



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS  
ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO  
PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA  
DE SANTA ELENA”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA  
SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET**

**TUTOR:**

**Ing. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2025**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS  
ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO  
PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA  
PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA

SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**TUTOR:**

Ing. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

2025

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

**Ing. Lucrecia Moreno Alcivar, PhD.**  
DIRECTORA DE CARRERA



---

**Ing. Jonny Villao-Borbor, MSc.**  
DOCENTE ESPECIALISTA



---

**Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.**  
DOCENTE TUTOR



---

**Ing. Richard Ramirez Palma, MSc.**  
DOCENTE UIC

## **DEDICATORIA**

A Dios, por su luz en mi camino. A mis padres, por ser el pilar que me sostuvo, por creer en mí y por permitirme crecer profesionalmente. A mis hermanos, por compartir cada paso de este recorrido y celebrar conmigo cada logro.

***ARIANNY GEOMAYRA PANCHANA ORRALA***

En primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía y fuente de fortaleza y motivación. También a mi madre, por ser mi compañía constante, mi apoyo y ejemplo de entrega incondicional a lo largo de este camino.

***NALLELY JAMILET SUÁREZ YAGUAL***

# CERTIFICADO ANTIPLAGIO

La Libertad, 12 junio de 2025

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación para Titulación, del tema **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, elaborado por las Srtas. **PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA** y **SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET**, estudiantes egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el siguiente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente,



---

Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo, MSc.

C.I. 0913176541

**DOCENTE TUTOR**

# REPORTE DE SIMILITUD



CERTIFICADO DE ANÁLISIS  
magister

## TESIS\_FINAL

7%  
Textos sospechosos



5% Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
2% Idiomas no reconocidos  
0% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS\_FINAL.pdf  
ID del documento: 645756f8097afbb1c848e4448cbdb018edb38865  
Tamaño del documento original: 506,55 kB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE  
CAMPOVERDE  
Fecha de depósito: 13/6/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 13/6/2025

Número de palabras: 11.745  
Número de caracteres: 76.665

Ubicación de las similitudes en el documento:



### Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://s2p.studylib.es/store/data/005548839.pdf?k=EwAAAZdmZlCHAAACWCABQdADAYcAA...">s2p.studylib.es</a> 8 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (233 palabras)
2	<a href="https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimboraz...">www.obraspublicas.gob.ec</a> 7 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (210 palabras)
3	<a href="https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Arc...">www.compraspublicas.gob.ec</a> 7 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (137 palabras)
4	<a href="https://www.studocu.com/ec/document/universidad-central-del-ecuador/ensayo-de-material...">www.studocu.com</a>   Base y Subbase - Agregados para la conformación de bases ... 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (91 palabras)
5	<a href="https://1library.co/document/yd7422jy-estudio-estabilizacion-material-granular-existente-pav...">1library.co</a>   Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con C... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (55 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

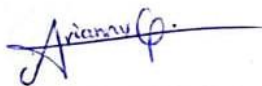
Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #e3550e El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	<a href="https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9152472.pdf">dialnet.unirioja.es</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)
3	<a href="https://repositorio.upse.edu.ec/Repositorio Universidad Estatal Peninsula de Santa Ele...">repositorio.upse.edu.ec</a>   Repositorio Universidad Estatal Peninsula de Santa Ele... https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4767	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)
4	<a href="https://www.paginaspersonales.unam.mx/app/webroot/files/981/Investigacion_samplieri_6a_...">www.paginaspersonales.unam.mx</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
5	<a href="https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10563/1/UPSE-TIC-2023-0046.pdf">repositorio.upse.edu.ec</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

# DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, **PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA** y **SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”** no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**, Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

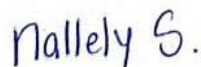
Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



---

**Panchana Orrala Arianny Geomayra**  
C.I. 2450409285  
**AUTOR DE TESIS**



---

**Suárez Yagual Nallely Jamilet**  
C.I. 0928017151  
**AUTOR DE TESIS**

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

La Libertad, 12 de junio de 2025

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

**TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente Trabajo “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Civil** elaborado por las Srtas. **PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA** y **SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET**, egresadas de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.



---

Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo, MSc.

C.I. 0913176541

**DOCENTE TUTOR**

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

*Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.*  
*Celular: 0962183538*  
*Correo: [bettyruthgomez@educacion.gob.ec](mailto:bettyruthgomez@educacion.gob.ec)*

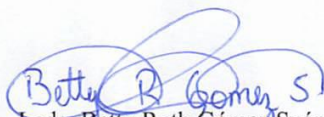
## CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, de las estudiantes: **PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA** y **SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a las interesadas hacer uso del presente como estimen conveniente.

Santa Elena, 11 de Junio del 2025



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.  
CI. 0915036529

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN  
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS  
N° DE REGISTRO DE SENECYT 1050-2014-86052892

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco, en primer lugar, a Dios por su infinita sabiduría y fortaleza en los momentos más desafiantes. A mis padres, por su esfuerzo, motivación y por confiar siempre en mí en toda esta etapa de mi vida.

Al Ing. Daniel Campoverde, tutor de tesis, por su valiosa guía y constante disposición, que fueron fundamentales para la culminación de este proyecto.

Agradezco sinceramente, a la Ing. Lucrecia Moreno por abrirnos las puertas del laboratorio “INGEOTOP S.A.” y permitir la realización de los ensayos que dieron sustento técnico a esta investigación. Al ing. Félix Torres por brindarnos su tiempo y experiencia.

A mi compañera de tesis, Nallely Jamilet Suárez Yagual por su dedicación y compromiso durante todo el desarrollo del trabajo. Así mismo, agradezco sinceramente a mi compañero, Jonathan Zambrano por acompañarnos en este proceso y brindarnos su apoyo incondicional.

Por último, extendiendo mi gratitud a todos quienes, con su orientación, apoyo o pequeñas acciones, hicieron posible la culminación de esta investigación.

***ARIANNY GEOMAYRA PANCHANA ORRALA***

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, sabiduría y salud necesarias para culminar con éxito esta importante etapa de mi vida. A mi madre, con profundo amor y gratitud, por su incondicional apoyo, sus palabras de aliento y su constante motivación que me acompañaron a lo largo de todo este proceso.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, el Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, por su valiosa orientación, por compartir su conocimiento y por su disposición en cada etapa del desarrollo de este proyecto de investigación.

De igual manera, agradezco a la Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar por facilitar las instalaciones del laboratorio de suelos “INGEOTOP S.A.”, lo que permitió la realización de los ensayos requeridos para este estudio. Un especial agradecimiento también al Ing. Félix Torres, por compartir generosamente su experiencia y conocimientos técnicos, fundamentales en el desarrollo de este trabajo.

A mi compañero y amigo Jonathan Steven Zambrano Pilligua, quien, sin tener la obligación de hacerlo, nos brindó un valioso apoyo durante la elaboración de esta tesis. Su colaboración desinteresada y constante fue fundamental para alcanzar nuestras metas.

A mi compañera de tesis y amiga, Arianny Geomayra Panchana Orrala, por su dedicación, esfuerzo y trabajo en equipo, cualidades que hicieron posible culminar satisfactoriamente este proceso de titulación.

Asimismo, agradezco al Ing. Guido Ortiz Safadi, por su valiosa colaboración al facilitar la gestión con la empresa Holcim S.A. para la obtención de las muestras de cemento tipo MH.

Finalmente, extendiendo mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de esta tesis. Su apoyo ha sido clave en la culminación de este logro académico.

***NALLELY JAMILET SUÁREZ YAGUAL***

# TABLA DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	iv
REPORTE DE SIMILITUD .....	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR .....	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	ix
TABLA DE CONTENIDO.....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xvi
LISTA DE TABLAS .....	xvii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.2. ANTECEDENTES .....	4
1.3. HIPÓTESIS .....	6
1.3.1. Hipótesis General.....	6
1.3.2. Hipótesis Específicas. ....	6
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. Objetivo General.....	6
1.4.2. Objetivos Específicos. ....	6
1.5. ALCANCE .....	7
1.6. VARIABLES.....	7
1.6.1. Variables Independientes.....	7

1.6.2. Variables dependientes. ....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	8
2.1. CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS .....	8
2.1.1. Aplicaciones.....	8
2.1.2. Propiedades.....	8
2.1.3. Granulometría método Marshall.....	10
2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.....	11
2.2.1. Estabilización de suelo con cemento.....	11
2.2.2. Bases estabilizadas con cemento.....	11
2.3. CEMENTO TIPO MH .....	12
2.3.1. Ventajas.....	12
2.3.2. Materiales para suelo estabilizado con cemento.....	13
2.3.3. Estabilización de suelos con cemento tipo MH.....	13
2.3.4. Propiedades físicas.....	13
2.4. BASE DE AGREGADOS.....	14
2.4.1. Descripción.....	14
2.4.2. Materiales.....	15
2.5. SUBBASE DE AGREGADOS .....	17
2.5.1. Descripción.....	17
2.5.2. Materiales.....	18
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....	19
3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
3.1.1. Tipo.....	19
3.1.2. Nivel.....	19
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
3.2.1. Método.....	20

3.2.2. Enfoque.....	21
3.2.3. Diseño.....	21
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	22
3.3.1. Población.....	22
3.3.2. Muestra.....	22
3.3.3. Muestreo.....	22
3.4. METODOLOGÍA DEL O.E.1. DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS, EL CEMENTO TIPO MH Y EL MATERIAL GRANULAR DISPONIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA .....	23
3.4.1. Carpetas asfálticas recicladas (RAP).....	23
3.4.2. Cemento tipo MH (Moderado Calor de Hidratación).....	24
3.4.3. Material Granular proveniente de la cantera Juan Montalvo.....	25
3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2. EVALUAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS, MATERIAL GRANULAR Y CEMENTO TIPO MH .....	32
3.2.1. Contenido óptimo de humedad para proporciones RAP/granular.....	32
3.2.2. Diseño de las mezclas.....	33
3.2.3. Elaboración de las probetas.....	34
3.2.4. Proceso de capeado o refrentado de probetas.....	36
3.2.5. Ensayo de Compresión Simple.....	37
3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.3. COMPARAR ECONÓMICAMENTE LA BASE RAP/GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO TIPO MH FRENTE A LA BASE GRANULAR TRADICIONAL, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PARA DETERMINAR CUÁL ALTERNATIVA RESULTA MÁS FAVORABLE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA .....	38
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MATERIALES.....	39
4.1.1. Carpetas asfálticas recicladas (RAP).....	39
4.1.2. Material granular proveniente de la cantera Juan Montalvo.....	40
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE MUESTRAS DE CILINDROS.....	41
4.2.2. Resultados del diseño de mezclas por proporciones RAP/granular. ...	42
4.2.3. Resistencia a la compresión de las probetas por cada mezcla y porcentaje de cemento. ....	45
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.3. COMPARACIÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE UNA BASE RAP/GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO MH Y UNA BASE GRANULAR TRADICIONAL.....	49
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	50
4.4.1. Desempeño mecánico de las mezclas. ....	50
4.4.2. Viabilidad económica. ....	50
4.4.3. Sostenibilidad y aprovechamiento de materiales reciclados.....	50
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
5.1. CONCLUSIONES.....	51
5.2. RECOMENDACIONES .....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS .....	56
Anexo A. Ensayos al material granular proveniente de cantera Juan Montalvo .....	56
Anexo B. Ensayos a las carpetas asfálticas recicladas (RAP).....	64
Anexo C. Ensayos a la mezcla 90 % RAP – 10 % granular.....	66
Anexo D. Ensayos a la mezcla 80 % RAP – 20 % granular.....	69

Anexo E. Ensayos a la mezcla 70 % RAP – 30 % granular .....	72
Anexo F. Ensayos a la mezcla 40 % RAP – 60 % granular .....	75
Anexo G. Pesos reales por cada proporción RAP/granular con su respectivo % de cemento.....	78
Anexo H. Roturas de cilindros a los 7 días de curado .....	82
Anexo I. Análisis de Precios Unitarios (APUs).....	86
Anexo J. Registro fotográfico .....	88

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Vertedero de escombros en el cantón Santa Elena .....	23
<b>Figura 2</b>	Muestra de carpetas asfálticas recicladas (RAP).....	24
<b>Figura 3</b>	Pesaje del material asfáltico reciclado.....	34
<b>Figura 4</b>	Vibración de mezcla 70/30 (RAP/material granular) con 3 % de cemento .....	35
<b>Figura 5</b>	Especímenes en reposo antes del desencofrado .....	35
<b>Figura 6</b>	Protección de cilindros con plástico durante el curado .....	36
<b>Figura 7</b>	Cilindro en molde para capeado con mortero.....	36
<b>Figura 8</b>	Cilindros en tiempo de secado del mortero .....	37
<b>Figura 9</b>	Prensa de hormigón para ensayo de compresión simple .....	37
<b>Figura 10</b>	Relación entre el porcentaje de cemento y la resistencia a compresión de las mezclas RAP/granular .....	47
<b>Figura 11</b>	Nomograma para determinar el Módulo Resiliente de la Base Estabilizada .....	48

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Propiedades físicas y mecánicas del pavimento asfáltico recuperado (RAP) .....	9
<b>Tabla 2</b> Requisitos de graduación para agregados en mezclas asfálticas densas (Marshall).....	10
<b>Tabla 3</b> Requisitos físicos del cemento Portland Tipo MH .....	14
<b>Tabla 4</b> Recomendaciones para uso de material de base .....	15
<b>Tabla 5</b> Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1 .....	16
<b>Tabla 6</b> Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 2 .....	16
<b>Tabla 7</b> Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 3 .....	17
<b>Tabla 8</b> Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 4 .....	17
<b>Tabla 9</b> Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para subbase .....	18
<b>Tabla 10</b> Proporciones de materiales para cada punto de la curva de compactación .....	33
<b>Tabla 11</b> Resultados de la granulometría del material asfáltico reciclado (RAP) 39	
<b>Tabla 12</b> Resultados del ensayo granulométrico.....	40
<b>Tabla 13</b> Resultados del ensayo Límites de Atterberg.....	40
<b>Tabla 14</b> Resultados del ensayo CBR .....	40
<b>Tabla 15</b> Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles.....	40
<b>Tabla 16</b> Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 90/10 .....	41
<b>Tabla 17</b> Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 80/20 .....	41
<b>Tabla 18</b> Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 70/30 .....	41
<b>Tabla 19</b> Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 40/60 .....	42
<b>Tabla 20</b> Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 3 % de cemento.....	42
<b>Tabla 21</b> Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 5 % de cemento.....	43

<b>Tabla 22</b> Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 7 % de cemento .....	43
<b>Tabla 23</b> Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 3 % de cemento .....	43
<b>Tabla 24</b> Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 5 % de cemento .....	43
<b>Tabla 25</b> Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 7 % de cemento .....	44
<b>Tabla 26</b> Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 3 % de cemento .....	44
<b>Tabla 27</b> Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 5 % de cemento .....	44
<b>Tabla 28</b> Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 7 % de cemento .....	44
<b>Tabla 29</b> Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 3 % de cemento .....	45
<b>Tabla 30</b> Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 5 % de cemento .....	45
<b>Tabla 31</b> Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 7 % de cemento .....	45
<b>Tabla 32</b> Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 90/10 a los 7 días.....	46
<b>Tabla 33</b> Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 80/20 a los 7 días.....	46
<b>Tabla 34</b> Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 70/30 a los 7 días.....	46
<b>Tabla 35</b> Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 40/60 a los 7 días.....	47
<b>Tabla 36</b> Análisis de Precios Unitarios para las Bases en estudio .....	49

# “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

**Autor:** Panchana Orrala Arianny Geomayra

**Autor:** Suárez Yagual Nallely Jamilet

**Tutor:** Campoverde Campoverde Daniel Rosendo

## RESUMEN

El presente estudio se enfocó en evaluar el comportamiento mecánico de mezclas elaboradas con pavimento asfáltico reciclado (RAP), material granular de la provincia de Santa Elena y cemento tipo MH, para determinar si estas combinaciones pueden funcionar como una base estabilizada para pavimentos. La investigación surge de la necesidad de reutilizar materiales que normalmente se descartan en la reconstrucción de vías, lo que permite reducir el impacto ambiental y ofrecer una alternativa sostenible para futuros proyectos. Para ello, se estudiaron los materiales con ensayos de laboratorio, tomando en cuenta las especificaciones que describen las normas vigentes ASTM y MTOP. Se realizaron probetas de proporciones RAP/granular de 90/10, 80/20, 70/30 y 40/60, a las cuales se añadió un porcentaje de cemento del 3 %, 5 % y 7 %. Cada una de las muestras fue curada durante siete días. Al realizar el ensayo de compresión simple, los resultados mostraron que la mezcla de 90/10 con 7 % de cemento tipo MH cumple con los valores mínimos de resistencia permitida en las normas para bases estabilizadas, dando un valor de 25,92 kg/cm<sup>2</sup>. Se evidencia que el uso de estas mezclas resulta ser una alternativa técnicamente viable y sostenible para estructuras de pavimento.

**Palabras Claves:** *Pavimento asfáltico reciclado, estabilización de suelos, cemento, material granular.*

# “RECYCLED ASPHALT PADS MIXED WITH MH TYPE PORTLAND CEMENT AND GRANULAR MATERIAL FROM THE PROVINCE OF SANTA ELENA”

**Author:** Panchana Orrala Arianny Geomayra

**Author:** Suárez Yagual Nallely Jamilet

**Tutor:** Campoverde Campoverde Daniel Rosendo

## ABSTRACT

This study focused on evaluating the mechanical behavior of mixtures made with recycled asphalt pavement (RAP), granular material from the province of Santa Elena, and MH-type cement, in order to determine whether these combinations can function as a stabilized base for pavements. The research arises from the need to reuse materials that are typically discarded during road reconstruction, which helps reduce environmental impact and offers a sustainable alternative for future projects. To achieve this, the materials were analyzed through laboratory tests, considering the specifications established by the current ASTM and MTOP standards. Specimens with RAP/granular proportions of 90/10, 80/20, 70/30, and 40/60 were prepared, with cement contents of 3 %, 5 %, and 7 % added to each mixture. All samples were cured for seven days. The unconfined compressive strength test showed that the 90/10 mixture with 7 % MH-type cement meets the minimum strength requirements established by the standards for stabilized bases, reaching a value of 25.92 kg/cm<sup>2</sup>. These results demonstrate that the use of such mixtures is a technically viable and sustainable alternative for pavement structures.

**Keywords:** *Recycled asphalt pavement, soil stabilization, cement, granular material.*

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La construcción de vías en la provincia es fundamental para el desarrollo económico. Cada vez se ejecutan más proyectos viales, los cuales generan un alto nivel de contaminación ambiental en la zona. Con base en este contexto, se buscan alternativas para reducir el impacto ambiental. Una de las estrategias más prometedoras es el reciclado de carpetas asfálticas, ya que existen muchas vías que necesitan ser reparadas o reemplazadas por otras en mejores condiciones; en ese proceso, se generan grandes cantidades de residuos de pavimento. Al reciclar estas carpetas, se contribuye a la sostenibilidad al disminuir la cantidad de desechos en los vertederos de la provincia.

El pavimento asfáltico reciclado (RAP) se refiere al material de pavimento recuperado y reprocesado, que puede contener ligante asfáltico y áridos. Este material se genera en proyectos de reconstrucción o rehabilitación de carreteras. Los materiales que contiene el RAP pueden resultar útiles si se realiza correctamente su trituración y cribado. Se puede obtener mediante la molienda de capas existentes en vías o mediante un método de recuperación de profundidad completa (Han et al., 2011).

