



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**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

PRESENTADA POR

**ROBINSON BALBIN ARCHI
VICTOR HUGO CHOCHON GOMEZ**

ASESOR

ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**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

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

BALBIN ARCHI, ROBINSON

CHOCHON GOMEZ, VICTOR HUGO

LIMA, PERÚ

2019

DEDICATORIA

De corazón, a mis padres, Víctor Felipe y Francisca Idolina, por su amor y apoyo incondicionales. Ellos me han impartido sus enseñanzas y buenos valores; los que me ayudaron a crecer profesionalmente y a seguir luchando por todos mis sueños.

Chochón Gómez, Víctor Hugo

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su apoyo incondicional me han ayudado a alcanzar mis metas profesionales

Balbin Archi, Robinson

AGRADECIMIENTO

A los ingenieros Juan Manuel Oblitas Santa María y Ernesto Antonio Villar Gallardo, por sus conocimientos teórico-prácticos que fueron de gran ayuda para el desarrollo de la tesis.

A la ingeniera Erika Valladares Alarcón, por su tiempo y asesoramiento en el tema de pavimentos reciclados.

Al personal de servicio del laboratorio del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, por el acceso para realizar nuestros ensayos con el material reciclado y agregado fino y grueso.

A mi casa de estudios, la Universidad de San Martín de Porres, por su excelente plana de docentes, quienes imparten buenos conocimientos y nos apoyan constantemente a realizar nuestros proyectos con la finalidad de superarnos profesionalmente para ser más competitivos en el mundo laboral.

ÍNDICE

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 Diagrama causa–efecto (Kaoru Ishikawa)	3
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivo específico	5
1.4 Justificación e importancia	6
1.4.1 Impacto teórico	6
1.4.2 Impacto práctico	7
1.5 Alcance y limitaciones de la investigación.....	7
1.6 Viabilidad del estudio	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Antecedentes de la investigación	8
2.1.1 Nacionales	8
2.1.2 Internacionales	10
2.2 Bases teóricas.....	12
2.2.1 Pavimentos	12
2.2.2 Tipos de pavimentos.....	13

2.2.2.1 Pavimento flexible	13
2.2.2.2 Pavimento rígido	17
2.2.2.3 Pavimento mixto	20
2.2.3 Técnicas de construcción del pavimento	21
2.2.3.1 Pavimento de carpeta asfáltica en caliente	21
2.2.3.2 Pavimento de carpeta asfáltica en frío	26
2.2.4 Características del pavimento	27
2.2.4.1 Esfuerzos	27
2.2.4.2 Deformaciones	27
2.2.4.3 Deflexiones	28
2.2.5 Pavimento reciclado	29
2.2.5.1 Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en caliente	32
2.2.5.2 Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en frío	33
2.2.6 Cemento asfáltico	34
2.2.7 Agregado pétreo	35
2.2.8 Diseño de mezclas asfálticas en caliente usando el método Marshall	37
2.2.9 Ensayos de laboratorio	39
2.3 Definición de términos básicos	39
2.4 Formulación de la hipótesis	43
2.4.1 Hipótesis general:	43
2.4.2 Hipótesis específicas:	43
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	44
3.1 Tipo de investigación	44
3.2 Enfoque de la investigación	44
3.3 Nivel de la investigación	44
3.4 Diseño de la investigación	45
3.5 Variables	45
3.5.1 Operacionalización de variables	45
3.6 Población y muestra	46
3.6.1 Población	46
3.6.2 Muestra	46
3.7 Materiales y equipos	46

3.8 Técnicas recolección de datos	47
3.9 Procesamiento y análisis estadístico de datos	48
CAPÍTULO IV: DESARROLLO	49
4.1 Ubicación del proyecto de investigación	49
4.2 Caso de investigación	51
4.3 Ejecución e interpretación de los ensayos en laboratorio.....	52
4.3.1 Mezcla asfáltica reciclada	52
4.3.1.1 Porcentaje de asfalto.....	52
4.3.1.2 Análisis granulométrico del material reciclado	54
4.3.2 Agregado pétreo de adición.....	57
4.3.2.1 Calidad del agregado grueso	57
4.3.2.2 Calidad del agregado fino	74
4.3.3 Diseño de mezcla del pavimento reciclado.....	93
4.3.3.1 Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE)	
.....	93
4.3.3.2 Diseño de mezcla asfáltica en caliente	96
CAPÍTULO V: RESULTADOS	105
5.1 Interpretación de los resultados en laboratorio.....	105
5.1.1 Mezcla asfáltica reciclada	105
5.1.1.1 Porcentaje de asfalto.....	105
5.1.1.2 Análisis granulométrico del material reciclado	105
5.1.2 Calidad del agregado grueso.....	107
5.1.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso	107
5.1.2.2 Resumen de los ensayos de calidad del agregado grueso .	109
5.1.3 Calidad del agregado fino	110
5.1.3.1 Análisis granulométrico del agregado fino.....	110
5.1.3.2 Resumen de los ensayos de calidad del agregado fino	111
5.1.4 Diseño de mezcla asfáltica en caliente	112
5.1.4.1 Porcentajes para el diseño de la nueva mezcla	112
5.1.4.2 Granulometría para la mezcla mejorada	112
5.1.4.3 Ensayo Marshall de la mezcla mejorada.....	113
5.1.4.4 Comportamiento de la mezcla mejorada.....	114
5.1.5 Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional	114

5.1.5.1 Porcentajes en el diseño de la mezcla convencional	114
5.1.5.2 Granulometría para la mezcla convencional	115
5.1.5.3 Ensayo Marshall de la mezcla convencional.....	116
5.1.5.4 Comportamiento de la mezcla convencional.....	116
5.1.6 Análisis comparativo de las resistencias bituminosas del pavimento reciclado y convencional	117
5.1.7 Análisis económico de precios unitarios para el pavimento reciclado y convencional.....	118
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN.....	120
6.1 Contrastación con hipótesis	120
6.1.1 Hipótesis específica 1	120
6.1.2 Hipótesis específica 2.....	120
6.1.3 Hipótesis específica 3.....	121
6.2 Contrastación con Antecedentes.....	121
6.2.1 Antecedentes nacionales.....	121
6.2.2 Antecedentes Internacionales.....	122
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES.....	124
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	125
ANEXOS.....	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Requisitos para mezcla de carpeta asfáltica en caliente	25
Tabla 2 Tolerancias para mezclas de carpeta asfáltica en caliente	25
Tabla 3 Requisitos para los agregados gruesos	36
Tabla 4 Requisitos para los agregados finos	36
Tabla 5 Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)	37
Tabla 6 Operacionalización de variables	45
Tabla 7 Determinación de la resistencia a la gradación de la piedra huso 67	64
Tabla 8 Peso de material para mezclas asfálticas	96
Tabla 9 Análisis de briqueta al 3.0% de cemento asfáltico	100
Tabla 10 Análisis de briqueta al 3.5% de cemento asfáltico	101
Tabla 11 Análisis de briqueta al 4.0% de cemento asfáltico	102
Tabla 12 Análisis de briqueta al 4.5% de cemento asfáltico	103
Tabla 13 Análisis de briqueta al 5.0% de cemento asfáltico	104
Tabla 14 Análisis granulométrico del material reciclado	106
Tabla 15. Análisis granulométrico del agregado grueso piedra huso 67	107
Tabla 16 Análisis granulométrico del agregado grueso confitillo	108
Tabla 17 Resumen de requerimientos para los agregados gruesos	109
Tabla 18 Análisis granulométrico de la arena para pavimento	110
Tabla 19 Resumen de requerimientos para los agregados finos	111
Tabla 20 Porcentaje de la mezcla corregida	112
Tabla 21 Análisis granulométrico de la mezcla corregida	112
Tabla 22 Características Marshall de la mezcla corregida	114
Tabla 23 Porcentaje de la mezcla convencional	114
Tabla 24 Análisis granulométrico de la mezcla convencional	115

Tabla 25 Característica Marshall de la mezcla convencional	116
Tabla 26 Características Marshall para pavimento reciclado y convencional.....	117
Tabla 27 Análisis de precios unitarios para el pavimento convencional	118
Tabla 28 Análisis de precios unitarios para el pavimento reciclado	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado de arte de los pavimentos en el Perú	2
Figura 2. Regla de las 3R	3
Figura 3. Diagrama causa–efecto del comportamiento mecánico inadecuado de pavimento flexible en la carretera Canta a Huayllay del distrito y provincia de Canta	4
Figura 4. Comportamiento del pavimento flexible	13
Figura 5. Vista transversal de un pavimento flexible	14
Figura 6. Comportamiento del pavimento rígido	18
Figura 7. Corte Transversal de un Pavimento Rígido	18
Figura 8. Tecnología y ventajas medioambientales para la producción de mezclas asfálticas.....	22
Figura 9. Extracción de carpeta asfáltica	31
Figura 10. Fresado de la carpeta asfáltica.....	31
Figura 11. Proceso de Reciclado	33
Figura 12. Curvas Marshall.....	38
Figura 13. Mapa físico político del departamento de Lima.....	49
Figura 14. Mapa de la provincia y distrito de Canta	50
Figura 15. Carretera de Canta a Huayllay	50
Figura 16. Tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay	51
Figura 17. Proceso de extracción de los materiales (reciclado).....	52
Figura 18. Máquina de centrifugado para fino (reciclado).....	53
Figura 19. Granulometría (reciclado)	55
Figura 20. Zarandeo del material en los tamices	58
Figura 21. Tamiz de la malla N.º 100.....	58
Figura 22. Zarandeo de los tamices.....	61

Figura 23. Determinando el porcentaje de gradación del agregado	63
Figura 24. Saturación en agua por 16 horas.....	64
Figura 25. Material retirado superficialmente	65
Figura 26. Máquina de peso específico	65
Figura 27. Tamaño por su largo.....	67
Figura 28. Separación del agregado grueso de acuerdo a los tamices	67
Figura 29. Tamaños de agregado grueso	69
Figura 30. Agregado grueso de una a dos caras de fractura	69
Figura 31. Combinación de materiales	72
Figura 32. Mezcla de agua con la grava	72
Figura 33. Extracción del agua con las sales.....	73
Figura 34. Sales precipitados.....	73
Figura 35. Sales impregnado en el vaso de ensayo	74
Figura 36. Recolección de datos en el tamizado para agregado fino	75
Figura 37. Sulfato de magnesio	78
Figura 38. Mezcla de sulfato de magnesio con la arena de pavimento	78
Figura 39. Peso final para arena de pavimento	79
Figura 40. Extracción de arena de pavimento para cuartear	81
Figura 41. Máquina agitadora	82
Figura 42. Liquido Stock y frascos de ensayos con material fino y solución.....	82
Figura 43. Peso de arena fina en fiola	85
Figura 44. Extracción del aire con la bomba de vacío	85
Figura 45. Máquina Cuchara Casagrande	86
Figura 46. Comprobando la ranura a un 1 cm	87
Figura 47. Límite plástico	87
Figura 48. Agregado fino Tamiz N.º 200.....	89
Figura 49. Peso de agregado fino que pasa la malla N.º4.....	89
Figura 50. Horno a 110°C, sacando el ligante bituminoso	90
Figura 51. Mezcla de ligante bituminoso con el agregado fino	91
Figura 52. Ebullición de ligante bituminoso con agua destilada.....	91
Figura 53. Primer y último desprendimiento de la mezcla	92
Figura 54. Reporte de la aureola pronunciada según el azul de metileno	93

Figura 55. Porcentajes de cementos asfálticos.....	94
Figura 56. Proceso de elaboración de briquetas	97
Figura 57. Compactación de briquetas	98
Figura 58. Briquetas en distintos porcentajes	98
Figura 59. Briquetas.....	99
Figura 60. Baño maría	99
Figura 61. Aparato Marshall.....	99
Figura 62. Curva granulométrica del material reciclado	105
Figura 63. Curva granulométrica del agregado grueso Huso 67.....	108
Figura 64. Curva granulométrica del agregado grueso confitillo.....	109
Figura 65. Curva granulométrica del agregado fino Arena de pavimento	111
Figura 66. Curva granulométrica de la mezcla corregida.....	113
Figura 67. Gráficas de resistencia bituminosa corregida	113
Figura 68. Curva granulométrica de la mezcla convencional.....	115
Figura 69. Gráficas de resistencia bituminosa convencional	116
Figura 70. Visita a la municipalidad provincial de Canta.....	131
Figura 71. Inspección de la carretera Canta a Huayllay	131
Figura 72. Visita al lugar de extracción de agregados	132
Figura 73. Extracción de agregados	132
Figura 74. Agregados en el lugar de ensayo	133
Figura 75. Laboratorio del MTC	133

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia	130
Anexo 2 Panel fotográfico	131
Anexo 3 Encuestas	134
Anexo 4 Resultados de ensayos de laboratorio	164
Anexo 5 Hoja técnica de cemento asfáltico	193
Anexo 6 Hoja técnica de mejorador de adherencia	194

RESUMEN

El empleo de pavimentos deteriorados reciclados resulta una opción económica interesante para generar nuevos pavimentos; sin embargo, más allá del ahorro económico, habría que determinarse si mecánicamente tiene un comportamiento adecuado a las normas vigentes. La presente investigación consiste en diseñar una mezcla asfáltica con material reciclado a fin de mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay, ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019. La metodología que se realizó es en función a la investigación cuantitativa, ya que se realizará un estudio y análisis base, en la medición de sus propiedades. También es descriptiva debido a que observa parámetros negativos y positivos que el reciclado ejerce en el comportamiento mecánico. Se evaluó la parte comportamiento mecánico del material reciclado siguiendo los ensayos según las especificaciones técnicas del *Manual de Carreteras del Ministerio de Transporte y Comunicaciones EG-2013*. De acuerdo a los resultados alcanzados, se obtuvieron el porcentaje de vacíos, estabilidad, flujo o deformación, factores determinan la reutilización del pavimento. En conclusión, se diseñó un nuevo pavimento que cumpla con los parámetros establecidos para el pavimento convencional. Se le añadió más agregados a este material reciclado con el fin de mejorar en su comportamiento mecánico; lo que implicó una mejora en la rigidez de su deformación y estabilidad.

Palabras claves: material reciclado, comportamiento mecánico, manual de carreteras EG - 2013.

ABSTRACT

The use of recycled damaged pavements is an interesting economic option to generate new pavements; However, beyond the economic saving, it would be necessary to determine if mechanically it has a behavior adapted to the current norms. The present investigation consists in designing an asphalt mix with recycled material in order to improve the mechanical behavior of the pavement for the km 90 + 000 to km 95 + 000 section of the Canta a Huayllay road, located in the district and province of Canta in the department of Lima 2019. The methodology that was performed is based on quantitative research, since a study and base analysis will be carried out, in the measurement of its properties. It is also descriptive because it observes negative and positive parameters that recycling exerts on mechanical behavior. The mechanical behavior part of the recycled material was evaluated following the tests according to the technical specifications of the Road Manual of the Ministry of Transportation and Communications EG – 2013. According to the results achieved, the percentage of voids, stability, flow or deformation were obtained, factors determine the reuse of the pavement. In conclusion, a new pavement was designed that meets the parameters established for conventional pavement. More aggregates were added to this recycled material in order to improve its mechanical behavior; which implied an improvement in the rigidity of its deformation and stability.

Keywords: recycled material, mechanical behavior, road manual EG - 2013.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación pretende obtener un pavimento mecánicamente mejorado en relación al pavimento flexible convencional. Este objetivo presenta tres objetivos específicos. Primero, determinar la cantidad del porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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. Segundo, determinar la cantidad de agregado grueso de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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. Y tercero, determinar la cantidad de agregado fino de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.

La importancia de reutilizar el pavimento reciclado forma parte del desarrollo sostenible; práctica poco usual y necesaria para potenciar la industria del asfaltado. Entre los múltiples beneficios que trae esta práctica novedosa, tenemos el de tipo económico: una reducción de costos en la pavimentación de carreteras.

La pavimentación con material reciclado es posible gracias a un conjunto de pasos del reciclado: ensayar el lavado, desarrollar la granulometría y determinar la calidad del material reciclado para su posterior reutilización. Posteriormente, en conjunto se analiza la calidad de los

agregados como la piedra chancada (piedra Huso 67, confitillo) y la arena para asfalto; se observa su peso específico y absorción, adhesividad de ligantes bituminosos y sales solubles para agregados. Luego se procede al uso del PEN 60/70, el que está en las especificaciones técnicas para construcción EG-2013 para pavimentos reciclados. Este es un cemento asfáltico, cuya finalidad es actuar como ligante en la mezcla asfáltica.

Finalmente se realiza el diseño con el material reciclado, el que será sometido a diferentes tipos de ensayos como el de Marshall: estabilidad, flujos y porcentajes de vacíos, cuyos parámetros se adjudican con cinco Rice de acuerdo a las especificaciones mencionadas. Este estudio se ha dividido en seis capítulos fundamentales, las que se resumen e indican a continuación.

El primer capítulo muestra la descripción de la realidad problemática, el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación e importancia, el alcance y limitaciones, y la viabilidad del estudio.

El segundo capítulo desarrolla el marco teórico, así como un listado de los antecedentes más importantes relacionados al tema de estudio. Finalmente, considerando y conjugando, tanto el capítulo uno como el marco teórico se presenta la hipótesis, que resulta ser una respuesta anticipada, pero basada en el estudio del marco teórico y los antecedentes.

El tercer capítulo aborda sobre la metodología de investigación, las variables, las técnicas e instrumentos y el procesamiento de datos.

El capítulo cuarto trata acerca del desarrollo de la investigación; en el que se describe y detalla cómo se llevó a cabo el proceso, mediante métodos y técnicas empleadas en el estudio.

El quinto capítulo muestra los resultados verificados en el ensayo, con su respectivo explicación y análisis.

Y el sexto capítulo detalla la discusión de la investigación, donde se analiza e interpreta los resultados dentro de las bases teóricas ya establecidas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

Los pavimentos son estructuras especiales, conformados por una carpeta asfáltica, una base y una subbase. Y, aunque en principio pueda pensarse que su comportamiento es trivial, ya que todo el sistema se encuentra apoyado sobre el suelo de fundación, en general, su comportamiento es bastante complejo; debido a que la mayor parte de esta estructura se encuentra expuesta a numerosas acciones de difícil consideración práctica; tales como la radiación solar, la lluvia, las variaciones de la temperatura, las cargas de naturaleza variada, los ríos, entre otras. Todas estas acciones, colocadas en un orden u otro, provocan la reducción de la capacidad mecánica del asfalto; lo que ocasionará la destrucción de la carpeta asfáltica y, por ende, de la estructura del pavimento. Este mismo problema lo manifiesta el tramo del km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay. Esta se encuentra seriamente dañada por la acción del flujo de lodos, ocurrido durante diversos eventos: el fenómeno del niño en el año 2017, la crecida del río Chillón, y los deslizamientos.

El cambio de la carpeta asfáltica, en general, requiere de un proceso adicional al requerido en el caso de los pavimentos nuevos (remoción y transporte del pavimento); esto incrementa de manera notable los costos asociados a la construcción de pavimentos, además del impacto de la generación de residuos sólidos contra el medio ambiente, lo que resulta ser una problemática adicional que se ha venido acrecentado en el último lustro a causa del crecimiento del sector construcción.

Es posible ahondar más en la actualidad según la siguiente figura del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Esta expresa el total de las obras viales como carreteras, caminos vecinales y aperturas de trochas; las mismas que, en el mantenimiento y el desarrollo de la infraestructura, se encuentran en un mal estado: alto déficit de vías no pavimentadas. Por ende, se debe tomar medidas o alternativas diferentes que resulten eficientes, rentables, confiables y ecológicamente sostenibles.

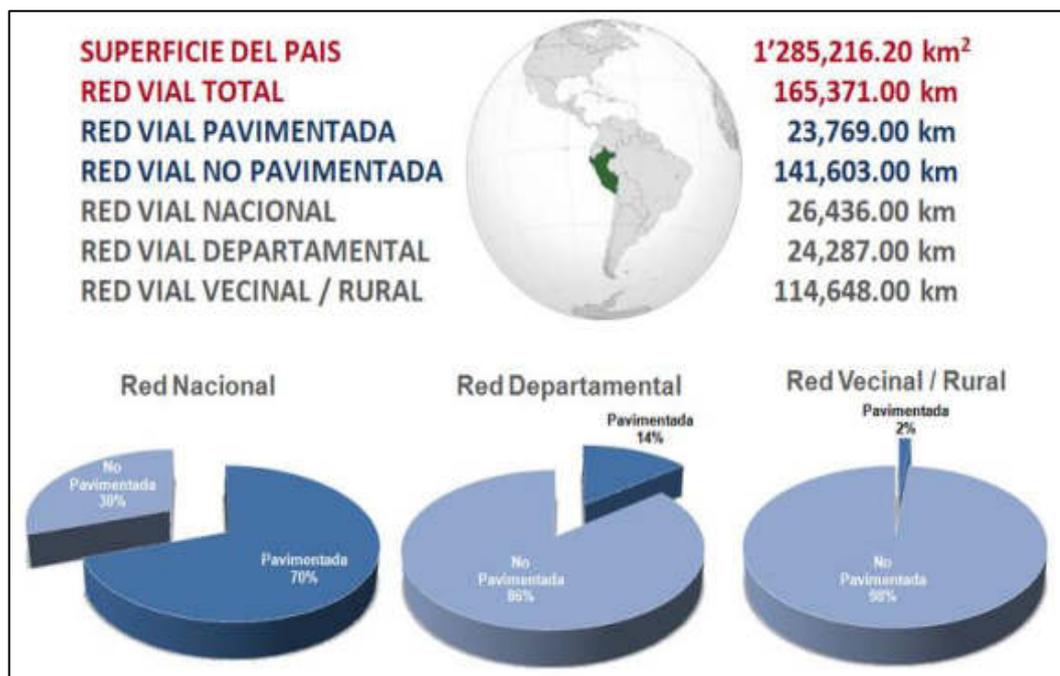


Figura 1. Estado de arte de los pavimentos en el Perú

Fuente: MTC, 2018, p. 1

Ante esta problemática, la presente investigación buscó obtener y generar carpetas asfálticas recicladas, las mismas que fueron capaces de incorporar dentro de su preparación el pavimento de desecho. Además, esto permitirá minimizar los costos de fabricación y su impacto en el medio ambiente. Esta labora se podría resumir con la idea esencial: se debe reciclar el pavimento existente y deteriorado en ciertos tramos para usarlo como un componente en la fabricación de nuevo pavimento. Asimismo, en investigaciones previas, el pavimento reciclado ha sido empleado como un aditivo, donde el pavimento resultante es de una calidad comparable a las características de un pavimento convencional.

Con respecto al enfoque ambiental, el pavimento reciclado cumple, en cierta medida, con las reglas de las 3R: reducir, reutilizar y reciclar. Ayuda a ser un consumidor más responsable al permitir el ahorro de dinero y la reducción de carbono. En países como el Perú, resulta una práctica muy poco fomentada, ya sea por desconocimiento o por falta de una cultura que incorpore la costumbre de reciclar para renovar lo utilizado. La idea de la tesis es incentivar la práctica del reciclaje en la producción de un pavimento que ayudará a mejorar la vida cotidiana.



Figura 2. Regla de las 3R

Fuente: Elaboración propia (2019)

En este trabajo se busca la aplicación del pavimento reciclado a manera de árido se incorpore dentro de la mezcla asfáltica, por lo que se propone la fabricación de especímenes con las características deseadas y su posterior ensayo, para verificar de esta manera la idoneidad de la técnica.

1.1.1 Diagrama causa–efecto (Kaoru Ishikawa)

Para determinar la causa de este problema se empleó el diagrama de Ishikawa, dado que es un instrumento efectivo para graficar la relación entre un efecto y sus potenciales causas (Gutiérrez & Vara, 2017, p. 147). Así, el siguiente diagrama representa la relación entre comportamiento mecánico inadecuado de pavimento flexible en la carretera Canta a Huayllay y sus potenciales causas.

Establecido de la siguiente forma el diagrama de causa – efecto.



Figura 3. Diagrama causa–efecto del comportamiento mecánico inadecuado de pavimento flexible en la carretera Canta a Huayllay del distrito y provincia de Canta

Fuente: Elaboración propia (2019)

De acuerdo a lo que se ha planteado, con respecto al efecto, se puede afirmar que una de las causas principales es el empleo de materiales inadecuados (grueso y finos) con el que se fabrica el pavimento.

1.2 Formulación del problema

La presente investigación está enfocada en responder cinco problemas acerca de la mejora del pavimento asfáltico convencional: una pregunta general y cuatro específicas, las que se listan a continuación.

1.2.1 Problema general

- ¿Cómo influye el diseño de mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo influye el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?

- ¿Cómo influye la cantidad de agregado grueso de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?
- ¿Cómo influye la cantidad de agregado fino de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?

1.3 Objetivos

De acuerdo a los problemas de este estudio, esta investigación plantea cinco objetivos que buscan responderlas: uno general y cuatro específicos, las que se listan a continuación.

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar una mezcla asfáltica con material reciclado a fin de mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.

1.3.2 Objetivo específico

- Determinar la cantidad del porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.
- Determinar la cantidad de agregado grueso de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.

- Determinar la cantidad de agregado fino de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.

1.4 Justificación e importancia

El uso del pavimento reciclado para la generación de mezclas asfálticas nuevas es una opción que debe ser estimada desde el punto de vista del comportamiento mecánico, y así poder determinar si es viable o no su uso como carpeta asfáltica en la generación de nuevos pavimentos flexibles.

Los resultados generados, a partir de este trabajo de investigación, permiten saber si su comportamiento mecánico es comparable al pavimento convencional, o si incluso llega a ser superior. En cualquier caso, los resultados podrán permitir la generación de pavimentos más ecológicos y más económicos.

1.4.1 Impacto teórico

Esta investigación plantea una solución teórica consistente: la reutilización del material reciclado para la reelaboración del pavimento dañado. Este aporte va de la mano con el *Manual de Carreteras EG – 2013*, ya que tiene un contenido muy amplio en pavimentos, empezando con el análisis de los agregados (fino y grueso), mezcla asfáltica reciclado, diseño de pavimentos.

La justificación teórica tiene asidero en la realidad, ya que, según los casos que observamos dentro de nuestros antecedentes nacionales y extranjeras, son aplicados para reutilizar los pavimentos, ya sea en mal estado o que se encuentre con posibles fallas (superficiales).

1.4.2 Impacto práctico

La carretera de Canta a Huayllay conecta y da acceso a la población al comercio entre la costa y la sierra. Esto permite que los habitantes, aparte de beneficiarse de la agricultura y la ganadería locales, puedan emprender otras actividades en otros lugares.

Mejorar el asfaltado de esta carretera puede ayudar a resolver varios problemas: demora en el tránsito de vehículos, tiempo de vida útil de las maquinarias o vehículos que se trasladan por la carretera, el comercio constante.

La propuesta que se plantea en este estudio sirve para incentivar a los demás investigadores para que practiquen el uso del reciclado en la conservación de una carretera o vía de transporte.

1.5 Alcance y limitaciones de la investigación

El presente estudio busca determinar el comportamiento mecánico del pavimento a partir de pavimento reciclado. Las muestras de la mezcla asfáltica con material reciclado se obtuvieron del tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta. Los resultados dados nos darán información de la resistencia mecánica, del pavimento obtenido.

1.6 Viabilidad del estudio

El pavimento reciclado se obtuvo del tramo del km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay. Posteriormente, se le sometió a un proceso de conversión a agregado para la fabricación del pavimento nuevo. Este procedimiento pudo costearse para el estudio; lo cual hizo viable su desarrollo. Además, se requirió del empleo de una sucesión de ensayos de laboratorio, los mismos que fueron desarrollados e incorporados en el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En la actualidad, existen muchas investigaciones nacionales e internacionales relacionadas con el pavimento flexible reciclado y su influencia en la conservación de carreteras, por consiguiente, se señalan los resultados y las conclusiones a las que arribaron diversos autores.

2.1.1 Nacionales

En su trabajo de investigación, López (2018) estudió las propiedades físicas (plasticidad y estabilidad) del pavimento flexible y reciclado. Observó en cuánto influye dicho material; asimismo, empleó emulsiones asfálticas para la conservación vial, donde tuvo un diseño preexperimental in situ en frío y llevó a cabo un estudio para cuantificar y clasificar el tráfico vehicular, de modo que se pudiese identificar el nivel de gravedad de los pavimentos.

El autor concluyó que reciclar el pavimento contribuye significativamente a la conservación vial, puesto que los resultados adquiridos son axiomáticos a la utilización del reciclado, lo que, por un lado, genera ganancias y buen servicio y, por otro lado, disminuye la contaminación del medio ambiente.

En el trabajo de Rengifo y Vargas (2017), se estudiaron las características físicas mecánicas de los pavimentos, las cuales se obtuvieron mediante el reciclado de pavimentos flexibles deteriorados, y las propiedades mecánicas de los pavimentos convencionales para compararlas.

Los autores concluyeron que las características mecánicas de los pavimentos diseñados, considerando el pavimento reciclado, fueron tan buenas como el pavimento convencional; además, señalan que es posible el uso del pavimento reciclado bajo las condiciones de trabajo considerada (desgastes, erosión, etc.) lo que permitiría obtener un ahorro significativo en agregado pétreo del 40 %.

A través de su estudio, Chuman (2017) analizó el estado comparativo de un pavimento envejecido con un pavimento convencional a partir de las características mecánicas de cada pavimento y de la observación de la extracción de cemento asfáltico; asimismo, comparó en porcentajes de 15 %, 20 % y 25 % de pavimento envejecido para el diseño Marshall de la nueva mezcla reciclada.

El autor arribó a la conclusión de que la utilización de material reciclado en un pavimento flexible nuevo, en una planta procesadora de asfalto en caliente, es viable debido a que, por un lado, se reducen los costos y la contaminación ambiental y, por otro lado, el diseño de la nueva mezcla se incrementa en porcentaje de cemento asfáltico, estabilidad y flujo.

En la investigación de Abad (2016), se llevó a cabo un análisis comparativo de las ventajas que conlleva la aplicación del asfalto espumado y las técnicas de conservación vial tradicionales, lo que genera un proceso de desarrollo sostenible y una producción más eficiente.

El autor concluyó que la aplicación de asfalto espumado tiene características comparables a las técnicas de conservación convencionales, puesto que se obtienen resultados favorables económicos, energéticos, insumo de materiales y equipos, por lo que su práctica es recomendada.

La tesis de Yangali (2015) tuvo como propósito determinar las propiedades físico-mecánicas del pavimento, específicamente de la base, de acuerdo al EG-2013, en conservación de la capa de rodadura en el proceso de reciclado en frío con el método mecanístico - empírico de pavimentos.

El autor concluye que la comparación del método reciclado con lo convencional es similar en el comportamiento estructural y observando en el tiempo de vida hasta que se produzca la falla es relativamente bueno dando un gran aporte estructural a la nueva base.

2.1.2 Internacionales

El estudio de Vega (2016) buscó determinar la viabilidad del uso de reciclado de neumáticos reciclados como constituyentes de pavimentos asfálticos. Los resultados mostraron que el uso del caucho reciclado puede ayudar a generar mezclas asfálticas con mayor nivel de ligante al 7%, mayor flujo al 7% y mayor porcentaje de vacíos, lo que las haría más durables frente a un pavimento convencional.

El autor concluyó que la introducción del polvo de caucho de llantas recicladas en las mezclas asfálticas reduce significativamente la contaminación ambiental que estas originan debido a su largo plazo de degradación o a sus distintos métodos de desecho y eliminación. El fabricar pavimentos ecológicos relaciona beneficio-costos y el reutilizar las llantas usadas contribuye significativamente al cuidado medioambiental.

El artículo de investigación de Méndez (2015) tuvo como objetivo analizar las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas asfálticas recicladas observando cuánto influyen en una mezcla convencional. Para ello, se tuvo en cuenta los parámetros del ensayo Marshall.

Sobre la base de su análisis, el autor concluyó lo siguiente: el uso del RAP es favorable, ya que se puede utilizar hasta un 40 %, por lo que es un factor importante en el uso de materias primas y en los costos hasta un 50 % por 40 % de RAP recuperado. De igual modo, en la parte estructural, los valores son altos hacia el pavimento tradicional.

Mediante su trabajo de investigación, Cancinos (2013) propuso la rehabilitación del pavimento deteriorado con el método del asfalto espumado en un reciclado en frío; para ello, toma como muestra diferentes partes de la capa de rodadura en una carretera. Además, hace mención de agentes

estabilizadores para aumentar las propiedades estructurales para el buen óptimo del diseño de la mezcla en sus agregados.

Cancinos arribó a la conclusión de que el uso de este método es beneficioso y viable, ya que se aprovecha el material de las carreteras que están en mal estado y se evita el uso de las canteras de agregados para aminorar la contaminación ambiental. Además, se logró obtener máximas resistencias con el agregado reciclado para una obra de calidad y durabilidad.

A través de su tesis, Robles (2009) desarrolla los lineamientos básicos para la implementación de la técnica del reciclado de pavimentos en el diseño y construcción de nuevos pavimentos, de modo que se obtenga pavimentos ecológicos y económicos.

El autor concluyó lo siguiente: el reciclado en frío in situ es una alternativa renovadora teniendo su aprovechamiento ecológico y económico, disminuyendo los costos y originando más beneficios a la población, siendo su principal gestor la máquina pavimentadora puesto que cumple con fresar y usar distintos tamaños en espesores para mezclar el ligante.

En la tesis de Sánchez (2009), se busca mostrar las ventajas del reciclado de pavimentos en caliente en la fabricación de pavimentos flexibles. Para ello, se propuso la tecnología del reciclado in situ para las nuevas mezclas.

Sánchez concluyó que el reciclado caliente in situ aporta beneficios ingenieriles, ambientales y económicos. Su ventaja es que mejora la seguridad vial y le brinda mayor resistencia; en las propiedades mecánicas, presenta una estabilidad alta y un flujo alto con respecto al pavimento común.

En el boletín de investigación de Botasso, Cuattrocchio, Rebollo y Soengas, (s. f.), se propuso la aplicación de pavimentos reciclados en frío como un insumo para la fabricación de nuevos pavimentos flexibles. Las cantidades de agregados reemplazadas por pavimento asfáltico varían desde 20 % hasta el 40 % en peso.

Los autores concluyeron que, para reutilizar el material, se debe llevar a cabo un estudio muy minucioso en el laboratorio con relación a su forma y colocación, de modo que se obtenga una reducción en costo de material y transporte en el nuevo pavimento.

2.2 Bases teóricas

Proponemos los siguientes aspectos en el análisis de los ensayos que relacionan los conceptos del trabajo.

2.2.1 Pavimentos

Rondón y Reyes (2015) indican que el pavimento es una construcción vial conformado por diversos elementos. Este puede definirse como la construcción que se desarrolla sobre la superficie del subrasante (superficie de los caminos sobre las cuales se construirán los pavimentos), la cual está constituida por dos partes esenciales: la primera la conforman dos o más capas de materiales granulares que han sido compactados; la segunda parte la constituye la carpeta asfáltica (también llamada superficie de rodadura), la cual tiene una doble finalidad: por una parte, distribuir las cargas que se producen sobre el pavimento por acción del tránsito de vehículos; por otra parte, soportar los efectos de diversos factores degradantes, como los efectos meteorológicos que merman la vida útil del pavimento.

Como se mencionó en el párrafo anterior, el pavimento está conformado por dos elementos básicos:

- Las capas de material granular, que pueden estar conformadas por piedra chancada de diversas dimensiones, las cuales se ubican mediante compactación en un número de capas determinadas por la naturaleza del requerimiento del pavimento.
- La carpeta asfáltica o superficie de rodadura, que es la superficie más visible del pavimento sobre el cual circula el tránsito de vehículos.

También, el pavimento presenta una tipología especial que está en función de la naturaleza de la carpeta asfáltica. Estas variantes de los pavimentos exhiben características y comportamientos mecánicos

diferenciados, que emergen o dependen de la forma en la que se constituya la carpeta asfáltica o superficie de rodadura.

Los tipos de pavimentos que existen son los siguientes:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento mixto

2.2.2 Tipos de pavimentos

Existen tres tipos de pavimentos, los cuales se mencionarán en cada uno de los siguientes puntos para su respectiva inferencia y análisis.

