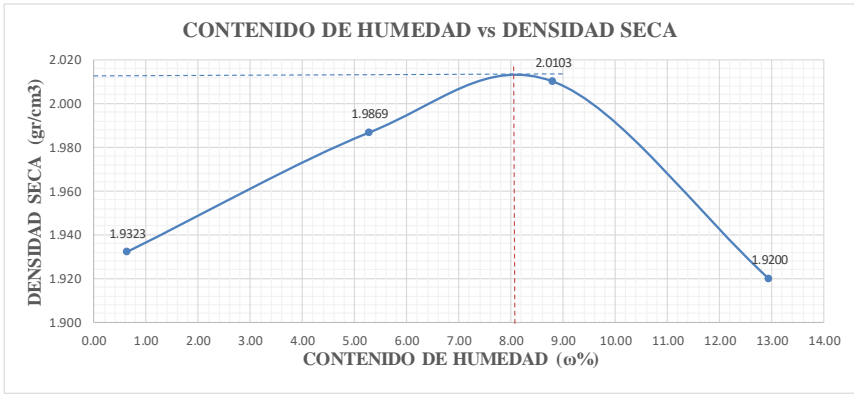
Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 19: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 5% cemento-0% polvo cerámico.**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 										
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.										
<b>Provincia:</b> Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b> 2 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga	<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo	<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4									
<b>Fecha:</b> 20/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b> 5%;0%									
<b>Norma:</b> AASHTO T180-20										
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5	PESO MARTILLO (lb):	10					
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr)	5427	VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.908					
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	56582.28	ALTURA (cm):	15.15	DIÁMETRO (cm):	11.66					
<b>PESO INICIAL (gr)</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>6000</b>	<b>-</b>					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en %	0	4	8	12	-					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	250	500	750	-					
P molde + suelo húmedo (gr)	9459.40	9834.80	10057.80	9803.50	-					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4032.40	4407.80	4630.80	4376.50	-					
Densidad Húmeda ym (gr/cm <sup>3</sup> )	1.918	2.097	2.203	2.082	-					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	D-1	W-3	M-2	C-9	F-5	W-6	F-3	C-5	-	-
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	295.96	200.85	344.06	217.99	354.84	202.53	363.01	261.95	-	-
Peso seco + recipiente Ws+ rec	293.48	199.81	331.85	211.02	328.20	190.54	323.85	235.15	-	-
Peso del recipiente rec	43.49	46.55	98.32	43.45	53.65	49.80	55.30	53.77	-	-
Peso del agua Ww	2.48	1.04	12.21	6.97	26.64	11.99	39.16	26.80	-	-
Peso suelo seco Ws	249.99	153.26	233.53	167.57	274.55	140.74	268.55	181.38	-	-
Contenido humedad w%	0.99	0.68	5.23	4.16	9.70	8.52	14.58	14.78	-	-
Contenido humedad promedio w%	0.84		4.69		9.11		14.68		-	
Densidad Seca γd	1.903		2.003		2.019		1.816		-	
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
										
<b>Densidad Seca γd máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	<b>2.031</b>		<b>Contenido de Humedad Óptimo ω% =</b>		<b>7.89</b>					
<b>REALIZÓ:</b>										
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			<b>REVISÓ:</b>							
			Ing. Alex Frías							

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



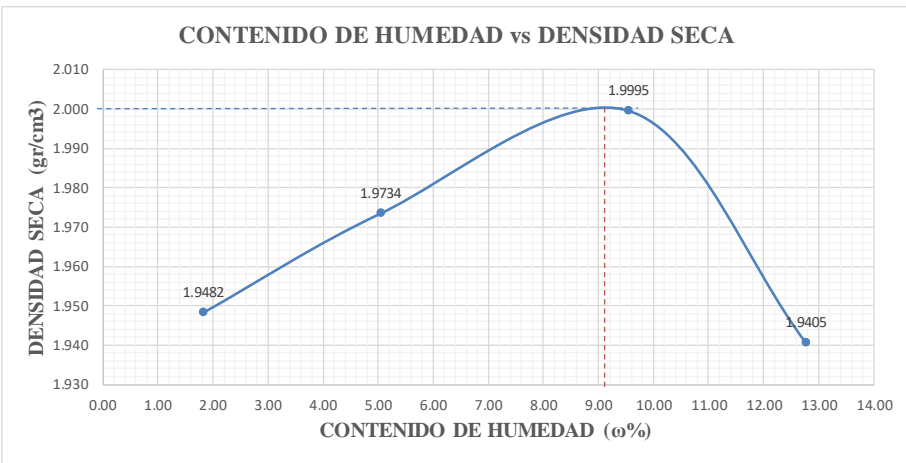
**Anexo 20: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 4% cemento-5% polvo cerámico.**

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>								
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.										
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	3 Representativa							
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42							
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados Clase 4							
<b>Fecha:</b>	20/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b>	4%;5%							
<b>Norma:</b>	AASHTO T180-20									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO - TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NUMERO DE CAPAS :	5	PESO MARTILLO (lb):	10					
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr)	5427	VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.9					
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	56582.28			ALTURA (cm):	15.15					
				DIÁMETRO (cm):	11.66					
PESO INICIAL (gr)	6000	6000	6000	6000	-					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en %	0	4	8	12	-					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	250	500	750	-					
P molde + suelo húmedo (gr)	9514.60	9824.00	10024.60	9985.20	-					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4087.60	4397.00	4597.60	4558.20	-					
Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.945	2.092	2.187	2.169	-					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	W-5	2-P	1-P	C-9	M-8	W-1	W-2	C-5	-	-
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	310.64	300.76	323.10	250.29	329.79	216.30	360.05	358.82	-	-
Peso seco + recipiente Ws+ rec	308.40	299.76	309.53	223.00	310.53	202.60	323.89	324.83	-	-
Peso del recipiente rec	53.44	53.54	53.18	41.78	94.31	45.27	53.41	53.53	-	-
Peso del agua Ww	2.24	1.00	13.57	9.56	19.26	13.70	36.16	33.99	-	-
Peso suelo seco Ws	254.96	246.22	256.35	181.22	216.22	157.33	270.48	271.30	-	-
Contenido humedad w%	0.88	0.41	5.29	5.28	8.91	8.71	13.37	12.53	-	-
Contenido humedad promedio w%	0.64		5.28		8.81		12.95		-	
Densidad Seca $\gamma_d$	1.932		1.987		2.010		1.920		-	
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
										
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	2.012		<b>Contenido de Humedad Óptimo <math>\omega</math>% =</b>	8.00						
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>							
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías							