El RAP puede estar constituido exclusivamente por asfalto molido, o puede derivarse de pavimento asfáltico que ha sido demolido y clasificado como “preprocesado” o “posprocesado”. El proceso de manejo incluye, comúnmente, la trituración y el clasificado del material, utilizando cribas que tamizan el RAP triturado para asegurar que cumpla con las gradaciones requeridas, las cuales suelen ser de  $\frac{3}{4}$  de pulgada o menos. Puede presentarse como “ligado” cuando contiene un aglutinante asfáltico adicional, o como “no ligado” cuando no lo tiene. Este material sin procesar suele clasificarse como “no ligado” e incluir fragmentos de gran tamaño del pavimento demolido (Federal Highway Administration [FHWA], 1997).

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de carpetas asfálticas recicladas mezcladas con cemento tipo MH y material granular proveniente de la cantera Juan Montalvo, para determinar si dicha combinación

puede cumplir con los requisitos para ser considerada como una base estabilizada con cemento, según las normas vigentes.

El método de estabilización de suelos con cemento es usado en casi todos los tipos de suelos, según diversas fuentes, permitiendo el uso de materiales obtenidos *in situ* o en canteras locales. Incluso la base granular de una vieja carretera puede ser reciclado para ser estabilizada, con o sin superficies bituminosas (Morocho y Casaverde, 2022).

Las bases estabilizadas con cemento han demostrado ser una alternativa muy importante para la construcción de pavimentos. Su aporte estructural, la variabilidad de materiales en las distintas zonas del país, el clima lluvioso y la presencia de áreas con niveles freáticos altos favorecen la aplicación de esta tecnología (Arce, 2011).

Según la Ficha Base Vial de la empresa Holcim S.A. (2022), el cemento tipo MH (Moderado Calor de Hidratación) es un cemento hidráulico que ha sido elaborado precisamente para la estabilización y mejoramiento de suelos, con el fin de aumentar valores de resistencia y permitir el uso del material que se encuentra en obra. Su aplicación genera la disminución de los costos en proyectos de construcción y una solución sostenible para el ambiente. Este tipo de cemento genera mayor durabilidad en el pavimento, reutiliza los suelos y ayuda a reducir la estructura de la vía, lo que se traduce en un ahorro global.

Durante los procesos de rehabilitación de pavimentos, es común remover las capas necesarias para restaurar adecuadamente la estructura vial. En algunos casos, no solo se retira la carpeta asfáltica deteriorada, sino también las capas de base granular. Ese material removido, en lugar de ser desechado, podría reutilizarse como parte de una nueva base estabilizada con cemento, lo que contribuiría a reducir la generación de residuos. Este proyecto parte del supuesto de que la vía a intervenir requiere retirar su base granular; por ello, se realizaron estudios del material proveniente de la cantera Juan Montalvo, el cual representa, en este estudio, a la base granular existente en el pavimento original.

El presente estudio pretende reducir el impacto ambiental y promover el uso de los materiales granulares disponibles en la provincia, disminuyendo así el costo de transporte de materiales.

## 1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Los pavimentos están expuestos a diversos factores que provocan su desgaste o deterioro, tales como las condiciones climáticas, las cargas excesivas por tráfico, entre otros. Debido a estos acontecimientos, se necesita realizar una rehabilitación, la cual consiste en la extracción del pavimento existente usando máquinas pesadas, generando desechos que presentan un impacto ambiental significativo.

Cuando se realiza el cambio de una carpeta asfáltica deteriorada por los factores antes mencionados, se requiere la remoción y el transporte del material existente en la vía. Esto genera un costo adicional considerable en comparación con la realización de un nuevo pavimento, además de un impacto ambiental negativo debido a los residuos sólidos. Esta es una de las problemáticas que, en los últimos años, ha ido en aumento (Balbin y Chochon, 2019).

Actualmente, en la provincia se realizan muchos proyectos de construcción vial, tales como la rehabilitación de carreteras. Esto ocasiona una gran cantidad de residuos de carpetas asfálticas, lo que aumenta la contaminación en la ciudad. Por ello, una de las soluciones sostenibles es la reutilización de esos residuos y aprovecharlos al máximo.

Desde el enfoque técnico de la ingeniería de pavimentos, la utilización del RAP (pavimento asfáltico reciclado), junto con la adición de cemento Portland en las capas de pavimento, es una técnica que tiene una larga trayectoria. No obstante, en varios países de América Latina aún no se han establecido normas técnicas que aborden de manera integral los aspectos relacionados con el diseño y la construcción de estas mezclas. Por esta razón, es fundamental llevar a cabo estudios tanto de laboratorio como de campo que contribuyan a la caracterización del RAP y a la elaboración de directrices técnicas adecuadas para el diseño de mezclas que sean mecánicamente estables y que se utilicen en las diferentes capas del pavimento. Estos esfuerzos permitirán avanzar en la calidad y sostenibilidad de las infraestructuras viales en la región (Rodríguez et al.,2020).

Los materiales granulares que se encuentran en la provincia de Santa Elena no cumplen con las normas del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), limitando las posibilidades de utilizarlos en trabajos de estabilización. Además, no se encuentran estudios que comprueben el comportamiento de estos materiales

granulares mezclados con materiales reciclados, como las carpetas asfálticas recicladas, y se estabilizan con cemento. Asimismo, existe la interrogante de saber cuál es el porcentaje de cemento adecuado para lograr buenos resultados con respecto a bases estabilizadas.

El problema de investigación puede enmarcarse en la siguiente pregunta general de investigación: P.G. ¿Cómo influye la incorporación de cemento tipo MH y material granular en el comportamiento estructural de las carpetas asfálticas recicladas en la provincia de Santa Elena? de la cual se derivan las siguientes preguntas específicas:

**P.E.1.** ¿Las propiedades físicas y mecánicas de las carpetas asfálticas recicladas y del material granular permiten su clasificación conforme a las normas técnicas vigentes?

**P.E.2.** ¿Las mezclas elaboradas con RAP, material granular y cemento tipo MH alcanzan valores de resistencia a la compresión que cumplen con los requisitos técnicos establecidos para su uso como base estabilizada con cemento?

**P.E.3.** ¿Puede la Base RAP/granular estabilizada con cemento tipo MH representar una alternativa económicamente más favorable que la base granular tradicional, considerando el análisis de precios unitarios, el comportamiento estructural y el uso de materiales disponibles en la provincia de Santa Elena?

## **1.2. ANTECEDENTES**

A nivel internacional, destaca el artículo académico titulado "*Estabilización con cemento de agregado de pavimento asfáltico recuperado para bases y subbases de carreteras*" (Taha et al., 2002), el cual expone los resultados de una evaluación de laboratorio sobre mezclas de RAP (pavimento asfáltico reciclado) estabilizado con cemento, comparadas con mezclas de RAP y agregado virgen, utilizadas como material de base. Se realizaron pruebas de compactación y de resistencia a la compresión sin confinamiento en diversas proporciones de mezclas de agregado virgen/RAP, tales como 100/0, 90/10, 80/20, 70/30 y 0/100 %. Las muestras fueron preparadas utilizando cemento Portland Tipo I en diferentes porcentajes de adición (0 %, 3 %, 5 % y 7 %) y se sometieron a un proceso de curado durante 3, 7 y 28 días, en bolsas de plástico a temperatura ambiente. Además, se realizó un análisis de diseño de pavimento utilizando estas mezclas estabilizadas con cemento como

material de base. Los resultados obtenidos revelaron que, con la adición de agregado virgen y cemento, tanto el contenido de humedad óptimo como la densidad seca máxima y la resistencia del RAP mostraron un incremento notable. Se demuestra que el RAP, cuando se estabiliza con cemento, muestra un mayor potencial para funcionar como un componente estructural eficaz a diferencia del uso de RAP al 100 %, lo cual no es recomendable.

En el ámbito internacional, se menciona el libro titulado "*Ingeniería de pavimentos. Innovación y sostenibilidad en la infraestructura vial*" (Rodríguez et al., 2020), donde se presenta en el capítulo 27, un estudio sobre la aplicación de la estabilización granulométrica del RAP mediante la adición de un 5 % de cemento Portland compuesto de tipo CP II-Z puzolánico, en relación con su masa total. El objetivo del estudio fue la comparación de este material frente a una base tradicional de su país. En este trabajo, se realizaron ensayos de compactación Proctor y CBR (California Bearing Ratio) como parte de la metodología experimental. Se compara este método de estabilización con una base tradicional, y se comprueba que ayuda a que el material sea menos afectado por la humedad durante la compactación y brinda mayor resistencia según el ensayo CBR.

Adicionalmente, se puede mencionar el artículo titulado "*Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con cemento MH y diseño de pavimento flexible en las calles del Sector La Milina, parroquia José Luis Tamayo, cantón Salinas, provincia de Santa Elena*" (Carvajal y Pozo, 2019), el cual consistió en un estudio sobre la estabilización del material con cemento tipo MH, con el fin de mejorar las propiedades geotécnicas del suelo y diseñar la estructura de un pavimento flexible. Se realizaron probetas para que sean sometidas a ensayos de compresión simple según la norma ASTM D1632, para obtener datos sobre su módulo elástico y dosificación adecuada de cemento. El objetivo de este trabajo es promover el uso de suelo-cemento como una solución sostenible que mejore la infraestructura vial en lugares que presenten pavimentos inadecuados. Las conclusiones describen que el 5 % fue el porcentaje óptimo, logrando una resistencia de 10,42 kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días y de 16,11 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Asimismo, se determinó que un espesor de 30 cm de base estabilizada con cemento MH es suficiente para soportar las cargas de tránsito.

## **1.3. HIPÓTESIS**

### **1.3.1. Hipótesis General.**

Las carpetas asfálticas mezcladas con cemento y material granular, presentan un mejor comportamiento estructural para ser utilizado como base granular estabilizada; contribuyendo con la reducción de residuos en escombreras.

### **1.3.2. Hipótesis Específicas.**

**H.E.1.:** Los materiales utilizados en la mezcla presentan propiedades físicas y mecánicas adecuadas y cumplen con las especificaciones de las normas actuales.

**H.E.2.:** Los resultados del ensayo de compresión simple demuestran que las probetas cumplen con los valores exigidos por las normas vigentes para ser utilizadas como una base estabilizada con cemento.

**H.E.3.:** Aunque la base estabilizada estudiada implica un mayor costo que una base granular tradicional, el análisis de precios unitarios demuestra que su uso es más conveniente debido a sus mejores propiedades mecánicas.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General.**

Evaluar el comportamiento estructural de las carpetas asfálticas recicladas mezcladas con cemento tipo MH y material granular de la provincia de Santa Elena, con el fin de determinar su viabilidad como base estabilizada, contribuyendo a la reducción de residuos.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

**O.E.1.:** Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las carpetas asfálticas recicladas, el cemento tipo MH y el material granular disponible en la provincia de Santa Elena, para su adecuada clasificación según las normativas vigentes.

**O.E.2.:** Evaluar la resistencia a la compresión de la mezcla de carpetas asfálticas recicladas, material granular y cemento tipo MH, a fin de comprobar si cumplen con los requisitos técnicos para su utilización como base estabilizada con cemento.

**O.E.3.:** Comparar económicamente la base RAP/granular estabilizada con cemento tipo MH frente a la base granular tradicional, mediante el análisis de precios unitarios, para determinar cuál alternativa resulta más favorable en el diseño de pavimentos flexibles en la provincia de Santa Elena.

## **1.5. ALCANCE**

Este estudio analiza el comportamiento de una mezcla con material reciclado de carpetas asfálticas, cemento tipo MH y material granular. Busca determinar si cumple con los requisitos de una base estabilizada para la construcción vial.

Tiene un componente descriptivo, ya que se realiza la caracterización física y mecánica del material reciclado estabilizado. Para ello, se llevará a cabo el ensayo de resistencia a la compresión para estimar el módulo de diseño de la mezcla.

Este trabajo de investigación se enfoca únicamente en el ensayo de compresión simple, sin incluir datos acerca la durabilidad o análisis ambientales del material reciclado que se utilizó. Además, se menciona la falta del equipo principal en la universidad, necesario para la realización de probetas a evaluar.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variables Independientes.**

- ✓ Porcentaje de carpetas asfálticas recicladas
- ✓ Porcentaje de cemento
- ✓ Cantidad de material granular

### **1.6.2. Variables dependientes.**

- ✓ Resistencia mecánica

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS**

El pavimento asfáltico reciclado hace referencia al material de pavimento que ha sido recuperado y reprocesado, y que incluye tanto aglutinante asfáltico como los agregados. Se genera cuando se retiran pavimentos asfálticos con el objetivo de repavimentar, reconstruir o acceder a los materiales que se encuentran enterrados (Han et al., 2011).

#### **2.1.1. Aplicaciones.**

El RAP molido o triturado se puede utilizar en una serie de aplicaciones de construcción de carreteras. Estos incluyen su uso como sustituto de agregados y suplemento de cemento asfáltico en pavimentos de asfalto reciclado (mezcla en caliente o mezcla en frío), como base o subbase granular, agregados para base estabilizadas, o como material de terraplén o relleno (FHWA, 1997).

**Agregado Base Estabilizado:** El RAP debe ser triturado y clasificado, luego mezclado con uno o más reactivos de estabilización para que el material mezclado, al ser compactado, adquiera resistencia.

**Agregado Base Granular:** El RAP también debe triturarse, tamizarse y mezclarse con agregado granular convencional o concreto reciclado para garantizar la resistencia requerida en aplicaciones no consolidadas. Por sí solo, puede tener una menor capacidad de carga que las bases de agregados tradicionales.

#### **2.1.2. Propiedades.**

Las características del RAP están principalmente influenciadas por los materiales que lo integran y el tipo de mezcla asfáltica utilizada, como en las capas de rodadura o de base. Esto puede resultar en notables diferencias en la calidad del agregado, así como en su tamaño y consistencia entre las distintas mezclas asfálticas

(Jaramillo y Places, 2022). Según la Administración Federal de Carreteras (FHWA, 1997), se pueden describir las siguientes propiedades físicas, mecánicas y químicas del pavimento asfáltico reciclado:

**Tabla 1**

*Propiedades físicas y mecánicas del pavimento asfáltico recuperado (RAP)*

Tipo de propiedad	Propiedad RAP	Rango típico de valores
Propiedades físicas	Peso Unitario	1940 - 2300 kg/m <sup>3</sup> (120 - 140 lb/ft <sup>3</sup> )
	Contenido de humedad	Normal: hasta un 5 % Máximo: 7-8 %
	Contenido de asfalto	Normal: 4.5-6 % Máximo: 3-7 %
	Penetración de asfalto	Normal: 10-80 a 25°C (77°F)
	Viscosidad absoluta o recuperada del cemento asfáltico	Normal: 4000-25000 poises a 60°C (140°F)
Propiedades mecánicas	Peso unitario compactado	1600 - 2000 kg/m <sup>3</sup> (100 - 125 lb/ft <sup>3</sup> )
	Relación de rodamientos de California (CBR)	100 % RAP: 20-25 % 40 % RAP y 60 % agregado natural: 150 % o más

Nota. Tomada de la *Tabla 13-2. de FHWA (1997)*.

➤ **Propiedades físicas.**

La distribución del tamaño de partícula del RAP molido o triturado puede variar hasta cierto punto, dependiendo del tipo de equipo utilizado para producir el RAP, el tipo de agregado en el pavimento y si algún agregado de base o subbase subyacente se ha mezclado con el material de pavimento asfáltico recuperado durante la remoción del pavimento.

➤ **Propiedades mecánicas.**

Están influenciadas por el tipo de asfalto original, los procedimientos empleados en la recuperación del material y el nivel de procesamiento requerido para adaptarlo a usos específicos. Como la mayoría del RAP se recicla

principalmente para la construcción de pavimentos, suele haber escasa información acerca de sus propiedades mecánicas en otras aplicaciones potenciales.

➤ **Propiedades químicas.**

Los agregados minerales constituyen la abrumadora mayoría (entre 93 y 97 % en peso) del RAP. Solo un porcentaje menor (3 a 7 %) del RAP consiste en cemento asfáltico endurecido. En consecuencia, la composición química general del RAP es esencialmente similar a la del agregado natural, que es su componente principal.

### 2.1.3. Granulometría método Marshall.

La metodología Marshall emplea una gráfica semilogarítmica para representar la granulometría de una mezcla asfáltica, el eje vertical muestra el porcentaje que pasa por cada malla, mientras que el eje horizontal representa las aberturas de las mallas en milímetros, usando una escala logarítmica. Para definir una mezcla asfáltica densa, se consideran dos elementos clave: el tamaño máximo nominal del agregado y las líneas de control (superior e inferior), que establecen los límites que la curva granulométrica debe respetar (Garnica et al., 2004).

**Tabla 2**

*Requisitos de graduación para agregados en mezclas asfálticas densas (Marshall)*

TAMIZ	ABERTURA	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA							
		3/4"		1/2"		3/8"		N.º 4	
		mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
1"	25,4 mm	100	100						
3/4"	19 mm	90	100	100	100				
1/2"	12,7 mm			90	100	100	100		
3/8"	9,5 mm	56	80			90	100	100	100
N.º 4	4,75 mm	35	65	44	74	55	85	80	100
N.º 8	2,36 mm	23	49	28	58	32	67	65	100
N.º 16	1,18 mm							40	80
N.º 30	0,6 mm							25	65
N.º 50	0,3 mm	5	19	5	21	7	23	7	40
N.º 100	0,15 mm							3	20
N.º 200	0,075 mm	2	8	2	10	2	10	2	10

Nota. Tomado de la Tabla 811-4.4 en Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (p. 906), por NEVI 12 y MTOP, 2013.

## **2.2. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

La estabilización de suelos es un proceso que implica el mejoramiento de las propiedades de un suelo, dando una mayor resistencia que pueda servir de base para un pavimento.

Existen distintos métodos para mejorar el suelo, tales como mecánicos, químicos, eléctricos y térmicos. Dependiendo del tipo de estabilización y el suelo, varía el nivel de estabilización, ya que cada uno responde de manera diferente según sus características. La estabilización mecánica se refiere a la mezcla de diversos materiales granulares; la estabilización química utiliza aditivos como cemento, cal etc.; la electro-ósmosis se clasificaría como una estabilización eléctrica (Montejo Fonseca et al., 2018).

### **2.2.1. Estabilización de suelo con cemento.**

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo pulverizado, cemento Portland y agua que, compactada a una humedad óptima y densidad máxima, produce, luego de la hidratación del cemento (que se logra protegiéndolo contra la pérdida de humedad durante el período de curado), un material duro, durable y de bajo costo que tiene muchísimos usos en ingeniería (Montejo Fonseca et al., 2018).

### **2.2.2. Bases estabilizadas con cemento.**

De acuerdo con lo establecido en el Volumen N.º 3 de las *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* (NEVI 12 y MTOP, 2013, p. 941), las capas de base estabilizada se conforman de suelo o áridos, agua y material estabilizador, que en este caso será cemento hidráulico, con o sin cal hidratada como agente adicional.

Para la evaluación del material granular, se detallarán los bancos a usarse, el límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, límite de contracción y humedad permisible, que serán determinados en laboratorio según la norma ASTM D4318.

Para la mezcla, se establecerán los procesos constructivos, la energía de compactación a emplearse según norma ASTM D558 y la mínima resistencia que

se debe alcanzar mediante el ensayo de compresión simple, en probetas de diámetro de 100 mm a los 7 días de edad.

Las muestras para comprobación del cumplimiento de la especificación de resistencia deberán ser fabricadas y curadas según indicaciones de la norma ASTM D1632. La Resistencia a la compresión no confinada se la ejecutará según la norma ASTM D1633 y se verificará que esta resistencia no sea inferior a 2,45 MPa.

