

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Análisis y evaluación de las implicancias de implementar
mezclas asfálticas modificadas en caliente con
incorporación de neumáticos fuera de uso
(NFU) en el Perú al 2025**

Rocio Marivel Cristobal Taype
Jaime Sanchez Vilcatoma

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ph. D. Ing. Andrés Sotil Chávez

AGRADECIMIENTO

A nuestros padres, por habernos formado con buenos principios y valores; por enseñarnos a cumplir con los objetivos planteados, y confiarnos la meta que hoy paso a paso cumplimos: ser buenos profesionales e ingenieros.

A la Universidad Continental, por haberme iniciado y formado académicamente en la carrera profesional de Ingeniería Civil.

A los docentes de la Universidad Continental, por sus enseñanzas y por compartir todas sus experiencias que nos forman día a día.

A la empresa 3IPE, especialistas en la ingeniería de transportes y pavimentos, por el asesoramiento en la elaboración del presente trabajo de investigación.

A nuestro asesor, Ph. D. Ing. Andrés Sotil Chávez, que aceptó guiarnos en todo el proceso de elaboración del presente trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirnos haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional. A nuestros padres, por demostrarnos siempre su cariño y su apoyo incondicional y a todos aquellos que consideren la presente una base para continuar con la investigación con fines de aportar a la ingeniería.

ÍNDICE

PORTADA	i
ASESOR	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ACRÓNIMOS Y SIGLAS	xv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	23
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	25
1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL	25
1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	25
1.2. OBJETIVOS	25
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	25
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	26
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	27

1.4.2.	DELIMITACIÓN TEMPORAL	27
1.4.3.	DELIMITACIÓN CONCEPTUAL	28
1.5.	HIPÓTESIS.....	28
1.5.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	28
1.5.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	28
1.6.	VARIABLES.....	29
1.6.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	29
1.6.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	30
CAPÍTULO II:	MARCO TEÓRICO	32
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	32
2.1.1.	ANTECEDENTES NACIONALES	32
2.1.2.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	33
2.2.	BASES TEÓRICAS.....	38
2.2.1.	MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	38
2.2.1.1.	COMPONENTES	39
2.2.1.2.	CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	42
2.2.1.3.	CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.....	43
2.2.2.	NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)	43
2.2.2.1.	CARACTERÍSTICAS.....	44
2.2.2.2.	TRATAMIENTOS A LOS NFU.....	45
2.2.2.3.	EXPERIENCIAS EN EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN ALGUNOS PAÍSES	48
2.2.2.4.	NORMATIVA SOBRE RECICLAJE DE NFU EN PERÚ	53
2.2.2.5.	CRECIMIENTO DE NFU EN PERÚ	55
2.2.2.6.	PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CAUCHO MOLIDO	55
2.2.2.7.	PROPIEDADES DE LOS NFU PROCESADOS	56
2.2.3.	MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON NFU	57
2.2.3.1.	PROPIEDADES	57

2.2.3.2.	INCORPORACIÓN DEL NFU EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	58
2.2.3.3.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	62
2.2.4.	NORMATIVA Y ENSAYOS A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ..	64
2.2.4.1.	ENSAYOS PARA ESTABILIDAD	64
2.2.4.2.	ENSAYOS PARA FLEXIBILIDAD	66
2.2.4.3.	ENSAYOS PARA RESISTENCIA A LA FATIGA	67
2.2.4.4.	ENSAYOS PARA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	69
2.2.4.5.	ENSAYOS PARA DEFORMACIONES PLÁSTICAS.....	74
2.2.4.6.	ENSAYOS PARA DURABILIDAD	79
2.2.4.7.	ENSAYOS PARA IMPERMEABILIDAD.....	80
2.2.4.8.	ENSAYOS PARA TRABAJABILIDAD.....	81
2.2.5.	COSTO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON NFU EN EL PERÚ Y LATINOAMERICA	83
2.2.6.	A NIVEL INTERNACIONAL	83
2.2.6.1.	A NIVEL NACIONAL	87
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		91
3.1.	MÉTODOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	91
3.1.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	91
3.1.1.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	91
3.1.1.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	91
3.1.2.	ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	92
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	92
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	92
3.3.1.	POBLACIÓN	92
3.3.2.	MUESTRA	92
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	92
3.4.1.	TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS	92

3.1.3.	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	93
3.5.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO	93
3.5.1.	ESQUEMA GENERAL PARA EL ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO.	94
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN		95
4.1.	RESULTADOS DE EXPERIMENTOS Y USOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON NFU	95
4.1.1.	A NIVEL NACIONAL	95
4.1.2.	A NIVEL LATINOAMÉRICA	111
4.2.	MEDIDAS QUE SE DEBERÍA ADOPTAR PARA PODER IMPLEMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON LA INCORPORACIÓN DE NFU.....	136
4.2.1.	MEDIDAS RESPECTO A LOS MATERIALES	138
4.2.1.1.	HUSOS GRANULOMÉTRICOS	138
4.2.1.2.	TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE NFU.....	139
4.2.1.3.	TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO	141
4.2.2.	MEDIDAS RESPECTO A LAS NORMAS DEL USO DEL POLVO DE NFU	142
4.2.3.1.	RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL POLVO DE NFU.....	142
4.2.3.2.	RESPECTO AL ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NFU	146
4.3.	ANÁLISIS DEL COSTO – BENEFICIO	153
4.3.1.	CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO A ANALIZAR	153
4.3.2.	IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS, BENEFICIOS NEGATIVOS Y COSTOS POR ALTERNATIVA.....	164
4.3.3.	ESTIMACIÓN MONETARIA.....	165
4.3.4.	CÁLCULO RAZÓN BENEFICIO/COSTO	169
CONCLUSIONES		171
RECOMENDACIONES		180
REFERENCIAS		181
ANEXOS.....		187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable dependiente, dimensiones e indicadores.....	29
Tabla 2: Variable independiente, dimensiones e indicadores.....	30
Tabla 3: Densidad Bulk y gravedad específica RICE para el material utilizado en la fabricación de briquetas con asfalto modificado por el proceso de mezcla húmeda.	34
Tabla 4: Densidad Bulk y gravedad específica RICE para la mezcla asfáltica sin modificar, con 6.1 wt % de asfalto.	34
Tabla 5: Punto de stripping probetas en el compactador giratorio ensayadas en HWTD.	37
Tabla 6: Requerimientos para agregados finos.....	40
Tabla 7: Requerimientos para los agregados gruesos.	40
Tabla 8: Clasificación de mezclas asfálticas	42
Tabla 9: Normas vinculadas con la gestión de residuos sólidos en el Perú.....	53
Tabla 10: Escala de importancia de ventajas y desventajas de 02 mezclas asfálticas.	63
Tabla 11: Valores mínimos de estabilidad Marshall	64
Tabla 12: Normas para ensayo de Estabilidad Marshall	65
Tabla 13: Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento	66
Tabla 14: Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga	69
Tabla 15: Normas para Determinación Del Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento En El Pavimento Con Péndulo Británico (Trrl).	72
Tabla 16: Causas y Efectos de una Mala Resistencia al Deslizamiento.....	74
Tabla 17: Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en mezclas asfálticas.	79
Tabla 18: Causas y efectos de una poca durabilidad	80
Tabla 19: Causas y efectos de la permeabilidad.....	81
Tabla 20: Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	82
Tabla 21: Comparación asfalto convencional vs asfalto caucho.....	83
Tabla 22: Costo de un concreto asfáltico con diferentes ligantes.	84
Tabla 23: Costo de producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70	87
Tabla 24: Costo producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70 modificado. ..	88
Tabla 25: Variación de costo de producción Asfalto convencional y asfalto modificado con NFU.....	88
Tabla 26: Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica convencional (MAC-02).....	89
Tabla 27: Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica modificada (MAC-02-AR-01)	90
Tabla 28: Diseño del experimento.....	95
Tabla 29: Especímenes de prueba fabricados a 160 °C	96
Tabla 30: Especímenes de prueba fabricados a 180 °C	97
Tabla 31: Especímenes de prueba fabricados a 200 °C	97
Tabla 32: Granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados	98

Tabla 33: Clasificación de las muestras producidas con adición de caucho de neumáticos reciclados.....	102
Tabla 34: Huso granulométrico del agregado para mezcla asfáltica densa - MAC-2.	103
Tabla 35: Características del aditivo mejorador de adherencia	104
Tabla 36: Gradación de caucho molido modificador (GCM)	105
Tabla 37: Gradación de caucho molido modificador (GCM) por componentes.....	105
Tabla 38: Consideraciones para la elaboración del caucho modificado con NFU	106
Tabla 39: Características de la mezcla asfáltica convencional MAC-02 – diseño de obra.	107
Tabla 40: Características de la mezcla asfáltica modificada, diseño MAC-02-AR-01.	107
Tabla 41: Comparación de las características de la mezcla asfáltica convencional MAC-02 y mezcla asfáltica modificada MAC-02-AR-01	108
Tabla 42: Resultados compresión edometría, 60°C, 10 kg/cm ²	109
Tabla 43: Resultados compresión edometría, 0°C, 10 kg/cm ²	109
Tabla 44: Resultados compresión edometría, 0°C, 10 kg/cm ²	110
Tabla 45: Características del agregado para mezcla asfáltica densa	111
Tabla 46: Características para determinar el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica mdc-19	112
Tabla 47: Características para determinar el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica MDC-GCR.....	112
Tabla 48: Características del asfalto modificado con GCR.....	113
Tabla 49: Propiedades generales del asfalto AC 60-70	113
Tabla 50: Resultados del Diseño Marshall	114
Tabla 51: Resultados obtenidos del módulo resiliente (MR).....	115
Tabla 52: Datos generales del ensayo de resistencia a la tracción indirecta (RTI)...	117
Tabla 53: Propiedades físico químicas del asfalto.....	119
Tabla 54: Características del compatibilizante I.	119
Tabla 55: Granulometría de los agregados.	126
Tabla 56: Caracterización de del cemento asfáltico.	127
Tabla 57: Composición del asfalto.	127
Tabla 58: Estabilidad de almacenamiento a los 3 días.....	128
Tabla 59: Relaciones volumétricas Marshall.	129
Tabla 60: Relaciones volumétricas Marshall.	129
Tabla 61: Valores de tracción indirecta por medio del Test de Lottman modificado a 25°C.	130
Tabla 62: Parámetros del ensayo de Wheel Tracking Test.	130
Tabla 63: Espesor sobre los testigos.	132
Tabla 64: Porcentaje de compactación.	133
Tabla 65: Vacíos rice iniciales.....	133
Tabla 66: Factor de calidad.....	134
Tabla 67: Especificaciones recomendadas.	135
Tabla 68: Investigaciones utilizadas.....	136
Tabla 69: Base de las investigaciones analizadas para el proceso de incorporación de caucho por vía húmeda.	137

Tabla 70: Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente utilizadas en las investigaciones.....	138
Tabla 71: Tamaño de las partículas de NFU utilizadas en las investigaciones.....	139
Tabla 72: Tipos de cemento asfáltico utilizadas en las investigaciones.....	141
Tabla 73: Características del GCR.....	143
Tabla 74: Granulometría del GCR.....	144
Tabla 75: Composición Química del Polvo de Caucho.....	144
Tabla 76: Husos Granulométricos del Polvo de Caucho	145
Tabla 77: Normativas respecto a la caracterización del polvo de NFU.....	146
Tabla 78: Especificaciones del Cemento Asfáltico Modificado con Caucho	147
Tabla 79: Especificaciones de asfalto modificado con GCR.....	148
Tabla 80: Valores recomendados para modificar el CA con el GCR.	148
Tabla 81: <i>Especificaciones de asfalto modificado con GCR</i>	149
Tabla 82: Propiedades mínimas de mezcla modificadas con asfalto – GCR.....	149
Tabla 83: Especificaciones de Betunes de Alta Viscosidad con Caucho.....	150
Tabla 84: Normativas respecto al asfalto modificado con polvo de NFU.	152
Tabla 91: Presupuesto de partida Pavimentos – mezcla asfáltica convencional.	154
Tabla 92: Presupuesto de partida Pavimentos – mezcla asfáltica modificada con NFU.	158
Tabla 93: ACU partida Carpeta asfáltica en caliente – mezcla asfáltica modificada con NFU.....	159
Tabla 94: ACU partida Berma Asfáltica – mezcla asfáltica modificada con NFU.....	159
Tabla 95: ACU Subpartida Preparación de mezcla asfáltica – mezcla asfáltica modificada con NFU.....	160
Tabla 96: Comparativo de propiedades mecánicas en fase de ejecución y servicio de pavimento convencional y modificado con NFU.	160
Tabla 97: Identificación de beneficios y costos Alternativa 01 – Pavimento Convencional.	164
Tabla 97: Identificación de beneficios y costos Alternativa 02 – Pavimento modificado con NFU.....	165
Tabla 99: Estimación monetaria en Alternativa 01 – Pavimento Convencional.	166
Tabla 100: Estimación monetaria en Alternativa 01 – Pavimento Modificado con NFU.	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación de cementos asfálticos por compactador giratorio ensayados en Hamburg Wheel-Tracking Device (HWTD).....	36
Figura 2: Diagrama de ensayo a la fatiga y tipo de mezcla asfáltica.....	38
Figura 3: Esquema del ciclo de vida de los neumáticos	46
Figura 4: Gestión y tratamiento de neumáticos fuera de uso (NFU)	47
Figura 5: Ciclo de vida de un neumático y disposición final en Chile	48
Figura 6: Pavimentación con mezcla asfáltica modificada con NFU.	57
Figura 7: Proceso de adición de obtención de Mezclas asfáltica modificada con NFU.	60
Figura 8: Proceso de producción industrial asfalto modificado con adición de Caucho de Llantilla Reciclado CRLR.....	60
Figura 9: Máquina de Carga a Comprensión	65
Figura 10: Corrección al aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C.....	71
Figura 11: Péndulo del TRRL.	72
Figura 12: Aparato para medir profundidad de macrotextura de la superficie del pavimento.....	73
Figura 13: Equipo AMPT	76
Figura 14: Equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT).....	77
Figura 15: Equipo Wheel – Track de Hamburg.....	78
Figura 16: Costos de mantenimiento de la agencia de transportes de Arizona EE.UU. sobre capa convencional comparado con una mezcla caucho asfalto.....	85
Figura 17: Mantenimiento de carreteras con/sin caucho (Jung, 2002).....	86
Figura 18: Costo para los usuarios con/sin caucho (Jung, 2002).....	87
Figura 19: Curva granulométrica del caucho obtenido de los neumáticos reciclados.	98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia de la tesis titulada “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS IMPLICANCIAS DE IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN EL PERÚ AL 2025”	187
Anexo 2: Operacionalización de Variables de la tesis titulada “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS IMPLICANCIAS DE IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN EL PERÚ AL 2025”	189
Anexo 3: Data parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo: 2007-2018.	190
Anexo 4: Diagrama parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo: 2007-2018.	190
Anexo 5: Data parque vehicular estimado, según departamento: 2007-2018	191
Anexo 6: Diagrama evolución del parque vehicular estimado: 2007-2018	191
Anexo 7: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2011	192
Anexo 8: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2012	193
Anexo 9: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2013	194
Anexo 10: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2014	195
Anexo 11: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2015	196
Anexo 12: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2016	197
Anexo 13: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2017	198
Anexo 14: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2018	199
Anexo 15: Análisis de costo unitario partida carpeta asfáltica en caliente.....	200
Anexo 16: Análisis de costo unitario partida preparación de mezcla asfáltica.....	201
Anexo 17: Análisis de costo unitario partida cemento asfáltico pen 60/70	202
Anexo 18: Análisis de costo unitario partida relleno mineral (filler)	202
Anexo 19: Análisis de costo unitario partida aditivo para asfalto.....	203
Anexo 20: Análisis de cantidades para el diseño MAC-02 – Diseño convencional ...	204
Anexo 21: Análisis de cantidades para el diseño MAC-02-AR-01 – Diseño modificado	205
Anexo 22: Características del cemento asfáltico PEN 60/70	206
Anexo 23: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto convencional (MDC-19) porcentajes 4.5%, 5.0% y 5.5%.....	207
Anexo 23: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto convencional (MDC-19) porcentajes 6.0%.....	208

Anexo 24: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto - caucho (MDC-GCR) porcentajes 6.0%, 6.5% y 7.0%.....	209
---	-----

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

NFU	Neumáticos fuera de uso
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MINAM	Ministerio del Ambiente
RVNP	Red de vías nacionales pavimentadas
RVDP	Red de vías departamentales pavimentadas
RVLP	Red de vías Vecinales o Locales pavimentadas
MDC-19	Mezcla de control Convencional
MDC-GCR	Mezcla de control modificado con grano de caucho reciclado
CALTRANS	Departamento Californiano de Transporte (California Department of Transportation)

RESUMEN

La presente tesis titulada “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS IMPLICANCIAS DE IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN EL PERÚ AL 2025”, tiene por objetivo analizar y evaluar las implicancias que conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025, dentro de los cuales se contempla la variación en las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la mezcla modificada, las medidas que debería adoptar el Perú para su adecuada producción, y un análisis costo - beneficio de su implementación en el Perú.

La metodología para la recolección de datos fue basada en trabajos de investigación, realizadas a nivel nacional e internacional tanto a nivel del experimental en laboratorio como en proyectos aplicados en pavimentación de vías, fuentes bibliográficas, videos, entre otros.

Se concluye que la utilización de mezclas asfálticas modificadas al incorporar caucho entre un 13 – 15% por vía húmeda definitivamente mejorarán las propiedades mecánicas como: mayor resistencia a fallas por fatiga, deformaciones plásticas (ahuellamiento), mejora la resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas, brinda mayor elasticidad a altas y bajas temperaturas entre otros; respecto a las propiedades de servicio: disminuye el ruido producido por el tránsito, reduce el deslizamiento en presencia de agua (lluvias) mejorando la seguridad vial; así mismo, alarga la vida útil del pavimento y reduce los costos de mantenimiento. Por otra parte, se concluye que el Perú para el 2025 deberá de implementar un sistema de gestión de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), ya sea estableciendo normativas y medidas para la importación del polvo de NFU, almacenamiento, procesamiento, reciclaje y reutilización. Además, se concluye que los beneficios de implementar la pavimentación con mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de NFU en el Perú para el año 2025, traerá en promedio un ahorro del 2 a 3 veces el costo de

mantenimiento de las vías a largo plazo, aunque los costos en su fabricación inicial sean en promedio 20% más de la pavimentación con mezcla asfáltica en caliente convencional.

Palabras Clave: Neumáticos fuera de uso, mezclas asfálticas modificadas, elasticidad, deformaciones permanentes

ABSTRACT

The present thesis entitled "ANALYSIS AND EVALUATION OF THE IMPLICATIONS OF IMPLEMENTING HOT MODIFIED ASPHALT MIXTURES WITH INCORPORATION OF OUT OF USE TIRES (NFU) IN PERU BY 2025", aims to analyze and evaluate the implications of implementing modified asphalt mixes hot with the incorporation of end-of-life tires (NFU) in Peru by 2025, within which the variation in the physical, mechanical and chemical properties of the modified mixture is contemplated, the measures that Peru should adopt for its adequate production , and a cost-benefit analysis of its implementation in Peru.

The methodology for data collection was based on research work, carried out at a national and international level both at the experimental level in the laboratory and in projects applied in road paving, bibliographic sources, videos, among others.

It is concluded that the use of modified asphalt mixtures by incorporating rubber between 13 - 15% by wet route will definitely improve the mechanical properties such as: greater resistance to fatigue failure, plastic deformations (rutting), improves resistance to cracking at low temperatures, provides greater elasticity at high and low temperatures among others; Regarding the service properties: it reduces the noise produced by the traffic, it reduces the landslide in the presence of water (rain) improving the road safety; Likewise, it increases the useful life of the pavement and reduces maintenance costs. On the other hand, it is concluded that Peru by 2025 must implement a management system for End of Life Tires (NFU), either by establishing regulations and measures for the importation of NFU powder, storage, processing, recycling and reuse. besides, it is concluded that the benefits of implementing paving with modified asphalt mixtures with the incorporation of NFU in Peru by the year 2025, will bring on average a saving of 2 to 3 times the cost of maintenance of the roads in the long term, although the costs in its initial manufacture are on average 20% more than the paving with conventional hot mix asphalt.

Keywords: End of life tires, modified asphalt mixes, elasticity, permanent deformations

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, un problema medioambiental es el desecho de los neumáticos fuera de uso (NFU). Estos desechos generan un alto impacto ambiental negativo ya que por lo general son almacenados, incinerados al aire libre o utilizados como fuentes de energía en hornos artesanales. Múltiples estudios e investigaciones se han desarrollado en el mundo con el fin de evaluar la forma como pueden ser reutilizados estos materiales una vez que hayan sido usados y desechados. Una de las utilidades más importantes que se le dio es la de usar los NFU molido o triturado para modificar las propiedades del cemento asfáltico y/o mezclas asfálticas. Por lo general, las propiedades que se intenta mejorar son la rigidez y la resistencia bajo carga, al ahuellamiento, a fatiga y al envejecimiento, así como disminuir la susceptibilidad térmica. Los NFU ofrecen los mayores beneficios ambientales, técnicos y económicos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas, en el presente trabajo de investigación presentaremos una amplia literatura de referencia sintetizada.

El objetivo principal es la de analizar y evaluar las implicancias que conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025.

Como objetivos secundarios se plantea:

1. Determinar las variaciones en las propiedades de tecnología de materiales que se dan en una mezcla convencional y determinar las implicancias que se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU.
2. Brindar propuestas de medidas que debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU al 2025.

3. Realizar un análisis del costo–beneficio de la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú.

Como hipótesis general, se plantea implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025 implicaría un cambio en la mentalidad del sector ya que no solo se buscaría una mejora en las capacidades estructurales del material asfáltico como hoy sucede con otro tipo de modificadores, sino que se incluiría un factor sostenible como es el uso de NFU que hoy ocupan grandes extensiones de terrenos en basurales siendo focos infecciosos en nuestro ambiente. Este cambio conllevaría beneficios económicos de largo plazo, estructurales y, sobre todo, ambientales.

Como hipótesis específicas se plantea:

1. Propiedades de tecnología de materiales que se verían afectados por la adición del NFU son: aumento en la estabilidad de la carpeta asfáltica, incremento de la elasticidad lo que reduce la formación de ahuellamiento, incremento en la resistencia a la fatiga, mejora la adherencia entre la carpeta asfáltica y los neumáticos, reduce el ruido por tránsito, mayor vida útil y mejor adherencia en presencia de agua. Diseñar una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación del NFU implica: aumento en las temperaturas de mezclas y compactación, incremento de la energía de compactación, se priorice el control de la mezcla Asfalto – NFU.
2. Se debería implementar una normativa que contemple el almacenamiento, procesamiento y producción de NFU para mezclas asfálticas, establecer una normativa donde el Perú a través del MTC “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” obligue el uso del NFU en todas las obras de pavimentación.
3. Los beneficios de usar mezclas asfálticas en caliente con incorporación de los NFU son los mencionados en el ítem 1), sin embargo se tendría un costo de producción inicial elevado debido a que se requiere el uso de aditivos para garantizar la adherencia NFU - Asfalto, maquinarias, tiempo y materiales para el procesamiento del NFU, aumentar cuidados en el diseño y producción de la mezcla asfáltica modificada; el cual sería compensado con aumento de la vida útil del pavimento; haciendo factible así el uso de este tipo de mezclas asfálticas modificadas.

Este planteamiento es importante porque, ante la problemática de la contaminación ambiental por el mal manejo de los NFU en nuestro país, el presente trabajo de investigación propone buscar el beneficio de los NFU incluyéndolo en el diseño de las mezclas asfálticas y así generar una forma de reducir la contaminación ambiental e incrementar las propiedades elastómeras de las vías pavimentadas, con el respaldo de una normativa que debe ser implementada en nuestro país. Es por ello la importancia de esta tesis cuyo aporte a la sociedad es importante.

La estructura de este proyecto de investigación consta de 4 capítulos:

- El **capítulo I** comprende inicialmente el planteamiento del problema en donde se describe los problemas ambientales que causan los NFU en nuestro país, y el uso que se le pueda dar a los NFU en las mezclas asfálticas, beneficiando sus propiedades mecánicas que resistan a la acción conjunta del tránsito y el clima, haciendo énfasis en el ahuellamiento, fatiga y durabilidad. El planteamiento es el sustento para poder plantear la formulación del problema que consta de un problema general y tres problemas específicos, también se describen: el objetivo general y tres objetivos específicos, la justificación e importancia del problema, la delimitación de la investigación, la hipótesis general y las tres hipótesis específicas, y las variables tanto la independiente como la dependiente.
- El **capítulo II** comprende el marco teórico que describe los antecedentes del problema tanto internacionales como las nacionales, las mismas que están citadas en libros, artículos científicos, informes y tesis que describen las metodologías para identificar puntos negros. Asimismo, se describen también: las bases teóricas en donde se detallan las definiciones, diseño de mezclas asfálticas en caliente y con NFU; definición, procesos de obtención, usos de los neumáticos fuera de uso (NFU), normativa y ensayos a mezclas asfálticas y costos de producción de mezclas asfálticas.
- El **capítulo III** comprende la metodología de investigación en donde se describe el alcance, tipo y diseño de la investigación, también se describen: la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- Finalmente, el **capítulo IV** comprende los resultados de experimentos y usos de mezclas asfálticas con NFU a nivel nacional e internacional, las medidas que se

debería adoptar para poder implementar la producción de mezclas asfálticas con NFU.

En la parte final de la presente tesis, se redactan las recomendaciones y conclusiones, asimismo, se adjuntan en la parte de los Anexos los datos que corroboren y sustenten la realización de esta tesis de investigación, conforme a los datos resultados obtenidos de las investigaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

“Entre los años 1946 y 1947 se dio la primera pavimentación flexible en Perú en la carretera Chorrillos-Pisco, donde una pavimentadora de marca "ADNUM" sirvió para extender la mezcla bituminosa, contra todo pronóstico de los ingenieros de aquella época, reemplazando a la regla y a los operarios, dejando una superficie sin segregaciones, muy suave y realmente excelente” (E-Asfalto, 2005). Desde entonces, se ha llevado a cabo la pavimentación con asfalto en diferentes partes del país llegando el MTC a reportar en 2018 que se cuenta con una “Red de vías nacionales pavimentadas (RVNP) de 77.9% (21007 Km), un RVDP (Departamental) de 13.5% (3708 Km) y un RVPL (Vecinal) de 1.7% (1881 Km). Para la región Junín se cuenta con una RVNP de 972 km (56.1%), una RVDP de 67.7 km (6%) y una RVLP de 219 km (2.4%) al 31 de Julio del 2018. El resto de porcentajes son vías no pavimentadas. La red en conjunto ha tenido en los últimos diez años una tasa de crecimiento nacional de 7.38%” (Ministerio de Transporte y Carreteras, 2018).

“Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos

convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corre el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas” (E-Asphalt, 2005). Es por esta razón que surgen estudios de investigación sobre mezclas asfálticas modificadas, con propiedades mecánicas que resistan la acción conjunta del tránsito y el clima, haciendo énfasis en el ahuellamiento, fatiga y durabilidad.

El asfalto modificado debe poseer mejor fluencia a altas temperaturas sin ser demasiado viscosos a altas temperaturas de mezcla y compactación o demasiado livianos o quebradizo a bajas temperaturas. Uno de los materiales que ha sido evaluado y probado que mejora las propiedades del asfalto es el caucho.

Por otra parte, en el periodo de enero a diciembre del 2017, se llegó a importar neumáticos (caucho) por un monto de 409.88 millones de dólares, incrementándose en 2.3% respecto al año anterior según la Asociación Automotriz del Perú. Cuando entran en desuso por daño irreparable, la disposición de estos neumáticos se convierte en un problema con significativas consecuencias ambientales. Así, en Perú se ha usado este material de diferentes y creativas maneras tal es el caso de las ojotas (sandalias usadas en trabajos de campo), pequeñas fábricas de repuestos de caucho en maquinarias, en los parques pintados de colores como atractivos, hitos para circuitos de motocross, entre otras pequeñas formas de reúso. Sin embargo, los usos reciclados no se dan abasto con la generación de desperdicio de neumáticos. Inclusive, los recicladores de metales queman las llantas con el fin de obtener la parte metálica generando mayor contaminación.

Los países del primer mundo han tomado la iniciativa de usar los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) y una de esos usos es el de incluirlo como adición en el diseño de las mezclas asfálticas generando una forma de reducir la contaminación ambiental e incrementar las propiedades elastómeras de sus vías pavimentadas.