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



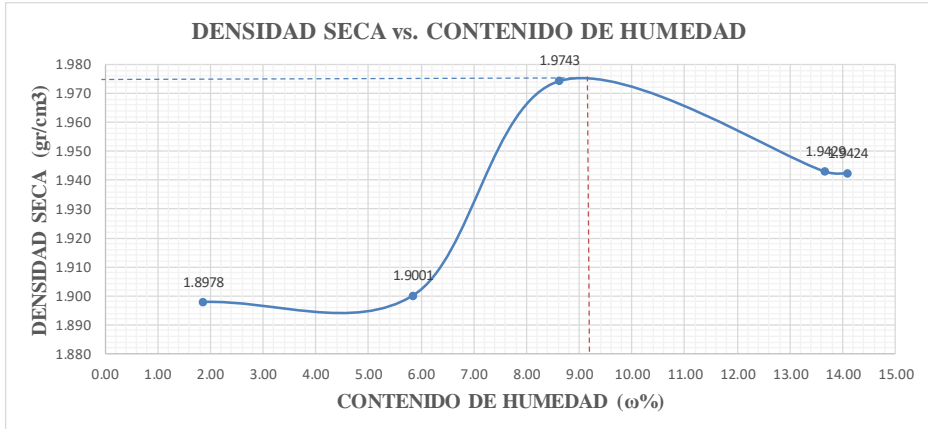


**Anexo 21: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 3% cemento-9% polvo cerámico.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>									
	<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.									
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 21/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T180-20	<b>N° de muestra:</b> 4 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4 <b>Cemento/Polvo</b> 3%;9%									
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>										
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5	PESO MARTILLO (lb):	10					
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr)	5427	VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.908					
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/ft <sup>3</sup> ):	56582.28			ALTURA (cm):	15.15					
				DIÁMETRO (cm):	11.66					
<b>PESO INICIAL (gr)</b>	6000	6000	6000	6000	-					
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>										
Muestra	1	2	3	4	5					
Humedad inicial añadida en %	0	4	8	12	-					
Humedad inicial añadida en (cc)	0	200	400	600	-					
P molde + suelo húmedo (gr)	9597.00	9784.40	10030.80	10026.40	-					
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4170.00	4357.40	4603.80	4599.40	-					
Densidad Húmeda γm (gr/cm <sup>3</sup> )	1.984	2.073	2.190	2.188	-					
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>										
Recipiente #	4-A	C-8	D-5	C-9	M-8	W-1	P-4	C-5	-	-
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	216.66	270.39	272.39	263.69	274.88	236.60	272.87	310.40	-	-
Peso seco + recipiente Ws+ rec	213.20	267.19	260.06	256.08	258.65	220.17	248.42	279.52	-	-
Peso del recipiente rec	46.44	65.47	65.47	53.75	94.34	41.76	48.70	47.13	-	-
Peso del agua Ww	3.46	3.20	12.33	7.61	16.23	16.43	24.45	30.88	-	-
Peso suelo seco Ws	166.76	201.72	194.59	202.33	164.31	178.41	199.72	232.39	-	-
Contenido humedad w%	2.07	1.59	6.34	3.76	9.88	9.21	12.24	13.29	-	-
Contenido humedad promedio w%	1.83	5.05	9.54	12.77	-	-	-	-	-	-
Densidad Seca γd	1.948	1.973	1.999	1.940	-	-	-	-	-	-
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>										
										
<b>Densidad Seca γd máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	2.000				<b>Contenido de Humedad Óptimo ω% =</b>	9.10				
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas					<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías					



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

## Anexo 22: Proctor modificado de Bases de Agregados Clase 4, 2% cemento-13% polvo cerámico.

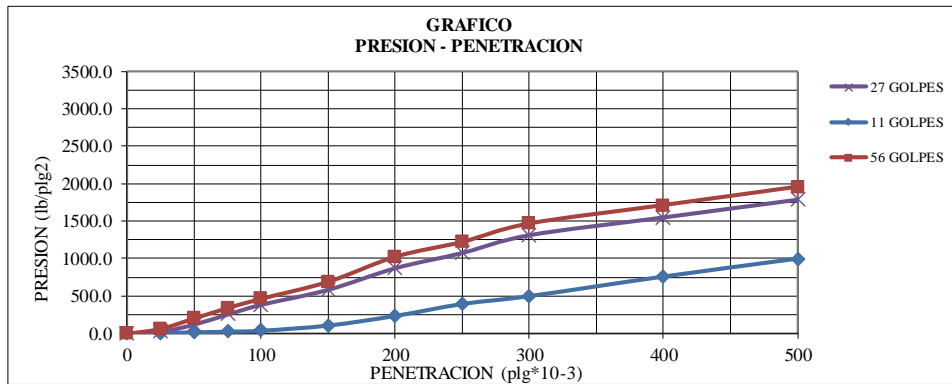
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>			
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>Provincia:</b>	Cotopaxi	<b>N° de muestra:</b>	5 Representativa
<b>Cantón:</b>	Latacunga	<b>Coordenadas:</b>	17M, 769863.62; 9915566.42
<b>Sector:</b>	Mulalo	<b>Tipo:</b>	Base de Agregados Clase 4
<b>Fecha:</b>	21/4/2022	<b>Cemento/Polvo</b>	2%;13%
<b>Norma:</b>	AASHTO T180-20 D		
<b>ESPECIFICACIONES DEL PROCTOR MODIFICADO -TPO B</b>			
NUMERO DE GOLPES :	56	NÚMERO DE CAPAS :	5
ALTURA DE CAÍDA (in):	18"	PESO MOLDE (gr)	5427
ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (lb*ft/R <sup>3</sup> ):	56582.28	PESO MARTILLO (lb):	10
		VOLUMEN MOLDE cm <sup>3</sup> :	2101.908
		ALTURA (cm):	15.15
		DIÁMETRO (cm):	11.66
<b>PESO INICIAL (gr)</b>	6000	6000	6000
	6000	6000	6000
<b>1.- PROCESO DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO</b>			
Muestra	1	2	3
Humedad inicial añadida en %	0	4	8
Humedad inicial añadida en (cc)	0	200	400
P molde + suelo húmedo (gr)	9490.60	9654.40	9934.80
Peso suelo húmedo Wm (gr)	4063.60	4227.40	4507.80
Densidad Húmeda $\gamma_m$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.933	2.011	2.145
			2.208
			2.216
<b>2.- DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
Recipiente #	F-5	4-A	M-1
Peso húmedo + recipiente Wm+ rec	322.63	281.54	267.74
Peso seco + recipiente Ws+ rec	316.76	277.97	257.02
Peso del recipiente rec	53.71	41.75	93.75
Peso del agua Ww	5.87	3.57	10.72
Peso suelo seco Ws	263.05	236.22	163.27
Contenido humedad w%	2.23	1.51	6.57
Contenido humedad promedio w%	1.87	1.51	5.85
Densidad Seca $\gamma_d$	1.898	1.900	1.974
			1.943
			1.942
<b>3.- DETERMINACIÓN GRÁFICA DE LA DENSIDAD MÁXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA</b>			
<b>DENSIDAD SECA vs. CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
			
<b>Densidad Seca <math>\gamma_d</math> máximo (gr/cm<sup>3</sup>)=</b>	1.975	<b>Contenido de Humedad Óptimo <math>\omega\%</math> =</b>	9.20
<b>REALIZÓ:</b>		<b>REVISÓ:</b>	
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas		Ing. Alex Frías	