Para bases de suelo-cemento, no se utilizarán materiales orgánicos, arcillas altamente plásticas ni suelos que tengan humedades en banco mayores que la óptima de compactación; de igual manera, los suelos que presenten sales disueltas y puedan actuar con el cemento o que perjudiquen la estabilidad de la mezcla a largo plazo.

## **2.3. CEMENTO TIPO MH**

El cemento Portland tipo MH (Moderate Heat of Hydration) fue diseñado para producir una cantidad moderada de calor durante el proceso de hidratación. La Norma ASTM C1157 recomienda usar este tipo de cemento en estructuras de gran volumen, ya que son vulnerables a los cambios de temperatura y que corren el riesgo de fisuración, tales como presas hidráulicas, cimentaciones, muros gruesos y grandes losas.

### **2.3.1. Ventajas.**

Según información proporcionada por la Academia Holcim durante una conferencia universitaria, se detallan las ventajas del cemento Base Vial Tipo MH, las cuales son fundamentales para garantizar la calidad y durabilidad de las obras viales:

- Mayor tiempo de trabajabilidad: 4 horas
- Facilidad de compactación
- Reduce riesgo de fisuras
- Proporciona resistencia adecuada
- Disminuye plasticidad de los suelos
- Reduce la permeabilidad en más del 90 %
- Contiene adiciones para mayor durabilidad

### **2.3.2. Materiales para suelo estabilizado con cemento.**

➤ **Agua:** Para realizar la estabilización, se puede usar agua potable o aguas relativamente limpias, libres de cantidades perjudiciales de álcalis, ácidos o materias orgánicas.

Los contenidos de agua en bases estabilizadas con cemento varían usualmente dentro de un rango del 6 al 13 % del peso del suelo-cemento. En suelos plásticos, el contenido de agua puede superar el 20 %.

### **2.3.3. Estabilización de suelos con cemento tipo MH.**

Según el *Boletín Estabilizaciones de suelo con Cemento Tipo MH* (Holcim, 2024), la introducción de la norma NTE INEN 2380 en el año 2011 promovió el uso del cemento tipo MH en estabilizaciones de vías y cimentaciones en el país, debido a su capacidad para brindar un mayor tiempo de trabajabilidad en comparación con cementos de fraguado normal.

Este tipo de cemento reacciona más lentamente al hidratarse, lo que permite realizar adecuadamente todas las etapas de la estabilización en obra: mezcla, hidratación, compactación y nivelación.

Su principal ventaja es que mejora la resistencia estructural y durabilidad de la capa estabilizada, evitando el rápido endurecimiento de la mezcla y permitiendo una compactación óptima sin dejar poros.

A diferencia del hormigón estructural, que requiere resistencias mucho mayores, las bases estabilizadas con cemento demandan niveles más bajos (entre 18 y 25 kg/cm<sup>2</sup>), siendo perfectamente alcanzables con el cemento MH.

### **2.3.4. Propiedades físicas.**

En la Tabla 3 se presentan los requisitos físicos del cemento tipo MH, información proporcionada por la empresa Holcim S.A., los cuales son esenciales para este estudio, ya que permiten conocer las propiedades fundamentales del material cementante utilizado en las mezclas. Estos datos son relevantes para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y para garantizar un adecuado desempeño mecánico de la base estabilizada que se pretende analizar.

**Tabla 3***Requisitos físicos del cemento Portland Tipo MH*

<b>Propiedad</b>	<b>ASTM C1157</b>
Expansión en autoclave, cambio de longitud en porcentaje, (%) máx.	0.80
<b>Tiempo de fraguado (Método VICAT)</b>	
Inicial, no menos de, minutos	45
Inicial, no más de, minutos	420
Contenido de aire en el mortero, en volumen, % máx.	12
<b>Resistencia a la compresión, mínimo MPa (psi)</b>	
1 día	-
3 días	5 (725)
7 días	11 (1600)
28 días	-
<b>Calor de hidratación</b>	
7 días, máximo en kJ/kg (kcal/kg)	290 (70)
28 días, máximo en kJ/kg (kcal/kg)	-
Expansión en barras de mortero 14 días, % máx.	0.020

*Nota.* Tomado de la Norma ASTM C1157.

## **2.4. BASE DE AGREGADOS**

### **2.4.1. Descripción.**

La capa de base se colocará sobre una subbase terminada y aprobada, o, en ciertos casos, sobre una subrasante previamente preparada y aprobada, de acuerdo con los alineamientos, pendientes y sección transversal definidos en los planos o disposiciones especiales (NEVI 12 y MTOP, 2013).

## 2.4.2. Materiales.

Tal como se especifica en el *Volumen N° 3 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* (NEVI 12 y MTOP, 2013), la clase y tipo de base que se deba utilizar en la obra será establecida en los documentos contractuales, en concordancia con el tipo de vía y su utilización. A continuación, se presenta una tabla con las recomendaciones para el uso de los distintos tipos de material empleados en capas de base.

**Tabla 4**

*Recomendaciones para uso de material de base*

<b>MATERIAL ESPECIFICADO</b>	<b>TIPO DE CARRETERA</b>	<b>N° CARRILES</b>	<b>TPDA</b>
<b>BASE CLASE 1</b>	Para uso principalmente en aeropuertos y carreteras con intenso nivel de tráfico.	8 a 12	> 50.000
<b>BASE CLASE 2</b>	Carreteras de 2 hasta 6 carriles con un ancho mínimo por carril de 3,65 m. Se incluye franja central desde 2 a 4 m.	2 a 6	8.000 - 50.000
<b>BASE CLASE 3</b>	Vías internas de urbanizaciones con bajo nivel de tráfico.	2 a 4	1.000 - 8.000
<b>BASE CLASE 4</b>	Caminos vecinales	2	< 1.000

*Nota.* Tomado de la Tabla 404-1.1 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

De manera general, el límite líquido deberá ser menor de 25, y el índice de plasticidad, menor de 6. El porcentaje de desgaste por abrasión de los agregados será menor del 40 %, y el valor de soporte CBR deberá ser igual o mayor al 80 %. Los agregados serán elementos limpios, sólidos y resistentes, exentos de polvo, suciedad, arcilla u otras materias extrañas.

**Base Clase 1:** Esta constituida por agregados finos y gruesos, triturados en un 100 % y graduados de forma homogénea dentro de los límites granulométricos especificados para los Tipos A y B en la Tabla 5.

El proceso de trituración, para todas las clases de bases, será tal que se obtengan los tamaños especificados directamente de la planta de trituración. De ser necesario relleno mineral para cumplir los requisitos de graduación se podrá completar con material de una trituración adicional, o con arena fina, mezclados necesariamente en planta.

**Tabla 5**

*Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 1*

TAMIZ		BASE CLASE 1		BASE CLASE 1	
		TIPO A		TIPO B	
		mín.	máx.	mín.	máx.
2"	50 mm		100		100
1 1/2"	37,5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
3/4"	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9,5 mm	35	60	30	60
N.º 4	4,75 mm	25	50	20	50
N.º 10	2 mm	20	40	10	25
N.º 40	0,425 mm	10	25	2	12
N.º 200	0,075 mm	2	12		

*Nota.* Tomado de la Tabla 404-1.2 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

**Tabla 6**

*Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 2*

TAMIZ		BASE CLASE 2	
		mín.	máx.
2"	50 mm		100
1 1/2"	37,5 mm	70	100
1"	25 mm	55	85
3/4"	19 mm	47	75
3/8"	9,5 mm	35	65
N.º 4	4,75 mm	25	55
N.º 10	2 mm	15	45
N.º 40	0,425 mm	5	25
N.º 200	0,075 mm	0	10

*Nota.* Tomado de la Tabla 404-1.3 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

**Tabla 7**

*Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 3*

TAMIZ		BASE CLASE 3	
		mín.	máx.
2"	50 mm		100
1"	25 mm	70	100
3/4"	19 mm	60	90
3/8"	9,5 mm	40	75
N.º 4	4,75 mm	30	60
N.º 10	2 mm	15	45
N.º 40	0,425 mm	10	30
N.º 200	0,075 mm	0	15

*Nota.* Tomado de la Tabla 404-1.4 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

**Tabla 8**

*Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para Base Clase 4*

TAMIZ		BASE CLASE 4	
		mín.	máx.
2"	50 mm		100
1"	25 mm	60	90
N.º 4	4,75 mm	20	50
N.º 200	0,075 mm	0	15

*Nota.* Tomado de la Tabla 404-1.5 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

## **2.5. SUBBASE DE AGREGADOS**

### **2.5.1. Descripción.**

Es la capa granular que se encuentra entre la subrasante y la base granular en los pavimentos. Además, es la capa que debe colocarse inmediatamente debajo de un pavimento rígido. Se debe trabajar previamente la subrasante, ya que sobre esta se colocará la capa de subbase tomando en cuenta parámetros como pendientes, alineaciones y su sección transversal que se especifican en los planos y demás documentos del proyecto o establecidos por Fiscalización (NEVI 12 y MTOP, 2013).

## 2.5.2. Materiales.

Los agregados que se utilicen en una subbase deberán cumplir con un máximo de 50 % de coeficiente de desgaste, de acuerdo con ensayos de abrasión de los Ángeles.

El índice de plasticidad de la muestra que pase por el tamiz N.º40 será menor que 6 y el límite líquido máximo será de 25. La capacidad de soporte corresponderá a un CBR igual o mayor del 30 % (NEVI 12 y MTOP, 2013).

**Subbase Clase 1:** Se construye con agregados triturados de roca o grava, y se realiza la granulometría según los límites de la Clase 1, indicados en la Tabla 9. Se obtiene un mínimo de 30 % de agregado por el método de triturado.

**Subbase Clase 2:** Se elabora de agregados triturados o mediante el cribado en depósitos de piedras fragmentadas de forma natural o gravas, que estén graduadas conforme a los rangos granulométricos de la Clase 2 (Tabla 9).

**Subbase Clase 3:** Se construye con agregados naturales y procesados, que se hallen graduados uniformemente dentro de los límites indicados para la granulometría Clase 3 (Tabla 9).

En los casos en que los documentos contractuales especifiquen el uso de subbases Clase 1 o Clase 2, al menos el 30 % de los agregados utilizados deberá provenir de material triturado.

**Tabla 9**

*Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada para subbase*

TAMIZ		SUBBASE CLASE 1		SUBBASE CLASE 2		SUBBASE CLASE 3	
		mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
3"	76,2 mm						100
2"	50,4 mm				100	-	-
1 1/2"	38,1 mm		100	70	100	-	-
N.º 4	4,75 mm	30	70	30	70	30	70
N.º 40	0,425 mm	10	35	15	40	-	-
N.º 200	0,075 mm	0	15	0	20	0	20

*Nota.* Tomado de la Tabla 403-1.1 de NEVI 12 y MTOP, 2013.

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1.1. Tipo.**

La presente tesis clasifica en la categoría de investigación aplicada, ya que su objetivo principal es utilizar conocimientos teóricos y técnicos existentes para abordar un problema concreto, en este caso, relacionado con el comportamiento de carpetas asfálticas recicladas mezcladas con cemento tipo MH y material granular proveniente de la provincia de Santa Elena.

La investigación aplicada se abastece por el tipo básico o puro, ya que, a través de los fundamentos teóricos, se busca resolver problemas prácticos. Se basa en los hallazgos, descubrimientos y soluciones que se planteó en el objetivo del estudio, normalmente este tipo de investigación se utiliza en la medicina o ingenierías. Los alcances que se pueden plantear aquí son explicativos o predictivos (Arias, 2021).

#### **3.1.2. Nivel.**

Arias (2012) menciona: “El nivel o alcance se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto del estudio” (p. 23). Según Hernández Sampieri (2018), existen cuatro alcances de investigación: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo.

El presente estudio tiene un nivel de investigación exploratorio y descriptivo, debido a que se busca comprender en profundidad el comportamiento de las mezclas compuestas por carpetas asfálticas recicladas (RAP), material granular y cemento tipo MH.

La investigación exploratoria resulta esencial en áreas donde existen pocos estudios previos o se carece de información suficiente que permita establecer conclusiones definitivas.

Se utilizan estudios exploratorios cuando se quiere entender un fenómeno poco conocido, lo que se convierte en nuevas investigaciones más detalladas (Arias, 2021). En base a esto, esta investigación busca obtener información básica o inicial sobre el comportamiento de la mezcla reciclada en condiciones locales, para que despierte el interés en futuras investigaciones.

Por otro lado, el nivel descriptivo tiene como principal función especificar las propiedades, características y perfiles de grupos, comunidades, objetos o fenómenos. Se obtienen y cuantifican los datos de la variable de estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). En esta tesis, se realizarán pruebas de laboratorio para describir de manera detallada el comportamiento de las mezclas, analizando sus propiedades mecánicas.

## **3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Método.**

El método adecuado para la presente investigación es el cuantitativo, ya que se fundamenta en la obtención, procesamiento y análisis numérico de datos medibles. Este enfoque permite evaluar las propiedades mecánicas de las carpetas asfálticas recicladas y del material granular. Además, este método facilita la obtención de resultados precisos que pueden ser sometidos a análisis estadísticos, para así definir relaciones entre las variables involucradas, identificar tendencias y evaluar el grado de confiabilidad de los datos, aportando así una base sólida para el diseño y validación de mezclas que podrían utilizarse como base estabilizada en pavimentos.

El método cuantitativo resulta especialmente útil cuando se busca recolectar datos numéricos que permitan identificar con claridad las relaciones y conexiones entre distintas variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

### **3.2.2. Enfoque.**

Para esta investigación, el enfoque empleado es el cuantitativo, ya que se basa en la recopilación de datos numéricos y su posterior evaluación para determinar patrones y relaciones.

En este caso, se evaluará la resistencia a la compresión de diversas mezclas de RAP/granular con tres contenidos de cemento, obteniendo datos numéricos de resistencias para su posterior evaluación y así encontrar la mezcla más eficiente entre todas las combinaciones.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), el enfoque cuantitativo se basa en recopilar datos para verificar hipótesis a través de mediciones numéricas y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

### **3.2.3. Diseño.**

El diseño experimental es el adoptado para la presente investigación, debido a que se sustenta en la observación y el control de las variables para comprender el comportamiento de las mezclas. Gracias a este diseño, fue posible evaluar el comportamiento de las diferentes dosificaciones de RAP/granular con cemento tipo MH.

Este enfoque resulta útil para entender la relación causa-efecto, es decir, analizar el desempeño estructural de estas mezclas con la influencia de los contenidos de cemento, porcentajes de material reciclado y cantidad de material granular.

Según Badii, Castillo, Rodríguez, Wong y Villalpando (2007), el propósito de este tipo de diseño es identificar si existen diferencias entre los distintos tratamientos aplicados en el experimento y, si las hay, determinar en qué medida afectan los resultados.

### **3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO**

#### **3.3.1. Población.**

La población es un conjunto finito o infinito de individuos comunes entre sí o con similares características (Arias, 2012). Para Mejía (2005), la población corresponde al conjunto total de elementos que forman parte del estudio, cuya definición depende de cómo el investigador delimite y enfoque su investigación. En este sentido, la población del presente trabajo está conformada por el material recuperado de las carpetas asfálticas existentes en la vía E40, tramo Santa Elena - La Libertad - Salinas.

#### **3.3.2. Muestra.**

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), la muestra es un subgrupo considerado como una parte representativa de la población o el universo. La información compilada será obtenida de la muestra y la población se proyecta a partir de la situación problemática de la investigación.

En este caso, la muestra está constituida por el material reciclado (RAP) extraído de un tramo de la vía E40 que presenta deterioro funcional y estructural, condiciones necesarias para la aplicación de técnicas de estabilización.

#### **3.3.3. Muestreo.**

El muestreo se aplica cuando la población está compuesta por una gran cantidad de elementos; si la población es reducida, no es necesario recurrir a esta técnica (Mejía, 2005). En este caso, dado que la población está conformada por material de RAP proveniente de una escombrera específica, y este material es limitado, se optó por tomar toda la población disponible para su análisis.

### **3.4. METODOLOGÍA DEL O.E.1. DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS, EL CEMENTO TIPO MH Y EL MATERIAL GRANULAR DISPONIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**

Para cumplir con este objetivo específico, se llevó a cabo la caracterización de los materiales involucrados en la investigación, mediante la ejecución de ensayos de laboratorio establecidos por las normas técnicas correspondientes. Esta etapa incluyó los siguientes procedimientos:

#### **3.4.1. Carpetas asfálticas recicladas (RAP).**

##### ***3.4.1.1 Obtención de la muestra.***

El material compuesto por carpetas asfálticas recicladas fue obtenido de un vertedero de escombros, Este pavimento fue retirado durante el proceso de rehabilitación de la vía E-40, tramo Santa Elena - La Libertad - Salinas.

El vertedero se encontraba ubicado en las cercanías de la Envasadora de Gas “CONGAS”, en el cantón Santa Elena. En la Figura 1 se muestra el sitio donde se realizaron las extracciones de las muestras para su posterior análisis.

#### **Figura 1**

*Vertedero de escombros en el cantón Santa Elena*



*Nota.* Lugar de extracción del material asfáltico reciclado (RAP) para el estudio.

## **Figura 2**

*Muestra de carpetas asfálticas recicladas (RAP)*



*Nota.* Imagen referencial.

### ***3.4.1.2 Ensayo de Granulometría.***

Se llevó a cabo el ensayo de granulometría por tamizado en seco con el fin de conocer cómo se distribuyen los tamaños de las partículas en el material reciclado (RAP). Este análisis permitió comprobar si el RAP, proveniente de carpetas asfálticas recuperadas, cumplía con los rangos granulométricos que exigen las especificaciones técnicas para mezclas utilizadas en pavimentos flexibles.

Se comparó la curva granulométrica obtenida con los límites establecidos por la norma MTOP, con la finalidad de evaluar si dicho material, junto con cemento y material granular, puede incorporarse correctamente en nuevas mezclas estabilizadas.

### **3.4.2. Cemento tipo MH (Moderado Calor de Hidratación).**

#### ***3.4.2.1 Obtención de la muestra.***

Para el desarrollo de esta investigación, se obtuvieron dos sacos de cemento Portland tipo MH (Moderado Calor de Hidratación), proporcionados por la empresa Holcim. Este tipo de cemento, al tratarse de un producto especial destinado a controlar la generación de calor durante el proceso de hidratación, no se encuentra comúnmente disponible en el mercado local.

Para la obtención del cemento MH y los informes técnicos de calidad, se solicitó de manera formal a la empresa Holcim S.A. Debido a que el presente

estudio tiene fines investigativos, la empresa mostró presta colaboración. Con la información recopilada, se verificó que este cemento cumple con las normativas vigentes, asegurando su desempeño adecuado para los procesos de estabilización.

### **3.4.3. Material Granular proveniente de la cantera Juan Montalvo.**

#### ***3.4.3.1. Obtención de la muestra.***

El material granular utilizado en esta investigación fue extraído de la cantera ubicada en la comuna Juan Montalvo, perteneciente a la provincia de Santa Elena.

Se considera el uso de este material granular para dar un volumen total mayor de la composición de un pavimento y, al mismo tiempo, reducir costos de transporte, haciendo que la propuesta sea más viable desde el punto de vista económico.

#### ***3.4.3.2. Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos (Norma ASTM D4318).***

La norma ASTM D4318 permite obtener el límite líquido (LL), el límite plástico (PL) y el índice de plasticidad (IP) del suelo. Estos parámetros ayudan a entender cómo se comporta el suelo según su contenido de humedad. Los valores obtenidos muestran el cambio de estado sólido a plástico que son fundamentales para su clasificación.