2.2.2.1 Pavimento flexible

Rondón y Reyes (2015) mencionan que el pavimento flexible es aquel cuya carpeta asfáltica está dirigida a soportar un tránsito estándar de vehículos y los efectos del clima, como pueden ser las lluvias, las granizadas y la radiación ultravioleta, así como el efecto de la dilatación causada por la incidencia del calor.

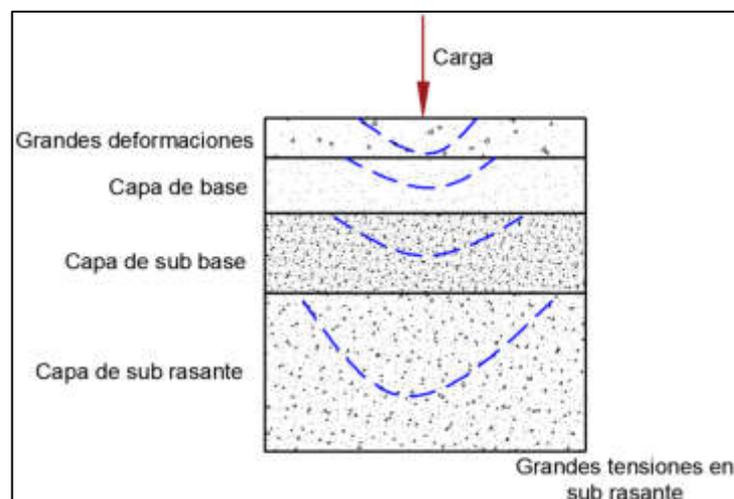


Figura 4. Comportamiento del pavimento flexible

Fuente: Miranda, 2010, p. 1

En el pavimento flexible, la carpeta asfáltica se caracteriza principalmente por dos situaciones: la primera refiere al hecho de estar constituida por materiales bituminosos, los cuales presentan un espesor que

se encuentra en un intervalo de entre 5 a 10 centímetros; la segunda, al hecho de estar diseñados para que las cargas que se producen por el tránsito de vehículos sean distribuidas hacia los materiales granulares, de modo que las cargas lleguen a la subrasante o superficie del terreno que ha sido asfaltado.

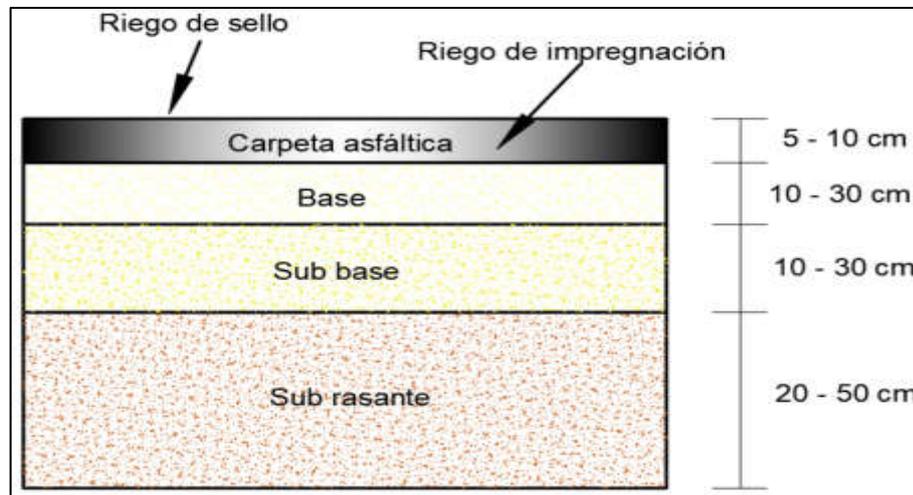


Figura 5. Vista transversal de un pavimento flexible

Fuente: Barajas, 2017, p. 14

En la figura 5, se muestra una sección transversal del pavimento flexible. Esta figura permite observar el perfil de esta construcción vial y, con ello, los elementos que componen el pavimento flexible, la carpeta asfáltica, los estratos de material granular y la subrasante.

De igual forma, la figura 5 exhibe el intervalo en el cual pueden oscilar las dimensiones de las capas que conforman el pavimento flexible. En el caso de la carpeta asfáltica, se observa que esta debe encontrarse en un rango de entre 5 a 10 centímetros de grosor o entre un rango de 2 a 4 pulgadas de espesor. En el caso de las capas granulares (en el gráfico, se diferencia entre las capas base y subbase, aunque se debe aclarar que ambas capas están conformadas por materiales granulares que se diferencian por los límites de las partículas que las constituyen), el espesor de las mismas está en un rango de 10 a 30 centímetros tanto para la base como para la subbase. Finalmente, en el caso de la subrasante, que, a pesar de ser la superficie del suelo natural a ser asfaltada, se recomienda que esta sea preparada y compactada. En el grafico 5, se muestra que dicha preparación de la subrasante debe estar en un rango de 20 a 50 centímetros de espesor.

Los componentes del pavimento flexible son los siguientes:

a) La subrasante

Rodríguez y Rodríguez (2004) sostienen que es la superficie llana del terreno sobre el cual descansará el pavimento a construir. Está conformada básicamente por los materiales propios del terreno, el cual es resultado de los movimientos de tierras de corte o de relleno.

La subrasante tiene como principal función la de actuar como las cimentaciones de los pavimentos flexibles. Una vez construido el pavimento, este tiene dos principales tareas: la primera es la de dar sustentación al pavimento; la segunda tarea consiste en soportar las cargas que el tránsito de vehículos ocasiona y que el pavimento se encarga de transmitir a la subrasante.

La subrasante es la primera capa del pavimento y representa un elemento de gran importancia. Esto se debe a que las características mecánicas de los pavimentos están en función de la calidad de la subrasante; es decir, mientras la calidad de la capa y el grosor de la subrasante sean mejores, no se requerirá que el pavimento alcance los mayores valores en los grosores de sus otros componentes, lo cual disminuye en forma considerable los costos de construcción del pavimento.

b) La subbase

Rodríguez y Rodríguez (2004) indican que la subbase es la primera capa, después de la subrasante, que, en esencia, es la superficie tratada del suelo o la tierra en la que se proyecta la construcción del pavimento, que conforma el pavimento propiamente dicho.

La subbase presenta dos finalidades principales: la primera consiste en proteger al pavimento de una serie de factores abrasivos provenientes de la capa subrasante; la segunda finalidad es brindarle protección de los efectos de fenómenos pluviales.

Con respecto a la primera, la subbase se encarga de neutralizar o reducir al mínimo los efectos de las propiedades que presenta el material de la subrasante, como pueden ser los cambios de volumen y las características de plasticidad y elasticidad, propias del material que conforma la capa subrasante, que son sumamente perjudiciales para el pavimento. Además de lo anterior, la subbase impide el ascenso capilar del agua proveniente de posibles napas freáticas u otras fuentes de agua que se encuentren cerca del pavimento; así, previene el hinchamiento en pavimento por congelamiento del agua en temporadas frías.

Finalmente, la subbase también está destinada a proteger al pavimento de factores externos, como las precipitaciones y otros efectos de origen pluvial, ya que la subbase tiene la función de drenar el agua que recibe el pavimento hacia la parte inferior.

En general, en la literatura especializada de la materia, existe un consenso genérico, en mayor o menor medida, sobre los diversos objetivos que se buscan con la presencia de la subbase en la construcción del pavimento. Estos son los siguientes:

Minimizar los costos de la construcción del pavimento. Esto se debe a que la capa subbase está conformada por materiales de menor costo que la base del pavimento.

Minimizar o frenar los efectos de posibles cambios volumétricos provenientes del terreno donde se desarrolla el pavimento (también llamado capa subrasante).

Distribuir uniformemente las cargas provenientes del tránsito vehicular que soporta el pavimento hacia la subrasante.

Conformar una capa de transición entre la subrasante y la base del pavimento. Este objetivo es perseguido a causa de que los materiales de la base y de la capa subrasante son materiales distintos. Por tanto, se debe evitar la contaminación de la base y la carpeta asfáltica por elementos terrosos

de la capa subrasante. La subbase se encarga de mantener separadas ambas capas del pavimento.

c) La base del pavimento

De acuerdo con Rodríguez y Rodríguez (2004), la base del pavimento es la segunda capa que se desarrolla posterior a la subbase. Este componente del pavimento flexible puede ser definido como la segunda capa del pavimento flexible, que se ubica posterior a la subbase y tiene como objetivo absorber todos los esfuerzos derivados por el tráfico que circula sobre el pavimento y repartirlos, de forma homogénea, tanto a la subbase como al terreno de la fundación o subrasante.

Esta capa está constituida por material granular similar a la capa de la sub base, pero la diferencia reside en que el material granular que lo compone se mezcla con otros materiales ligantes, los cuales pueden ser materiales bituminosos o mezclas que han sido estabilizadas con cemento.

Es importante mencionar que la base del pavimento flexible se caracteriza por recibir la mayor cantidad de los esfuerzos producidos por el tránsito e infligidos al pavimento. Sobre esta se coloca la carpeta asfáltica, ya que esta última capa se caracteriza por ser un buen material friccionante; sin embargo, presenta menor resistencia ante las cargas debido a la falta de confinamiento.

2.2.2.2 Pavimento rígido

Siguiendo a Rondón y Reyes (2018), este tipo de pavimento puede definirse como una construcción vial que está compuesta por una losa de concreto, ya sea de concreto hidráulico o concreto armado. Dicho pavimento está compuesto por tres componentes: la losa de concreto o superficie de rodadura, la base y la subrasante.

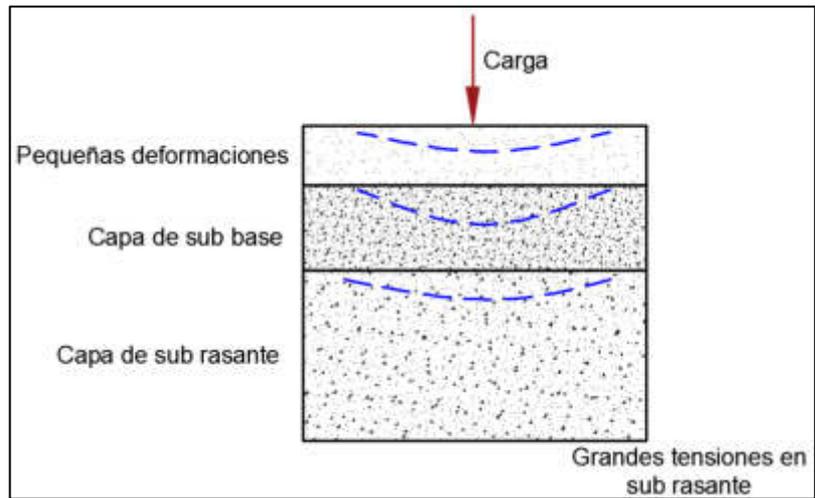


Figura 6. Comportamiento del pavimento rígido

Fuente: Miranda, 2010, p. 1

El pavimento rígido recibe su denominación debido a que está conformado por la mezcla de cemento hidratado y materiales granulares, que pueden ser la arena, la piedra chancada o una mezcla de las dos anteriores más agua. Las dimensiones que debe de presentar el pavimento rígido en su parte más externa (es decir, donde se ubica la losa de concreto) deben estar comprendidas en un intervalo que va desde los 10 hasta los 18 centímetros de grosor.

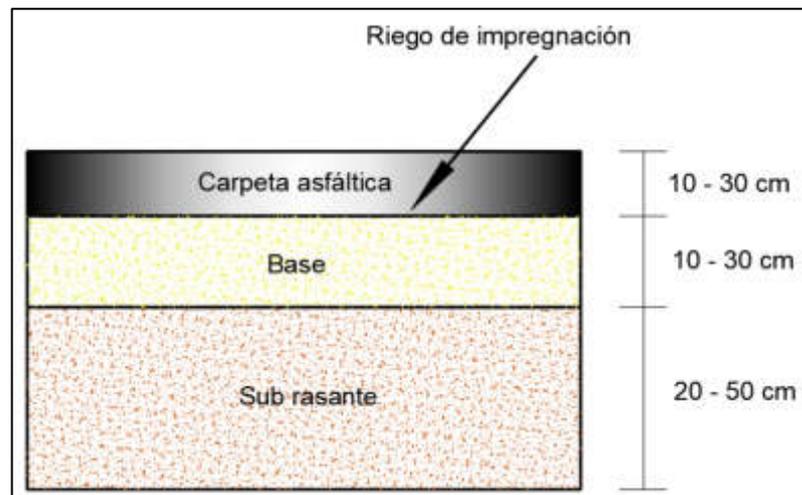


Figura 7. Corte Transversal de un Pavimento Rígido

Fuente: Barajas 2017, p. 14

En la figura 7, se puede observar la animación que corresponde al corte transversal de un pavimento rígido. En dicha figura, se observa que el pavimento rígido está constituido por tres componentes o capas asfálticas:

a) Subrasante

Miranda (2010) señala que la subrasante protege al pavimento preservando en totalidad su estado inicial, así exista sometimiento de cargas uniformes.

El primer componente del pavimento rígido, al igual que el pavimento flexible, está constituido por la subrasante, también llamada terreno fundacional, que básicamente es el terreno o el camino preparado, principalmente por compactación y aplanamiento, sobre el cual se desarrollará el pavimento rígido. De igual manera, en la figura n.º 6, se puede distinguir que, en el pavimento rígido, se exige que la subrasante o terreno fundacional debe prepararse hasta en un grosor que debe estar comprendido en un intervalo que va desde los 20 hasta los 50 centímetros de espesor.

b) Base

Miranda (2010) propone que esta capa del pavimento está conformada por materiales granulares mezclados con algún elemento ligante (de igual forma que en el pavimento flexible), los cuales cumplen una serie de objetivos, como el de dosificar o repartir la transmisión de las cargas que sufre la superficie de rodadura o losa de concreto y dirigir las hacia el terreno fundacional. Además, funge como elemento de transición y de separación entre la capa subrasante y la losa de concreto; de esta forma, evita que entre ambos componentes exista interinfluencia y, a su vez, previene que la losa de concreto se contamine con material terroso de la subrasante.

Igual que en el caso anterior, en la figura n.º 7, se puede observar que se exige que la construcción de la base del pavimento rígido debe estar comprendida en un intervalo que va desde los 10 a los 15 centímetros de espesor.

c) Losa de concreto o superficie de rodadura

Finalmente, la última capa del pavimento rígido lo constituye la losa de concreto, también llamada superficie de rodadura, la cual descansa sobre la base del pavimento y es el elemento que le da la denominación de rígido; esta última capa del pavimento rígido debe presentar un grosor que puede variar en un intervalo que oscila entre los 10 y los 18 centímetros de espesor.

El pavimento rígido, al igual que el pavimento flexible, tiene como característica principal que su última capa (es decir, la losa de concreto o superficie de rodadura) se encarga de transmitir las cargas producidas por el tránsito hacia las dos capas anteriores del pavimento. Esto quiere decir que trasmite las cargas a la base y esta, a su vez, la distribuye a la subrasante del pavimento rígido.

Sin embargo, la diferencia que existe entre el pavimento rígido y el flexible está en que su ciclo de vida rentable es mucho mayor que el del pavimento flexible, incluso llega a estar ubicado en un rango comprendido entre los 20 y los 50 años de vida útil. Cabe señalar que esta característica también determina que el importe de construcción de un pavimento rígido sea mucho mayor que el importe de construcción de un pavimento flexible.

2.2.2.3 Pavimento mixto

Rondón y Reyes (2015) proponen que el pavimento mixto es un tipo de pavimento que es el resultado de utilizar o combinar los modos de construcción del pavimento flexible y el pavimento rígido. Por ello, al pavimento mixto se le suele llamar también pavimento compuesto o pavimento híbrido.

El pavimento mixto o híbrido puede definirse como el tipo de pavimento donde se combina el uso del pavimento rígido con el pavimento flexible; este tipo de pavimento está conformado —además de los componentes básicos, esto es, las capas subrasante y base del pavimento—por una losa de concreto sobre la cual se coloca o desarrolla una carpeta asfáltica constituida por material bituminoso.

Existe también un subtipo de pavimento mixto que se caracteriza principalmente por su forma de elaboración; esta consiste en colocar, sobre y posterior a la capa base del pavimento, bloques de concretos prefabricados, los cuales remplazan a la carpeta asfáltica. Este tipo de pavimento, además, se caracteriza porque produce una importante reducción en la velocidad de los vehículos que transitan sobre dicho pavimento. Este efecto se debe a que el pavimento mixto genera una ligera y constante vibración en los vehículos, la cual es producido por los bloques que conforma el pavimento.

Uno de las principales características de los pavimentos mixtos es que presentan una gran resistencia al desgaste, ya sea que estos sean producidos por el efecto de las a cargas a las que se ve sometido el pavimento o por la presencia de humedad del ambiente en el que se desarrolla la construcción de estos pavimentos. Debido a su resistencia al desgaste, el uso de los pavimentos mixtos se proyecta en zonas urbanas.

A pesar de que los pavimentos mixtos se caracterizan por su resistencia al desgaste, estos pueden sufrir fallas. Estas últimas, que se producen en el pavimento mixto, se caracterizan por el elevado costo que implica la restauración del pavimento; al respecto, es importante mencionar que el principal tipo de falla que se observa en estos pavimentos es la llamada fisura de reflexión de junta.

2.2.3 Técnicas de construcción del pavimento

Existen dos tipos de técnicas de construcción de la carpeta asfáltica para pavimento flexible.

2.2.3.1 Pavimento de carpeta asfáltica en caliente

La diferencia que existe entre los pavimentos flexibles y los rígidos se da principalmente en los materiales componentes con los que se elabora la capa de rodadura del pavimento. En el caso de los pavimentos flexibles (una vez se han colocado las capas anteriores, esto es, la subrasante, la subbase y la base), la capa de rodadura, sobre la cual se desplazará el tránsito vehicular, es elaborada a partir de la suma de materiales granulares y materiales bituminosos que fungen como elementos ligantes. Esta última capa es la denominada carpeta asfáltica. A diferencia del pavimento flexible, la

superficie de rodadura del pavimento rígido se elabora fundamentalmente en concreto, ya sea que este se trate tanto de concreto armado como de concreto simple. En estos casos, se le denomina simplemente losa de concreto.

En el caso de los pavimentos flexibles, existen dos tipos de técnicas de construcción de la carpeta asfáltica: los pavimentos de concreto asfáltico en caliente y los pavimentos de concreto asfáltico en frío.

En el presente acápite, se exponen la definición y las características de la técnica de concreto asfáltico en caliente.

El MTC (2013) indica que los pavimentos de concreto asfáltico en caliente pueden definirse como aquellos pavimentos flexibles donde el proceso de la elaboración o construcción de la carpeta asfáltica consiste en la mezcla de uno o más elementos granulares (grava, piedra chancada o arena de diversas dimensiones) con material bituminoso sometidos a altas temperaturas —cabe señalar que, debido a esto, recibe su denominación de concreto asfáltico en caliente—. Estas mezclas son colocadas en una o más capas sobre la superficie de la base del pavimento (el número de capas variará en función de los requerimientos de la obra) mientras aún la mezcla mantiene su alta temperatura.

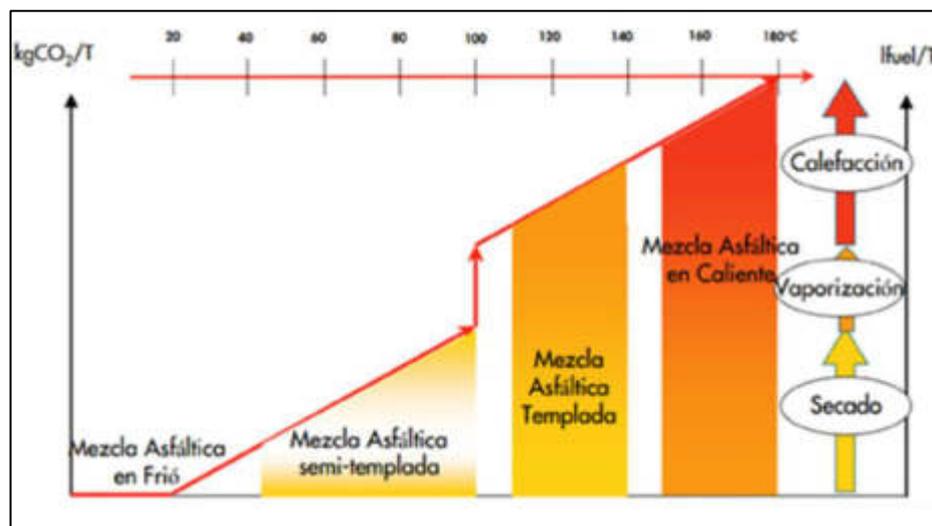


Figura 8. Tecnología y ventajas medioambientales para la producción de mezclas asfálticas

Fuente: Rondón, 2015, p. 83

En la figura 8, se observa los tipos de mezclas asfálticas en función de la temperatura que estas alcanzan durante su preparación y las etapas por la

que atraviesan a medida que se aplica calor en su elaboración. En ese sentido, se puede observar que el rango de temperatura que pueden alcanzar las mezclas asfálticas durante su preparación está comprendido en un intervalo que va desde 20 hasta los 180 grados centígrados. De igual forma, se exhibe que, durante la elaboración, las mezclas atraviesan por tres etapas, que son las siguientes:

- Secado
- Vaporización
- Calefacción

Durante la primera etapa, el secado, la mezcla experimenta la pérdida de total de partículas de agua que se encuentren alojadas tanto en su superficie como en el interior de la grava y de la brea, que funcionan como materiales ligantes. Durante la segunda etapa, se experimentará la vaporización del total del agua presente en los componentes del asfalto o concreto asfáltico. Finalmente, en la tercera etapa (la cual, como se observa en la figura 8, se alcanza a partir de los 160 a los 180 grados centígrados de temperatura), la mezcla, hecha a partir de la grava de diferentes dimensiones y la brea, alcanza la temperatura óptima y esta adquiere un comportamiento de un fluido. De esta forma, está lista para su colocación en la capa base del pavimento.

A partir de la figura 8, se puede observar que las mezclas asfálticas en frío se caracterizan por ser elaboradas por debajo de los 20 grados centígrados. A dicha temperatura, la mezcla asfáltica en frío no experimenta las fases de secado, vaporización y calefacción.

En el mismo sentido, podemos encontrar las mezclas asfálticas semitempladas, que se caracterizan por ser elaboradas en temperaturas que no superan los 100 grados centígrados. Se puede observar que esta preparación solo tiene como objetivo alcanzar la etapa de secado de la mezcla asfáltica.

Por otro lado, se encuentran las mezclas asfálticas templadas y las mezclas asfálticas en caliente. Estas se caracterizan por la elevada temperatura que requieren para su elaboración. La elaboración de las mezclas templadas requiere que estas alcancen temperaturas comprendidas en un intervalo que oscile desde los 100 hasta los 140 grados centígrados. Estas mezclas experimentan las etapas de secado y vaporización, mientras que las carpetas asfálticas en caliente, como se observa en la figura, tienen una preparación que requiere que la mezcla alcance temperaturas que van desde los 150 hasta los 180 grados centígrados. Este tipo de asfalto atraviesa por las etapas de secado, vaporización y calefacción; posteriormente, adopta el comportamiento de un fluido.

Características del pavimento de carpeta asfáltica en caliente

- a. Una de las ventajas de la aplicación del pavimento de carpeta asfáltica en caliente es que este ayuda a mejorar y corregir tanto los posibles defectos en la geometría vertical como la horizontalidad que se presentan en la capa base del pavimento.
- b. La carpeta asfáltica en caliente tiene como ventaja que, al ser elaborada con materiales bituminosos a altas temperaturas, el ser un material altamente viscoso, lo que ayuda a la adherencia de la carpeta asfáltica a las capas anteriores del pavimento.
- c. Posterior a la colocación, compactación y enfriamiento de la mezcla asfáltica, esta última alcanza una excelente resistencia a las cargas que se producen por el tránsito vehicular, lo que la convierte en un material efectivo y comparativamente más económico que los pavimentos rígidos.

Materiales utilizados en la elaboración de carpeta asfáltica en caliente:

1. Agregados gruesos
2. Agregado fino
3. Material bituminoso (brea)
4. Polvo mineral o *filler*
5. Cemento asfáltico

Equipos utilizados en la elaboración de carpeta asfáltica en caliente:

1. Equipo para la preparación y colocación del pavimento asfáltico en caliente
2. Planta de asfalto
3. Equipo de transporte
4. Máquina para el esparcimiento de la mezcla
5. Máquina de compactación y equipos de limpieza

Según el MTC (2013), las mezclas asfálticas en caliente deben cumplir las siguientes especificaciones:

Tabla 1

Requisitos para mezcla de carpeta asfáltica en caliente

PARÁMETRO DE DISEÑO	CLASE DE MEZCLA		
	A	B	C
MARSHALL MTC E 504			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53kN
3. Flujo (pulg)	8 - 14	8 - 16	8 – 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 – 5
5. Relación Estabilidad/Flujo (kg/cm)	1700 - 4000		

Fuente: MTC, 2013, p. 570

Tabla 2

Tolerancias para mezclas de carpeta asfáltica en caliente

PARÁMETROS DE CONTROL	VARIACIÓN PERMISIBLE EN % EN PESO TOTAL DE ÁRIDO
N.º 4 o mayor	± 5%
N.º 8	± 4%
N.º 30	± 3%
N.º 200	± 2%
Asfalto	± 0.2%

Fuente: MTC, 2013, p. 574

2.2.3.2 Pavimento de carpeta asfáltica en frío

El pavimento de carpeta asfáltica en frío, también conocido como concreto asfáltico en frío, es una técnica de elaboración de pavimentos flexibles que es similar a la elaboración del concreto asfáltico en caliente. La diferencia reside en que, en estos casos, la mezcla asfáltica no necesita ser sometida a altas temperaturas; este efecto es logrado mediante la aplicación de un emulsificante que permite la mezcla de los agregados y el material ligante solo con la aplicación de agua. De esta forma, se logra una mezcla con características de fluencia similar al asfalto en caliente. Sin embargo, es importante mencionar que, aunque el asfalto en frío presenta una fluencia similar al asfalto en caliente, presenta un comportamiento mecánico distinto del asfalto en caliente ya endurecido.

Según el MTC (2013), el asfalto en frío se puede definir como una técnica de construcción de pavimentos flexibles, la cual consiste en la aplicación de un producto industrial denominado asfalto emulsionado a la mezcla de agua con agregados pétreos a temperatura ambiente, que puede o no contener algún relleno mineral. De esta forma, se logra una emulsión estable que brinda una mezcla asfáltica, que presenta un comportamiento de fluido y características de viscosidad sin la necesidad que dicha mezcla sea sometida a altas temperaturas.

Es importante mencionar que esta técnica de elaboración de asfalto se basa principalmente en la aplicación de productos emulsionantes industriales que actualmente existen en el mercado. Una emulsión es una mezcla de dos o más elementos inmiscibles de forma más o menos homogénea. Con dicha mezcla, se obtiene un material líquido que tiene en suspensión partículas de otro material que es inmiscible en el primero. Así, se logra el asfalto sin la necesidad de calentar la mezcla a altas temperaturas y los beneficios que esta implica.

A pesar de que los pavimentos asfálticos en frío representan un alternativa económica y más versátil que los pavimentos asfálticos en caliente, el comportamiento mecánico de los primeros es inferior que el de los pavimentos asfálticos en caliente. Por ello, actualmente, el asfalto en frío, por

su versatilidad, es preferido solo para los trabajos de reparación de baches y grietas de autopistas de asfalto, mientras que el asfalto en caliente es aún preferido para proyectos de asfaltado de autopistas completas.

2.2.4 Características del pavimento

2.2.4.1 Esfuerzos

El estudio de los esfuerzos que en los pavimentos son provocados por el tránsito vehicular se centra en determinar la intensidad de las fuerzas componentes de las cargas que se generan de forma interna en el pavimento y la distribución de estas; es decir, el estudio de los esfuerzos se centraliza en la relación entre la fuerza que se aplica y la superficie sobre la cual se aplica.

López (2018), con respecto a los esfuerzos a los que se someten los pavimentos, menciona lo siguiente:

En los pavimentos de concreto asfáltico, también denominados pavimentos flexibles, las capas subbase y base del pavimento presentan la capacidad de absorber y disipar el esfuerzo de compresión producido por el tránsito sobre la subrasante o superficie fundacional del pavimento, el cual se produce con una intensidad menor a la recibida; en el mismo sentido, la base y subbase del pavimento minimizan la deflexión que se produce en el pavimento a causa del efecto de las cargas. Los pavimentos flexibles deben ser diseñados con el objetivo de soportar las fuerzas de corte y la deflexión de su superficie del pavimento (p. 52).

Del texto anterior, se puede afirmar que los esfuerzos a los que están sometidos los pavimentos influyen de forma sustancial tanto en su comportamiento mecánico como en su diseño, lo que determina no solo el espesor que deberán presentar los pavimentos, sino también el número de capas y la conformación de estas.

2.2.4.2 Deformaciones

Las deformaciones son una medida del grado de distorsión que las cargas externas o acciones externas generan sobre la geometría de un cuerpo

cualquiera. Además, con base en la mecánica de materiales, existe una relación directa entre las deformaciones y los esfuerzos, por lo que es importante su medida y estimación en el diseño de todo de tipo de estructuras.

En el mismo sentido, López (2018) sostiene sobre este punto que los métodos o técnicas en el diseño de pavimentos flexibles, que fueron propuestos por el método AASHTO, se encuentran relacionados con el módulo de resiliencia como principal parámetro para dar cuenta de la capacidad de resistencia que presentan los materiales con respecto a las cargas a las que se ve sometido el pavimento. Esta capacidad de resistencia que presentan los materiales fundacionales de un pavimento es expresada mediante fórmulas empíricas que se desprenden de ensayos previos sobre la magnitud de soporte CBR.

2.2.4.3 Deflexiones

La deflexión, en forma general, es el grado de desplazamiento de un cuerpo o elemento estructural por efecto de la aplicación de una fuerza. En ese sentido, es posible que se haga referencia a la deflexión que experimentan los pavimentos como producto de las cargas a los que se ven sometidos.

Sobre este punto en particular, López (2018) señala que las deflexiones son un factor de gran importancia a la hora de calcular los parámetros de las deformaciones elásticas que se producen en los pavimentos y está en función de que se trate de pavimentos rígidos como para pavimentos flexibles, esto como efecto de las cargas ejercidas sobre los pavimentos; estos parámetros se les da la definición de conjunto de deflexiones los cuales se generan en el espacio que se genera entre el punto en el que se aplica la fuerza y el espacio que lo rodea en el pavimento.

Como consecuencia de la cita anteriormente expuesta, se dilucida que el efecto de las deflexiones en los pavimentos tiene especial relevancia en las evaluaciones del comportamiento mecánico tanto de los pavimentos flexibles como de los pavimentos rígidos; para la medición y el registro de los efectos de las deflexiones, en general, se utiliza como método la aplicación de sensores.

2.2.5 Pavimento reciclado

Según Guacaneme (2015), en el contexto extranjero, el pavimento reciclado es de suma importancia en su práctica. Por ejemplo, genera un incremento gradual en su producción para el país de Colombia, donde existe una mayor demolición de sus materiales RAP (pavimento asfáltico reciclado) para la producción de nuevos pavimentos. El uso de estos reciclados evita la explotación de materias primas y, a su vez, genera ventajas ambientales. En el caso de China, se tiene una ley que previene los residuos RCD bajo observación, puesto que cumple con la preservación del medio ambiente y disminuye la contaminación por residuos sólidos. En cambio, Alemania está de acuerdo con la gestión del uso de residuos en su reutilización en proyectos responsables que cumplan con los parámetros exigidos. En Japón, se otorgó una ley de reciclaje con la finalidad de que los clientes y contratistas apliquen el reciclaje de pavimentos en proyectos de envergadura.

En Finlandia, una fuerte legislación e implementación implica que todo material reciclable de una demolición debe ser reciclado. En Australia, se han emprendido proyectos donde se utilizan concreto reciclado para nuevos productos de concreto. No obstante, la industria australiana opina que se logran mejores resultados medioambientales con aplicaciones de bajo grado.

La mayoría de las administraciones que utilizan técnicas de reciclado exigen que los materiales reciclados cumplan con las mismas especificaciones que los materiales nuevos y que presenten un comportamiento similar en campo. Lo cierto es que, en muchos casos, los ensayos convencionales no predicen con exactitud el comportamiento de los materiales reciclados y, por esto, es necesario desarrollar métodos específicos para el diseño y control de calidad de los firmes que contengan materiales reciclados.

- a. Experiencia en la utilización de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta

Guacaneme (2015) señala que el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente no es una idea nueva, ya que en Estados Unidos se comenzó a utilizar

desde 1915, aunque las obras con esta técnica fueron muy escasas durante varias décadas debido al bajo precio del betún y a que los equipos no estaban adaptados para utilizar esta técnica.

Queda claro entonces que la mayoría de las administraciones de los Estados Unidos consideran el reciclado de pavimentos asfálticos en caliente en planta como una práctica habitual para la rehabilitación de firmes. Además, han logrado obtener resultados tan satisfactorios como los que se consiguen con las mezclas convencionales gracias a un adecuado control de todo el proceso de fabricación y puesta en obra de las mezclas recicladas y al gran apoyo de las administraciones, de la Federal Highway Administration, de la National Asphalt Pavement Association, entre otros organismos.

Al igual que los Estados Unidos, Canadá empezó a trabajar con el reciclado de pavimentos asfálticos hace varias décadas y, por tanto, es uno de los países punteros en la utilización de estas técnicas.

Con todos estos años de experiencia, las administraciones canadienses han llegado a establecer una serie de especificaciones para el uso del MBR en la fabricación de mezclas nuevas. Por su parte, el Ministerio de Transportes de Ontario ha definido parámetros que deben cumplir el MBR y la mezcla final mediante el empleo del ensayo Marshall.

El reciclado en planta en caliente ha presentado un significativo crecimiento en Canadá y muchas agencias y empresas se están especializando en esta industria para lograr mejores rendimientos. No se descarta que, en un futuro, las mezclas recicladas sustituyan a las convencionales.

b. Proceso de reciclado



Figura 9. Extracción de carpeta asfáltica

Fuente: Méndez, 2015, p. 30

En la figura 9, se observa la máquina Wirtgen, que escarba para la extracción del material de la carpeta asfáltica. Luego, se procede a reutilizar este material con nuevos aditivos rejuvenecedores que apoyan al mejoramiento del asfalto, lo que brinda resistencia y estabilidad a la carpeta.



Figura 10. Fresado de la carpeta asfáltica

Fuente: Méndez, 2015, p. 35

En la figura 10, se observa que es la última parte del proceso de reutilización, donde se procede a vaciar la nueva carpeta asfáltica mejorada con aditivos rejuvenecedores, fresándola y compactándola para tener un pavimento firme y estable.

2.2.5.1 Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en caliente

El proceso de reciclaje de pavimentos se da mediante la reutilización de pavimentos viejos; sin embargo, además del pavimento reciclado, en estas mezclas, se utiliza un porcentaje de materiales nuevos, así como la aplicación de aditivos, que tienen como finalidad rejuvenecer y brindar mayor resistencia a la mezcla.

La técnica de elaboración de mezclas asfálticas recicladas es aplicada en diversos países y tiene como principal finalidad ser utilizada en la rehabilitación y el mantenimiento de diferentes tipos de vías. Esto se debe a que el asfalto reciclado brinda ventajas, como la rentabilidad y versatilidad en los proyectos de rehabilitación y mantenimiento de vías.

El MTC (2013) propone, en el caso de pavimentos de mezcla asfáltica reciclada en caliente, el proceso constructivo, que es similar a la preparación de asfalto en caliente, con la diferencia de que, en este tipo de mezcla asfáltica, se utilizará, de igual forma que en el asfalto reciclado en frío, material asfáltico viejo reutilizado, extraído de vías en rehabilitación. Una vez recuperado y molido el asfalto reciclado, este es mezclado con un porcentaje de material nuevo y brea como elemento ligante; posteriormente, dicha mezcla es sometida a altas temperaturas con la finalidad de que la mezcla alcance características de fluido y viscosidad. A esta mezcla también se le agrega diversos aditivos que ayudan a rejuvenecerla, así como reforzar y mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica una vez secada. Lo precedente se lleva a cabo para que la mezcla asfáltica reciclada en caliente cumpla con los requerimientos y especificaciones técnicas.