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

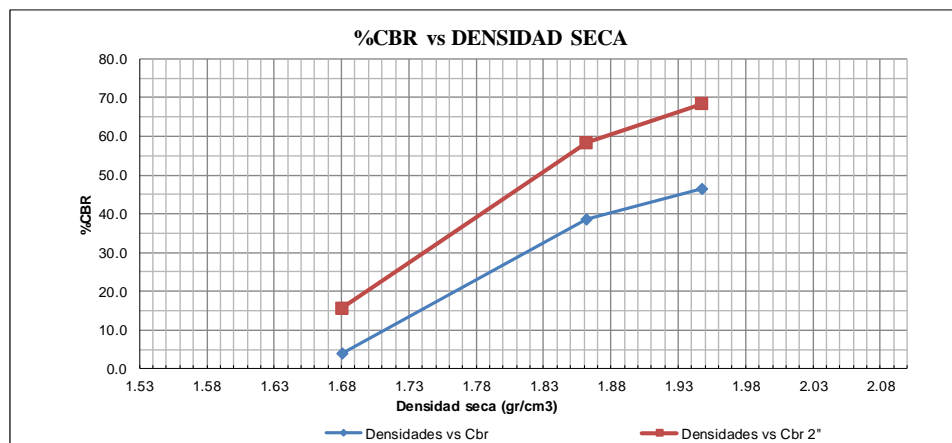
**Anexo 23: CBR de bases de agregados clase 4, 0% cemento-0% polvo cerámico.**

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi <b>Cantón:</b> Latacunga <b>Sector:</b> Mulalo <b>Fecha:</b> 13/4/2022 <b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833			<b>Nº de muestra:</b> 1 Representativa <b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42 <b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4 <b>Cemento/Polvo</b> 0%;0%										
<b>ENSAYO CBR</b>													
MOLDE #	10			11			12						
# DE CAPAS	5			5			5						
# DE GOLPES POR CAPA	11			27			56						
	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO		DESPUES DEL REMOJO				
Wm+MOLDE (gr)	10184.4		10180	10613.6		10608.2	10785.4		10777				
PESO MOLDE (gr)	6441.8		6441.8	6454		6454	6480		6480				
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	3742.6		3738.2	4159.6		4154.2	4305.4		4297				
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm3)	2114.54		2114.54	2115.08		2115.08	2110.3		2110.3				
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.770		1.768	1.967		1.964	2.040		2.036				
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.680		1.681	1.860		1.864	1.941		1.954				
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm3)	1.681			1.862			1.948						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>													
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
TARRO #	R-5	Y-1	D-5	M-2	D-2	D-1	W-12	W-1	H-2				
Wm + TARRO (gr)	301.41	235.25	363.29	270.22	219.85	247.95	309.98	230.3	198.36				
PESO MUESTRA SECA + TARRO (gr)	292.26	222.38	348.69	262.65	208.7	237.51	298.6	220.3	192.13				
PESO AGUA (gr)	9.15	12.87	14.6	7.57	11.15	10.44	11.38	10	6.23				
PESO TARRO (gr)	43.05	39.76	65.50	98.3	45.24	43.51	53.32	42.67	43.2				
PESO MUESTRA SECA (gr)	249.21	182.62	283.19	164.35	163.46	194	245.28	177.63	148.93				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	3.67	7.05	5.16	4.61	6.82	5.38	4.64	5.63	4.18				
AGUA ABSORBIDA %	1.48			0.78			0.46						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	5.36		5.16	5.71		5.38	5.13		4.18				
<b>ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)</b>													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE Nº	10				11			12					
	Q LECT	PRESIONES LEIDA CORG		CBR	Q LECT	PRESIONES LEIDA CORG		CBR	Q LECT	PRESIONES LEIDA CORG		CBR	
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	10.80	7.9			33.20	24.4			87.40	64.2			
50	25.90	19.0			166.90	122.6			277.20	203.6			
75	37.10	27.3			349.20	256.5			465.10	341.7			
100	54.00	39.7	39.7	4.0	525.70	386.2	386.2	38.6	633.70	465.6	465.6	46.6	
150	147.30	108.2			799.30	587.2			942.20	692.2			
200	320.40	235.4	235.4	15.7	1190.70	874.8	874.8	58.3	1395.70	1025.4	1025.4	68.4	
250	534.40	392.6			1468.70	1079.0			1665.30	1223.4			
300	676.10	496.7			1791.10	1315.9			1998.40	1468.2			
400	1027.40	754.8			2113.40	1552.6			2331.50	1712.9			
500	1350.20	991.9			2435.80	1789.5			2664.60	1957.6			
CBR corregido 1":				4.0					38.6				
CBR corregido 2":				15.7					58.3				

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	465.6	46.6	1.948	1025.4	68.4	1.948
11	386.2	38.6	1.862	874.8	58.3	1.862
10	39.7	4.0	1.681	235.4	15.7	1.681



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.924	44.91	66.27

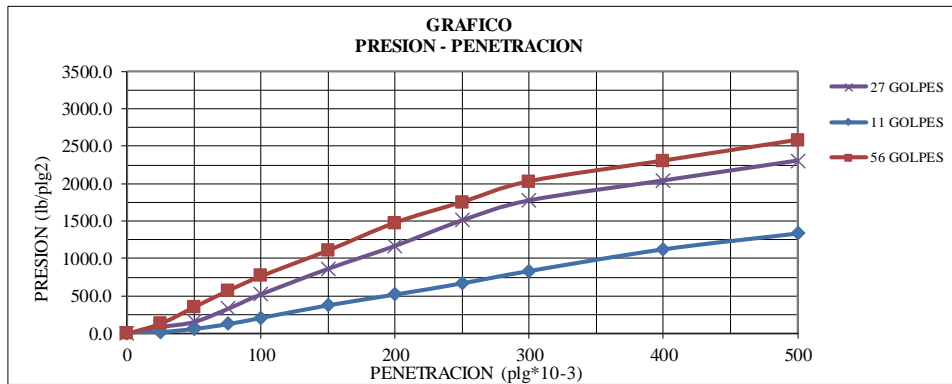
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