Se utiliza únicamente la fracción de la muestra que pasa por el tamiz N.º 40. En una tara, se mezcla esta fracción con agua en cantidad suficiente para lograr una masa homogénea.

#### ***✓ Límite Líquido.***

A partir de la mezcla preparada, se toma una porción y se coloca en la parte central de la copa de Casagrande, emparejando su superficie con una espátula. Con el acanalador, se realiza una ranura firme que divida la masa de suelo en dos partes, manteniéndolo perpendicular al fondo de la copa durante el corte.

A continuación, se aplica una serie de golpes girando la manivela del dispositivo. Se cuenta el número de golpes necesarios hasta que ambas mitades de la muestra se unan a lo largo de una distancia de 13 mm (aproximadamente ½ pulgada) en la parte inferior de la ranura.

Seguidamente, se extrae con la espátula una porción del suelo en la zona donde ocurrió el cierre y se coloca en un recipiente (tara) previamente identificado. Se pesa la tara con la muestra húmeda y se lleva al horno durante 24 horas a una temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Se busca obtener resultados cercanos a los 10, 20, 30 y 40 golpes. Las muestras correspondientes a cada ensayo son secadas en el horno para determinar su contenido de humedad.

#### ✓ *Límite Plástico.*

De la misma mezcla utilizada para el límite líquido, se toma una porción y se amasa hasta formar una masa elipsoidal. Esta se enrolla sobre una superficie lisa para formar cilindros uniformes con un diámetro de aproximadamente 3 mm.

Cuando el cilindro comienza a agrietarse, se considera que ha alcanzado el límite plástico. Se coloca este rollito en una tara de masa conocida. El procedimiento se repite para formar entre 3 o 4 rollitos por ensayo, todos depositados en la misma tara.

Este proceso se realiza para cada uno de los ensayos del límite líquido. Finalmente, se introducen las taras con las muestras en el horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas para determinar su contenido de humedad.

#### ***3.4.3.1 Determinación de la distribución granulométrica de suelos (Norma ASTM D422).***

Para determinar la distribución granulométrica del suelo, se siguió el procedimiento establecido por la norma ASTM D422, utilizando el método de análisis por cribado. Esta prueba consiste en separar el suelo en fracciones de distintos tamaños usando un conjunto de mallas con aberturas que se van haciendo más pequeñas.

La muestra fue esparcida sobre una superficie limpia y agrupada para realizar el respectivo cuarteo. A partir de esta operación, se seleccionó una fracción representativa de la muestra y se colocó en un recipiente metálico para su pesaje.

Posteriormente, se preparó el juego de tamices, colocándolos en orden descendente según el tamaño de abertura: 3", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N.º 4, N.º 10, N.º 40, N.º 200, seguido del fondo y tapa. El juego de tamices fue colocado en la tamizadora mecánica y se dejó funcionando durante cinco minutos. Al terminar, se recolectó en recipientes el material retenido en cada tamiz, hasta terminar con la muestra total.

Una vez completado el tamizado, se pesaron las fracciones retenidas en cada malla. Posteriormente, se tomó una pequeña muestra representativa de los retenidos en las mallas más gruesas (3", 2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8" y N.º 4) y se colocó en una tara, y fueron introducidas en el horno ( $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) durante 24 horas para determinar su humedad. Adicionalmente, se tomó una muestra de 300 g del material pasante del tamiz N.º 4 y se colocó en una tara. Esta muestra fue lavada cuidadosamente sobre el tamiz N.º 200, utilizando abundante agua, procurando no frotar el material contra la malla para evitar pérdidas o alteraciones. El material fino retenido fue colocado en una tara y llevado al horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas.

Al día siguiente, se retiraron todas las taras del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, se pesaron nuevamente y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener la distribución granulométrica del suelo, tanto para la fracción gruesa como para la fracción fina.

#### ***3.4.3.2 Determinación de la relación humedad - densidad de suelos (Norma ASTM D1557).***

Con el fin de entender cómo cambia la densidad del suelo según su contenido de humedad, se llevó a cabo la prueba Proctor Modificada, siguiendo lo indicado en la norma ASTM D1557. Esta versión ajustada del ensayo Proctor Estándar fue desarrollada para simular de manera más realista las condiciones de compactación en obra, donde se emplean equipos más pesados, como rodillos vibratorios.

Se utilizó una bandeja para almacenar el suelo pasante del tamiz  $\frac{3}{4}$ ". Se pesaron 5000 g del material utilizando una balanza electrónica y se almacenaron en fundas plásticas. Se prepararon cinco muestras, cada una con 5000 g, representando un punto en la curva humedad-densidad.

Se colocó la primera muestra en la bandeja y se dividió en cinco partes iguales, correspondientes a las cinco capas de compactación. Se extrajo una pequeña muestra representativa del centro en una tara para determinar el contenido de humedad. A continuación, el suelo se compactó en un molde, aplicando 56 golpes por capa con un pisón a caída libre, siguiendo el procedimiento del Proctor Modificado (ASTM D1557, método C).

Una vez compactadas las cinco capas, se retiró cuidadosamente el collar del molde y se enrasó la superficie del suelo al nivel del borde superior con una regla. Se limpió el exceso de suelo adherido y se pesó el conjunto del molde con el suelo húmedo compactado.

El mismo procedimiento se repitió para las cuatro muestras restantes, variando únicamente la cantidad de agua añadida:

- Segunda muestra: 150 ml de agua
- Tercera muestra: 300 ml de agua
- Cuarta muestra: 500 ml de agua
- Quinta muestra: 700 ml de agua

De cada muestra se extrajo una pequeña porción en una tara y se pesó ( $W_1$ ). Las muestras se colocaron en el horno durante 24 horas. Al día siguiente, se pesaron nuevamente ( $W_2$ ), y se registraron los datos para calcular el contenido de humedad, densidad húmeda y densidad seca. Con estos valores, se trazó la curva humedad–densidad, determinando así la humedad óptima y la máxima densidad seca del suelo ensayado.

#### ***3.4.3.3 Determinación del C.B.R. - Densidades (Norma ASTM D1883).***

El ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio) se realizó para evaluar la capacidad de soporte del suelo en condiciones similares a las que tendría en una vía

o estructura. Este procedimiento se llevó a cabo conforme a la norma ASTM D1883.

Se prepararon tres especímenes, cada uno con aproximadamente 4,5 kg de suelo de grano fino (pasante del tamiz  $\frac{3}{4}$ " ). Cada muestra fue mezclada con 300 ml de agua, correspondiente a una humedad constante para los tres especímenes, y compactada con diferentes energías de impacto: 12, 25 y 56 golpes por capa. Se colocó el primer espécimen en una bandeja y se mezcló homogéneamente el suelo con el agua utilizando un cucharón y guantes de goma hasta lograr una distribución uniforme de humedad. Posteriormente, se dividió la muestra en cinco partes iguales, representando las cinco capas de compactación. Se extrajo una pequeña muestra representativa del centro y se colocó en una tara para determinar su contenido de humedad inicial.

En el molde CBR se colocó primero el disco espaciador, seguido por un disco de papel filtro. Se añadió la primera capa de suelo y se procedió a compactarla aplicando 12 golpes con el pisón a caída libre, según el método Proctor Modificado (ASTM D1557). Este procedimiento se repitió para las cinco capas del espécimen. Las otras dos muestras fueron compactadas aplicando 25 y 56 golpes por capa, respectivamente.

Las pequeñas muestras representativas tomadas de cada espécimen fueron pesadas y anotadas como el peso húmedo más el recipiente ( $W_h + r$ ), antes de la inmersión, y se colocaron en el horno para su secado. Una vez terminada la compactación de las cinco capas, se retiró el collar del molde y se enrasó la superficie del suelo con una regla al nivel del borde. Se colocó un nuevo disco de papel filtro sobre la superficie, se retiró el disco espaciador, y se invirtió el molde para colocarlo nuevamente en la base, de manera que el hueco del espaciador quedara en la parte superior.

Se pesó el conjunto y se registró como el peso del molde más el suelo húmedo (P) antes de la inmersión. Luego, se ensambló el collarín y se colocó el disco perforado con vástago ajustable sobre el espécimen, añadiendo la pieza que simula la presión de sobrecarga (aproximadamente 2,27 kg). Se instaló el trípode y el extensómetro sobre el vástago para tomar la lectura inicial de hinchamiento. Después, se retiraron ambos instrumentos.

Cada molde fue cuidadosamente sumergido en el tanque de saturación, colocándolos sobre rejillas o bloques metálicos (no directamente sobre el fondo del tanque) para permitir la circulación del agua también por debajo. Las lecturas de hinchamiento se registraron cada 24 horas durante un periodo total de 72 horas.

Después de las primeras 24 horas, se retiraron del horno las muestras representativas y se registró el peso seco más recipiente ( $W_s + r$ ) antes de la inmersión.

Transcurridas las 72 horas, se retiraron los moldes del tanque y se dejaron drenar durante 15 minutos, sujetando firmemente el disco, las pesas y el papel filtro para evitar pérdidas. Se secó el exterior del molde, se retiraron el collarín, las cargas y la base perforada. Se registró el peso del molde más el suelo húmedo ( $P$ ) después de la inmersión.

Luego, se colocaron nuevamente las pesas de sobrecarga sobre la muestra y el conjunto se ubicó bajo la prensa. Se asentó el pistón sobre el disco y se aplicó una carga inicial de 10 lb (4,5 kg). Una vez asentado, se ajustó el extensómetro a cero, y se inició el ensayo de penetración con una velocidad de 1,27 mm/min, hasta alcanzar una penetración de 12,7 mm (0,50"). Durante el ensayo, se registraron las cargas correspondientes a las siguientes profundidades:

- 1,27 mm (0,05")
- 2,54 mm (0,10")
- 3,81 mm (0,15")
- 5,08 mm (0,20")
- 7,62 mm (0,30")
- 10,16 mm (0,40")
- 12,70 mm (0,50")

Finalizado el ensayo, se descargó la prensa y se desmontó el conjunto. Se extrajo el suelo de los moldes y se tomaron muestras representativas (no menores a 100 g) de la parte superior e inferior del espécimen (en un espesor de 25 mm). Estas seis muestras se colocaron en taras, se pesaron como peso del suelo húmedo más recipiente ( $W_h + r$ ) después de la inmersión, y se llevaron al horno por 24 horas.

Al día siguiente, se pesaron nuevamente las muestras y se registró el peso del suelo seco más recipiente ( $W_s + r$ ) después de la inmersión.

Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes para la determinación del contenido de humedad y el valor CBR de cada uno de los especímenes, lo cual permitió analizar la influencia de la energía de compactación sobre la resistencia del suelo.

#### ***3.4.3.4 Determinación de la Abrasión de Los Ángeles (Norma ASTM C535).***

El ensayo de abrasión de Los Ángeles se llevó a cabo con el objetivo de determinar la resistencia al desgaste de los agregados cuando son sometidos a la fricción y el impacto, provocado por el tránsito vehicular. Este procedimiento se realizó siguiendo las indicaciones de la norma ASTM C535 para agregados gruesos.

Se colocó la muestra en el tamiz superior, y se dejó que la tamizadora mecánica realizara su función. Posteriormente, se tomaron los materiales retenidos en las mallas de 1 ½” y 1”, los cuales fueron colocados en taras y lavados cuidadosamente.

Luego, se introdujeron en el horno por un período de 24 horas para su secado. Una vez secas las muestras, se pesaron ambas taras y se introdujeron en la máquina de Los Ángeles, junto con una carga abrasiva compuesta por 12 esferas de acero. Se aseguró la tapa de la máquina con los pernos correspondientes, para evitar su apertura durante el ensayo. Se procedió a iniciar la máquina, la cual realizó las revoluciones requeridas durante un tiempo aproximado de 30 minutos. Finalizado el proceso, se desajustaron los pernos y se retiró la muestra.

La muestra resultante fue tamizada utilizando el tamiz N.º 12, posteriormente lavada y secada nuevamente en el horno durante 24 horas. Finalmente, se obtuvo el peso seco de la muestra, el cual fue utilizado para calcular la resistencia al desgaste del agregado. Se calculó el porcentaje de desgaste de la muestra mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{P_I - P_T}{P_I} * 100\%$$

Donde:

$P_I$  = *Peso antes del ensayo*

$P_T$  = *Peso despues de tamizar por el tamiz N.º 12*

### **3.5. METODOLOGÍA DEL O.E.2. EVALUAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MEZCLA DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS, MATERIAL GRANULAR Y CEMENTO TIPO MH**

Para el desarrollo de este objetivo, se elaboraron dos cilindros por cada porcentaje de cemento, considerando previamente el diseño de mezclas que determinó las cantidades necesarias de RAP, material granular, cemento y agua para cada proporción (90/10, 80/20, 70/30 y 40/60). Se trabajó con tres contenidos de cemento: 3%, 5% y 7% en peso, aplicados a cada una de las proporciones.

#### **3.2.1. Contenido óptimo de humedad para proporciones RAP/granular.**

##### ***3.5.1.1. Preparación de las muestras.***

Se prepararon mezclas de RAP/material granular en las siguientes proporciones: 90/10, 80/20, 70/30 y 40/60. Cada una de estas combinaciones fue sometida al ensayo Proctor modificado, con el objetivo de establecer la densidad seca máxima y el nivel óptimo de humedad. Estos parámetros servirán como base para el diseño de las mezclas finales que incorporarán cemento tipo MH.

##### ***3.5.1.2. Determinación de la relación humedad – densidad de suelos (Norma ASTM D1557).***

Para este ensayo, se desarrollaron seis puntos de la curva de compactación para cada una de las mezclas: 90/10, 80/20, 70/30 y 40/60 (RAP/material granular). En cada punto, se utilizó una masa total de 5000 g, distribuida según las proporciones correspondientes de cada mezcla, de la siguiente manera:

**Tabla 10**

*Proporciones de materiales para cada punto de la curva de compactación*

<b>Proporciones RAP/Granular</b>	<b>W (gr)</b>	
	<b>RAP</b>	<b>Granular</b>
90/10	4500	500
80/20	4000	1000
70/30	3500	1500
40/60	2000	3000

*Nota.* Se realiza el cálculo para cada proporción de RAP/Material Granular

Se mezclaron los materiales hasta obtener una muestra completamente homogénea y se prepararon seis muestras de 5000 g, correspondientes a los distintos puntos de la curva humedad – densidad para cada mezcla. El material fue dividido en cinco capas y compactado en un molde cilíndrico, aplicando 56 golpes por capa con un pisón de caída libre, conforme al método C de la norma ASTM D1557 (Proctor Modificado).

Se toma una pequeña muestra para registrar su contenido de humedad, antes de la compactación. Para cada mezcla se iba aumentando el volumen de agua, asegurando una mezcla homogénea.

Tras la compactación, se retiró el collar del molde, se enrasó la superficie y se pesó el conjunto con el suelo húmedo. Las muestras para análisis de humedad se secaron en horno por 24 horas. Con los datos obtenidos, se calcularon los contenidos de humedad, densidades húmedas y secas, y se trazaron las curvas humedad - densidad.

Este procedimiento se repitió para cada proporción de RAP/material granular (90/10, 80/20, 70/30 y 40/60), con el fin de determinar la densidad seca máxima y la humedad óptima de cada mezcla.

### **3.2.2. Diseño de las mezclas.**

Se define en primer lugar la cantidad de agua a incorporar en cada caso, utilizando como referencia la humedad óptima obtenida en el ensayo Proctor específico. En todas las mezclas se trabajó con una masa total de 23.000 gramos, lo

que permitió preparar dos cilindros de 10.000 gramos cada uno y contar con un 15% adicional para compensar posibles pérdidas durante el proceso.

A partir de esta masa total, se calcularon las cantidades respectivas de RAP y material granular, según la proporción asignada (90/10, 80/20, 70/30 y 40/60). Posteriormente, se incorporaron porcentajes de cemento del 3%, 5% y 7% en peso, los cuales fueron evaluados en cada una de las proporciones mencionadas.

Finalmente, se realizó la corrección de masas para obtener los pesos reales a emplear en cada mezcla, considerando el contenido de humedad y el porcentaje de cemento, con el fin de garantizar la dosificación precisa de los materiales.

### **3.2.3. Elaboración de las probetas.**

Como primer paso, se separaron en fundas los materiales requeridos para cada mezcla: RAP, material granular y cemento. Asimismo, se prepararon en probetas las cantidades de agua correspondientes a la humedad óptima determinada para cada proporción.

#### **Figura 3**

*Pesaje del material asfáltico reciclado*



Para el mezclado de los materiales, se coloca en una superficie limpia el material RAP, granular y cemento, añadiendo gradualmente el agua hasta lograr una mezcla homogénea.

Posteriormente, se realiza el llenado de los moldes de cilindros en 4 capas, cada una compactada con el rotomartillo vibrador. Cabe mencionar que antes de añadir la siguiente capa, se rayó la superficie con un objeto puntiagudo, para favorecer la adherencia entre capas.

#### **Figura 4**

*Vibración de mezcla 70/30 (RAP/material granular) con 3 % de cemento*



*Nota.* Se utilizó un rotomartillo durante el proceso de conformado del cilindro.

Concluido el moldeado, los cilindros se dejaron en reposo por tres días. Transcurrido este tiempo, se realizó el desencofrado y posteriormente, las probetas se envolvieron con plástico para evitar la pérdida de humedad, asegurando así su adecuado curado hasta el momento de realizar el ensayo de compresión.

#### **Figura 5**

*Especímenes en reposo antes del desencofrado*



**Figura 6**

*Protección de cilindros con plástico durante el curado*



*Nota.* El recubrimiento con plástico permitió conservar la humedad necesaria para el adecuado desarrollo del proceso de curado.

### **3.2.4. Proceso de capeado o refrentado de probetas.**

El proceso de refrentado o capeado se realiza con el fin de garantizar que la carga se transfiera correctamente durante el ensayo de compresión simple, lo que permite obtener resultados más precisos.

**Figura 7**

*Cilindro en molde para capeado con mortero*



Este procedimiento consiste en preparar una mezcla de mortero (cemento, arena, agua y un aditivo superplastificante), que se vierte en un molde para capeado que debe estar perfectamente nivelado. Sobre esta mezcla se coloca el cilindro, se deberá tomar en cuenta que sus paredes estén en contacto con la superficie del

molde de capeado. Para asegurar que el mortero quede bien compactado y se adhiera con la base del cilindro, se dan pequeños golpes en la parte superior. Una vez hecho esto, se retira el cilindro junto con el plato de capeado y se deja secar el tiempo necesario antes de realizar el ensayo. Este proceso se repite con cada una de las probetas.

### **Figura 8**

*Cilindros en tiempo de secado del mortero*



### **3.2.5. Ensayo de Compresión Simple.**

Se prepara la prensa de hormigón que servirá para el ensayo, limpiando las placas de cualquier impureza. Se coloca la probeta en la placa inferior de la prensa y se debe asegurar que esté alineada al eje central para evitar cargas excéntricas.

### **Figura 9**

*Prensa de hormigón para ensayo de compresión simple*



Se enciende la máquina y se aplica la carga de forma continua hasta que la muestra se rompa o hasta que se indique que no existe un aumento en el valor de la resistencia. Al final, se registraron los valores de la carga aplicada y la resistencia máxima alcanzada de cada cilindro, tal como mostró el equipo.

### **3.6. METODOLOGÍA DEL O.E.3. COMPARAR ECONÓMICAMENTE LA BASE RAP/GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO TIPO MH FRENTE A LA BASE GRANULAR TRADICIONAL, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS, PARA DETERMINAR CUÁL ALTERNATIVA RESULTA MÁS FAVORABLE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**

Para cumplir con el objetivo planteado, se evaluó cuál de las dos alternativas de base: RAP/granular estabilizada con cemento tipo MH o la base granular tradicional, resulta más favorable desde el punto de vista económico, considerando el contexto técnico y logístico de la provincia de Santa Elena.