“Los sistemas básicos para usar el caucho en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente son por vía seca y por vía húmeda. Existen investigaciones donde se ha evaluado la incorporación del caucho triturado (granulado) por vía seca, actuando en

la mezcla de áridos y asfalto como un agregado más, no modificando al asfalto prácticamente; además se ha evaluado la incorporación por vía húmeda donde se determinó que ésta garantiza una adecuada interacción entre las fracciones de caucho (polvo) y las fracciones malténicas y resinosas del asfalto, dándose el proceso de humectación e hinchamiento. Así, las mezclas asfálticas por vía seca pueden obtener mejoras en su comportamiento mecánico y en su durabilidad, pero los efectos obtenidos son inferiores a los alcanzados con la incorporación del caucho por vía húmeda” (Botasso, y otros, 2008).

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Qué implicancias conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025?

1.1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Qué variaciones en las propiedades de tecnología de materiales se dan en una mezcla convencional y que implicancias se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU?
2. ¿Qué medidas debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU al 2025?
3. ¿Qué costo–beneficio implica la producción de mezclas asfálticas en caliente con incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar y evaluar las implicancias que conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las variaciones en las propiedades de tecnología de materiales que se dan en una mezcla convencional y determinar las implicancias que se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU.
2. Determinar las medidas que debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU al 2025.
3. Realizar un análisis del costo–beneficio de la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Esta investigación plantea analizar y evaluar las implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025, teniendo la iniciativa de que su aplicación sería de gran importancia en los siguientes factores:

AMBIENTAL

La investigación tiene como fin determinar los beneficios ambientales al implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú para el año 2025, ya que en Perú el reúso de este polímero es muy escaso y genera fuentes de aparición de bacterias y/o enfermedades.

ESTRUCTURAL

La investigación busca determinar los beneficios estructurales en base a reportes locales, nacionales e internaciones de investigaciones experimentales realizadas sobre mezclas asfálticas modificadas en caliente con incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú para el año 2025, ya que en condiciones extremas de temperatura y carga las propiedades de los asfaltos convencionales resultan insuficientes.

ECONÓMICO

La investigación a través de un análisis costo – beneficio busca determinar la viabilidad económica de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú para el año 2025, ya que los antecedentes afirman un costo reducido en mantenimiento respecto a una mezcla convencional, lo que podría garantizar costos menores en un largo plazo. Además, el costo de un galón de cemento asfáltico es en promedio de S/. 95.00 soles, mientras que el costo de un kilo de polvo de NFU en Perú es de S/. 2.00 soles, por lo que reemplazar parte del cemento asfáltico con NFU podría reducir el costo en una mezcla asfáltica.

SOCIAL

Una de las propiedades del NFU es la elasticidad, propiedad que se mejoraría en las mezclas asfálticas al ser incorporado, reduciendo varios tipos de falla en las pavimentaciones; además, puede mejorar la fricción entre asfalto con NFU y los neumáticos en presencia de agua (lluvias que reducen la rugosidad de la carpeta asfáltica); propiedades con las que se reducirían los accidentes de tránsito mejorando la seguridad vial. Así esta investigación al analizar y evaluar las implicancias de usar esta tecnología en el Perú para el 2025 tendría como fin reducir daños a la sociedad al mejorar la seguridad vial.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El estudio realizado fue planteado para todo el territorio peruano.

1.4.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

Se realizó un análisis de las capacidades tecnológicas del Perú con una proyección al año 2025.

1.4.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Para la delimitación conceptual de la presente investigación, se tomó la normativa nacional como primordial, apoyándose en normativas internacionales en los puntos a investigar con escasas de información en las normas peruanas.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025 implicaría un cambio en la mentalidad del sector ya que no solo se buscaría una mejora en las capacidades estructurales del material asfáltico como hoy sucede con otro tipo de modificadores, sino que se incluiría un factor sostenible como es el uso de NFU que hoy ocupan grandes extensiones de terrenos en basurales siendo focos infecciosos en nuestro ambiente. Este cambio conllevaría beneficios económicos de largo plazo, estructurales y por sobre todo ambientales.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Las propiedades de tecnología de materiales que se verían afectados por la adición del NFU son: aumento en la estabilidad de la carpeta asfáltica, incremento de la elasticidad lo que reduce la formación de ahuellamiento, incremento en la resistencia a la fatiga, mejora la adherencia entre la carpeta asfáltica y los neumáticos, reduce el ruido por tránsito, mayor vida útil y mejor adherencia en presencia de agua. Diseñar una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación del NFU implica: aumento en las temperaturas de mezclas y compactación, incremento de la energía de compactación, se priorice el control de la mezcla Asfalto – NFU.
2. Se debería implementar una normativa que contemple el almacenamiento, procesamiento y producción de NFU para mezclas asfálticas, establecer una normativa donde el Perú a través del MTC “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” obligue el uso del NFU en todas las obras de pavimentación.

- Los beneficios de usar mezclas asfálticas en caliente con incorporación de los NFU son los mencionados en el ítem 1), sin embargo se tendría un costo de producción inicial elevado debido a que se requiere el uso de aditivos para garantizar la adherencia NFU - Asfalto, maquinarias, tiempo y materiales para el procesamiento del NFU, aumentar cuidados en el diseño y producción de la mezcla asfáltica modificada; el cual sería compensado con aumento de la vida útil del pavimento; haciendo factible así el uso de este tipo de mezclas asfálticas modificadas.

1.6. VARIABLES

La tesis titulada “Análisis y evaluación de las implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025” presenta las siguientes variables:

1.6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente en el Perú para el año 2025: Esta variable nos permitirá identificar todos los factores y puntos que se deberá de tener en consideración al momento de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente.

Tabla 1: Variable dependiente, dimensiones e indicadores

Variable Dependiente	Dimensión	Indicador
Implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente en el Perú para el año 2025	Calidad de vida de los peruanos en el 2025.	<ul style="list-style-type: none"> • % de reducción de NFU en el Perú. • % de reducción de accidentes de tránsito con el uso de NFU en vías pavimentadas. • Listado de características que indiquen mejora o daños a la calidad de vida de las personas, medio ambiente, entre otros.

Fuente: Propia

1.6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Incorporación NFU en diseño de mezclas asfálticas en caliente en el Perú para el año 2025: El uso de modificadores hoy en día no es un tema ajeno, por lo que en esta investigación se plantea adicionar un modificador que permita reducir la contaminación ambiental, mejorar la estructura del pavimento, reducir los accidentes de tránsito y reducir el costo de producción, sería una solución bastante agradable para el país.

Tabla 2: Variable independiente, dimensiones e indicadores

Variable Independiente	Dimensión	Subdimensión	Indicador
Incorporar NFU en diseño de mezclas asfálticas en caliente en el Perú para el año 2025	Calidad de las mezclas asfálticas en caliente con la incorporación del NFU en su diseño.	<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad de materiales naturales y procesados para su uso en mezclas asfálticas con NFU. Disponibilidad de equipos y herramientas necesarias para la fabricación de mezclas asfálticas con NFU. Disponibilidad de normativa y manuales para la fabricación de mezclas asfálticas con NFU, según las condiciones presentadas en Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> Cantidad de materiales necesarios disponibles en la actualidad y la proyección al 2025. Cantidad de equipos necesarios disponibles en Perú en la actualidad, y listado de los equipos necesarios a disponerse para el 2025. Listado de normativas disponibles en la actualidad en Perú y listado de normativas mínimas necesarias para la implementación adecuada del uso de mezclas asfálticas con incorporación de NFU.
	El costo de producción		<ul style="list-style-type: none"> % de variación entre el costo de

	de mezclas asfálticas con NFU		producción de pavimentos convencionales y modificados con NFU.
--	-------------------------------------	--	---

Fuente: Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Muchas investigaciones nacionales e internacionales buscan mejorar el comportamiento de los pavimentos asfálticos ante fallas como los agrietamientos, fracturas y deformaciones permanentes que ocurren debido a las cargas aplicadas por el flujo vehicular y el amplio rango de temperaturas que existen en el mundo, al cual el Perú no es ajeno; bajo esas circunstancias surge la iniciativa de incorporar distintos tipos de modificadores como es el caso del polvo de neumáticos fuera de uso (NFU) a las mezclas asfálticas. Así, se han obtenido resultados favorables, como los que a continuación se detallan.

2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES

“El Perú genera por encima de los 50000 toneladas de NFU al año, por ello con la fiscalización de las revisiones técnicas estimados que estos próximos años el número de NFU incrementa considerablemente”, así lo menciona María Jesús Ainsa, Gerente General de la Escuela Catalana, quien además menciona que el objetivo de la Escuela catalana es impulsar el uso de estos materiales reciclados de NFU para aprovecharlos como asfaltos modificados con caucho, reemplazando a los asfaltos modificados con polímeros los cuales vienen siendo importados. La modificación del asfalto con polvo de caucho de los NFU tiene busca mejorar la resistencia a las deformaciones por factores climatológicos (Cambios de temperatura, exposición a factores meteorológicos, otros) y de tránsito vehicular (cargas dinámicas). Así mismo, ello logra disminuir el fisuramiento por efecto

térmico a temperaturas bajas y por fatiga, provee mejoras en su elasticidad y cuenta con un ligante con mejores características adhesivas (PERÚ VÍAS, 2014).

Por su parte, (Quispe Espinoza, 2006) afirma que la penetración a 25°C en el caso del ligante modificado con NFU ha disminuido en un 50% en su valor, por lo que se evidencia que el ligante modificado es más viscoso; además, mediante el ensayo Lottman el autor determinó que la mezcla modificada no beneficia la adherencia entre ligante y agregados. El valor promedio de deformación recuperable a los 60°C en la condición para la mezcla modificada es de 1.3, mientras que para la mezcla convencional es de 2. A la temperatura de 0°C, la mezcla modificada tiene una deformación recuperable de 1.2 y la mezcla convencional tiene un promedio de 1.6 y que los costos de pavimentación con mezcla asfáltica modificada incrementan en 3.3% del presupuesto final de una pavimentación convencional.

(Pereda Rodriguez, y otros, 2015) indica que la adición de polvo de NFU provee mejoras en la resistencia a las deformaciones plásticas de una mezcla asfáltica. Esto se observó en el comportamiento del RC-70 en la recuperación elástica por torsión, siendo la mezcla asfáltica modificada 37% más recuperable que el convencional, disminuye la susceptibilidad térmica de la mezcla asfáltica modificada específicamente el punto de ablandamiento aumenta hasta 19°C más y la penetración a los 25°C disminuye en 19 mm.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

La revista Asphalt Rubber Design and Construction Guidelines menciona “En Arizona, EE.UU., la adición de partículas de NFU (caucho vulcanizado) al concreto asfáltico se remonta a los comienzos de la década de los 70's y el comportamiento de estos pavimentos fue beneficioso. Las mezclas de Caucho Asfalto (CA) han mostrado en diversos proyectos que reducen con éxito los agrietamientos por flexión, que soportan las condiciones extremas del desierto de Arizona (T°C max promedio de 45°C en verano), y de regiones gélidas (como en Flagstaff, Arizona a más de 2000 m.s.n.m.). Además, el uso del Caucho Asfalto reduce el ruido de los neumáticos en un 50% aproximadamente, y mejora la calidad de manejo” (Sotil Chavez, y otros, 2003).

(Guerrero, y otros, 2015) determinó que las propiedades del método Marshall como son Densidad Bulk y gravedad específica RICE para briquetas con asfalto

modificado con caucho proveniente del NFU el proceso de vía húmeda (**Tabla 3**) y Densidad Bulk y gravedad específica RICE para la mezcla asfáltica convencional, con 6.1wt % de asfalto (**Tabla 4**) son las siguientes:

Tabla 3: Densidad Bulk y gravedad específica RICE para asfalto modificado con NFU por el proceso de vía húmeda.

Polvo de caucho	Peso aire	Peso agua	Peso saturado superf. seco	Dens. bulk	Gravedad específica (RICE)	Estab. correg.	Flujo
(%)	(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(lb.)	
10	1254	703	1268	2219	2354	5981	18
10	1129	626	1137	2209		6885	18
10	1154	638	1162	2202		6358	16
15	1289	715	1299	2207	2383	5310	15
15	1038	576	1049	2195		5458	17
15	1094	600	1103	2175		5060	14
20	1137	625	1144	2191	2375	4995	12
20	1141	625	1152	2165		4127	13
20	1060	582	1075	2130		4232	12

Fuente: Artículo “Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores” (Guerrero, y otros, 2015)

Tabla 4: Densidad Bulk y gravedad específica RICE para la mezcla asfáltica convencional, con 6.1wt % de asfalto.

Peso aire	Peso agua	Peso saturado superf. seco	Densidad bulk	Gravedad específica (RICE)	Estab. correg.	Flujo
(g)	(g)	(g)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	(lb.)	
1245	694	500	2311	2409	3123	12

Fuente: Artículo “Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores” (Guerrero, y otros, 2015)

Donde al comparar los resultados se tiene que el valor de densidad Bulk que más se aproxima al valor de la mezcla sin modificar corresponde al asfalto modificado por proceso húmedo con 10 % de polvo de NFU y difiere en un 4.37%. En cuanto al valor de la gravedad específica (método RICE) se tiene que el valor que más se aproxima al valor de la mezcla sin modificar corresponde al asfalto modificado por vía húmeda con 15% de polvo de caucho mezclado en asfalto y difiere en un 1.08 %.

De las tablas se concluye que los asfaltos modificados presentados tienen menor densidad Bulk y gravedad específica (método RICE) con respecto a la mezcla asfáltica sin modificar usada como referencia. La estabilidad y el flujo son significativamente mayores en las mezclas asfálticas modificadas, especialmente cuando se emplean 10 y 15wt% de polvo de NFU (Guerrero, y otros, 2015).

(Maila Paucar, 2013) señala que la modificación de mezclas asfálticas provee mejoras notables a propiedades mecánicas tales como módulo dinámico elástico, resistencia a la tensión indirecta, resistencia a la pérdida por desgaste, estabilidad, flujo y susceptibilidad térmica de la mezcla modificada con EVA (polímero etileno vinil acetato) con respecto a la mezcla convencional, lo que asegura que los daños viales disminuirán con esta mezcla modificada, la mejora más significativa es en el módulo dinámico elástico puesto que incrementa hasta en un 40% respecto al convencional, esta propiedad influye en el diseño de pavimentos generando carpetas asfálticas de menor espesor con la misma capacidad estructural, además el costo por m² de pavimento terminado fabricado con mezcla modificada tiene un costo de 14,97 USD y con mezcla convencional es de 15.85 USD, generando una diferencia en costo de 0,88 USD, con un ahorro en costo del 5,5%, lo que demuestra la conveniencia de la utilización de la mezcla modificada y teniendo en cuenta que por sus propiedades físico – mecánicas la vida útil será mayor el ahorro será aún mayor según el autor referenciado.

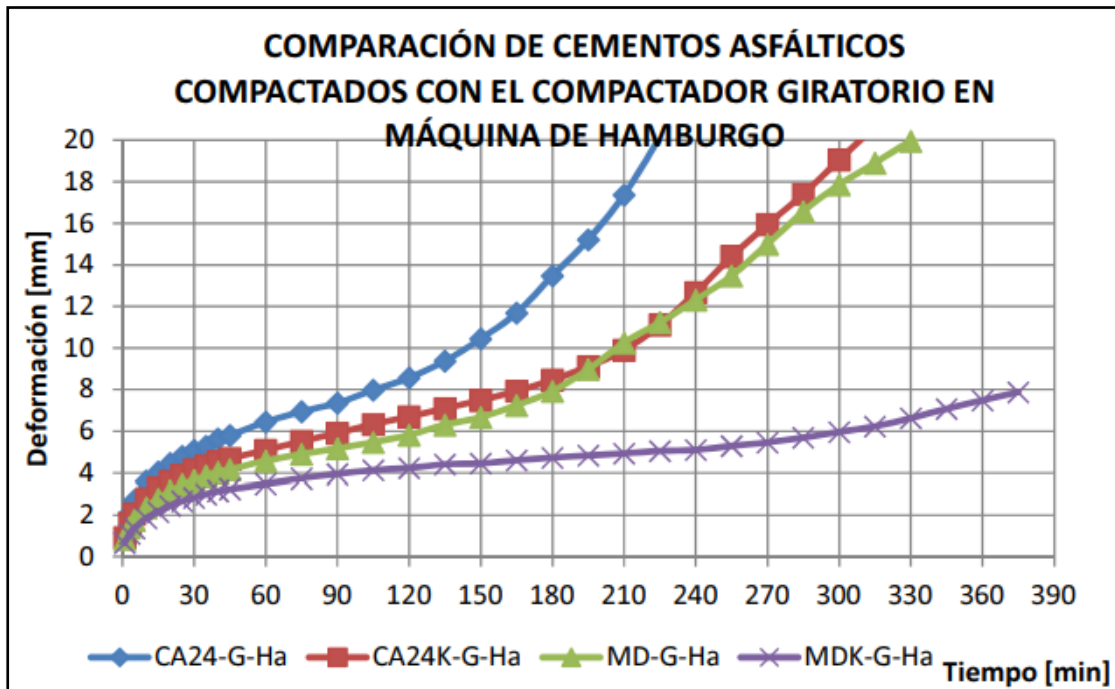


Figura 1: Comparación de cementos asfálticos por compactador giratorio ensayados en Hamburg Wheel-Tracking Device (HWTD).

Fuente: Investigación titulada “Efecto de la presencia de humedad en el comportamiento de mezclas asfálticas sometidas a ensayo de rueda de carga (Norma Nlt-173/84)” (Moreno Chavez, 2011)

En la **figura 1**, se puede reconocer que las muestras fabricadas con CAMD (cemento asfáltico modificado) tienen una menor deformación permanente que las fabricadas con CA24 (cemento asfáltico 24). Asimismo, se observa que el CA24K (cemento asfáltico 24 con aditivo adherente) muestra una curva de deformación muy similar a la del CAMD. El CA24 no termina el ensayo, obteniendo una deformación mayor a los 20 mm antes de las 6 horas, independiente de si cuenta con el aditivo promotor de adherencia o no. En lo que compete a los cementos asfálticos modificados con polímeros, sólo el que contiene aditivo resulta terminar el ensayo, sin embargo, el CAMD sin aditivo posee una deformación muy por debajo de la que tiene el CA24, y ligeramente inferior a la del CA24K (Moreno Chavez, 2011).

Tabla 5: Punto de stripping probetas en el compactador giratorio ensayadas en HWTD.

Punto de Stripping [min]			
CA24-G-Ha	CA24K-G-Ha	MD-G-Ha	MDK-G-Ha
150	205	170	---

Fuente: Investigación titulada “Efecto de la presencia de humedad en el comportamiento de mezclas asfálticas sometidas a ensayo de rueda de carga (Norma Nlt-173/84)” (Moreno Chavez, 2011).

Por lo que el autor recomienda utilizar un ligante modificado con polímeros y contener aditivo promotor de adherencia, ya que permite terminar el ensayo sin llegar al punto de stripping (Moreno Chavez, 2011).

A nivel de laboratorio, y teniendo en cuenta el porcentaje de caucho presente en las llantas así como la cantidad de este usado en el AMC (asfalto modificado con caucho) y AMCA (asfalto modificado con caucho acondicionado), se obtuvo una relación de aprovechamiento de 285 kilogramos de llantas desechadas por cada tonelada de asfalto modificado producido, lo que propone una alternativa de carácter ambiental para el manejo de estos residuos sólidos (Angulo Rodríguez, y otros, 2005).

Los resultados que obtuvo en la Figura N°2, demuestra que las mezclas asfálticas modificadas con RAR (caucho activo y reaccionado) mezcla en caliente conformada por cemento asfáltico convencional, GCR (grano de caucho reciclado) y un cemento asfáltico estabilizador mineral activado, resisten un número mayor de ciclo de cargas sin que este tenga daños por fatiga con respecto a las demás (modificadas normalmente o convencionales). Además, requiere temperaturas menores en tiempos de agitación menores, a temperaturas similares de las que se requieren para un pavimento convencional ya que su viscosidad disminuye y los contenidos de asfalto pueden disminuir hasta en un 50% del óptimo (completando el otro 50% con RAR) (Diaz Claros, y otros, 2017).

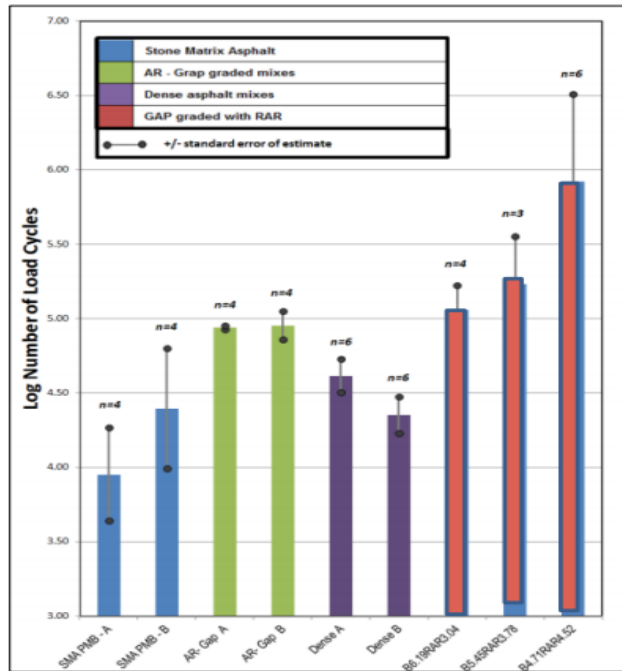


Figura 2: Diagrama de ensayo a la fatiga y tipo de mezcla asfáltica

Fuente: Investigación titulada “Implementación del grano de caucho reciclado (gCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá” (Díaz Claros, y otros, 2017).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Se define a la mezcla asfáltica en caliente como la combinación de áridos (agregado grueso, agregado fino y filler mineral) que cumplen determinadas propiedades físicas y químicas con un ligante (Cemento Asfáltico) a una temperatura establecida.

De acuerdo (Supo Ccalachua, y otros, 2018) una mezcla asfáltica en caliente es la combinación en caliente de agregados buscando secarlos y uniformemente mezclados recubiertos por cemento asfáltico, esto para obtener suficiente fluidez de cemento asfáltico como para lograr adecuada trabajabilidad y mezclado, ahí el término “Mezcla en Caliente”.

Según (ASOASFALTOS, 2015) las Mezclas Asfálticas o Bituminosas en Caliente son combinaciones de áridos, incluyendo el polvo mineral, más un ligante hidrocarbonato, y frente a eventualidades el uso de aditivos, todos mezclados en máquinas mezcladoras, combinándolos, con el propósito de que las partículas del árido queden cubiertas por una película ligante homogénea”.

2.2.1.1. COMPONENTES

Los componentes de las mezclas asfálticas en caliente se pueden diferenciar en 2 grupos: la estructura ósea (los agregados pétreos) y el ligante (cemento asfáltico); opcionalmente el uso de aditivos (adherentes u otros).

Según (Rondon Quintana, y otros, 2015) la nomenclatura técnica “agregados pétreos” en pavimentos refiere a un conglomerado de partículas inertes de gravas, arenas, finos y/o fillers (naturales y/o triturados), utilizados ya sea para la fabricación de mezclas asfálticas, concretos hidráulicos y materiales estabilizados o para la construcción de terraplén, afirmados, subbases y/o bases granulares.

(De La Cruz Bazan, y otros, 2015) indica que los agregados por su parte son de gran importancia ya que en una mezcla asfáltica es entre el 90 y el 95% en peso, y entre el 75 y el 85% del volumen; la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se determina la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que formaran parte de la mezcla asfáltica. pequeñas variaciones en el porcentaje del tamaño de agregado o en las propiedades de este puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla final, por lo tanto, es necesario llevar un control eficiente de los agregados en uso.

A continuación, se detalla las propiedades que deben cumplir los agregados pétreos que se utilizan en una mezcla asfáltica en caliente.

1) Agregados finos (agregados que pasan la malla N° 4 – 4.75 mm), deben cumplir los requerimientos mínimos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la construcción” (EG – 2013).

Tabla 6: Requerimientos para agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.º 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.º 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Salas Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la construcción” (MTC, 2013)

2) Agregados gruesos (agregados retenidos en la malla N° 4), deben cumplir los requerimientos mínimos establecidos en el Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la construcción” (EG – 2013).

Tabla 7: Requerimientos para los agregados gruesos.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Salas Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

* Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

Fuente: Manual de carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para la construcción” (MTC, 2013)

- 3) El filler mineral tiene como función en la mezcla asfáltica rectificar las deficiencias de la curva granulométrica de los agregados finos que por sí sola no cumple las especificaciones técnicas y actuar como adherente entre el asfalto y el agregado; el MANUAL DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN recomienda la cal hidrata debiendo esta cumplir la norma AASHTO M-303; cabe mencionar que las proporciones y propiedades de estos se definen en la etapa de diseño y mediante el método Marshall.
- 4) **El ligante** de mayor uso en Perú es el CAP-PEN “Cemento Asfáltico de Petróleo clasificado según su penetración”, siendo los disponibles comercialmente en Perú los CAP 40/50 PEN, 60/70 PEN, 85/100 PEN, 120/150 PEN y 200/300 PEN.

Etimológicamente, el asfalto, según (Pereda Rodriguez, y otros, 2016), se deriva del vocablo acadio *asphatu* o *asphallo*, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos cuyo significado es estable, seguro y el verbo estabilizar o asegurar. Del cual se podría determinar que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, luego al francés (*asphalte*) y finalmente al inglés (*asphalt*).

El asfalto también denominado, betún asfáltico o cemento asfáltico según la terminología europea, presenta muchas definiciones, orientados desde diferentes ciencias o campos de estudio. Una definición orientada a la ciencia de la Química es “El asfalto es una mezcla química compleja de moléculas que son predominantemente hidrocarburos con pequeñas cantidades de componentes policíclicos de estructuras análogas y grupos funcionales con contenido de azufre, nitrógeno y átomos de oxígeno”, según lo describe (Menendez Acurio, 2009).

El asfalto orientado a sus características físicas y al proceso de obtención, se definiría según (The Asphalt Institute traducido por Velasquez, 1972) menciona que los asfaltos son: “materiales aglomerantes sólidos o

semisólidos de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licúan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de éstos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones”.

Una de las características del asfalto es que es un material que posee propiedades versátiles, ya que a bajas temperaturas es frágil y quebradizo y altas temperaturas es fluido y viscoso, el cual permite que se adhiera fácilmente a los agregados a altas temperaturas.

5) **Los aditivos** más usados en Perú son los aditivos mejoradores de adherencia y los aditivos mejoradores de estabilidad, estas siempre en cuando no se cumpla los parámetros mínimos establecidos en la normativa peruana.

2.2.1.2. CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas se pueden clasificar de las siguientes maneras:

Tabla 8: Clasificación de mezclas asfálticas

PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE MEZCLA
FRACCIONES DE AGREGADO EMPLEADAS	MASILLA
	MORTERO
	CONCRETO
	MACADAM
TEMPERATURA DE PUESTA EN OBRA	EN FRÍO
	EN CALIENTE
HUECOS EN LA MEZCLA (h)	CERRADAS ($h < 6\%$)
	SEMICERRADAS ($6\% < h < 12\%$)
	ABIERTAS ($h > 12\%$)
	POROSAS ($h > 20\%$)
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (t max)	GRUESAS (t max < 10mm)
	FINAS (t max < 10mm)
ESTRUCTURA DEL AGREGADO	CON ESQUELETO MINERAL
	SIN ESQUELETO MINERAL
GRANULOMETRÍA	CONTINUAS
	DISCONTINUAS

Fuente: Tema “Mezclas Asfálticas” de la Universidad Señor de Sipán – Chiclayo (SAAVEDRA, 2011).

2.2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Una mezcla asfáltica debe cumplir ciertas características que garanticen su adecuado funcionamiento, por lo que se debe contemplar en el diseño lo siguiente:

- Un espesor y una resistencia interna que garantice soportar las cargas de tráfico para los cuales fue diseñada, con daños mínimos de deformaciones permanentes, fisuras y otros tipos de fallas.
- Una compactación adecuada que controle la filtración de humedad y/o acumulación interna de humedad.
- Una superficie final resistente al deslizamiento, adecuada adherencia entre la superficie de rodadura y los neumáticos en presencia de agua; con baja emisión de ruidos con el tránsito vehicular; resistente al deterioro por la acción de fenómenos meteorológicos y otros.

2.2.2. NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

Los NFU son piezas de caucho, acero y materiales orgánicos que se han convertido en residuos al cumplir su periodo de uso. El neumático posee aproximadamente 60% de caucho natural y sintético en su composición, por lo que presenta alta resistencia al desgaste y buena elasticidad, propiedades que no son aprovechadas muchas veces al no ser reutilizada.