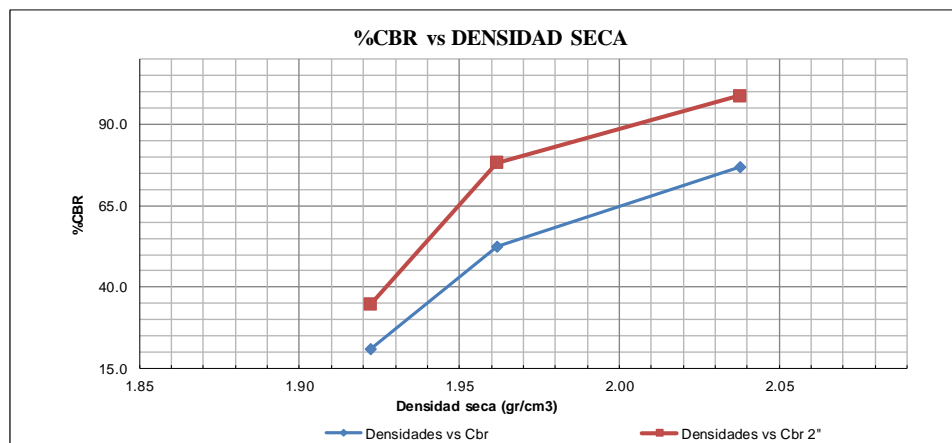
## Anexo 24: CBR de bases de agregados clase 4, 5% cemento-0% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 2 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4									
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 5%;0%									
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833													
ENSAYO CBR													
MOLDE#	10		11		12								
# DE CAPAS	5		5		5								
# DE GOLPES POR CAPA	11		27		56								
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO							
Wm+MOLDE (gr)	10794.8	10792	10923.4	10919.8	11089.6	11084							
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8	6454	6454	6480	6480							
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4353	4350.2	4469.4	4465.8	4609.6	4604							
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm3)	2114.54	2114.54	2115.08	2115.08	2110.3	2110.3							
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.059	2.057	2.113	2.111	2.184	2.182							
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.903	1.942	1.955	1.968	2.029	2.047							
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm3)	1.922		1.962		2.038								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
TARRO #	R-4	B-4	R-5	T-60	Z-2	D-7	H-1	W-1	C-5				
Wm+TARRO (gr)	264.25	238.17	283.59	220.35	219.85	213.12	196.37	230.3	186.91				
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	246.49	224.22	270.07	207.92	205.7	201.78	184.55	218	178.16				
PESO AGUA (gr)	17.76	13.95	13.52	12.43	14.15	11.34	11.82	12.3	8.75				
PESO TARRO (gr)	42.88	42.23	43.01	37.82	45.24	45.98	42.81	42.67	45.28				
PESO MUESTRA SECA (gr)	203.61	181.99	227.06	170.1	160.46	155.8	141.74	175.33	132.88				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	8.72	7.67	5.95	7.31	8.82	7.28	8.34	7.02	6.58				
AGUA ABSORBIDA %	2.77			0.03			1.75						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	8.19		5.95	8.06		7.28	7.68		6.58				
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE N°	10				11			12					
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG		
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	29.55	21.7			120.32	88.4			183.45	134.8			
50	87.32	64.1			213.69	157.0			481.27	353.6			
75	173.94	127.8			450.87	331.2			776.49	570.5			
100	287.62	211.3	211.3	<b>21.1</b>	716.49	526.4	526.4	<b>52.6</b>	1044.39	767.3	767.3	<b>76.7</b>	
150	515.55	378.8			1178.84	866.1			1512.00	1110.8			
200	710.59	522.0	522.0	<b>34.8</b>	1596.02	1172.5	1172.5	<b>78.2</b>	2014.27	1479.8	1479.8	<b>98.7</b>	
250	914.18	671.6			2058.91	1512.6			2389.15	1755.2			
300	1137.34	835.6			2420.29	1778.1			2763.81	2030.5			
400	1529.59	1123.7			2781.67	2043.6			3138.69	2305.9			
500	1816.57	1334.6			3143.05	2309.1			3513.57	2581.3			
CBR corregido 1":					21.1				52.6				76.7
CBR corregido 2":					34.8				78.2				98.7

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	767.3	76.7	2.038	1479.8	98.7	2.038
11	526.4	52.6	1.962	1172.5	78.2	1.962
10	211.3	21.1	1.922	522.0	34.8	1.922



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





**CBR**

DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	2.031	73.34	95.78

REALIZÓ:	REVISÓ:
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	Ing. Alex Frías

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



## Anexo 25: CBR de bases de agregados clase 4, 4% cemento-5% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 3 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4									
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 4%;5%									
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833													
ENSAYO CBR													
MOLDE#	10		11		12								
# DE CAPAS	5		5		5								
# DE GOLPES POR CAPA	11		27		56								
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO							
Wm+MOLDE (gr)	10639.2	10635	10718.6	10716.4	10988.6	10982							
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8	6454	6454	6480	6480							
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4197.4	4193.2	4264.6	4262.4	4508.6	4502							
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm3)	2114.54	2114.54	2115.08	2115.08	2110.3	2110.3							
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.985	1.983	2.016	2.015	2.136	2.133							
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.820	1.835	1.854	1.868	1.975	2.071							
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm3)	1.828		1.861		2.023								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
TARRO #	M-2	W-4	D-1	M-8	P-2	A-2	61-T	Z-2	F-3				
Wm+TARRO (gr)	292.32	232.25	177.58	230.38	229.25	184.35	180.84	230.3	180.31				
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	275.08	217.48	167.55	219.22	214.8	174.07	170.16	216.8	176.66				
PESO AGUA (gr)	17.24	14.77	10.03	11.16	14.45	10.28	10.68	13.5	3.65				
PESO TARRO (gr)	96.5	42.23	43.50	94.37	45.24	43.2	45.1	43.62	55.29				
PESO MUESTRA SECA (gr)	178.58	175.25	124.05	124.85	169.56	130.87	125.06	173.18	121.37				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.65	8.43	8.09	8.94	8.52	7.86	8.54	7.80	3.01				
AGUA ABSORBIDA %	1.57			1.08			5.53						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	9.04		8.09	8.73		7.86	8.17		3.01				
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE N°	10				11				12				
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG		
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	128.27	94.2			191.12	140.4			502.97	369.5			
50	252.66	185.6			541.48	397.8			809.30	594.6			
75	381.72	280.4			931.60	684.4			1096.28	805.4			
100	534.07	392.4	392.4	<b>39.2</b>	1179.14	866.3	866.3	<b>86.6</b>	1481.87	1088.7	1088.7	<b>108.9</b>	
150	831.02	610.5			2152.14	1581.1			2248.98	1652.3			
200	1140.04	837.5	837.5	<b>55.8</b>	2713.10	1993.2	1993.2	<b>132.9</b>	2920.17	2145.4	2145.4	<b>143.0</b>	
250	1422.42	1045.0			2713.10	1993.2			3591.36	2638.5			
300	1707.89	1254.7			3274.07	2405.4			4262.55	3131.6			
400	2343.06	1721.4			3835.04	2817.5			4933.74	3624.7			
500	2832.51	2081.0			4396.00	3229.6			5604.93	4117.8			
CBR corregido 1":				39.2					86.6				
CBR corregido 2":				55.8					132.9				