Materiales componentes de la mezcla asfáltica reciclada en caliente:

1. Agregados y material recuperados de vías viejas o dañadas.
2. Agregados pétreos de dos o más dimensiones.
3. Material bituminoso.
4. Agentes químicos rejuvenecedores
5. Aditivos que mejoran la adherencia.

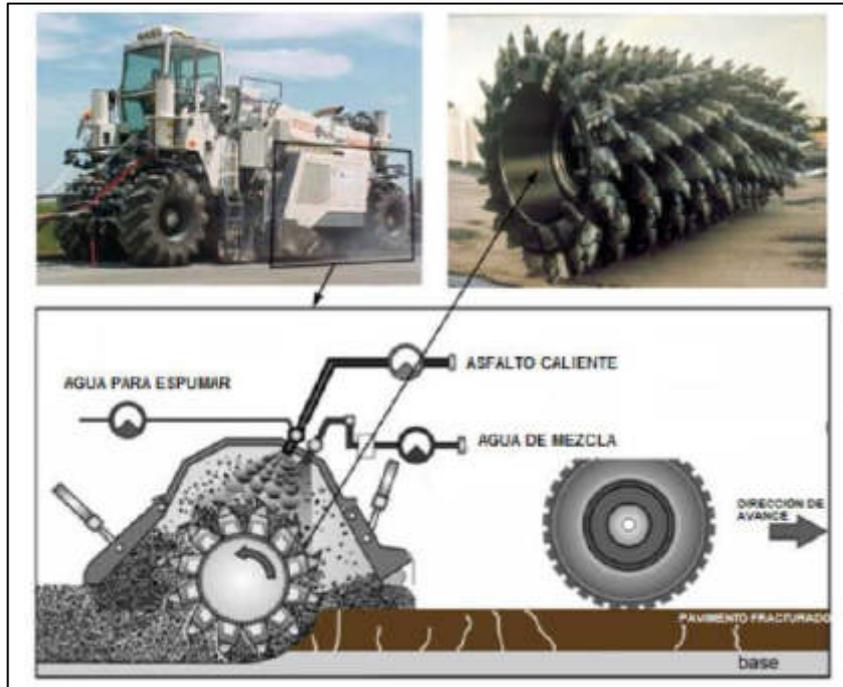


Figura 11. Proceso de Reciclado

Fuente: Espinoza & Vildoso, 2014, p. 112

En la figura 11, se muestra una máquina de reciclado de asfalto viejo o deteriorado, la cual está principalmente conformada por un tambor de fresado, que remueve el asfalto dañado, y un inyector, que agrega agua o algún tipo de aditivo si el material es aglutinado y mezclado con materiales emulsionantes para su aplicación inmediata en caso de pavimentos reciclados en frío.

De igual forma, en la figura 9, se puede observar que las máquinas de remoción de asfaltos viejos deben de estar adecuadamente calibrados con el objetivo de que el tambor de fresado solo remueva la carpeta asfáltica o superficie de rodadura que se encuentra dañada, por lo que no debe remover, de forma accidental, las capas anteriores: la subbase y la base del pavimento en rehabilitación.

2.2.5.2 Pavimento con mezcla asfáltica reciclada en frío

Al referirse al término de asfalto reciclado, se hace referencia a la reutilización de asfalto viejo que es removido de tramos de autopistas que se encuentran en proceso de rehabilitación para ser nuevamente utilizadas en mezclas asfálticas destinadas principalmente a la rehabilitación. La idea

principal es que el material extraído de vías en rehabilitación, en lugar de ser dejado de lado (convirtiéndose, además, en un problema de contaminación), pueda ser nuevamente empleado al ser molido y combinado con agravados y aditivos que hacen de la mezcla nuevamente un agente útil para la construcción.

El MTC (2013) sostiene que los pavimentos asfálticos reciclados en frío son una mezcla especial destinada a construcciones y reparaciones viales, en las cuales, durante su proceso de elaboración, se emplearán productos industriales, como el asfalto emulsionado, con el objetivo de realizar mezclas asfálticas a temperatura ambiente; sin embargo, el aspecto crucial que caracteriza a este tipo de asfaltos es que se utilizará material asfáltico reciclado que ha sido extraído de carpetas asfálticas viejas de vías donde dicho material ha sido removido por el normal transcurso de su vida útil. A este tipo de mezclas, además, se le agregará aditivos especiales, como rejuvenecedores y otros aditivos que ayuden a que la mezcla asfáltica reciclada en frío cumpla con las especificaciones técnicas para pavimentos flexibles y los requerimientos exigidos en la obra de construcción.

2.2.6 Cemento asfáltico

El MTC (2013) indica que el porcentaje o la cantidad óptima de cemento asfáltico aplicado en la mezcla final del pavimento es la cantidad de material bituminoso. Este, que actúa como ligante en la mezcla de agregados de origen mineral, se requiere para el cumplimiento de las especificaciones técnicas con respecto al comportamiento mecánico de los pavimentos flexibles.

La cantidad de cemento asfáltico óptimo que se requiere aplicar en la mezcla final de un pavimento flexible será cuantificada o medida mediante el análisis de los resultados que se desprenden del diseño de mezclas asfálticas. Se arriban a dicho resultados a través del método Marshall.

Se puede concluir que el porcentaje de cemento asfáltico que se debe aplicar en la mezcla final del pavimento oscila en un intervalo que va desde el 3 % hasta el 5 % de la masa total de la mezcla del pavimento.

2.2.7 Agregado pétreo

Los agregados pétreos o conglomerados de partículas inertes (como la arena, la grava, la piedra, la escoria o el relleno mineral) se usan frecuentemente en las bases, subbases y relleno de carreteras.

Son usados para la elaboración de mezclas asfálticas, como el pavimento flexible sobre la carretera KM 90+000 a KM 95+00 Canta a Huayllay, punto del tema de investigación a tratar.

Rondón y Reyes (2015) señalan que los agregados pétreos tienen que tener la granulometría correcta para cumplir con los estándares de calidad de la mezcla asfáltica a mezclar, los cuales están conformados por ciertos parámetros que rige la normativa.

Para el caso de pavimentos convencionales, solo se requiere el agregado grueso y fino.

Según el MTC (2013), los agregados pétreos deben cumplir dos requisitos para la realización de las mezclas asfálticas recicladas:

1. Los recuperados u obtenidos del pavimento reciclado.
2. Los requeridos como adición para corregir la gradación y garantizar la calidad de la mezcla.

Las especificaciones técnicas para los agregados gruesos son los siguientes:

Tabla 3

Requisitos para los agregados gruesos

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx	15% máx
Abrasión de los ángeles	MTC E 207	40% máx	35% máx
Peso específico y absorción	MTC E 206	1.0% máx	1.0% máx
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223 – ASTM D-4791	10% máx	10% máx
Porcentaje de caras fracturadas	MTC E 210	85/50% min	90/70% min
Adherencia de ligantes bituminosos	MTC E 517	+95	+95
Sales solubles	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx

Fuente: MTC, 2013, p. 560

Tabla 4

Requisitos para los agregados finos

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO	
		ALTITUD (msnm)	
		≤ 3000	> 3000
Durabilidad (sulfato de magnesio)	MTC E 209	18% máx	-
Equivalente de arena	MTC E 114	40% máx	-
Peso específico y absorción	MTC E 205	0.5% máx	0.5% máx
Índice de plasticidad (malla N.º40)	MTC E 111	-	-
Lavado en agregado	NTP 400.018	15%	-
Riedel Weber	MTC E 220	5	-
Sales solubles	MTC E 219	0.5% máx	0.5% máx
Azul de metileno	ASSTHO 330-07	8 máx	8 máx

Fuente: MTC, 2013, p. 560

Tabla 5

Gradación para mezcla asfáltica en caliente (MAC)

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12.5 mm (1/2")	68 - 85	80 - 100	
9.5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4.75 mm (N.º4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2.00 mm (N.º10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N.º40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N.º80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 µm (N.º200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

Fuente: MTC, 2013, p. 561

2.2.8 Diseño de mezclas asfálticas en caliente usando el método Marshall

El método de Marshall trata sobre el diseño y formulación de mezclas asfálticas en caliente. Lo anterior se fundamenta, según el MTC (2013), en el ensayo del MTC E - 504, resistencia de mezclas bituminosas mediante la aplicación del método Marshall.

Para tener un diseño de mezclas óptimo, se construyen probetas o muestras cilíndricas de 2½ pulgadas de altura y 4 pulgadas de diámetro con diferentes porcentajes de contenido asfalto (cada uno varía 0.50 % respecto del otro).

En esta primera parte, se proponen las características volumétricas de las probetas o muestras:

1. Medición del peso específico aparente
2. Cálculo de porcentaje de vacíos de aire
3. Cálculo del porcentaje de vacíos del mineral
4. Cálculo del porcentaje de vacíos presente en el cemento asfáltico

Luego las probetas son ensayadas con el aparato Marshall para obtener los siguientes datos:

1. Estabilidad (kg)
2. Flujo (pulg)

La estabilidad que presentan las probetas es determinada por la carga máxima que soporta la muestra antes de llegar al punto de falla o de quiebre de la probeta; una vez que se haya llegado a dicho punto, se mide el flujo, el cual es determinado por la disminución del diámetro vertical de la muestra.

Los resultados del método Marshall son arrojados en forma de curvas, como se muestra en la figura n.º 12, en las cuales se compara el porcentaje de cemento asfáltico presente en cada muestra con respecto a las siguientes magnitudes: el peso específico, la estabilidad, el porcentaje de vacíos, los vacíos llenos con C.A, el porcentaje de vacíos mínimos del agregado mineral y la fluencia.

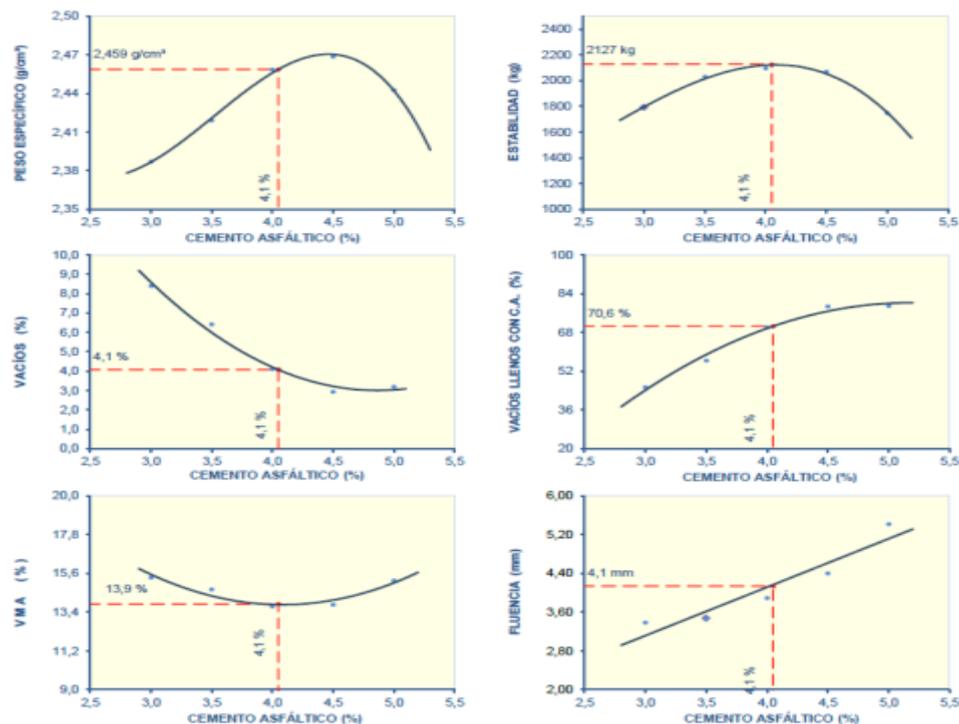


Figura 12. Curvas Marshall

Fuente: Recuenco, 2014, p. 186

Se realiza la comparación entre los resultados arrojados por la prueba Marshall con las especificaciones requeridas para el pavimento asfáltico. Esto se lleva a cabo con la finalidad de determinar cuál de las cantidades de asfalto aplicado en la muestra fue la correcta y alcanzó los requerimientos exigidos.

2.2.9 Ensayos de laboratorio

Para llevar a cabo los ensayos de laboratorio, nos basamos en el MTC (2013), que detalla, a través de especificaciones técnicas propuestas, la forma correcta del desarrollo y de la elaboración de estos.

1. Extracción cuantitativa de asfalto en mezclas para pavimentos: MTC E 502.
2. Análisis mecánico de los agregados extraídos de mezclas asfálticas: MTC E 503.
3. Análisis granulométrico de suelos por tamizado: MTC E 107.
4. Resistencia de mezclas asfálticas bituminosas empleando el aparato Marshall: MTC E 504.

2.3 Definición de términos básicos

Adhesividad

Recuenco (2014) indica que es la capacidad de aglutinamiento, ligamiento o adhesividad física que se produce entre dos o más materiales, ya sean estos distintos o iguales entre sí.

Afirmado

De acuerdo con Recuenco (2014), es llamada superficie de rodadura. Es una capa compactada, procesada y conformada por la mezcla de agregados y algún tipo de material ligante. Esta se coloca sobre las capas anteriores del pavimento (subrasante, subbase y base) con el fin de servir de superficie sobre la cual circularán vehículos y personas.

Agregados pétreos

Rondón y Reyes (2015) señalan que es una denominación que se le da a materiales granulares que provienen de la desintegración de rocas y piedras.

Áridos

Recuenco (2014) señala que es un material conformado por un conjunto grande de partículas pétreas pequeñas y de dimensiones homogéneas, lo que le brinda a este material su característica granular. El agregado es un material de construcción el cual puede presentar diferentes dimensiones (por ejemplo, arena, grava, escoria o piedra chancada).

Asfalto

Betún mezclado con material mineral no soluble en tolueno con una proporción superior al 5 %. (cf. Recuenco, 2014, p. 51).

Asfalto espumado

Rondón y Reyes (2015) puntualizan que se adiciona agua, dependiendo del peso del cemento asfáltico constituido, para que luego, por una cámara de expansión a temperaturas altas, se haga espumar al asfalto (160 °C – 180°C).

Bitumen

De acuerdo con Recuenco (2014), se trata de una sustancia ligante y cementante de color negro que puede presentar una consistencia sólida, semisólida o viscosa.

Peso unitario

Rondón y Reyes (2015) señalan que el peso unitario es una magnitud que se caracteriza principalmente por servir como punto referencia para determinar la cantidad máxima de cemento asfáltico que es requerida, de modo que se pueda obtener el mayor valor del peso unitario.

Consistencia y Penetración

Recuenco (2014) indica lo siguiente: “El denominado ensayo de penetración, en él se mide la profundidad que una aguja normalizada con una

carga de 100 gr penetra verticalmente, en un lapso de 5 s, en una muestra de 25 °C” (p. 58).

Curva granulométrica

En Asocem (2013), se la conceptualiza como la representación gráfica de los datos emanados en la investigación granulométrica mediante filtros. En esta, se puede representar la repartición de los adicionados con el fin de conseguir un bosquejo de mezcla inmejorable.

Ductilidad

Se la entiende como la factibilidad de alargamiento sin rotura. Es importante porque las variaciones de temperatura y el tráfico producen deformaciones y cambios dimensionales que el material debe soportar sin romperse (cf. Recuenco, 2014, p. 62).

Ensayo Marshall

Recuenco (2014) refiere lo siguiente: “Consiste, en esencia, una vez fijada la granulometría de los áridos, en la preparación de probetas normalizadas, cada una de ellas con distinto contenido de betún. Estas probetas son compactadas y sometidas a rotura por tracción” (p. 184).

Fragilidad

Recuenco (2014) señala que “consiste en la aparición de rotura sin una deformación plástica apreciable. Suele producirse a bajas temperaturas” (p. 59).

Fresado

De acuerdo con el MTC (2013), es un proceso que consiste en la extracción de asfalto viejo o dañado mediante el raspado de un rodillo metálico que actúa sobre la carpeta asfáltica.

Granulometría

Según Recuenco (2014), es la medición de las dimensiones que presentan las partículas minerales que conforman el agregado. Esta medición se realiza mediante el uso de tamices previamente graduados, que arrojan una distribución de las diversas dimensiones que posee el agregado; se clasifican según las normas técnicas de referencia.

Mejorador de adherencia

Rondón y Reyes (2015) señalan que es un aditivo, producido industrialmente, que, bien mejora el grado de adherencia, ligadura y aglutinamiento, bien mejora la unión entre dos o más elementos.

Mezcla asfáltica

Según el MTC (2013), es una combinación entre materiales bituminosos y agregados minerales de diversas dimensiones. Puede ejecutarse a altas temperaturas, así como a temperatura ambiente. Esta mezcla se elabora de forma mecánica; también se ejecutan en plantas de procesamiento para posteriormente ser transportadas al lugar donde se planea y ejecuta la obra.

Pavimentos

Rondón y Reyes (2015) indican que es una superficie lisa, compacta y duradera que tiene como finalidad garantizar el desplazamiento de vehículos y personas. El pavimento está conformado por un conjunto de capas que se encargan de recibir, absorber, distribuir y transmitir de los estratos más altos hacia los más bajos las cargas que se generan por el tránsito.

Pavimentación

Rondón y Reyes (2015) refieren que es el proceso mediante el cual una superficie de tierra compactada, denominada suelo fundacional, es revestida con algún material sólido, uniforme y plano que presenta resistencia ante la acción de diversas cargas.

Viscosidad

Recuenco (2014) señala que “la unidad de viscosidad absoluta es el poise: viscosidad de un líquido que opone una resistencia de 1 dina/cm² al movimiento con velocidad de 1 cm/s entre dos planos que distan 1 cm” (p. 58).

2.4 Formulación de la hipótesis

La aplicación de pavimentos reciclados provoca una mejora en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas generadas para el tramo km 90+000 - km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay.

2.4.1 Hipótesis general:

El diseño de la mezcla asfáltica con material reciclado mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 - km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, ubicada en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima.

2.4.2 Hipótesis específicas:

- Incrementando el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 - km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, ubicada en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima.
- Incrementando la cantidad de agregado grueso a la mezcla asfáltica con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 - km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, ubicada en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima.
- Incrementando la cantidad de agregado fino a la mezcla asfáltica con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 - km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, ubicada en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

La investigación propuesta se desarrolló en función de los planteamientos metodológicos que se desarrollan a continuación:

3.1 Tipo de investigación

Esta investigación adopta la tipología de un estudio aplicado, ya que se busca demostrar la hipótesis planteada por medio de ensayos y métodos según las especificaciones del MTC (2013). En particular, para este estudio, se buscó reutilizar y mejorar el material obtenido de la carretera de Canta a Huayllay, analizando su comportamiento mecánico.

3.2 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación es de tipo cuantitativo; ya que el objetivo fue realizar ensayos para obtener valores numéricos. Estos valores obtenidos permitieron conocer las características de los agregados (grueso y fino), como también de la muestra de la mezcla asfáltica con material reciclado.

3.3 Nivel de la investigación

Este trabajo alcanzó un nivel descriptivo, ya que se basa en la sustentación de los resultados de los ensayos realizados en laboratorio. Estos ensayos permitieron obtener valores de las variables de la investigación, cuyos puntos más relevantes, fueron comparados analíticamente. Además de lo anterior, se debe especificar que la tesis no tiene como finalidad la de

identificar las causas del efecto que provoca la variable independiente sobre la dependiente.

3.4 Diseño de la investigación

Esta investigación emplea un diseño experimental-longitudinal. Experimental, pues se hallaron los resultados por medio de ensayos de laboratorio. Y longitudinal, debido a que los ensayos se realizaron en diferentes tiempos con respecto a las muestras obtenidas de la carretera de Canta a Huayllay.

3.5 Variables

Dado que el objetivo de este estudio es verificar el estado y sus potencialidades de los componentes del material reciclado (agregado grueso y fino) para la reestructuración del pavimento, se determinaron dos variables: mezcla asfáltica con material reciclado y comportamiento mecánico del pavimento; las mismas que se operacionalización a continuación.

3.5.1 Operacionalización de variables

Con el fin de listar los indicadores a medir en los ensayos de la muestra, se elaboró una tabla de operacionalización de variables a partir de una matriz de consistencia; la que se detalla a continuación.

Tabla 6

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES
Variable independiente Mezcla asfáltica con material reciclado	Porcentaje de cemento asfáltico
	Cantidad del agregado grueso (piedra chancada)
	Cantidad del agregado fino (arena para asfalto)
Variable dependiente Comportamiento mecánico del pavimento	Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica
	Estabilidad
	Flujo

Fuente: Elaboración propia (2019)

3.6 Población y muestra

Se describen a continuación la población y la muestra que se tomaron para el presente estudio.

3.6.1 Población

Según Hernández (2014), la población es el total de unidades de análisis que resultan del interés en el estudio realizado. Así, para este estudio, la población está integrado por la carretera de Canta a Huayllay; específicamente, el tramo km 90+000 al km95+000.

3.6.2 Muestra

Para Hernández (2014), una muestra es un subconjunto de la población, elegido de acuerdo a determinados criterios. En este sentido, se delimitó una muestra para la realización de ensayos: km 90+000 al km95+000 de la carretera de Canta a Huayllay, ubicado en el distrito y provincia de Canta, en el departamento de Lima. Para evaluar la calidad de los agregados (fino y grueso), que fueron añadidos posteriormente dentro de la mezcla asfáltica con material reciclado, se requirieron 15 briquetas para realizar el ensayo Marshall.

3.7 Materiales y equipos

En esta investigación, se emplearon materiales y equipos del laboratorio del Ministerio de Transporte y Comunicaciones; los que se detallan a continuación:

- Agregado grueso
- Agregado fino
- Material asfáltico (reciclado)
- Ligantes
- Agua destilada
- Balanza digital
- Horno
- Bomba de vacíos, etc.

Asimismo, este punto se detalla con más precisión dentro de los anexos de los materiales que ayudaron en la ejecución de los ensayos.

3.8 Técnicas recolección de datos

Para la recolección de datos, se emplearon diversos ensayos de laboratorio del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, las que están de acorde al *Manual de Carreteras EG - 2013*.

Además, para la mezcla asfáltica con material reciclado, se realizaron los siguientes ensayos:

- a) Porcentaje de asfalto (lavado asfáltico): ensayo MTC E 502 – 2016. Extracción cuantitativa de asfalto en mezcla para pavimentos.
- b) Análisis Granulométrico del material reciclado: Ensayo MTC E 107 – 2016. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

Para los agregados se realizó los siguientes ensayos:

- 1) Calidad del agregado grueso
 - a) Análisis granulométrico del agregado grueso
 - b) Inalterabilidad de los agregados gruesos por medio del sulfato de sodio (durabilidad)
 - c) Peso específico y absorción del agregado grueso Resistencia de agregado grueso de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles
 - d) Peso específico y absorción del agregado grueso
 - e) Partículas chatas y alargadas del agregado grueso
 - f) Porcentaje de caras fracturada en el agregado grueso (1 a más, 2 a más)
 - g) Adherencia de los ligantes bituminosos al agregado grueso
 - h) Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles
- 2) Calidad del agregado fino
 - a) Análisis granulométrico del agregado fino

- b) Inalterabilidad de los agregados finos por medio del sulfato de sodio.
 - c) Equivalente de arena de suelos y agregado fino
 - d) Limite liquido – malla N.º40 y Limite plástico – malla N.º40
 - e) Lavado en agregados fino
 - f) Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Riedel – Weber)
 - g) Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles
 - h) Valor de azul de metileno para arcillas, rellenos minerales finos
- 3) Para el nuevo pavimento (reciclado), se realizaron los siguientes ensayos:
- a) Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (Rice)
 - b) Diseño de Mezcla asfáltica en caliente (Método Marshall)

3.9 Procesamiento y análisis estadístico de datos

La información obtenida del laboratorio se presentó en cuadros y gráficos a partir de hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Se realizaron cuadros que detallan los resultados obtenidos de los ensayos granulométricos, de contenido de cemento asfáltico, de diseño de mezcla asfáltica en caliente (método Marshall) y de peso específico teórico máximo de mezcla asfáltica (RICE).

CAPÍTULO IV DESARROLLO

4.1 Ubicación del proyecto de investigación

El proyecto de investigación se encuentra localizado específicamente en el tramo que comprende desde el km 90+000 hasta el km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, ubicada en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima.



Figura 13. Mapa físico político del departamento de Lima

Fuente: IGN (2018). Mapas departamentales del Perú

La provincia de Canta consta de siete distritos, los cuales son los siguientes: Santa Rosa de Quives, Huamantanga, San Buenaventura, Huaros, Arahua, Lanchaqui y Canta.



Figura 14. Mapa de la provincia y distrito de Canta
Fuente: IGN (2018). Mapas departamentales del Perú



Figura 15. Carretera de Canta a Huayllay
Fuente: Elaboración propia (2019)

El trazo de estudio fue 5 km de la carretera Canta a Huayllay, ubicándose en las coordenadas $11^{\circ}28'12.0''$ de latitud sur y $76^{\circ}37'18.3''$ de

latitud oeste. En dicho tramo, observamos diferentes tipos de deficiencias y fallas en la carpeta asfáltica.

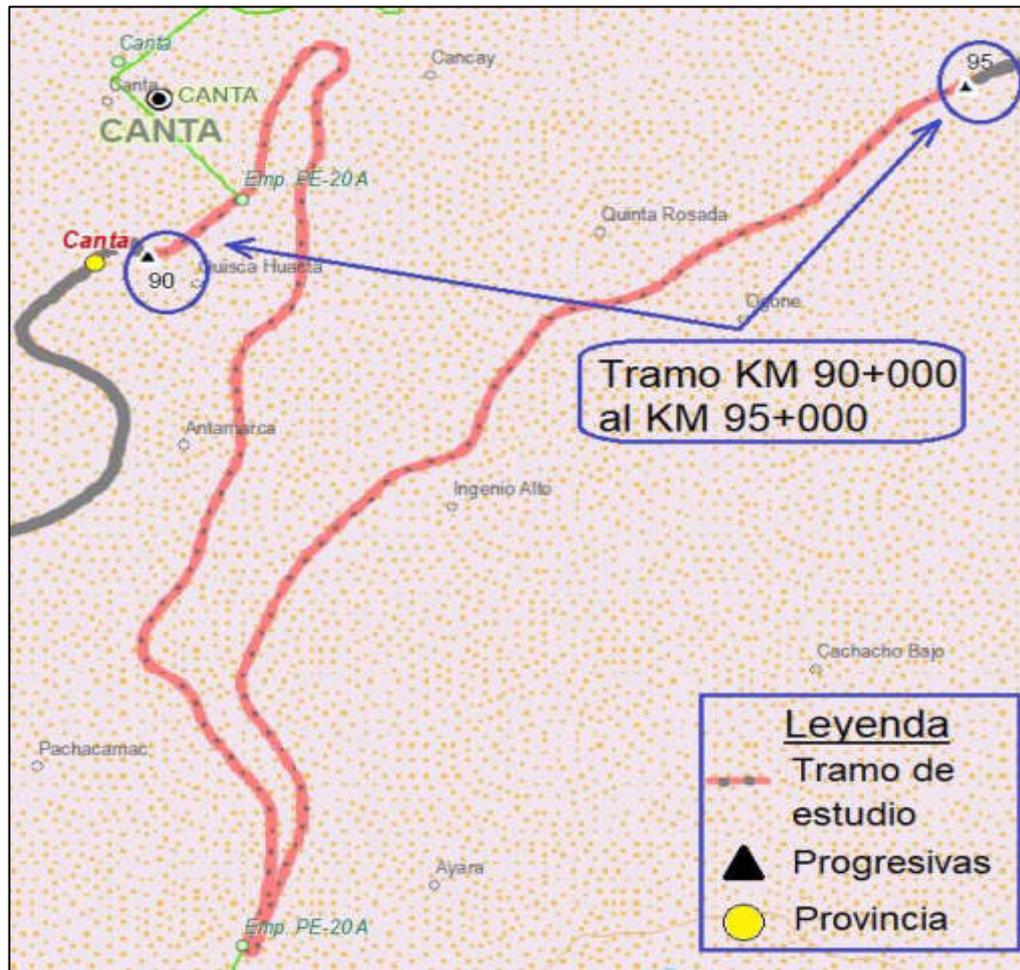


Figura 16. Tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay

Fuente: IGN (2018), mapas departamentales del Perú

4.2 Caso de investigación

Para el trabajo de investigación, se tomaron muestras de la progresiva km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, donde se llevaron a cabo ensayos a la mezcla asfáltica reciclada con el fin de observar su porcentaje de asfalto y granulometría. Según esos parámetros, sabremos en qué estado se encuentra el material; luego, se procedió a realizar el control de calidad de los agregados (grueso y fino) que añadirán, de acuerdo con el Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas generales para Construcción (EG-2013). Para finalizar, se llevará a cabo el ensayo de Marshall (diseño) con el peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE).

4.3 Ejecución e interpretación de los ensayos en laboratorio

Se procede a efectuar cada uno de los ensayos para cada componente; así, se busca evaluar su comportamiento mecánico.

4.3.1 Mezcla asfáltica reciclada

Para determinar el reciclado de un pavimento, se debe conocer el porcentaje de asfalto en mezcla para pavimentos (lavado asfáltico) y el análisis granulométrico de agregados extraídos de las mezclas (granulometría).

4.3.1.1 Porcentaje de asfalto

El porcentaje de asfalto en el material recuperado nos mostrará un índice de cuánto debe agregarse para tener un óptimo desempeño en cemento de asfalto. El porcentaje de asfalto se rediseñará de acuerdo con la mezcla asfáltica en caliente y con el ensayo de Marshall (cf. el MTC (2016), en su norma MTC E 502, y el ASTM D – 2172).



Figura 17. Proceso de extracción de los materiales (reciclado)

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura n.º 17, se procedió a extraer un litro de solución tricloroetileno (C_2HCl_3) para el reciclado de 2315.3 g dentro de la máquina

separadora de materiales con 3600 rpm hasta obtener el agregado grueso y fino en un recipiente y el cemento asfáltico en el otro recipiente. Luego, será llevado hacia la máquina de centrifugado. En unas cápsulas, se introducen las muestras para que, después de un secado, se obtenga el material fino y, así, se realice la granulometría del reciclado.



Figura 18. Máquina de centrifugado para fino (reciclado)

Fuente: Elaboración propia (2019)

Después de haber separado los materiales que contiene el material asfáltico reciclado, el cemento asfáltico no queda totalmente puro. Por ende, pasamos a la máquina de centrifugado para obtener el cemento asfáltico en su total pureza tal como se muestra en la figura 18.

El contenido en porcentaje de cemento asfáltico, recuperado de la carretera de Canta, fue calculado según la norma realizada; luego, se procedió a ensayar, cuyo resultado fue la siguiente operación:

$$\% \text{ Contenido de cemento asfáltico} = \left(\frac{W_1 - W_2 + W_3}{W_1} \right)$$

$$W_1 = \text{Peso de la muestra} = 2315,3 \text{ g}$$

$$W_2 = \text{Peso del agregado mineral extraído} = 2239,8 \text{ g}$$

$$W_3 = \text{Finos recuperado} = 5,5 \text{ g}$$

$$\% \text{ Contenido de cemento asfáltico} = \left(\frac{2315,3 - 2239,8 + 5,5}{2315,3} \right)$$

$$\% \text{ Contenido de cemento asfáltico} = 3,02\%$$

4.3.1.2 Análisis granulométrico del material reciclado

Del análisis granulométrico, se observará la curva granulométrica del material reciclado y, con ello, las condiciones y el estado en que se encuentran sus agregados pétreos (grueso y fino). Esta información será de vital importancia, ya que se deberá corregir los márgenes donde se perdieron material. Para ello, eso se comprobarán y corregirán con los agregados pétreos de adición con el fin de cumplir con los parámetros de acuerdo a la norma.

Con base en el MTC (2016), en su norma MTC E 107, y en el ASTM D – 422, después de haberse realizado el lavado asfáltico del material reciclado, se procedió a llevar a cabo el ensayo granulométrico y se comprobó una deficiencia en sus materiales pétreos, según la gráfica. Se buscó determinar qué cantidad de materiales pétreos de adición se debían corregir para el óptimo y uso adecuado de la granulometría.

De acuerdo a la norma establecida, se rige la curva granulométrica para mezclas asfálticas en caliente (MAC), donde se determinó, para esta investigación, el uso de la MAC-2, puesto que cumple con los parámetros y las especificaciones establecidos en la norma para la carretera Canta a Huayllay.



Figura 19. Granulometría (reciclado)

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 19, se muestra el tamizado respectivo del agregado obtenido del material asfáltico reciclado para poder obtener la curva granulométrica de diseño correspondiente, de modo que se puedan corroborar las proporciones en las que se encuentra.

Muestra total del material reciclado = 2245.3 g

- Porcentaje retenido:

$$\text{Malla } 1/2'' = \frac{22.2}{2245.3} \times 100 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = \frac{50.1}{2245.3} \times 100 \% = 2 \%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = \frac{269.4}{2245.3} \times 100 \% = 12 \%$$

$$\text{Malla n.º 4} = \frac{223.8}{2245.3} \times 100 \% = 10 \%$$

$$\text{Malla n.º 6} = \frac{272.6}{2245.3} \times 100 \% = 12 \%$$

$$\text{Malla n.º 8} = \frac{199.8}{2245.3} \times 100 \% = 9 \%$$

$$\text{Malla n.º 10} = \frac{94.4}{2245.3} \times 100 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 16 = \frac{213.4}{2245.3} \times 100 \% = 10 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 20 = \frac{102.9}{2245.3} \times 100 \% = 5 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 30 = \frac{86.2}{2245.3} \times 100 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 40 = \frac{80.2}{2245.3} \times 100 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 50 = \frac{71.5}{2245.3} \times 100 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 80 = \frac{85}{2245.3} \times 100 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 100 = \frac{24.8}{2245.3} \times 100 \% = 5 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 200 = \frac{98.3}{2245.3} \times 100 \% = 3 \%$$

$$\text{Malla menor a 200} = \frac{350.7}{2245.3} \times 100 \% = 11 \%$$

▪ Porcentaje pasante:

$$\text{Malla } 3/4'' = 100 \% - 0 \% = 100 \%$$

$$\text{Malla } 1/2'' = 100 \% - 1 \% = 99 \%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = 99 \% - 2 \% = 97 \%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = 97 \% - 12 \% = 85 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 4 = 85 \% - 10 \% = 75 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 6 = 75 \% - 12 \% = 63 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 8 = 63 \% - 9 \% = 54 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 10 = 54 \% - 4 \% = 50 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 16 = 50 \% - 10 \% = 40 \%$$

Malla n.º 20 = 40 % - 5 % = 35 %

Malla n.º 30 = 35 % - 4 % = 31 %

Malla n.º 40 = 31 % - 4 % = 27 %

Malla n.º 50 = 27 % - 4 % = 23 %

Malla n.º 80 = 23 % - 4 % = 19 %

Malla n.º 100 = 19 % - 5 % = 14 %

Malla n.º 200 = 14 % - 3 % = 11 %

Malla menor a 200 = 11 % - 11 % = 0 %

4.3.2 Agregado pétreo de adición

El material pétreo de adición fue obtenido de la cantera Gloria. Este fue sometido a diferentes tipos de ensayos para observar su comportamiento; además, se buscó que cumpla con cada una de las especificaciones y requerimientos de adición, según el MTC (2013). También se tuvo como observación que el material reciclado tenga la misma característica mineralógica que la de los del agregado de adición con el fin de evitar que el material bituminoso tenga diferente adhesividad con cada uno de sus componentes.

4.3.2.1 Calidad del agregado grueso

a) Análisis granulométrico del agregado grueso

Con respecto a este ensayo, se realizaron dos tipos de granulometrías para diferentes agregados, como la piedra huso 67 y el confitillo.

Según el MTC (2016), en su norma MTC E 204, y la NTP 400.012 (2015), antes de proceder al ensayo, se debe cuartear el material para tener un peso determinado de toda la muestra. El ensayo consiste en determinar la cantidad de piedra chancada por medio de una serie de mallas de 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y n.º 4 para el agregado grueso piedra huso 67 y de las mallas de

3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y de los números 4, 6, 8, 10 y 16 para el agregado grueso confitillo.

Realizamos el tamizado del material por cada malla y tendremos el porcentaje de retenidos y pasantes de cada malla.



Figura 20. Zarandeo del material en los tamices

Fuente: Elaboración propia (2019)

Se zarandea el agregado grueso (piedra de huso 67) para obtener su respectiva granulometría y corroborar la calidad del agregado, el cual se obtuvo de cantera, tal como se muestra en la figura 20.