Se calculó la cantidad de materiales necesarios para elaborar 1 m<sup>3</sup> de cada mezcla, aplicando las proporciones definidas y considerando un porcentaje de desperdicio. En el caso de la base granular tradicional, se incluyó el costo de transporte desde otras zonas debido a su escasa disponibilidad local.

Con estos datos se elaboraron los Análisis de Precios Unitarios (APUs), incluyendo materiales, mano de obra y equipos. Luego, se realizó una comparación técnico-económica considerando el costo por metro cúbico, el desempeño estructural de cada mezcla y sus beneficios ambientales y logísticos.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MATERIALES

#### 4.1.1. Carpetas asfálticas recicladas (RAP).

Como resultado del ensayo de granulometría al material reciclado, este cumple con los límites para un agregado con tamaño máximo nominal de ¾" (19 mm) definidos por la normativa MTOP. Esto refleja que las partículas de las carpetas asfálticas recicladas poseen una adecuada distribución para su implementación, debido a que cumplen con los porcentajes requeridos de pasante en las mallas principales.

**Tabla 11**

*Resultados de la granulometría del material asfáltico reciclado (RAP)*

GRANULOMETRÍA			
TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)	NORMA ¾"	
1"	100,00 %	100	✓
¾"	95,22 %	90 - 100	✓
⅜"	67,57 %	56 - 80	✓
N.º 4	37,15 %	35 - 65	✓
N.º 8	18,32 %	23 - 49	
N.º 50	-	5 - 19	
N.º 200	-	2 - 8	

*Nota.* Comparación de los resultados del ensayo y los rangos permitidos por norma.

Al estar dentro de los límites, se confirma que el RAP analizado puede considerarse un material ¾", lo cual es una gran ventaja para su uso en estabilización con cemento. Este tipo de granulometría facilita que el material se mezcle de forma más homogénea con los demás componentes (cemento MH y material granular), consiguiendo una mejor compactación y mayor resistencia en la mezcla.

#### 4.1.2. Material granular proveniente de la cantera Juan Montalvo.

Se realizaron varios ensayos para conocer las propiedades físicas y mecánicas del material granular disponible en la cantera, que fueron comparadas con las normas vigentes establecidas.

**Tabla 12**

*Resultados del ensayo granulométrico*

<b>GRANULOMETRÍA</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>MUESTRA PASANTE (%)</b>	<b>NORMA CLASE III</b>		
3"	100,00 %	100	✓	
N.º 4	47,69 %	30 - 70	✓	
N.º 200	13,49 %	0 - 20	✓	

**Tabla 13**

*Resultados del ensayo Límites de Atterberg*

<b>LÍMITES DE ATTERBERG</b>		<b>NORMA</b>	
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	5 %	≤ 6	✓
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	24 %	≤ 25	✓

**Tabla 14**

*Resultados del ensayo CBR*

<b>CAPACIDAD DE SOPORTE</b>		<b>NORMA</b>	
CBR	52 %	≥ 30	✓

**Tabla 15**

*Resultados del ensayo de Abrasión de Los Ángeles*

<b>DESGASTE MÁXIMO</b>		<b>NORMA</b>	
ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES	43,76 %	≤ 50	✓

En las tablas presentadas, se observan los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados al material granular, junto con los valores exigidos por normativa, justificando su clasificación como material de **Subbase Clase III**.

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE MUESTRAS DE CILINDROS

### 4.2.1. Contenido óptimo de humedad para proporciones RAP/granular.

Con el objetivo de determinar el contenido óptimo de humedad para cada proporción de mezcla (90/10, 80/20, 70/30 y 40/60 de RAP/material granular), se llevó a cabo el ensayo Proctor Modificado. Este ensayo permitió establecer la cantidad ideal de agua necesaria para alcanzar la máxima compactación en cada combinación, información fundamental para el diseño adecuado de nuestras mezclas.

A continuación, se presentan las tablas con los valores obtenidos de humedad óptima y densidad seca máxima para cada una de las mezclas evaluadas:

**Tabla 16**

*Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 90/10*

<b>MEZCLA 90 % RAP - 10 % GRANULAR</b>	
% de Humedad óptima	9,66 %
Densidad seca máxima	2036 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 17**

*Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 80/20*

<b>MEZCLA 80 % RAP - 20 % GRANULAR</b>	
% de Humedad óptima	9,70%
Densidad seca máxima	2008 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 18**

*Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 70/30*

<b>MEZCLA 70 % RAP - 30 % GRANULAR</b>	
% de Humedad óptima	8,62%
Densidad seca máxima	2183 kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 19***Resultados del ensayo Proctor Modificado mezcla 40/60*

<b>MEZCLA 40 % RAP - 60 % GRANULAR</b>	
% de Humedad óptima	6,13%
Densidad seca máxima	2056 kg/m <sup>3</sup>

#### **4.2.2. Resultados del diseño de mezclas por proporciones RAP/granular.**

Con las humedades óptimas determinadas para cada proporción de RAP/material granular, se procedió a la elaboración del diseño de mezclas, incorporando cemento tipo MH en tres dosificaciones: 3 %, 5 % y 7 % en peso respecto al total de la mezcla seca. Estas proporciones de cemento fueron seleccionadas con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico y la estabilización de las mezclas recicladas bajo distintas condiciones de rigidez y contenido cementante.

Se prepararon dos probetas por cada combinación. Los pesos de los materiales fueron calculados en función al volumen de las probetas y se consideró para el desperdicio un 15 % adicional, a fin de asegurar el volumen total requerido durante la compactación.

##### **4.2.2.1. Diseño de mezcla 90/10 con diferentes proporciones de cemento.**

A continuación, se presentan las tablas con los pesos reales utilizados en la preparación de las mezclas correspondientes a la proporción 90 % RAP y 10 % material granular, incorporando cemento tipo MH en tres niveles de dosificación: 3 %, 5 % y 7 %.

**Tabla 20***Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 3 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	20 097 g
W MATERIAL GRANULAR	2 233 g
W CEMENTO	670 g
AGUA	1 932 g

**Tabla 21***Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 5 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	19 714 g
W MATERIAL GRANULAR	2 190 g
W CEMENTO	1 095 g
AGUA	1 932 g

**Tabla 22***Pesos de materiales de la mezcla 90/10 con 7 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	19 346 g
W MATERIAL GRANULAR	2 150 g
W CEMENTO	1 505 g
AGUA	1 932 g

**4.2.2.2. Diseño de mezcla 80/20 con diferentes proporciones de cemento.**

En las siguientes tablas se detallan los pesos reales empleados en la dosificación de las mezclas correspondientes a la proporción 80 % RAP y 20 % material granular, con la adición de cemento tipo MH en porcentajes del 3 %, 5 % y 7 %.

**Tabla 23***Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 3 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	17 864 g
W MATERIAL GRANULAR	4 466 g
W CEMENTO	670 g
AGUA	1 940 g

**Tabla 24***Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 5 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	17 524 g
W MATERIAL GRANULAR	4 381 g
W CEMENTO	1 095 g
AGUA	1 940 g

**Tabla 25***Pesos de materiales de la mezcla 80/20 con 7 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	17 196 g
W MATERIAL GRANULAR	4 299 g
W CEMENTO	1 505 g
AGUA	1 940 g

**4.2.2.3. Diseño de mezcla 70/30 con diferentes proporciones de cemento.**

A continuación, se presenta la información correspondiente a los pesos utilizados en el diseño de mezcla con proporción 70 % RAP y 30 % material granular, considerando tres dosificaciones de cemento tipo MH: 3 %, 5 % y 7 %.

**Tabla 26***Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 3 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	15 631 g
W MATERIAL GRANULAR	6 699 g
W CEMENTO	670 g
AGUA	1 724 g

**Tabla 27***Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 5 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	15 333 g
W MATERIAL GRANULAR	6 571 g
W CEMENTO	1 095 g
AGUA	1 724 g

**Tabla 28***Pesos de materiales de la mezcla 70/30 con 7 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	15 047 g
W MATERIAL GRANULAR	6 449 g
W CEMENTO	1 505 g
AGUA	1 724 g

#### 4.2.2.4. Diseño de mezcla 40/60 con diferentes proporciones de cemento.

Finalmente, se presentan los pesos reales determinados para la mezcla compuesta por 40 % RAP y 60 % material granular, en la cual se incorporaron tres contenidos diferentes de cemento tipo MH: 3 %, 5 % y 7 %.

**Tabla 29**

*Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 3 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	8 932 g
W MATERIAL GRANULAR	13 398 g
W CEMENTO	670 g
AGUA	1 226 g

**Tabla 30**

*Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 5 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	8 762 g
W MATERIAL GRANULAR	13 143 g
W CEMENTO	1 095 g
AGUA	1 226 g

**Tabla 31**

*Pesos de materiales de la mezcla 40/60 con 7 % de cemento*

<b>PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO</b>	
W RAP	8 598 g
W MATERIAL GRANULAR	12 897 g
W CEMENTO	1 505 g
AGUA	1 226 g

#### 4.2.3. Resistencia a la compresión de las probetas por cada mezcla y porcentaje de cemento.

En esta etapa del estudio, se evaluó la resistencia a la compresión simple de las probetas elaboradas para cada combinación de mezcla (90/10, 80/20, 70/30 y 40/60 de RAP/granular), con contenidos de cemento tipo MH del 3 %, 5 % y 7 %.

El ensayo se realizó aplicando una carga axial hasta llevar cada muestra a la falla, esto con la finalidad de determinar su capacidad estructural bajo esfuerzos de compresión. Los resultados obtenidos permitieron realizar la comparación del comportamiento mecánico de las diferentes dosificaciones, así poder establecer la mezcla más eficiente respetando las normativas vigentes.

Las siguientes tablas presentan los valores de resistencia a la compresión obtenidos a los 7 días de curado para cada una de las mezclas estudiadas, considerando las distintas proporciones de RAP y material granular, así como los tres niveles de contenido de cemento (3 %, 5 % y 7 %).

**Tabla 32**

*Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 90/10 a los 7 días*

% DE CEMENTO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	CUMPLIMIENTO SEGÚN NORMAS	
		MTOP (25 kg/cm <sup>2</sup> )	NEVI (18 kg/cm <sup>2</sup> )
3 %	4,19		
5 %	16,72		
7 %	25,92	✓	✓

**Tabla 33**

*Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 80/20 a los 7 días*

% DE CEMENTO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	CUMPLIMIENTO SEGÚN NORMAS	
		MTOP (25 kg/cm <sup>2</sup> )	NEVI (18 kg/cm <sup>2</sup> )
3 %	7,89		
5 %	14,22		
7 %	18,99		✓

**Tabla 34**

*Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 70/30 a los 7 días*

% DE CEMENTO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	CUMPLIMIENTO SEGÚN NORMAS	
		MTOP (25 kg/cm <sup>2</sup> )	NEVI (18 kg/cm <sup>2</sup> )
3 %	8,95		
5 %	13,87		
7 %	19,1		✓

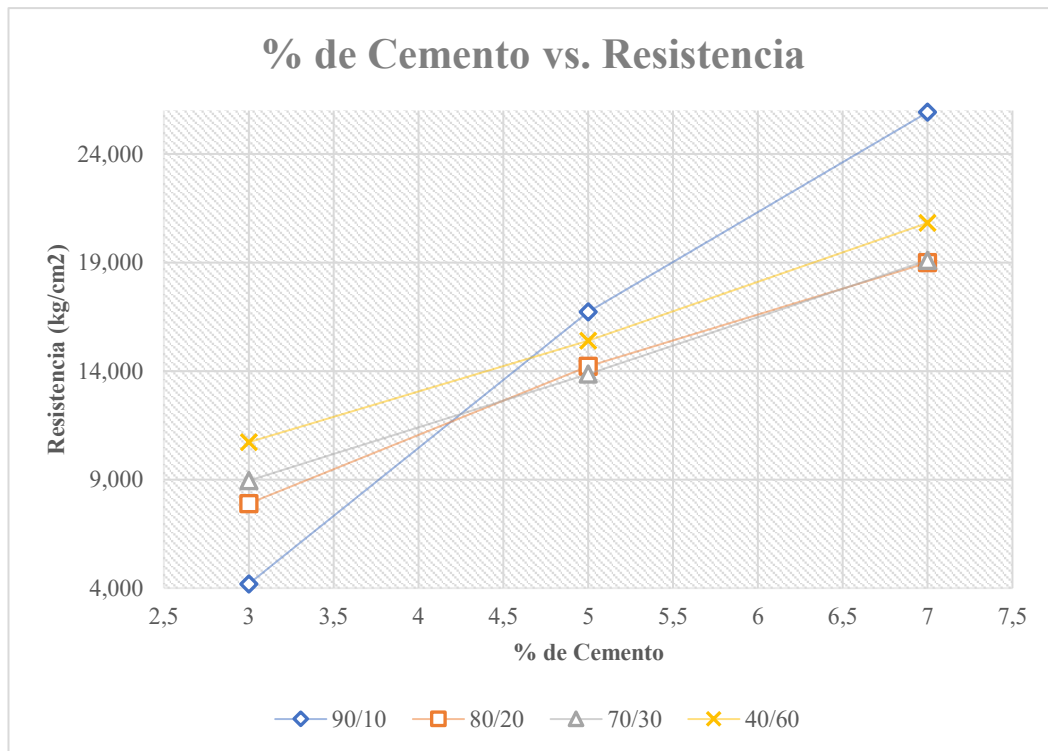
**Tabla 35**

*Resultados promedios de las resistencias a la compresión de la mezcla 40/60 a los 7 días*

% DE CEMENTO	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	CUMPLIMIENTO SEGÚN NORMAS	
		MTOP (25 kg/cm <sup>2</sup> )	NEVI (18 kg/cm <sup>2</sup> )
3%	10,72		
5%	15,4		
7%	20,82		✓

**Figura 10**

*Relación entre el porcentaje de cemento y la resistencia a compresión de las mezclas RAP/granular*



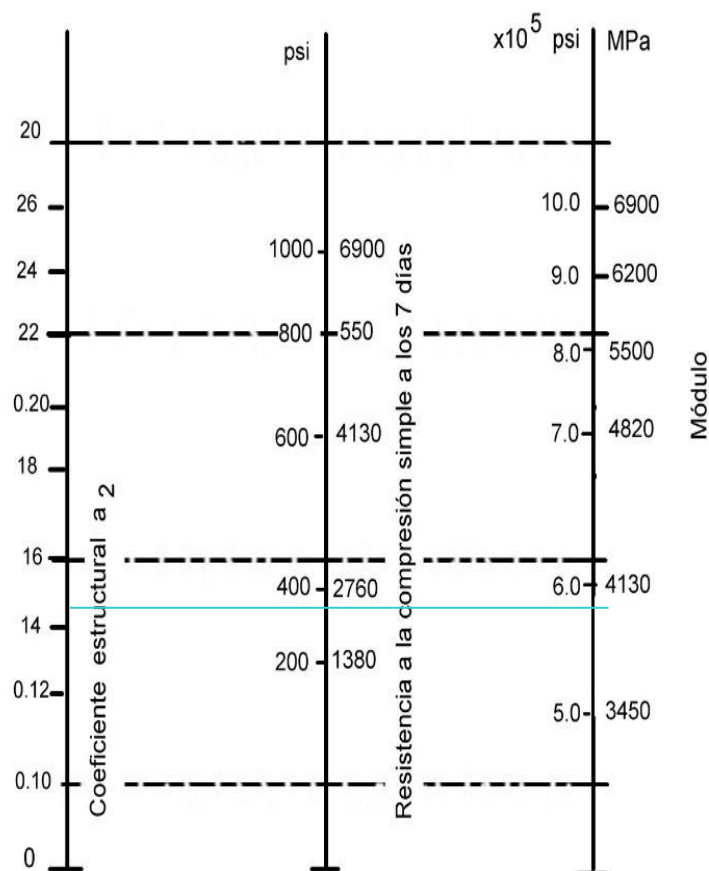
*Nota.* En la figura se aprecia que conforme aumenta el porcentaje de cemento, la resistencia a la compresión de las mezclas también tiende a elevarse.

El comportamiento de las mezclas evaluadas se evidencia en la Figura 10, en la cual se observa la tendencia creciente, es decir a medida que se aumenta el contenido de cemento en las diferentes combinaciones de RAP/granular, estas a su vez incrementan la resistencia a la compresión. Este comportamiento se justifica a que el cemento actúa como un agente aglomerante, mejorando la cohesión de las mezclas.

La mezcla compuesta por un 90 % de carpetas asfálticas recicladas, 10 % de material granular y un contenido de cemento tipo MH del 7 %, alcanzó una resistencia de  $f'c = 25,92 \text{ kg/cm}^2$  (368,67 PSI) a los 7 días de curado, con esta resistencia se obtuvo un coeficiente estructural aproximado de 0,145 y un módulo resiliente superior a los 580.000 PSI según el nomograma de la AASHTO, lo que evidencia un alto desempeño estructural de la mezcla.

**Figura 11**

*Nomograma para determinar el Módulo Resiliente de la Base Estabilizada*



Se puede evidenciar que con un incremento de cemento (7 %), todas las combinaciones presentaron un aumento en las resistencias, sin embargo, estas son menos pronunciadas frente a la mezcla compuesta de 90 % RAP y 10 % granular. En base a esto, podemos deducir que un contenido alto de RAP influye de manera positiva en el desempeño estructural de las mezclas, esto se debe a la posible presencia de residuos de ligante asfáltico.

### 4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.3. COMPARACIÓN DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE UNA BASE RAP/GRANULAR ESTABILIZADA CON CEMENTO MH Y UNA BASE GRANULAR TRADICIONAL

El Análisis de Precios Unitarios revela que el m<sup>3</sup> de base tradicional tiene un costo de \$24,40; mientras que el m<sup>3</sup> de base compuesta por carpetas asfálticas recicladas, material granular y cemento tipo MH asciende a un costo unitario de \$ 33,49; esto debido al tipo de cemento que emplea y la preparación adicional que requiere.

**Tabla 36**

*Análisis de Precios Unitarios para las Bases en estudio*

BASES	COSTO UNITARIO	
Base granular tradicional	\$	24,40
Base estabilizada RAP/granular con cemento tipo MH $f_c = 25 \text{ kg/cm}^2$	\$	33,49

*Nota.* Costos referenciales según APUs y cantidades estimadas. Ver Anexo I.

Sin embargo, la mezcla de RAP/granular estabilizada con cemento tipo MH presenta un rendimiento estructural superior a la tradicional, con una resistencia a la compresión de  $f_c = 25,92 \text{ kg/cm}^2$  (368,67 PSI) alcanzada con la proporción 90 % RAP, 10 % granular y 7 % cemento tipo MH, obteniendo un coeficiente estructural aproximado de 0,145; a diferencia de una base granular tradicional, que en condiciones desfavorables de humedad alcanzaría un coeficiente de 0,06 o incluso menor; lo que posicionaría a la mezcla estabilizada como una alternativa favorable al permitir reducir espesores de las capas de pavimento.

El módulo resiliente calculado para esta mezcla supera los 580.000 PSI, este valor refuerza su buen comportamiento ante cargas repetidas, en comparación con la base granular tradicional que tiene módulos menores y más vulnerables a las condiciones climáticas y de drenaje.