El reglamento técnico para neumáticos de automóvil, camión ligero, buses y camiones aprobado con D.S. N°019-2005-PRODUCE define al neumático como, el “componente mecánico de la rueda de un vehículo, que otorga seguridad a las personas y a la carga, fabricado a base de caucho, productos químicos, hilos textiles y/o alambres y otras materias, que va montado sobre el aro, y que trabaja a presión de aire (u otros) para dar resistencia, capacidad de carga, confort y dirigibilidad. Sus partes principales son: banda de rodamiento, costado, carcasa y pestaña el componente mecánico de la rueda de un vehículo” (República del Perú, 2005).

La acumulación de neumáticos fuera de uso se da en todo el planeta por donde circule algún tipo de vehículo que use ruedas de caucho o aparatos que se valga de neumáticos. El NFU es uno de los materiales con poca capacidad de reciclabilidad y reuso en el Perú está mostrando una creciente acumulación descontrolada y más aún desatendida generando puntos infecciosos, malos olores entre otros.

En el Perú, se producen alrededor de 1,750,000 llantas en desuso que representan 45,000 toneladas de neumáticos y existen alrededor de 2,600 empresas en el sector minero que son los que producen un gran porcentaje de uso de neumáticos según indica (Ramirez Velarde, y otros, 2018).

Para tener una idea de la producción de NFU en el extranjero, España produce 200,000 toneladas de NFU en los talleres donde se realiza el cambio de neumáticos y en los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT) de vehículos fuera de uso según lo indica el (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico - Gobierno de España, 2019). Existen compañías extranjeras con la capacidad de reciclar hasta el 98% de NFU dejando el 2% para uso como combustible; mientras que en Perú apenas pocas empresas y organizaciones se dedican al reciclaje de neumáticos los cuales no tienen la tecnología y/o el tratamiento adecuado y estandarizado.

2.2.2.1. CARACTERÍSTICAS

- 1) Los NFU demoran 1 000 años aproximadamente en desaparecer de forma natural, periodo en el que genera un grave problema medioambiental.
- 2) Los NFU están contienen en promedio del 50% a 60% de caucho sintético y natural por lo que presentan buena elasticidad.
- 3) La densidad de un neumático entero es de 0.15 ton/m³ en promedio.
- 4) Posee propiedades antioxidantes, anti ozono y la presencia del negro de carbono en su composición reducen el envejecimiento del polvo de neumáticos en ligantes bituminosos.
- 5) Los neumáticos están compuesto por elementos como carbono (80 - 90%), Hidrogeno (7.2-7.6%), oxigeno (2.3-3,1%) y azufre (1.4-2.4). A excepción del zinc, la presencia de metales pesados inferior a 0.1% en peso.

- 6) Presenta resistencia a la acción de los mohos, calor, humedad, luz solar, rayos ultravioletas, a algunos aceites y muchos disolventes.
- 7) Los NFU por su forma y elasticidad son difícilmente compactables.
- 8) Los neumáticos adquieren estabilidad térmica por la presencia del caucho sintético.

2.2.2.2. TRATAMIENTOS A LOS NFU

Países más desarrollados como España, Chile, Colombia, México nos llevan ventajas en tratamientos a los NFU a continuación, se muestra un esquema del tratamiento que ejecutan.

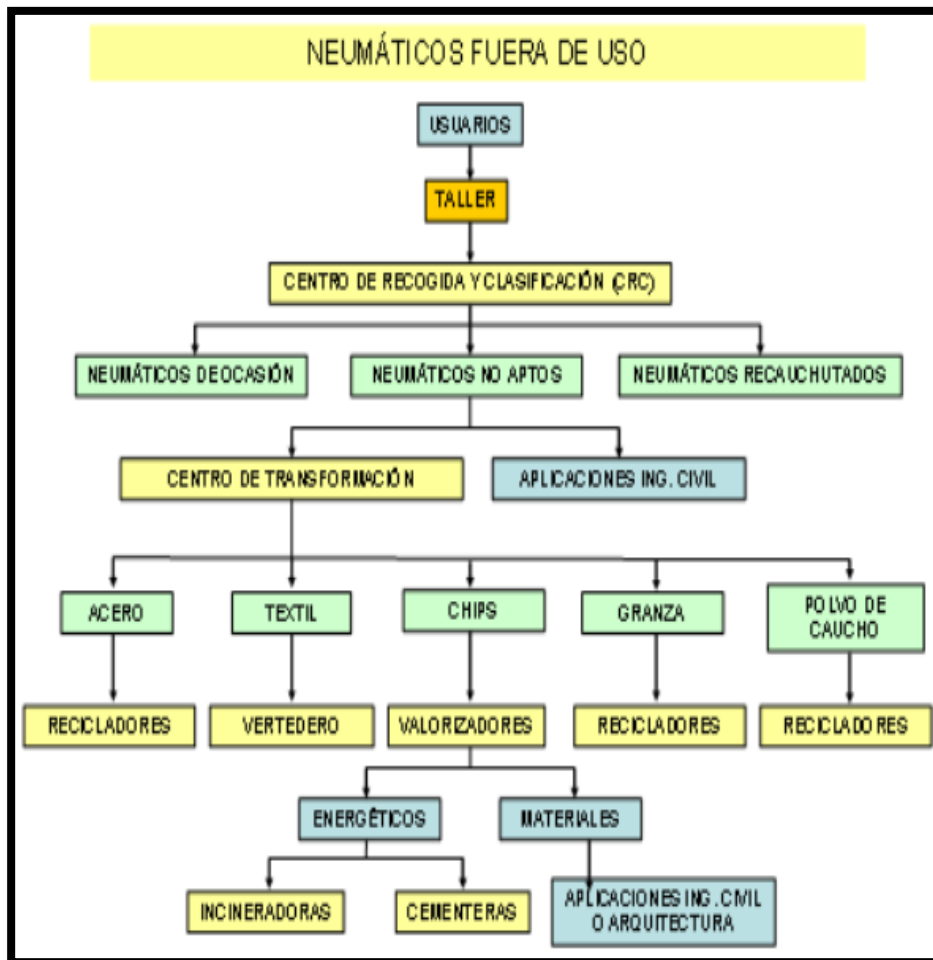


Figura 3: Esquema del ciclo de vida de los neumáticos

Fuente: Tema “Neumáticos” (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico - Gobierno de España, 2019).

En el esquema anterior se observa que los NFU no aptos son aquellos con los que deberá procesar para su uso en mezclas asfálticas bajo un procesamiento, esto se puede deber al factor costo - beneficio respecto a las otras clasificaciones: Neumáticos de ocasión (neumáticos de segunda mano) y neumáticos rencauchutados (neumáticos que conservan sus propiedades, pero requieren sustitución de las bandas de rodadura para volver a ponerse en el mercado). El ministerio para la transición y el reto demográfico del gobierno de España define:

- “Chips, son trozos de neumático, de unos 2,5 cm X 2,5 cm obtenidos por trituración.

- *Granza*, son gránulos de neumático triturados de tamaños entre 1 mm y 10 mm, aproximadamente.
- *Polvo de neumático*, es la fracción más fina obtenida de la trituración del neumático. Su tamaño oscila entre 0,5 mm y 1 mm.” (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico - Gobierno de España, 2019).

Los neumáticos que son usados para fines de asfaltado en carreteras son de tamaños menor o iguales a 2mm.

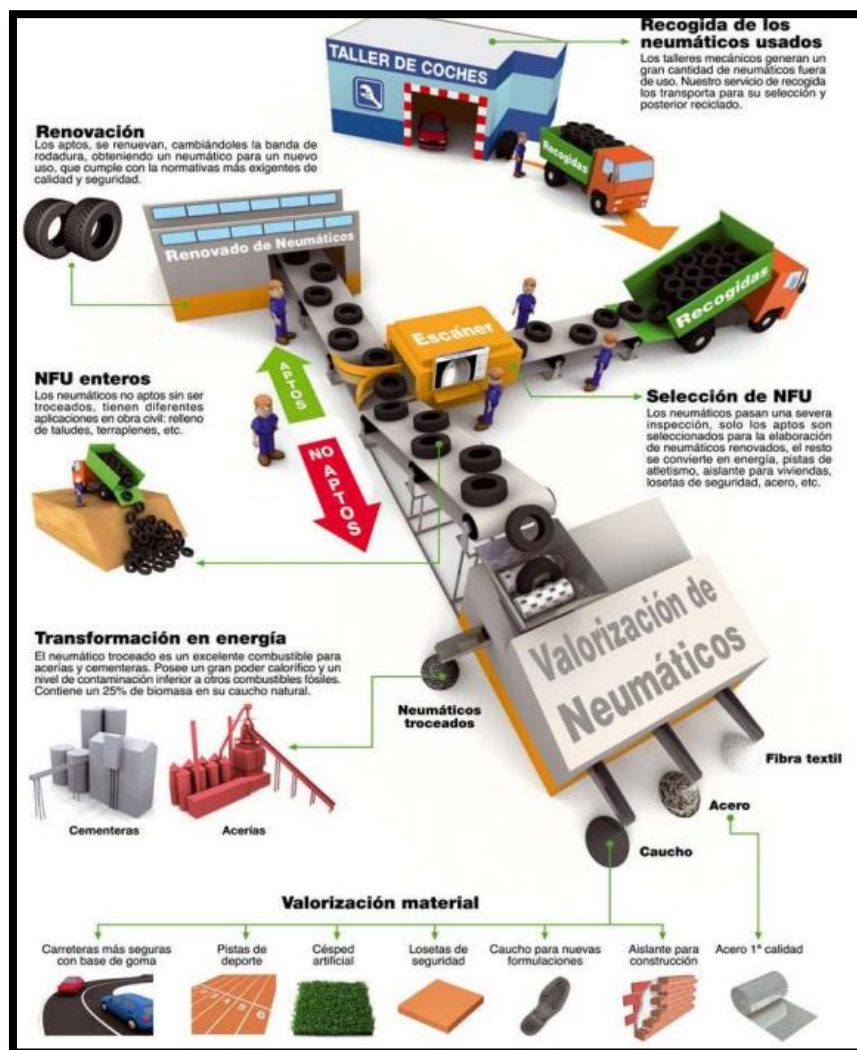


Figura 4: Gestión y tratamiento de neumáticos fuera de uso (NFU)

Fuente: Trabajo de investigación realizada por el Área de servicios de investigación del Congreso de la república del Perú “Experiencias en el tratamiento de neumáticos fuera de uso en Iberoamérica” (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

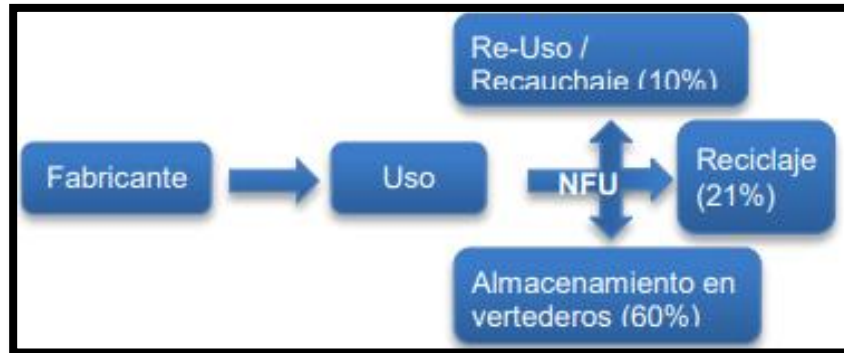


Figura 5: Ciclo de vida de un neumático y disposición final en Chile

Fuente: Trabajo de investigación Plan de negocios “Planta de reciclaje de neumáticos de caucho - Comercialización de miga de caucho” (Carmona, 2016).

En la figura anterior, se puede observar que siendo Chile un país aún más desarrollado que Perú, la mayor cantidad de su producción de NFU (60%) son dirigidos a los almacenamientos en vertederos, a los cuales se les realiza una valoración tras su trituración para darle uso en los asfaltos modificados y granos de caucho reciclado (GCR) para chancas deportivas, áreas de juegos, patios y otros. El uso de los NFU en la producción de asfaltos modificados en Perú aún se encuentra en trabajos teóricos y experimentales de laboratorio que han brindado resultados de éxito; sin embargo, debido a la falta de implementación de normativas nacionales, se ha limitado su uso en este campo.

2.2.2.3. EXPERIENCIAS EN EL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS EN ALGUNOS PAÍSES

🇪🇸 España

El gobierno de España a través del ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente da a conocer el proceso de cómo ha ido evolucionando su normativa con el pasar de los años, en el que incida lo siguiente.

España estableció la responsabilidad de la gestión de neumáticos cuando esta se encuentre fuera de uso (NFU) con el Real Decreto 1619/2005; desde entonces una gran parte de los neumáticos eran recogidos por los servicios municipales o transportados directamente por los talleres a los vertederos

públicos y locales; a veces estos talleres depositaban en vertederos privados de inertes, en algunos casos incontrolados e ilegales, así el R.D. 1619/2005 ha marcado un antes y un después en el tratamiento del residuo. El 19 de mayo del 2005 se crea SIGNUS Ecovalor “SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN” por parte de los principales fabricantes de neumáticos para dar cumplimiento al R.D. 1619/2005 y asegurar la gestión, adecuado tratamiento, la promoción de la reutilización y valoración de los NFU, en la actualidad cuenta con 36,000 puntos de recogida en España.

En el 2006 se crea TNU “tratamiento Neumáticos Usados S.L.” creado por parte de los principales recauchutadores, recicladores, gestores y productores de neumáticos bajo la que agrupaba el 30% de NFU, en la actualidad cuenta con 4,500 puntos de recogida de NFU adscrita en España.

Tanto SIGNUS y TNU abarcan el 90% de los NFU en España, gestionando sin fines de lucro, la recogida, adecuada clasificación para asegurar el mayor porcentaje posible de recuperación y transporte a los centros de almacenamiento y preparación. Posterior a ello las empresas dedicadas a la valorización transportan a sus plantas y certificar su utilización como materia prima para la fabricación de otros productos o como fuente energética alterna. En julio del 2011 se aprueba ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados que deroga ley 10/1998 convirtiéndose la única norma de rango legal que regula los residuos introduciendo medidas como “preparación para la reutilización” para el recauchutado, preparación para reutilización y reciclado, elevación de las multas a imponer por incumplimiento.

En diciembre de 2012, se aprueba ley 11/2012 que modifica ley 22/2011 ampliando el régimen jurídico de los SIG. Por otra parte, el mismo año se constituyó el comité europeo CEN TC 366 de normalización de materiales procedentes de NFU. Encargado del estudio de las características de estos materiales tales como dimensión e impurezas según la norma TS 14243 (grupo de trabajo WG1) o sus propiedades físicas (grupo WG2), o del estudio de la composición química de NFU (grupo WG3), y las propiedades de los neumáticos enteros.

La normativa vigente de NFU al 2020 en España son el Real Decreto 1619/2005 y II Plan Nacional Integrado de Residuos, PNIR 2007-2005. Además, cabe destacar que el 2012 se creó el subcomité SC9 de “NEUMÁTICOS FUERA DE USO”, dependiente actual del comité técnico CTN 53 de “plásticos y caucho” según indica el (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - Gobierno de España, 2020).

Chile

En el mes de junio de 2010, se inauguró la primera planta de reciclaje de neumáticos usados en Chile, el cual requirió la inversión de 4 millones de dólares y estuvo a cargo de la compañía POLAMBIENTE. Esta procesadora ha planteado como meta la producción de 14 000 toneladas al año, lo que equivale a eliminar un millón de neumáticos por año.

Así mismo, el Ministerio de Medio Ambiente, la Superintendencia de Fiscalización, y el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) fundada el 2010 que exige la participación activa de los productores y/o importadores junto a su cadena comercial, el compromiso de los distribuidores y grandes clientes en el almacenamiento temporal y no fomentar el mercado informal (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

México

México ha implementado programas de manejo de los NFU en algunos estados y ciudades con la finalidad de minimizar riesgos al ambiente y la población como: ESTADO DE QUERÉTARO, que desarrolló un programa en el 2009 y lograr la valorización de los residuos de manejo especial, dando mayor énfasis a los NFU, donde los municipios realizaron la instalación de centros de acopio municipales de NFU, los cuales posteriormente son trasladados a disposición final para utilizarse como combustible alternativo en empresas cementeras. En el ESTADO DE CHIHUAHUA, el Programa Frontera XXI, en la década de 1990, extendido a los grupos de trabajo de contaminación del suelo del Programa Frontera 2012, y ha repercutido en la agenda oficial de la Asociación de Gobernadores Fronterizos y en la Asociación de Municipios de la Frontera Norte. Uno de los aspectos que más destaca es que “Los resultados empíricos en cuanto a la generación y

manejo de la llanta de desecho en Ciudad Juárez, Chihuahua, muestran que el manejo está diferenciado por estratos; los integrados por la población con modelos más recientes de vehículo compran llantas en agencias y consumen menos unidades, los dueños de los modelos más antiguos las adquieren en las desponchadoras y consumen más. Casi 40 por ciento de la llanta de desecho se deposita en desponchadoras, cerca de la mitad en agencias y 19 el resto se almacena en casa, se deja como basura doméstica o bien se arroja a la vía pública (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

Colombia

Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), promulgo con resolución 1457 una norma que regula varios aspectos importantes en relación con la disposición final de los NFU. Así, El MAVDT se encarga de supervisar a los fabricantes e importadores en relación con sus Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de neumáticos usados. Estos sistemas serán revisados y avalados por el Ministerio y deberán contemplar: los puntos de recolección, el transporte y la disposición de las llantas. Además, este proceso deberá garantizar que no se produzcan mayores costos para el consumidor al momento de la entrega de los NFU.

En el año 2012, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA de Colombia también aprobó la Resolución 0325 «Por la cual se aprueba un sistema de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Llantas Usadas y se adoptan otras determinaciones» En este sentido, el sistema de recolección selectiva liderado por Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), fue una propuesta colectiva que hasta el 28 de diciembre de 2011 incluía 67 empresas participantes (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

Argentina

En Argentina, en el año 2007, ya se tenía instalada una planta procesadora de neumáticos fuera de uso, bajo los requerimientos de las bases técnicas definidas por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial INTI junto con la CEAMSE. Esta iniciativa tuvo como punto de partida la firma de un convenio entre la CEAMSE y la empresa REGOMAX.

“La Comisión Permanente de Trabajo para el Reciclado de Neumáticos Usados, coordinada por el INTI desde 2003, señala como objetivos “la evaluación y desarrollo de las diversas propuestas logísticas y tecnológicas de reutilización de neumáticos al fin de su vida útil, y la promoción de la Legislación Ambiental específica”. En esta dirección, la Comisión articuló a los distintos actores públicos y privados vinculados al tema para proponer un modelo de gestión y de legislación consensuado. En este grupo de trabajo participan el Programa de Reciclado Industrial y de Medio Ambiente del INTI, el Centro INTI-Caucho, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SayDS), la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE), la Asociación de Fabricantes de Cemento Pórtland (AFCP), el Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA), la Federación Argentina del Neumático (FAN), la Asociación Reconstructores Argentinos de Neumáticos (ARAN), la Federación Argentina de la Industria del Caucho (FAIC), la Cámara Argentina de Reconstructores de Neumáticos (CAR), la Cámara de la Industria del Neumático (CIN) y las empresas Bridgestone/Firestone Argentina S.A., Fate S.A., Neumáticos Goodyear S.R.L., Michelin Argentina S.A. y Pirelli Neumáticos S.A. Asimismo brindan su apoyo las áreas ambientales de los Gobiernos de la Ciudad y de la Provincia de Buenos Aires” (Castro, 2007).

Así mismo, en el 2013 la “Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina publicó en el Boletín Oficial la Resolución 523/2013, sobre Manejo Sustentable de Neumáticos (17 de mayo de 2013) donde se detalla los procesos adecuados para la gestión de los neumáticos fuera de uso con la finalidad de reducir o eliminar los impactos negativos sobre el ambiente y la población” (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

El informe de investigación N° 61/2014-2015 “EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN IBEROAMÉRICA” menciona que si bien varios países de la región han realizado diversos esfuerzos por reducir los riesgos generados por la acumulación y mal manejo de los NFU, aún no se logran las metas programadas para eliminar los problemas generados sobre la calidad de vida de las personas y por ende se requiere de mayores esfuerzos y de una normatividad más acorde con la situación real de cada país y asu vez concluye que de las experiencias descritas se observa que un denominador común de las propuestas sobre la materia, es desarrollar un trabajo

conjunto entre entidades públicas y privadas, orientadas desde el Estado para la promoción de leyes que favorezcan la intervención de las industrias privadas que dispongan de tecnología apropiada para garantizar la eliminación de los NFU sin perjuicio al ambiente. (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

2.2.2.4. NORMATIVA SOBRE RECICLAJE DE NFU EN PERÚ

El Perú hasta la actualidad no cuenta con una normativa destinada al manejo de los NFU, aun cuando su importación es de más de 50.000 toneladas anuales, haciendo que en Latinoamérica sea uno de los países que más descuido ha tenido sobre ello, más aún que las minerías son grandes productores de NFU y Perú un país minero. A continuación, se muestran algunas normas que de cierta manera intentan influir en el manejo de los NFU.

Tabla 9: Normas vinculadas con la gestión de residuos sólidos en el Perú.

NORMA	DESCRIPCIÓN
<u>Ley 26842</u> Ley General de Salud 20 de julio de 1997	En esta norma, se señala que está impedido efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.
<u>Ley 27314</u> Ley General de Residuos Sólidos 21 de julio de 2000	Esta ley se encarga de regular las competencias de los gobiernos locales, provinciales y distritales con respecto a la gestión de los residuos sólidos de origen domiciliario, comercial y de aquellas actividades que generen residuos similares a éstos, en todo el ámbito de su jurisdicción, el cual involucra los sistemas de disposición final. Asimismo, establece las competencias sectoriales en la gestión y manejo de los residuos sólidos de origen industrial.
<u>Ley 27972</u> Ley Orgánica de Municipalidades 26 de mayo de 2003	Las municipalidades, en materia de saneamiento, tienen como función regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito de su respectiva provincia.
<u>Ley 28611</u> Ley General del Ambiente 15 de octubre de 2005	Mediante esta norma se establecen los principios básicos para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida.

<u>Decreto Supremo 019-2005-PRODUCE</u> Aprueba el Reglamento Técnico para neumáticos de automóvil, camión ligero, buses y camiones. 24 de mayo de 2005	El reglamento establece las características técnicas, así como el rotulado que deben cumplir los neumáticos nuevos para uso general, sean de procedencia nacional o importada, con el fin de que su utilización no sea un peligro para la vida y la seguridad de las personas.
<u>Decreto Supremo 012-2009-MINAM</u> Política Nacional del Ambiente 23 de Mayo de 2009	Establece los lineamientos para residuos sólidos, establecidos en el Eje de Política 2 «Gestión integral de la calidad ambiental».
<u>Resolución Directoral 095-2011-MTC/16</u> Aprueba la Directiva 001-2011-MTC/16 Régimen de autorización y funcionamiento de los centros de chatarreo de vehículos del programa para la renovación del parque automotor 1 de julio de 2011	Establece el procedimiento mediante el cual se regula el mantenimiento de las condiciones de seguridad y calidad de los servicios relacionados con el funcionamiento de los centros de chatarreo de vehículos.

Fuente: Informe de investigación N° 61/2014-2015 “Experiencias en el Tratamiento de Neumáticos fuera de uso en Iberoamérica” (Magallanes Reyes, y otros, 2014).

Según la O. M. N° 013 – 2017 – MDSA, publicada en “El Peruano” el 30/12/2017. Las llantas y neumáticos desechados son clasificados como Residuos Sólidos Especiales, así mismo en el artículo N° 25 hace mención que la Municipalidad no retirará este tipo de residuos sólidos ya que no pueden ser tratados por la municipalidad, por otra parte pone en conocimiento que queda prohibido la quema de residuos sólidos dentro o fuera de los predios; la quema de residuos está penalizado bajo esta ordenanza municipal con 20%UIT (MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAYÁN, 2017).

A nivel nacional, los neumáticos fuera de uso es uno de los residuos sólidos que para su eliminación son incinerados de manera descontrolada produciendo gran contaminación del aire, por lo que se debería implementar ordenanzas de este tipo en todo el Perú o una normativa general para el manejo de los NFU.

2.2.2.5. CRECIMIENTO DE NFU EN PERÚ

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como entidad, viene reportando información del crecimiento del parque automotor en el país, los cuales son mostrados detalladamente en los anexos N°03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10,11,12 y 13.

Crecimiento de NFU en Perú

Considerándose como base de datos los anexos del 3 al 13 “PARQUE VEHICULAR ESTIMADO EN EL PERÚ, DEL 2007 – 2018”, Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos y Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística, se realizó una proyección al 2025, obteniéndose un crecimiento vehicular estimado de 4'102,758 unidades de vehículos, según el método de crecimiento geométrico, lo que equivale a 105,500 toneladas de neumáticos.

2.2.2.6. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CAUCHO MOLIDO

A nivel mundial existen diversas formas de obtener el caucho molido, variando por el tipo de proceso, el costo, la tecnología, el impacto ambiental, entre otros; siendo los siguientes los más conocidos y aplicados.

Obtención por trituración mecánica

Su proceso es netamente mecánico, dividiéndose en varias etapas a temperatura de ambiente, por lo que los productos obtenidos son de alta calidad y libres de impurezas (fragmentos de NFU, acero, textiles), lo que facilita su uso en diferentes procesos y aplicaciones; quedando así listo para el uso en: modificadores de asfaltos, superficies de atletismo y deportes, entre otros como el paso previo a los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos.

Obtención por Trituración Criogénica

A través de este proceso, se enfría con nitrógeno los NFU hasta -87°C convirtiéndose así en frágiles y de fácil molienda mediante molinos de impacto, sin embargo, se obtiene una baja calidad de los productos, dificultad para separar los textiles, el caucho y el acero. Este proceso requiere de instalaciones muy complejas, el costo de mantenimiento de las maquinarias es elevado, lo hace muy poco rentable su ejecución.

Obtención por molienda húmeda

Este proceso consiste en una serie de ruedas de molienda con agua pulverizada inyectada continuamente para asegurar el enfriamiento del polvo, después de este proceso se separa el agua del polvo y se seca.

2.2.2.7. PROPIEDADES DE LOS NFU PROCESADOS

Propiedades físicas

- El NFU troceado es plano y de forma irregular.
- Tamaño máximo del polvo de NFU para mezclas asfálticas suelen ser inferior a 2mm (proceso seco) y 0.01 y 0.83 mm (proceso húmedo).
- Peso específico del polvo de NFU es aproximadamente $1.15\text{tn}/\text{m}^3$, el cual es considerando libre de material textil, metálico y contaminantes.

Propiedades químicas

- El polvo de NFU requiere menos temperatura de mezcla y menos tiempo de reacción, mientras las partículas más gruesas son más baratas y a su vez requieren mayor tiempo y temperatura de reacción.
- Baja reactividad ante líquidos y gases
- Baja biodegradabilidad
- Resistente a la intemperie

✚ Propiedades mecánicas

- El polvo de NFU por su forma tórica y la elasticidad que presenta son de difícil compactación.
- De los trozos de NFU, se han obtenido ángulos de fricción interna de 19° a 26°, cohesión entre 4.3 kPa y 11,5 kPa, y permeabilidad aproximadamente con la grava limpia 1.5 cm/s a 15cm/s.
- Absorbe las vibraciones
- Alta flexibilidad
- Elevada resistencia al corte – triaxial

2.2.3. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON NFU



Figura 6: Pavimentación con mezcla asfáltica modificada con NFU.

Fuente: NFU granulado para la fabricación de pavimentos bituminosos (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - Gobierno de España, 2020)

2.2.3.1. PROPIEDADES

- Presenta mayor rigidez a altas temperaturas de servicio.
- Presenta menor rigidez y mayor relajación a temperaturas bajas de servicio.
- Puede o no mejorar la adhesión entre el asfalto y los agregados.
- En un largo periodo el costo de mantenimiento es más rentable.
- Presenta menos variabilidad con respecto al IRI.

- Se ha demostrado que el ruido que produce la transitabilidad vehicular es menor.
- Su producción reduce la emisión de CO₂/km.
- En su composición presenta un porcentaje de material reciclable.

2.2.3.2. INCORPORACIÓN DEL NFU EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Los NFU son usados en carreteras como mezclas asfálticas modificadas mediante 2 métodos o procesos de fabricación: por vía húmeda donde se realiza mezclas entre el asfalto y el polvo de NFU; y por vía seca donde los gránulos de NFU reemplazan el filler y/o agregado fino.