Figura 21. Tamiz de la malla N.º 100

Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 21 muestra el tamizado del agregado grueso (confitillo), obtenido en cantera, para lograr su respectiva granulometría y, así, corroborar las condiciones de calidad en la que se encuentran.

Muestra total para agregado grueso, piedra Huso 67 = 3142.3 gr

- Porcentaje retenido:

$$\text{Malla } 1/2'' = \frac{1531.6}{1531.6 + 1364.6} \times 97\% = 51\%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = \frac{1364.6}{1531.6 + 1364.6} \times 97\% = 46\%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = \frac{203.1}{203.1 + 43.0} \times 3\% = 2\%$$

$$\text{Malla N.º4} = \frac{43.0}{203.1 + 43.0} \times 3\% = 1\%$$

- Porcentaje pasante:

$$\text{Malla } 3/4'' = 100\% - 0\% = 100\%$$

$$\text{Malla } 1/2'' = 100\% - 51\% = 49\%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = 49\% - 46\% = 3\%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = 3\% - 2\% = 1\%$$

$$\text{Malla n.º4} = 1\% - 1\% = 0\%$$

Muestra total para el agregado grueso confitillo = 3432 g

- Porcentaje retenido:

$$\text{Malla } 1/2'' = \frac{26.9}{26.9 + 405.5} \times 41\% = 3\%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = \frac{405.5}{26.9 + 405.5} \times 41\% = 38\%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = \frac{206.7}{206.7 + 578.3} \times 55\% = 14\%$$

$$\text{Malla n.º4} = \frac{578.3}{206.7 + 578.3} \times 55\% = 41\%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 6 = \frac{122.3}{122.3 + 109.4 + 60.1 + 55.4 + 6.2} \times 4 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 8 = \frac{109.4}{122.3 + 109.4 + 60.1 + 55.4 + 6.2} \times 4 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 10 = \frac{60.1}{122.3 + 109.4 + 60.1 + 55.4 + 6.2} \times 4 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 16 = \frac{55.4}{122.3 + 109.4 + 60.1 + 55.4 + 6.2} \times 4 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 20 = \frac{6.2}{122.3 + 109.4 + 60.1 + 55.4 + 6.2} \times 4 \% = 1 \%$$

- Porcentaje pasante:

$$\text{Malla } 3/4'' = 100 \% - 0 \% = 100 \%$$

$$\text{Malla } 1/2'' = 100 \% - 3 \% = 97 \%$$

$$\text{Malla } 3/8'' = 97 \% - 38 \% = 59 \%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = 59 \% - 14 \% = 45 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 4 = 45 \% - 41 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 6 = 4 \% - 1 \% = 3 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 8 = 3 \% - 1 \% = 2 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 10 = 2 \% - 1 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 16 = 1 \% - 1 \% = 0 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 20 = 0 \% - 0 \% = 0 \%$$

b) Inalterabilidad de los agregados gruesos por medio del sulfato de sodio (durabilidad)

Con base en el MTC (2016), en su norma MTC E 209, y en la NTP 400.016 (2016), se utilizó la piedra huso 67 para realizar los ensayos de acuerdo a la norma mencionada. Tomamos un porcentaje de las mallas que hemos retenido: la 3/4", la 1/2", la 3/8", la 1/4" y la n.º 4. Se saca un peso determinado, se lava ese material y se prepara el sulfato de sodio, el cual se elabora cinco ciclos. Eso significa que, si hoy se lleva a cabo, se le administra

el sulfato de sodio al material y se lo deja hasta el día siguiente; simula la altura en un determinado lugar para ver la resistencia del material, es decir, el material mezclado con sulfato de sodio se encuentra saturado. Luego, procedemos a ponerlo en el horno, ya que también simula el calor día y noche. Una vez terminado los cinco ciclos, se lava el material y se saca todo el sulfato de sodio en un mechero hasta que tenga un color blanco el sulfato de sodio. Después de que todo está bien limpio, se procede a secar; se vuelve a tamizar para observar cuánto material ha perdido debido a que tenemos un peso inicial y un peso final al momento de haber terminado el ensayo.



Figura 22. Zarandeo de los tamices
Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 22 muestra el zarandeo respectivo del agregado grueso ya secado después de haberse bañado con el sulfato de sodio. Este tiene como fin observar cuánto material de diferencia hay al final del ensayo para corregir esa pérdida del agregado grueso con el fino.

Para el agregado grueso piedra huso 67:

- N.º recipiente USA-034:

Peso antes del ensayo (**A**) = 671.8 g

Peso después del ensayo (**B**) = 666.5 g

% de pérdida después del ensayo **(C)**

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{671.8 - 666.5}{671.8} \right) \times 100 \% = 0.8 \%$$

Escala original 3/4" – 1/2" = 51

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{0.8 \% \times 51}{100} \right) = 0.4 \%$$

- N.º recipiente USA–020:

Peso antes del ensayo **(A)** = 330.2 g

Peso después del ensayo **(B)** = 315.5 g

% de pérdida después del ensayo **(C)**

$$C = \left(\frac{(A_{\text{usa 034}} + A_{\text{usa 020}}) - (B_{\text{usa 034}} + B_{\text{usa 020}})}{A_{\text{usa 034}} + A_{\text{usa 020}}} \right) \times 100 \%$$

$$C = \left(\frac{671.5 + 330.2 - (666.5 + 315.5)}{671.8 + 330.2} \right) \times 100 \% = 2.0 \%$$

Escala original 3/4" – 1/2" = 51

Escala original 1/2" – 3/8" = 46

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{2.0 \% \times (51 + 46)}{100} \right) = 1.94 \%$$

- N.º de recipiente USA–064:

Peso antes del ensayo **(A)** = 300.5 g

Peso después del ensayo **(B)** = 297.2 g

% de pérdida después del ensayo **(C)**

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{300.5 - 297.2}{300.5} \right) \times 100 \% = 1.1 \%$$

Escala original 3/8" – N.º4 = 3

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{1.1 \% \times 3}{100} \right) = 0.03 \%$$

$$\% \text{ total en pérdidas corregidas} = 1.94 + 0.03 = 1.97 \%$$

c) Resistencia de agregado grueso de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

Según el MTC (2016), en su norma MTC E 207, y la NTP 400.019 (2014) se procede a determinar la resistencia del agregado grueso. Desde la malla de 1/2" hasta la malla de 3/8", tiene retenido 2500 g por cada malla debido a que la muestra de agregado grueso de piedra huso 67 presenta un tamaño máximo nominal de 1/2", y se define como grado B, según la tabla del manual de ensayos del MTC; así, se trata de una grava media. Para el de gradación, se toma la muestra 2500 g por cada malla y se procede a introducir a la máquina de los ángeles con 11 billas, según la norma establecida, para observar el impacto o desgaste de estos por un lapso de 15 min o 500 revoluciones, donde se observa que el material se desgasta poco. Por tanto, podemos indicar que el agregado es buen material.



Figura 23. Determinando el porcentaje de gradación del agregado

Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 23 muestra como los agregados gruesos (huso 67) son sometidos a la Máquina de los Ángeles por un tiempo de 15min y 500 r. p. m para ver el impacto, desgaste y resistencia del agregado.

Tabla 7

Determinación de la resistencia a la gradación de la piedra huso 67

TAMAÑO MALLA		PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS						
PAS	RET	GRADO "A" (12) (gr)	GRADO "B" (11) (gr)	GRADO "C" (8) (gr)	GRADO "D" (6) (gr)	GRADO 1 (12) (gr)	GRADO 2 (12) (gr)	GRADO 2 (12) (gr)
3"	1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N.º 3			2500				
N.º 3	N.º 4			2500	5000			
N.º 4	N.º 8							

NOTA: LOS NUMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERAS

Fuente: Elaboración propia (2019)

Peso material retenido en la malla n.º 12 = 4176.0 g

Peso material pasante en la malla n.º 12 = 824.0 g

$$\% \text{ de pérdida de desgaste} = \left(\frac{824.0}{5000} \right) \times 100 \% = 16.48 \%$$

d) Peso específico y absorción del agregado grueso

Según el MTC (2016), en su norma MTC E 206, y la NTP 400.021 (2013), se toma una porción de material de agregado grueso de huso 67 y se lo lava, ya que el material tiene que estar limpio para luego dejarlo saturar con agua 16 horas como mínimo. Al día siguiente, se retira el agua y lo secamos superficialmente. Una vez realizada esta acción, lo llevamos a la máquina de peso específico de agregado grueso de huso 67. Exhibe un peso inicial superficialmente seco, un peso sumergido y un peso seco, que, luego de todo ello, nos facilita en el cálculo para saber cuánto de absorción tiene el material grueso.



Figura 24. Saturación en agua por 16 horas

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 24, se observa la saturación del agregado grueso durante 16 horas para luego pesarlo en la máquina de peso específico.



Figura 25. Material retirado superficialmente

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 25, se muestra el agregado grueso (huso 67) ya superficialmente seco después de la saturación de 16 horas.



Figura 26. Máquina de peso específico

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 26, se observa el peso del agregado grueso (huso 67) superficialmente seco sumergido en agua para poder obtener el peso específico.

Para el agregado grueso de piedra huso 67:

Peso de material saturado y superficialmente seco (en aire) **(A)** = 3131.6

Peso de material saturado y superficialmente seco (sumergido) **(B)** = 1997.0

Volumen de la masa + volumen de vacíos **(C)**

$$C = A - B = 3131.6 - 1997.0 = 1134.6$$

Peso de material seco **(D)** = 3116.6 g

Volumen de la masa **(E)**

$$E = C - (A - D) = 1134.6 - (3131.6 - 3116.6) = 1119.6$$

- Peso específico bulk (base seca)

$$(D/C) = \frac{3116.6}{1134.6} = 2.747 \text{ g}$$

- Peso específico bulk (base saturada)

$$(A/C) = \frac{3116.6}{1134.6} = 2.760 \text{ g}$$

- Peso específico bulk (base seca)

$$(D/E) = \frac{3116.6}{1119.6} = 2.784 \text{ g}$$

$$\text{Absorción} = \frac{3131.6 - 3116.6}{3116.6} \times 100 = 0.48 \%$$

e) Partículas chatas y alargadas del agregado grueso

Con base en el MTC (2016), en su norma MTC E 223, y en la NTP 400.040 (2015), se realizó el ensayo en proporción de uno a tres entre su ancho y longitud, respectivamente. Se verifica en la máquina calibrador proporcional para determinar la forma y las características que tiene el material.



Figura 27. Tamaño por su largo
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 27, se muestra la selección y reconocimiento de los agregados gruesos (huso 67), ya sean chatas y alargadas, mediante la máquina que se denomina calibrador proporcional.



Figura 28. Separación del agregado grueso de acuerdo a los tamices
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 28, se observa la selección de los agregados gruesos (huso 67) y, según las condiciones que se aprecia, hay chatas y alargadas.

- Mallas peso retenido 3/4" – 1/2"

Peso total (**A**) = 1706.8 g

Peso muestra chatas y alargadas **(B)** = 56.9 g

Porcentaje de chatas y alargadas **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{56.9}{1706.8} \times 100 = 3.3 \%$$

Escala original **(D)** = 51

Porcentaje parciales de chatas y alargadas **(E)**

$$E = C \times D = 3.3 \% \times 51 = 168.3 \%$$

- Mallas peso retenido 1/2" – 3/8"

Peso total **(A)** = 1290.7 g

Peso de la muestra de chatas y alargadas **(B)** = 63.2 g

Porcentaje de chatas y alargadas **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{63.2}{1290.7} \times 100 = 4.9 \%$$

Escala original **(D)** = 46

Porcentaje parciales de chatas y alargadas **(E)**

$$E = C \times D = 4.9 \% \times 46 = 225.4 \%$$

- "Porcentaje total de chatas y alargadas "

$$168.3 + 225.4 = 393.7 \%$$

- Porcentaje de chatas y alargadas

$$\frac{\% \text{ total de chatas y alargadas}}{\text{Total de escala original}} = \frac{393.7}{51+46} = 4,1 \%$$

f) Porcentaje de caras fracturada en el agregado grueso (01 a más, 02 a más)

Según el MTC (2016) en su norma MTC E 210, y el ASTM D – 5821, en la grava, una porción del material pasa por mallas de 3/4", 1/2" y 3/8". Una vez separado el material, se pesa el material retenido por las diferentes mallas. El ensayo se realiza visualmente si el material tiene fracturas (debe tener una arista bien pronunciada para que tenga una cara de fractura). No obstante, puede haber una, dos, tres a más caras de fractura, puesto que el Manual de ensayos de materiales exige el peso de dos a más y de una a más

caras de fractura del agregado grueso, las cuales deben estar bien pronunciadas.



Figura 29. Tamaños de agregado grueso
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 29 se observa la selección de cara fractura de los agregados gruesos (huso 67) según en las condiciones en que se encuentren.



Figura 30. Agregado grueso de una a dos caras de fractura
Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 30 muestra el reconocimiento de la cara fracturada del agregado grueso (huso 67).

- Mallas peso retenido 3/4" – 1/2":

Peso total retenido en mallas **(A)** = 1706.8 g

Peso muestra 1 a más **(B)** = 1647.1 g

Peso muestra 2 a más **(B)** = 1471.4 g

Porcentaje de caras de fractura 1 a más **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{1647.1}{1706.8} \times 100 = 96.5 \%$$

Porcentaje de caras de fractura 2 a más **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{1471.1}{1706.8} \times 100 = 86.2 \%$$

Escala original **(D)** = 51

Porcentaje parcial de caras de fractura 1 a más **(E)**

$$E = C \times D = 96.5 \times 51 = 4921.5$$

Porcentaje parcial de caras de fractura 2 a más **(E)**

$$E = C \times D = 86.2 \times 51 = 4396.2$$

- Mallas peso retenido 1/2" – 3/8":

Peso total retenido en mallas **(A)** = 1290.7 g

Peso muestra 1 a más **(B)** = 1223.6 g

Peso muestra 2 a más **(B)** = 1160.5 g

Porcentaje de caras de fractura 1 a más **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{1223.6}{1290.7} \times 100 = 94.8 \%$$

Porcentaje de caras de fractura 2 a más **(C)**

$$C = \frac{B}{A} = \frac{1160.5}{1290.7} \times 100 = 89.9 \%$$

Escala original **(D)** = 46

Porcentaje parciales de caras de fractura 1 a más **(E)**

$$E = C \times D = 94.8 \times 46 = 4360.8 \%$$

Porcentaje parciales de caras de fractura 2 a más **(E)**

$$E = C \times D = 89.9 \times 46 = 4135.4 \%$$

- Porcentaje total en caras de fractura 1 a más en ambas mallas

$$4921.5 + 4360.8 = 9282.3 \%$$

Porcentaje de caras de fracturas 1 a más

$$\frac{\text{Porcentaje total de caras de fractura 1 a más}}{\text{Total de escala original}} = \frac{9282.3}{51+46} = 95,7 \%$$

- Porcentaje parcial en caras de fractura 2 a más en ambas mallas

$$4396.2 + 4135.4 = 8531.6 \%$$

Porcentaje de caras de fracturas 2 a más

$$\frac{\text{Porcentaje total de caras de fractura 2 a más}}{\text{Total de escala original}} = \frac{8531.6}{51+46} = 88,0 \%$$

g) Adherencia de los ligantes bituminosos al agregado grueso

Con base en la norma MTC E 517, del MTC (2016), y en el AASHTO T-182, este ensayo es empleado para determinar el grado de afinidad del par agregado grueso huso 67-ligante bituminoso, donde se toma 100 g de la muestra de agregado grueso y 5 g cemento asfáltico. Se combinan estos materiales hasta que tenga una consistencia uniforme para luego llevarlo al baño María por 16 horas, donde tendrá una temperatura de 25 °C. Una vez sacado el frasco que tiene combinado el agregado con el cemento asfáltico, se analiza el resultado de forma visual y se observa la cantidad de agregado grueso que tiene adherida el ligante. Si la proporción es mayor, diremos que el revestimiento tiene un 100 %, debido a que la adherencia es buena, y que el cubrimiento es mayor a 95% si el agregado no presenta muchas partes blancas dentro de sus aristas, que contienen el cemento asfáltico. El caso contrario se da cuando no cumple el 100% de revestimiento y es menor al 95% de cubrimiento. En nuestro caso, la mezcla contiene un revestimiento de 100% (esto indica que nuestro agregado grueso tiene una buena adherencia) y un cubrimiento del 95% (es decir, el material (sales) es poco salitroso).



Figura 31. Combinación de materiales

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 31, se muestra la mezcla del agregado grueso (huso 67) con el cemento asfáltico (100 g y 5 g, respectivamente) hasta obtener una mezcla homogénea para luego llevarlo al baño María durante 16 horas y bajo una temperatura de 25 °C.

h) Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles

Siguiendo la norma MTC E 219, del MTC (2016), en el ensayo, se lleva a cabo una extracción acuosa, es decir, una cantidad de suelo con una cantidad agua en una relación de 1:1, donde se requiere 500 g de grava más 500 ml de agua destilada, que ayuda a la extracción de las sales en la grava.



Figura 32. Mezcla de agua con la grava

Fuente: Elaboración propia (2019)

El la figura 32, se observa la extracción acuosa, esto es, la mezcla del agua con el agregado grueso (huso 67).



Figura 33. Extracción del agua con las sales
Fuente: Elaboración propia (2019)

El la figura 33 se observa la extracción acuosa, esto es, la mezcla del agua con el agregado grueso (huso 67).



Figura 34. Sales precipitados
Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 34 muestra la extracción acuosa (sales) del agregado grueso (huso 67) para luego llevarlo al horno.



Figura 35. Sales impregnado en el vaso de ensayo

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 35, se aprecia la sal obtenida de la solución acuosa mediante el proceso físico llamado evaporización.

Dilución = 1:1

Factor = 0.6

Sin dilución = 193

Sales = dilución x factor = $1 \times 0.6 \times 193 = 115.8$ g/ml

4.3.2.2 Calidad del agregado fino

a) Análisis granulométrico del agregado fino

Siguiendo la norma MTC E 204 del MTC (2016) y la NTP 400.012 (2015), para este ensayo, se realizó la granulometría del agregado fino arena para pavimento, procedente de la cantera Gloria. El proceso es el mismo que para la granulometría de un grueso con mallas de 1/4" y de números 4, 6, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 50, 80, 100 y 200.



Figura 36. Recolección de datos en el tamizado para agregado fino

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 36, se puede apreciar la recolección de datos de la cantidad de agregados finos de cantera, retenidos en los diferentes tamices para su respectivo análisis granulométrico.

Muestra total para el agregado fino arena para pavimento = 3432 g

- Porcentaje retenido:

$$\text{Malla } 1/4'' = \frac{94.4}{94.4 + 626.4} \times 4 \% = 1 \%$$

$$\text{Malla n.º 4} = \frac{626.4}{94.4 + 626.4} \times 4 \% = 3 \%$$

Sumatoria de pesos de las mallas n.º 6, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 50, 80 y 100.

W total = 28.2+45.7+21.8+73+41.6+46.7+43.5+29.8+41.7+13.2+41.5+62.3= 489 g

$$\text{Malla n.º 6} = \frac{28.2}{489} \times 96 \% = 6 \%$$

$$\text{Malla n.º 8} = \frac{45.7}{489} \times 96 \% = 9 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 10 = \frac{21.8}{489} \times 96 \% = 4 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 16 = \frac{73}{489} \times 96 \% = 14 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 20 = \frac{41.6}{489} \times 96 \% = 8 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 30 = \frac{46.7}{489} \times 96 \% = 9 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 40 = \frac{43.5}{489} \times 96 \% = 9 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 50 = \frac{29.8}{489} \times 96 \% = 6 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 80 = \frac{41.7}{489} \times 96 \% = 8 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 100 = \frac{13.2}{489} \times 96 \% = 3 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 200 = \frac{41.5}{489} \times 96 \% = 8 \%$$

$$\text{Malla menor a 200} = \frac{62.3}{489} \times 96 \% = 12 \%$$

- Porcentaje pasante:

$$\text{Malla } 3/8'' = 100 \% - 0 \% = 100 \%$$

$$\text{Malla } 1/4'' = 100 \% - 1 \% = 99 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 4 = 99 \% - 3 \% = 96 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 6 = 96 \% - 6 \% = 90 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 8 = 90 \% - 9 \% = 81 \%$$

$$\text{Malla n.}^\circ 10 = 81 \% - 4 \% = 77 \%$$

Malla n.° 16 = 77 % - 14 % = 63 %

Malla n.° 20 = 63 % - 8 % = 55 %

Malla n.° 30 = 55 % - 9 % = 46 %

Malla n.° 40 = 46 % - 9 % = 37 %

Malla n.° 50 = 37 % - 6 % = 31 %

Malla n.° 80 = 31 % - 8 % = 23 %

Malla n.° 100 = 23 % - 3 % = 20 %

Malla n.° 200 = 20 % - 8 % = 12 %

Malla menor a 200 = 12 % - 12 % = 0 %

b) Inalterabilidad de los agregados finos por medio del sulfato de sodio (durabilidad)

Siguiendo la norma MTC E 209, del MTC (2016), y la NTP 400.016 (2016), se utilizó la arena para pavimentos, puesto que se tomó un porcentaje de las mallas que habíamos retenido: las de los números 6, 8, 10, 16, 20, 30, 40, 50, 80, 100 y 200. Se saca un peso determinado de 100 g, se lava ese material y se prepara el sulfato de sodio, el cual se elabora cinco ciclos. Eso significa si hoy se lleva a cabo, se le administra el sulfato de sodio al material y se lo deja hasta el día siguiente; simula la altura en un determinado lugar para ver la resistencia del material, es decir, el material mezclado con sulfato de sodio se encuentra saturado. Luego, procedemos a ponerlo al horno, ya que también simula el calor día y noche. Una vez terminado los cinco ciclos, se lava el material y se saca todo el sulfato de sodio en un mechero hasta que tenga un color blanco. Después de que todo está bien limpio, se procede a secar; se vuelve a tamizar para observar cuánto material ha perdido debido a que tenemos un peso inicial y un peso final al momento de haber terminado el ensayo.



Figura 37. Sulfato de magnesio
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura n.º 36, se observa el sulfato de magnesio, que será mezclado con el agregado fino; luego, se reposa la muestra durante 16 horas. Así, se podrá apreciar su durabilidad y resistencia a los sulfatos.



Figura 38. Mezcla de sulfato de magnesio con la arena de pavimento
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 38, se muestra la mezcla del sulfato de magnesio con el agregado fino (arena para pavimento); luego, se reposa la muestra durante 16 horas para que, después, se pueda apreciar su durabilidad y resistencia a los sulfatos.



Figura 39. Peso final para arena de pavimento

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 39, se exhibe el agregado fino (arena para pavimento) después de los sulfatos para luego conocer su peso final.

Para el agregado fino arena para pavimento:

- N.º recipiente USA-107:

Peso antes de ensayo (**A**) = 100.0 g

Peso después de ensayo (**B**) = 92.8 g

% de pérdida después del ensayo (**C**)

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{100 - 92.8}{100} \right) \times 100 \% = 7.2 \%$$

Escala original n.º 4 – n.º 8 = 15

$$\% \text{ de pérdida corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{7.2 \% \times 15}{100} \right) = 0.17 \%$$

- N.º recipiente USA-7:

Peso antes de ensayo (**A**) = 100.0 g

Peso después de ensayo (**B**) = 90.6 g

% de pérdida después del ensayo (**C**)

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{100 - 90.6}{100} \right) \times 100 \% = 9.4 \%$$

Escala original n.º 8 – n.º 16 = 18

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{9.4 \% \times 18}{100} \right) = 1.69 \%$$

- N.º recipiente USA-12:

Peso antes de ensayo (**A**) = 100.0 g

Peso después de ensayo (**B**) = 94.9 g

% de pérdida después del ensayo (**C**)

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{100 - 94.9}{100} \right) \times 100 \% = 5.1 \%$$

Escala original n.º 16 – n.º 30 = 17

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{5.1 \% \times 17}{100} \right) = 0.87 \%$$

- N.º recipiente USA-118:

Peso antes de ensayo (**A**) = 100.0 g

Peso después de ensayo (**B**) = 94.1 g

% de pérdida después de ensayo (**C**)

$$C = \left(\frac{A - B}{A} \right) \times 100 \% = \left(\frac{100 - 94.1}{100} \right) \times 100 \% = 5.9 \%$$

Escala original n.º 30 – n.º 50 = 15

$$\% \text{ de pérdidas corregidas} = \left(\frac{(C) \times \text{escala original}}{100} \right) = \left(\frac{5.9 \% \times 15}{100} \right) = 0.89 \%$$

$$\% \text{ total en pérdidas corregidas} = 1.08 \% + 1.69 \% + 0.87 \% + 0.89 \% = 4.53 \%$$

c) Equivalente de arena de suelos y agregado fino

Con base en la norma MTC E 114, del MTC (2016) y en la NTP 339.146 (2014), se toma una porción de muestra que pasa por la malla n.º 4. En un tarro, se introduce la muestra y se lo rellena hasta el ras; luego, se vierte el tarro con el material en un pequeño recipiente y se lo divide en cuatro partes iguales para tener cuatro ensayos, de los cuales solo se evalúan tres.

Se toman las tres probetas y se las llena con una solución hasta un aproximado de 4"; luego, se procede a introducir el material a cada probeta y se le da un par de golpes; se toma la hora a cada ensayo por 2 minutos.



Figura 40. Extracción de arena de pavimento para cuartear

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 40, se observa la extracción agregado fino (arena para pavimento) para cuartear e introducir en el frasco.



Figura 41. Máquina agitadora
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 42. Líquido Stock y frascos de ensayos con material fino y solución
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 42, se muestran las probetas en reposo después de pasar 1 minuto por la máquina agitadora con la finalidad de separar y observar las diferentes capas de finos.

Hora entrada de saturación: P1 = 3:45 min, P2 = 3:47 min, P = 3:49 min

Luego, se toma 10 minutos a cada ensayo para ver el proceso de saturación.

Salida de saturación: P1 = 3:55 min, P2 = 3:57 min, P3 = 3:59 min

Se procede a llevar manualmente cada ensayo a la máquina agitadora por 1 minuto; posterior a ello, se lava con la solución *stock* las probetas hasta una altura de 14” conteniendo el material para que todo el fino vaya arriba y abajo quede partículas de arena, para luego proceder a la decantación dejándole reposar durante 20 minutos.

Entrada a decantación: P1 = 3:56:27 min, P2 = 3:58:27 min, P3 = 4:00:28 min

Salida decantación: P1 = 4:16:27 min, P2 = 4:18:27 min, P3 = 4:20:28 min

Y se observa dos fases: una es la fase del fino y la otra, la de la arena.

Altura material fino: P1 = 5 pulgadas, P2 = 5.1 pulgadas, P3 = 5 pulgadas

Para tomar la altura de la arena, se procede a utilizar un pisón de 1 kg; se lo introduce a la probeta y se lo deja caer por gravedad.

Altura arena = P1 = 3.6 pulgadas, P2 = 3.6 pulgadas, P3 = 3.7 pulgadas

$$\text{Equivalente arena} = \frac{\text{altura material fino}}{\text{altura arena}} \times 100 \%$$

$$\text{Equivalente arena P1} = \frac{3.6}{5} \times 100 \% = 72 \%$$

$$\text{Equivalente arena P2} = \frac{3.6}{5.1} \times 100 \% = 71 \%$$

$$\text{Equivalente arena P3} = \frac{3.7}{5} \times 100\% = 74 \%$$

$$\text{Promedio de equivalente de arena} = \frac{72 \% + 71 \% + 74 \%}{3} = 72 \%$$

d) Peso específico y absorción del agregado fino

Siguiendo la NTP 400.022 (2013), este ensayo se realiza con material que pasa por la malla n.º 4. La fiola se calibra con agua hasta la marca que tiene el recipiente.

Peso fiola (calibrada con agua) **(A)** = 659.3 g

Procedemos a llenar la fiola con la muestra que pesa 300 g.

Peso fiola (calibrada con agua) + Peso material **(B)** = 959.3 g

Luego, la dejamos saturar por un lapso de 18 horas hasta el siguiente día; se lo decanta para que no se vayan los finos y se introduce al horno hasta tener un secado superficialmente del material.

Peso fiola + agua + material S.S.S **(C)** = 850.8 g

Volumen de la masa + volumen de vacíos **(D)**

$$D = B - C = 959.3 - 850.8 = 108.5 \text{ g}$$

También pesamos 300 g para nuestra absorción que introducimos en el horno.

Peso material seco **(E)** = 296.1 g

Volumen de la masa **(F)**

$$F = D - (\text{peso material S.S.S}) = 108.5 - 3.9 = 104.6 \text{ g}$$

- Peso específico bulk (base seca)

$$\frac{E}{D} = \frac{296.1}{108.5} = 2.729$$

- Peso específico bulk (base saturada)

$$\frac{\text{Material S.S.S}}{D} = \frac{300}{108.5} = 2.729$$

- Peso aparente (base seca)

$$\frac{E}{F} = \frac{296.1}{104.6} = 2.831$$

- Absorción

$$\frac{\text{Peso de material} - (E)}{(E)} \times 100 \% = \frac{300 - 296.1}{296.1} \times 100 \% = 1.32$$



Figura 43. Peso de arena fina en fiola
Fuente: Elaboración propia (2019)

La figura 43 nos muestra la fiola calibrada con agua y la cantidad del agregado fino (arena para pavimento) en la fiola.



Figura 44. Extracción del aire con la bomba de vacío
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 44, se observa la extracción de aire de la fiola calibrada con la con la bomba de vacío con el fin de obtener un nuevo peso.

a) Límite líquido–malla n.º40 y límite plástico–malla n.º40

Con base en las normas MTC E 110 y MTC E 111, del MTC (2016), se toma el material de peso 13.33 g que pasa la malla n.º 40; se lo pone a saturar al ras de una copa de un día para otro y, con el ranurador, se procede a dar 20 golpes hasta cerrar un centímetro.

N.º de tarro = CB

Peso de tarro = 11.89 g

P. Tarro + S. Húmedo = 25.22 g

Luego, se introduce al horno a 120 °C; así, se determina su nuevo peso.

P. tarro + S. seco = 23.18 gr

Agua = (P. tarro + S. húmedo) – (P. Tarro + S. Seco)

Agua = 25.22 – 23.18 = 2.04 g

Suelo seco = P. tarro + S. seco – P. tarro = 23.18 – 11.89 = 11.29 g

Porcentaje de humedad = $\frac{\text{Agua}}{\text{S. seco}} = \frac{2.04}{11.29} \times 100 \% = 18.07 \%$

Debido a que el límite plástico (LP), por su humedad, no forma los rollitos o barras, ya que estos se fracturan con facilidad del ensayo, se deduce que no tiene plasticidad (NP). Por lo tanto, tampoco tiene un índice plástico.



Figura 45. Máquina Cuchara Casagrande

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 44, se muestra la máquina Cuchara Casagrande, donde se adicionará el fino saturado y se hará la abertura para después darle los 20 golpes respectivos.



Figura 46. Comprobando la ranura a un 1 cm
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 46, se exhibe la colocación del agregado fino de la malla N.º 40, en la Máquina Cuchara Casagrande para luego dar 20 golpes con el ranurador hasta cerrar 1 centímetro de la abertura.



Figura 47. Límite plástico
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 47, se exhibe la elaboración de rodillos o hileras con el fino saturado de forma manual, sin que estas se desmoronen para determinar el límite plástico.

b) Lavado en agregados fino

Con base en la norma MTC E 202 del MTC (2016) y en la NTP 400.018 (2013), de nuestra granulometría, lo que pasa la malla n.º 4 del agregado fino, se procede a pesar y se obtiene:

Peso constante del agregado = 487.3 g

Peso de tarro = 99.4 g

De estos pesos lo sumamos

Peso constante del agregado + peso de tarro = 487.3 + 99.4 = 586.7 g

Luego, lo introducimos al horno y lo dejamos saturar 18 horas: obtenemos un peso seco.

Peso constante del agregado (seco) + peso de tarro = 524.4 g

Peso que pasa la malla n.º 200 = (peso constante del agregado + peso de tarro) – (peso constante del agregado (seco) + peso de tarro)

Peso que pasa la malla n.º 200 = 586.7 – 524.4 = 62.3 g

- Porcentaje de muestra del agregado global = 100 – 4 = 96 %
- Porcentaje de material más fino que el tamiz n.º 200

$$\frac{\text{Peso que pasa la malla n.º 200}}{\text{Peso constante del agregado}} \times 100 \% = \frac{62.3}{487.3} \times 100 \% = 12.78 \%$$



Figura 48. Agregado fino Tamiz N.º 200
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 48, se muestra el tamizado del agregado fino en la malla n.º 200.



Figura 49. Peso de agregado fino que pasa la malla N.º 4
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 49, se observa el peso pasante del agregado fino al momento de tamizar la malla n.º 4.

c) Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Riedel-Weber)

Con base en la norma MTC E 220, del MTC (2016), este ensayo es empleado para determinar el grado de afinidad del par fino-ligante bituminoso.

Se emplean 200 gramos de agregado fino, el cual se procede a tamizar por las mallas n.º 30 y n.º 70. Se toma la muestra retenida de la malla n.º 30 y la otra malla se desecha. De la muestra, se obtiene 34 g; luego, se procede a lavarla para tener una mejor adherencia y se la introduce en una estufa, durante una hora, a una temperatura de 110 °C. Después, se la vuelve a sacar y se la mezcla con el ligante hasta tener una masa constante, la cual se deja reposar hasta enfriar. De esa mezcla, se saca 0.5 g de muestra y se la introduce a una varilla de vidrio con 6 cm³ de agua destilada para obtener el primer desprendimiento; se la calienta hasta tener el punto de ebullición y se toma un minuto. Una vez terminado, se procede a agitar por 10 segundos para saber cuánto se desprende. En nuestro caso, se desprendió en el primer ensayo, cuyo desprendimiento parcial fue de 0. Como caso determinativo, se procedió a tomar otra muestra de 0.5 g de mezcla con carbonato de sodio, cuyo desprendimiento total fue de 10. Estos parámetros de desprendimiento se calculan de manera visual.

En conclusión, la arena de pavimento necesita un mejorador de adherencia debido a su desprendimiento, lo cual, según la norma, tiene que ser de tipo amina. En nuestro caso, usamos el aditivo Quimibón.



Figura 50. Horno a 110°C, sacando el ligante bituminoso

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 49, se observa la extracción del ligante, que está a una temperatura de 110 °C, para que después se combine con el agregado fino.



Figura 51. Mezcla de ligante bituminoso con el agregado fino
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 51, se muestra la mezcla del ligante, extraído del horno a una temperatura de 110 °C, con el agregado fino.



Figura 52. Ebullición de ligante bituminoso con agua destilada
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 52, se exhibe la ebullición del ligante con agua destilada para que, después, se hagan los respectivos desprendimientos de mezclas.



Figura 53. Primer y último desprendimiento de la mezcla
Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 53, se observa el primer y el último desprendimiento de la mezcla bituminosa.

d) Sales solubles en agregados para pavimentos flexibles

Según la norma MTC E 219, del MTC (2016), contiene el mismo procedimiento aplicado para sales solubles en agregado grueso con diferente proporcionalidad.

En el ensayo de sales para agregados finos, se procede a realizar de la misma forma que para la grava con diferente relación de 1:3; es decir, se requiere 500 g de arena con 1500 ml de agua debido que la concentración de sales en un fino es mayor.

Dilución = 1:4

Factor = 0.6

Sin dilución = 37.33

Nueva dilución = 1:10

Sales = dilución x factor x nueva dilución = 4 x 0.6 x 37.33 x 10 = 895.92 gr/ml

e) Valor de azul de metileno para arcillas, rellenos minerales finos

Según la norma realizada ASSTHO T 330 - 07, se prepara la muestra de 100 g que pasa la malla n.º 200 y se obtiene el agregado fino. Del retenido, se toman 10 g, que se introducen en un vaso de vidrio con 300 ml de agua destilada para luego ensayar el material con el azul de metileno a una proporción de 0.5 ml por cada 1 minuto. Se procede a señalar, con una varilla de vidrio, todas las muestras en una hoja durante un lapso de tiempo hasta llegar a una aureola pronunciada por el azul de metileno.

Para nuestro caso, se llegó a obtener 10 muestras, de modo que se comprueba, de forma visual, la aureola pronunciada para el punto 32, donde se determina que nuestro fino presenta arcillas.