La mezcla RAP/granular estabilizada con cemento tipo MH, presenta ciertas ventajas, como la menor explotación en fuentes naturales, al usar las carpetas asfálticas recicladas que provienen de las carreteras locales deterioradas; además que se reduce el impacto ambiental por transporte, ya que se aprovechan los materiales disponibles localmente. Esto es relevante en la provincia de Santa Elena, donde la disponibilidad de material para base granular es limitada y depende del acarreo desde otras zonas generalmente de la provincia del Guayas, lo cual incrementa su costo y huella ambiental.

## **4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.4.1. Desempeño mecánico de las mezclas.**

Los resultados del ensayo de compresión simple demostraron que la mezcla elaborada con el 90 % de carpetas asfálticas recicladas, 10 % de material granular y con 7 % de cemento tipo MH presenta un mejor comportamiento estructural en comparación con las demás mezclas, obteniendo una resistencia por encima de la normativa vigente (25 kg/cm<sup>2</sup>), por lo que se deduce que esta mezcla muestra un buen grado de cementación interna, alcanzando una matriz resistente y estable, permitiendo su uso como base estabilizada en el diseño de pavimentos.

### **4.4.2. Viabilidad económica.**

El Análisis de Precios Unitarios evidencia que la base compuesta por RAP, granular y cemento tipo MH tiene un costo unitario de \$ 33,49 con respecto a la base tradicional de \$ 24,40; sin embargo, el uso del material reciclado y su mejor desempeño estructural compensan el costo, al reducir espesores y limitar el uso de material transportado.

### **4.4.3. Sostenibilidad y aprovechamiento de materiales reciclados.**

Considerando las políticas actuales de construcción vial sostenible, implementamos esta técnica para así minimizar la explotación de canteras y disminuir la cantidad de carpetas asfálticas recicladas dispuesto en escombreras.

# **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **5.1. CONCLUSIONES**

Para la elaboración de este tipo de mezclas, es fundamental realizar el respectivo análisis de laboratorio que permita conocer las propiedades mecánicas de cada componente. En este estudio se pudo evidenciar la importancia de que el material granular cumpla con las especificaciones para subbase, mientras que las carpetas asfálticas recicladas deben estar correctamente trituradas, sin fracciones pétreas de mayor tamaño (en nuestra investigación se desechó lo retenido en el tamiz  $\frac{3}{4}$ ”), para facilitar la compactación y lograr una mezcla homogénea.

El porcentaje de cemento cumple un rol fundamental en las mezclas, debido a que, al incrementarse el contenido, se evidencia mayores resistencias a la compresión a los 7 días de curado; esto se demuestra en las diversas dosificaciones evaluadas, lo que prueba que el cemento es un buen agente aglomerante, ya que incrementa la cohesión interna de las mezclas.

Las proporciones evaluadas con 7 % de contenido de cemento presentaron mejor comportamiento estructural, alcanzando resistencias significativas, sin embargo la mezcla conformada por 90 % de RAP y 10 % de material granular mostró el mejor desempeño estructural, se alcanzó una resistencia máxima de 25,92 kg/cm<sup>2</sup>, superando el valor mínimo exigido por la norma vigente MTOP de 25 kg/cm<sup>2</sup>, dejando en evidencia que una alta proporción de RAP, en combinación con una dosificación adecuada de cemento, puede generar una base estabilizada con excelente capacidad portante.

La base compuesta por carpetas asfálticas recicladas y material granular estabilizada con cemento tipo MH presenta un costo unitario de \$ 33,49 que en comparación con una base tradicional que tiene un costo de \$ 24, 40; no resulta conveniente en el aspecto económico, pero sus beneficios estructurales y ambientales la hacen más eficiente.

De acuerdo con la mayor resistencia  $f'c = 25,92 \text{ kg/cm}^2$  (368,67 PSI) alcanzada en la mezcla 90/10 con 7 % de cemento, un coeficiente estructural aproximado de 0,145 y un módulo resiliente superior a 580.000 PSI, se concluye que se podría reducir espesores de pavimento y carpeta asfáltica, que compensa su mayor costo inicial.

Al utilizar carpetas asfálticas recicladas que provienen de los pavimentos que más se construyen en el país, se evita la explotación de canteras y el transporte de materiales, disminuyendo el desgaste de la red vial existente y el impacto ambiental, por lo cual esta alternativa presenta una opción técnica y ambientalmente sostenible.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Para la elaboración de las mezclas, se sugiere una caracterización completa del material granular disponible localmente. Este material debe, como mínimo, cumplir con las normativas MTOP para subbase, mientras que las carpetas asfálticas recicladas deben estar adecuadamente trituradas para lograr homogeneidad en la mezcla, esto garantiza un mejor desempeño mecánico y minimiza errores en el proceso de diseño.

Para futuras investigaciones, se recomienda ensayar mezclas con contenidos de cemento superiores a los utilizados en este trabajo (más allá del 7 %) o evaluar mezclas con diferentes proporciones de RAP/granular, con el fin de determinar si es posible alcanzar un comportamiento estructural óptimo. Esta mejora permitiría hacer diseños de pavimentos más eficientes.

Se recomienda que, para futuros estudios, se aumente el número de probetas por combinación de mezcla y porcentaje de cemento, esto para reducir el margen de error de dispersión y mejorar la confiabilidad de los datos. En estos casos donde no se cuenta con experiencia alguna el número de probetas a ensayar se sugiere que mínimo sean tres.

También se sugiere que para futuras investigaciones podrían implementarse más ensayos, para determinar la fatiga y su durabilidad a largo plazo mediante ensayos de desempeño complementarios.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce, M. (2011). *Bases estabilizadas con cemento: Algunos comentarios sobre sus ventajas e inconvenientes*. Programa de Infraestructura en Transporte (PITRA), LanammeUCR. Boletín Técnico, 2(19).
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación* (7.<sup>a</sup> ed.). Editorial Episteme.
- Arias, J. P. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias\\_S2.pdf](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w26022w/Arias_S2.pdf)
- Arteaga-Villamarín, J. F. (2018). *Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado* [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia. <http://hdl.handle.net/10983/16406>
- Badii, M., Castillo, J., Wong, A., y Villalpando, P. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(2), 283–330.
- Balbin Archi, R., y Chochon Gomez, V. H. (2019). *Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019* [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]. Repositorio Académico USMP. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/6001>
- Carvajal De La Rosa, E. F., y Pozo Tomalá, D. Á. (2019). *Estudio de suelo, estabilización del material granular existente con cemento MH y diseño de pavimento flexible en las calles del sector La Milina, parroquia José Luis Tamayo, cantón Salinas, provincia de Santa Elena* [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio Institucional UPSE. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4767>
- Federal Highway Administration. (1997). *Reclaimed asphalt pavement – Material description*. En *User guidelines for waste and byproduct materials in pavement construction* (FHWA-RD-97-148). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/046.cfm>

- Fustamante Fustamante, J. P. (2018). *Propuesta técnica de diseño de carpeta asfáltica utilizando pavimento reciclado para el mejoramiento de Av. Mesones Muro km+000-2+066 Chiclayo* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34212>
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., Gómez López, J. A., Alonso Romero, S., y Alarcón Orta, H. A. (2004). *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas* (Publicación Técnica No. 246). Instituto Mexicano del Transporte. <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt246.pdf>
- Han, J., Thakur, S. C., Chong, O., y Parsons, R. L. (2011). Laboratory evaluation of characteristics of recycled asphalt pavement in Kansas. University of Kansas, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering; Kansas Department of Transportation, Bureau of Materials & Research. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/23380>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, M. D. P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- Holcim Ecuador. (2022, julio). *Ficha técnica: Holcim Base Vial*. [https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-base-vial\\_0.pdf](https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-07/ficha-holcim-base-vial_0.pdf)
- Holcim Ecuador. (2024, marzo). *Boletín #8: Estabilizaciones de suelo con Cemento Tipo MH INEN 2380*. [https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2024-03/boletin\\_estabilizaciones\\_8.pdf](https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2024-03/boletin_estabilizaciones_8.pdf)
- Jaramillo, W. P., y Places, J. A. (2022). Análisis comparativo del desempeño de mezclas asfálticas en frío con material reciclado (RAP) utilizando emulsión asfáltica y emulsión asfáltica modificada con aceite de motor desechado de vehículos. [Trabajo de Titulación. Universidad Central del Ecuador]. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/25774>
- Montejo Fonseca, Alfonso, Montejo Piratova, Alejandro, y Montejo Piratova, Alberto (2018). *Estabilización de suelos* (1ra ed.). Bogotá: Ediciones de la U.

- Mejía, E. (2005). *Técnicas e instrumentos de investigación* (1.<sup>a</sup> ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Morocho, F., y Casaverde, G. (2022). *Diseño y aplicación de base estabilizada con cemento, producida en planta de suelos para el tramo 2 de la carretera departamental costanera II* [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional UDEP. <https://hdl.handle.net/11042/5682>
- NEVI 12 y Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes* (Vol. 3). MTOP.
- Rodríguez Moreno, M. A., López-Pérez, F., Rodríguez, A., Álvarez, A. E., Rodríguez, A. C., Rodríguez, A. F., ... Rojas-Agramonte, Y. (2019). *Ingeniería de pavimentos. Innovación y sostenibilidad en la infraestructura vial*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11407/6594>.
- Taha, R., Al-Harthy, A., Al-Shamsi, K., y Al-Zubeidi, M. (2002). Cement stabilization of reclaimed asphalt pavement aggregate for road bases and subbases. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14(3), 239–245. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2002\)14:3\(239\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2002)14:3(239))



# ANEXOS

## Anexo A. Ensayos al material granular proveniente de cantera

Juan Montalvo

Anexo A.1 Tabla Resumen de ensayos de laboratorio – material granular cantera

Juan Montalvo

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>		
<p><b>PROYECTO:</b> EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA</p>			
<p><b>TUTOR:</b> ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE</p>			
<p><b>TESISTAS:</b> PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET</p>			
<p><b>CANTERA:</b> JUAN MONTALVO</p>			
<p><b>INFORME DE RESULTADOS: CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN EL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS (MTOPE)</b></p>			
<p><b>SUB - BASE</b></p>			
<p>CLASE III</p>			
<p><b>GRANULOMETRÍA</b></p>			
TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)	NORMA CLASE III	
3"	100%	100	✓
N° 4	47,69%	30 - 70	✓
N° 200	13,49%	0 - 20	✓
<p><b>LÍMITES DE ATTERBERG</b></p>		NORMA	
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	5%	≤ 6	✓
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	24%	≤ 25	✓
<p><b>CAPACIDAD DE SOPORTE</b></p>		NORMA	
CBR	52%	≥ 30	✓
<p><b>DESGASTE MÁXIMO</b></p>		NORMA	
ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES	43,76%	≤ 50	✓

## Anexo A.2 Ensayo de Limite de Atterberg



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

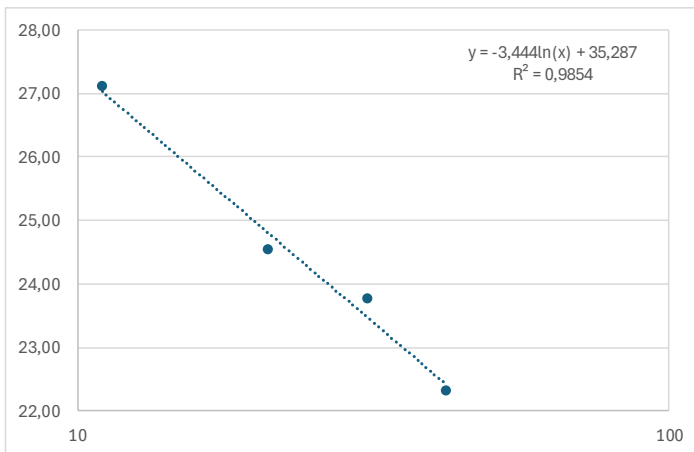
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**CANTERA:** JUAN MONTALVO

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D - 4318**

<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				
RECIPIENTE #	38	42	22	57
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	29,44	25,92	26,41	25,34
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	24,51	21,86	22,54	21,72
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	4,93	4,06	3,87	3,62
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6,32	5,31	6,25	5,5
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	18,19	16,55	16,29	16,22
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	27,10	24,53	23,76	22,32
# DE GOLPES	11	21	31	42

<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			
RECIPIENTE #	17	24	35
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)	23,76	22,64	23,92
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)	21,01	19,95	21,11
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)	2,75	2,69	2,81
MASA DE RECIPIENTE (P4)	6,14	5,5	6,28
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)	14,87	14,45	14,83
% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)	18,49	18,62	18,95



<b>RESULTADOS</b>	
Límite Líquido =	24
Límite Plástico =	19
Índice de Plasticidad =	5

## Anexo A.3 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

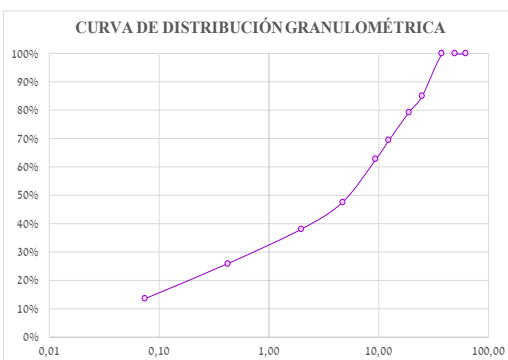
**CANTERA:** JUAN MONTALVO

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D - 422**

Ensayo de Contenido de Humedad	Serie gruesa	Serie fina
Recipiente N°	2	L
Masa de recipiente + Muestra humedad (P1)	281,84	298,48
Masa de recipiente + Muestra seca (P2)	279,18	291,3
Masa de agua (P3=P1-P2)	2,66	7,18
Masa del recipiente (P4)	19,51	19,21
Masa de muestra seca (P5=P2-P4)	259,67	272,09
% de humedad (W=P3×100÷P5)	1,02	2,64

SERIE GRUESA				
Tamiz ASTM		Masa retenida		% Pasante acumulado
Abertura (mm)	N°	Parcial	Acumulada	
600	24"	0	0,00	100%
300	12"	0	0,00	100%
150	6"	0	0,00	100%
75	3"	0	0,00	100%
63	2 1/2"	0	0,00	100%
50	2"	0	0,00	100,00%
38,1	1 1/2"	0	0,00	100,00%
25	1"	776	1352,10	85,01%
19	3/4"	514	1860,89	79,37%
12,5	1/2"	902	2753,74	69,47%
9,5	3/8"	611	3358,55	62,77%
4,75	No. 4	1374	4718,61	47,69%
Pasa No. 4		4415	4301,49	

SERIE FINA					
Tamiz ASTM		Masa retenida		% Pasante Acumulado	% Pasante Corregido
Abertura (mm)	N°	Parcial	Acumulada		
2,36	No. 8				
2	No. 10	58,64	58,64	79,94%	38,12%
1,18	No. 16				
0,85	No. 20				
0,60	No. 30				
0,425	No. 40	75,1	133,74	54,24%	25,87%
0,3	No. 50				
0,15	No. 100				
0,075	No. 200	75,85	209,59	28,29%	13,49%
Pasa No. 200					
Masa inicial del material para lavado =					300
Masa final corregida por humedad de los finos =					292,29
Masa seca total del material utilizados para el ensayo (gr) =					9020,11



Distribución del tamaño de las Partículas (%)			
Pedrón Rodado (> 12")		0%	
Canto Rodado (12"-3")		0%	
Grava (3"-N°4)	Gruesa (3"-3/4")	20,63%	52,31%
	Fina (3/4"-N°4)	31,68%	
Arena (N°4-N°200)	Gruesa (N°4-N°10)	9,57%	34,20%
	Media (N°10-N°40)	12,25%	
	Fina (N°40-N°200)	12,38%	
Finos (>N°200)		13,49%	

## Anexo A.4 Ensayo de Proctor Modificado – método C



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

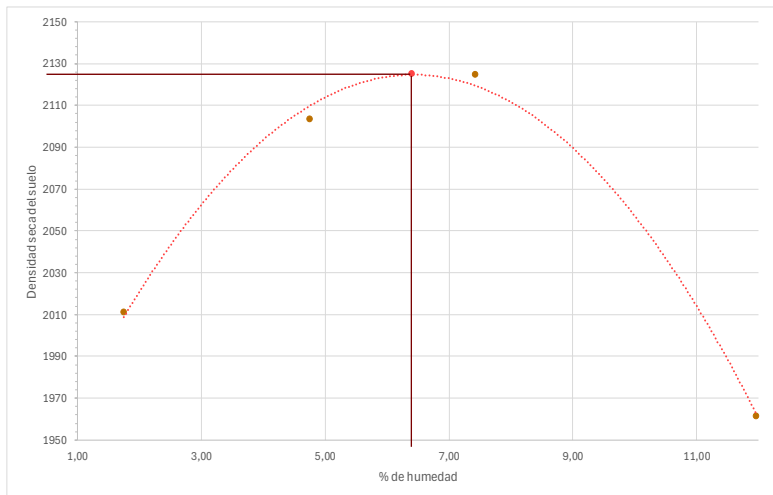
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY

**CANTERA:** JUAN MONTALVO

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D 698 / ASTM D 1557**

MASA DEL CILINDRO (P7)	6007
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2095,13
MASA DEL MARTILLO (kg)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

DATOS DEL ENSAYO								
PUNTO #	1		2		3		4	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE N°	M	---	L1	---	E	---	Ñ	---
Masa de recipiente + muestra húmeda (P1)	311,31	---	289,00	---	324,70	---	394,20	---
Masa de recipiente + muestra seca (P2)	306,51	---	277,40	---	306,00	---	355,60	---
Masa de agua (P3 = P1 - P2)	4,80	---	11,60	---	18,70	---	38,60	---
Masa de recipiente (P4)	32,00	---	33,00	---	54,00	---	33,00	---
Masa de muestra seca (P5 = P2 - P4)	274,51	---	244,40	---	252,00	---	322,60	---
% de humedad (W = P3 x 100 / P5)	1,75	---	4,75	---	7,42	---	11,97	---
% de humedad promedio	1,75	---	4,75	---	7,42	---	11,97	---
% de humedad añadida al suelo	TN	---	150	---	300	---	500	---
Masa de cilindro + suelo húmedo (P6)	10294	---	10623	---	10789	---	10608	---
Masa de suelo húmedo (P8 = P6 - P7)	4287	---	4616	---	4782	---	4601	---
Densidad húmeda del suelo (Dh = P8 / V)	2046	---	2203	---	2282	---	2196	---
Densidad seca del suelo Ds = Dh / (1 + W/100)	2011	---	2103	---	2125	---	1961	---



RESULTADOS	
DENSIDAD SECA MAXIMA =	2125
% DE HUMEDAD OPTIMA =	6,40

## Anexo A.5 CBR - Densidades



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**CANTERA:** JUAN MONTALVO

### INFORME DE RESULTADOS: C.B.R. - DENSIDADES NORMA ASTM D - 1883

MOLDE N°	XX	1	4	PESO DEL MARTILLO:	10,00 Lb
PESO MOLDE	6,071	5,946	6,631		
VOLUMEN MOLDE	0,0023433	0,00234879	0,00236299	ALTURA DEL MARTILLO:	18,00 "
No DE GOLPES CAPA:	12	25	56		

N° de ensayo:	1	2	3
---------------	---	---	---

ANTES DE LA INMERSION				
No DE GOLPES CAPA:	12 Golpes x capa	25 Golpes x capa	56 Golpes x capa	
HUMEDAD	N° recipiente	H	R	O
	Wh + r	309,32	294,19	294,61
	Ws + r	295,03	282,35	282,15
	Ww	14,29	11,84	12,46
	r	33,26	33,01	33,64
	Ws	261,77	249,34	248,51
	w (%)	5,46	4,75	5,01
MOLDE NUMERO	XX	1	4	
Molde + suelo humedo (P)	11,07	11,16	11,98	
Molde	6,071	5,946	6,631	
Suelo humedo (W)	4,999	5,214	5,349	
Suelo seco (Ws)	4,740	4,978	5,094	
Contenido de agua (w)	5,46	4,75	5,01	
Densidad humeda (H)	2133	2220	2264	
Densidad seca (S)	2023	2119	2156	