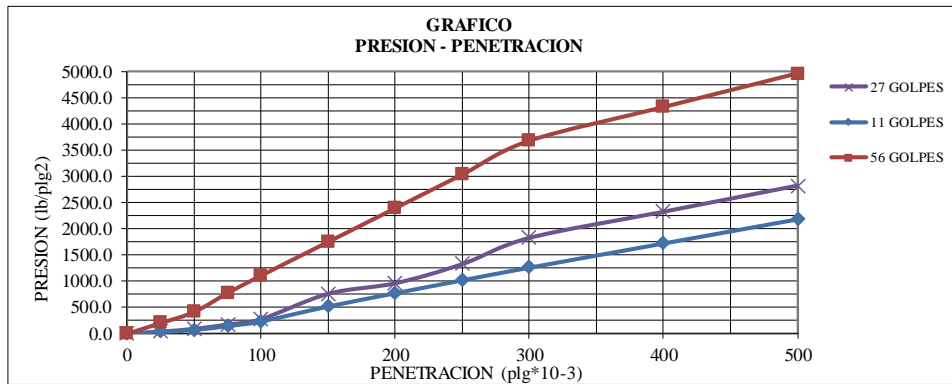




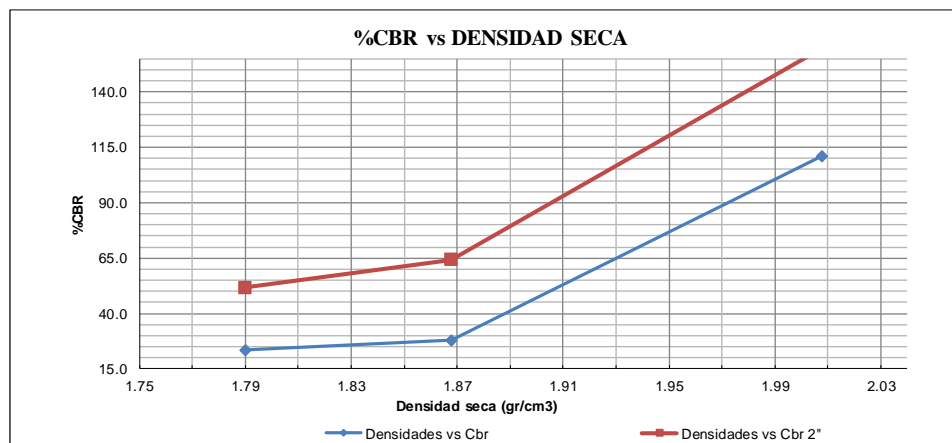
## Anexo 26: CBR de bases de agregados clase 4, 3% cemento-9% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 4 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4									
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 3%;9%									
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833													
ENSAYO CBR													
MOLDE#	10		11		12								
# DE CAPAS	5		5		5								
# DE GOLPES POR CAPA	11		27		56								
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO							
Wm+MOLDE (gr)	10588.8	10558.6	10751.4	10742.8	10971.2	10958.2							
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8	6454	6454	6480	6480							
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4147	4116.8	4297.4	4288.8	4491.2	4478.2							
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm3)	2114.54	2114.54	2115.08	2115.08	2110.3	2110.3							
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.961	1.947	2.032	2.028	2.128	2.122							
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.795	1.785	1.864	1.872	1.991	2.025							
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm3)	1.790		1.868		2.008								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
TARRO #	D-1	B-1	W-2	4-A	M-5	Y-1	H-1	X-2	F-5				
Wm+TARRO (gr)	237.22	242.13	255.31	171.01	229.48	327.7	148.4	229.37	348.04				
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	219.85	226.28	238.5	160.26	214.78	306.85	140.65	219.32	334.53				
PESO AGUA (gr)	17.37	15.85	16.81	10.75	14.7	20.85	7.75	10.05	13.51				
PESO TARRO (gr)	43.49	42.23	53.32	46.51	43.28	56.55	42.78	48.56	53.49				
PESO MUESTRA SECA (gr)	176.36	184.05	185.18	113.75	171.5	250.3	97.87	170.76	281.04				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	9.85	8.61	9.08	9.45	8.57	8.33	7.92	5.89	4.81				
AGUA ABSORBIDA %	0.77			1.12			3.11						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	9.23		9.08	9.01		8.33	6.90		4.81				
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE N°	10				11				12				
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG		
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	47.50	34.9			56.90	41.8			277.70	204.0			
50	99.60	73.2			126.70	93.1			565.30	415.3			
75	198.00	145.5			240.70	176.8			1056.40	776.1			
100	320.80	235.7	235.7	<b>23.6</b>	378.80	278.3	278.3	<b>27.8</b>	1509.50	1109.0	1109.0	<b>110.9</b>	
150	708.00	520.1			1036.10	761.2			2383.80	1751.3			
200	1053.60	774.0	774.0	<b>51.6</b>	1309.60	962.1	962.1	<b>64.1</b>	3258.30	2393.8	2393.8	<b>159.6</b>	
250	1388.80	1020.3			1805.90	1326.7			4132.70	3036.2			
300	1717.40	1261.7			2483.70	1824.7			5007.10	3678.5			
400	2345.70	1723.3			3161.70	2322.8			5881.70	4321.1			
500	2974.00	2184.9			3839.70	2820.9			6756.00	4963.4			
CBR corregido 1":					23.6					27.8			
CBR corregido 2":					51.6					64.1			

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	1109.0	110.9	2.008	2393.8	159.6	2.008
11	278.3	27.8	1.868	962.1	64.1	1.868
10	235.7	23.6	1.790	774.0	51.6	1.790



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**





CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	2.00	106.60	155.06

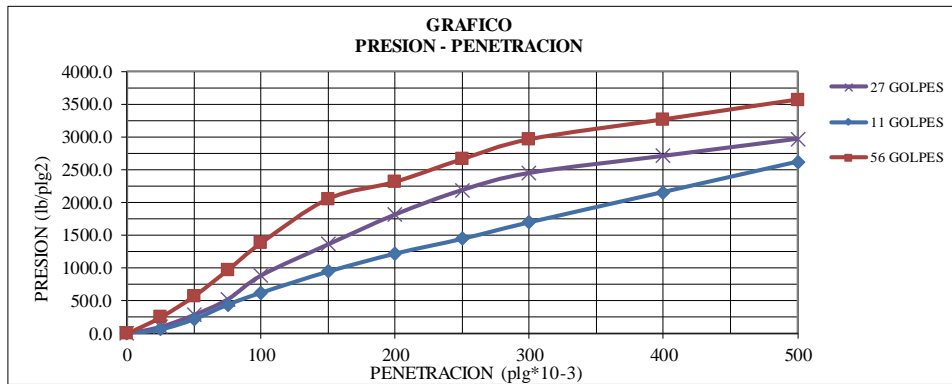
<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