Figura 54. Reporte de la aureola pronunciada según el azul de metileno

Fuente: Elaboración propia (2019)

En la figura 54, se comprueba la aureola y se indica el contenido de arcilla que tiene el agregado fino.

4.3.3 Diseño de mezcla del pavimento reciclado

4.3.3.1 Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas (RICE)

Con base en la norma MTC E 508, del MTC (2016), se hizo para cinco proporciones de cemento asfáltico, que fueron las siguientes: 3 %, 3.5 %, 4.0%, 4.5 %, 5.0 %. El ensayo consta de un matraz que se tara; luego, es llenado con la muestra más agua destilada hasta cierto punto. Después, se

procede a sacar el aire con la bomba de vacío para que, finalmente, con una aguja que se ubica en la parte superior del matraz que fue introducido, se llene de agua a fin de saber el nuevo volumen.



Figura 55. Porcentajes de cementos asfálticos

Fuente: Elaboración propia (2019)

a) Cemento asfáltico = 3.0 %

Peso muestra suelta (en aire) = **A** = 855 g

Peso matraz + agua (25 °C) = **B** = 1043.7 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta = **C** = 1898.7 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta después del ensayo =

D = 2226.8 g

Volumen = **D** – **C** = 2226.8 – 1898.7 = 328.1 g

Gravedad específica (RICE) = $\frac{A}{\text{Volumen}} = \frac{855}{328.1} = 2.606 \text{ g/c.c.}$

b) Cemento asfáltico = 3.5 %

Peso muestra suelta (en aire) = **A** = 842.5 g

Peso matraz + agua (25 °C) = **B** = 1046.9 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta = **C** = 1889.4 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta después del ensayo =

D = 2215.3 g

Volumen = **D – C** = 2215.3 – 1889.4 = 325.9 g

Gravedad específica (RICE) = $\frac{A}{\text{Volumen}} = \frac{842.5}{325.9} = 2.585 \text{ g/c.c.}$

c) Cemento asfáltico = 4.0 %

Peso muestra suelta (en aire) = **A** = 830.74 g

Peso matraz + agua (25 °C) = **B** = 1040.3 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta = **C** = 1871.04 gr

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta después del ensayo =

D = 2195.04 g

Volumen = **D – C** = 2195.04 – 1871.04 = 324 g

Gravedad específica (RICE) = $\frac{A}{\text{Volumen}} = \frac{830.74}{324} = 2.564 \text{ g/c.c.}$

d) Cemento asfáltico = 4.5 %

Peso muestra suelta (en aire) = **A** = 880.99 g

Peso matraz + agua (25 °C) = **B** = 1025.5 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta = **C** = 1906.49 gr

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta después del ensayo =

D = 2252.79 g

Volumen = **D – C** = 2252.79 – 1906.49 = 346.3 g

Gravedad específica (RICE) = $\frac{A}{\text{Volumen}} = \frac{880.99}{346.3} = 2.544 \text{ g/c.c.}$

e) Cemento asfáltico = 5.0 %

Peso muestra suelta (en aire) = **A** = 918.74 g

Peso matraz + agua (25 °C) = **B** = 1319.2 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta = **C** = 2237.94 g

Peso frasco + agua (25 °C) + muestra suelta después del ensayo =

D = 2601.94 g

Volumen = **D – C** = 2601.94 – 2237.94 = 364.0 g

Gravedad específica (RICE) = $\frac{A}{\text{Volumen}} = \frac{918.74}{364.0} = 2.524 \text{ g/c.c.}$

4.3.3.2 Diseño de mezcla asfáltica en caliente

Siguiendo la norma MTC E 504, del MTC (2016), para realizar el diseño de mezcla, el porcentaje que se debe añadir a cada material se obtuvo en forma proporcional a sus volúmenes, con el fin de hacer cumplir el huso granulométrico de nuestra curva para la mezcla. Respecto de la elaboración de las briquetas, se toma como muestra 1160 g de material en diferentes porcentajes, según la tabla 10.

Tabla 8

Peso de material para mezclas asfálticas

PESOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS						
N.º DE MALLA	N.º DE MALLA	N.º DE MALLA	N.º DE MALLA	N.º DE MALLA	N.º DE MALLA	N.º DE MALLA
Ret. 1/2"	Ret. 1/2"	Ret. 1/2"	Ret. 1/2"	Ret. 1/2"	Ret. 1/2"	Ret. 1/2"
	59.2 gr	7.0 gr		4.6 gr		
Ret. 3/8"	Ret. 3/8"	Ret. 3/8"	Ret. 3/8"	Ret. 3/8"	Ret. 3/8"	Ret. 3/8"
	53.4 gr	88.2 gr		9.3 gr		
Ret. 1/4"	Ret. 1/4"	Ret. 1/4"	Ret. 1/4"	Ret. 1/4"	Ret. 1/4"	Ret. 1/4"
	2.3 gr	32.5 gr	3.5 gr	55.7 gr		
Ret. N.º4	Ret. N.º4	Ret. N.º4	Ret. N.º4	Ret. N.º4	Ret. N.º4	Ret. N.º4
	1.2 gr	95.1 gr	10.4 gr	46.4 gr		
Pas. N.º4	Pas. N.º4	Pas. N.º4	Pas. N.º4	Pas. N.º4	Pas. N.º4	Pas. N.º4
		9.3 gr	334.1 gr	348.0 gr		
Total	Total	Total	Total	Total	Total	

Fuente: Elaboración propia (2019)

Se elaboró un total de 15 briquetas para someterlas al ensayo Marshall. Para llevar a cabo el ensayo, los materiales pétreos ya mezclados se introdujeron en un horno, donde fueron sometidos a temperaturas de 140 °C por 24 horas para luego añadirles el cemento asfáltico en proporciones de 3.0 %, 3.5 %, 4.0 %, 4.5 % y 5.0 %.



Figura 56. Proceso de elaboración de briquetas

Fuente: Elaboración propia (2019)

Se procede a compactar cada molde con 75 golpes (ambas caras); luego se los pone otra vez en el horno a 140 °C por 3 horas para llevar a cabo el ensayo de peso específico y, finalmente, proceder a introducir al baño María por 30 min para su respectiva rotura en el aparato Marshall. Así, se determina su flujo y estabilidad.



Figura 57. Compactación de briquetas
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 58. Briquetas en distintos porcentajes
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 59. Briquetas

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 60. Baño maría

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 61. Aparato Marshall

Fuente: Elaboración propia (2019)

a) Briqueta con 3% de cemento Asfáltico

Tabla 9

Análisis de briqueta al 3.0% de cemento asfáltico

	N.º DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% de C.A. en peso de la mezcla total	3.0			
2	% de agregado grueso (> n.º 4) en peso de la mezcla	38.8			
3	% de agregado fino (<n.º 4) en peso de la mezcla	58.2			
4	% de <i>filler</i> (mínimo 65 % pasa N.º 200) en peso de mezcla	0.0			
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.010			
6	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado grueso (menor 1")	2.747			
7	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado fino	2.729			
8	Peso específico aparente del <i>filler</i>	-			
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.14	6.08	6.13	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1181.2	1181.4	1188.0	
11	Peso briqueta saturada superficialmente seca en aire (g)	1192.8	1191.8	1190.2	
12	Peso briqueta saturada superficialmente seca en agua (g)	695.2	698.6	693.6	
13	Peso del agua absorbida (g)	11.2	10.4	2.2	
14	Volumen briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	497.6	493.2	496.6	
15	Porcentaje de absorción (%)	2.33	2.11	0.44	
16	Peso específico bulk de la briqueta (g/cm³)	2.374	2.395	2.392	2.387
17	Peso específico máximo (rice) - ASTM D 2041	2.606			
18	Porcentaje de vacíos (%)	8.9	8.1	8.2	8.4
19	Peso específico <i>bulk</i> del agregado total (g/cm³)	2.736			
20	V.M.A. (%)	15.8	15.1	15.2	15.4
21	Porcentaje de vacíos llenados con c. a. (%)	43.6	46.5	46.1	45.4
22	Peso específico efectivo del agregado total	2.740			
23	Asfalto absorbido por el agregado total (%)	0.05			
24	Porcentaje de asfalto efectivo (%)	2.95			
25	Flujo (mm)	3.6	3.3	3.3	3.4
26	Estabilidad sin corregir (kg)	1695.8	1695.8	1695.8	
27	Factor de estabilidad	1.04	1.09	1.04	
28	Estabilidad corregida (kg)	1764.0	1848.0	1764.0	1792.0
29	Relación estabilidad/flujo (kg/mm)	4960.0	5596.0	5342.2	5300.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

b) Briqueta con 3.5% de cemento Asfáltico

Tabla 10

Análisis de briqueta al 3.5% de cemento asfáltico

	N.º DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% de C.A. en peso de la mezcla total	3.5			
2	% de agregado grueso (> n.º 4) en peso de la mezcla	38.6			
3	% de agregado fino (<n.º 4) en peso de la mezcla	57.9			
4	% de <i>filler</i> (mínimo 65 % pasa n.º 200) en peso de mezcla	0.0			
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.010			
6	Peso específico bulk seco del agregado grueso (menor 1")	2.747			
7	Peso específico bulk seco del agregado fino	2.729			
8	Peso específico aparente del <i>filler</i>	-			
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.09	6.09	6.08	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1192.4	1195.4	1192.0	
11	Peso briqueta saturada superficialmente seca en aire (g)	1192.8	1198.6	1193.0	
12	Peso briqueta saturada superficialmente seca en agua (g)	699.2	705.0	700.4	
13	Peso del agua absorbida (g)	0.4	3.2	1.0	
14	Volumen briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	493.6	493.6	492.6	
15	Porcentaje de absorción (%)	0.08	0.65	0.20	
16	Peso específico <i>bulk</i> de la briqueta (g/cm³)	2.416	2.422	2.420	2.419
17	Peso específico máximo (rice) - ASTM D 2041	2.585			
18	Porcentaje de vacíos (%)	6.6	6.3	6.4	6.4
19	Peso específico <i>bulk</i> del agregado total (g/cm³)	2.736			
20	V.M.A. (%)	14.8	14.6	14.7	14.7
21	Porcentaje de vacíos llenados con c. a. (%)	55.7	55.8	56.5	56.3
22	Peso específico efectivo del agregado total	2.740			
23	Asfalto absorbido por el agregado total (%)	0.05			
24	Porcentaje de asfalto efectivo (%)	3.45			
25	Flujo (mm)	3.3	3.6	3.6	3.5
26	Estabilidad sin corregir (kg)	1863.1	1863.1	1863.1	
27	Factor de estabilidad	1.09	1.09	1.09	
28	Estabilidad corregida (kg)	2031.0	2031.0	2031.0	2031.0
29	Relación estabilidad/flujo (kg/mm)	6150.8	5711.5	5711.5	5858.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

c) Briqueta con 4.0% de cemento asfáltico

Tabla 11

Análisis de briqueta al 4.0% de cemento asfáltico

	N.º DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% de C.A. en peso de la mezcla total	4.0			
2	% de agregado grueso (> n.º 4) en peso de la mezcla	38.40			
3	% de agregado fino (< n.º 4) en peso de la mezcla	57.60			
4	% de <i>filler</i> (mínimo 65 % pasa n.º 200) en peso de mezcla	0.0			
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.010			
6	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado grueso (menor 1")	2.747			
7	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado fino	2.729			
8	Peso específico aparente del <i>filler</i>	-			
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.04	6.02	5.99	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1200.8	1199.4	1198.8	
11	Peso briqueta saturada superficialmente seca en aire (g)	1202.0	1200.2	1200.6	
12	Peso briqueta saturada superficialmente seca en agua (g)	712.0	712.0	715.0	
13	Peso del agua absorbida (g)	1.2	0.8	1.8	
14	Volumen briqueta saturada superficialmente seca (cm³)	490.0	488.2	485.6	
15	Porcentaje de absorción (%)	0.24	0.16	0.37	
16	Peso específico <i>bulk</i> de la briqueta (g/cm³)	2.451	2.457	2.469	2.459
17	Peso específico máximo (rice) - ASTM D 2041	2.564			
18	Porcentaje de vacíos (%)	4.4	4.2	3.7	4.1
19	Peso específico <i>bulk</i> del agregado total (g/cm³)	2.736			
20	V.M.A. (%)	14.0	13.8	13.4	13.7
21	Porcentaje de vacíos llenados con c. a. (%)	68.4	69.7	72.2	70.1
22	Peso específico efectivo del agregado total	2.740			
23	Asfalto absorbido por el agregado total (%)	0.05			
24	Porcentaje de asfalto efectivo (%)	3.95			
25	Flujo (mm)	4.1	3.6	4.1	3.9
26	Estabilidad sin corregir (kg)	1922.6	1922.6	1922.6	
27	Factor de estabilidad	1.09	1.09	1.09	
28	Estabilidad corregida (kg)	2096.0	2096.0	2096.0	2096.0
29	Relación estabilidad/flujo (kg/mm)	5157.5	5894.3	5157.5	5403.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

d) Briqueta con 4.5% de cemento asfáltico

Tabla 12

Análisis de briqueta al 4.5% de cemento asfáltico

	N.º DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% de C.A. en peso de la mezcla total	4.5			
2	% de agregado grueso (> n.º 4) en peso de la mezcla	38.2			
3	% de agregado fino (< n.º 4) en peso de la mezcla	57.3			
4	% de Filler (mínimo 65% pasa n.º 200) en peso de mezcla	0.0			
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.010			
6	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado grueso (menor 1")	2.747			
7	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado fino	2.729			
8	Peso específico aparente del <i>filler</i>	-			
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.03	5.89	5.89	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1202.4	1199.2	1199.2	
11	Peso briqueta saturada superficialmente seca en aire (g)	1202.6	1200.0	1200.0	
12	Peso briqueta saturada superficialmente seca en agua (g)	714.0	715.0	715.0	
13	Peso del agua absorbida (g)	0.2	0.8	0.8	
14	Volumen briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	488.6	485.0	485.0	
15	Porcentaje de absorción (%)	0.04	0.16	0.16	
16	Peso específico <i>bulk</i> de la briqueta (g/cm ³)	2.461	2.473	2.473	2.469
17	Peso específico máximo (rice) - ASTM D 2041	2.544			
18	Porcentaje de vacíos (%)	3.3	2.8	2.8	2.9
19	Peso específico <i>bulk</i> del agregado total (g/cm ³)	2.736			
20	V.M.A. (%)	14.1	13.7	13.7	13.8
21	Porcentaje de vacíos llenados con c. a. (%)	77.0	79.6	79.6	78.7
22	Peso específico efectivo del agregado total	2.739			
23	Asfalto absorbido por el agregado total (%)	0.05			
24	Porcentaje de asfalto efectivo (%)	4.45			
25	Flujo (mm)	4.3	4.3	4.6	4.4
26	Estabilidad sin corregir (kg)	1898.9	1898.9	1898.9	
27	Factor de estabilidad	1.09	1.09	1.09	
28	Estabilidad corregida (kg)	2070.0	2070.0	2070.0	2070.0
29	Relación estabilidad/flujo (kg/mm)	4793.9	4793.9	4527.6	4705.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

e) Briqueta con 5.0% de cemento asfáltico

Tabla 13

Análisis de briqueta al 5.0% de cemento asfáltico

	N.º DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% de C.A. en peso de la mezcla total	5.0			
2	% de agregado grueso (> n.º 4) en peso de la mezcla	38.0			
3	% de agregado fino (< n.º 4) en peso de la mezcla	57.0			
4	% de <i>filler</i> (mínimo 65 % pasa n.º 200) en peso de mezcla	0.0			
5	Peso específico del cemento asfáltico - aparente	1.010			
6	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado grueso (menor 1")	2.747			
7	Peso específico <i>bulk</i> seco del agregado fino	2.729			
8	Peso específico aparente del <i>filler</i>	-			
9	Altura promedio de la briqueta (cm)	6.13	6.10	6.10	
10	Peso de la briqueta al aire (g)	1212.0	1209.0	1209.0	
11	Peso briqueta saturada superficialmente seca en aire (g)	1212.4	1209.2	1209.2	
12	Peso briqueta saturada superficialmente seca en agua (g)	715.2	714.6	715.0	697.5
13	Peso del agua absorbida (g)	0.4	0.2	0.2	
14	Volumen briqueta saturada superficialmente seca (cm ³)	497.2	494.6	494.2	
15	Porcentaje de absorción (%)	0.08	0.04	0.04	
16	Peso específico <i>bulk</i> de la briqueta (g/cm ³)	2.438	2.444	2.446	2.443
17	Peso específico máximo (rice) - ASTM D 2041	2.524			
18	Porcentaje de vacíos (%)	3.4	3.1	3.1	3.2
19	Peso específico <i>bulk</i> del agregado total (g/cm ³)	2.736			
20	V.M.A. (%)	15.4	15.1	15.1	15.2
21	Porcentaje de vacíos llenados con c. a. (%)	77.9	79.3	79.7	79.0
22	Peso específico efectivo del agregado total	2.740			
23	Asfalto absorbido por el agregado total (%)	0.05			
24	Porcentaje de asfalto efectivo (%)	4.95			
25	Flujo (mm)	5.3	5.6	5.3	5.4
26	Estabilidad sin corregir (kg)	1686.4	1610.9	1592.0	
27	Factor de estabilidad	1.04	1.09	1.09	
28	Estabilidad corregida (kg)	1754.0	1756.0	1735.0	1748.0
29	Relación estabilidad/flujo (kg/mm)	3288.3	3142.4	3252.7	3228.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Interpretación de los resultados en laboratorio

5.1.1 Mezcla asfáltica reciclada

5.1.1.1 Porcentaje de asfalto

El material reciclado de la carpeta asfáltica tiene un contenido del 3% de cemento asfáltico y, según a las especificaciones técnicas, se debe adicionar un porcentaje de cemento asfáltico extra para emplear el diseño Marshall.

5.1.1.2 Análisis granulométrico del material reciclado

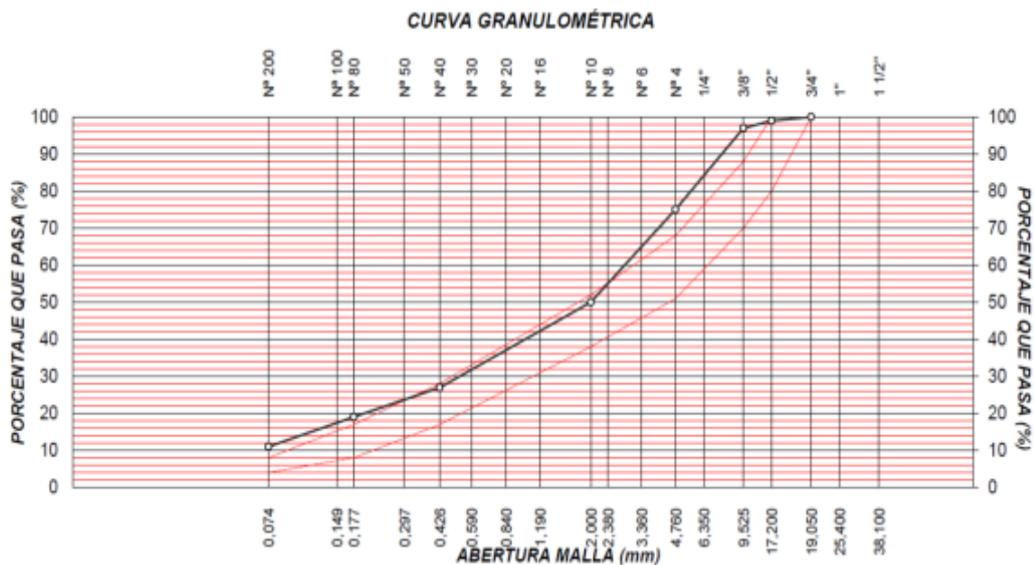


Figura 62. Curva granulométrica del material reciclado

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 14

Análisis granulométrico del material reciclado

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACION MAC-2
1 1/2"	38,100			
1"	25,400			
3/4"	19,050		100,0	100
1/2"	12,700	1,0	99,0	80 – 100
3/8"	9,525	2,0	97,0	70 – 88
1/4"	6,350	12,0	85,0	
N.º 4	4,760	10,0	75,0	51 – 68
N.º 6	3,360	12,0	63,0	
N.º 8	2,380	9,0	54,0	
N.º 10	2,000	4,0	50,0	38 – 52
N.º 16	1,190	10,0	40,0	
N.º 20	0,840	5,0	35,0	
N.º 30	0,590	4,0	31,0	
N.º 40	0,426	4,0	27,0	17 – 28
N.º 50	0,297	4,0	23,0	
N.º 80	0,177	4,0	19,0	8 – 17
N.º 100	0,149	5,0	14,0	
N.º 200	0,074	3,0	11,0	4 – 8
N.º 200		11,0		

Fuente: Elaboración propia (2019)

De la figura 62, se observa la curva granulométrica donde podemos inducir que el material de agregado fino con respecto malla n.º 4, para arriba, tiene deficiencia de gruesos y para abajo tiene exceso de finos. Para ello se estipula el análisis de los demás agregados pétreos de adición con el fin de observar el control de calidad que cumplan con lo requerido por el manual de carreteras: *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG – 2013)*.

5.1.2 Calidad del agregado grueso

5.1.2.1 Análisis granulométrico del agregado grueso

a) Granulometría Huso 67

Tabla 15.

Análisis granulométrico del agregado grueso piedra huso 67

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO PIEDRA HUSO 67		
	ABERTURA (mm)	RETENIDO (%)	PASANTE (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		100
1/2"	12.700	51	49
3/8"	9.525	46	3
1/4"	6.350	2	1
N.º 4	4.760	1	
N.º 6	3.360		
N.º 8	2.380		
N.º 10	2.000		
N.º 16	1.190		
N.º 20	0.840		
N.º 30	0.590		
N.º 40	0.426		
N.º 50	0.297		
N.º 80	0.177		
N.º 100	0.149		
N.º 200	0.074		
-200			

Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 63. Curva granulométrica del agregado grueso Huso 67

Fuente: Elaboración propia (2019)

b) Granulometría confitillo

Tabla 16

Análisis granulométrico del agregado grueso confitillo

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO CONFITILLO		
	ABERTURA (mm)	RETENIDO (%)	PASANTE (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		100
1/2"	12.700	3	97
3/8"	9.525	38	59
1/4"	6.350	14	45
N.º 4	4.760	41	4
N.º 6	3.360	1	3
N.º 8	2.380	1	2
N.º 10	2.000	1	1
N.º 16	1.190	1	-
N.º 20	0.840		
N.º 30	0.590		
N.º 40	0.426		
N.º 50	0.297		
N.º 80	0.177		
N.º 100	0.149		
N.º 200	0.074		
-200			

Fuente: Elaboración propia (2019)

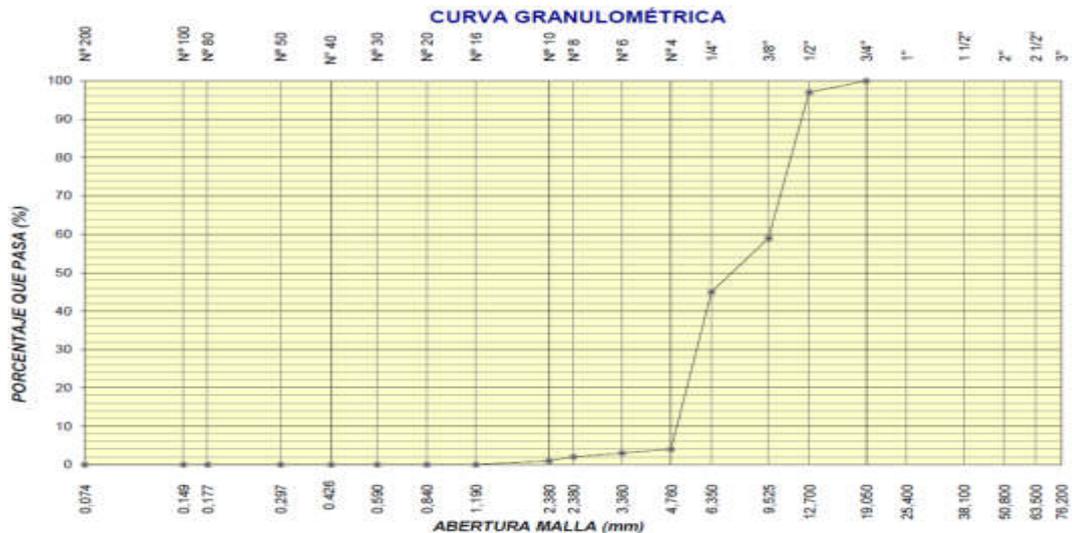


Figura 64. Curva granulométrica del agregado grueso confitillo

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.2.2 Resumen de los ensayos de calidad del agregado grueso

Tabla 17

Resumen de requerimientos para los agregados gruesos

PIEDRA HUSO 67					
ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS		RESULTADO	CUMPLIMIENTO
		MÍNIMO	MÁXIMO		
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18%	1.97%	Si
Abrasión los ángulos	MTC E 207	-	40%	16.48%	Si
Peso específico y absorción	MTC E 206	-	1.0%	0.48%	Si
Partículas chatas y alargadas	MTC E 223 – ASTM D-4791	-	10%	4.1%	Si
Porcentaje de caras fracturadas	MTC E 210	85/50	-	95.7/88	Si
Adherencia de ligantes bituminosos	MTC E 517	-	+95	+95	Si
Sales solubles	MTC E 219	-	0.5%	0.0116%	Si

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.3 Calidad del agregado fino

5.1.3.1 Análisis granulométrico del agregado fino

Tabla 18

Análisis granulométrico de la arena para pavimento

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO		
	ARENA PARA PAVIMENTO		
	ABERTUR A (mm)	RETENIDO (%)	PASANTE (%)
3"	76,200		
2 1/2"	63,500		
2"	50,800		
1 1/2"	38,100		
1"	25,400		
3/4"	19,050		
1/2"	12,700		
3/8"	9,525		100
1/4"	6,350	1	99
N.º 4	4,760	3	96
N.º 6	3,360	6	90
N.º 8	2,380	9	81
N.º 10	2,000	4	77
N.º 16	1,190	14	63
N.º 20	0,840	8	55
N.º 30	0,590	9	46
N.º 40	0,426	9	37
N.º 50	0,297	6	31
N.º 80	0,177	8	23
N.º 100	0,149	3	20
N.º 200	0,074	8	12
-200		12	-

Fuente: Elaboración propia (2019)

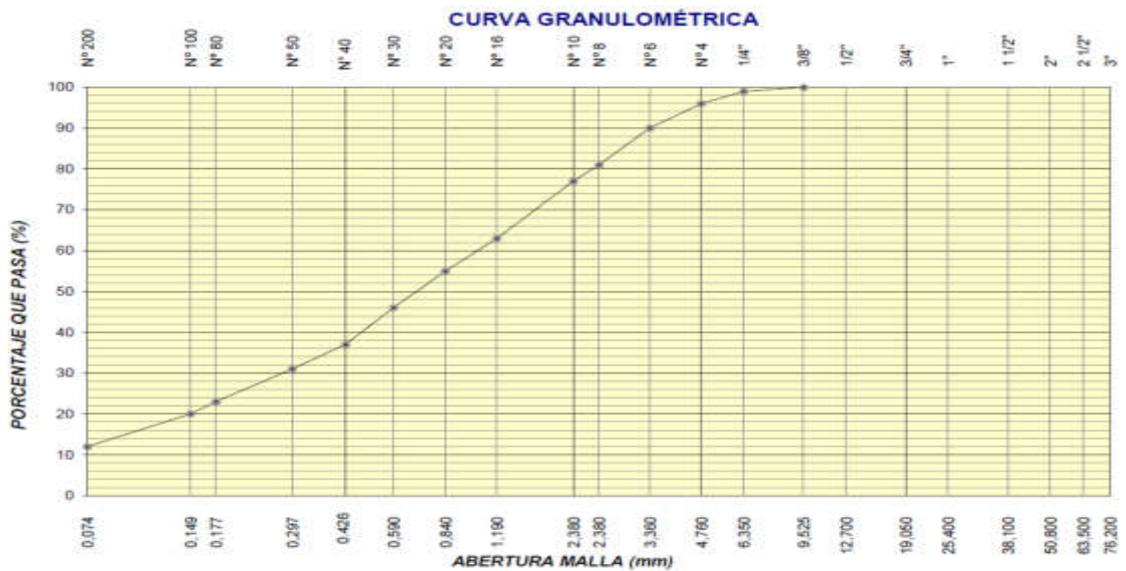


Figura 65. Curva granulométrica del agregado fino Arena de pavimento

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.3.2 Resumen de los ensayos de calidad del agregado fino

Tabla 19

Resumen de requerimientos para los agregados finos

ARENA PARA PAVIMENTOS					
ENSAYOS	NORMA	REQUISITOS		RESULTADO	CUMPLIMIENTO
		MÍNIMO	MÁXIMO		
Durabilidad (al sulfato de magnesio)	MTC E 209	-	18%	4.53%	Si
Equivalente de arena	MTC E 114	60	-	72%	Si
Peso específico y absorción	MTC E 205	-	0.5%	1.32%	No
Índice de plasticidad (malla N.º40)	MTC E 111	NP	NP	NP	-
Lavado en agregado	NTP 400.018	-	15	12.3%	Si
Riedel weber	MTC E 220	-	5	0	No
Sales solubles	MTC E 219	-	0.5%	0.0896%	Si
Azul de metileno	ASSTHO T 330 - 07	-	8	15.5	No

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Diseño de mezcla asfáltica en caliente

5.1.4.1 Porcentajes para el diseño de la nueva mezcla

Tabla 20

Porcentaje de la mezcla corregida

DISEÑO DE MEZCLA		
1	Material reciclado	40%
2	Piedra huso 67	10%
3	Confitillo	20%
4	Arena para pavimento	30%

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.4.2 Granulometría para la mezcla mejorada

Tabla 21

Análisis granulométrico de la mezcla corregida

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACION MAC-2
1 1/2"	38,100			
1"	25,400			
3/4"	19,050		100.0	100
1/2"	12,700	6.1	93.9	80 – 100
3/8"	9,525	13.0	80.9	70 – 88
1/4"	6,350	8.1	72.8	
N.º 4	4,760	13.2	59.6	51 – 68
N.º 6	3,360	6.8	52.8	
N.º 8	2,380	6.5	46.3	
N.º 10	2,000	3.0	43.3	38 – 52
N.º 16	1,190	8.4	34.9	
N.º 20	0.840	4.4	30.5	
N.º 30	0.590	4.3	26.2	
N.º 40	0.426	4.3	21.9	17 – 28
N.º 50	0.297	3.4	18.5	
N.º 80	0.177	4.0	14.5	8 – 17
N.º 100	0.149	2.9	11.6	
N.º 200	0,074	3.6	8.0	4 – 8
N.º 200		8.0	-	

Fuente: Elaboración propia (2019)

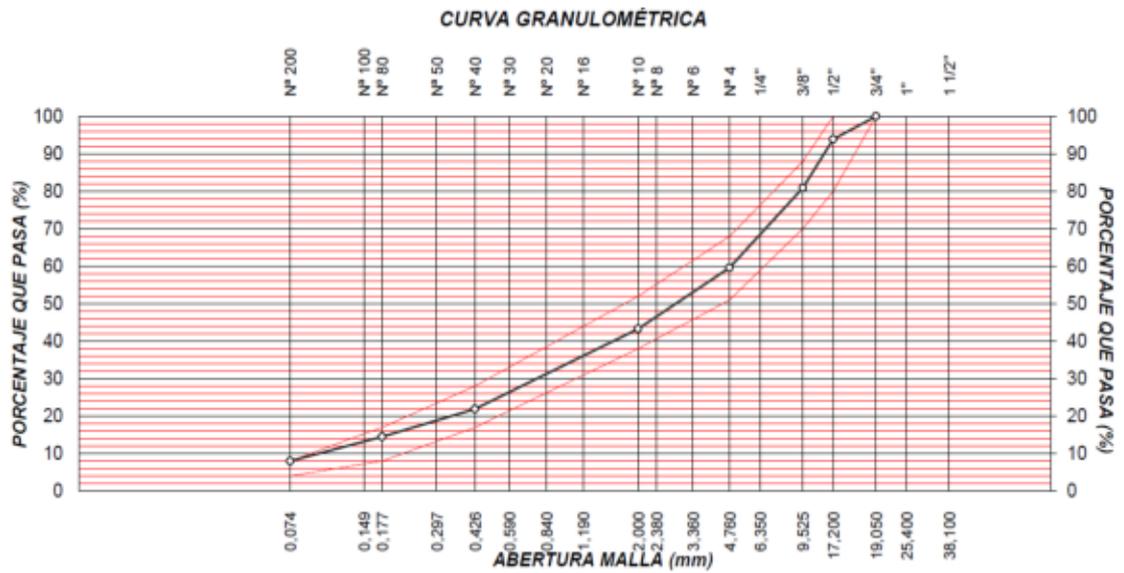


Figura 66. Curva granulométrica de la mezcla corregida
Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.4.3 Ensayo Marshall de la mezcla mejorada

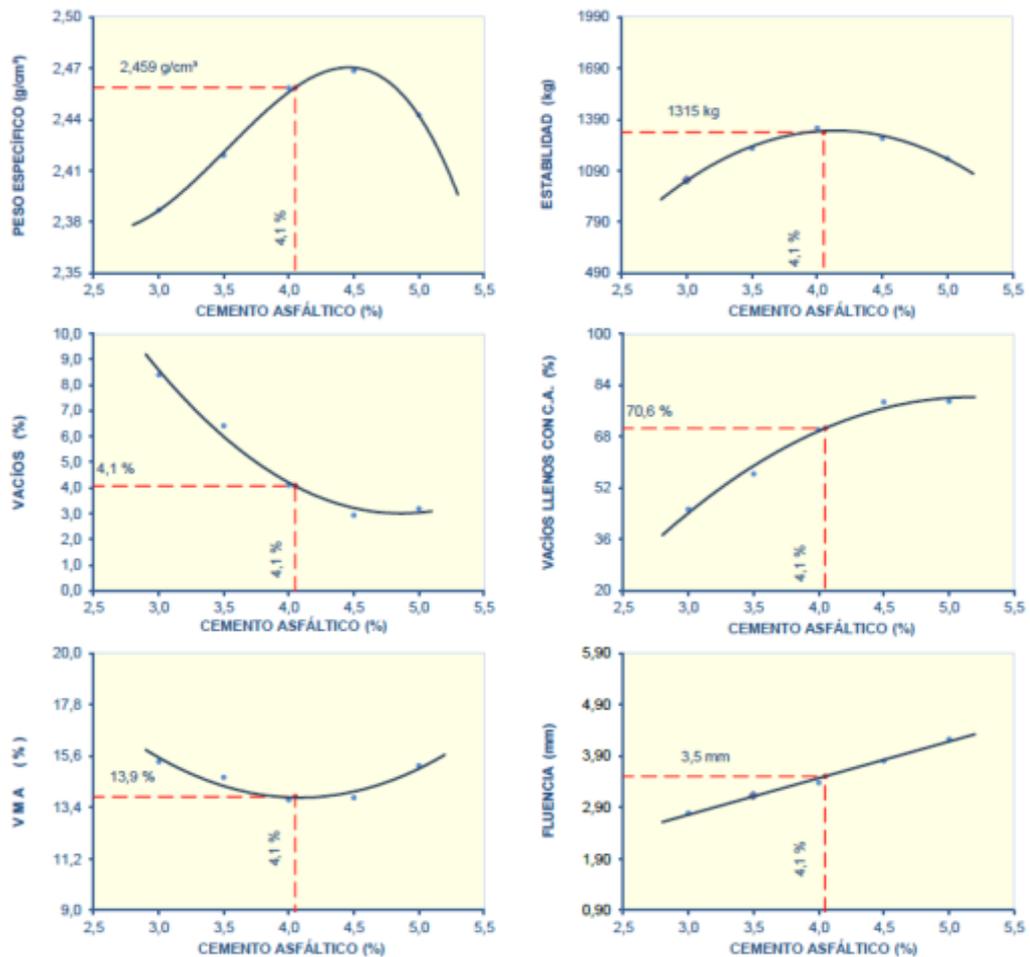


Figura 67. Gráficas de resistencia bituminosa corregida
Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.4.4 Comportamiento de la mezcla mejorada

Tabla 22

Características Marshall de la mezcla corregida

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA MEJORADA		
N.º de golpes por cara	75	
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	4.1	
Peso específico bulk (g/cm ³)	2.459	
Vacíos (%)	4.1	
Vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	70.6	
V.M.A. (%)	13.9	
Estabilidad (kg), (kN)	1315.4	(12.90)
Flujo (mm) (10-2 pulg)	3.5	(13.8)
Absorción de asfalto (%)	0,05	
Relación de estabilidad / Flujo (kg/cm), (lb/pulg)	3748.0	(9.0)
Temperatura de la mezcla (°C)	140 - 145	

Fuente: Elaboración propia (2019)

5.1.5 Diseño de mezcla asfáltica en caliente convencional

Para el diseño de la mezcla del pavimento convencional, utilizado en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta a Huayllay, el ensayo correspondiente fue realizado por Cesel Ingenieros S.A.