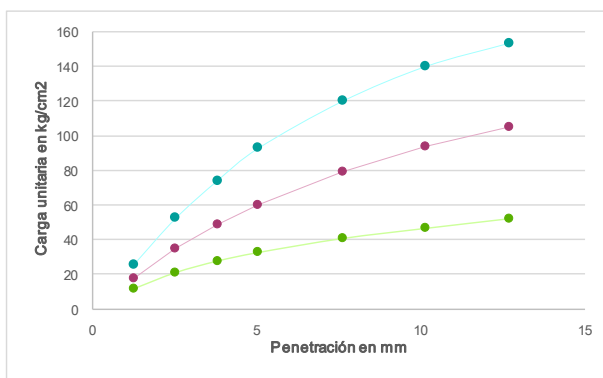
DESPUES DE LA INMERSION							
No DE GOLPES CAPA:	12 Golpes x capa		25 Golpes x capa		56 Golpes x capa		
	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	
HUMEDAD	N° recipiente	D8	C2	W8	C11	118	C7
	Wh + r	123,43	132,71	131,99	127,23	113,79	123,72
	Ws + r	112,21	122,05	122,58	116,97	105,29	112,93
	Ww	11,22	10,66	9,41	10,26	8,5	10,79
	r	16,46	17,02	17,33	18,39	16,67	17,42
	Ws	95,75	105,03	105,25	98,58	88,62	95,51
	w (%)	11,72	10,15	8,94	10,41	9,59	11,30

Promedio w (%)	10,93	9,67	10,44
Molde + suelo humedo (P)	11,26	11,32	12,1
Molde	6,071	5,946	6,631
Suelo humedo (W)	5,189	5,374	5,469
Suelo seco (Ws)	4,678	4,900	4,952
Contenido de agua (w)	10,93	9,67	10,44
Densidad humeda (H)	2214	2288	2314
Densidad seca (S)	1996	2086	2096

HINCHAMIENTO			
Lectura inicial	0,47	0,60	0,54
24 horas	0,54	0,69	0,65
48 horas	0,56	0,71	0,69
72 horas	0,57	0,72	0,70
HINCHAMIENTO %	2,50	3,00	4,00

NUMERO DE ENSAYO		1	2	3	1	2	3
Tamiz ASTM Abertura / N°.		CARGA DE PENETRACION EN Lb			CARGA DE PENETRACION EN Kg		
1,27 mm	(0.05°)	498,52	772,64	1114,96	226,6	351,2	506,8
2,54 mm	(0.10°)	902,22	1511,18	2265,12	410,1	686,9	1029,6
3,81 mm	(0.15°)	1191,08	2094,62	3203,42	541,4	952,1	1456,1
5,06 mm	(0.20°)	1406,24	2601,5	4014,78	639,2	1182,5	1824,9
7,62 mm	(0.30°)	1757,58	3415,94	5184,74	798,9	1552,7	2356,7
10,16 mm	(0.40°)	2011,9	4037	6053,52	914,5	1835	2751,6
12,70 mm	(0.50°)	2254,12	4544,54	6633,66	1024,6	2065,7	3015,3

Tamiz ASTM Abertura / N°.		CARGA UNITARIA EN Lb/pulg <sup>2</sup>			CARGA UNITARIA EN Kg/cm <sup>2</sup>		
1,27 mm	(0.05°)	163,80	253,87	366,35	11,541	17,886	25,811
2,54 mm	(0.10°)	296,45	496,54	744,27	20,886	34,984	52,437
3,81 mm	(0.15°)	391,36	688,24	1052,57	27,573	48,490	74,159
5,06 mm	(0.20°)	462,06	854,79	1319,17	32,554	60,224	92,941
7,62 mm	(0.30°)	577,50	1122,40	1703,59	40,688	79,078	120,026
10,16 mm	(0.40°)	661,06	1326,47	1989,05	46,575	93,456	140,138
12,70 mm	(0.50°)	740,65	1493,23	2179,67	52,182	105,205	153,568



N° de Golpes	Esfuerzo de penetración	
	0.10 pulg	0.20 pulg
12	20,89	32,55
25	34,98	60,22
56	52,44	92,94

C.B.R	%	
12	29,64	30,80
25	49,65	56,99
56	74,43	87,94

## Anexo A.6 Determinación de la Abrasión de los Ángeles



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO:**

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:**

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:**

PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**CANTERA:**

JUAN MONTALVO

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES NORMA ASTM C - 131, ASTM C - 535**

### MÉTODO PARA AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO MAYOR A 3/4

Método:	2
---------	---

12 N° de Esferas, 1000 N° de Revoluciones, 30 minutos de tiempo de rotación
--

TAMIZ		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUES POR TAMIZ N° 12 (gr)	% DE PERDIDA
PASA	RETIENE			
2"	1 1/2"	5000 ± 50		
1 1/2"	1"	5000 ± 25		
		10024	5637	43,76%

<b>% DE PERDIDA</b>	43,76%
---------------------	--------

<b>NORMA MTOP CAPÍTULO 800 MATERIALES; SECCIÓN 816, SUBBASES DE AGREGADOS ITEM 816 - 2</b>
% DE PERDIDA ≤ 50% Si cumple

Anexo A.7 Relación curva Proctor - CBR



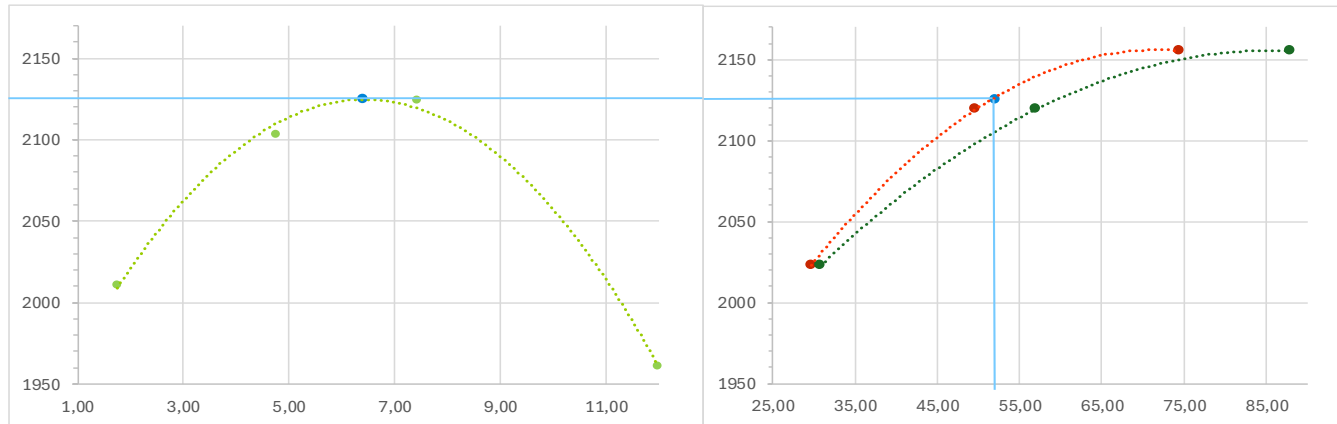
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**CANTERA:** JUAN MONTALVO

**RELACIÓN CURVA PROCTOR - CBR**

<b>DENSIDAD SECA</b>	2125
<b>100%</b>	2125
<b>CBR diseño</b>	52,00



## Anexo B. Ensayos a las carpetas asfálticas recicladas (RAP)

### Anexo B.1 Clasificación del RAP por el método Marshall



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL  
NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS

### INFORME DE RESULTADOS: CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL POR EL MÉTODO MARSHALL

RAP

3/4"

GRANULOMETRÍA			
TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)	NORMA	
		3/4"	
1"	100,00%	100	✓
3/4"	95,22%	90 - 100	✓
3/8"	67,57%	56 - 80	✓
N° 4	37,15%	35 - 65	✓
N° 8	18,32%	23 - 49	
N° 50	-	5 - 19	
N° 200	-	2 - 8	

## Anexo B.2 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**

**PROYECTO:** MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

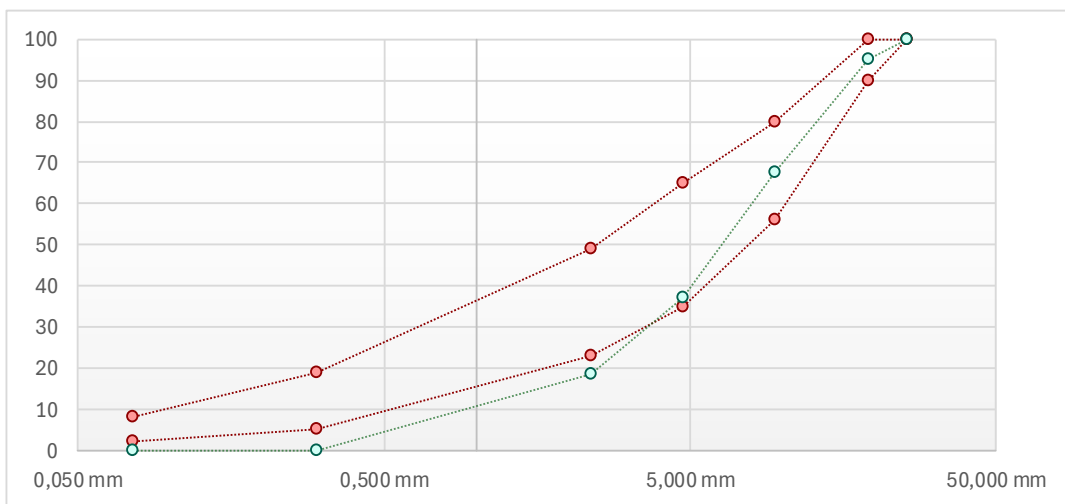
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS

### MÉTODO MARSHALL GRANULOMETRÍA

TAMIZ	ABERTURA	W PARCIAL	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
2"	50 mm	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5 mm	0	0,00	0,00	100,00
1"	25 mm	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19 mm	0,625	4,78	4,78	95,22
1/2"	12,5 mm	1,918	14,68	19,46	80,54
3/8"	9,5 mm	1,694	12,96	32,43	67,57
N° 4	4,75 mm	3,975	30,42	62,85	37,15
N° 8	2,36 mm	2,461	18,83	81,68	18,32
N° 16	1,18 mm	1,781	13,63	95,31	4,69
<b>Fondo</b>		0,613	4,69	100,00	0,00
<b>Total</b>		13,07	100,00		



## Anexo C. Ensayos a la mezcla 90 % RAP – 10 % granular

Anexo C.1 Tabla resumen de ensayos – Mezcla 90/10



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL  
NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP / GRANULAR

### INFORME DE RESULTADOS

#### BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO 90 % RAP - 10% GRANULAR

#### GRANULOMETRÍA

TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)
1"	98,50%
3/4"	93,63%
N° 10	3,81%
N° 200	1,35%

#### LÍMITES DE ATTERBERG

ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	NP
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	NP

% DE HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA MÁXIMA
9,66	2036

## Anexo C.2 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS  
**PROYECTO:** MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS / MATERIAL GRANULAR

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN  
GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D - 422**

**RAP / GRANULAR**

**90 / 10**

TAMIZ	ABERTURA	% QUE PASA				
		RAP	90%	GRANULAR	10%	TOTAL
3"	76,2 mm	100,00	90,00	100,00	10,00	100,00
1 1/2"	38,1 mm	100,00	90,00	100,00	10,00	100,00
1"	25,4 mm	100,00	90,00	85,01	8,50	98,50
3/4"	19,0 mm	95,22	85,70	79,37	7,94	93,63
N° 4	4,75 mm	37,15	33,44	47,69	4,77	38,21
N° 10	2,0 mm		0,00	38,12	3,81	3,81
N° 40	0,425 mm		0,00	25,87	2,59	2,59
N° 200	0,075 mm		0,00	13,49	1,35	1,35

## Anexo C.3 Ensayo Proctor Modificado – Método C



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D 698 / ASTM D 1557

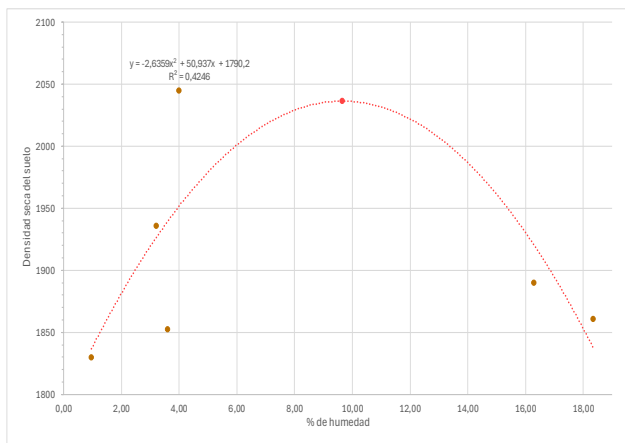
### RAP / GRANULAR

90 / 10

MASA DEL CILINDRO (P7)	6007
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2094,63
MASA DEL MARTILLO (kg)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE N°	Z8	---	U8	---	C1	---	L	---	T3	---	S1	---
Masa de recipiente + muestra húmeda (P1)	116,40	---	97,80	---	108,30	---	97,40	---	115,11	---	115,86	---
Masa de recipiente + muestra seca (P2)	115,45	---	94,98	---	105,51	---	94,32	---	99,97	---	102,06	---
Masa de agua (P3 = P1 - P2)	0,95	---	2,82	---	2,79	---	3,08	---	15,14	---	13,80	---
Masa de recipiente (P4)	17,18	---	16,70	---	18,28	---	17,18	---	17,46	---	17,30	---
Masa de muestra seca (P5 = P2 - P4)	98,27	---	78,28	---	87,23	---	77,14	---	82,51	---	84,76	---
% de humedad (W = P3 x 100 / P5)	0,97	---	3,60	---	3,20	---	3,99	---	18,35	---	16,28	---
% de humedad promedio	0,97	---	3,60	---	3,20	---	3,99	---	18,35	---	16,28	---
% de humedad añadida al suelo	TN	---	150	---	300	---	500	---	650	---	800	---
Masa de cilindro + suelo húmedo (P6)	9876	---	10027	---	10191	---	10461	---	10619	---	10610	---
Masa de suelo húmedo (P8 = P6 - P7)	3869	---	4020	---	4184	---	4454	---	4612	---	4603	---
Densidad húmeda del suelo (Dh = P8 / V)	1847	---	1919	---	1997	---	2126	---	2202	---	2198	---
Densidad seca del suelo Ds = Dh / (1 + W/100)	1829	---	1852	---	1936	---	2045	---	1860	---	1890	---



RESULTADOS	
DENSIDAD SECA MÁXIMA =	2036
% DE HUMEDAD ÓPTIMA =	9,66

## Anexo D. Ensayos a la mezcla 80 % RAP – 20 % granular

Anexo D.1 Tabla resumen de ensayos – Mezcla 80/20



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL  
NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP / GRANULAR

### BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

80 % RAP - 20% GRANULAR

#### GRANULOMETRÍA

TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)
1"	97,00%
3/4"	92,05%
N° 10	7,62%
N° 200	2,70%

#### LÍMITES DE ATTERBERG

ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	NP
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	NP

% DE HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA MÁXIMA
9,70	2008

Anexo D.2 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS  
**PROYECTO:** MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS / MATERIAL GRANULAR

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN  
GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D - 422**

**RAP / GRANULAR**

**80 / 20**

TAMIZ	ABERTURA	% QUE PASA				
		RAP	80%	GRANULAR	20%	TOTAL
3"	76,2 mm	100,00	80,00	100,00	20,00	100,00
1 1/2"	38,1 mm	100,00	80,00	100,00	20,00	100,00
1"	25,4 mm	100,00	80,00	85,01	17,00	97,00
3/4"	19,0 mm	95,22	76,17	79,37	15,87	92,05
N° 4	4,75 mm	37,15	29,72	47,69	9,54	39,26
N° 10	2,0 mm		0,00	38,12	7,62	7,62
N° 40	0,425 mm		0,00	25,87	5,17	5,17
N° 200	0,075 mm		0,00	13,49	2,70	2,70

## Anexo D.3 Ensayo Proctor Modificado – Método C



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D 698 / ASTM D 1557

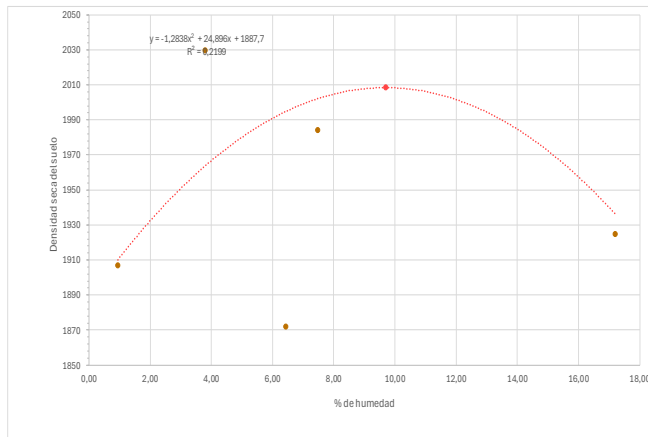
### RAP / GRANULAR

80 / 20

MASA DEL CILINDRO (P7)	6007
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2094,63
MASA DEL MARTILLO (kg)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE N°	I8	---	F8	---	C2	---	A8	---	N11	---	Q	---
Masa de recipiente + muestra húmeda (P1)	108,60	---	98,70	---	102,50	---	106,70	---	118,68	---	126,42	---
Masa de recipiente + muestra seca (P2)	107,74	---	93,76	---	99,37	---	100,45	---	109,69	---	110,38	---
Masa de agua (P3 = P1 - P2)	0,86	---	4,94	---	3,13	---	6,25	---	8,99	---	16,04	---
Masa de recipiente (P4)	16,76	---	16,91	---	17,02	---	16,79	---	17,42	---	17,09	---
Masa de muestra seca (P5 = P2 - P4)	90,98	---	76,85	---	82,35	---	83,66	---	92,27	---	93,29	---
% de humedad (W = P3 x 100 / P5)	0,95	---	6,43	---	3,80	---	7,47	---	9,74	---	17,19	---
% de humedad promedio	0,95		6,43		3,80		7,47		9,74		17,19	
% de humedad añadida al suelo	TN		150		300		500		650		800	
Masa de cilindro + suelo húmedo (P6)	10039		10180		10420		10473		10830		10732	
Masa de suelo húmedo (P8 = P6 - P7)	4032		4173		4413		4466		4823		4725	
Densidad húmeda del suelo (Dh = P8 / V)	1925		1992		2107		2132		2303		2256	
Densidad seca del suelo Ds = Dh / (1 + W/100)	1907		1872		2030		1984		2098		1925	



RESULTADOS	
DENSIDAD SECA MÁXIMA =	2008
% DE HUMEDAD ÓPTIMA =	9,70

## Anexo E. Ensayos a la mezcla 70 % RAP – 30 % granular

Anexo E.1 Tabla resumen de ensayos – Mezcla 70/30



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP / GRANULAR

### BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

70 % RAP - 30% GRANULAR

#### GRANULOMETRÍA

TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)
1"	95,50%
3/4"	90,46%
N° 10	11,44%
N° 200	4,05%