Por vía húmeda o Wet Process

El proceso húmedo también conocido con proceso Mc Donald o West Process o proceso Arizona, consiste en la incorporación de los granos de caucho molido directamente al ligante asfáltico, el cual se usa como ligante modificado, la calidad del asfalto modificado definitivo dependerá de varios factores entre ellas, la textura de los gránulos de caucho, el tamaño y el porcentaje de estas; del tipo de asfalto, la temperatura de mezcla y puesta en obra e incluso del tiempo de mezclado. “El porcentaje de polvo de caucho según la ASTM es de alrededor del 18% al 22% respecto al peso total del ligante, y varía dependiendo del ligante. La reacción se realiza a temperaturas desde los 177°C hasta 218°C (350 °F – 425°F) por un periodo entre 45 y 60 minutos. Se busca que el asfalto reaccione Física y químicamente con las partículas de caucho” (Quispe Espinoza, 2006).

Según el proceso de manufacturación se puede dividir en:

A. Tecnología de bacheadas (tecnología Mc Donald o Batch blending):

Consiste en la mezcla de grandes lotes de caucho con el ligante en el proceso de producción de las mezclas asfálticas. “Las primeras aplicaciones fueron realizadas por medio del proceso húmedo y mediante bacheadas, basado en la tecnología McDonald, desarrollado en la década del 60 por Charles McDonald, y patentada en la década del 70 por la Arizona Refining Company (ARCO). Hoy en día se encuentran diferentes patentes que se relacionan con la tecnología McDonald,

muchas se han expirado y otras siguen vigentes” (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

B. Tecnología continua (Florida Wet Process o Continuous blending)

Debido a la inestabilidad de almacenaje de ligante modificado, debe ser producido con equipo de mezclado en la misma planta de producción en caliente in situ y ser usado inmediatamente. “Para este proceso se utiliza un tamaño mínimo de 0.18 milímetros de GCR se mezcla con el asfalto en un proceso continuo. La tecnología de Florida a diferencia del proceso McDonald emplea bajos porcentajes de GCR, del 8 y 10%, el tamaño de partícula que se requiere es mucho más reducida es mucho más pequeña, de igual forma también se reduce la temperatura de mezcla y el tiempo de mezclado. El proceso por la vía húmeda de Florida a la fecha aún no ha sido patentado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

C. Tecnología terminal o Terminal Blending

“Está asociado con tecnologías del proceso húmedo con características de almacenamiento extendido (shelf life) y dicho caucho asfalto almacenable es apropiadamente formulado con caucho fino de neumáticos desechados (partículas menores que el tamiz N° 60) puesto que son producidos en un terminal de suministro de cemento asfáltico; llegan a lograr un estado estable y relativamente homogéneo; este proceso brinda un ahorro en tiempo y costo, permitiendo así que el material sea mezclado en una ubicación terminal y transportado al lugar de trabajo” (Quispe Espinoza, 2006).

“La tecnología terminal es un proceso por vía húmeda que mezcla el asfalto con el polvo de NFU, conservando el producto en el tiempo. Este proceso se puede almacenar en el tiempo y se mezcla en la refinería donde se produce asfalto por cualquiera de las dos tecnologías, continua o por bacheadas” (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

El ligante caucho asfalto producido por vía húmeda se utiliza para mezclas asfálticas en caliente, como sello de juntas, ligante para reparación de grietas, tratamientos superficiales y construcción de membranas retardantes de fisuras.



Figura 7: Proceso de adición de obtención de Mezclas asfáltica modificada con NFU.

Fuente: Trabajo de investigación “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” - Colombia. (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

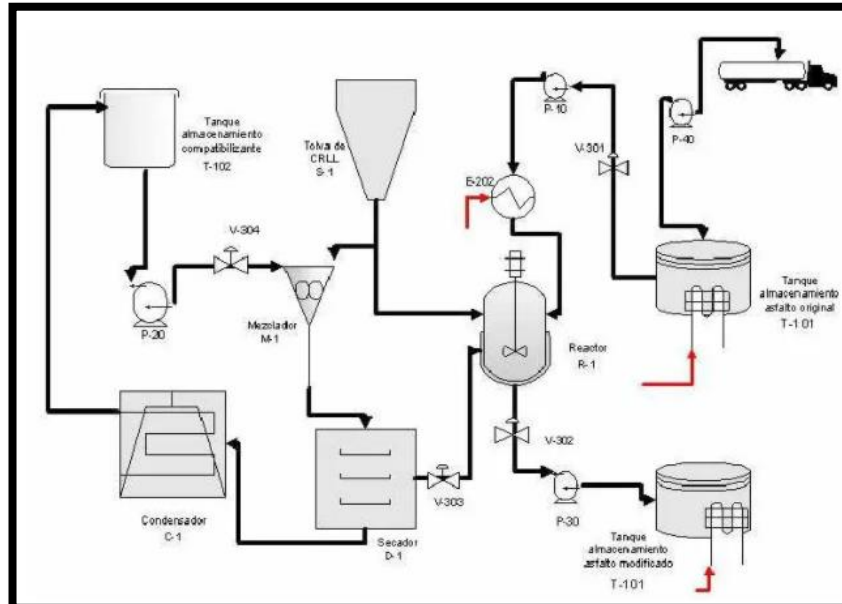


Figura 8: Proceso de producción industrial asfalto modificado con adición de Caucho de Llanta Reciclado CRL.

Fuente: Trabajo de investigación “Modificación De Un Asfalto Con Caucho Reciclado De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos”. (Angulo Rodríguez, y otros, 2005).

Por vía seca o Dry Process

“El proceso de adición por vía seca es un método donde el Granos de Caucho Reciclado es mezclado primero con los agregados antes de incorporar el asfalto. En este método los GCR forman parte del agregado fino en la mezcla asfáltica, estos porcentajes de GCR varían entre el 1 y 3 % de la cantidad total de los agregados de la mezcla. Este proceso no requiere de algún equipo en específico, solo se requiere adicionar la cantidad idónea de GCR y que se incorpore al momento debido para que se fusionen con los agregados a la temperatura de mezcla y posteriormente se adiciona el ligante” (Agudelo Cendales, y otros, 2019). Otros autores como (Quispe Espinoza, 2006) señala una variación de 1% a 4% del peso total del agregado y tamaños de partículas entre 2.00 mm (tamiz N°10) y 6.3mm (1/4”), los gránulos de NFU son incorporados como parte del agregado fino; el proceso vía seca no requiere de algún equipo especial para su preparación, sin embargo, se ha mostrados deficiencias en este método las cuales vienen siendo mejorados en la actualidad.

Según el proceso de manufacturación se puede dividir en:

A. Plusride

“Esta tecnología originada y desarrollada en Suecia a fines de la década del 60, registró en U.S.A con el nombre de PlusRide. El GCR se adiciona en la mezcla asfáltica con tamaños que van desde 4.2 mm a 2.0 mm, los contenidos de vacíos de esta mezcla asfáltica por lo general están entre 2% y 4% y los contenidos óptimos de asfalto entran entre 7.5% y 9%” (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

B. Genérica

Desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de 1980 para producir mezclas asfálticas en caliente con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el caucho de NFU grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del NFU es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados. A diferencia del Plus Ride,

la granulometría del NFU se divide en dos fracciones, la parte fina es encargada de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa funciona como un agregado elástico en la mezcla asfáltica. En este sistema, el contenido de caucho de NFU no debe exceder el 2 % del peso total de la mezcla para capas de rodadura.

2.2.3.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La categorización del nivel de importancia de las ventajas y desventajas que se presenta entre el caso para una mezcla asfáltica tradicional (BT), respecto a una mezcla asfáltica con caucho (BC) lo ha definido la (REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018), quien lo ha realizado con "la opinión de los autores del documento en referencia, quienes a través de un grupo de discusión analizaron las ventajas y decidieron la importancia de cada ventaja, seleccionando la importancia de las ventajas escribiéndolos en notas adhesivas y usando una pizarra, para permitir la modificación de su orden de importancia en una escala de 0 a 100. Durante el proceso, se estimó que la ventaja más importante era "un 5% menos de deterioro", asociado con la necesidad de mantenimiento, ya que esto implica tiempo y costos, un factor crucial a la hora de decidir entre alternativas. Por esta razón, se le asignaron 100 puntos. Luego, la alternativa con "más experiencia y conocimiento" en el proceso de fabricación de la mezcla fue evaluada con 95 puntos, ya que busca minimizar los errores en el proceso.

Luego, la alternativa con la ventaja "7 °C más resistente a la susceptibilidad térmica", se evaluó con 70 puntos porque es conveniente evitar fallas tempranas en la carretera, debido a la inestabilidad del asfalto en su operación. Dimos 55 puntos a la alternativa con la ventaja "0.7 mm / km menos variación de IRI", para garantizar mayor seguridad y comodidad para los usuarios de la carretera.

Evaluamos con 40 puntos la alternativa que tenía "3,5 dB menos tanto de día como de noche", por lo que, durante la fase de operación de la carretera, las personas ubicadas en los alrededores tendrían menos efectos negativos debido a la emisión excesiva de ruido. Finalmente, la ventaja asociada con la diferencia en la cantidad de material reciclado se evaluó con 15 puntos, ya que

es solo del 0.5% y con 10 puntos, la alternativa de emitir 59.89 t menos CO2 eq./km.

En la siguiente **Tabla 10**, se muestra el resumen de la escala de importancia de cada ventaja. Esta escala representa una evaluación subjetiva de la relevancia de las ventajas relativas a la ventaja más importante, que es "un 5% menos de deterioro" de la mezcla asfáltica con BT respecto a la mezcla asfáltica con BC".

Tabla 10: Escala de importancia de ventajas y desventajas de 02 mezclas asfálticas.

Factores (Criterios)	Mezcla de asfalto con BT	Imp	Mezcla de asfalto con BC	Imp
Necesidad de mantenimiento <i>(menor porcentaje es mejor)</i>	Att: 9%		Att: 4%	
	--	0	Vtj: 5% menos porcentaje	100
Conocimiento y experiencia con el proceso de producción <i>(más alto es mejor)</i>	Att: mayor experiencia y conocimiento		Att: menor experiencia y conocimiento	
	Vtj: más experiencia y conocimiento	95	--	0
Susceptibilidad térmica <i>(una temperatura más alta es mejor)</i>	Att: 46-54°C		Att: ≥ 53°C	
	--	0	Vtj: 7°C más resistente a la temperatura	70
IRI Variability <i>(menor es mejor)</i>	Att: 0.9 mm/km		Att: 0.2 mm/km	
	--	0	Vtj: 0.7 mm/km menos variabilidad	55
Ruido <i>(menos decibeles es mejor)</i>	Att: 51.14 db during day and 40.28 db at night		Att: 47.64 db durante el día y 36.78 db en la noche	
	--	0	Vtj: 3.5 db menos tanto de día como de noche	40
Emisiones de CO2 equivalentes <i>(menos es mejor)</i>	Att: 1450.83 t CO ₂ /km		Att: 1390.94 t CO ₂ /km	
	--	0	Vtj: 59.89 t menos CO₂/km.	10
Porcentaje de inclusión de material reciclado <i>(más es mejor)</i>	0%		0.5% (Caucho)	
	--	0	Vtj: 0.5%	15
Importancia total		95		290

Fuente: Artículo de investigación titulado "Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho" publicado por la (REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018) – Chile.

2.2.4. NORMATIVA Y ENSAYOS A MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

2.2.4.1. ENSAYOS PARA ESTABILIDAD

“La estabilidad es la capacidad para soportar las tensiones generadas por las cargas del tránsito sin ocasionar deformaciones plásticas. Si un pavimento es estable, se podría decir que es capaz de mantener su forma bajo cargas repetidas” (Martinez Reguero, 2000). Por lo cual el ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla.

ENSAYO DE ESTABILIDAD MARSHALL

“El ensayo de estabilidad Marshall, consiste en aplicar carga vertical a un espécimen cilíndrico en posición horizontal. A una temperatura de 60°C seleccionada (temperatura promedio del pavimento en el verano). El valor de la estabilidad Marshall es la carga máxima que produce una falla en el espécimen” (Minaya Gonzales, y otros, 2006).

En la siguiente tabla, se observa los valores mínimos de estabilidad Marshall, establecidos por la EG - 2013.

Tabla 11: Valores mínimos de estabilidad Marshall

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 423-10 (EG-2013)		
Inmersión - Comprensión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la cmoprensión Mpa. Mín	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín)	75	75	75
Relación Polvo-Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	80 mín.		

Fuente: Manual de Carretera (EG – 2013)

A. Equipos

El equipo usado para determinar la estabilidad Marshall es la Máquina de carga o Compresión de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales – MTC 2016, mismas con la que se cuenta en el Perú, como se muestra en la siguiente figura.

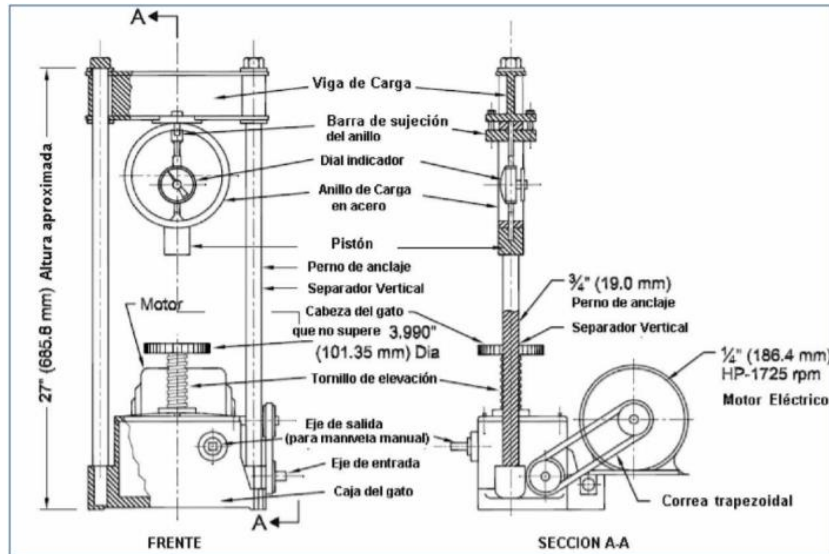


Figura 9: Máquina de Carga a Compresión

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

B. Normatividad

Tabla 12: Normas para ensayo de Estabilidad Marshall

ENSAYO	NORMA
Estabilidad Marshall	MTC E 504
	AASHTO T 245
	ASTM D 1559
	NLT 159/86

Fuente: Propia

C. Factores que Afectan la Resistencia a la Estabilidad

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregados está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La

cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregados se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga. La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Hasta cierto nivel la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdidas de fricción entre partículas (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Existen muchos factores que afectan la resistencia a la estabilidad, en la siguiente tabla se enuncia varias causas y efectos de una estabilidad baja.

Tabla 13: Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahuellamiento y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.4.2. ENSAYOS PARA FLEXIBILIDAD

“La flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La

flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan o se expanden” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

“Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, por lo general, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, por lo que se debe buscar el equilibrio entre ambos” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

2.2.4.3. ENSAYOS PARA RESISTENCIA A LA FATIGA

Según (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982), la resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito, esta característica está relacionado directamente al asfalto, los asfaltos oxidados no son resistentes a la fatiga.

Ensayo de Flexión Simple

En este ensayo, la muestra se flexiona de forma repetitiva intentando reproducir las fuerzas de flexión causadas por el paso continuo de vehículos sobre la estructura de pavimento. Son ensayos uniaxiales que solo aplican esfuerzos en una dirección y que no representan las condiciones de las mezclas asfálticas in situ, pues en realidad un sistema de pavimento presenta un estado de esfuerzo triaxial en donde se desarrollan esfuerzos normales y cortantes, (Rondon Quintana, y otros, 2015) , Algunos de estos ensayos se pueden dividir en:

- Ensayos a flexión de la viga cargada en el punto central o ensayo de flexión en tres puntos.
- Ensayo de flexión en cuatro puntos.
- Ensayo de flexión en dos puntos o ensayo de la viga trapezoidal en voladizo.
- Ensayo de la viga rotatoria en voladizo.

Ensayo Diametral

“El ensayo diametral de fatiga o ensayo de tensión indirecta representa mejor las características y condiciones a comparación con los ensayos uniaxiales. En este ensayo, la muestra cilíndrica es cargada repetitivamente con una carga compresiva que actúa en dirección vertical y de forma paralela a la sección transversal. Esta configuración de carga lleva a la aparición de esfuerzos de tensión que actúan de forma perpendicular a la carga aplicada” (Rondon Quintana, y otros, 2015).

Ensayo Cíclico Torsional

Este ensayo es conocido como DMA, este término es usado para referirse al equipo empleado en la realización del ensayo y también para referirse a las muestras ensayadas, este equipo es usado para evaluar propiedades reológicas y de fatiga de asfaltos y de mezcla de asfalto – filler. Adicionalmente es una herramienta que sirve para caracterizar estos materiales bajo diferentes condiciones de carga (frecuencia, temperatura, modo de carga, etc) y del material (seco, húmedo). El equipo que ensaya la muestra DMA es el reómetro.

Las muestras DMA pueden ser fabricadas individualmente utilizando un molde de 50 mm de altura y 12 mm de diámetro y empleando una vara de apisonar para compactar la mezcla. El compactador giratorio SUPERPAVE (SGC), es utilizado para compactar la mezcla y preparar muestras cilíndricas con 152 mm de diámetro y 90 mm de altura. Las muestras DMA son núcleos extraídos de las partes superior e inferior de la muestra SGC. Treinta dos muestras DMA se pueden extraer a partir de una muestra SGC utilizando una maquina especial de extracción de núcleos fabricada para este propósito (Rondon Quintana, y otros, 2015).

Factores que Afectan la Resistencia a la Fatiga

Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida

que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que sea envejecido y endurecido considerablemente tienen menor resistencia a la fatiga (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

En la siguiente tabla, se presenta una lista de las causas y los efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

Tabla 14: Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento.	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.4.4. ENSAYOS PARA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

“La resistencia al deslizamiento es la capacidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento de los neumáticos de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Una buena resistencia al deslizamiento se da cuando el neumático es capaz de mantener contacto con

las partículas de agregado en vez de deslizarse sobre una película de agua en la superficie del pavimento. La resistencia al deslizamiento se mide in situ con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y con una velocidad de 65 Km/hr” como detalla (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Ensayo de Determinación Del Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento En El Pavimento Con Péndulo Británico (TRRL).

El ensayo determina la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. El BPN, son las siglas correspondientes a British Pendulum Number (Número de Péndulo Británico), es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)} = \frac{\text{Lectura efectiva de BPN}}{100}$$

“Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido en la siguiente figura, para expresar los resultados a 20 °C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales” (MTC, 2016).

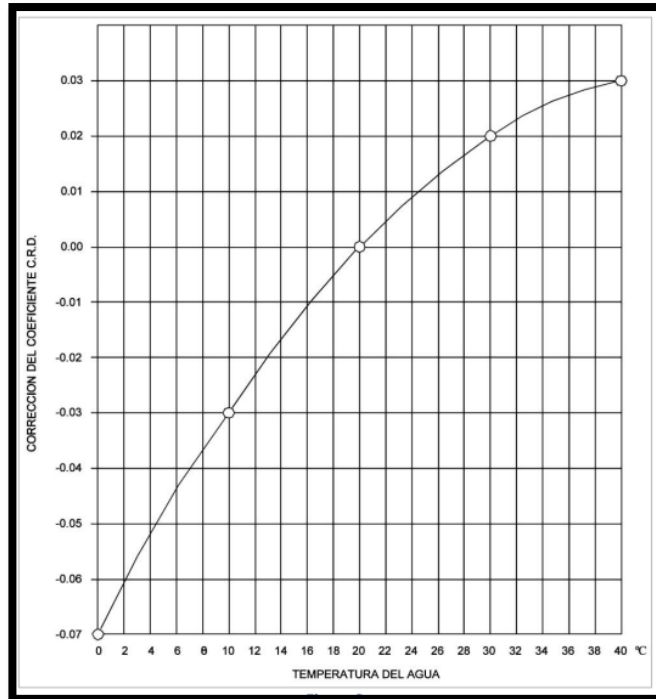


Figura 10: Corrección al aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C.

Fuente: (MTC, 2016)

A. Equipos

El equipo usado para este ensayo es PÉNDULO DEL TRRL, el péndulo está compuesto por una zapata y su placa soporte. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del resorte sobre la zapata no será mayor de 216 N/m, (MTC, 2016).

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio así como se muestra en la siguiente figura, el cual comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70 ° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla

alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo, (MTC, 2016).

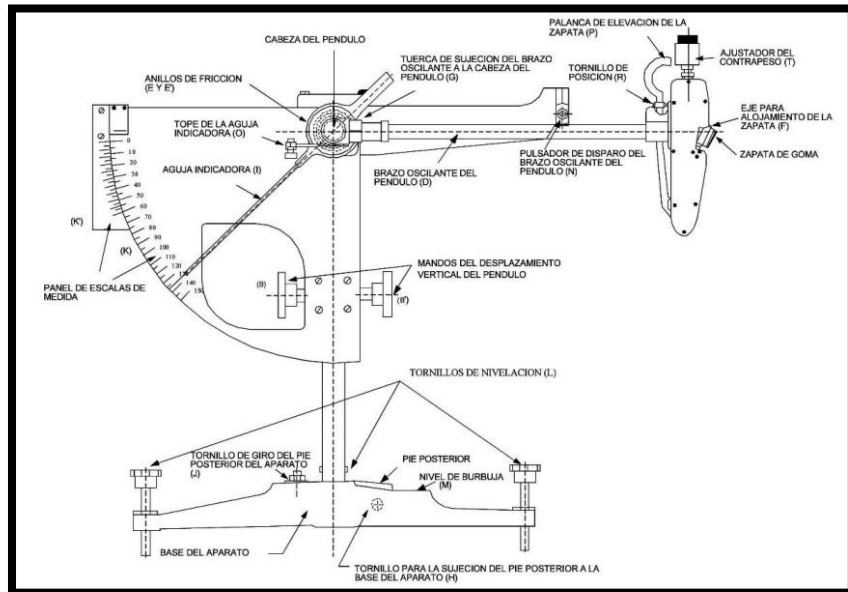


Figura 11: Péndulo del TRRL.

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

B. Normatividad

Tabla 15: Normas para Determinación Del Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento En El Pavimento Con Péndulo Británico (Trrl).

ENSAYO	NORMA
Determinación Del Coeficiente De Resistencia Al Deslizamiento En El Pavimento Con Péndulo Británico (Trrl).	MTC E 1005
	AASHTO T 278
	ASTM E 303

Fuente: Propia

🚦 ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA

El procedimiento de ensayo involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta y, posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del

pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento, esto resultados pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas (MTC, 2016).

A. Equipos y Materiales

“Se debe contar con arenas normalizadas obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado, se obtiene la arena tipo 80/100 que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100, y la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo. También se debe contar con: Recipiente contenedor de material, disco para esparcir (plano y rígido), escobillas (una de cerdas duras y otra de cerdas blandas), caja protectora de viento, regla, balanza”, (MTC, 2016).

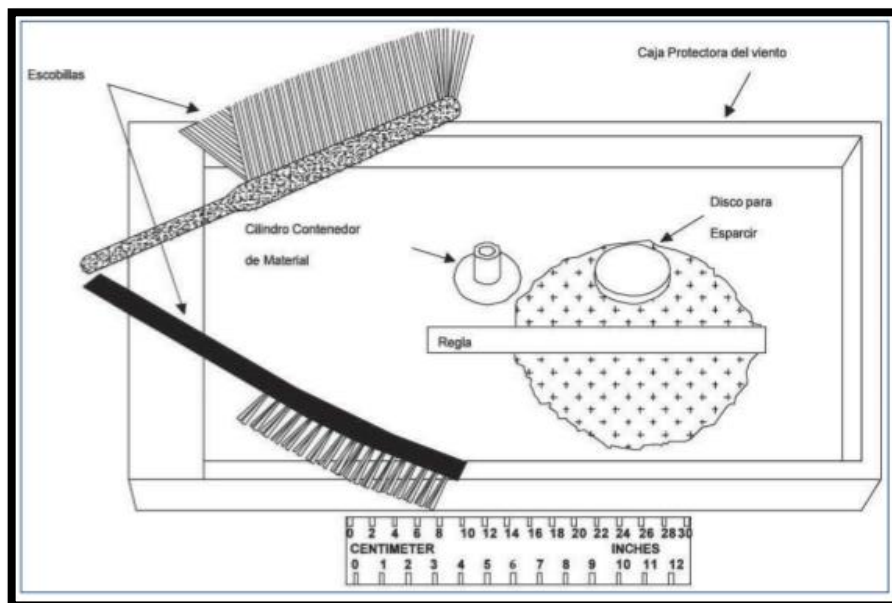


Figura 12: Aparato para medir profundidad de macrotextura de la superficie del pavimento.

Fuente: Manual de Ensayos de Materiales (MTC, 2016)

B. Factores que Afectan la Resistencia al Deslizamiento.

“Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgada) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento”, (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

En la siguiente tabla, presentaremos una lista de las causas y los efectos relacionados con una mala resistencia al deslizamiento.

Tabla 16: Causas y Efectos de una Mala Resistencia al Deslizamiento

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.4.5. ENSAYOS PARA DEFORMACIONES PLÁSTICAS

“El ahuellamiento es un tipo de deformación plástica, que puede ser definido como deformación vertical permanente que se va acumulando en el pavimento debido al paso repetitivo de los vehículos, el cual genera la formación de delgadas depresiones longitudinales a lo largo de la trayectoria de las llantas. Puede generar fallas estructurales o funcionales en el pavimento y ocurre en cualquier capa de la estructura. Sin embargo, investigaciones han demostrado y reportado que la mayor parte de ahuellamiento se genera en la capa asfáltica.

El fenómeno de ahuellamiento en mezclas asfálticas ocurre por densificación principalmente durante la construcción y por la aparición de deformaciones de corte durante la vida útil del pavimento” (Rondon Quintana, y otros, 2015).

A continuación, describiremos brevemente los tipos de ensayo de laboratorio más utilizados para medir deformaciones permanentes en mezclas asfálticas.

✚ Ensayo de Esfuerzos Uniaxiales Ejecutadas sobre Muestras Cilíndricas Inconfinadas Bajo Carga Monotónica (Creep- Fluencia) o Cíclica.

“Las muestras en estos ensayos presentan generalmente dimensiones de 4” de diámetro y 8” de altura. Los parámetros que se puedan medir en estos ensayos son: modulo y/o deformación en creep vs. tiempo, módulo resiliente, deformación permanente vs. numero de ciclos de carga, relación de Poisson, modulo dinámico y relación de amortiguamiento” (Rondon Quintana, y otros, 2015).

✚ Ensayo de Esfuerzos Triaxiales Ejecutadas sobre Muestras Cilíndricas Confinadas Bajo Carga Monotónica Creep o Cíclica.

“Los ensayos triaxiales cíclicos se realizan aplicando una presión de confinamiento constante y sometiendo las mezclas asfálticas a condiciones de esfuerzos similares a las producidas por el paso de vehículos en la superficie. En los ensayos triaxiales cíclicos las probetas se introducen dentro de la cámara triaxial, donde son sometidos a una condición de esfuerzo verticales comprensión que varía con una función sinusoidal, a una presión horizontal estática y a una temperatura constante” (Rondon Quintana, y otros, 2015).

A. Equipos y Materiales

El equipo que permite realizar este tipo de ensayos es el AMPT (Asphalt Mixture Performance Tester). En el equipo se puede medir el módulo dinámico de mezclas asfálticas y el número de flujo. Este último sirve para evaluar la resistencia a la deformación permanente de mezclas asfálticas.



Figura 13: Equipo AMPT

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

✚ Ensayo Diametrales o de Tensión Indirecta Ejecutadas Bajo Carga Cíclica o en Creep.

“Las muestras en estos ensayos presentan dimensiones de 4” de diámetro y 2.5” de altura. Los parámetros que se miden en estos ensayos son similares a aquellos obtenidos de ensayos uniaxiales y triaxiales. La carga es aplicada verticalmente en compresión en el plano diametral de un espécimen cilíndrico de mezcla asfáltica” (Rondon Quintana, y otros, 2015).

A. Equipos y Materiales

Uno de los equipos más utilizados para realizar ensayos de este tipo es el Nottingham Asphalt Tester (NAT). En el cual se puede evaluar el módulo resiliente y dinámica de mezclas asfálticas y la resistencia a fatiga y el ahuellamiento al mismo tiempo.



Figura 14: Equipo Nottingham Asphalt Tester (NAT)

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

✚ Ensayo del Tipo Wheel – Track o de Deformación a Pequeña Escala.

Las muestras en estos ensayos son losas prefabricadas, y en ellas se mide la deformación que experimenta una mezcla asfáltica en función del número de ciclos aplicados. Algunos de los equipos más utilizados en el mundo para realizar ensayos de este tipo son el APA (Asphalt Pavement Analyzer, AASHTO TP 63), el Wheel – Track de Hamburgo y el French Pavement Rutting Tester (FPRT), (Rondon Quintana, y otros, 2015).