5.1.5.1 Porcentajes en el diseño de la mezcla convencional

Tabla 23

Porcentaje de la mezcla convencional

DISEÑO DE MEZCLA		
1	Piedra chancada	35%
2	Arena chancada	65%

Fuente: Cesel Ingenieros S.A.

5.1.5.2 Granulometría para la mezcla convencional

Tabla 24

Análisis granulométrico de la mezcla convencional

MALLA SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACION MAC-2
1 1/2"	38,100			
1"	25,400			
3/4"	19,050		100.0	100
1/2"	12,700	6.0	94.0	80 – 100
3/8"	9,525	12.8	81.2	70 – 88
1/4"	6,350	8.1	73.1	
N.º 4	4,760	13.2	59.9	51 – 68
N.º 6	3,360	6.8	53.1	
N.º 8	2,380	6.5	46.6	
N.º 10	2,000	3.0	43.6	38 – 52
N.º 16	1,190	8.4	35.2	
N.º 20	0.840	4.4	30.8	
N.º 30	0.590	4.3	26.5	
N.º 40	0.426	4.3	22.2	17 – 28
N.º 50	0.297	3.4	18.8	
N.º 80	0.177	4.0	14.8	8 – 17
N.º 100	0.149	2.9	11.9	
N.º 200	0,074	2.8	9.1	4 – 8
N.º 200		9.1	-	

Fuente: Cesel Ingenieros S.A.

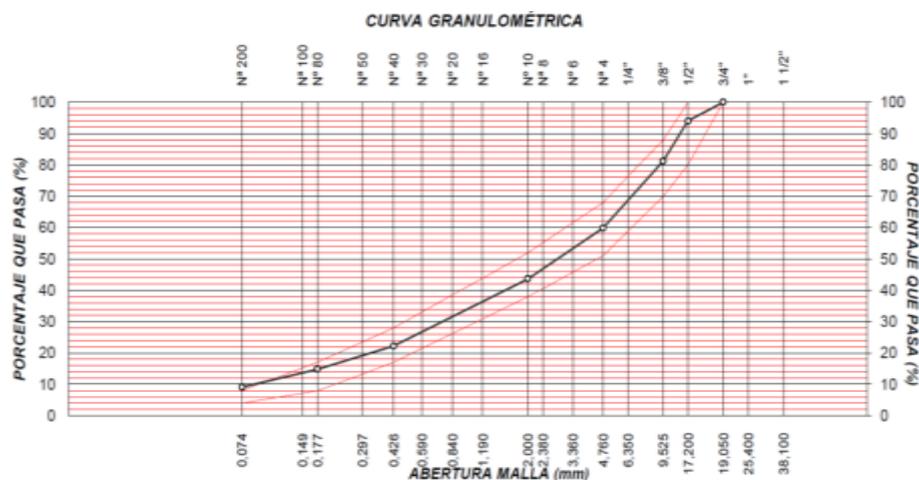


Figura 68. Curva granulométrica de la mezcla convencional

Fuente: Cesel Ingenieros S.A.

5.1.5.3 Ensayo Marshall de la mezcla convencional

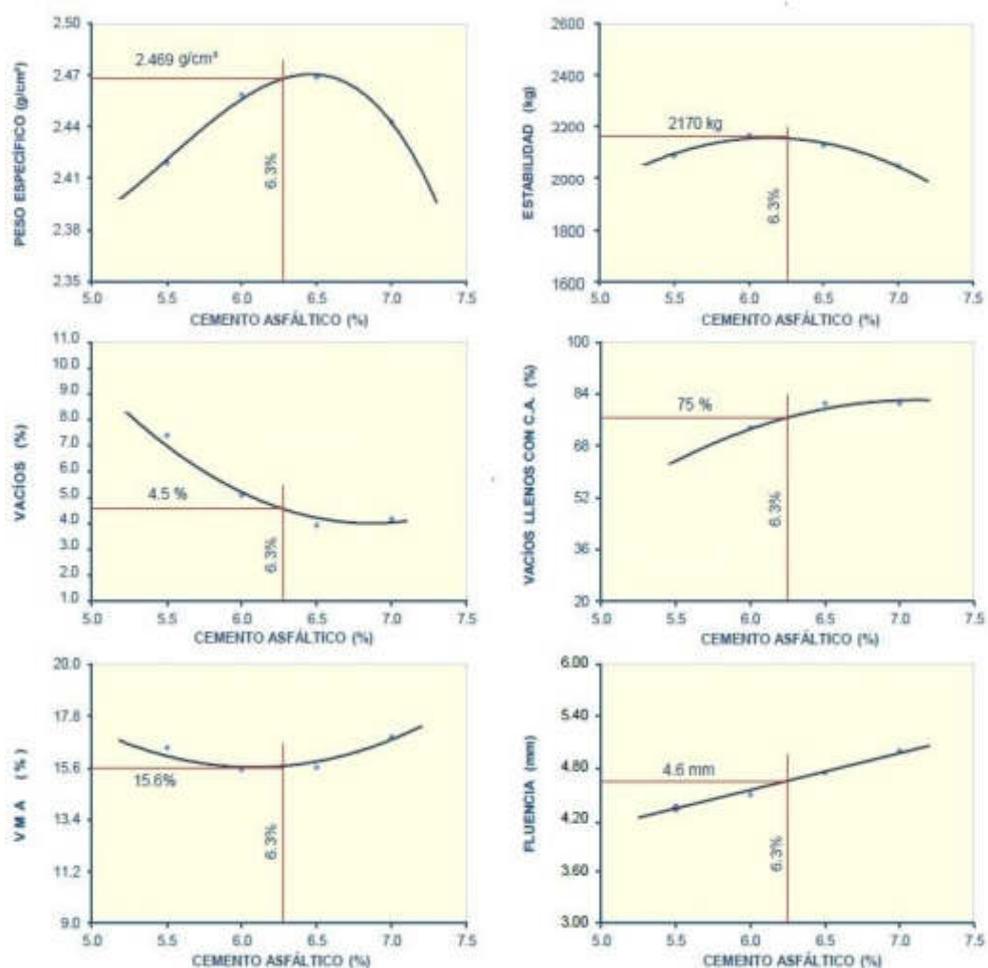


Figura 69. Gráficas de resistencia bituminosa convencional

Fuente: Cesel Ingenieros S.A.

5.1.5.4 Comportamiento de la mezcla convencional

Tabla 25

Característica Marshall de la mezcla convencional

CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA CONVENCIONAL	
Nº de golpes por cara	75
Contenido óptimo de cemento asfáltico (%)	6.3
Peso Específico bulk (g/cm ³)	2.469
Vacíos (%)	4.5
Vacíos llenos con cemento asfáltico (%)	75
V.M.A. (%)	15.6
Estabilidad (kg), (kN)	2170.0 (21.28)
Flujo (mm) (10-2 pulg)	4.6 (18.1)
Absorción de Asfalto (%)	0,05
Relación de estabilidad / Flujo (kg/cm), (lb/pulg)	4717.0 (12.0)
Temperatura de la mezcla (°C)	140 - 145

Fuente: Cesel Ingenieros S.A.

5.1.6 Análisis comparativo de las resistencias bituminosas del pavimento reciclado y convencional

A continuación, se muestra un cuadro comparativo de la mezcla mejorada con la mezcla convencional según las características Marshall de cada mezcla.

Tabla 26
Características Marshall para pavimento reciclado y convencional

Datos	Pavimento reciclado		Pavimento convencional		Requisitos	
					Mínimo	Máximo
N.º de golpes por cara	75		75		-	-
Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico (%)	4.1		6.3		7.0	7.5
Peso Específico bulk (g/cm ³)	2.459		2.469		-	-
Vacíos (%)	4.1		4.5		3	5
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico (%)	70.6		75		-	-
V.M.A. (%)	13.9		15.6		-	-
Estabilidad (kg), (kN)	1315.4	(12.90)	2170.0	(21.28)	830.5	-
Flujo (mm) (10-2 pulg)	3.5	(13.8)	4.6	(18.1)	8	14
Absorción de Asfalto (%)	0,05		0.05		-	-
Relación Estabilidad / Flujo (kg/cm), (lb/pulg)	3748.0	(9.0)	4717.0	(12.0)	1700	4000
Temperatura de la Mezcla (°C)	140 - 145		140 - 145		-	-

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Con respecto al cuadro comparativo del pavimento reciclado con el pavimento convencional, se aprecia que el pavimento reciclado cumple con las especificaciones técnicas establecidas en la guía del MTC (2013); por el contrario, el convencional no cumple con dichas especificaciones, evidenciando la observación de que la primera es mejor que la segunda.
- Se observa que el contenido óptimo de cemento asfáltico del pavimento convencional incumple con los requisitos propuestos por las especificaciones técnicas del MTC (2013). Por tal, se constata el aumento de estabilidad.
- Respecto al porcentaje de vacíos, ambos se encuentran dentro de las especificaciones establecidas por el MTC (2013).

- Tomando en cuenta los resultados obtenidos de V.M.A., es posible afirmar que el pavimento convencional contiene más cemento asfáltico en los vacíos de agregado mineral que el pavimento reciclado.
- De los resultados de estabilidad y flujo de ambos pavimentos, se observa que el pavimento reciclado cumple con las especificaciones técnicas del MTC (2013); mientras que el convencional la incumple. Donde el pavimento reciclado suele tener una ligera tendencia a fallas por fragilidad, mientras que en el pavimento convencional suele deformarse fácilmente.
- Para la relación estabilidad-flujo (índice de rigidez), se verifica que el pavimento convencional tiene resultados inferiores al pavimento reciclado; esto quiere decir el pavimento reciclado es menos rígido que el pavimento convencional, por lo que se flexionará menos, será más frágil y más resistente a la deformación; mientras que para el pavimento convencional será todo lo contrario.

5.1.7 Análisis económico de precios unitarios para el pavimento reciclado y convencional

Para determinar la diferencia económica de costos entre la pavimentación con pavimento reciclado o pavimento convencional, se debe tener en cuenta la mano de obra, el uso materiales y equipos y el flete por transporte de agregados de un lugar a otro; empleando el mismo proceso, pero se debe tener énfasis en la diferencia de materiales utilizados en el análisis de reutilización del material antiguo con la fabricación del material nuevo, sabiendo en que proporciones deben estar dichos materiales.

Tabla 27

Análisis de precios unitarios para el pavimento convencional

Mezcla asfáltica convencional en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Arena chancada	m3	0.48	76.5	36.72
Piedra chancada	m3	0.26	69.5	18.07
Cemento asfáltico	galón	36.30	6.0	217.80
Total				272.59

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 28

Análisis de precios unitarios para el pavimento reciclado

Mezcla asfáltica reciclada en caliente			Unidad: m3	
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio S/	Parcial S/
Arena chancada	m3	0.40	76.5	30.60
Piedra chancada	m3	0.34	69.5	23.63
Cemento asfáltico	galón	30.60	6.0	183.6
Total				237.83

Fuente: Elaboración propia (2019)

A partir de las tablas se indica lo siguiente:

- La mezcla asfáltica reciclada en caliente es 12.75% más barato que la mezcla asfáltica convencional.
- Un ahorro se produce en el uso del cemento asfáltico de 16.36% con respecto a la variación de los costos de cada pavimento.
- Respecto a la arena chancada se tuvo un 16.67% de ahorro en relación a la variación de costos, el cual tiene una incidencia relativa en el cemento asfáltico.
- Debido al ahorro del 40% de reciclado se pudo obtener un ahorro en cada proporción del material utilizado en el nuevo diseño del material reciclado.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 Contrastación con hipótesis

6.1.1 Hipótesis específica 1

Incrementando el porcentaje de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica, con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019.

Según se validó en los resultados, para la mezcla asfáltica reciclada, dentro de los ensayos realizados, se obtuvo un cemento asfáltico de 3% inicialmente; posteriormente, para mejorar su estabilidad y flujo, se realizó el incremento en su porcentaje de cemento asfáltico en 4.1% adicional; obteniendo una mejora en el comportamiento mecánico, cumpliendo con las especificaciones técnicas del contenido óptimo del cemento asfáltico, el cual lo determina el diseño Marshall. Por lo tanto, se valida la hipótesis 1.

6.1.2 Hipótesis específica 2

Incrementando la cantidad de agregado grueso a la mezcla asfáltica con material reciclado, se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019.

Producto a la granulometría obtenida del reciclado, se observó un alto porcentaje de material fino (75%) y bajo porcentaje de material grueso (25%), donde la curva granulométrica no se encontraba dentro de los husos

correspondiente de acuerdo a la gradación de la MAC; para corregir la curva solo se utilizó un 40% del material de carpeta asfáltica reciclada y se incrementó un 10% de piedra huso 67 y 20% de piedra confitillo, además de un incremento de 30% en agregado grueso. Por lo tanto, se válida la hipótesis 2.

6.1.3 Hipótesis específica 3

Incrementando la cantidad de agregado fino a la mezcla asfáltica con material reciclado se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera de Canta a Huayllay ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019.

De acuerdo a la granulometría obtenida por el reciclado, la curva granulométrica no está dentro de los husos requeridos para una MAC-2, dado que el material fino está en alta proporción (75%) y el material grueso está en baja proporción (25%); para corregir la curva granulométrica se utilizó un 40% de material de carpeta asfáltica reciclada y se incrementó un 30% de agregado fino (arena para pavimento), ya que no solo contiene este material, si no también restos de gravillas. Por lo tanto, se válida la hipótesis 3.

6.2 Contrastación con Antecedentes

6.2.1 Antecedentes nacionales

En el trabajo de investigación de Rengifo & Vargas (2017), se estudió comparativamente las características físicas del pavimento convencional con el reciclado; demostrando un ahorro de agregado grueso y fino en un 40%. Se observó una mejora de la carpeta asfáltica, en contraste con la tesis propuesta, para la cantidad de uso de material grueso y fino, que para este estudio se usó un 60%, proyectando así un mejor desarrollo en su diseño de mezcla.

Chuman (2017) evaluó el reciclado del pavimento flexible de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente en porcentajes de 15%, 20% y 25% de adición a la nueva mezcla asfáltica, incluyendo un nuevo diseño Marshall de la mezcla con el material reciclable, adicionando en una MAC-2

el mejor porcentaje de agregado grueso reciclado de 25%. Donde se obtuvo una rigidez de 2823.4 kg/cm; en contraste con esta tesis, se tiene una diferencia en el MAC-2, ya que la utilización en nuestro reciclado fue de 40%, con una rigidez de 3748 kg/cm, con un rango óptimo a pesar de ser material reciclado.

6.2.2 Antecedentes Internacionales

En el trabajo de investigación de Méndez (2015), realizó estudios comparativos en cuanto a las propiedades físicas y dinámicas de las mezclas asfálticas recicladas, demostrando un buen comportamiento; en ese estudio se utilizó un 40% del RAP con los agregados vírgenes y, según el ensayo Marshall, se obtuvo un 3% de cemento asfáltico, donde se usó agentes rejuvenecedores para obtener una estabilidad de 2200 kg/cm. En contraste con nuestra tesis, tiene ciertas características comunes con el cemento asfáltico, por tener un 3% de la diferencia de estabilidad: 3748, cumpliendo con la norma técnica del MTC (2013). Sin embargo, se debe mencionar que el rango es de 1700 a 4000, donde más alto sea la rigidez, posiblemente sufra deformaciones en futuro.

Cancinos (2013) analizó la superficie de rodadura, observando la parte estructural con material reciclado de frío *in situ*, con asfalto espumado; en este se emplearon agentes estabilizadores para optimizar las propiedades de los agregados asfálticos; así, para esta tesis, se adicionaron a la mezcla para darle resistencia, calidad y durabilidad al diseño. Donde el pavimento de este estudio cumple con estos requisitos de calidad de agregados en porcentaje de grueso 30% y fino 30%.

CONCLUSIONES

1. Respecto al diseño de la 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 de Canta a Huayllay, se identificó que la carpeta asfáltica se encuentra en mal estado al ser contrastado en el huso granulométrico de una MAC-2.
2. Dentro de la evaluación a 15 briquetas, en distintos porcentajes de cemento asfáltico, se verificó el porcentaje de cemento asfáltico que debe incrementarse: un 4.1% de adición al 3% obtenido al inicio del lavado asfáltico, sumando un total de 7.1% de cemento asfáltico requerido.
3. Al realizar la curva granulométrica del pavimento reciclado, se observó con respecto a la malla n.º 4, hacia arriba, existe una deficiencia de agregado grueso; puesto que no cumple con los husos granulométricos. La que se corrigió incrementando la cantidad de agregado grueso en un 30%, en relación a la piedra huso 67 de 10%, y al confitillo de 20%.
4. Al realizar la corrección de los agregados gruesos, dentro del material reciclado, se determinó una deficiencia en el agregado fino, la que la deja fuera del huso granulométrico, la que se volvió a corregir incrementando la cantidad de agregado fino en un 30%, la que resulta, principalmente, arena de pavimento.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar correctamente el material reciclado con respecto al lavado asfáltico, conociendo que 3% es el porcentaje de cemento asfáltico ideal para que cumpla con los parámetros exigidos en la norma del MTC (2013)
2. Realizar un correcto control de calidad de los agregados pétreos de adición para la nueva mezcla con el fin de cumplir las normas que exige el MTC (2013).
3. Evaluar el uso de mejoradores de adherencia para el reciclado; los que se añadirán como nuevo componente para la mezcla.
4. Reciclar un material al 40% disminuye generalmente el costo, en la adición para nuevos agregados pétreos. Asimismo, tener en cuenta que el reciclado del material tiene estar determinado en base al diseño Marshall y a las normas establecidas del MTC (2013).

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Abad, H. (2016). *Análisis comparativo del reciclado con asfalto espumado y la técnica convencional en la conservación periódica de la carretera Conococha Huaraz 2010-2011*. (Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo) Recuperado de: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1449>
- Barajas, E. (2017). *Análisis comparativo del sistema de gestión de los pavimentos o mantenimiento vial de la ciudad de Bogotá con la ciudad de Sao Paulo*. (Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia). Recuperado de: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15235/1/AN%C3%81LISIS%20COMPARATIVO%20DEL%20SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20DE%20LOS%20PAVIMENTOS%20O%20MANTENIMIENTO%20VIAL%20DE%20LA%20CIUDAD%202.pdf>
- Botasso, H. G., Cuattrocchio, A. C., Rebollo, O. R., & Soengas, C. J. (s.f). *Reciclado de pavimentos asfálticos en frío. Una forma de utilizar totalmente el RAP para el mantenimiento y rehabilitación de la red caminera*. Recuperado de: https://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2008_Reciclado-de-Pavimentos-Asf%C3%A1lticos-en-Fr%C3%80o_6%C2%BAPROCQMA.pdf
- Cancinos, G. (2013). *Reciclado en frío in situ en la rehabilitación de pavimentos flexibles con asfalto espumado y recomendación de especificaciones técnicas de construcción para Guatemala*. (Tesis de posgrado, Universidad de San Carlos de Guatemala) Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5044/1/Gustavo%20Adolfo%20Cancinos%20Sazo.pdf>
- Chuman, J. (2017). *Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016*. (Tesis de grado, Universidad Peruana los Andes) Recuperado de: <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/267>
- Espinoza, P. & Vildoso, J. (2014). Estudio de la técnica del reciclado con asfalto espumado en las carreteras la Oroya – Chirín – Huánuco –

- Tingo María – Dv. Tocache y Conococha – Yanacancha. (Tesis de grado, Universidad Ricardo Palma) Recuperado de: http://repositorio.urp.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/URP/2173/espinoza_pk-vildoso_je.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Guacaneme, F. (2015). *Ventajas y usos del concreto reciclado*. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15151/GuacanemeLizarazoFabioAndres2015.pdf;jsessionid=E9EC4B1639BE32BAA4EE097220CC6B3F?sequence=1>
- Gutiérrez, H. & Vara, R. (2017). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México, D.F: Mc GRAW-HILL.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Instituto Geográfico Nacional (2018). *Mapas departamentales del Perú*. [Figura]. Recuperado de: <https://www.ign.gob.pe/mapas-departamentales-del-peru/>
- Lopez, J. (2018). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles empleando geotextiles, carretera Cajamarca – chachapoyas, tramo Calla Calla – Leymebamba, Amazonas – 2018*. (Tesis de grado, Universidad César Vallejo) Recuperado de: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/26896/Lopez_GJD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lopez, Y. (2018). *Influencia del reciclado de pavimento flexible para mejorar la conservación vial entre las calles 6 y 7 de Ventanilla Alta*. (Tesis de grado, Universidad César Vallejo) Recuperado de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/35277>
- Méndez, A. (2015). *Evaluación técnica y económica del uso de pavimento asfáltico reciclado (RAP) en vías colombianas*. Recuperado de: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13208>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). *Manual de carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción EG-2013*.

- Recuperado de:
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Recuperado de:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2018). *Estado de arte de los pavimentos en el Perú*. [Figura] Recuperado de: <https://http://www.asocem.org.pe/productos-b/pavimentos-de-concreto-estado-de-arte-de-los-pavimentos-en-el-peru>
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. (Tesis de grado, Universidad Austral de Chile) Recuperado de:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/bmfcm672d/doc/bmfcm672d.pdf>
- Morales, J. (2004). *Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto utilizando sobre capas de refuerzo*. (Tesis de grado, Universidad de Piura) Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11042/1343>
- Recuenco, E. (2014). *Firmes y Pavimentos de carreteras y otras infraestructuras*. Madrid, España: IBERGARCETA publicaciones.
- Rengifo, J. & Vargas, M. (2017). *Análisis comparativo entre pavimento flexible convencional y pavimento flexible reciclado en las cuadras 1-29 de la avenida la paz San Miguel - Lima*. (Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres) Recuperado de:
<http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/handle/usmp/3520>
- Robles, R. (2009). *Guía para diseñar la rehabilitación de una ruta mediante el uso de asfalto espumado, reciclando el pavimento asfáltico existente*. (Tesis de grado, Universidad Austral de Chile) Recuperado de:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcm666g/doc/bmfcm666g.pdf>
- Rodríguez, C. & Rodríguez, J. (2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. (Tesis de Grado, Universidad de El Salvador) Recuperado de:
http://ri.ues.edu.sv/2234/1/Evaluaci%C3%B3n_y_rehabilitaci%C3%B3n_de_pavimentos_flexibles_por_el_m%C3%A9todo_del_reciclaje.pdf

- Rondón, H. & Reyes, F. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. Bogotá, Colombia: ECOE ediciones.
- Sánchez, J. (2009). *Estudio de las ventajas del reciclado in situ en caliente de pavimentos flexibles*. (Tesis de grado, Universidad de la Salle) Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/15503>
- Vega, D. (2016). *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico*. (Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato) Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25264>
- Yangali, G. (2015). *Influencia del uso de la carpeta asfáltica reciclada en las propiedades físico-mecánicas de diseño, para rehabilitación de pavimento flexible*. (Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú) Recuperado de: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/406/TCIV_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Título: 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 de Canta a Huayllay, ubicado en el distrito y provincia de Canta en el departamento de Lima 2019

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		METODOLOGÍA	
<p>Problema General</p> <p>¿Cómo influye el diseño de mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Diseñar una mezcla asfáltica con material reciclado a fin de mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El diseño de la mezcla asfáltica con material reciclado mejora el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>Mezcla asfáltica con material reciclado</p>	<p>INDICADORES</p> <p>Porcentaje de cemento asfáltico</p> <p>Cantidad del agregado Grueso (Piedra chancada)</p> <p>Cantidad del agregado fino (Arena para asfalto)</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Orientación de la investigación es aplicada.</p> <p>Enfoque de la investigación</p> <p>Cuantitativo, ya que los ensayos realizados en laboratorio obtendremos valores numéricos para saber las características de los agregados.</p> <p>Nivel de la investigación</p> <p>Nivel descriptivo se basa en la sustentación de los resultados de los ensayos realizados en laboratorio.</p> <p>Diseño de la investigación</p> <p>Investigación cuasi experimental. Longitudinal. Estudio prospectivo.</p> <p>Población y muestra</p> <p>Población</p> <p>Región de Canta para el tramo KM 90+000 al KM95+000 de la carretera Canta a Huayllay.</p> <p>Muestra</p> <p>se realizarán ensayos a la muestra de la mezcla asfáltica con material reciclado de la región Canta, para ver sus componentes en qué estado se encuentra luego procedemos a evaluar la calidad de los agregados.</p>	
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cómo influye el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?</p> <p>¿Cómo influye la cantidad agregado grueso de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?</p> <p>¿Cómo influye la cantidad de agregado fino de la mezcla asfáltica con material reciclado en el comportamiento mecánico del pavimento para 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?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>Determinar la cantidad del porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p> <p>Determinar la cantidad de agregado grueso de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p> <p>Determinar la cantidad de agregado fino de la mezcla asfáltica con material reciclado necesario para mejorar el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>Incrementando el porcentaje de cemento asfáltico de la mezcla asfáltica con material reciclado se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p> <p>Incrementando la cantidad de agregado grueso a la mezcla asfáltica con material reciclado se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p> <p>Incrementando la cantidad de agregado fino a la mezcla asfáltica con material reciclado se mejora el comportamiento mecánico del pavimento para 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.</p>		<p>Variable Dependiente</p> <p>Comportamiento mecánico del pavimento</p>		<p>Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica</p> <p>Estabilidad</p> <p>Flujo</p>

Anexo 2
Panel fotográfico



Figura 70. Visita a la municipalidad provincial de Canta
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 71. Inspección de la carretera Canta a Huayllay
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 72. Visita al lugar de extracción de agregados
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 73. Extracción de agregados
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 74. Agregados en el lugar de ensayo
Fuente: Elaboración propia (2019)



Figura 75. Laboratorio del MTC
Fuente: Elaboración propia (2019)

Anexo 3
Encuestas



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

FORMULACIÓN DE LAS 6M EN EL PLANTEAMIENTO DEL DIAGRAMA
CAUSA – EFECTO (KAORU ISHIKAWA)

TEMA:

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

PROBLEMA

COMPORTAMIENTO MECÁNICO INADECUADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
EN LA CARRETERA DEL DISTRITO DE CANTA

Se propone la siguiente problemática del tema, de acuerdo a las 6M planteadas;
según su criterio y experiencia laboral cual sería las posibles causas que se
originaran dentro del tema establecido. Formular y desarrollar las posibles causas.

Nombre del encuestado: JUE CHIRIBOTE SANCHEZ

Especialidad o profesión: INGENIERO CIVIL

Cargo en la empresa: REPRESENTANTE COMOD EN SUPERVISION

Nombre de la empresa: CONSORSIO SAN TROVAD

Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas):

Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): TRANSPORTE

MATERIALES

- ACCESADO FINO PARA ELABORAR PAVIMENTO FLEXIBLE

- ACCESADO COESO PARA ELABORAR PAVIMENTO FLEXIBLE

- CEMENTO ASFALTICO

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

- MAQUINARIA ESPECIALIZADA EN REALIZAR PAVIMENTOS

- EQUIPOS NECESARIOS EN LABORATORIO PARA MONITOREAR
EL CONTROL DE CALIDAD



USMP
UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

MANO DE OBRA

- PERSONAL CALIFICADO
- PROFESIONAL CALIFICADO
- ESPECIALISTAS EN LA MATERIA

MEDIO AMBIENTE

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA EL TRAZO DE LA
CARRETERA EN ESTUDIO

MÉTODOS DE TRABAJO

HECHOS Y MÉTODOS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS
TRABAJOS SEGÚN EL MINISTERIO DE TRANSPORTES

MANTENIMIENTO

- EQUIPOS UTILIZADOS CON CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN
- CERTIFICADO DE MANTENIMIENTO

José Chumioque Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP N° 86983

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



ENCUESTA

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

Instrucciones:

Por favor, responda a las preguntas con un aspa o un círculo en la medida que le sea posible. No hay respuestas correctas o equivocadas. Nos interesa su opinión de las preguntas planteadas.

Parte A: Características del encuestado

1. Nombre del encuestado: JOSE CARMEN SALAZAR
2. Cargo en la empresa: DEPARTAMENTO CORDON DE SUPERVISOR
3. Número de años en su puesto de trabajo: 05 años
4. Número de años en la empresa: 10 años
5. Especialidad o profesión: INGENIERO CIVIL
6. País de nacimiento: PERU

Parte B: Características de la empresa

9. Nombre de la empresa: CONSORCIO SAN HOUER
10. País de origen de la empresa: PERU
11. Número de años de actividad: 11 años
12. Número de años de actividad en el Perú: -
13. Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): -
14. Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): TRANSPORTE



Parte C: Concepto sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

15. ¿Está de acuerdo o en desacuerdo con el título propuesto?

- a) Muy de acuerdo
- b) Poco de acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) Un poco en desacuerdo
- e) En total desacuerdo

16. ¿Qué tan importante cree que es el título propuesto?

- a) Extremadamente importante
- b) Muy importante
- c) Algo importante
- d) No tan importante
- e) Nada importante

17. ¿Cree que el título propuesto es el indicado para pavimentos?

- a) Sí
- b) No

18. En general. ¿Qué tanto conocimiento influye el tema de pavimentos, en el título propuesto?

- a) Demasiado conocimiento
- b) Mucho conocimiento
- c) Suficiente conocimiento
- d) Poco conocimiento
- e) Nada de conocimiento

19. ¿Cómo calificaría la relación del título propuesto en la ingeniería civil?

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

20. Según el título propuesto, tiene mucho que ver con el desarrollo sostenible

- a) Sí
- b) No



21. En general, ¿En qué medida contribuirán el título en relación a las necesidades de la población?

- a) Demasiado
- b) Mucho
- c) Suficiente
- d) Poco
- e) Nada

22. De acuerdo a lo propuesto, cree Ud. Que se reducirá los gastos en la conservación de los pavimentos

- a) Si
- b) No

23. ¿Qué objetivos propone tomar en cuenta con relación al título?

EVALUAR LAS PROPIEDADES TÉCNICAS DEL PAVIMENTO RECIKLADO

24. ¿Qué recomendaciones nos sugiere sobre el tema planteado?

HACER UN BOM EN MEJORA DE LOSERES PARA EVALUAR LA COMPOSTA ASFÁLTICA

Parte D: Práctica sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

(Escriba un número del 1 al 5 dependiendo de cual opción se asemeja más a su respuesta)

- 1= Siempre
- 2= Casi siempre
- 3= A veces
- 4= Rara vez
- 5= Nunca

25. ¿Se emplea información registrada de obras o proyectos anteriores?

(SI)

26. ¿Se toma como referencia la información de obras o proyectos anteriores?

(NO)

27. ¿Se fomenta el archivo o registro del aprendizaje a través de proyectos?

(SI)

28. ¿Las ideas, propuestas y sugerencias expuestas en las reuniones de coordinación efectuadas en la etapa de desarrollo y/o ejecución de una obra o proyecto, son recolectadas y almacenadas?

(SI)

29. ¿Las experiencias de los profesionales, obtenidas de las cotidianas labores en obras y proyectos, son recolectadas y almacenadas de acuerdo a las funciones acerca del pavimento flexible reciclado?

(SI)

30. ¿Se promueve el mejoramiento continuo de los procesos enfatizando la aplicación de una mejora sobre el reciclado del pavimento flexible con emulsión asfáltica?

(SI)



José Chumacero Salazar
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 56881

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**FORMULACIÓN DE LAS 6M EN EL PLANTEAMIENTO DEL DIAGRAMA
CAUSA – EFECTO (KAORU ISHIKAWA)**

TEMA:

**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**

PROBLEMA

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO INADECUADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
EN LA CARRETERA DEL DISTRITO DE CANTA**

Se propone la siguiente problemática del tema, de acuerdo a las 6M planteadas; según su criterio y experiencia laboral cual sería las posibles causas que se originaran dentro del tema establecido. Formular y desarrollar las posibles causas.

Nombre del encuestado: Cesar Augusto Carhuatocto

Especialidad o profesión: Ingeniero Civil

Cargo en la empresa: Jefe del area de Supervisión

Nombre de la empresa: Consorcio San Manuel

Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): —

Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): edificamos

MATERIALES

- agregado grueso para mezcla asfáltica

- Cemento asfáltico

- agregado fino para mezcla asfáltica

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

- Maquinaria roadboxer de carpeta asfáltica

- Equipos de laboratorio para control de calidad



USMP
UNIVERSIDAD
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

MANO DE OBRA

- Personal Profesional
- Personal técnico calificado
- Especialistas

MEDIO AMBIENTE

El impacto ambiental en el tramo de Conectora
en estadio

MÉTODOS DE TRABAJO

- Plantas establecidas y normas por el
ministerio transporte y comunicaciones

MANTENIMIENTO

- Certificado de mantenimiento
- Certificado de Calibración de Equipos obligados

CÉSAR PINGO CARHUATOCTO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 31153

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ENCUESTA

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

Instrucciones:

Por favor, responda a las preguntas con un aspa o un círculo en la medida que le sea posible. No hay respuestas correctas o equivocadas. Nos interesa su opinión de las preguntas planteadas.

Parte A: Características del encuestado

1. Nombre del encuestado: César Pingo Carhuatocto
2. Cargo en la empresa: Jefe del área de Supervisión
3. Número de años en su puesto de trabajo: 05
4. Número de años en la empresa: 10 años
5. Especialidad o profesión: Ingeniero Civil
6. País de nacimiento: Perú

Parte B: Características de la empresa

9. Nombre de la empresa: Corporación San Roque
10. País de origen de la empresa: Perú
11. Número de años de actividad: 11 años
12. Número de años de actividad en el Perú: -
13. Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): -
14. Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): transporte



Parte C: Concepto sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

15. ¿Está de acuerdo o en desacuerdo con el título propuesto?

- a) Muy de acuerdo
- b) Poco de acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) Un poco en desacuerdo
- e) En total desacuerdo

16. ¿Qué tan importante cree que es el título propuesto?

- a) Extremadamente importante
- b) Muy importante
- c) Algo importante
- d) No tan importante
- e) Nada importante

17. ¿Cree que el título propuesto es el indicado para pavimentos?

- a) Sí
- b) No

18. En general. ¿Qué tanto conocimiento influye el tema de pavimentos, en el título propuesto?

- a) Demasiado conocimiento
- b) Mucho conocimiento
- c) Suficiente conocimiento
- d) Poco conocimiento
- e) Nada de conocimiento

19. ¿Cómo calificaría la relación del título propuesto en la ingeniería civil?

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

20. Según el título propuesto, tiene mucho que ver con el desarrollo sostenible

- a) Sí
- b) No



21. En general, ¿En qué medida contribuirán el título en relación a las necesidades de la población?

- a) Demasiado
- b) Mucho
- c) Suficiente
- d) Poco
- e) Nada

22. De acuerdo a lo propuesto, cree Ud. Que se reducirá los gastos en la conservación de los pavimentos

- a) Si
- b) No

23. ¿Qué objetivos propone tomar en cuenta con relación al título?

Evaluación del comportamiento mecánico del
material asfáltico reciclado

24. ¿Qué recomendaciones nos sugiere sobre el tema planteado?

Hacer el continuo monitoreo para evaluar
la carpeta

Parte D: Práctica sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

(Escriba un número del 1 al 5 dependiendo de cual opción se asemeja más a su respuesta)

- 1= Siempre
- 2= Casi siempre
- 3= A veces
- 4= Rara vez
- 5= Nunca



USMP
UNIVERSIDAD SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

25. ¿Se emplea información registrada de obras o proyectos anteriores?

(si)

26. ¿Se toma como referencia la información de obras o proyectos anteriores?

(no)

27. ¿Se fomenta el archivo o registro del aprendizaje a través de proyectos?

(si)

28. ¿Las ideas, propuestas y sugerencias expuestas en las reuniones de coordinación efectuadas en la etapa de desarrollo y/o ejecución de una obra o proyecto, son recolectadas y almacenadas?