#### LÍMITES DE ATTERBERG

ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	NP
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	NP

% DE HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA MÁXIMA
8,62	2183

Anexo E.2 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS / MATERIAL GRANULAR

**INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D - 422**

**RAP / GRANULAR**

**70 / 30**

TAMIZ	ABERTURA	% QUE PASA				TOTAL
		RAP	70%	GRANULAR	30%	
3"	76,2 mm	100,00	70,00	100,00	30,00	100,00
1 1/2"	38,1 mm	100,00	70,00	100,00	30,00	100,00
1"	25,4 mm	100,00	70,00	85,01	25,50	95,50
3/4"	19,0 mm	95,22	66,65	79,37	23,81	90,46
N° 4	4,75 mm	37,15	26,01	47,69	14,31	40,31
N° 10	2,0 mm		0,00	38,12	11,44	11,44
N° 40	0,425 mm		0,00	25,87	7,76	7,76
N° 200	0,075 mm		0,00	13,49	4,05	4,05

## Anexo E.3 Ensayo Proctor Modificado – Método C



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN HUMEDAD - DENSIDAD DE SUELOS NORMA ASTM D 698 / ASTM D 1557

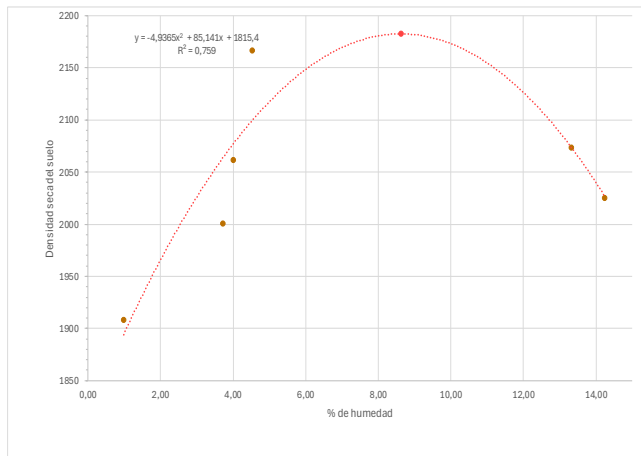
### RAP / GRANULAR

70 / 30

MASA DEL CILINDRO (P7)	6007
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2094,63
MASA DEL MARTILLO (kg)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4		5		6	
MATERIAL PARA ENSAYO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE N°	J8	---	C3	---	Y8	---	X3	---	D	---	F	---
Masa de recipiente + muestra húmeda (P1)	92,30	---	107,60	---	108,10	---	103,70	---	120,69	---	122,20	---
Masa de recipiente + muestra seca (P2)	91,57	---	104,39	---	104,58	---	99,94	---	107,74	---	109,85	---
Masa de agua (P3 = P1 - P2)	0,73	---	3,21	---	3,52	---	3,76	---	12,95	---	12,35	---
Masa de recipiente (P4)	17,27	---	17,91	---	16,65	---	16,84	---	16,83	---	17,18	---
Masa de muestra seca (P5 = P2 - P4)	74,30	---	86,48	---	87,93	---	83,10	---	90,91	---	92,67	---
% de humedad (W = P3 x 100 / P5)	0,98	---	3,71	---	4,00	---	4,52	---	14,24	---	13,33	---
% de humedad promedio	0,98		3,71		4,00		4,52		14,24		13,33	
% de humedad añadida al suelo	TN		150		300		500		650		800	
Masa de cilindro + suelo húmedo (P6)	10042		10352		10498		10750		10853		10929	
Masa de suelo húmedo (P8 = P6 - P7)	4035		4345		4491		4743		4846		4922	
Densidad húmeda del suelo (Dh = P8 / V)	1926		2074		2144		2264		2314		2350	
Densidad seca del suelo Ds = Dh / (1 + W/100)	1908		2000		2062		2166		2025		2073	



RESULTADOS	
DENSIDAD SECA MAXIMA =	2183
% DE HUMEDAD OPTIMA =	8,62

## Anexo F. Ensayos a la mezcla 40 % RAP – 60 % granular

Anexo F.1 Tabla resumen de ensayos – Mezcla 40/60



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP / GRANULAR

### BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

40 % RAP - 60% GRANULAR

#### GRANULOMETRÍA

TAMIZ	MUESTRA PASANTE (%)
1"	91,01%
3/4"	85,71%
N° 10	22,87%
N° 200	8,10%

#### LÍMITES DE ATTERBERG

ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	NP
LÍMITE LÍQUIDO (LL)	NP

% DE HUMEDAD ÓPTIMA	DENSIDAD SECA MÁXIMA
6,13	2056

Anexo F.2 Ensayo de determinación de la distribución granulométrica



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS  
**PROYECTO:** MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY

**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS / MATERIAL GRANULAR

INFORME DE RESULTADOS: DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN  
GRANULOMÉTRICA DE SUELOS NORMA ASTM D - 422

**RAP / GRANULAR**

40 / 60

TAMIZ	ABERTURA	% QUE PASA				
		RAP	40%	GRANULAR	60%	TOTAL
3"	76,2 mm	100,00	40,00	100,00	60,00	100,00
1 1/2"	38,1 mm	100,00	40,00	100,00	60,00	100,00
1"	25,4 mm	100,00	40,00	85,01	51,01	91,01
3/4"	19,0 mm	95,22	38,09	79,37	47,62	85,71
N° 4	4,75 mm	37,15	14,86	47,69	28,61	43,47
N° 10	2,0 mm		0,00	38,12	22,87	22,87
N° 40	0,425 mm		0,00	25,87	15,52	15,52
N° 200	0,075 mm		0,00	13,49	8,10	8,10

## Anexo F.3 Ensayo Proctor Modificado – Método C



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR

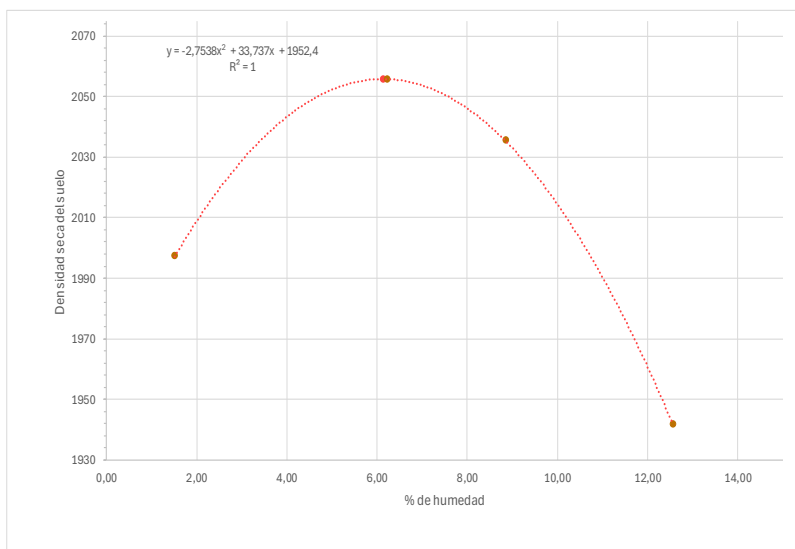
### RAP / GRANULAR

70 / 30

MASA DEL CILINDRO (P7)	6007
VOLUMEN DEL CILINDRO (V)	2094,63
MASA DEL MARTILLO (kg)	4,54
ALTURA DE CAIDA DEL MARTILLO (cm)	45,72
TIPO DE ENSAYO	Modificado
# DE CAPAS	5
# DE GOLPES POR CAPA	56

### DATOS DEL ENSAYO

PUNTO #	1		2		3		4	
	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
RECIPIENTE N°	X2	---	T2	---	L	---	G8	---
Masa de recipiente + muestra húmeda (P1)	110,69	---	101,85	---	111,85	---	135,84	---
Masa de recipiente + muestra seca (P2)	109,28	---	96,88	---	104,15	---	122,60	---
Masa de agua (P3 = P1 - P2)	1,41	---	4,97	---	7,70	---	13,24	---
Masa de recipiente (P4)	16,26	---	17,12	---	17,18	---	17,19	---
Masa de muestra seca (P5 = P2 - P4)	93,02	---	79,76	---	86,97	---	105,41	---
% de humedad (W = P3 x 100 / P5)	1,52	---	6,23	---	8,85	---	12,56	---
% de humedad promedio	1,52		6,23		8,85		12,56	
% de humedad añadida al suelo	TN		150		300		500	
Masa de cilindro + suelo húmedo (P6)	10254		10581		10648		10585	
Masa de suelo húmedo (P8 = P6 - P7)	4247		4574		4641		4578	
Densidad húmeda del suelo (Dh = P8 / V)	2028		2184		2216		2186	
Densidad seca del suelo Ds = Dh / (1 + W/100)	1997		2056		2035		1942	



RESULTADOS	
DENSIDAD SECA MAXIMA =	2056
% DE HUMEDAD OPTIMA =	6,13

## Anexo G. Pesos reales por cada proporción RAP/granular con su respectivo % de cemento

### Anexo G.1 Pesos reales de la mezcla 90 % RAP – 10 % granular



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMLET

**MUESTRA:** RAP/GRANULAR

RAP/GRANULAR					
90/10					
HUMEDAD ÓPTIMA			9,66%		
HUMEDAD NATURAL			0,97%		
DENSIDAD SECA MÁXIMA			2036		
PESO DE LA MEZCLA			23000		
90 % DE RAP			20700		
10% DE MATERIAL GRANULAR			2300		
CEMENTO					
3%	690	5%	1150	7%	1610

PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO	
W RAP	20097
W MATERIAL GRANULAR	2233
W CEMENTO	670
AGUA	1932

PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO	
W RAP	19714
W MATERIAL GRANULAR	2190
W CEMENTO	1095
AGUA	1932

PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO	
W RAP	19346
W MATERIAL GRANULAR	2150
W CEMENTO	1505
AGUA	1932

Anexo G.2 Pesos reales de la mezcla 80 % RAP – 20 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MHY MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP/GRANULAR

RAP/GRANULAR					
80/20					
HUMEDAD ÓPTIMA			9,70%		
HUMEDAD NATURAL			0,95%		
DENSIDAD SECA MÁXIMA			2008		
PESO DE LA MEZCLA			23000		
80 % DE RAP			18400		
20% DE MATERIAL GRANULAR			4600		
CEMENTO					
3%	690	5%	1150	7%	1610

PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO	
W RAP	17864
W MATERIAL GRANULAR	4466
W CEMENTO	670
AGUA	1940

PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO	
W RAP	17524
W MATERIAL GRANULAR	4381
W CEMENTO	1095
AGUA	1940

PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO	
W RAP	17196
W MATERIAL GRANULAR	4299
W CEMENTO	1505
AGUA	1940

Anexo G.3 Pesos reales de la mezcla 70 % RAP – 30 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET

**MUESTRA:** RAP/GRANULAR

RAP/GRANULAR					
70/30					
HUMEDAD ÓPTIMA			8,62%		
HUMEDAD NATURAL			0,98%		
DENSIDAD SECA MÁXIMA			2183		
PESO DE LA MEZCLA			23000		
70 % DE RAP			16100		
30% DE MATERIAL GRANULAR			6900		
CEMENTO					
3%	690	5%	1150	7%	1610
AGUA					
8,62%	2042	8,62%	2082	8,62%	2121

PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO	
W RAP	15631
W MATERIAL GRANULAR	6699
W CEMENTO	670
AGUA	1724

PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO	
W RAP	15333
W MATERIAL GRANULAR	6571
W CEMENTO	1095
AGUA	1724

PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO	
W RAP	15047
W MATERIAL GRANULAR	6449
W CEMENTO	1505
AGUA	1724

Anexo G.4 Pesos reales de la mezcla 40 % RAP – 60 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA

**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE

**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMLET

**MUESTRA:** RAP/GRANULAR

RAP/GRANULAR					
40/60					
HUMEDAD ÓPTIMA			6,13%		
HUMEDAD NATURAL			1,52%		
DENSIDAD SECA MÁXIMA			2056		
PESO DE LA MEZCLA			23000		
40 % DE RAP			9200		
60% DE MATERIAL GRANULAR			13800		
CEMENTO					
3%	690	5%	1150	7%	1610

PESOS REALES PARA 3 % DE CEMENTO	
W RAP	8932
W MATERIAL GRANULAR	13398
W CEMENTO	670
AGUA	1226

PESOS REALES PARA 5 % DE CEMENTO	
W RAP	8762
W MATERIAL GRANULAR	13143
W CEMENTO	1095
AGUA	1226

PESOS REALES PARA 7 % DE CEMENTO	
W RAP	8598
W MATERIAL GRANULAR	12897
W CEMENTO	1505
AGUA	1226

## Anexo H. Roturas de cilindros a los 7 días de curado

### Anexo H.1 Resultados de resistencias a la compresión a los 7 días de la mezcla 90 % RAP – 10 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR / CEMENTO

#### INFORME DE RESULTADOS: ROTURA DE CILINDROS SUELO - CEMENTO

#### RAP / GRANULAR

90 / 10

IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	N°	FECHA DE VACIADO	DIAMETRO CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	DENSIDAD	ROTURA					EFICIENCIA 7 DIAS	
			D1	D2	PROMEDIO					FECHA	EDAD (días)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	%	PROMEDIO
3% de Cemento	1	23/5/2025	15,15	15,07	15,11	30,18	179,32	10200	1884,79	30/5/2025	7	7,14	0,4	4,08	22,67	23,29
	2	23/5/2025	15,18	15,18	15,18	30,30	180,91	10932	1994,45	30/5/2025	7	7,54	0,42	4,30	23,91	
5% de Cemento	1	23/5/2025	15,22	15,23	15,23	30,56	182,06	11641	2092,41	30/5/2025	7	29,03	1,64	16,76	93,10	92,91
	2	23/5/2025	15,11	15,19	15,15	30,27	180,22	11155	2044,56	30/5/2025	7	28,91	1,636	16,69	92,71	
7% de Cemento	1	23/5/2025	15,10	15,21	15,16	30,21	180,39	11517	2113,36	30/5/2025	7	44,6	2,52	25,74	143,03	143,99
	2	23/5/2025	15,18	15,25	15,22	30,67	181,83	11600	2080,36	30/5/2025	7	45,2	2,558	26,09	144,95	

Anexo H.2 Resultados de resistencias a la compresión a los 7 días de la mezcla 80 % RAP –20 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR / CEMENTO

INFORME DE RESULTADOS: ROTURA DE CILINDROS SUELO - CEMENTO

RAP / GRANULAR

80 / 20

IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	N°	FECHA DE VACIADO	DIAMETRO CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	DENSIDAD	ROTURA					EFICIENCIA 7 DIAS	
			D1	D2	PROMEDIO					FECHA	EDAD (días)	CARGA (KN)	RESISTENCIA A (MPa)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	%	PROMEDIO
3% de Cemento	1	23/5/2025	15,26	15,20	15,23	30,13	182,18	11290	2056,86	30/5/2025	7	16,53	0,73	7,47	41,48	43,86
	2	23/5/2025	15,12	15,03	15,08	30,05	178,49	11944	2226,90	30/5/2025	7	19,73	0,816	8,32	46,24	
5% de Cemento	1	23/5/2025	15,19	15,18	15,19	30,08	181,10	11195	2055,07	30/5/2025	7	27,44	1,35	13,81	76,73	78,99
	2	23/5/2025	15,25	15,19	15,22	30,24	181,94	11195	2034,81	30/5/2025	7	25,31	1,434	14,63	81,26	
7% de Cemento	1	23/5/2025	15,17	15,19	15,18	30,05	180,98	11186	2056,82	30/5/2025	7	38,28	2,07	21,10	117,24	105,49
	2	23/5/2025	15,20	15,21	15,21	30,06	181,58	11196	2051,21	30/5/2025	7	34,56	1,654	16,87	93,73	

Anexo H.3 Resultados de resistencias a la compresión a los 7 días de la mezcla 70 % RAP – 30 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR / CEMENTO

**INFORME DE RESULTADOS: ROTURA DE CILINDROS SUELO - CEMENTO**

**RAP / GRANULAR**

70 / 30

IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	N°	FECHA DE VACIADO	DIAMETRO CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	DENSIDAD	ROTURA					EFICIENCIA 7 DIAS	
			D1	D2	PROMEDIO					FECHA	EDAD (días)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	%	PROMEDIO
3% de Cemento	1	23/5/2025	15,24	15,19	15,22	30,06	181,82	11118	2034,11	30/5/2025	7	16,48	0,93	9,51	52,81	49,73
	2	23/5/2025	15,23	15,27	15,25	30,06	182,65	10813	1969,31	30/5/2025	7	14,54	0,823	8,39	46,64	
5% de Cemento	1	23/5/2025	15,37	15,25	15,31	30,70	184,09	11744	2078,10	30/5/2025	7	27,88	1,58	16,10	89,42	77,04
	2	23/5/2025	15,03	14,98	15,01	30,55	176,83	10817	2002,12	30/5/2025	7	20,16	1,141	11,64	64,66	
7% de Cemento	1	23/5/2025	15,29	15,12	15,21	30,52	181,58	11767	2123,40	30/5/2025	7	39,86	2,26	23,01	127,84	106,11
	2	23/5/2025	15,25	15,21	15,23	30,27	182,18	11174	2026,31	30/5/2025	7	26,31	1,489	15,19	84,38	

Anexo H.4 Resultados de resistencias a la compresión a los 7 días de la mezcla 40 % RAP – 60 % granular



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**PROYECTO:** EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS RECICLADAS MEZCLADAS CON CEMENTO PORTLAND TIPO MH Y MATERIAL GRANULAR DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA  
**TUTOR:** ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE  
**TESISTAS:** PANCHANA ORRALA ARIANNY GEOMAYRA - SUÁREZ YAGUAL NALLELY JAMILET  
**MUESTRA:** CARPETAS ASFÁLTICAS / MATERIAL GRANULAR / CEMENTO

INFORME DE RESULTADOS: ROTURA DE CILINDROS SUELO - CEMENTO

RAP / GRANULAR

40 / 60

IDENTIFICACIÓN DEL CILINDRO	N°	FECHA DE VACIADO	DIAMETRO CILINDRO (cm)			ALTURA (cm)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	PESO (g)	DENSIDAD	ROTURA					EFICIENCIA 7 DIAS	
			D1	D2	PROMEDIO					FECHA	EDAD (días)	CARGA (KN)	RESISTENCIA A (MPa)	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	%	PROMEDIO
3% de Cemento	1	23/5/2025	15,01	15,13	15,07	30,47	178,37	10412	1915,78	30/5/2025	7	16,23	0,92	9,37	52,08	59,56
	2	23/5/2025	15,15	15,26	15,21	30,61	181,58	11308	2034,44	30/5/2025	7	20,91	1,183	12,07	67,04	
5% de Cemento	1	23/5/2025	15,08	15,18	15,13	30,50	179,79	10605	1933,94	30/5/2025	7	25,14	1,42	14,50	80,58	85,57
	2	23/5/2025	15,13	15,10	15,11	30,32	179,41	11169	2053,43	30/5/2025	7	28,24	1,60	16,30	90,55	
7% de Cemento	1	23/5/2025	15,10	15,08	15,09	30,21	178,84	10241	1895,50	30/5/2025	7	34,46	1,95	19,89	110,50	115,69
	2	23/5/2025	15,15	15,12	15,14	30,20	179,91	11064	2036,34	30/5/2025	7	37,69	2,13	21,76	120,87	





## Anexo J. Registro fotográfico

### Anexo J.1: Ensayos de laboratorio



Anexo J.2: Elaboración de probetas suelo-cemento