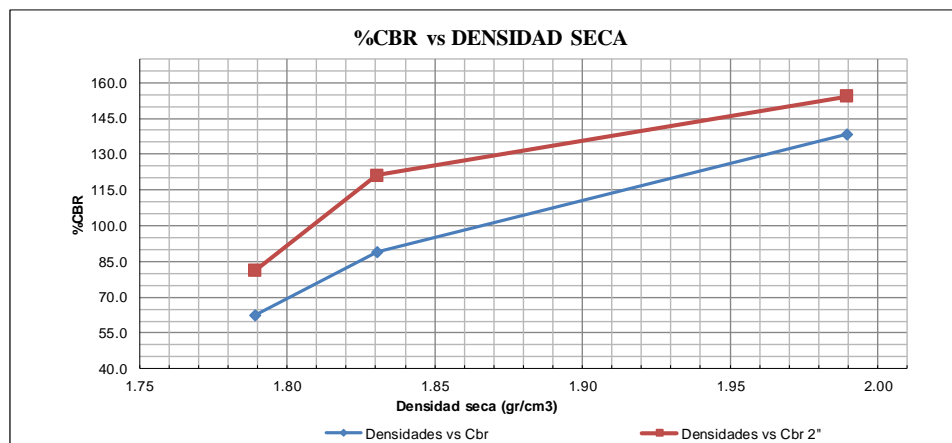
## Anexo 27: CBR de bases de agregados clase 4, 2% cemento-13% polvo cerámico.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL											
<b>PROYECTO:</b> Estabilización de suelos de Bases de Agregados de Clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.													
<b>Provincia:</b> Cotopaxi				<b>N° de muestra:</b> 5 Representativa									
<b>Cantón:</b> Latacunga				<b>Coordenadas:</b> 17M, 769863.62; 9915566.42									
<b>Sector:</b> Mulalo				<b>Tipo:</b> Base de Agregados Clase 4									
<b>Fecha:</b> 13/4/2022				<b>Cemento/Polvo</b> 2%;13%									
<b>Norma:</b> AASHTO T193-13 / ASTM D-1833													
ENSAYO CBR													
MOLDE#	10		11		12								
# DE CAPAS	5		5		5								
# DE GOLPES POR CAPA	11		27		56								
	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO	ANTES DEL REMOJO	DESPUES DEL REMOJO							
Wm+MOLDE (gr)	10502.2	10494.6	10649.4	10643.4	10897.6	10889.6							
PESO MOLDE (gr)	6441.8	6441.8	6454	6454	6480	6480							
PESO MUESTRA HUMEDA (gr)	4060.4	4052.8	4195.4	4189.4	4417.6	4409.6							
VOLUMEN DE LA MUESTRA (cm3)	2114.54	2114.54	2115.08	2115.08	2110.3	2110.3							
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	1.920	1.917	1.984	1.981	2.093	2.090							
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1.783	1.795	1.839	1.822	1.991	1.989							
DENSIDAD SECA PROMEDIO (gr/cm3)	1.789		1.831		1.990								
CONTENIDO DE HUMEDAD													
	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"	Fondo	Arriba	Arriba"				
TARRO #	69-P	A-1	C-8	E-17	X-5	C-7	D-3	B-2	H-2				
Wm +TARRO (gr)	216.58	239.13	248.52	253.41	218.48	259.68	150.07	235.12	243.98				
PESO MUESTRA SECA+TARRO (gr)	204	226	235.43	238.38	206.74	242.22	145.25	223.9	234.29				
PESO AGUA (gr)	12.58	13.13	13.09	15.03	11.74	17.46	4.82	11.22	9.69				
PESO TARRO (gr)	50.17	42.59	42.78	60.13	46.27	41.49	27.49	43.58	43.19				
PESO MUESTRA SECA (gr)	153.83	183.41	192.65	178.25	160.47	200.73	117.76	180.32	191.1				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	8.18	7.16	6.79	8.43	7.32	8.70	4.09	6.22	5.07				
AGUA ABSORBIDA %	1.38			0.27			0.98						
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO %	7.67		6.79	7.87		8.70	5.16		5.07				
ENSAYO CARGA PENETRACIÓN (CBR)													
CONSTANTE DE CELDA 2,204 lb AREA DEL PISTON: 3pl2													
MOLDE N°	10				11				12				
PENET.	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	Q LECT	PRESIONES		CBR	
		LEIDA	CORG			LEIDA	CORG			LEIDA	CORG		
" 10-3	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	DIAL	lb/plg2		%	
0	0.00	0.0			0.00	0.0			0.00	0.0			
25	89.80	66.0			144.00	105.8			340.70	250.3			
50	302.00	221.9			391.70	287.8			779.50	572.7			
75	601.80	442.1			714.10	524.6			1319.90	969.7			
100	850.10	624.5	624.5	<b>62.5</b>	1209.80	888.8	888.8	<b>88.9</b>	1882.50	1383.0	1383.0	<b>138.3</b>	
150	1287.50	945.9			1854.70	1362.6			2796.80	2054.7			
200	1658.90	1218.7	1218.7	<b>81.2</b>	2474.40	1817.9	1817.9	<b>121.2</b>	3150.60	2314.6	2314.6	<b>154.3</b>	
250	1964.80	1443.5			2981.10	2190.1			3620.30	2659.7			
300	2306.80	1694.7			3335.30	2450.3			4032.00	2962.2			
400	2935.10	2156.3			3689.60	2710.6			4443.80	3264.7			
500	3562.70	2617.4			4044.00	2971.0			4855.60	3567.2			
CBR corregido 1":					62.5					88.9			
CBR corregido 2":					81.2					121.2			

%CBR CORREGIDOS						
MOLDE N°	CBR corregido 1"			CBR corregido 2"		
	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA	PRESIONES (lb/plg <sup>2</sup> )	%CBR	DENSIDAD SECA
12	1383.0	138.3	1.990	2314.6	154.3	1.990
11	888.8	88.9	1.831	1817.9	121.2	1.831
10	624.5	62.5	1.789	1218.7	81.2	1.789



**GRÁFICA DE %CBR vs DENSIDAD SECA**



CBR			
DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm <sup>3</sup> )	CBR % corregido 1"	CBR % corregido 2"	CBR % MAYOR
DENSIDAD 100%	1.975	133.24	150.92

<b>REALIZÓ:</b> Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas	<b>REVISÓ:</b> Ing. Alex Frías
---	-----------------------------------

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

**Anexo 28:** Ensayo de resistencia a la compresión simple con la base de agregados clase 4.

Cemento		Polvo Cerámico	Cilindro N°	CARGA P Kg	Diametro cm	Area cm2	Max Esfuerzo Axial Mpa	Max Esfuerzo Axial Kg/cm2	RESISTENCIA MEDIA kg/cm2
5%	0%	1	2591.01628	10.49	86.4254945	2.94	29.979768	26.56	
		2	2366.17401	10.48	86.2607962	2.69	27.430468		
		3	2216.63885	10.48	86.2607962	2.52	25.696944		
4%	5%	1	2153.87238	10.19	81.5528729	2.59	26.410748	24.83	
		2	1975.87063	10.29	83.1613721	2.33	23.759476		
		3	2238.49705	10.49	86.4254945	2.54	25.900888		
3%	9%	1	1383.78996	10.23	82.1943877	1.65	16.8355772	16.73	
		2	1366.18875	10.23	82.1943877	1.63	16.621436		
		3	1290.44847	10.15	80.9138715	1.56	15.9484208		
2%	13%	1	1236.77542	10.16	81.0733862	1.50	15.2550112	15.5	
		2	1325.44454	10.29	83.1613721	1.56	15.9382236		
		3	1308.13169	10.47	86.0962549	1.49	15.193828		