(Si)

29. ¿Las experiencias de los profesionales, obtenidas de las cotidianas labores en obras y proyectos, son recolectadas y almacenadas de acuerdo a las funciones acerca del pavimento flexible reciclado?

(Si)

30. ¿Se promueve el mejoramiento continuo de los procesos enfatizando la aplicación de una mejora sobre el reciclado del pavimento flexible con emulsión asfáltica?

(Si)


CESAR PINGO CARHUATCO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 51153

.....
FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



MANO DE OBRA

- Especialistas
- Pizarro del Pícaro Colocados
- Personal Preparación

MEDIO AMBIENTE

El estudio se realizó paralelamente al plano de la Caudalera se estudio.

MÉTODOS DE TRABAJO

- Métodos seleccionados para la ejecución de trabajos (estudio - diseño - obra)

MANTENIMIENTO

- Cuidados de mantenimiento
- Cuidados de conservación de campos utilizables.

JAL
 JUAN ALBERTO LOPEZ CALLE
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 246287

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



ENCUESTA

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

Instrucciones:

Por favor, responda a las preguntas con un aspa o un círculo en la medida que le sea posible. No hay respuestas correctas o equivocadas. Nos interesa su opinión de las preguntas planteadas.

Parte A: Características del encuestado

1. Nombre del encuestado: Juan Alberto Lopez Calle
2. Cargo en la empresa: Responsable del Área de Ingeniería
3. Número de años en su puesto de trabajo: 07 años
4. Número de años en la empresa: 10 años
5. Especialidad o profesión: Ingeniero Civil
6. País de nacimiento: Perú

Parte B: Características de la empresa

9. Nombre de la empresa: EPS - CRAU
10. País de origen de la empresa: Perú
11. Número de años de actividad: 50 años
12. Número de años de actividad en el Perú: —
13. Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): —
14. Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): Edificación



Parte C: Concepto sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

15. ¿Está de acuerdo o en desacuerdo con el título propuesto?

- a) Muy de acuerdo
- b) Poco de acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) Un poco en desacuerdo
- e) En total desacuerdo

16. ¿Qué tan importante cree que es el título propuesto?

- a) Extremadamente importante
- b) Muy importante
- c) Algo importante
- d) No tan importante
- e) Nada importante

17. ¿Cree que el título propuesto es el indicado para pavimentos?

- a) Si
- b) No

18. En general, ¿Qué tanto conocimiento influye el tema de pavimentos, en el título propuesto?

- a) Demasiado conocimiento
- b) Mucho conocimiento
- c) Suficiente conocimiento
- d) Poco conocimiento
- e) Nada de conocimiento

19. ¿Cómo calificaría la relación del título propuesto en la ingeniería civil?

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

20. Según el título propuesto, tiene mucho que ver con el desarrollo sostenible

- a) Si
- b) No



21. En general, ¿En qué medida contribuirán el título en relación a las necesidades de la población?

- a) Demasiado
- b) Mucho
- c) Suficiente
- d) Poco
- e) Nada

22. De acuerdo a lo propuesto, cree Ud. Que se reducirá los gastos en la conservación de los pavimentos

- a) Si
- b) No

23. ¿Qué objetivos propone tomar en cuenta con relación al título?

política de conservación
pavimento reciclado
tecnología

24. ¿Qué recomendaciones nos sugiere sobre el tema planteado?

política (pavimento) sobre la carretera

Parte D: Práctica sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

(Escriba un número del 1 al 5 dependiendo de cual opción se asemeja más a su respuesta)

- 1= Siempre
- 2= Casi siempre
- 3= A veces
- 4= Rara vez
- 5= Nunca

25. ¿Se emplea información registrada de obras o proyectos anteriores?
(2)
26. ¿Se toma como referencia la información de obras o proyectos anteriores?
(NO)
27. ¿Se fomenta el archivo o registro del aprendizaje a través de proyectos?
(SI)
28. ¿Las ideas, propuestas y sugerencias expuestas en las reuniones de coordinación efectuadas en la etapa de desarrollo y/o ejecución de una obra o proyecto, son recolectadas y almacenadas? (SI)
29. ¿Las experiencias de los profesionales, obtenidas de las cotidianas labores en obras y proyectos, son recolectadas y almacenadas de acuerdo a las funciones acerca del pavimento flexible reciclado? (SI)
30. ¿Se promueve el mejoramiento continuo de los procesos enfatizando la aplicación de una mejora sobre el reciclado del pavimento flexible con emulsión asfáltica?
(SI)


JUAN ALBERTO LOPEZ CALLE
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. N° 216287
FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**FORMULACIÓN DE LAS 6M EN EL PLANTEAMIENTO DEL DIAGRAMA
CAUSA – EFECTO (KAORU ISHIKAWA)**

TEMA:

**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**

PROBLEMA

**COMPORTAMIENTO MECÁNICO INADECUADO DE PAVIMENTO FLEXIBLE
EN LA CARRETERA DEL DISTRITO DE CANTA**

Se propone la siguiente problemática del tema, de acuerdo a las 6M planteadas; según su criterio y experiencia laboral cual sería las posibles causas que se originaran dentro del tema establecido. Formular y desarrollar las posibles causas.

Nombre del encuestado: *Emma Saavedra Gomez*

Especialidad o profesión: *Ingeniero Civil*

Cargo en la empresa: *Jefe de area de Ingeniería*

Nombre de la empresa: *EPS- Grav*

Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): *-*

Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): *edificaciones*

MATERIALES

- *Agregado grueso para elaboración de mezcla asfáltica*
- *Agregado fino para elaboración de mezcla asfáltica*

MAQUINARIAS Y EQUIPOS

- *Maquina especializada en la reutilización de pavimento*
- *Equipos e instrumentos necesarios para Cantos*



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

MANO DE OBRA

- Personal clave en la materia

- Personal capacitado

MEDIO AMBIENTE

- Estudio y manejo del medio ambiental
en el tramo de la carretera

MÉTODOS DE TRABAJO

- Trabajos realizados en función a las
normas y medidas que establece el
H.T.C.

MANTENIMIENTO

- Certificado de calibración de equipos
a utilizar

- Certificado en mantenimiento

Ing. Emma L. Saavedra Gómez
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 100106

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



ENCUESTA

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

Instrucciones:

Por favor, responda a las preguntas con un aspa o un círculo en la medida que le sea posible. No hay respuestas correctas o equivocadas. Nos interesa su opinión de las preguntas planteadas.

Parte A: Características del encuestado

1. Nombre del encuestado: Emma Sarvedra Gomez
2. Cargo en la empresa: E.P.S. - Grau
3. Número de años en su puesto de trabajo: 6 años
4. Número de años en la empresa: 6 años
5. Especialidad o profesión: Ingeniería Civil
6. País de nacimiento: Perú

Parte B: Características de la empresa

9. Nombre de la empresa: E.P.S. - Grau
10. País de origen de la empresa: Perú
11. Número de años de actividad: 50 años
12. Número de años de actividad en el Perú: -
13. Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): -
14. Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): -



Parte C: Concepto sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

15. ¿Está de acuerdo o en desacuerdo con el título propuesto?

- a) Muy de acuerdo
- b) Poco de acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) Un poco en desacuerdo
- e) En total desacuerdo

16. ¿Qué tan importante cree que es el título propuesto?

- a) Extremadamente importante
- b) Muy importante
- c) Algo importante
- d) No tan importante
- e) Nada importante

17. ¿Cree que el título propuesto es el indicado para pavimentos?

- a) Sí
- b) No

18. En general. ¿Qué tanto conocimiento influye el tema de pavimentos, en el título propuesto?

- a) Demasiado conocimiento
- b) Mucho conocimiento
- c) Suficiente conocimiento
- d) Poco conocimiento
- e) Nada de conocimiento

19. ¿Cómo calificaría la relación del título propuesto en la ingeniería civil?

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

20. Según el título propuesto, tiene mucho que ver con el desarrollo sostenible

- a) Sí
- b) No



21. En general, ¿En qué medida contribuirán el título en relación a las necesidades de la población?

- a) Demasiado
- b) Mucho
- c) Suficiente
- d) Poco
- e) Nada

22. De acuerdo a lo propuesto, cree Ud. Que se reducirá los gastos en la conservación de los pavimentos

- a) Si
- b) No

23. ¿Qué objetivos propone tomar en cuenta con relación al título?

Reconocer las propiedades mecánicas
del pavimento flexible

24. ¿Qué recomendaciones nos sugiere sobre el tema planteado?

Monitorizar el proceso de labor en
la carpeta asfáltica

Parte D: Práctica sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

(Escriba un número del 1 al 5 dependiendo de cual opción se asemeja más a su respuesta)

- 1= Siempre
- 2= Casi siempre
- 3= A veces
- 4= Rara vez
- 5= Nunca



USMP
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

25. ¿Se emplea información registrada de obras o proyectos anteriores?
(SI)
26. ¿Se toma como referencia la información de obras o proyectos anteriores?
(SI)
27. ¿Se fomenta el archivo o registro del aprendizaje a través de proyectos?
(SI)
28. ¿Las ideas, propuestas y sugerencias expuestas en las reuniones de coordinación efectuadas en la etapa de desarrollo y/o ejecución de una obra o proyecto, son recolectadas y almacenadas? (SI)
29. ¿Las experiencias de los profesionales, obtenidas de las cotidianas labores en obras y proyectos, son recolectadas y almacenadas de acuerdo a las funciones acerca del pavimento flexible reciclado? (SI)
30. ¿Se promueve el mejoramiento continuo de los procesos enfatizando la aplicación de una mejora sobre el reciclado del pavimento flexible con emulsión asfáltica?
(NO)


Ing. Emma L. Saavedra Gómez
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 100506

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



MANO DE OBRA

- Personal técnico calificado.
- Personal profesional
- Especialistas.

MEDIO AMBIENTE

Impacto Ambiental en el tramo de
Carretera en estudio.

MÉTODOS DE TRABAJO

- Métodos normalizados para ejecución de
ensayos (ASTM - AASTHO - MTC)

MANTENIMIENTO

- Certificados de Calibración de Equipos utilizados
- Certificados de Mantenimientos



FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA



ENCUESTA

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

Instrucciones:

Por favor, responda a las preguntas con un aspa o un círculo en la medida que le sea posible. No hay respuestas correctas o equivocadas. Nos interesa su opinión de las preguntas planteadas.

Parte A: Características del encuestado

1. Nombre del encuestado: Erika Valladares Alarcón
2. Cargo en la empresa: Responsable del Área de Mezclas Asfálticas
3. Número de años en su puesto de trabajo: 08 años
4. Número de años en la empresa: 20 años
5. Especialidad o profesión: Ingeniero Industrial
6. País de nacimiento: Perú

Parte B: Características de la empresa

9. Nombre de la empresa: Ministerio de Transportes y Comunicaciones
10. País de origen de la empresa: Perú
11. Número de años de actividad: 50 años
12. Número de años de actividad en el Perú: —
13. Tipo de empresa (constructora/consultora/ambas): —
14. Rubro principal (minería/transporte/edificaciones/etc.): Transportes y Comunicaciones



Parte C: Concepto sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

15. ¿Está de acuerdo o en desacuerdo con el título propuesto?

- a) Muy de acuerdo
- b) Poco de acuerdo
- c) Ni de acuerdo ni en desacuerdo
- d) Un poco en desacuerdo
- e) En total desacuerdo

16. ¿Qué tan importante cree que es el título propuesto?

- a) Extremadamente importante
- b) Muy importante
- c) Algo importante
- d) No tan importante
- e) Nada importante

17. ¿Cree que el título propuesto es el indicado para pavimentos?

- a) Sí
- b) No

18. En general. ¿Qué tanto conocimiento influye el tema de pavimentos, en el título propuesto?

- a) Demasiado conocimiento
- b) Mucho conocimiento
- c) Suficiente conocimiento
- d) Poco conocimiento
- e) Nada de conocimiento

19. ¿Cómo calificaría la relación del título propuesto en la ingeniería civil?

- a) Excelente
- b) Muy buena
- c) Buena
- d) Regular
- e) Mala

20. Según el título propuesto, tiene mucho que ver con el desarrollo sostenible

- a) Sí
- b) No



21. En general, ¿En qué medida contribuirán el título en relación a las necesidades de la población?

- a) Demasiado
- b) Mucho
- c) Suficiente
- d) Poco
- e) Nada

22. De acuerdo a lo propuesto, cree Ud. Que se reducirá los gastos en la conservación de los pavimentos

- a) Si
- b) No

23. ¿Qué objetivos propone tomar en cuenta con relación al título?

- Evaluar comportamiento mecánico con el pavimento reciclado.

24. ¿Qué recomendaciones nos sugiere sobre el tema planteado?

Realizar monitoreos para evaluar carpeta

Parte D: Práctica sobre Pavimento Flexible Reciclado para la Conservación Vial de la Carretera Canta a Huayllay

(Escriba un número del 1 al 5 dependiendo de cual opción se asemeja más a su respuesta)

- 1= Siempre
- 2= Casi siempre
- 3= A veces
- 4= Rara vez
- 5= Nunca

25. ¿Se emplea información registrada de obras o proyectos anteriores?

(Si)

26. ¿Se toma como referencia la información de obras o proyectos anteriores?

(No)

27. ¿Se fomenta el archivo o registro del aprendizaje a través de proyectos?

(Si)

28. ¿Las ideas, propuestas y sugerencias expuestas en las reuniones de coordinación efectuadas en la etapa de desarrollo y/o ejecución de una obra o proyecto, son recolectadas y almacenadas?

(Si)

29. ¿Las experiencias de los profesionales, obtenidas de las cotidianas labores en obras y proyectos, son recolectadas y almacenadas de acuerdo a las funciones acerca del pavimento flexible reciclado?

(Si)

30. ¿Se promueve el mejoramiento continuo de los procesos enfatizando la aplicación de una mejora sobre el reciclado del pavimento flexible con emulsión asfáltica?

(Si)

FIRMA Y SELLO DEL ESPECIALISTA

Anexo 4

Resultados de ensayos de laboratorio



PERU Ministerio de Transportes y Comunicaciones

000001

LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	RODRIGON ALVARADO Y VICTOR HUASO CHOCHOÁN GÓMEZ	MUESTRA	Cantera
DIRECCIÓN LEGAL	Av. Apurayo N° 189 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	Elige se indica
PROYECTO	Clasificación de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el trazo km 90+000 al km 05+000 de la carretera Canta ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019	CANTIDAD	80 kg ó 80
REFERENCIA	REC N° 194-2 019 PE-02	PRESENTACIÓN	Bases de polímeros
FECHA DE RECEPCIÓN	2 019 06 23	FECHA ENSAYO	2 019 09 25 al 26

MALLAS		DENOMINACIÓN	Cantera Gloria, Piedra HUIDO 57		Cantera Gloria, Confesin		Cantera Gloria, Arena para Pavimento		
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	NORMAS ENSAYO	RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	
3"	75.200	NTP 400 012 (2 013)							
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050								
1/2"	12.700			100		100			
3/8"	9.525			91	40	3	87		
5/16"	8.350			48	3	28	59	100	
N° 4	4.750			2	1	14	45	1	99
N° 6	3.350			1		41	4	3	94
N° 8	2.360					1	3	0	90
N° 10	2.000					1	2	3	81
N° 16	1.190					1	1	4	77
N° 20	0.840							14	53
N° 30	0.600						5	35	
N° 40	0.425						3	46	
N° 60	0.297						3	37	
N° 80	0.177						3	21	
N° 100	0.149						3	23	
N° 200	0.074						3	20	
- N° 200		NTP 400 018 (2 013)					12		
LIMITE LIQUIDO (Malla N° 40)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	18	
LIMITE PLASTICO (Malla N° 40)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	--	
INDICE PLASTICO (%)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	N.P.	
LIMITE LIQUIDO (Malla N° 200)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	21	
LIMITE PLASTICO (Malla N° 200)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	--	
INDICE PLASTICO (%)		NTP 336 125 (2 014)	--	--	--	--	--	N.P.	

Observaciones:

- Muestra proporcional y identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019 06 23.
- Los resultados de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0003 03UNDECODS-CR/ del 07 01 96).
- Este documento no sustituye el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del riesgo de evaluación responsabilidad del usuario.



ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABREIRA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



LIMA (19)
avenida
0 3 N° 234

LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 150 - Miraflores Tel: (011) 481 3757 email: mtc_lee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN **MUESTRA** : Cartera
GÓMEZ
DOMICILIO LEGAL : Av. Acosmayo N° 168 - Cercado de Lima **IDENTIFICACIÓN** : El que se indica
PROYECTO : "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 Cartera ubicado en el distrito y provincia de Cartera, departamento de Lima 2 019" **CANTIDAD** : 60 kg
REFERENCIA : REC N° 184-2 019-FE-02 **PRESENTACIÓN** : Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.09.23. **FECHA DE ENSAYO** : 2 019.09.25.

NTP 339.146 (2 014) SUELOS. EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS (*)

DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cartera Gloria, Arena para Pavimento	72

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D-2419 (2014). "Standard test method for sand equivalent value of soils and fine aggregate".
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-08/INDECOPI- CRT del 07.04.08).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten Signature]

BACOS ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Cartera Gloria, Arena para Pavimento



USA (20)
 oscobetz
 O.S. N° 224



LABORATORIO CEE



Av. Túpac Amaru N° 100 - Rimac Tel.: (051) 461-3707 email: oscobetz@oscobetz.com.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Canteras
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acosmayo N° 188 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: 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 ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 012*	CANTIDAD	: 80 kg cru.
REFERENCIA	: REC N° 194-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.09.25 al 2 019.10.03

NTP 400.016 (2 016) AGREGADOS. DETERMINACIÓN DE LA INALTERABILIDAD DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE SULFATO DE SODIO O SULFATO DE MAGNESIO (*).

IDENTIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RESULTADO (%)
Cantera Gloria; Piedra HUSO 67	Pérdida o desgaste del agregado grueso	2,0
Cantera Gloria; Arena para Pavimento	Pérdida o desgaste del agregado fino	4,5

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM C-88 (2013) "Aggregates. Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate"
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos, o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0003-85/INDECOPI - CRT del 07.01.88).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten Signature]

ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA (M6)
9999
O.S. N° 334



LABORATORIO



CEE

Av. Típica Anaru N° 150 - Ibrac

Tel: (051) 451-3757

mail.mtc_lee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ **MUESTRA** : Canteras

DOMICILIO LEGAL : Av. Acomayo N° 166 - Cercado de Lima **IDENTIFICACIÓN** : El que se indica

PROYECTO : "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 ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019" **CANTIDAD** : 60 kg

REFERENCIA : REC N° 184-2 019-FE-02 **PRESENTACIÓN** : Sacos de polietileno

FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.09.23. **FECHA DE ENSAYO** : 2 019.09.26 al 28.

NTP 400.018 (2 013) DETERMINACIÓN DE MATERIAL MÁS FINO QUE PASAN TAMIZ N° 200 (0.75 µm) POR LAVADO EN AGREGADOS (PROCEDIMIENTO A) (*).

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (%)
Canteras Gloria; Arena para Pavimento	12,3

Observaciones:

- (*) Referencia ASTM C-117 (2017) "Standard test method for materials finer than 75-µm (N° 200) sieve in mineral aggregates by washing"
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 96/INDECOPI - CRT del 07.01.96).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten signature]

BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA (49)
msc/bedc
O.S. N° 224



LABORATORIO CEE

Av. Tapac/Amstru 166 - Rimac Telf: (051) 481-3707 email: msc_tav@pnrp.poo.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Cantera
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acosmayo N° 198 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 99+000 al km 95+000 de la carretera Canta ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019"	CANTIDAD	: 80 kg
REFERENCIA	: REC N° 154-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Saca de polideno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.09.25

NTP 400.019 (2 014) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN EN AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO (%)
Cantera Gloria; Piedra HUSO 67	Tamaño Máximo Nominal: 1/2"	17
	Gradación: "B"	
	Número de Esferas: 11	

Observaciones:
 (*) ASTM C-131 (2014) "Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine"
 - Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
 - Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
 - Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOP/ - CRT del 07.01.98).
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten signature]

BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA (30)
 000005
 G.S. N° 234



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru Nº 180 - 18040 - Tel: (051) 481-3707 email: rmc_dcc@mrc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Cantera
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acomayo N° 168 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "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 ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019"	CANTIDAD	: 80 kg
REFERENCIA	: REC N° 184-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.05.23.	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.09.26 al 27.

NTP 400.021 (2 013) AGREGADOS, MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cantera Gloria, Piedra HUSO 67	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2,747
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2,760
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2,784
	Absorción (%)	0,48

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM C-127 (2013): "Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate".
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.05.23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - SBYNDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten Signature]

ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA (SV)
0600991
D.S. N° 234



LABORATORIO CEE

Av. Topoc Avenue N° 160 - Miraflores - Tel.: (051) 481.3707 - email: mac_doo@mtc.gov.pe



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Cartera
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acosmayo N° 168 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "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 Cartera ubicado en el distrito y provincia de Cartera, departamento de Lima 2 019"	CANTIDAD	: 80 kg
REFERENCIA	: REC N° 184-2 019-PE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.09.26 al 27.

NTP 400.022 (2 013) AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (*)

IDENTIFICACIÓN	ENSAYO	RESULTADO
Cartera Clorita, Arena para Pavimento	Peso específico bulk (base seca) g/cm ³	2,729
	Peso específico bulk (base saturada) g/cm ³	2,765
	Peso específico aparente (base seca) g/cm ³	2,831
	Absorción (%)	1,32

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM C-128 (2012). "Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate".
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten Signature]

BAZÁN ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA (79)
00000000
C.S. N° 234



LABORATORIO CEE



Av. Túpac Amaru N° 130 - Rimac Tel.: (051) 481-3707 email: mac_000@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON ALBIN ARCHÉ Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Cantera
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acumayo N° 168 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: El que se indica
PROYECTO	: "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 ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019"	CANTIDAD	: 80 kg
REFERENCIA	: REC N° 184-2 019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2 019.09.23.	FECHA DE ENSAYO	: 2 019.09.25 al 26.

NTP 400.040 (2 015) AGREGADOS. PARTÍCULAS CHATAS O ALARGADAS EN EL AGREGADO GRUESO (*)

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Cantera Gloria; Piedra HUSO 67	Partículas chatas y alargadas (relación 1 a 3)	4,1

Observaciones:

- (*) Referencia: ASTM D-4791 (2010), "Aggregates. Flat or elongated particles in coarse aggregate"
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayo no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPII - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten signature]

BACH. ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
Lima, 03 de Octubre de 2 019



USA 1630
oess/pc
O.E. N° 234



LABORATORIO



Av. Tipac Amaru N° 150 - Bcnac. Tel: (051) 481-3707 email: mac_dev@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COODINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2 019-MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ MUESTRA : Canteras
 DOMICILIO LEGAL : Av. Aconway N° 188 - Cercado de Lima IDENTIFICACIÓN : El que se indica
 PROYECTO : "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 ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2 019" CANTIDAD : 80 kg
 REFERENCIA : REC N° 184-2 019-FE-02 PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2 019.09.23 FECHA DE ENSAYO : 2 019.09.25 al 26

MTC E-210 (2 016) PORCENTAJE DE CARAS DE FRACTURA EN EL AGREGADO GRUESO

Identificación	Descripción	Resultado (%)
Canteras Gloria, Piedra HUSO 67	Partículas con una ó más caras de fractura	95,7
	Partículas con dos ó más caras de fractura	88,0

Observaciones:

- Cara fracturada, n - una superficie angular, áspera y rugosa, o rote de un agregado ocasionada por chancado u otro medio artificial, o por medio natural.
- Muestra proporcionada e identificada por los solicitantes.
- Fecha de orden de ensayo y/o preparación: 2 019.09.23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002 - 98/INDECOPI - CRT del 07.01.98).
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados; siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



[Handwritten Signature]

BACER ING. ORLANDO E. SAN MIGUEL CABRERA
 Lima, 05 de Octubre de 2 019



USA (390)
 ensayo
 O.S. N° 334



LABORATORIO CEE

Av. Tiqui Anayo N° 136 - Miraflores Tel: (051) 461-3707 email: mtc_lee@mtc.gob.pe



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON BALBÍN ARCHI.	MUESTRA	: Agregados
	: VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acomayo N° 166 - Cercado de Lima.	CANTIDAD	: 80 kg c/u.
PROYECTO	: "Diseño de Mezclas Asfálticas 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, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019".		
REFERENCIA	: REC N° 154-2019-FE-02.	PRESENTACIÓN	: Sacos de poliflexo.
RECEPCIÓN DEL DOC.	: 2019.09.23.	FECHA DE ENSAYO	: 2019/09/25 al 2019/09/26.

MTC E - 517 * CUBRIMIENTO DE LOS AGREGADOS CON MATERIALES ASFÁLTICOS (INCLUYE EMULSIONES) EN PRESENCIA DEL AGUA (STRIPPING) MEZCLAS ABIERTAS Y/O T.S.

IDENTIFICACIÓN	REVESTIMIENTO (%)	CUBRIMIENTO (%)
Piedra Huso 67 Procedencia: Cantera La Gloria.	100	+ 95

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70, proporcionado por el Laboratorio de la CEE.

Observaciones:

- (*) Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).
- Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2019.09.23
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos ó como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Los resultados sólo están relacionados a los ítems ensayados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



UMA (1/3)
eva/wll
O.S. N°234



ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN,
Lima, 03 de Octubre del 2019.





LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON BALBÍN ARCHIL	MUESTRA	: Agregados.
	: VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica.
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acosmayo N° 155 - Cercado de Lima.	CANTIDAD	: 80 kg c/u.
PROYECTO	: "Diseño de Mezclas Asfálticas 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, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019".		
REFERENCIA	: REC N° 184-2019-FE-02.	PRESENTACIÓN	: Sacos de polietileno.
RECEPCIÓN DEL DOC.	: 2019.09.23.	FECHA DE ENSAYO	: 2019/09/25 al 2019/09/25.

MTC E 220 (2000)* ADHESIVIDAD DE LOS LIGANTES BITUMINOSOS A LOS ÁRIDOS FINOS (PROCEDIMIENTO RIEDEL WEBER)

IDENTIFICACIÓN	RESULTADO (GRADO)
	Desprendimiento Parcial - Desprendimiento Total
Arena chancada para pavimentos	0 - 10

Tipo de asfalto: Cemento asfáltico PEN 60/70, proporcionado por el Laboratorio de la CEE.

Observaciones:

- (*) Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC. (Edición Mayo del 2016).
- Agregados, proporcionados e identificados por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo: 2019/09/23.
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-95/INDECOPI-CRT del 07.01.96).
- Los resultados sólo están relacionados a los ítem ensayados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



UMA (2/3)
eva/wll
O.S. N°234



ING. ROSA VALCAREDES ALARCÓN.
Lima, 03 de Octubre del 2019.





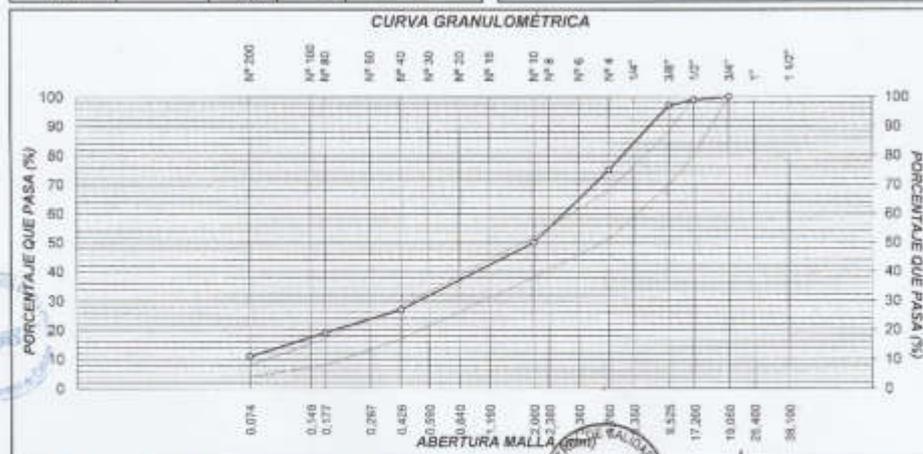
LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON BALBÍN ARCHI. **MUESTRA** : Agregados.
IDENTIFICACIÓN : La que se indica.
DOMICILIO LEGAL : Av. Acomayo N° 158 - Cercado de Lima. **CANTIDAD** : 80 kg c/u.
PROYECTO : "Diseño de Mezclas Asfálticas 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, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019".
REFERENCIA : REC N° 184-2019-FE-02. **PRESENTACIÓN** : Sacos de polietileno.
RECEPCIÓN DEL DOC. : 2019.09.23. **FECHA DE ENSAYO** : 2019/09/25 al 2019/09/26

ASTM D-2172 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS.

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ABERTURA (mm)	RETIENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN MAC-2
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.000		100.0	100
1/2"	12.500	1.0	99.0	80 - 100
3/8"	9.525	2.0	97.0	70 - 88
1/4"	6.350	12.0	88.0	
N° 4	4.750	10.0	75.0	51 - 66
N° 6	3.360	12.0	88.0	
N° 8	2.380	9.0	54.0	
N° 10	2.000	4.0	50.0	38 - 52
N° 15	1.180	10.0	40.0	
N° 20	0.840	5.0	35.0	
N° 30	0.590	4.0	37.0	
N° 40	0.425	4.0	27.0	17 - 28
N° 50	0.297	4.0	23.0	
N° 60	0.177	4.0	19.0	8 - 17
N° 100	0.149	5.0	14.0	
N° 200	0.074	3.0	11.0	4 - 8
N° 300		11.0		

RESUMEN DE ENSAYO
IDENTIFICACIÓN DE LA MEZCLA
 Material Reciclado de carpeta asfáltica.
RESULTADO DEL ENSAYO
 Contenido de cemento asfáltico: 3.0%
OBSERVACIONES:
 Especificaciones del MTC EG-3000.



LABORATORIO DE ESTUDIOS ESPECIALES
ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN
 Lima, 03 de Octubre del 2019.

LIMA (3/3)
 ems/jas
 O.S. N°234

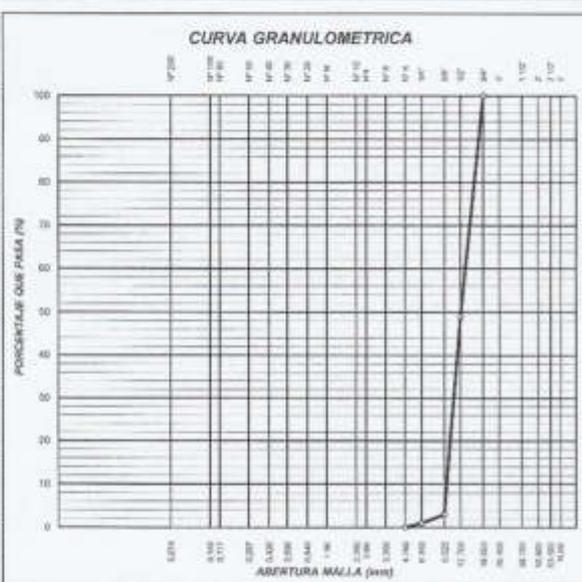




LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VÍCTOR HUGO CHOCHÓN MUESTRAS : Centras
GÓMEZ
DOMICILIO LEGAL : Av. Aconchay N° 108 - Cercado de Lima IDENTIFICACIÓN : Centras Gloria,
PROYECTO : Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km Fiebra HUSO 87
90+000 al km 95+000 de la carretera Carretera ubicada en el distrito y provincia de Carhu, departamento de Lima 2019
REFERENCIA : REC N° 194-2019-FE-02 CANTIDAD : 60 kg
FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.09.23 PRESENTACIÓN : Saco de polipropileno
FECHA ENSAYO : 2019.09.25 al 25.