A. Equipos y Materiales

El equipo Wheel – Track de Hamburgo, para realizar el ensayo con este equipo se prepara una losa de mezcla asfáltica o un espécimen rectangular el cual es sumergida en agua a 50°C y es deformada debido al paso repetido de una carga rodante de acero de 703 N que simula la forma de una llanta vehicular, (Rondon Quintana, y otros, 2015).



Figura 15: Equipo Wheel – Track de Hamburg

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

B. Factores que Afectan la Resistencia a las Deformaciones Plásticas.

Según (Rondon Quintana, y otros, 2015), “el ahuellamiento (deformación plástica) es afectado principalmente por tres factores: mezcla (gradación del agregado, grado de funcionamiento PG del ligante, contenido de asfalto), carga (presión de llanta, tipo de eje) y ambiente (temperatura, humedad, precipitación). En la siguiente tabla se resumen los principales factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento de mezclas asfálticas. Adicionalmente, se presenta la influencia que tiene el cambio de dichos factores sobre el aumento o la disminución de las deformaciones permanentes en estos materiales”.

Tabla 17: Factores que afectan el fenómeno de ahuellamiento en mezclas asfálticas.

	FACTOR	CAMBIO EN EL FACTOR	EFEKTOS SOBRE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO
AGREGADOS PÉTREOS	Textura superficial	Liso a rugoso	Incrementa
	Forma	Redondo a angular	Incrementa
	Tamaño	Incremento en tamaño máximo.	Incrementa
LIGANTE ASFÁLTICO	Rigidez	Incremento	Incrementa
MEZCLA	Contenido del ligante.	Incremento	Disminuye
	Contenido de vacíos.	Incremento	Disminuye
	Grado de compactación.	Incremento	Incrementa
CONDICIONES DE CAMPO	Temperatura	Incremento	Disminuye
	Esfuerzo/deformación	Incremento	Disminuye
	Repeticiones de carga	Incremento	Disminuye
	Agua	Seco a húmedo	Disminuye

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

2.2.4.6. ENSAYOS PARA DURABILIDAD

“La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Factores que Afectan la Resistencia a la Durabilidad

Una gradación densa de agregado firme, duro y resistencia a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una gradación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la

separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento.

Existen muchas causas y efectos asociados con un poco durabilidad del pavimento, a continuación, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 18: Causas y efectos de una poca durabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.4.7. ENSAYOS PARA IMPERMEABILIDAD

“La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su contenido” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Factores que Afectan la Resistencia a la Permeabilidad

“El grado de impermeabilidad está determinada por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la permeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

En la siguiente tabla, se mencionan ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de gradación densa.

Tabla 19: Causas y efectos de la permeabilidad

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Las películas delgadas de asfalto causaran, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.4.8. ENSAYOS PARA TRABAJABILIDAD

“La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar” (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

Factores que Afectan la Resistencia a la Trabajabilidad

Las mezclas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas con contienen un alto porcentaje de agregado grueso tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad, puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

Las mezclas asfálticas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas, usualmente estas son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregados, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tiene algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado bajo hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982).

En la siguiente tabla, se mencionan algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

Tabla 20: Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

Fuente: (Asphalt Institute Serie de Manuales N° 22, 1982)

2.2.5. COSTO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON NFU EN EL PERÚ Y LATINOAMERICA

2.2.6. A NIVEL INTERNACIONAL

Tabla 21: Comparación asfalto convencional vs asfalto caucho

	Asfalto convencional	Asfalto modificado con SBS ⁴	Asfalto modificado con caucho
Toneladas por un kilómetro de calle⁵	39,2 ton	39,2+ 1,2 ton	39,2 + 8,2 ton
Valor un kilometro	1	1,28	1,15
Resistencia al ahuellamiento	B	A+	A
Resistencia al desgaste	B	A+	A
Resistencia a las temperaturas extremas	B	A	A
Tracción y agarre de neumáticos	B	A+	A
Sonido de la rodadura (D_b)	100%	100%	100%
Resistencia al agrietamiento	B	A	A
Elasticidad	B	A+	A
Costo de energía	1	1,4	1,2

Fuente: Plan de negocios “Panta de reciclaje de neumáticos de caucho – Comercialización de miga de caucho” (Carmona, 2016).

En este caso (Carmona, 2016) refiere que, el costo de producción de un asfalto modificado con caucho respecto a asfalto convencional, incrementa en un 15% por KM, así mismo da a conocer que se requiere de 39.2 ton por km para el convencional y 39.2 ton + 8.2tn x KM del modificado con caucho y un incremento en 20% de la energía utilizada en su producción. Cabe mencionar de la tabla anterior que la mezcla asfáltica con caucho comparado a la mezcla asfáltica con SBS, la mezcla asfáltica mejorada con caucho requiere 7 toneladas más por kilómetro, pero en costos la mezcla asfáltica con SBS incrementa en 13% respecto a la mezcla asfáltica modificada con caucho y respecto al convencional la mezcla con SBS incrementa en un 28% (más costoso uso es el uso de SBS).

Tabla 22: Costo de un concreto asfáltico con diferentes ligantes.

	%p	Cemento convencional		Alto Índice		Polimerizado SBS		
		U\$/Ton	mezcla	U\$/Ton	mezcla	U\$/Ton	mezcla	
		U\$/Ton	mezcla	U\$/Ton	mezcla	U\$/Ton	mezcla	
Ligante	5%	180	9,00	320	16,00	450	22,50	
Piedra	40%	21	8,40	21	8,40	21	8,40	
Arena de tituración	40%	18	7,20	18	7,20	18	7,20	
Arena silicia	15%	9	1,35	9	1,35	9	1,35	
Concreto Asfáltico	100%		25,95		32,95		39,45	
Incremento en el concreto asfáltico						27%	52%	
Costo de elaboración	Incremento:		0%	10%	20%			
Calentar material, Energía, M. Obra, Amortización, R de liga Flete a obra			17,00	18,70	20,40			
Costo de colocación en obra (16% costo concreto asfáltico)			6,35	6,92	7,55			
COSTO:			49,30	51,65	59,85			
Gastos generales (15% concreto asf.)			6,90	6,90	6,90			
Impuestos y Tasas (16% sobre c. Asf)			7,00	7,00	7,00			
TOTAL:			63,20	65,55	73,75			
Los costos se incrementan específicamente en tres ítems:								
Ligante s	Aunque la operatoria de mezclado y construcción de pavimentos usando asfaltos mejorados es similar a las de operaciones con asfaltos convencionales, los costos se aumentan debido al almacenamiento y mezclado en planta constructiva							
Costo de producción								
Costo de colocación								
	Cemento convencional		Alto Índice		Polimerizado SBS			
	U\$/Ton	%	U\$/Ton	%	Aumento	U\$/Ton	%	Aumento
Ligante	9,00	14,2%	16,00	22,1%		22,50	27,7%	
Agregados Petreos	16,95	26,8%	16,95	23,4%		16,95	20,8%	
Costo de elaboración	17,00	26,9%	18,70	25,8%		20,40	25,1%	
Costo de colocación en obra	6,35	10,0%	6,92	9,5%		7,55	9,3%	
Gastos generales	6,90	10,9%	6,90	9,5%		6,90	8,5%	
Impuestos y Tasas	7,00	11,1%	7,00	9,7%		7,00	8,6%	
Costo Total:	63,20	100,0%	72,47	100,0%	114,67	81,30	100,0%	128,64

Fuente: Asfaltos modificados (E-Asfalto, 2005).

La tabla anterior de la comunidad E-ASFALTO, resalta que la variación en los costos de producción de una mezcla modificada con SBS se ve incrementados específicamente por los siguientes 3 puntos:

- Materiales para el concreto asfáltico, incrementado en 52% aproximadamente
- Costo de elaboración, incrementando en 20% aproximadamente
- Costo de colocación, incrementando en 18.9% aproximadamente

Haciendo un aumento global de 28.6% más al costo de un asfaltado convencional. Así mismo la revista resalta que si bien el proceso de mezclado y construcción es similar entre ambos casos, el incremento se ve debido al almacenamiento y el mezclado en planta.

“Resultados experimentales muestran que dependiendo del tipo de polímero utilizado. En el mercado nacional, los asfaltos modificados tienen un precio entre 2 y 3 veces el del asfalto virgen, sin embargo, este mayor costo es compensado con la mayor vida útil de la mezcla asfáltica, que es del orden de hasta 3 veces la del asfalto común. Teniendo en cuenta que el ligante asfáltico es solamente el 5% del total de la mezcla de concreto asfáltico, el costo total de dicha mezcla, cuando se usa asfalto modificado como por ejemplo con SBS, puede llegar a ser un 30% a 40 % mayor que el de una mezcla preparada con asfalto convencional. Sin embargo, la relación beneficio/costo es superior con asfaltos modificados” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005).

La siguiente figura muestra como el costo de mantenimiento de una vía asfaltada se ve afectado a lo largo de una década, en EE.UU. en el cual se puede distinguir la variación de costos a partir del año 6, llegando al año 11 con una diferencia de 1100 dólares aproximadamente entre una vía asfaltada con asfalto convencional y la otra con el caucho-asfalto, dando a conocer que, en un periodo largo; el costo de mantenimiento es menor para una mezcla asfáltica “caucho - asfalto”.

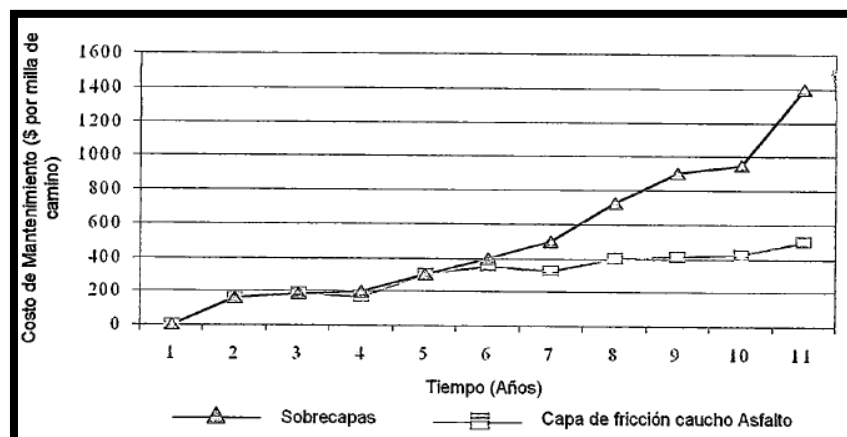


Figura 16: Costos de mantenimiento de la agencia de transportes de Arizona EE.UU. sobre capa convencional comparado con una mezcla caucho asfalto.

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho Asfalto”, Lima – Perú” (Quispe Espinoza, 2006).

Por otra parte, (Calahorra Jiménez, y otros, 2016) referenciaron las siguientes figuras, acerca de los costos de mantenimiento y costos para el usuario respectivamente.

Se aprecia el escenario 0 (pavimento convencional), teniéndose un aproximado en el costo de mantenimiento de USD \$ 12500.00 a los 25 años y el escenario 1 (pavimento con NFU) teniéndose un aproximado en el costo de mantenimiento de USD \$ 12500.00 a los 25 años, lo que se refleja en 8.8% menos costoso realizar los manteamientos al pavimento modificado con el NFU.

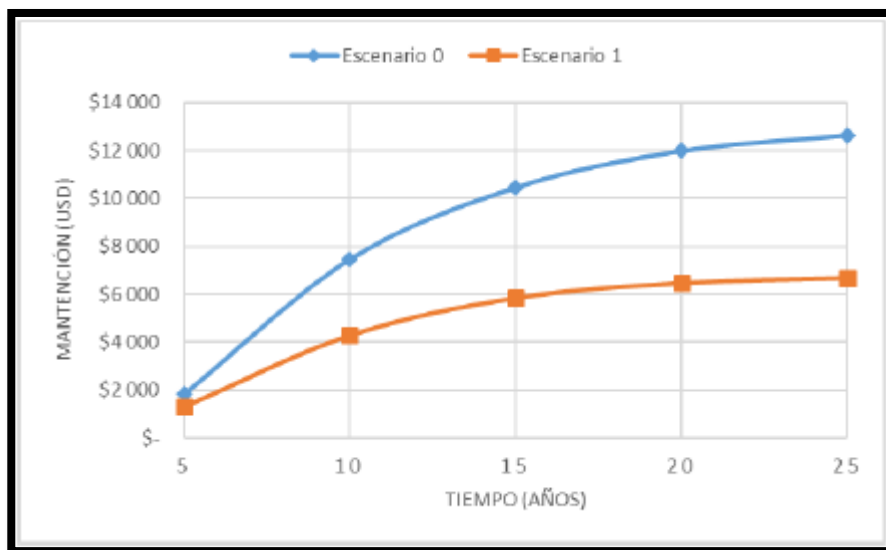


Figura 17: Mantenión de carreteras con/sin caucho (Jung, 2002).

Fuente: Trabajo de investigación titulado “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE MEZCLA ASFÁLTICA CON/SIN CAUCHO: ESTUDIO DE CASO”, (Calahorra Jiménez, y otros, 2016)

Se aprecia el escenario 0 (pavimento convencional), teniéndose un aproximado en el costo para el usuario de USD \$ 14800.00 a los 25 años y el escenario 1 (pavimento con NFU) teniéndose un aproximado en el costo para el usuario de

USD \$ 13500.00 a los 25 años, que se refleja en 48% menos costoso transitar por el pavimento modificado con el NFU.

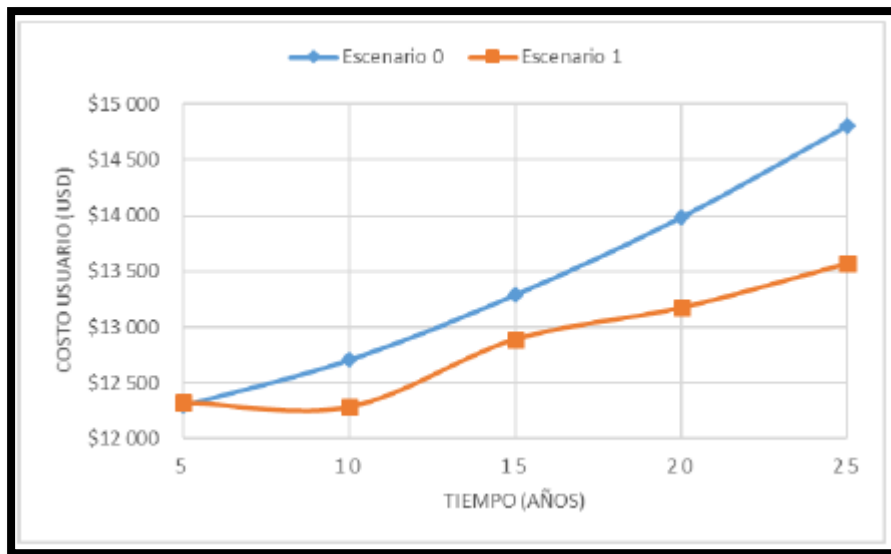


Figura 18: Costo para los usuarios con/sin caucho (Jung, 2002).

Fuente: Trabajo de investigación titulado “ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE MEZCLA ASFÁLTICA CON/SIN CAUCHO: ESTUDIO DE CASO”, (Calahorra Jiménez, y otros, 2016)

2.2.6.1. A NIVEL NACIONAL

En la siguiente **Tabla 23**, se muestra el análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con asfalto convencional (asfalto PEN 60/70).

Tabla 23: Costo de producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70

Partida : PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70						
Rendimiento: 500 M3/DÍA			Costo unitario directo por : M3		S/.	540.97
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.016	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.016	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.064	S/. 15.47	0.99	
					1.61	
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 44.90	4.94	
ARENA FINA(P/ ASFALTO)	M3		0.5500	S/. 50.00	27.50	
					24.79	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.4070	S/. 60.90	24.79	
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA (MORILIFE 2200)	KG		1.0050	S/. 10.00	10.05	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		69.3000	S/. 5.90	408.87	
					525.43	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	S/. 1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	S/. 180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	S/. 80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	S/. 350.00	10.68	
					13.93	

Fuente: “Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernandez, 2019)

En la siguiente **Tabla 24**, se muestra el análisis de costo unitario de la partida: Producción de mezcla asfáltica en caliente con adición de 20 % de caucho al asfalto PEN 60/70.

Tabla 24: Costo producción de mezcla asfáltica en caliente PEN 60/70 modificado.

Partida: PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PEN 60/70 MODIFICADO						
Rendimiento: 500 M3/DÍA		Costo unitario directo por : M3			S/.	434.10
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial	
Mano de Obra						
OPERARIO	HH	1.00	0.0160	S/. 20.96	0.34	
OFICIAL	HH	1.00	0.0160	S/. 17.21	0.28	
PEÓN	HH	4.00	0.0640	S/. 15.47	0.99	
						1.61
Materiales						
ARENA GRUESA (P/ ASFALTO)	M3		0.0000	S/. 44.90	0.00	
ARENA FINA (P/ ASFALTO)	M3		0.0000	S/. 44.90	0.00	
PIEDRA CHANCADA 1/2" - 3/4" (P/ASFALTO)	M3		0.1100	S/. 60.90	6.70	
CAL HIDRATADA (FILLER)	KG		30.8000	S/. 1.60	49.28	
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	KG		54.0540	S/. 5.90	318.92	
CAUCHO 0.060 MM -0.085 MM	KG		13.8600	S/. 3.00	41.58	
AZUFRE	KG		1.3860	S/. 1.50	2.08	
						418.56
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		5%	1.61	0.08	
CARGADOR FRONTAL DE 200 HP	HM	1.00	0.0105	180.00	1.89	
GRUPO ELECTRÓGENO 230 HP 150 KW	HM	1.00	0.0160	80.00	1.28	
PLANTA DE ASFALTO MÓVIL DE 60 - 115 TON/H	HM	1.00	0.0305	350.00	10.68	
						13.93

Fuente: “Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernandez, 2019).

Comparación de costos de producción de una mezcla asfáltica en caliente, utilizando asfalto PEN 60/70 y asfalto con adición de cauchos neumáticos reciclados.

Tabla 25: Variación de costo de producción Asfalto convencional y asfalto modificado con NFU.

DESCRIPCIÓN	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO	VARIACIÓN (%)
Precio de la producción de la mezcla total por metro cúbico	S/. 540.97	S/. 434.10	+ 24.62
Ahorro por metro cúbico de producción de mezcla asfáltica	S/. 106.87		

Fuente: “Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernandez, 2019)

En esta tabla (Goicochea Fernandez, 2019), muestra que la producción de una mezcla asfáltica en caliente utilizando asfalto modificado con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados, genera un ahorro de 24.62 % por cada metro cúbico de asfalto producido, en relación a utilizar asfalto PEN 60/70 sin modificar, teniendo un ahorro de S/. 106.87 por metro cúbico de asfalto producido.

(Quispe Espinoza, 2006), por otra parte, realiza un análisis de costo de la mezcla caucho asfalto, donde toma como referencia el análisis de costos unitarios de la obra: Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Chiclayo – Chongoyape, donde se aplicó la mezcla convencional; los cuales están adjuntas en los Anexos 15,16,17,18 y 19, basado en el estudio que realizó, el autor toma las proporciones de su diseño para mezcla convencional (MAC-02) y para la mezcla modificada (MAC-02-AR-01), el análisis de las cantidades también son adjuntas en los anexos, obteniendo así el precio unitario por M3 para cada mezcla, que se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 26: Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica convencional (MAC-02).

Insumo	Und	Und/m³	Precio U\$	Parcial
Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35.0190	1.21	42.37
Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0.6747	7.35	4.96
Filler mineral (cal hidratada)	ton	0.0450	220.00	9.90
Agregado grueso	m ³	0.3644	8.38	3.05
Agregado fino	m ³	0.4491	8.38	3.76
Total por m³				64.04

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho Asfalto”, Lima – Perú” (Quispe Espinoza, 2006).

Tabla 27: Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica modificada (MAC-02-AR-01)

Insumo	Und	Und/m ³	Precio U\$	Parcial
Granos de Caucho Modificador	ton	0.0306	265.00	8.11
Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35.9930	1.21	43.55
Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0.8464	7.35	6.22
Filler mineral (cal hidratada)	ton	0.0434	220.00	9.55
Agregado grueso	m ³	0.3515	8.38	2.95
Agregado fino	m ³	0.4333	8.38	3.63
Total por m³				74.01

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho Asfalto”, Lima – Perú” (Quispe Espinoza, 2006)

De los cuales, la diferencia en costo por M3 es de 10 dólares, y refiriéndose al proyecto menciona “el costo directo del proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Chiclayo – Chongoyape asciende a la suma de US \$12'672,933.53. El cálculo del presupuesto reajustado con las cantidades reales de diseño de mezcla MAC-02 asciende a la suma de US \$12'855,931.39. El empleo de las cantidades según el diseño de mezcla MAC-02-AR-01 con el ligante modificado afecta el monto elevando el costo directo a US \$13'277,929.14. El total de presupuesto para la mezcla convencional es de US \$20'541,780.14 y llega a ser de US \$21'216,067.26 cuando se emplea la mezcla modificada, lo que indica un 3.3% más en el presupuesto final” (Quispe Espinoza, 2006).

Por otra parte, cabe mencionar que, en el presupuesto indicado en el párrafo anterior no está siendo considerado los equipamientos adicionales para la producción de la mezcla modificada, el rendimiento de la mano de obra se verá reducida en las distintas partidas que sean involucradas en la producción de la mezcla modificada.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODOS Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el libro metodología de la investigación de (Hernandez Sampieri, y otros, 2010), se deduce que es una investigación de enfoque CUALITATIVO, porque el método trabajado busca recolectar datos no estandarizados ni predeterminados completamente, los cuales describe, analiza y convierte en temas vinculadas a la investigación.

3.1.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación según la naturaleza de la información que se dispondrá para responder al problema de investigación es de tipo CUALITATIVA, ya que se intenta describir los beneficios y dificultades de la implementación de mezclas asfálticas modificadas en caliente con incorporación de NFU en el Perú, con la información basada de experiencias, estudios realizados y entre otras (informaciones cualitativas).

3.1.1.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación según el alcance de los objetivos al cual se ha de llegar es de nivel DESCRIPTIVA – EXPLICATIVA; Descriptiva porque se busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de las mezclas asfálticas en

caliente y Explicativa porque se intenta encontrar las causas y factores que influyen en las deformaciones permanentes, describirlos a profundidad y brindar alternativas que puedan reducir estas deformaciones.

3.1.2. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de la investigación es a nivel Nacional, favoreciendo a todo aquel que quiera tomar este proyecto investigación como punto de partida para encontrar mejoras en los asfaltos.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo a (Hernandez Sampieri, y otros, 2010), el diseño es DOCUMENTAL, porque se realiza sin manipular deliberadamente las variables, ya que los datos a reunir se obtendrán solo de fuentes bibliográficas sobre investigaciones en deformaciones permanentes en mezclas asfálticas.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

Publicaciones de libros, trabajos de investigación, tesis, revistas, papers y artículos orientados al estudio de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU.

3.3.2. MUESTRA

Se utilizó el muestreo no probabilístico (muestreo casual o accidental e informal). Con lo que se determinó como muestra toda documentación usada y referenciada en el presente trabajo de investigación.

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas utilizadas en la recolección de datos, son los siguientes:

- Revisión de documentos (Se ha revisado investigaciones, papers, artículos entre otros, que describen experiencias con el tema tratado en el presente trabajo de investigación)

- Discusión en grupo (Se ha tocado los temas en diferentes tiempos con el asesor de la investigación y algunas capacitaciones acerca del uso de neumáticos en mezclas asfálticas)

3.1.3. INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Los instrumentos utilizados en la recolección de datos, son los siguientes:

- Anotaciones / resúmenes de investigaciones locales, nacionales e internacionales sobre investigaciones referidos al tema.
- Videos de charlas, discusiones entre otros de medios televisivos e internet.

3.5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO

El método costo beneficio, consiste en determinar la razón de los beneficios a los costos asociados con un proyecto particular, se considera que un proyecto es llamativo cuando los beneficios netos exceden a los costos asociados.

El análisis costo beneficio pretende determinar la conveniencia de utilizar polvo de NFU en los pavimentos, mediante la valoración en términos monetarios de todos los beneficios y costos derivados directa o indirectamente.

Para realizar la metodología costo – beneficio, debemos identificar los beneficios positivos y los beneficios negativos y costos de utilizar polvo de NFU en pavimentos, teniendo en cuenta los siguientes conceptos:

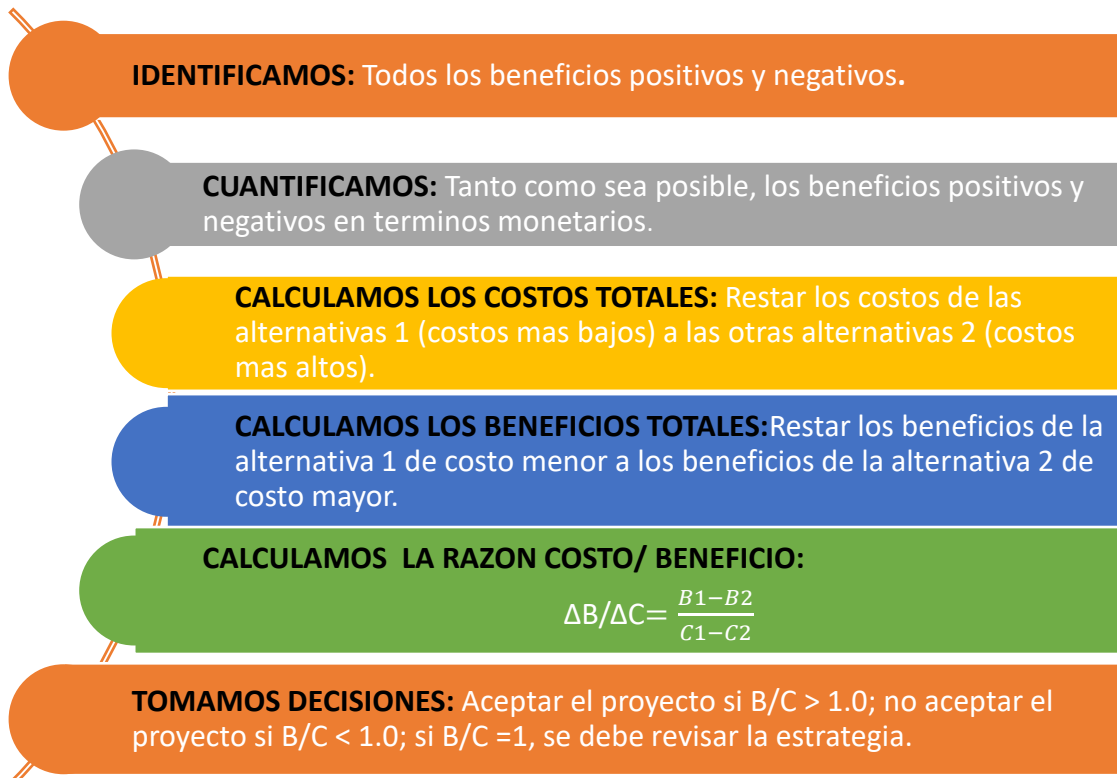
- **BENEFICIOS POSITIVOS:** Ventajas de utilizar polvo de NFU en los pavimentos.
- **BENEFICIOS NEGATIVOS:** Desventajas de utilizar polvo de NFU en los pavimentos.
- **COSTOS:** Gastos anticipados por construcción, gastos de operación, gastos de mantenimiento.

Ahora, las utilidades que brinda el análisis de costo – beneficio, son las siguientes:

- Valorar la necesidad y oportunidad de utilizar los NFU en pavimentos.
- Seleccionar la alternativa más beneficiosa de utilizar los NFU en pavimentos o continuar con el pavimento convencional.
- Estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios en el plazo de realización de utilizar los NFU en pavimentos.

3.5.1. ESQUEMA GENERAL PARA EL ANÁLISIS DE COSTO – BENEFICIO.

A continuación, presentamos una secuencia para el análisis de costo – beneficios, con el cual se determinó el beneficio de la utilización de los NFU en el pavimento.



Fuente: Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE EXPERIMENTOS Y USOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON NFU

De esta investigación, se ha recolectado los siguientes resultados:

4.1.1. A NIVEL NACIONAL

- 1) Del trabajo de investigación titulado “ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS – 2017”; del autor Fredy Goicochea Fernández, ciudad: Chachapoyas, país: Perú, año: 2019; nos brinda la siguiente información.