**REALIZÓ:**

Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas

**REVISÓ:**

Ing. Alex Frías

**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

# **Anexos**

## **C.2. Tráfico**

### Anexo 29: Tráfico Actual tramo 1 San Rafael.

TIPO VEHICULO	ESTIMACIÓN TPDA							TRAFICO ACTUAL	%
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7		
Motos	0	0	0	0	0	0	0	0	
Liviano (Auto, Jeep, Camioneta)	426	523	614	519	521	479	471	508	87.74
Bus Intermedio	32	32	32	32	32	32	32	32	5.53
Buseta	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Volqueta	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Camion 2P	13	12	9	10	9	10	9	10	1.73
Camion 2G	12	12	9	10	9	9	9	10	1.73
Camion 3-4 Ejes	12	12	8	10	9	9	8	10	1.73
Camion 5 Ejes	12	12	8	9	8	9	8	9	1.55
Camion 6 Ejes	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Tractor	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>507</b>	<b>603</b>	<b>680</b>	<b>590</b>	<b>588</b>	<b>548</b>	<b>537</b>	<b>579</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Asfaltado de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35 [32].

### Anexo 30: Tráfico Actual tramo 2 San Juan-Chan.

TIPO VEHICULO	ESTIMACIÓN TPDA							TRAFICO ACTUAL	%
	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7		
Motos	0	0	0	0	0	0	0	0	
Liviano (Auto, Jeep, Camioneta)	168	169	186	191	216	262	215	201	74.72
Bus Intermedio	32	32	32	32	32	32	32	32	11.90
Buseta	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Volqueta	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Camion 2P	6	7	7	9	15	10	10	9	3.35
Camion 2G	5	7	7	8	15	9	10	9	3.35
Camion 3-4 Ejes	5	8	7	8	15	9	10	9	3.35
Camion 5 Ejes	5	8	6	8	15	9	9	9	3.35
Camion 6 Ejes	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Tractor	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>221</b>	<b>231</b>	<b>245</b>	<b>256</b>	<b>308</b>	<b>331</b>	<b>286</b>	<b>269</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Asfaltado de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35 [32].

# **Anexos**

## **C.3. Análisis Económico**





### Anexo 31: Análisis de precio Unitario, Capa de Rodadura.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b>		Capa de rodadura de hormigón asfáltico e=5 cm		<b>UNIDAD:</b>	m <sup>2</sup>
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0020
Tractor	1.00	26.67	26.67	0.0006	0.0160
Cargadora frontal	1.00	50.00	50.00	0.0006	0.0300
Rodillo neumatico	1.00	25.00	25.00	0.0006	0.0150
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0006	0.0150
Planta asfáltica 120 TON.	1.00	220.00	220.00	0.0006	0.1320
Rodillo liso tandem	1.00	25.00	25.00	0.0006	0.0150
SUB - TOTAL (M)					0.23
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Operador acabadora pav. Asfáltico	1.00	4.04	4.04	0.0006	0.002
Operador planta asfáltica	1.00	3.85	3.85	0.0006	0.0023
Operador cargadora frontal	1.00	4.04	4.04	0.0006	0.0024
Operador rodillo autopropulsado	2.00	3.85	7.70	0.0006	0.0046
Ayudante Maquinaria	2.00	3.60	7.20	0.0006	0.0043
Maestro mayor de ejecucion de obra (Estr.Oc C)	1.00	4.04	4.04	0.0006	0.0024
Peón	10.00	3.60	36.00	0.0006	0.0216
SUB - TOTAL (N)					0.04
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Asfalto RC-250. no incluye transporte	LTS	11.2500	0.40	4.5000	
Material granular para carpeta	M3	0.0700	12.00	0.8400	
Diesel	LTS	1.5000	0.28	0.4200	
Aditivo de adherencia	LTS	0.0700	4.68	0.3276	
SUB - TOTAL (O)					6.0876
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					6.3527
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0%
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.0000
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
					6.35
Seis dolares con treinta y cinco centavos					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

Fuente: Asfaltado de la vía San Rafael-San Juan-Chan-E35 [32].

### Anexo 32: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:		Base clase 3		UNIDAD:	m3
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Base clase 3	m3	1.30	10.80	14.04	
Agua	m3	0.15	0.70	0.11	
SUB - TOTAL (O)					14.15
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					15.98
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.0%
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
					15.98
Quince dolares con noventa y ocho centavos					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

### Anexo 33: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3 estabilizada con cemento

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		INGENIERÍA CIVIL	
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b> Base clase 3 estabilizada con 5% cemento					<b>UNIDAD:</b> m <sup>3</sup>
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Base clase 3	m <sup>3</sup>	1.30	10.80	14.04	
Agua	m <sup>3</sup>	0.15	0.70	0.11	
Cemento portland Tipo 1	kg	95.78	0.13	12.45	
SUB - TOTAL (O)					26.60
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					28.43
TOTAL COSTOS INDIRECTOS 0.0%					0.00
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$ 28.43
Veinte y ocho dolares con cuarenta y tres centavos					
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 34: Análisis de precio Unitario, Base Clase 3 estabilizada con cemento y polvo cerámico.**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b>		Base clase 3 estabilizada con 3.40% Cemento-8% Polvo Cerámico		<b>UNIDAD:</b>	m3
<b>EQUIPO</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Numero</b>	<b>TARIFA</b>	<b>C/HORA</b>	<b>Rend. u/h</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>Numero</b>	<b>JOR. / HORA</b>	<b>C / HORA</b>	<b>Rend. u/h</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P. UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	
		A	B	C = A x B	
Base clase 3	m3	1.30	10.80	14.04	
Agua	m3	0.17	0.70	0.12	
Cemento portland Tipo 1	kg	74.05	0.13	9.63	
Polvo cerámico (cerámico sanitario)	kg	166.81	0.03	5.00	
SUB - TOTAL (O)					28.79
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND.</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>DMT (Km)</b>	<b>TARIFA (Km)</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					30.62
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.0%
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
					30.62
Treinta dolares con sesenta y dos centavos					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

### Anexo 35: Análisis de Precio Unitario, Sub base clase 3.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:		Sub base clase 3		UNIDAD:	m3
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0160
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0132	0.5280
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0132	0.3960
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0132	0.1848
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0132	0.3300
SUB - TOTAL (M)					1.45
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	3.00	3.60	10.80	0.0132	0.1426
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0132	0.0698
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	2.00	4.04	8.08	0.0132	0.1067
SUB - TOTAL (N)					0.32
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Sub Base clase 3	m3	1.30	3.50	4.55	
Agua	m3	0.03	0.70	0.02	
SUB - TOTAL (O)					4.57
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					0.00
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					6.34
TOTAL COSTOS INDIRECTOS 0.00%					0.00
Estos precios no incluyen IVA		PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$			6.34
Seis dolares con treinta y cuatro centavos					
REALIZÓ:			REVISÓ:		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