MALLAS SIEDE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		100
1/2"	12.700	51	49
3/8"	9.525	48	3
1/4"	6.350	2	1
N° 4	4.750	1	-
N° 6	3.350		
N° 8	2.380		
N° 10	2.000		
N° 16	1.180		
N° 20	0.840		
N° 30	0.600		
N° 40	0.425		
N° 50	0.297		
N° 80	0.177		
N° 100	0.149		
N° 200	0.074		
-200			



OBSERVACIONES:
Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
Fecha de Orden de Ensayo y/o preparación : 2019.09.23

RESULTADOS DE ENSAYOS			
LIMITE LIQUIDO	--	CLASIFICACION	
LIMITE PLASTICO	--	SUCS	AASHTO
INDICE PLASTICIDAD	--	--	--

- Los resultados de ensayos no deben ser empleados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOP-CRT del 02.01.98)
- Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la implementación misma de exclusiva responsabilidad del usuario



LABORATORIO DE SAN MIGUEL C.
ING. ROBERTO MOL. ORLANDO E. SAN MIGUEL CASPERA
Lima, Of. de Cobro de 2019

LISA(1/2)
00000000
O.S. N° 234





LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ **MUESTRAS** : Canteras

DOMICILIO LEGAL : Av. Aconacy Nº 188 - Cercado de Lima **IDENTIFICACIÓN** : Canteras Glonas

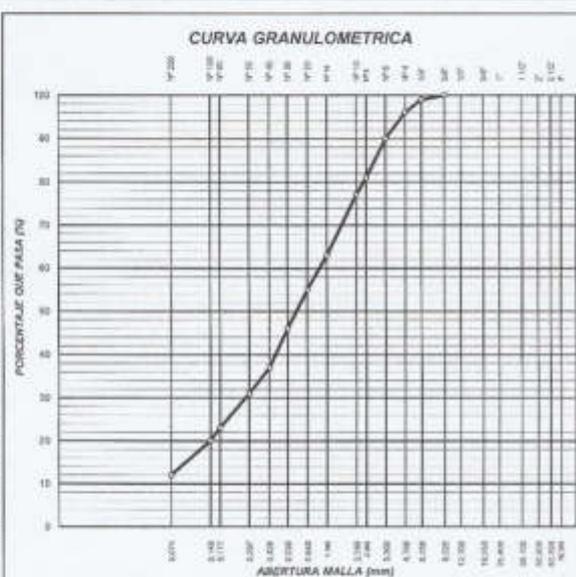
PROYECTO : Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 90+000 al km 95+000 de la carretera Canta ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2019 **ARENA PARA PAVIMENTO**

REFERENCIA : REC N° 154-2019-F5-02 **CANTIDAD** : 80 kg

FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.09.23 **PRESENTACIÓN** : Saco de polibiteno

FECHA ENSAYO : 2019.05.25 al 26

MALLAS SISNE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		
1/2"	12.750		
3/8"	9.525		100
1/4"	6.350	1	99
N° 4	4.750	3	96
N° 6	3.350	6	90
N° 8	2.380	9	81
N° 10	2.000	4	77
N° 15	1.100	14	83
N° 20	0.840	8	55
N° 30	0.590	9	46
N° 40	0.425	9	37
N° 50	0.297	6	31
N° 60	0.177	8	23
N° 100	0.149	3	20
N° 200	0.074	8	12
-200		12	-



OBSERVACIONES:
Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
Fecha de Orden de Ensayo y/o preparación : 2019.09.23

RESULTADOS DE ENSAYOS			
LIMITE LIQUIDO	18.0	CLASIFICACION	
LIMITE PLASTICO	--	SUCS	AASHTO
INDICE PLASTICIDAD	N.P	--	--

- Los resultados de ensayos no deben ser empleados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-88/INDECOPI-CRT del 07.01.88).
Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la responsabilidad del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario



[Signature]
BARRERA ORLANDO S. SAN MIGUEL CABRERA
Lps. 01 de Olaya 2019

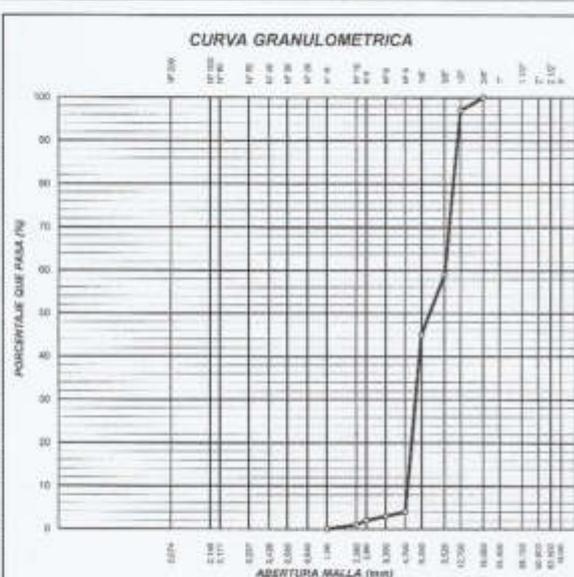
USA(30)
ocso/bodi
O.S. N° 254



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
 INFORME DE ENSAYO N° 241 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : ROBINSON ALBIN ARCHI Y VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ MUESTRAS : Centena
 DOMICILIO LEGAL : Av. Aconacy N° 169 - Cercado de Lima IDENTIFICACIÓN : Centena Gloria
 PROYECTO : "Diseño de mezcla asfáltica con material reciclado para la mejora del comportamiento mecánico del pavimento en el tramo km 93+000 al km 95+200 de la carretera Canta ubicado en el distrito y provincia de Canta, departamento de Lima 2019" Conflicto
 REFERENCIA : REC N° 184-2019-FG-02 CANTIDAD : 80 kg
 FECHA DE RECEPCIÓN : 2019.09.23 PRESENTACIÓN : Saco de polietileno
 FECHA ENSAYO : 2019.09.25 al 26

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA		
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)
3"	76.200		
2 1/2"	63.500		
2"	50.800		
1 1/2"	38.100		
1"	25.400		
3/4"	19.050		100
1/2"	12.700	3	97
3/8"	9.525	38	59
1/4"	6.350	14	45
N° 4	4.750	41	4
N° 6	3.360	1	3
N° 8	2.380	1	2
N° 10	2.000	1	1
N° 16	1.190	1	-
N° 20	0.840		
N° 30	0.600		
N° 40	0.425		
N° 50	0.297		
N° 60	0.177		
N° 100	0.149		
N° 200	0.074		
-200			



OBSERVACIONES :
 Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
 Fecha de Orden de Ensayo y/o preparación : 2019.09.23

RESULTADOS DE ENSAYOS			
LIMITE LIQUIDO	CLASIFICACION		
---	SUCS	AASHTO	
LIMITE PLASTICO	---		
INDICE PLASTICIDAD	---		

- Los resultados de ensayos no deben ser empleados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/MINDECOPI-CRT del 07.07.98)
 - Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la responsabilidad del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario



Signature and stamp of the technician: **DR. DILARSO E. SAN BICHO CABRERA**
 (Ins. 07 de Octubre de 2018)



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON BALBIN ARCHI VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acomayo N° 166 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "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 Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019"	CANTIDAD	: 80 kg c/u
REFERENCIA	: REC N° 184 - 2019-FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de Polietileno
RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO	: 2019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: Del 2019.09.27 Al: 2019.10.30

MTC E - 218 (2016) : SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Identificación	Resultado (mg/kg)
Piedra USO 67; Cantera Gloria	116
Arena para Pavimento; Cantera Gloria	896

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo: 2019.09.23
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Los resultados sólo están relacionados con los ítems ensayados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.
- Equivalencias: mg/kg = ppm; para obtener resultados en % dividir valores (en mg/kg ó ppm) por 10,000



ING. RUTH FÉLIX SÁNCHEZ
Lima, 02 de Octubre del 2019

UAQ (1/1)
rfs/cco
O.S. N° 234



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru IP 100 - Miraflores Tel: (051) 481-3701 email: mtc_lee@mtc.gob.pe



PERÚ

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON BALBIN ARCHI VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acornayo N° 188 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "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 Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019"	CANTIDAD	: 80 kg c/u
REFERENCIA	: REC N° 184 - 2019 -FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de Polietileno
RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO	: 2019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: Del 2019.09.27 Al 2019.10.30

MTC E - 219 (2 016) : SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

Identificación	Resultado (mg/kg)
Piedra HUSO 67; Cantera Gloria	116
Arena para Pavimento; Cantera Gloria	896

Observaciones:

- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante
- Fecha de orden de ensayo: 2019.09.23
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-08/INDECOPI-CRT del 07.01.88).
- Los resultados sólo están relacionados con los ítems ensayados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.
- Equivalencias: mg/kg = ppm; para obtener resultados en % dividir valores (en mg/kg ó ppm) por 10,000



ING. RUTH FÉLIX SÁNCHEZ
Lima, 23 de Octubre del 2019



UAQ (1/2)
rfa/oco
O.S. N° 234



LABORATORIO CEE

Av. Torac Armas N° 150 - Rimac - Tel.: (051) 481-3707 - email: mtc_dev@mtc.gob.pe



PERU

Ministerio
de Transportes
y Comunicaciones

LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

SUPLEMENTO AL INFORME DE ENSAYO N° 2 4 1 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: ROBINSON BALBIN ARCHI VÍCTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Agregados
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acomayo N° 168 - Cercado de Lima	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "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 Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019"	CANTIDAD	: 80 kg
REFERENCIA	: REC N° 184 - 2019 -FE-02	PRESENTACIÓN	: Sacos de Polietileno
RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO	: 2019.09.23	FECHA DE ENSAYO	: Del 2019.10.22 Al 2019.10.23

AASHTO T 330-07 (2011)* : DETECCIÓN CUALITATIVA DE ARCILLAS NOCIVAS DEL GRUPO DE ESMECTITA EN AGREGADOS. UTILIZANDO AZUL DE METILENO.

Identificación	Resultado (mg/g)
Arena para Pavimento; Cantera Gloria	15.5

Observaciones:

- (*) Antes AASHTO TP - 57
- Muestra proporcionada e identificada por el solicitante.
- Fecha de orden de ensayo 2019.09.23
- Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 0002-98/INDECOPI-CRT del 07.01.98).
- Los resultados sólo están relacionados con los ítem ensayados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.

ING. RUTH FÉLIX SÁNCHEZ
Lima, 23 de Octubre del 2019



UAQ (2/2)
rs/boe
O.S. N° 234



LABORATORIO CEE

Av. Túpac Amaru N° 160 - Miraflores

Telf.: (001) 461-3707

email: mac_lee@mtc.gob.pe



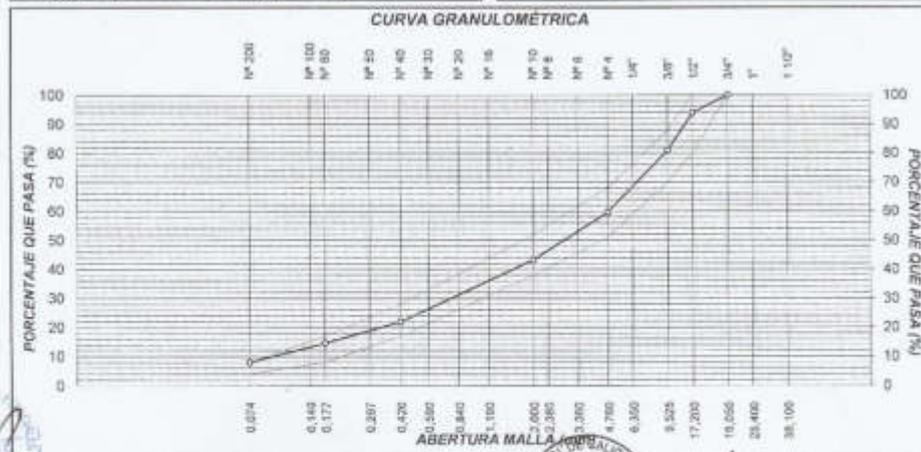
LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE : SR. ROBINSON BALBÍN ARCHIL MUESTRA : Agregados.
 IDENTIFICACIÓN : La que se indica.*
 DOMICILIO LEGAL : Av. Acomayo N° 165 - Cercado de Lima. CANTIDAD : 80 kg c/u.
 PROYECTO : "Diseño de Mezclas Asfálticas 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, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019".
 REFERENCIA : REC N° 197-2019-FE-02. PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno.
 RECEPCIÓN DEL DOC. : 2019 10 04. FECHA DE ENSAYO : 2019/10/14 al 2019/10/18.

MEZCLA DE AGREGADOS

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ABERTURA (mm)	RETENE (%)	PASA (%)	GRADACIÓN MAC-2
1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050		100.0	100
1/2"	12.700	8.1	91.9	80 - 100
3/8"	9.525	13.0	87.0	70 - 80
1/4"	4.750	8.1	91.9	
N° 4	4.750	13.2	86.8	51 - 68
N° 6	2.500	6.8	93.2	
N° 8	2.360	6.5	93.5	
N° 10	2.000	3.0	97.0	38 - 52
N° 16	1.180	8.6	91.4	
N° 20	0.850	4.4	95.6	
N° 30	0.600	4.3	95.7	
N° 40	0.425	4.0	96.0	17 - 28
N° 50	0.300	3.4	96.6	
N° 60	0.250	4.0	96.0	8 - 17
N° 100	0.149	2.9	97.1	
N° 200	0.074	3.8	96.2	4 - 8
N° 300		8.0		

RESUMEN DE ENSAYO
 IDENTIFICACIÓN DE LA MEZCLA
 (1) Piedra Ch. Cant. "La Gloria" = 10%
 (2) Conchillo Cant. La Gloria = 20%
 (3) Arena Ch. Cant. La Gloria = 30%
 (4) Material de carpeta asfáltica reciclada = 40%
 OBSERVACIONES :
 - Especificaciones del MTC EG-2002



LIMA (1/8)
 19/10/19
 O.S. N°246

ING. ENRIKA VALLAGARES ALARCÓN
 Lima, 26 de Octubre del 2019.





LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE: SR. ROBINSON BALBÍN ARCHI MUESTRA: Agregados, PEN 60/70 con est. (Quimborá 3000).
 DOMICILIO LEGAL: SR. VICTOR HUGO CHOCHOÓN GOMEZ IDENTIFICACIÓN: La que se indica
 PROYECTO: "Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo: km 80+000 al km 95+000 de la Carretera Cama, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019"
 REFERENCIA: REC N° 187-2019-FE-02 CANTIDAD: 120 - 135 kg
 RECEPCIÓN DEL DOC.: 2019.10.04 PRESENTACIÓN: Sacos, envase metálico.
 FECHA DE ENSAYO: 2019.10.14 al 2019.10.18.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	3,0			
2 % DE AGREGADO GRUESO (+ N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	38,8			
3 % DE AGREGADO FINO (- N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	58,2			
4 % DE FILLER (MÍNIMO 6% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0,0			
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1,010			
6 PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2,747			
7 PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2,729			
8 PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)	6,14	6,08	6,13	
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1181,2	1181,4	1188,0	
11 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AIRE (g)	1192,8	1191,5	1190,2	
12 PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA EN AGUA (g)	895,2	895,6	893,6	
13 PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	11,6	10,4	2,2	
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (cm³)	497,6	493,2	496,6	
15 PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	2,33	2,11	0,44	
16 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,374	2,395	2,392	2,387
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	2,506			
18 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	8,9	8,1	8,2	8,4
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2,738			
20 V.M.A. (%)	15,8	15,1	15,2	15,4
21 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	43,6	46,5	46,1	45,4
22 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2,740			
23 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0,05			
24 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	2,95			
25 FLUJO (mm)	2,8	2,8	2,8	2,8
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	979,9	979,9	979,9	
27 FACTOR DE ESTABILIDAD	1,04	1,09	1,04	
28 ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1019,0	1068,0	1019,0	1035,0
29 RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3647,1	3822,5	3647,1	3706,0

LMA (2/8)
evaladm/aa.
O.S. N° 248



ING. ERIKA VALLADARES ALARCÓN,
Lima, 28 de Octubre del 2019





LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE: SR. ROBINSON BALBÍN ARCHI MUESTRA: Agregados, PEN 60/70 con bot. (Gumbord 9000).

DOMICILIO LEGAL: SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ, Av. Acomayo N° 166 - Cercado de Lima. IDENTIFICACIÓN: La que se indica

PROYECTO: "Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo km 90+000 al km 90+000 de la Carretera Central, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019". CANTIDAD: 05 - 125 kg.

REFERENCIA: REC N° 197-2019/PE-02. PRESENTACIÓN: Sacos, envase metálico.

RECEPCIÓN DEL DOC.: 2019.10.04. FECHA DE ENSAYO: 2019.10.14 al 2019.10.14.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS	1			2			3			PROMEDIO			
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL									3,5			
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA									38,6			
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA									57,9			
4	% DE FILLER (MÍNIMO 50% PARA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA									0,0			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE									1,010			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MÉNDR 1")									2,747			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO									2,729			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER									--			
9	ALTIMETRA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)									6,09	6,09	6,08	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)									1192,4	1195,4	1192,0	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)									1192,6	1199,6	1193,0	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)									699,2	705,0	700,4	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)									0,4	3,2	1,0	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)									493,6	493,6	492,6	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)									0,06	0,65	0,20	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)									2,416	2,422	2,420	2,419
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (PICE) - ASTM D 2041									2,565			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)									6,6	6,3	6,4	6,4
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)									2,736			
20	V.M.A. (%)									14,8	14,6	14,7	14,7
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)									55,7	56,8	56,5	56,3
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL									2,740			
23	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)									0,05			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)									3,45			
25	FLUJO (mm)									3,0	3,0	3,3	3,1
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)									1136,4	1113,2	1113,2	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD									1,09	1,09	1,09	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)									1239,0	1213,0	1213,0	1222,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)									4065,0	3979,7	3673,5	3906,0



UMA (3/5)
O.S. N° 248
evaladm/aa.



ING. ERICA VALLADARES ALARCÓN
Lima, 28 de Octubre del 2019



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	SR. ROBINSON BALBÍN ARCHI	MUESTRA	Agregados, PEN 60/70 con adt. (Quimbond 3000)
DOMICILIO LEGAL	SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GOMEZ	IDENTIFICACIÓN	La que se indica
PROYECTO	"Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo km 90+000 al km 95+000 de la Carretera Costa, Ubicado en el Distrito y Provincia de Costa Departamento de Lima 2019".		
REFERENCIA	REC N° 197-2019-FE-02	CANTIDAD	50 - 08 kg
RECEPCIÓN DEL DOC.	2019.10.04	PRESENTACIÓN	Sacos, envase metálico
		FECHA DE ENSAYO	2019.10.14 al 2019.10.18

MTC E - 504

ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL METODO MARSHAL

N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1. % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	4.0			
2. % DE AGREGADO GRUESO (+ N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	36.40			
3. % DE AGREGADO FINO (+ N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	57.60			
4. % DE FILLER (MÍNIMO 66% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.0			
5. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010			
6. PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")	2.747			
7. PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO	2.729			
8. PFSO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER	--			
9. ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)	6.04	6.02	6.96	
10. PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1200.6	1199.4	1198.8	
11. PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1202.0	1200.2	1200.6	
12. PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	712.0	712.0	715.0	
13. PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	1.2	0.8	1.8	
14. VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	490.0	488.2	485.6	
15. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0.24	0.15	0.37	
16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2.451	2.457	2.469	2.459
17. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (PCE) - ASTM D 2041	2.564			
18. PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	4.4	4.2	3.7	4.1
19. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)	2.736			
20. V.M.A. (%)	14.0	13.8	13.4	13.7
21. PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	58.4	69.7	72.2	70.1
22. PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.740			
23. ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.05			
24. PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	3.95			
25. FLEJEO (mm)	3.3	3.6	3.3	3.4
26. ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1238.6	1238.6	1215.0	
27. FACTOR DE ESTABILIDAD	1.09	1.09	1.09	
28. ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1350.0	1350.0	1324.0	1341.0
29. RELACIÓN ESTABILIDAD/FLEJEO (kg/mm)	408.4	375.4	400.7	395.0

LMA (4/8)
O.S. N° 246
evaladm/jca



ING. ERICA VALLADARES BLARCON
Lima, 28 de Octubre del 2019



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE: SR. ROBINSON BALBIN ARCHI MUESTRA: Agregados, PEN 00/70 con adl. (Quimburi 3000)

DOMICILIO LEGAL: SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ. IDENTIFICACIÓN: La que se indica

PROYECTO: "Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo: km 90+000 al km 95+000 de la Carretera Central, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta, Departamento de Lima 2019". CANTIDAD: 100 - 120 kg.

REFERENCIA: REC N° 197-2019-PE-02. PRESENTACIÓN: Sacos, envase metálico.

RECEPCIÓN DEL DOC.: 2019.10.04. FECHA DE ENSAYO: 2019.10.14 al 2019.10.18.

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

	N° DE BRIQUETAS	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL		4,5		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		38,2		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA		57,3		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 80% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA		0,0		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE		1,010		
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MENOR 1")		2,747		
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO		2,729		
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER		--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)	6,03	5,90	5,99	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)	1202,4	1199,2	1199,2	
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)	1202,6	1200,0	1200,0	
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)	714,0	715,0	715,0	
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)	0,2	0,8	0,8	
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)	488,6	485,0	485,0	
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	0,04	0,16	0,16	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)	2,461	2,473	2,473	2,469
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (INDICE) - ASTM D 2041		2,544		
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	3,3	2,8	2,8	2,9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)		2,736		
20	VMA (%)	14,1	13,7	13,7	13,6
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)	77,0	79,5	79,6	78,7
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL		2,739		
23	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)		0,05		
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)		4,45		
25	FLUJO (mm)	3,8	3,8	3,8	3,8
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)	1168,0	1177,4	1182,1	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	1,09	1,09	1,09	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	1273,0	1283,0	1286,0	1281,0
29	RELACIÓN ESTABILIDAD/FLUJO (kg/mm)	3341,2	3367,5	3380,6	3363,0

RECIBIDO
LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES
MTC/19.01.EE

LIMA (5/6)
O.S. N° 246
eva/edm/jaz.

CONTROL DE CALIDAD
ING. ERBA VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 28 de Octubre del 2019



LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	SR. ROBINSON BALBIN ARCHI	MUESTRA	Agregados, PEN 60/70 con adf. (Quimbomb 3000)
DOMICILIO LEGAL	SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GOMEZ, Av. Acomayo N° 166 - Cercado de Lima.	IDENTIFICACIÓN	La que se indica
PROYECTO	*Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo: km 90+000 al km 99+000 de la Carretera Carre. Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019*.		
REFERENCIA	REC N° 197-2019-PE-02.	CANTIDAD	120 - 135 kg
RECEPCIÓN DEL DOC.	2019.10.04	PRESENTACIÓN	Sacos, ensayo metálico.
		FECHA DE ENSAYO	2019.10.14 al 2019.10.16

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

	N° DE BRIQUETAS			
	1	2	3	PROMEDIO
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL			
2	% DE AGREGADO GRUESO (+ N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			
3	% DE AGREGADO FINO (+ N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA			
4	% DE FILLER (MINIMO 85% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA			
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE			
6	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO GRUESO (MINOR 1")			
7	PESO ESPECÍFICO BULK SECO DEL AGREGADO FINO			
8	PESO ESPECÍFICO APARENTE DEL FILLER			
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (mm)			
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (g)			
11	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AIRE (g)			
12	PESO DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO EN AGUA (g)			
13	PESO DEL AGUA ABSORBIDA (g)			
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO (cm³)			
15	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)			
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (g/cm³)			
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (PICE) - ASTM D 2941			
18	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)			
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (g/cm³)			
20	VMA (%)			
21	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C.A. (%)			
22	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL			
23	ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)			
24	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)			
25	FLUIDO (mm)			
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (kg)			
27	FACTOR DE ESTABILIDAD			
28	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)			
29	RELACION ESTABILIDAD*FLUIDO (kg/mm)			

[Handwritten signature]

UMA (6/8)
O.S. N° 245
evaledmjsa

[Handwritten signature]
INGENIERA VALLADARES ALARCÓN.
Lima, 26 de Octubre del 2019



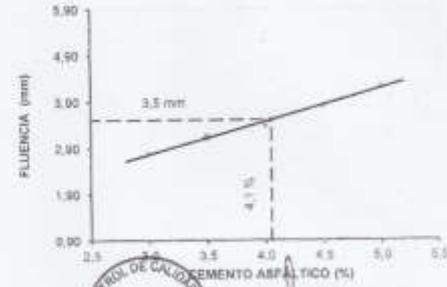
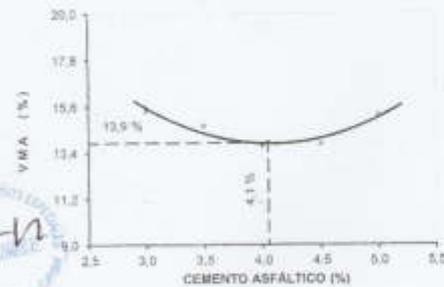
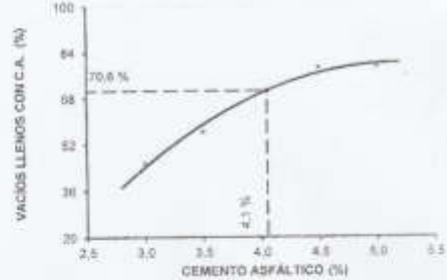
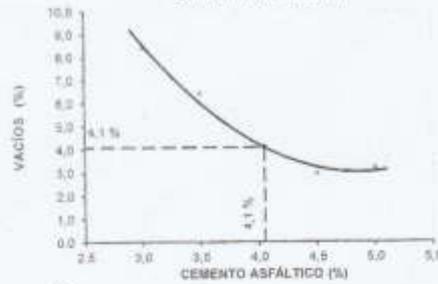
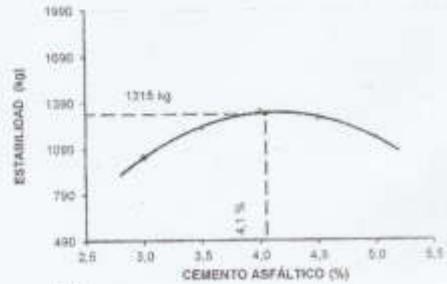
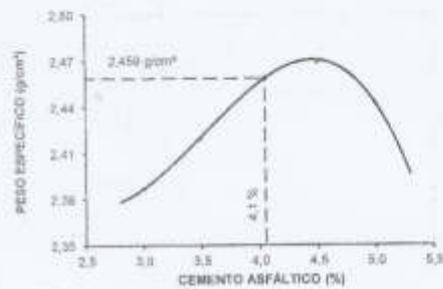
LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	SR. ROBINSON BALBÍN ARCHI	MUESTRA	Agregados, PEN 60/70 con ast. (Guimbord 3000)
DOMICILIO LEGAL	SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	IDENTIFICACIÓN	La que se indica
PROYECTO	"Diseño de Mezclas Asfálticas 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, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019".		
REFERENCIA	REC N° 197-2019-FE-02	CANTIDAD	120 - 129 kg.
RECEPCIÓN DEL DOC.	2019.10.04	PRESENTACIÓN	Sacos, en masa metálico.
		FECHA DE ENSAYO	2019.10.14 al 2019.10.18.

MTC E - 504

ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL



UMA (79)
O.S. N° 246
ewaldr@per





LABORATORIO DE LA COORDINACIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES

INFORME DE ENSAYO N° 259 - 2019 - MTC/19.01.EE

SOLICITANTE	: SR. ROBINSON BALDIN ARCHI SR. VICTOR HUGO CHOCHÓN GÓMEZ	MUESTRA	: Agregados, PEN 50/70 con adf. (Quimbond 3000)
DOMICILIO LEGAL	: Av. Acomayo N° 168 - Cercado de Lima.	IDENTIFICACIÓN	: La que se indica
PROYECTO	: "Diseño de Mezclas Asfálticas con Material Reciclado para la Mejora del Comportamiento Mecánico del Pavimento en el Tramo: km 95+000 al km 95+000 de la Carretera Canta, Ubicado en el Distrito y Provincia de Canta Departamento de Lima 2019"		
REFERENCIA	: REC N° 197-2019-FE-02	CANTIDAD	: 120 - 125 kg
RECEPCIÓN DEL DOC.	: 2019.10.04	PRESENTACIÓN	: Sacos, envase metálico.
		FECHA DE ENSAYO	: 2019.10.14 al 2019.10.15

MTC E - 504 ENSAYO PARA MEDIR LA RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL MÉTODO MARSHAL

Características de la Mezcla :

- N° de golpes por cara							
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	3.9		4.1				4.3
- Peso Especifico bulk, g/cm ³	2.450		2.459				2.451
- Vacíos, %	4.7		4.1				3.6
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	66.8		70.6				73.7
- V.M.A., %	13.9		13.9				13.9
- Estabilidad, kg (kN)	1306.6	(12.81)	1315.4	(12.90)		1322.8	(12.97)
- Flujo, mm (10 ⁷ pulg)	3.3	(13.1)	3.5	(13.8)		3.6	(14.2)
- Absorción de Asfalto, %			0.05				
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	3937.0	(10.0)	3746.0	(8.0)		3667.0	(9.0)
- Temperatura de la Mezcla, °C			140 - 145				

Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	40.0
(2) Agregado fino, % **	60.0
(3) Aditivo, % ***	0.5

Materiales :

Tipo de Asfalto	: Cemento Asfáltico PEN 50/70.
Agregados	: Cantera La Gloria - Piedra Chancada huso 67 - Contítulo - Arena Chancada Tmax, 1/4" 32.0%
Aditivo	: Material de carpeta asfáltica reciclada. Mejorador de Adherencia "Quimbond 3000"

Nota :

- (*) Porcentaje en peso de la mezcla total
- (**) Porcentaje en peso de los agregados.
- (***) Porcentaje en peso del asfalto.

Observaciones :

Publicado en el Manual de Ensayo de Materiales - MTC, (Edición Mayo del 2016):

Muestras proporcionadas e identificadas por el solicitante.

Fecha de Orden de Ensayo y/o Preparación : 2019.10.04

Los resultados de ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce (Resolución N° 002-99-INDECOPI-CRT del 07.01.98).

Este documento no autoriza el empleo de los materiales analizados, siendo la interpretación del mismo de exclusiva responsabilidad del usuario.



LIMA (S/R)
O.S. N° 246
eva/edm/jaa



Lima, 28 de Octubre del 2019



PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DEL SALDO DE OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA LIMA - CANTA - LA VILCA - (AMB)

TRAMO: CANTA - HUAYLAY (KM 80+000 AL KM 85+000)

UBICACIÓN: LIMA

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN: CANTERA "LA GLORIA"

PRESENTACIÓN: Agregados páticos

COORDENADAS UTM

MEZCLA DE AGREGADOS

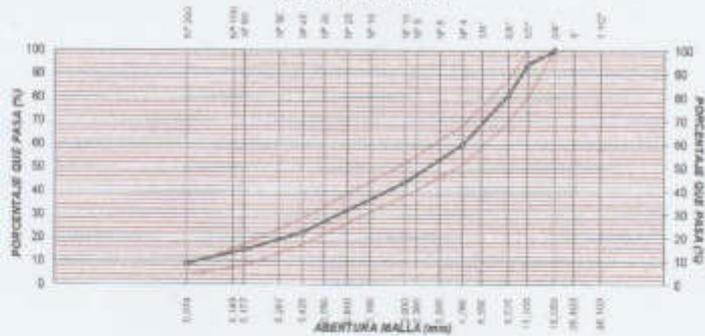
MALLA SERIE NORMAS	GRANULOMETRÍA RESULTANTE			
	ÁMBULO (mm)	RETENIDO (gr)	PERCENTUAL (%)	GRANULACIÓN MÁX. (%)
1.18	75	0	0	0
2.5	150	0	0	0
4.75	300	0	0	0
7.5	450	0	0	0
12.5	750	0	0	0
150	15000	100.0	100	100
75	11250	90.0	90	100
300	9000	72.0	72	100
425	8250	66.0	66	100
600	7500	60.0	60	100
840	6660	53.3	53.3	100
1060	5830	46.6	46.6	100
1320	5000	40.0	40	100
1600	4000	33.3	33.3	100
1920	3000	24.0	24	100
2280	2250	18.0	18	100
2700	1500	12.0	12	100
3240	720	5.8	5.8	100
3960	360	2.9	2.9	100
4800	180	1.4	1.4	100
5760	90	0.7	0.7	100
6840	45	0.4	0.4	100
8100	22.5	0.2	0.2	100
9540	11.25	0.1	0.1	100
11160	5.625	0.05	0.05	100
12960	2.8125	0.02	0.02	100
14940	1.40625	0.01	0.01	100
17160	0.703125	0.005	0.005	100
19680	0.3515625	0.002	0.002	100
22440	0.17578125	0.001	0.001	100
26360	0.087890625	0.0005	0.0005	100
31440	0.0439453125	0.0002	0.0002	100
37680	0.02197265625	0.0001	0.0001	100
45000	0.010986328125	0.00005	0.00005	100

RESUMEN DE ENSAYO

IDENTIFICACIÓN DE LA MEZCLA

- (1) Piedra chancada 30%
- (2) Arena chancada 65%

CURVA GRANULOMÉTRICA



CORPORATIVO CESEL CAL YANOR
 Mejoras y Organización del Comercio
 Calle Ocho Huayla 24, Centro de Exp. 28
 Ing. Cesar Augusto Jiménez
 Cliente Supervisor

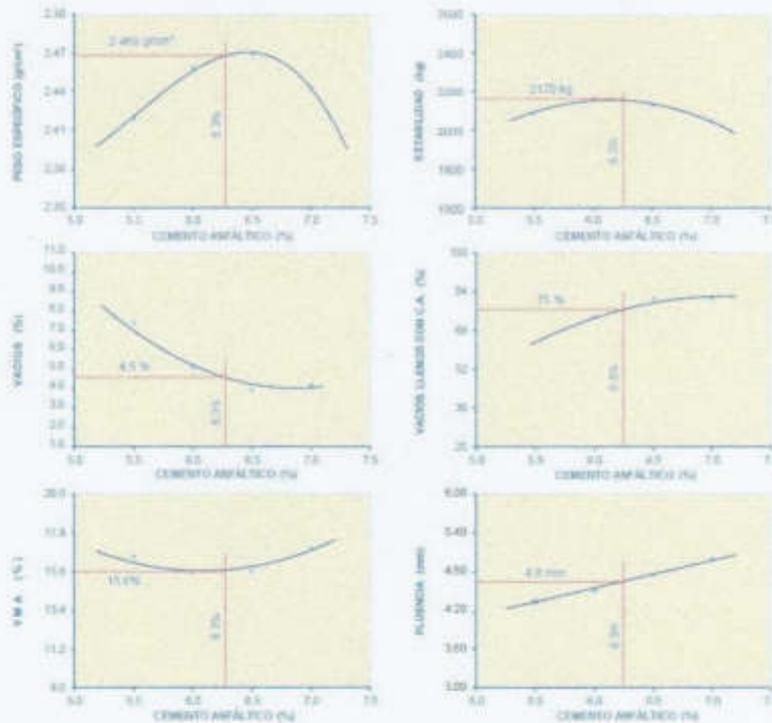
Ing. J. Meléndez P.
 Ing. J. Calderón C.
 Ing. J. Meléndez P.
 Ing. J. Calderón C.

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DEL SALDO DE OBRA REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA LIMA - CANTA - LA VIDA - UMSH

TRAMO: CANTA - HUAYLLAY (KM 90-000 AL KM 95-000) UBICACIÓN: LIMA

REFERENCIAS DE LA MUESTRA
 IDENTIFICACIÓN: CANTERA 'LA GLORIA' PRESENTACIÓN: Doble Manual
 COORDENADAS UTM:

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL DISEÑO MARSHALL



CONSORCIO CESEL-SAL Y SUELOS
 Mejoramiento y Organización del Tránsito en la
 Lima-Canta-Huayllay de la Carretera Dept. PI
 Ing. Octavio Estrella Sánchez
 Jefe de Supervisión

Ing. J. Calderón D.
 Ing. J. Belsarz P.
 Ing. J. Calderón D.
 Ing. J. Belsarz P.



LABORATORIO MECANICA DE SUELOS
CONCRETOS Y PAVIMENTOS

Informe N°: DYP-MA-18
Fecha de Emisión: 10/03/18
Revisado por: Ing. J. CALDERÓN D.
Revisado por: Ing. J. BELÉNDEZ F.
Certificado N°: DYP-08-18001

PROYECTO: ESTUDIO DEFINITIVO DEL SALDO DE OBRA: REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA UMA - CANTA - LA VIUDA - UMGH

TRAMO: CANTA - HUAYLLAY (KM 95-000 AL KM 95-000)

UBICACIÓN:

LIMA

REFERENCIAS DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "LA GLORIA"

PRESENTACIÓN : Doble Marshall

COORDENADAS UTM :

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS USANDO EL DISEÑO MARSHALL

Características de la Mezcla :

- N° de golpes por cara	75	
- Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico, % *	5.3	
- Peso Específico bulk, g/cm ³	2.459	
- Vacíos, %	4.5	
- Vacíos llenos con Cemento Asfáltico, %	75.0	
- V.M.A., %	15.6	
- Estabilidad, kg (kN)	2170.0	(21.28)
- Flujo, mm (10 ⁻³ pulg)	4.6	(18.1)
- Absorción de Asfalto, %	0.05	
- Relación Estabilidad / Flujo, kg/cm (lb/pulg)	4717.0	(12.0)
- Temperatura de la Mezcla, °C	140 - 145	

Proporciones de mezcla :

(1) Agregado grueso, % **	40.0
(2) Agregado fino, % **	60.0
(3) Aditivo, % ***	0.5

Materiales :

Tipo de Asfalto
Agregados

Cemento Asfáltico PEN 60/70.
Cantera La Gloria
- Piedra Chancada
- Arena Chancada

Carpeta asfáltica

COORDENADO: CESEL CAL Y MAJOR
MEJORAMIENTO Y ORDENAMIENTO DEL TRAMO UMGH
CANTA-HUAYLLAY- LA VIUDA- UMGH

Ing. Octavio Uc-Roa Jiménez
Gerente General



Anexo 5
Hoja técnica de cemento asfáltico

Petróleos del Perú - PETROPERÚ S.A.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO		<i>Fecha efectiva:</i> Enero 2019		
TIPO DE PRODUCTO CEMENTO ASFÁLTICO		<i>Reemplaza edición de:</i> Enero 2014		
NOMBRE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MIN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN, a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	60	70	D-5	T-49
VOLATILIDAD				
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70	T-228
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD, % masa	99.0		D-2042, D-7553	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0.8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	Reportar		D-2170	T-201
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con la Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				

Anexo 6

Hoja técnica de mejorador de adherencia



THE EUCLID CHEMICAL COMPANY

19218 REDWOOD ROAD • Cleveland, OH 44110 • www.euclidchemical.com

QUIMIBOND 3000®

ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA PARA ASFALTO

QUIMIBOND 3000 es un aditivo líquido, base amina que mejora la adherencia entre el agregado-asfalto evitando la formación de bolsas de agua que impiden la adhesión del cemento asfáltico al agregado. Es un gran "anti-stripping" entre el asfalto y los agregados. Los ingredientes del QUIMIBOND 3000 permiten una excelente cohesión del pavimento durante largo tiempo.

Es un aditivo que es fácil de dosificar al no tener que calentarse y evitar los gases tóxicos.

PROPIEDADES

Color : Café Oscuro

Apariencia : Líquida-viscosa

Densidad : 0.93 - 0.97 Kg./ Lt.

Dosificación : 0.3% - 0.8% del peso del cemento asfáltico.

PROPIEDADES FISICAS:

Determinación	Contenido
Contenido de aminas	400-600
Propiedades Físicas a 25 °C	Líquido
Viscosidad a 25 °C	2000 – 6500 cs
Gravedad Específica	0.95 promedio
Solubilidades:	
Gasolina	Insoluble
Agua	Insoluble
Alcohol Isopropílico	Insoluble

APLICACIONES

- En asfalto en caliente para mejorar la adherencia entre el concreto asfáltico y los agregados.
- Como promotor de adherencia en mezclas frías.
- En riegos de impregnación, para mejorar la penetración del impregnante a la base.
- En riegos de liga para una buena unión base-carpeta.
- Se recomienda su uso bajo las siguientes situaciones críticas:
 - Cuando se utilizan agregados difíciles.
 - En ambientes con alta humedad ambiental.
 - Cuando se empleen agregados con alto contenido de sílice.

DOSIFICACION

0.3 al 0.8 % del peso del cemento asfáltico.

Se recomienda la dosificación del 0.8% cuando los agregados poseen excesiva carga de silicios, piedra caliza o humedad.

DIRECCIONES PARA SU USO

La dosificación del QUIMIBOND 3000 es muy sencilla al no necesitarse calentarse o agitarse. Una vez determinada la dosificación que varía de acuerdo a los agregados entre el 0.3 al 0.8% del peso del cemento asfáltico. La dosificación se aplica por medios neumáticos al tanque de almacenaje o por inyección a la carga del asfalto.