Tabla 28: Diseño del experimento

Muestra experimental											
Asfalto	Modificador	Concentraciones con respecto a la masa total de la mezcla, (%)									
60-70 PEN	Caucho de neumático reciclado y triturado (0.60 mm- 0.85) (%)	10			15			20			
	Azufre - Catalizador (%)	2			2			2			
	Temperaturas de producción de la mezcla, (°C)										
			160	180	200	160	180	200	160	180	200
	Ensayos										
		Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	Penetración	Punto de ablandamiento	Índice de penetración	
Muestra control											
60-70 PEN (100%)	Caucho de neumático reciclado y triturado (%)	0									
	Azufre (%)	0									
	Ensayos										
		Penetración			Punto de ablandamiento			Índice de penetración			

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernandez, 2019).

Para realizar su diseño de su experimento tomo como base reportes de investigaciones anteriores relacionadas al tema de investigación.

PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA (MUESTRAS EXPERIMENTALES):

(Goicochea Fernandez, 2019), nos explica que de acuerdo a la cantidad disponible de caucho y teniendo en cuenta que el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (2016), y las publicaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM) en relación a los ensayos Los valores de las proporciones de caucho se tomaron en referencia de la norma ASTM D 6114 – 97 (2009), donde indica que utilizando el 15 % de caucho en peso volumétrico de la mezcla total, suele ser necesario para proporcionar propiedades aceptables de caucho asfáltico. El valor de 15 % se tomó como el valor intermedio, decidiendo variar 5 % en peso de adición de caucho, de ello se obtuvieron los otros dos valores necesarios; ya que para una investigación se requieren mínimo tres valores para obtener un resultado confiable. 11 realizados, indican que, para un espécimen de prueba, son necesarios 400 gr de masa total, por lo cual se prepararon las muestras experimentales (especímenes de prueba) tal como se indica en las siguientes tablas.

Tabla 29: Especímenes de prueba fabricados a 160 °C

	160 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

Tabla 30: Especímenes de prueba fabricados a 180 °C

	180 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

Tabla 31: Especímenes de prueba fabricados a 200 °C

	200 °C		
	MEZCLA N.º1 (10% caucho)	MEZCLA N.º2 (15% caucho)	MEZCLA N.º3 (20% caucho)
	(0.01g)	(0.01g)	(0.01g)
Cemento Asfáltico - PEN60/70 - 88% / 83% / 78%	352.00	332.00	312.00
Caucho - 10% / 15% / 20%	40.00	60.00	80.00
Azufre - 2%	8.00	8.00	8.00
Masa Total (g)	400.00	400.00	400.00
% PEN 60/70	88	83	78
% Caucho	10	15	20
% Azufre	2	2	2
% Mezcla Asfáltica	100	100	100

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

✚ CARACTERÍSTICAS DEL GRANULO DE CAUCHO

Tabla 32: Granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados

Tamiz	Abertura	Peso Retenido	Retenido Parcial	Retenido Acumulado	Acumulado Pasante
8	2.360	0.43	0.0	0.0	100
10	2.000	4.55	0.1	0.1	99.9
16	1.180	1439.39	28.8	28.9	71.1
20	0.850	2089.66	41.7	70.6	29.4
30	0.600	800.1	16	86.6	13.4
40	0.425	353.23	7.1	93.7	6.3
50	0.300	195.47	3.9	97.6	2.4
60	0.250	68.27	1.4	99	1.0
80	0.180	41.78	0.8	99.8	0.2
100	0.150	3.45	0.1	99.9	0.1
140	0.106	2.71	0.1	100	0.0
200	0.075	2.28	0.0	100	0.0

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (**Goicochea Fernández, 2019**).

En esta tabla, nos muestra la granulometría del caucho obtenido de los neumáticos reciclados, de lo cual se utilizó tan solo el material pasante de la malla número 20 y retenido en la malla número 30, obteniendo 800.1 gramos de caucho, representando el 16 % del material caucho total obtenido.

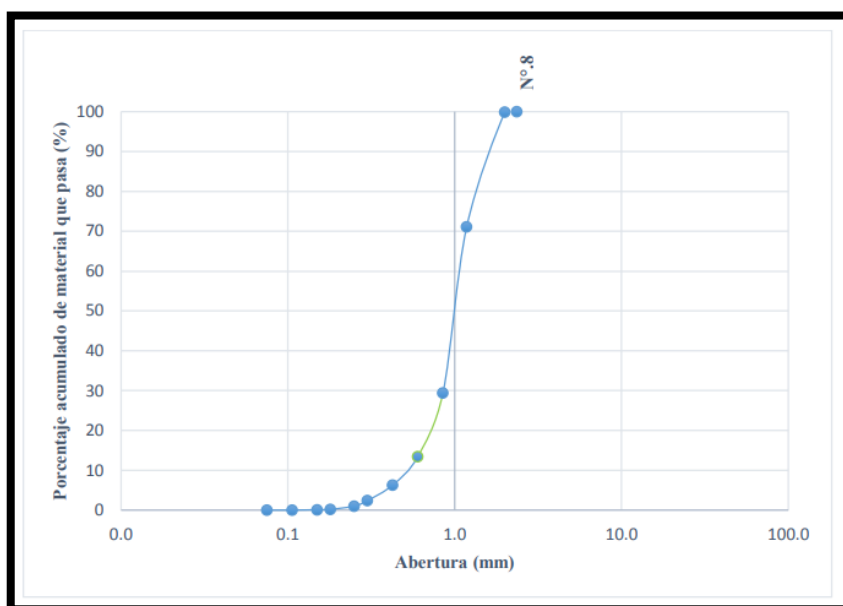


Figura 19: Curva granulométrica del caucho obtenido de los neumáticos reciclados.

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

En la **Figura 17**, nos muestra la representación de la curva granulométrica del material caucho total, obtenido de los neumáticos reciclados, de la cual, la parte de color verde, representa la curva granulométrica del material caucho de granulos de 0.60 a 0.85mm utilizado en esta investigación.

✚ CONSISTENCIA DE LAS MUESTRAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS

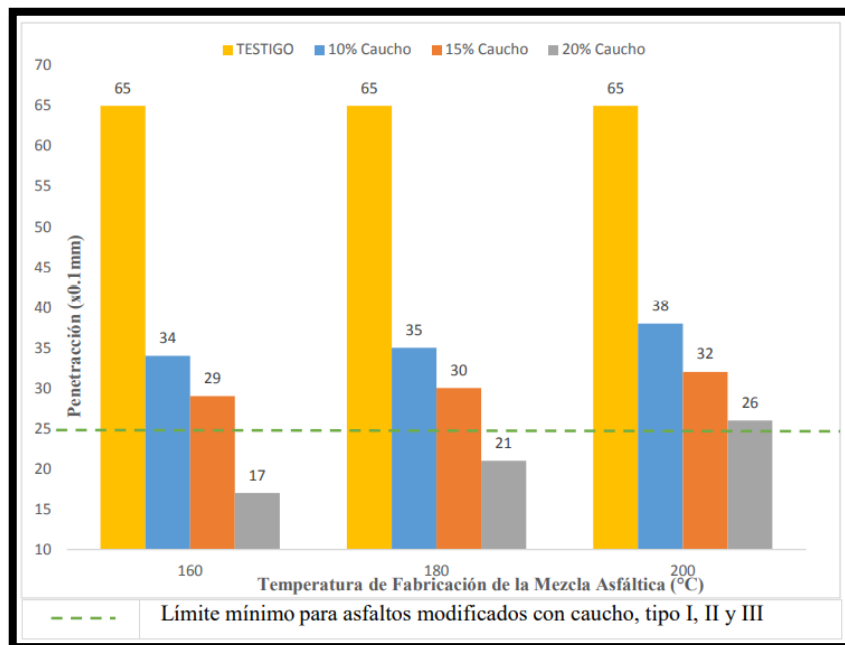


Figura 18: Resumen de la penetración de todas las muestras producidas respecto a la muestra control (Testigo).

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

En la **Figura 18**, nos muestra que conforme se va adicionando mayor cantidad de caucho de neumáticos reciclados al asfalto, este se vuelve más consistente, y de manera opuesta se evidencia que conforme se va

aumentando la temperatura de fabricación de las muestras, estas se vuelven más blandas. Cumpliendo con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho, respecto a la penetración, todas las muestras producidas a 200 °C, teniendo como la muestra con mejor resultado obtenido; la muestra producida a 200 °C con adición de 20 % de caucho, debido a que esta es la que mayor rigidez adopta, pero mantiene su visco-elasticidad.

✚ TENDENCIA A FLUIR DE LAS MUESTRAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS

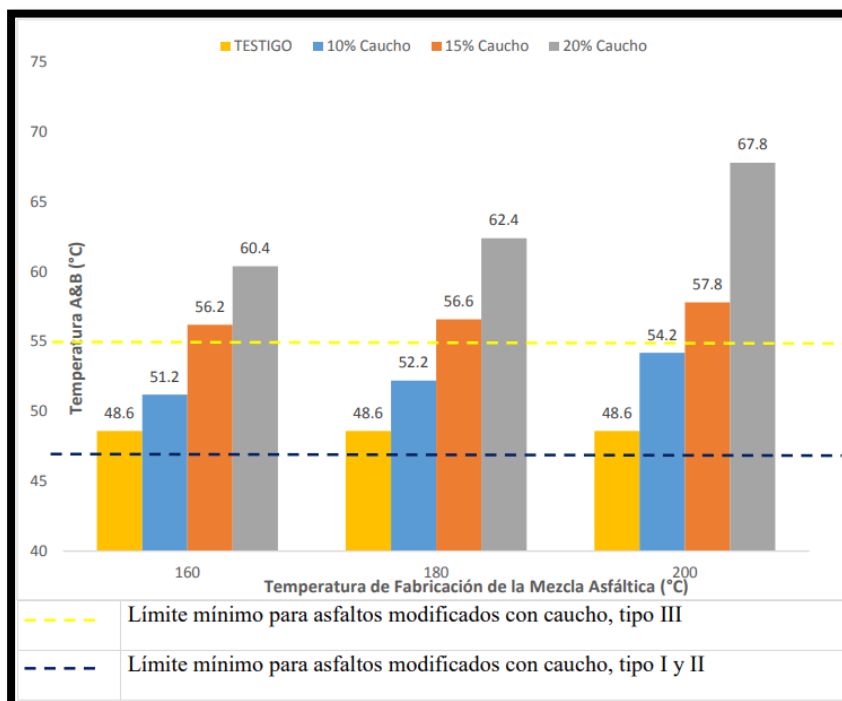


Figura 19: Resumen del punto de ablandamiento de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (Testigo).

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

En la **Figura 19**, nos muestra que la adición de caucho de neumáticos reciclados al asfalto PEN 60/70, tiene relación directa con la temperatura en la que las muestras tienden a fluir, ya que se puede observar que conforme mayor cantidad de caucho se adiciona, mayor es el punto de ablandamiento; de la

misma manera sucede con el incremento de la temperatura de fabricación ya que se puede observar que las muestras con la misma proporción de caucho adicionado, incrementan su punto de ablandamiento conforme se va aumentando su temperatura de fabricación.

✚ SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS PRODUCIDAS

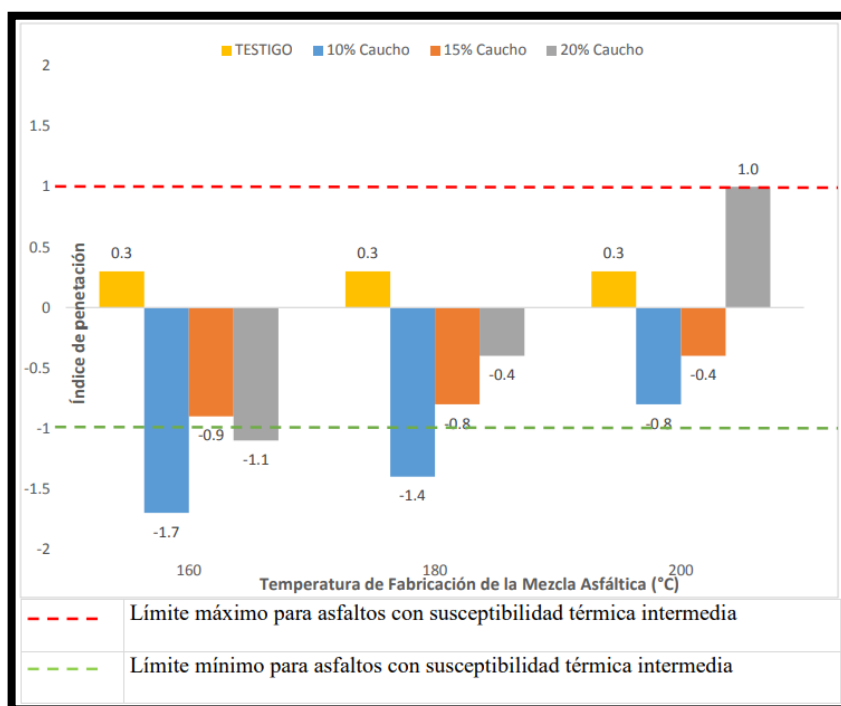


Figura 20: Resumen del índice de penetración de todas las muestras producidas, respecto a la muestra control (testigo).

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

En la **Figura 20**, que muestra que menor susceptibilidad térmica presenta, en relación a la muestra control (testigo), es la muestra producida a 200 °C con adición de 20 % de caucho de neumáticos reciclados.

CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS PRODUCIDAS

Tabla 33: Clasificación de las muestras producidas con adición de caucho de neumáticos reciclados.

Mezcla (Asfalto - Caucho - Azufre)	Penetración (mm)	Punto de ablandamiento (°C)	Índice de penetración	Temperatura de mezclado (°C)
88 % - 10% - 2%	34	51.2	-1.7	160
88 % - 10% - 2%	35	52.2	-1.4	180
88 % - 10% - 2%	38	54.2	-0.8	200
83 % - 15% - 2 %	29	56.2	-0.9	160
83 % - 15% - 2 %	30	56.6	-0.8	180
83 % - 15% - 2 %	32	57.8	-0.4	200
78 % - 20% - 2%	17	60.4	-1.1	160
78 % - 20% - 2%	21	62.4	-0.4	180
78 % - 20% - 2%	26	67.8	1	200
	Asfaltos que no cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho			
	Asfalto modificado con caucho; tipo I y tipo II			
	Asfalto modificado con caucho; tipo III			
	Asfalto de intermedia susceptibilidad a la temperatura			
	Asfalto de mayor susceptibilidad a la temperatura			

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio De Un Asfalto Con Adición De Caucho De Neumático Reciclado Como Polímero Base, Chachapoyas – Amazonas – 2017” (Goicochea Fernández, 2019).

En la **Tabla 33**, nos muestra la clasificación de las muestras de acuerdo con las especificaciones técnicas, para asfaltos modificados con caucho, referente al punto de ablandamiento y penetración, estipulado por el MTC y en relación a la susceptibilidad térmica que presenta cada una de ellas, observando que siete de las nueve mezclas asfálticas con adición de caucho de neumáticos reciclados, cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados con caucho.

Según (Goicochea Fernandez, 2019) los resultados obtenidos de su investigación, se puede sostener que siete de las nueve mezclas asfálticas experimentales (mezclas asfálticas modificadas) con caucho de neumáticos reciclados, cumplen con las especificaciones técnicas para asfaltos modificados

con caucho, estipuladas por el MTC, en el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción, EG-2013 – TOMO I; bajo esas premisas queda demostrado que es posible emplear el caucho de neumáticos reciclados en nuestro país, posibilitando con ello el mejoramiento de las condiciones de transitabilidad de nuestra red vial. La adición de caucho mejora considerablemente sus propiedades físico- mecánicas, prolongando así el tiempo de vida útil de las vías, también se ha comprobado, que la aplicación del caucho de neumáticos reciclados en un asfalto es un procedimiento sencillo y que la materia prima es abundante en nuestra región a costo cero, ya que los neumáticos usados son desechados.

- 2) Del trabajo de investigación titulado “COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO-ASFALTO””; del autor Sergio Enrique Quispe Espinoza, ciudad: Lima, país: Perú, año: 2006; nos brinda la siguiente información.

✚ CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA:

Tabla 34: Huso granulométrico del agregado para mezcla asfáltica densa - MAC-2

Tamiz	% que pasa MAC-2
¾" (19.050 mm)	100
½" (12.700 mm)	90 – 100
Nº 4 (4.760 mm)	44 – 74
Nº 8 (2.360 mm)	28 – 58
Nº 50 (0.300 mm)	5 – 21
Nº 200 (0.074 mm)	2 – 10

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

En la tabla anterior, se puede apreciar el que el autor eligió el diseño bajo la granulometría MAC-2, huso granulométrico para una mezcla densa aprobada en el Perú, así mismo, mencionar que existen varios autores y páginas web que recomiendan granulometrías densas en las mezclas asfálticas modificadas con NFU.

El autor también brinda las características del cemento asfáltico usado, el cual se encuentra en el **Anexo 22**.

En este trabajo de investigación, se ha usado un aditivo mejorador de adherencia en el cual se muestra las características correspondientes:

Tabla 35: Características del aditivo mejorador de adherencia

Determinación	Contenido
Contenido de aminas	400 – 600
Propiedades físicas a 25 °C	Líquido
Punto de inflamación (°C)	165
Viscosidad a 25 °C	2000 – 6500 cs
Gravedad Específica	0.95 promedio
Solubilidades:	
• Gasolina	Insoluble
• Agua	Insoluble
• Alcohol Isopropílico	Insoluble

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

El autor ha tomado como caucho modificador una muestra obtenida del área de investigación de la Universidad de Arizona (Arizona State University - ASU)

Tabla 36: Gradación de caucho molido modificador (GCM)

Tamiz	% Que pasa
Nº 10	100.0
Nº 16	81.3
Nº 30	33.1
Nº 50	7.4
Nº 100	2.1
Nº 200	1.0

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

El autor se ha baso en las especificaciones de normativas y especificaciones extranjeras para definir los porcentajes y la gradación del GCM, siendo su composición para este diseño la gradación tipo I proporcionado por CALTRANS, considerándose el 100% de caucho proveniente del NFU, cumpliéndose con las siguientes características:

Tabla 37: Gradación de caucho molido modificador (GCM) por componentes

Tamaño de tamiz	Trozos de Neumatico GCM Porcentaje Pasante
2.36-mm	100
2.00-mm	98-100
1.18-mm	45-75
600- μ m	2-20
300- μ m	0-6
150- μ m	0-2
75- μ m	0

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

✚ LAS CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y ENSAYOS:

- ✓ Metodología de diseño Marshall con granulometría MAC-2.
- ✓ Para la obtención del Caucho modificador

Tabla 38: Consideraciones para la elaboración del caucho modificado con NFU

Parámetro	Valor
Porcentaje de caucho (*)	18%
Temperatura de mezclado	180°C
Tiempo de mezclado	60 min.
Velocidad de mezclado (**)	500 rpm

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

Según los ensayos realizados por el autor, se puede apreciar que el 18% del peso total del cemento asfáltico modificado es el óptimo para cumplir con los requerimientos y la que mejor comportamiento ha tenido.

- Se ha realizado los siguientes ensayos: ensayo de compresión edométría con una carga de 10kg/cm² y a temperaturas de 0°C y 60°C

RESULTADOS DE LOS DISEÑOS Y ENSAYOS:

Tabla 39: Características de la mezcla asfáltica convencional MAC-02 – diseño de obra.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	5.67	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.380	
Contenido de Vacíos	%	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	15.4	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	
Flujo	mm	3.50	2 – 4
Estabilidad	kg	1073	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3066	1700 – 3500 (*)
Índice de Compactibilidad	%	7.5	Mín. 5
Estabilidad Retenida	%	89.5	Mín. 75

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

En la tabla anterior, se puede apreciar un porcentaje óptimo de asfalto de 5.67%, para la mezcla convencional, presentando una estabilidad de 1073.0 kg siendo superior a las especificaciones para la obra en ejecución, cumpliéndose los vacíos, flujo y la relación estabilidad /flujo.

Tabla 40: Características de la mezcla asfáltica modificada, diseño MAC-02-AR-01.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	7.25	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.335	
Contenido de Vacíos	%	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	19.9	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	
Flujo	mm	3.80	2 – 4
Estabilidad	Kg	1390	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3658	1700 – 3500

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

En la tabla anterior, se puede apreciar un porcentaje óptimo de asfalto de 7.25%, para la mezcla modificada, presentando una estabilidad de 1390.0kg siendo superior a las especificaciones para la obra en ejecución, cumpliéndose los vacíos, flujo y la relación estabilidad /flujo superior al especificado.

Tabla 41: Comparación de las características de la mezcla asfáltica convencional MAC-02 y mezcla asfáltica modificada MAC-02-AR-01.

Ensayo	Unidad	MAC-02	MAC-02-AR-01	Especificación
Contenido de Cemento Asfáltico	%	5.67	7.25	±0.3%
Peso Unitario	gr/cm ³	2.380	2.335	
Contenido de Vacíos	%	4.0	4.0	3 – 5
Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	%	15.4	19.9	Mín. 14
Vacíos llenos con Cemento Asfáltico	%	75.0	75.0	
Flujo	mm	3.50	3.80	2 – 4
Estabilidad	kg	1073	1390	680
Estabilidad/Flujo	kg/cm	3066	3658	1700 – 3500

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

En la tabla anterior, se puede apreciar una variación de 1.58% de la cantidad de cemento asfáltico, el cual debería ser incrementado si se va realizar una mezcla asfáltica modificada, así mismo se aprecia una mejora en la estabilidad incrementando en 317.0 kg que equivale al 29.54% respecto al convencional, lo que podría hacer en un diseño la reducción del espesor de la capa de mezcla asfáltica.

Tabla 42: Resultados compresión edométría, 60°C, 10 kg/cm²

Diseño (Muestra)	T° ensayo (°C)	Peso Unitario (gr/cm³)	E (kg/cm²)	E promedio (kg/cm²)
MAC-02 (S1)	60	2.390	490	512
MAC-02 (S2)	60	2.388	567	
MAC-02 (S3)	60	2.378	504	
MAC-02 (S4)	60	2.389	488	
MAC-02-AR-01 (C1)	60	2.312	838	786
MAC-02-AR-01 (C2)	60	2.288	823	
MAC-02-AR-01 (C3)	60	2.319	785	
MAC-02-AR-01 (C4)	60	2.324	698	

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

Se aprecia un incremento en el módulo dinámico a 60°C en un 54% cuando se hace uso de la una mezcla modificada con NFU en el 18% del peso del ligante asfáltico.

Tabla 43: Resultados compresión edométría, 0°C, 10 kg/cm²

Diseño (Muestra)	T° ensayo (°C)	Peso Unitario (gr/cm³)	E (kg/cm²)	E promedio (kg/cm²)
MAC-02 (S1)	0	2.387	583	627
MAC-02 (S2)	0	2.386	633	
MAC-02 (S3)	0	2.381	617	
MAC-02 (S4)	0	2.384	675	
MAC-02-AR-01 (C1)	0	2.321	824	829
MAC-02-AR-01 (C2)	0	2.328	867	
MAC-02-AR-01 (C3)	0	2.321	810	
MAC-02-AR-01 (C4)	0	2.314	813	

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

Se aprecia un incremento en el módulo dinámico a 0°C en un 32% cuando se hace uso de la una mezcla modificada con NFU en el 18% del peso del ligante asfáltico.

Tabla 44: Resultados compresión edometría, 0°C, 10 kg/cm²

Diseño (Muestra)	Resultados a 60 °C		Resultados a 0 °C	
	Deformación recuperable, ϵ (%)	ϵ promedio (%)	Deformación recuperable, ϵ (%)	ϵ promedio (%)
MAC-02 (S1)	2.1		1.7	
MAC-02 (S2)	1.8	2.0	1.6	1.6
MAC-02 (S3)	2.0		1.6	
MAC-02 (S4)	2.1		1.5	
MAC-02-AR-01 (C1)	1.2		1.2	
MAC-02-AR-01 (C2)	1.2	1.3	1.2	1.2
MAC-02-AR-01 (C3)	1.3		1.2	
MAC-02-AR-01 (C4)	1.4		1.2	

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Comportamiento Mecánico De Mezclas Asfálticas Modificadas Con Caucho: “Caucho- Asfalto” (Quispe Espinoza, 2006)

Se aprecia los promedios de deformación recuperable a 60°C de 1.3 para mezcla modificada y 2.0 para mezcla convencional. Deformación recuperable a 0°C para mezcla modificada 1.2 y para mezcla convencional 1.6. si bien la recuperación de las deformaciones es mayor en las mezclas convencionales, es necesario mencionar que la deformación máxima en estas fue en el rango de 3% a 4%, mientras que para la mezcla modificada de 2.5% a 3.5% presentando menor deformación inicial.

Por otra parte, el autor definió el uso del aditivo mejorador de adherencia en el diseño debido a que no cumplía en la muestra convencional, sin embargo; la muestra realizada con el NFU también requiere del aditivo para cumplir los requerimientos mínimos de adherencia, en otras palabras, el caucho no ha aportado en la afinidad entre el ligante y el agregado.

(Quispe Espinoza, 2006), concluye que la adición del NFU al cemento asfáltico ha incrementado su viscosidad, ya que el ensayo de penetración se ha reducido en un 50%, por lo que se requiere elevar la temperatura de mezclado y colocación.

4.1.2. A NIVEL LATINOAMÉRICA

- 1) El trabajo de investigación titulado “ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO” del autor Miguel Ángel Agudelo Cendales. Ciudad: Bogotá – País: Colombia – Año: 2019; donde da a conocer lo siguiente:

✚ CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA:

Tabla 45: Características del agregado para mezcla asfáltica densa

Ensayo	Especificación	Unidad	Especificación	Resultado
Índice de aplanamiento	NLT 354	%	---	19
Índice de alargamiento	NLT 354	%	---	14
Porcentaje de caras fracturadas	ASTM D-5821	%	100	85.2
Gravedad específica de agregado grueso	AASTHO T85	---	---	2.55
Absorción agregado grueso	AASTHO T85	%	---	3.1
Gravedad específica de agregado fino	AASTHO T84	---	---	2.79
Absorción agregado fino	AASTHO T84	%	---	2.9
Equivalente de arena	ASTM D-854	%	min 50	63
Desgaste de máquina de los ángeles	AASTHO T96	%	máx. 25	19.5
Solidez	AASTHO T228	%	máx. 18	13.3
Contenido de materia orgánica	ASTM C-40	---	máx. 3	<1
Valor azul de metileno	UNE 933-9	mg/g	máx. 10	1,25

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

Tabla 46: Características para determinar el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica mdc-19

Características		Especificación INV-E	Requisito
Compactación Golpes-Cara		E-748	75
Estabilidad mínima (Newton)		E-748	9000 N
Flujo(milímetros)		E-748	2-3.5
Estabilidad y Flujo (KN/mm)		E-748	3-6
Vacíos CON AIRE (Va) [%]	Rodadura	E-736,799	4-6
	Intermedia		4-7
	Base		5 - 8
Vacíos en los agregados (VAM) [%]	Tamaño máximo 19 mm	E-799	≥15
Vacíos llenos de asfalto (VFA) [%]		E-799	65-75

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

Tabla 47: Características para determinar el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica MDC-GCR.

Características	Norma de ensayo	Requisito
Compactación (Golpes-Cara)	E-824	75
Contenido de asfalto caucho (%)	E-824	6.0-9.0
Estabilidad mínima en newton	E-824	8250 N
Flujo en milímetros	E-824	2.5 - 5.5
Estabilidad y Flujo (KN-mm)	E-824	3 - 6
Vacíos con aire (Va) [%]	E-799	3 - 5
Vacíos en los agregados (VAM) [%]	E-799	≥15
Vacíos llenos de asfalto (VFA) [%]	E-799	Reportar
Relación Filler/ligante (p/p)	E-799	reportar
Espesor promedio mínimo de película de asfalto (µm)	E-741	7.5

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

Tabla 48: Características del asfalto modificado con GCR.

Ensayo	Especificación	Unidad	Especificación min. – máx.	Resultado
Penetración 25°C	ASTM-D5	mm	25 – 75	45
Penetración 4°C	ASTM-D5	mm	15	16
Punto de ablandamiento	ASTM-D36	°C	54	64
Viscosidad aparente 175°C	ASTM D-316	Pa. s	1.5 – 5.0	3.0
Resiliencia 25°C	ASTM D-5329	%	20	48
Punto de ignición	ASTM D 3143	°C	230	260
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento	ASTM D 2872	%	75	77

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

Tabla 49: Propiedades generales del asfalto AC 60-70

Prueba	Método	Unidad	Valores recomendados	Resultados
Tests on the original asphalt				
Gravedad específica	AASHTO T228-04	-	-	1.012
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D5/D5M-13	0.1 mm	60-70	62.5
Índice Penetración	NLT 181-88	-	-1.2/+0.6	-0.94
Viscosidad (60°C)	ASTM D4402-15	Poises	1500 mínimo	1770
Punto de ablandamiento	ASTM D36-06	°C	48-54	49
Ductilidad (25°C, 5cm/min)	ASTM D113-99	cm	100 mínimo	>105
Punto de Fuego	ASTM D92-01	°C	230 mínimo	289
Pruebas en el residuo después de RTFOT (Prueba de horno de película delgada rodante)				
Pérdida de masa	ASTM D2872-12e1	%	0.8 máximo	0.63
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	ASTM D5/D5M-13	%	50 mínimo	77

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

✚ LAS CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y ENSAYOS:

- ✓ Metodología de diseño Marshall
- ✓ Ensayos de resistencia a la tracción indirecta (módulo resiliente), sin envejecimiento y bajo la simulación de envejecimiento a corto plazo (temperatura a 150°C en horno por 2 horas) y largo plazo (temperatura a 85°C en horno por 5 días).