### Anexo 36: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
INGENIERÍA CIVIL					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b>		Base clase 4		<b>UNIDAD:</b>	m <sup>3</sup>
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Base clase 4	m <sup>3</sup>	1.30	3.50	4.55	
Agua	m <sup>3</sup>	0.03	0.70	0.02	
SUB - TOTAL (O)					4.57
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					6.41
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.0%
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
					6.41
Seis dolares con cuarenta y un centavos					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		



Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 37: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4 estabilizada con cemento.**

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA CIVIL</b> 					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>RUBRO:</b>		Base clase 4 estabilizada con 5% cemento		<b>UNIDAD:</b>	m3
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Base clase 4	m3	1.30	3.50	4.55	
Agua	m3	0.12	0.70	0.08	
Cemento portland Tipo 1	kg	96.71	0.13	12.57	
SUB - TOTAL (O)					17.21
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					19.04
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.00
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$
Diecinueve dólares con cuatro centavos					19.04
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**

**Anexo 38: Análisis de Precio Unitario, Base Clase 4 estabilizada con cemento y Polvo Cerámico.**

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA CIVIL 					
<b>NOMBRE DE PROYECTO</b>		Estabilización de suelos de bases de Agregados clase 3 y 4 con polvo de cerámica como reemplazo parcial del cemento.			
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
RUBRO:	Base clase 4 estabilizada con 3% Cemento y 9.20% Polvo Cerámico			UNIDAD:	m <sup>3</sup>
<b>EQUIPO</b>					
DESCRIPCION	Numero	TARIFA	C/HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor (5%)					0.0183
Tractor	1.00	40.00	40.00	0.0133	0.5320
Cargadora frontal	1.00	30.00	30.00	0.0133	0.3990
Tanquero	1.00	14.00	14.00	0.0133	0.1862
Rodillo vibratorio liso	1.00	25.00	25.00	0.0133	0.3325
SUB - TOTAL (M)					1.47
<b>MANO DE OBRA</b>					
DESCRIPCION	Numero	JOR. / HORA	C / HORA	Rend. u/h	COSTO TOTAL
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Peon en General (Estr.Oc E2)	4.00	3.60	14.40	0.0133	0.19
Chofer (Estr.Oc. C1)	1.00	5.29	5.29	0.0133	0.07
Operador equipo pesado 1 (Estr.Oc C1)	1.00	4.04	4.04	0.0133	0.05
Operador equipo pesado 2 (Estr.Oc C2)	1.00	3.85	3.85	0.0133	0.05
SUB - TOTAL (N)					0.37
<b>MATERIALES</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO TOTAL	
		A	B	C = A x B	
Base clase 4	m <sup>3</sup>	1.30	3.50	4.55	
Agua	m <sup>3</sup>	0.14	0.70	0.10	
Cemento portland Tipo 1	kg	58.02	0.13	7.54	
Polvo cerámico (cerámico sanitario)	kg	167.82	0.03	5.03	
SUB - TOTAL (O)					17.23
<b>TRANSPORTE</b>					
DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	DMT (Km)	TARIFA (Km)	COSTO TOTAL
		A	B	C	D = A x B x C
SUB - TOTAL (N)					
TOTAL COSTOS DIRECTOS (M+N+O+P)					19.06
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					0.00
Estos precios no incluyen IVA					PRECIO OFERTADO EN DOLARES \$ 19.06
Diecinueve dólares con seis centavos					
<b>REALIZÓ:</b>			<b>REVISÓ:</b>		
Egdo. Diego Fernando Trávez Bastidas			Ing. Alex Frías		

**Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO**



**Anexo 39:** Diseño 1, cuantificación.

DISEÑO 1			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.25	7.3	1000	1825

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 40:** Diseño 2, cuantificación.

DISEÑO 2			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.2	7.3	1000	1460

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 41:** Diseño 3, cuantificación.

DISEÑO 3			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.23	7.3	1000	1679

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 42:** Diseño 4, cuantificación.

DISEÑO 4			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.25	7.3	1000	1825

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 43:** Diseño 5, cuantificación.

DISEÑO 5			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.2	7.3	1000	1460

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 44:** Diseño 6, cuantificación.

DISEÑO 6			
Dimensiones de la carpeta asfáltica			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m2)
0.05	7.3	1000	7300
Dimensiones de la capa base granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.15	7.3	1000	1095
Dimensiones de la capa subbase granular			
Espesor (m)	Ancho (m)	Largo (m)	Total (m3)
0.23	7.3	1000	1679

Elaborado por: TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

Cuantificación de cemento y polvo cerámico en un metro cúbico de la masa de muestra seca.

**Datos del Proyecto:**

**Tipo:** Base de Agregados clase 4 estabilizada con 3% Cemento-9.20% polvo cerámico.

$$\text{Densidad seca } \gamma_d \text{ máx} \left( \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right) = 1.992$$

$$\text{Volumen requerido} = 1 \text{ m}^3$$

$$\% \text{ Cemento} = 3\%$$

$$\% \text{ Polvo cerámico} = 9.20\%$$

Densidad \* volumen = masa de suelo

$$m_{\text{suelo}} = 1992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1 \text{ m}^3 = 1992 \text{ kg} \text{ (Corresponde a la masa del suelo + cemento + polvo cerámico)}$$

$$m_{\text{cemento}} = \frac{1992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 3}{103} = 58.019 \text{ kg}$$

$$m_{\text{polvo cerámico}} = \frac{1992 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.20}{109.20} = 167.824 \text{ kg}$$

La cantidad de cemento y polvo cerámico se encuentra con las densidades secas máximas encontradas para cada tipo de base alterada.

Cuantificación de agua para una densidad seca de 1.992 gr/cm<sup>3</sup>

**Datos del Proyecto:**

$$V_{\text{agua}} = \frac{1992 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 9.12\%$$

$$V_{\text{agua}} = 181.6704 \text{ kg} * \left( \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ kg agua}} \right) * \left( \frac{1 \text{ m}^3}{(100 \text{ cm})^3} \right) = 0.1816 \text{ m}^3$$

Al considerar que las muestras no se encuentran totalmente secas en campo se considera el 75% de este valor, por lo cual la cantidad de agua empleada en el APU es de 0.14 m<sup>3</sup>

# **Anexos**

## **C.4. Fotografías**

**Anexo 45:** Recolección de Base de Agregados Clase 3 y 4 de la mina "Molina", parroquia Mulalo , cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 46:** Recolección de desecho de losa sanitaria de la industria FV.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 47:** Obtención del polvo cerámico mediante tamizado.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 48:** Preparación de agregados, cemento y polvo cerámico para el ensayo CBR



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO



**Anexo 49:** Compactación de las muestras de bases de agregados para el ensayo de resistencia a la compresión inconfiada.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO

**Anexo 50:** Preparación para el curado de las muestras de bases estabilizadas con cemento y polvo cerámico.



**Elaborado por:** TRÁVEZ BASTIDAS DIEGO FERNANDO