• RESULTADOS DE LOS DISEÑOS Y ENSAYOS:

Tabla 50: Resultados del Diseño Marshall

RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL (INV E-748-07) MEZCLA ASFALTICA COVENCIONAL MDC -19 Y MEZCLA MODIFICADA CON GCR							
Mezcla	Asfalto [%]	Va [%]	VAM [%]	VFA [%]	E [kN]	F [mm]	E/F [kN/mm]
MDC-19 Control	4.5	7.2	17.2	57.8	12.4	3.8	3.3
	5.0	5.7	16.9	66.1	13.4	3.5	3.8
	5.5	5.3	17.5	69.9	12.8	3.9	3.3
	6.0	4.9	18.2	73.3	12.3	4.2	2.9
MDC-GCR	6.0	3.3	16.9	80.7	15.6	4.3	3.6
	6.5	2.3	16.2	85.9	17.8	4.1	4.4
	7.0	1.8	16.7	89.3	18.6	3.6	5.1
	7.5	0.8	16.9	95.5	16.9	5.2	3.2

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

De la tabla anterior, el autor determinó el Contenido óptimo de asfalto MCD-19 en 5.3% y el contenido óptimo de asfalto modificado con GCR en 7.0%

El módulo resiliente de un material es una medida de la capacidad para almacenar o absorber energía sin que este presente y/o experimente deformación permanente. Se determina a través de ensayos triaxiales de carga repetida, el módulo resiliente es un parámetro importante en el análisis y diseño de pavimentos flexibles.

Tabla 51: Resultados obtenidos del módulo resiliente (MR).

Mezcla Asfáltica	Frecuencia de Ensayo [Hz]								
	10			5			2.5		
	Prome dio [MPa]	Desviac ión Estándar	Coeficie nte de Variaci ón [%]	Prome dio [MPa]	Desviac ión Estándar	Coeficie nte de Variaci ón [%]	Prome dio [MPa]	Desviac ión Estándar	Coeficie nte de Variaci ón [%]
MDC-19 SE	6360	109	2	5634	300	5	4785	287	6
MDC-19 CE	8503	876	10	7260	539	7	5968	451	8
MDC- GCR SE	5060	849	17	4274	604	14	3721	543	15
MDC- GCR CE	6312	691	11	5473	586	11	4823	498	10

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

En la tabla anterior, se muestra los resultados del ensayo de tracción indirecta determinándose el MR para MDC-19 y MDC-GCR con y sin envejecimiento, donde el autor aplicó cargas repetidas por medio de la maquina UTM-30 la cual es regulada por la norma ASTM D4123-82 (1995).

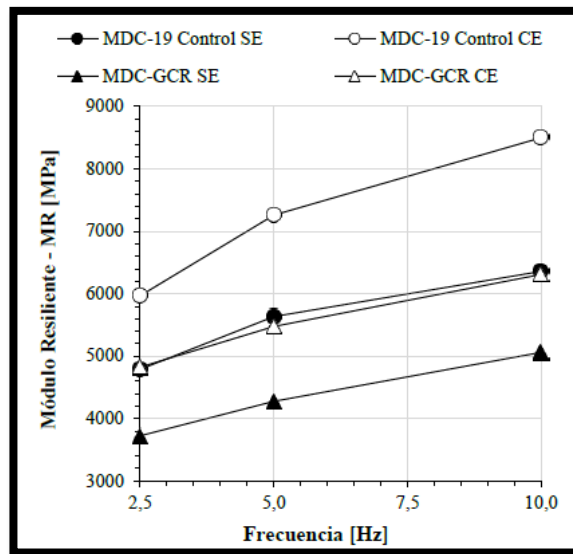


Figura 21: Resultados obtenidos del módulo resiliente (MR)

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

La figura anterior muestra los resultados del módulo resiliente para una carga aplicada de 1200 N con frecuencias de 10.0 Hz, 5.0Hz y 2.5Hz. Para el caso de MDC-19 envejecido resulta que la rigidez aumenta en 33.7%, 28,86% y 24.7% respecto al MDC-19 sin envejecer. Por otro lado, para el caso del MDC-GCR envejecido resulta que la rigidez aumenta en 24.74%, 28.05% y 29.61%.

Así mismo, la figura anterior muestra los resultados del módulo resiliente para una carga aplicada de 1200 N con frecuencias de 10.0 Hz, 5.0Hz y 2.5Hz. Para el caso de MDC-19 sin envejecer resulta que la rigidez aumenta en 25.7%, 31,82% y 28.6% respecto al MDC-GCR sin envejecer. Por otro lado, para el caso del MDC-19 envejecido resulta que la rigidez aumenta en 34.7%, 32.65% y 23.74%, respecto al MDC-GCR.

Tabla 52: Datos generales del ensayo de resistencia a la tracción indirecta (RTI).

Tipo de Mezcla	RTI	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación [%]	Va [%]
MDC-19 Control SE	1170	27	2.3	6.2
MDC-19 Control CE	1428	124	8.7	6.2
MDC-GCR SE	1093	69	6.4	5.1
MDC-GCR CE	1121	85	7.6	5

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Estudio Comparativo Del Envejecimiento A Largo Plazo De Una Mezcla Con Asfalto Modificado Con Grano De Caucho Reciclado” (Agudelo Cendales, y otros, 2019)

De la tabla anterior el autor da a conocer, respecto al MDC-19, que el proceso de envejecimiento aumenta su resistencia en 22.06% y para el MDC-GCR el proceso de envejecimiento aumenta en 2.56%, por lo que, el MDC-GCR a través del tiempo conserva su resistencia siendo una mezcla asfáltica más estable. Por otra parte; el MDC-19 sin envejecer es más resistente en 7.04% respecto al MDC-GCR y el MDC-19 envejecido es más resistente en 30.7% respecto al MDC-GCR envejecido.

Del ensayo Marshall, se determinó que MDC-GCR necesita mayor porcentaje de asfalto, lo que hace que la mezcla posea menos fricción interna (reducción en la resistencia general de la mezcla). Así mismo, el MDC-GCR presenta mejores valores de flujo haciéndolo menos susceptible al cambio de temperatura (gracias a las propiedades el caucho), presenta mayor estabilidad lo que garantiza mejor soporte a desplazamientos y deformaciones permanentes ocasionadas por el tránsito (ahuellamiento).

El diseño de una mezcla convencional tiende a incrementar el MR con el envejecimiento, lo que lo hace más rígido con el pasar del tiempo haciéndolo más susceptible a fallas por fatiga, a lo contrario que la mezcla modificada con GCR quien varia levente el MR haciendo que se aun con el envejecimiento se mantenga las propiedades y características iniciales (más

estable), aumenta la vida útil, esto se puede observar en la tabla anterior, donde el MDC-GCR envejecido tiene valores de MR similares al MDC-19 sin envejecimiento, demostrando tener una mezcla más durable.

- 2) El trabajo de investigación titulado “MODIFICACIÓN DE UN ASFALTO CON CAUCHO DE LLANTA PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS” de los autores Ricardo Alberto Angulo Rodríguez y José Luis Duarte Ayala. Ciudad: Bucaramanga – País: Colombia – Año: 2005; donde da a conocer lo siguiente:

✚ CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA EL ESTUDIO:

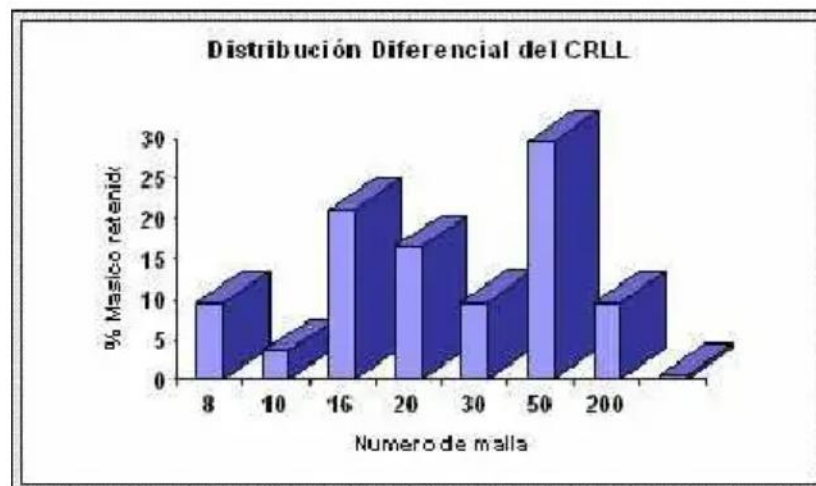


Figura 22: Diagrama de distribución granulométrica del caucho

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

De la **Figura 22**, el autor determinó que el tamaño medio de las partículas de CRL es 0.595mm, por lo que se muestra el acumulación de material en el tamiz N°50, dando resultados similares a lo de las entidades IDU en Colombia y CALATRAS en USA.

Tabla 53: Propiedades físico químicas del asfalto.

PROPIEDADES	ASFALTO ORIGINAL BARRANCABERMEJA
Peso específico (g/cm ³)	0.923
Punto ablandamiento (°C)	41
Punto chispa (°C)	308
Ductilidad (cm)	>100
Penetración (0.1mm)	78
Viscosidad absoluta (&)	2.26E+05
Envejecimiento – pérdida de masa (% variación respecto peso inicial)	0.579
Envejecimiento – penetración residual (%penetración original)	58
Recuperación elástica por torsión (%ángulo recuperado)	6
Solubilidad en tricloroetileno (%masa)	99.90

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

Tabla 54: Características del compatibilizante I.

PROPIEDADES	VALOR
Density 15C (g/m)	0.9542
API	16.7
CCR, %w	-
Sulfur, ppm	8260
Viscosity al 40C, cSt	2.72
Viscosity al 50C, cSt	2.23
N total, ppm	688
Pour point, °C	<-30
Nº de Acido mg KOH/g	<0.05
Retraction index	1.5563
Color	3.4
Flammable point, C	1.03
Cetane index (calc.) D 4737	18.9
Saturados %	13.6
Aromáticos %	81.1
Resinas + asfaltenos %	5.3

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

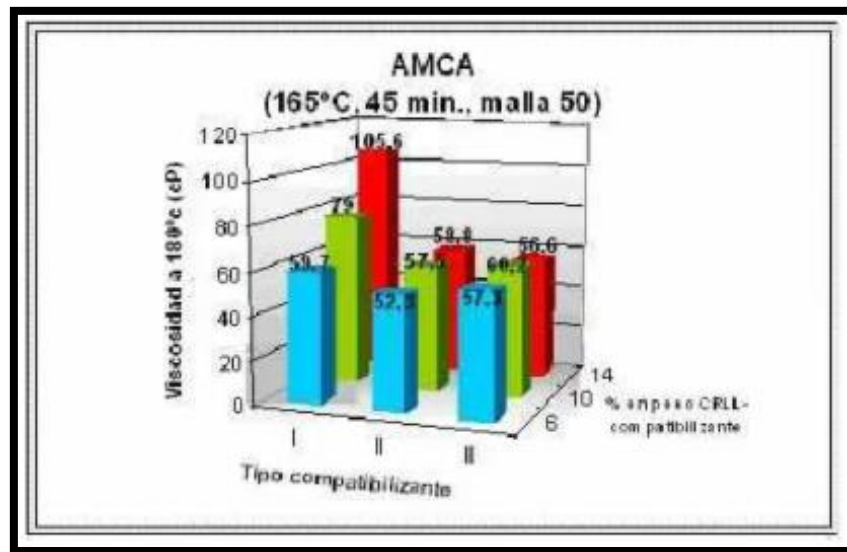


Figura 23: Viscosidad VS Tipo de compatibilizante VS Cantidad de compatibilizante

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

Los autores hacen mención de 03 tipos de compatibilizantes, los cuales fueron sometidos a ensayos siendo el de tipo I que dio mayor incidencia respecto a los otros 2.

Compatibilizante tipo I: aceite liviano

Compatibilizante tipo II: aceite medio

Compatibilizante tipo III: aceite pesado

✚ LAS CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y ENSAYOS:

- ✓ El proceso para la determinación de AMC óptimo se dio bajo los siguientes parámetros: Viscosidad Dinámica, estabilidad de almacenamiento. Para lo cual se han utilizado las normativas colombianas Estabilidad al almacenamiento (INV. E-726) y Recuperación elástica por torsión (INV. E-727).

✚ RESULTADOS DE LOS DISEÑOS Y ENSAYOS:

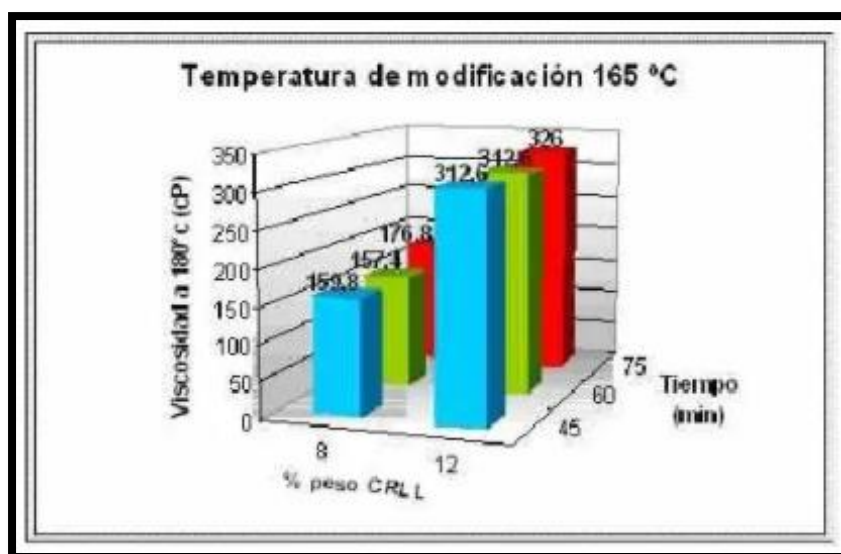


Figura 24: Viscosidad VS tiempo VS Cantidad de CRL a una temperatura de 165°C

Fuente: Trabajo de investigación titulado "Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos" (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

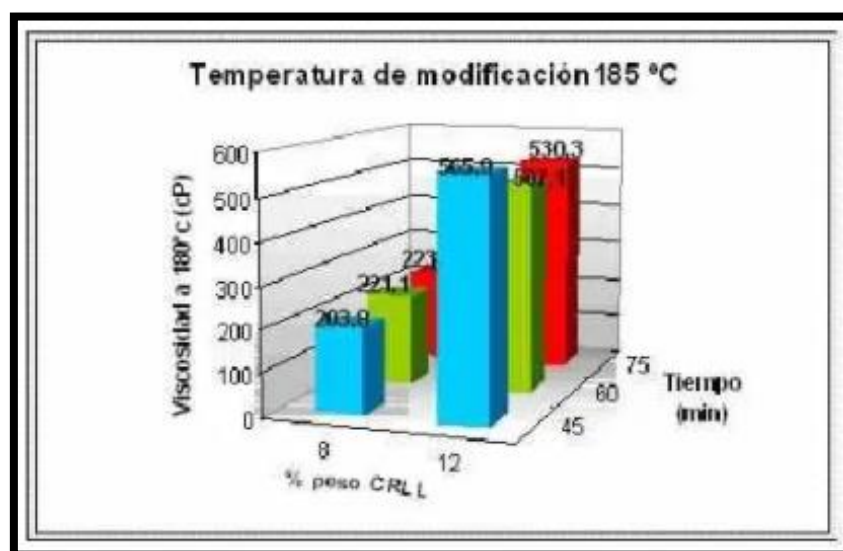


Figura 25: Viscosidad VS tiempo VS Cantidad de CRL a una temperatura de 185°C

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

En la figura anterior, se puede mostrar que la viscosidad dinámica aumenta conforme se va incrementando el % de CRLL, por otra parte, la influencia del tiempo de mezclado queda sin una tendencia que pueda inducir a alguna interpretación, por lo que el autor hace mención de la irrelevancia o casi nulo del aporte del tiempo de mezclado; por otra parte, los porcentajes de CRLL que tomo fueron 4%, 8% y 12% del peso del asfalto de los cuales fue descartado el de 4% debido a su baja influencia en la viscosidad y otros factores.

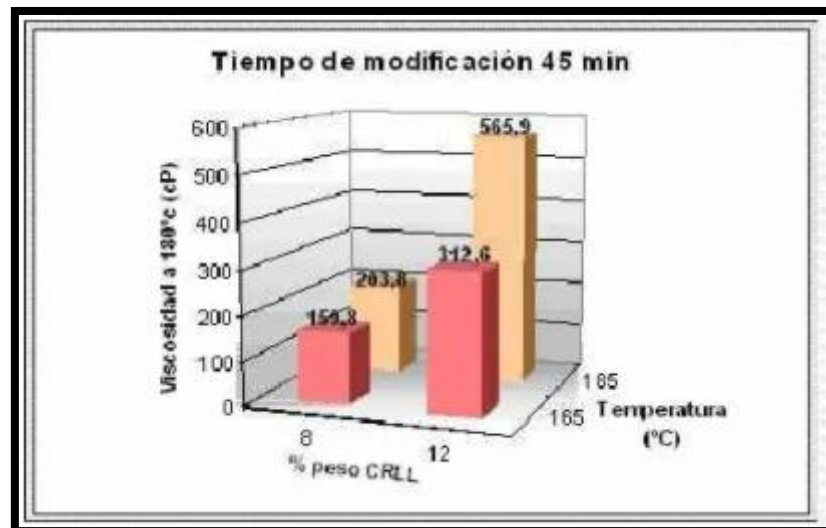


Figura 26: Viscosidad VS Temperatura Vs cantidad de CRLL a tiempo de mezclado de 45 min

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

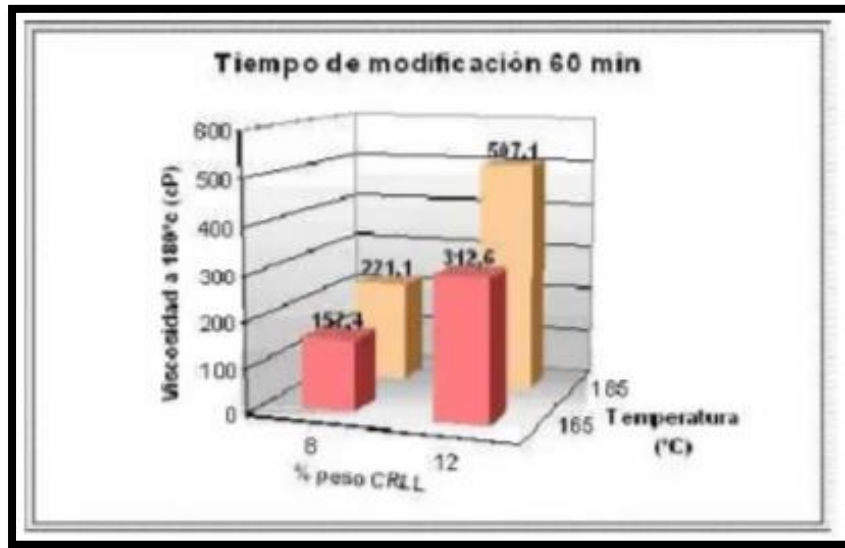


Figura 27: Viscosidad VS Temperatura VS cantidad de CRL a tiempo de mezclado de 60 min

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

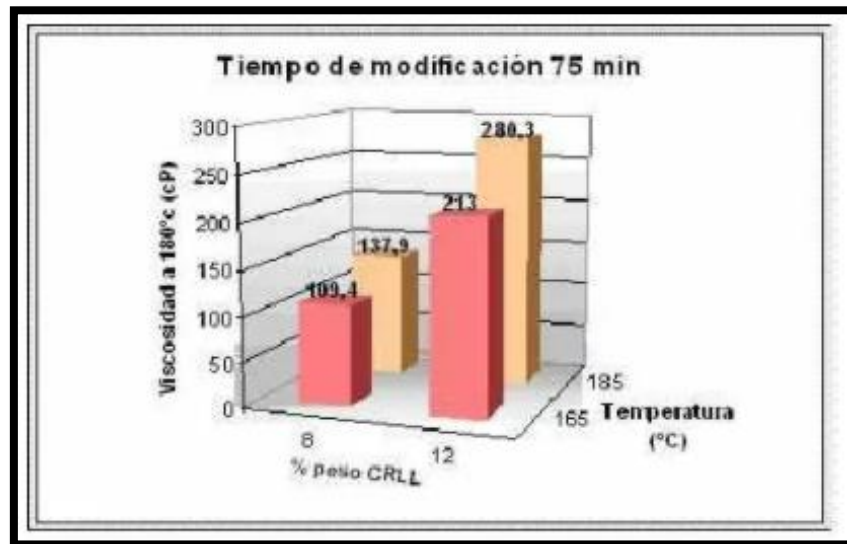


Figura 28: Viscosidad VS Temperatura VS cantidad de CRL a tiempo de mezclado de 75 min

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

De las figuras anteriores, se aprecia que la temperatura de mezcla influye de manera proporcional en la viscosidad y el tiempo de mezcla para la modificación es de influencia mínima.

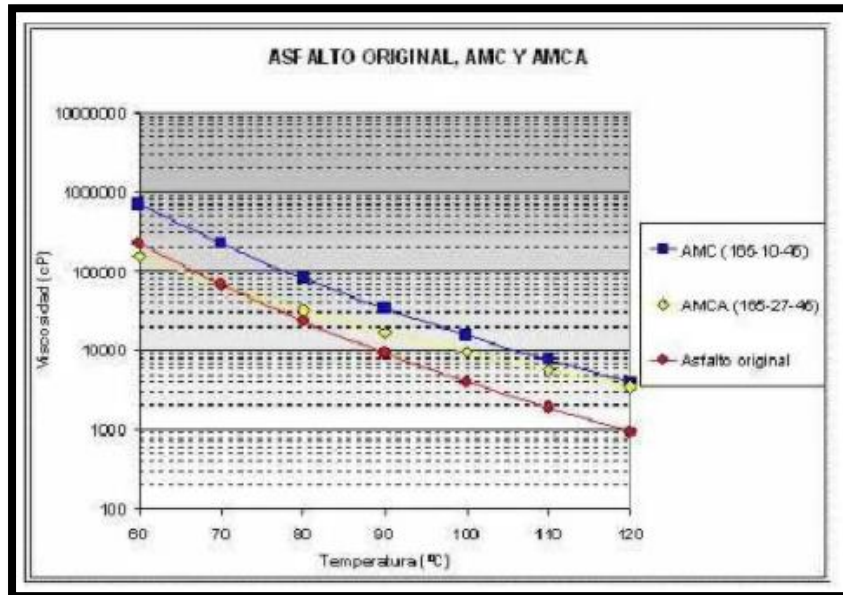


Figura 29: Curva reológica entre 60°C y 120°C del AMC, AMCA y Asfalto convencional

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

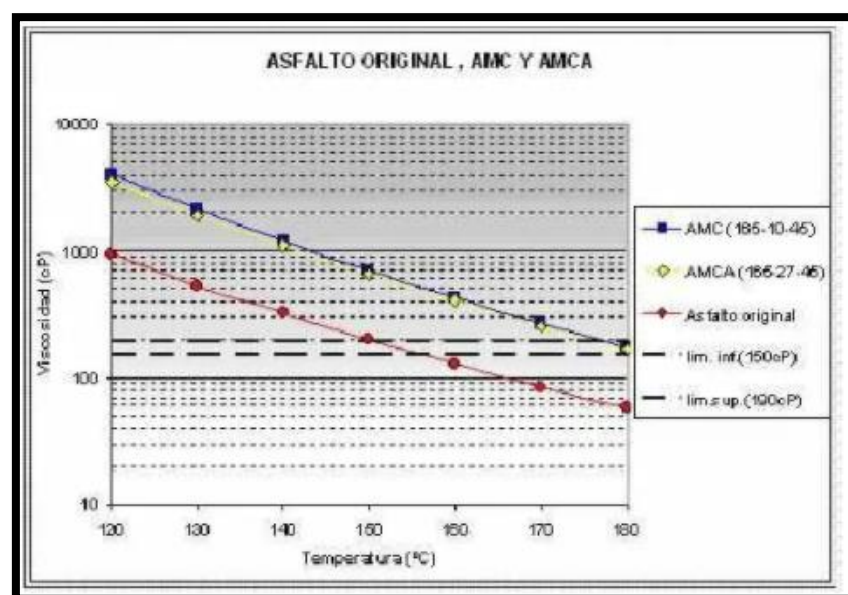


Figura 30: Curva reológica entre 120°C y 180°C del AMC, AMCA y Asfalto convencional

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Modificación De Un Asfalto Con Caucho De Llanta Para Su Aplicación En Pavimentos” (Angulo Rodríguez, y otros, 2005)

De las figuras anteriores el autor, basado en las especificaciones de la viscosidad fueron los siguientes que se detallan según el siguiente orden (Temperatura °C - % de CRLL – Tiempo de mezclado – Malla retenido de CRLL)

- ✓ 185 – 8 – 75 (malla 50)
- ✓ 185 – 8 – 45 (malla 200)
- ✓ 185 – 8 – 60 (malla 200)
- ✓ 185 – 8 – 75 (malla 200)

Haciendo uso de las ecuaciones respectivas de su investigación el autor concluye que el asfalto optimo en las condiciones de viscosidad dinámica y estabilidad al almacenamiento son el AMC (165 – 10 - 45) y AMCA (165 – 27 – 45).

Así mismo, las características con las que se adiciono el CRLL al asfalto original mejoraron la propiedad de recuperación elástica por torsión en un 100% y 300% para el AMCA y AMC respectivamente, indicando alta resistencia a la deformación. Por otra parte, la adición del compatibilizante no mejoró significativamente la interacción asfalto –CRLL, el cual fue corroborado con los resultados de estabilidad al almacenamiento y la ductilidad. El autor concluye también que en promedio se usarían 285 kg de CRLL por cada tonelada de Asfalto modificado producido, siendo esta de carácter ambiental para el manejo de residuos sólidos.

- 3) El trabajo de investigación titulado “UTILIZACIÓN DE CAUCHO DE NEUMATICOS EN MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA” de los autores Gerardo Botasso, Oscar Rebollo y Adrián Cuattrocchio, Cecilia Soengas. Ciudad: La Plata – Buenos Aires – País: Argentina – Año: 2008; donde da a conocer lo siguiente:

✚ CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA:

Tabla 55: Granulometría de los agregados.

Tamiz	Abert. Mm	Mínimo %	Mezcla %	Máximo %
1	25400	100	100,0	100
3/4	19100	80	94,7	95
1/2	12700	65	79,7	85
4	4760	45	47,4	62
10	2000	30	35,5	43
40	430	14	16,8	26
100	150	7	8,1	14
200	74	3	5,0	6

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

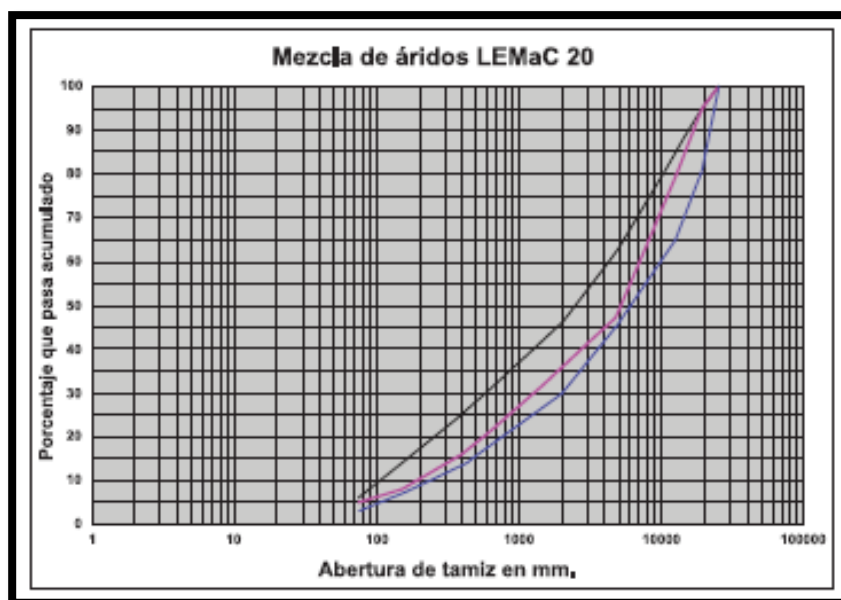


Figura 31: Curva granulométrica de los agregados

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 56: Caracterización del cemento asfáltico.

Ensayo	Unidad	CA - 20	CA - 20 + 8% de caucho
Penetración	1/10 mm	79	44
Punto de ablandamiento	°C	47	56
Recuperación elástica Lineal	%	16	21
Recuperación elástica Torsional	%	8	33
Ductilidad a (25 °C, 5 °C resp.)	cm	112	15
Viscosidad (60 °C), 1 rpm, S29, (P)	dPa s	2100	-
Viscosidad (135 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	4,12	10,11
Viscosidad (150 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	2,07	5,06
Viscosidad (170 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	0,98	2,39
Viscosidad (190 °C), 10 rpm, S21, (P)	dPa s	0,532	1,20
Punto de Inflamación	°C	228	235
Índice de penetración		-0,9	-0,1
Mod. Corte G* (58 °C, 88 °C resp.)	kPa	2,30	2,22
Ángulo de fase δ	°	83	72
Corte dinámico Factor G*/sen δ	kPa	2,32	2,33
RTFOT - Determinadores sobre el residuo después de envejecido			
Penetración	1/10 mm	70	35
Punto de ablandamiento	°C	50	60

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 57: Composición del asfalto.

	Asfaltenos %	Saturados %	N-A %	P-A %	Ic
Asfalto CA-20	5,69	25,2	56,91	10,1	0,46
CA-20 luego RTFOT	6,1	25,3	55,0	9,1	0,49

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Se puede mostrar la composición de volátiles del cemento asfáltico base y luego del ensayo de envejecimiento acelerado RTFOT, apreciándose la pérdida de volátiles por la acción de mezclado.

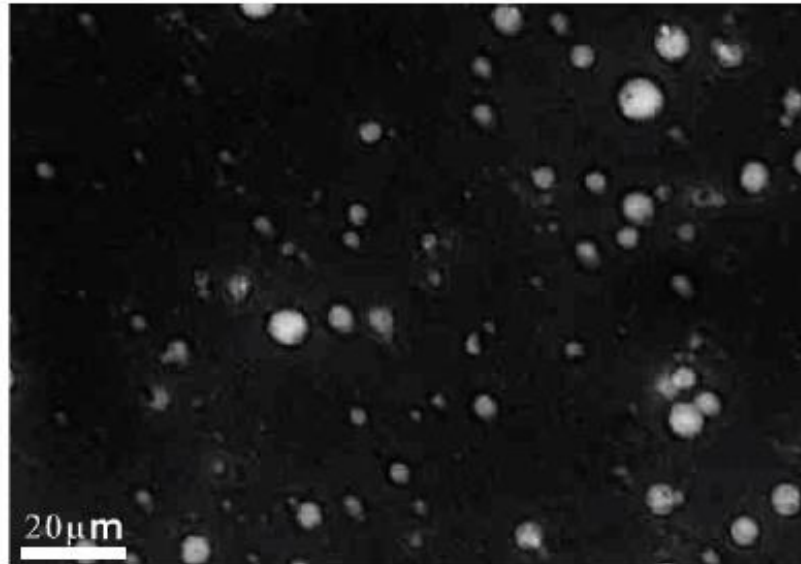


Figura 32: Curva granulométrica de los agregados

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 58: Estabilidad de almacenamiento a los 3 días.

Estabilidad al almacenamiento 3 días	ENSAYO	Límite ASTM D 36 IRAM 6576
Def. de penetración (1/10 mm)	4	5
Dif. de ablandamiento (°C)	8	10

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

El autor analizó a las 72 horas (3 días) de elaborada la dispersión, a modo de ver cuál sería el estado en un tiempo que se estimó como razonable desde que se produce el asfalto - caucho hasta que se utilizará en la obra;

siendo a este tiempo estable, y se puede observar un cierto grado de humectación de las partículas. Por otra parte, afirma que a mayores tiempos de exposición presentaron dispersiones menos estables.

✚ LAS CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO Y ENSAYOS:

Contenido de asfalto – caucho en la mezcla 4.9%

Contenido de caucho en la mezcla de asfalto modificado por vía húmeda 8.0%

✚ RESULTADOS DE LOS DISEÑOS Y ENSAYOS:

Tabla 59: Relaciones volumétricas Marshall.

<i>Densidad Marshall</i> gr/cm ³	<i>Densidad Rice</i> gr/cm ³	<i>Vacíos</i> %	<i>Vacíos agregado mineral</i> %	<i>Relación Betún Vacíos</i> %	<i>Número golpes por cara</i>
2,410	2,510	3,98	15,79	74,6	75

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 60: Relaciones volumétricas Marshall.

<i>Estabilidad 1 hora</i> KN	<i>Fluencia</i> mm	<i>Relación Estabilidad Fluencia</i> KN/mm	<i>Estabilidad remanente 24 horas</i> %
10,08	3,00	3,36	98

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 61: Valores de tracción indirecta por medio del Test de Lottman modificado a 25°C.

<i>Tensión de rotura Prob. sin acond. Kg/cm²</i>	<i>Tensión de rotura Prob. acond. Kg/cm²</i>	<i>Resistencia Conservada TSR %</i>
13,1	13,0	99,2

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

El test de Lottman realizó el autor con el objetivo de la valoración de la adherencia de la mezcla en su real situación, con las condiciones que fija el procedimiento de ensayo.

Tabla 62: Parámetros del ensayo de Wheel Tracking Test.

	Asfalto-caucho	Asfalto convencional
WTS (mm*10 ³)	0,038	0,144
RD (mm)	1,35	4,14
PRD (mm*mm ⁻¹)	0,027	0,082

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

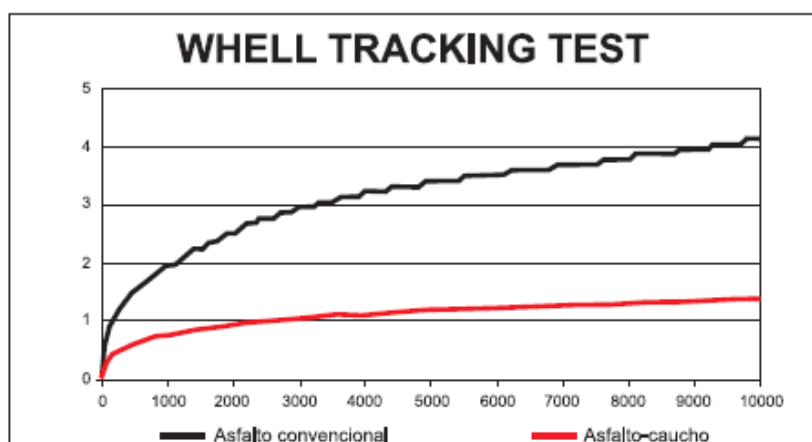


Figura 33: Diagrama Deformación VS N° de pasadas - ensayo Wheel Tracking Test

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

A partir del ensayo de Wheel Tracking el autor confirma una mejora en la resistencia a las deformaciones permanentes de la mezcla asfáltica correspondiente al asfalto - caucho. El cual es sustentado esencialmente en dos pilares: la mayor rigidez que el ligante le aporta y la mayor respuesta elástica, condiciones de suma importancia si de deformaciones permanentes se trata.

✚ APLICACIONES EN CAMPO:



Figura 33: Planta de producción de pavimento asfáltico con caucho-asfalto

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)



Figura 34: Pavimentación ecológica.

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

La imagen anterior muestra parte de la planta de la empresa Repsol – YPF, en el proceso de pavimentación en Calle 19 entre 508 y 511 de la ciudad de La Plata – Argentina, en el que el tiempo de modificación y colocación en obra fue 2 días respetando los valores obtenidos en el ensayo de estabilidad al almacenamiento.

Tabla 63: Espesor sobre los testigos.

Zona	Espesor Medio Em	Espesor Proyecto Ep	(Em*Ep)*100
Nº	cm.	cm.	%
1	6,02	5,00	120,4
2	6,51		130,2
3	5,32		106,4
4	5,04		100,8

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 64: Porcentaje de compactación.

Zona	Densidad media Dm	Densidad Marshall comparativa de la zona Dmc	% de compactación (Dm*Dmc)*100
Nº	gr*cm ⁻³	gr*cm ⁻³	%
1	2,362	2,405	98,21
2	2,358		98,05
3	2,363		98,21
4	2,370		98,54

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 65: Vacíos rice iniciales.

Zona	Densidad media Dm	Densidad Rice comparativa de la zona Dmc	Vacíos rice iniciales [1-(Dm/Dr)]*100
Nº	gr*cm ³	gr*cm ⁻³	%
1	2,362	2,505	5,71
2	2,358		5,87
3	2,363		5,67
4	2,370		5,39

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

Tabla 66: Factor de calidad.

Promedio de los testigos (Rt)	Promedio de las probetas (Rp)	Factor de Calidad $FC = [Rp - (100 - \%C) \times b] - Rt$
gr*cm ⁻²	gr*cm ⁻²	gr*cm ⁻²
8,4	13,8	3,8

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

El factor de calidad de esta obra; el valor aconsejable debe estar comprendido entre 3 y 4 gr*cm⁻², por lo que el factor de calidad es aceptable.

El autor concluye: Existe en Argentina disponibilidad de caucho proveniente de recuperaciones de neumáticos suficientes como para abastecer a la industria vial del país. Se ha descrito en particular la sencillez de contar con caucho proveniente del pulido que se le realiza a los neumáticos que van a ser recapados.

En tal sentido se puede decir que resultan relevantes realizar las siguientes consideraciones:

- Análisis químico de las fracciones que componen el ligante. Viscosidad a diferentes temperaturas.
- Comportamiento reológico del ligante.
- Caracterización del caucho reciclado.

Así mismo, el autor plantea valorar la mezcla en base a los siguientes parámetros principales:

- Estabilidad de dispersión: En el proyecto se ha demostrado y estimado un 8% máximo de adición, con el que se asegura 3 días tiempo máximo de estabilidad, sin llegar al valor exigido de 5 días de estabilidad al almacenamiento.

- Recuperación elástica por torsión: parámetro significativo para valorar la eficiencia de mezclado, obteniéndose valores de orden 30%, sin embargo, se llegó a observar que se estaba dando una nueva gama de modificación, que no encuadraba las clasificaciones realizadas por la NORMA IRAM como AM-i, sino iniciar un nuevo sistema Asfalto-Caucho.
- Microscopía de fluorescencia óptica: Las microfotografías obtenidas en el microscopio de fluorescencia óptica, las cuales arrojaron imágenes de un cierto grado de humectación del caucho reciclado. Esto evidencia que el ligante disponía de fracciones resinosas suficientes y que el sistema de microdispersión del laboratorio diseñado es eficiente.

Por otra parte, el autor recomienda la siguiente tabla de especificaciones para la caracterización del asfalto caucho.

Tabla 67: Especificaciones recomendadas.

ENSAYOS	UNIDAD	ASFALTO-CAUCHO		NORMA IRAM
		MIN.	MAX.	
ENSAYO SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL				
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	dmm.	40	60	6576
Ductilidad (5°C, 5 cm/min)	cm.	10	--	6579
Punto de ablandamiento	°C	58	--	6841
Recup. Elástica por torsión 25 °C	%	20		6830
Punto de Inflamación V.A.	°C	235	--	6555
Viscosidad Rotacional a 170 °C	cP	200	--	6837
Ensayo de estabilidad al almacenamiento Modificado 3 días en vez de 5 días				
Diferencia de penetración	Dmm.	--	10	6576
Diferencia punto ablandamiento	°C	--	8	6841
Ensayo película delgada RTFOT				
Pérdida por calentamiento	%p	--	1	
Penetración retenida a 25 °C	%p.o.	65	--	6576

Fuente: Trabajo de investigación titulado “Utilización De Caucho De Neumáticos En Mezcla Asfáltica Densa En Obras De Infraestructura” (Botasso, y otros, 2008)

4.2. MEDIDAS QUE SE DEBERÍA ADOPTAR PARA PODER IMPLEMENTAR LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON LA INCORPORACIÓN DE NFU.

A continuación, presentamos las investigaciones utilizadas en el presente estudio, que cumplan con tener cada variable que intervienen en las mezclas asfálticas modificadas por vía húmeda con caucho, lo cual nos ayudó a determinar las medidas que se debería adoptar para poder implementar la producción de estas mezclas asfálticas en nuestro país.

Tabla 68: Investigaciones utilizadas.

CÓDIGO	NOMBRE DE TESIS	AUTOR	CIUDAD / PAÍS / AÑO
CHACHAPOYAS – PERÚ 2019	“ESTUDIO DE UN ASFALTO CON ADICIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO POLÍMERO BASE, CHACHAPOYAS – AMAZONAS – 2017”	Fredy Goicochea Fernández	Ciudad: Chachapoyas, país: Perú, año: 2019
LIMA – PERÚ 2006	“COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO-ASFALTO”	Sergio Enrique Quispe Espinoza,	Ciudad: Lima, país: Perú, año: 2006
BOGOTÁ – COLOMBIA 2019	“ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO	Miguel Ángel Agudelo Cendales	Ciudad: Bogotá – País: Colombia – Año: 2019

	MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO”		
BUCARAMANGA - COLOMBIA 2005	“MODIFICACIÓN DE UN ASFALTO CON CAUCHO DE LLANTA PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS”	Ricardo Alberto Angulo Rodríguez y José Luis Duarte Ayala	Ciudad: Bucaramanga – País: Colombia – Año: 2005
LA PLATA - BUENOS AIRES 2008	“UTILIZACIÓN DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS EN MEZCLA ASFÁLTICA DENSA EN OBRAS DE INFRAESTRUCTURA”	Gerardo Botasso, Oscar Rebollo y Adrián Cuattrocchio, Cecilia Soengas.	Ciudad: La Plata – Buenos Aires – País: Argentina – Año: 2008.

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla, se puede observar códigos de cada investigación, que nos llevó a realizar el análisis de cada variable que interviene en las mezclas asfálticas modificadas con NFU por vía húmeda.

Tabla 69: Base de las investigaciones analizadas para el proceso de incorporación de caucho por vía húmeda.

CÓDIGO DE TESIS	DIÁMETRO DE CAUCHO (mm)	TEMPERATURA DIGESTIÓN (°C)	PORCENTAJE DE CAUCHO (%)		
CHACHAPOYAS – PERÚ 2019	PASA N° 20 (0.84mm)	160°	10	15	20
		180°	10	15	20
		200°	10	15	20
LIMA – PERÚ 2006	PASA N° 8 (2.36mm)	180°	1.31		
BOGOTÁ – COLOMBIA 2019		160°			
BUCARAMANGA - COLOMBIA 2005	PASA N°30 (0.60mm)	165°	8	12	
		185°	8	12	
LA PLATA - BUENOS AIRES 2008		135°	8		
		150°	8		
		170°	8		
		190°	8		

En la tabla anterior, se puede observar los parámetros que interviene en el proceso de incorporación de NFU dentro de una mezcla asfáltica en caliente, como: cumplir con ser una mezcla asfáltica en caliente y su proceso de incorporación de NFU tendría que ser por vía húmeda, tener los resultados en cuanto a los parámetros del ensayo Marshall y los ensayos por desempeño, parámetros que son afirmadas acorde a otras especificaciones e investigaciones.

4.2.1. MEDIDAS RESPECTO A LOS MATERIALES

4.2.1.1. HUSOS GRANULOMÉTRICOS

Tabla 70: Husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente utilizadas en las investigaciones

CÓDIGO DE TESIS	GRADACIÓN PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	NORMATIVA E INVESTIGACIÓN CONSIDERADA
CHACHAPOYAS - PERÚ 2019	Determinación por tamizado de la distribución por tamaño de partículas de agregados finos y gruesos	Se determino con la norma ASTM C 136/C 136 M – 14
LIMA – PERÚ 2006	Granulometría MAC-2	Se determino con la norma ASTM D3515
BOGOTÁ – COLOMBIA 2019	Gradación densa	Se determino con la norma INV E-213
BUCARAMANGA - COLOMBIA 2005	-	-
LA PLATA - BUENOS AIRES 2008	Granulometría densa	Se determino con la norma IRAM 1501

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 70, detallamos los husos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente utilizadas en las investigaciones nacionales e internacionales, también se detalla las normas en las cuales se basaron para realizar la granulometría.

De acuerdo a las investigaciones analizadas, se encontró que el huso granulométrico vendría a ser la densa, que según la normativa colombiana son agregados pétreos con granulometría bien gradada y con tamaños de partículas sólidas diferentes como: gravas, arenas, finos, llenante mineral;

la normativa argentina recomienda que los agregados deben ser de una única procedencia de rocas sanas y no deben ser susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química y en caso de que sean agregados de distinta procedencia, cada una de ellas deben cumplir individualmente las características establecidas.

La norma española de acuerdo a sus ensayos, recomienda que las granulometrías de los áridos combinados tengan contenidos de huecos suficientes para alojar el ligante y que se mantenga a la vez el contenido mínimo de huecos especificados. Las granulometrías más adecuadas suelen ser las que contienen un fuerte esqueleto mineral de áridos gruesos, es preferible utilizar mezclas del tipo semidenso o las del tipo denso ya que presentan contenidos de huecos con áridos más bajos.

De acuerdo a lo afirmado por la normativa colombiana, argentina, española y las investigaciones citadas, concluimos que el huso granulométrico para mezcla asfáltica modificada con NFU en caliente vendría a ser la densa, que cuenta con agregados pétreos con granulometría bien gradada con suficientes huecos en áridos, que evitara presentar problemas de compactación, debido a que las partículas de NFU se sitúan entre los áridos gruesos.

4.2.1.2. TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE NFU

Tabla 71: Tamaño de las partículas de NFU utilizadas en las investigaciones.

CÓDIGO DE TESIS	DIÁMETRO DE CAUCHO (mm)	NORMATIVA E INVESTIGACIÓN CONSIDERADA	PORCENTAJE DE CAUCHO (%)
CHACHAPOYAS – PERÚ 2019	Pasante de la malla N° 20 (0.84mm) y retenido en la malla N° 30 (0.60mm)	Se determino con la norma ASTM C 136/C 136 M – 14	10% - 15% - 20%
LIMA – PERÚ 2006		Se determino de la Investigación de la Universidad de Arizona	18%

		(Arizona State University - ASU)	
BOGOTÁ – COLOMBIA 2019			7%
BUCARAMANGA - COLOMBIA 2005	Pasante de la malla N° 30 (0.60mm) y retenido en la malla N°50 (0.30 mm)	Se determino de las Entidades IDU en Colombia y CALATRANS en USA.	8% - 12%
LA PLATA - BUENOS AIRES 2008	Se selecciona el menor tamaño de molienda que pasa el 100% la malla N° 25 (0.71mm).	Se determino de la ASTM	8%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior detallamos los distintos tamaños de las partículas de NFU usados en los ensayos de mezclas asfálticas de las diferentes investigaciones nacionales e internacionales, también se detalla las normas con las cuales se basaron para hacer la granulometría. Por otra parte, dentro de la tabla presentamos los porcentajes de las partículas de NFU usados, lo cual nos sirvió para poder ubicar la técnica usada, así como lo asevera la norma española y otras investigaciones.

De acuerdo a las investigaciones analizadas, se encontró que el uso de partículas de NFU utilizadas vendrían a ser la que pasan por el tamiz N° 20, N° 30 y N° 25 correspondiente a las tres investigaciones detalladas en la tabla 70.

Consecuentemente, se obtuvo una evaluación teórica para estos tamaños de partículas que fueron usados y su efecto dentro de las mezclas asfálticas, tanto en su parte interna como en su desempeño.

La norma española afirma de acuerdo a sus ensayos, que el tamaño máximo y la granulometría de las partículas son los parámetros que tienen gran influencia en el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con NFU, menciona que la mezcla previa del polvo de caucho con el betún

se da por proceso de incorporación por vía húmeda y del cual existen tres clases de ligantes que incorporan partículas de NFU en rango de porcentajes: betún mejorado con caucho (BC) con porcentaje entre 8% y 12%, betún modificado con caucho (BMC) con porcentaje entre 12% y 15% y betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC) con porcentaje entre 15% y 22% , estas tres clases de ligantes utilizan el tamaño de las partículas de NFU finas, en lo primordial las que pasan el tamiz de 0.5mm el cual va interactuar con el cemento asfáltico a una elevada temperatura, de manera que modifique la parte reológica.

De tal forma, concluimos con todo lo afirmado por la norma española y las investigaciones citadas, que el tamaño de las partículas de NFU vendría a ser generalmente de granulometría fina (partículas de NFU no mayores a 0.5mm), sin embargo, no hay que dejar de lado el aspecto económico para la obtención de partículas de NFU, se conoce que a medida que disminuye el tamaño de las partículas de caucho se tendrán que optar por procesos y maquinarias más especializadas.

4.2.1.3. TIPO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Tabla 72: Tipos de cemento asfáltico utilizados en las investigaciones

CÓDIGO DE TESIS	TIPOS DE CEMENTO ASFÁLTICO	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFÁLTICO	PORCENTAJE DE NFU	PORCENTAJE DE FILLER MINERAL	TEMPERATURA
CHACHAPOYAS – PERÚ 2019	60/70	88 %	10%	2%	160°C, 180°C, 200°C
		83 %	15%	2%	160°C, 180°C, 200°C
		78 %	20%	2%	160°C, 180°C, 200°C
LIMA – PERÚ 2006	60/70	5.94 %	1.31 %	1.86%	180°C
BOGOTÁ – COLOMBIA 2019	60-70	6.0 %		-	160°C
		6.5 %		-	
		7.0 %		-	
		7.5 %		-	
BUCARAMANGA - COLOMBIA 2005			4 %	-	165 °C ,185 °C
			8 %	-	165 °C ,185 °C
			12 %	-	165 °C ,185 °C
LA PLATA - BUENOS AIRES 2008	60-70		8 %	-	

En la tabla 72, detallamos los tipos de cemento asfáltico, porcentaje de cemento asfáltico, porcentaje de neumáticos fuera de uso y temperatura de mezcla utilizadas en las investigaciones nacionales e internacionales.

Si observamos la tabla N° 72, el tipo de cemento asfáltico que fue modificado con neumáticos fuera de uso más utilizado en las investigaciones citadas fue el PEN 60/70, ninguna de las investigaciones recomienda un tipo de cemento asfáltico específico para ser modificado con neumáticos fuera de uso.

Conforme indica el (MTC, 2013) “Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG – 2013”, el uso del tipo PEN se rige a la temperatura media anual de la zona variando esta desde el PEN 40/50 (24°C o más) hasta el PEN 120/150 (15°C a 5°C) y asfalto modificado para temperaturas menores al 5%; por lo que se ha podido identificar que la mayor parte de las investigaciones se han realizado en zonas con temperatura media igual de 24°C a 15°C y el uso del PEN 60/70 que tiene las mejores propiedades para estas condiciones climáticas. Sin embargo, diversos autores indican que el uso del NFU mejora las propiedades tanto en climas cálidos como fríos, por lo que su incorporación de NFU sería en el tipo de PEN ya definido con los criterios del diseño convencional.

4.2.2. MEDIDAS RESPECTO A LAS NORMAS DEL USO DEL POLVO DE NFU

4.2.3.1. RESPECTO A LA CARACTERIZACIÓN DEL POLVO DE NFU

NORMATIVA PERUANA

Actualmente, Perú no cuenta con especificaciones técnicas de las características químicas y físicas del polvo de neumáticos fuera de uso como: humedad con respecto a la masa total de la mezcla, gravedad específica, contenido de metales no ferrosos, contenido de fibras en masa para mezclas en caliente, contenido de

fibras en masa para riego, contenido de polvo mineral y contenido total de otros elementos extraños.

Así mismo, no cuenta con las especificaciones técnicas con respecto a la granulometría del polvo de neumáticos fuera de uso, el cual es indispensable para tener conocimiento del máximo y mínimo porcentaje que pasa por cada malla.

NORMATIVA COLOMBIANA

Según (Rondon Quintana, y otros, 2015), actualmente Colombia cuenta con las especificaciones INVIAS para la caracterización de cementos asfálticos (CA) modificados con GCR, la cual se basa en la ASTM D-114. Para el caso de Bogotá, la ciudad cuenta con especificaciones para la “Aplicación de Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas en caliente (vía húmeda) según Resolución N° 3841 del 5 de septiembre del 2011 (Instituto de Desarrollo Urbano – IDU & Alcaldía Mayor de Bogotá) y según el artículo 560 de las especificaciones IDU (2011). En ambas especificaciones se describen los objetivos, los alcances, los tipos de materiales, las condiciones para el recibo de los trabajos, la forma de producción del asfalto – caucho y la forma de medida y pagos entre otros aspectos.

En las siguientes tablas se presentan las características y granulometría del GCR.

Tabla 73: Características del GCR.

Características	Requisitos
Humedad con respecto a la masa total de la mezcla.	0.75% máximo
Gravedad específica.	1.15 (+/-)0.05
Contenido de metales no ferrosos.	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos en masa.	0.01% máximo
Contenido de fibras en masa para mezcla en caliente.	0.5% máximo
Contenido de fibras en masa para riesgos.	0.1% máximo
Contenido de polvo mineral.	4% máximo
Contenido total de otros elementos extraños.	0.25% máximo

Fuente: (INVIAS, 2013)

Tabla 74: Granulometría del GCR.

Tamiz	Porcentaje que pasa	
	Tipo A	Tipo B
Nº 8	100	-
Nº 10	95-100	100
Nº 16	0-10	65-100
Nº 30	-	20-100
Nº 50	-	0-45
Nº 200	-	0-5

Fuente: (INVIAS, 2013)

NORMATIVA ESPAÑOLA

A. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

De acuerdo al **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España**, la composición química del polvo de caucho debe cumplir con las especificaciones de la **Tabla 74**.

Tabla 75: Composición Química del Polvo de Caucho

COMPOSICIÓN	MÉTODO DE ENSAYO	CONTENIDO %	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Extracto cetónico	UNE 53651	7.5	17.5
Cenizas	UNE 53543	-	18.5
Negro de carbono	UNE 53570	20.0	38.0
Azufre	ISO 6528 – 1 a 3	-	5.0
Caucho natural	ISO 5945	21.0	42.0

Fuente: (CEDEX, 2007)

B. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España**, menciona las siguientes características físicas del polvo de caucho:

- La densidad relativa de las partículas de caucho, según la Norma UNE 53526, debe estar comprendida en el intervalo de 1.15 ± 0.05 .

- El contenido de agua deberá ser inferior al 0.75%. la determinación se realizará de acuerdo a la Norma UNE 103 300-3, excepto en lo relativo a la temperatura a la temperatura de calentamiento en la estufa, que será de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

C. GRANULOMETRÍA DEL POLVO DE CAUCHO

Según (CEDEX, 2007), que es el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas de España, se define como polvo de caucho para materiales bituminosos aquel que está compuesto fundamentalmente por caucho natural y caucho sintético, que resulta de triturar neumáticos fuera de uso hasta tamaños inferiores a 2mm y que es de aplicación para la fabricación de betunes modificados / mejorados o mezclas bituminosas para carreteras.

A efectos de aplicación del artículo de CEDEX, se distinguen tres tipos de polvo de caucho, según su huso granulométrico (P-1, P-2 y P-3), con tamaños máximos nominales de 1.5 mm, 0.5 mm y 0.25 mm respectivamente.

La granulometría del polvo de caucho deberá estar comprendida dentro de algunos de los husos definidos en la Tabla 76, el cual se realizará de acuerdo con la Norma UNE – EN 933-1.

Tabla 76: Husos Granulométricos del Polvo de Caucho

TAMIZ (UNE EN 933 -2) mm	P - 1	P - 2	P - 3
2	100		
1.5	75 - 100		
1	45 - 90	100	
0.500	30 - 80	10 - 80	100
0.250	5 - 50	5 - 70	0 - 40
0.125	0 - 30	0 - 30	0 - 25
0.063	0 - 15	0 - 15	0 - 15

Fuente: (CEDEX, 2007)

Luego de revisar la normativa colombiana y española, en la **Tabla 77**, detallaremos un resumen de las normativas utilizadas en los países mencionados y propondremos medidas que debe tomar la normativa peruana respecto a las normas del uso del polvo de NFU.

Tabla 77: Normativas respecto a la caracterización del polvo de NFU

CARACTERIZACIÓN DEL POLVO DE NFU			
	NORMATIVA PERUANA	NORMATIVA COLOMBIANA	NORMATIVA ESPAÑOLA
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	-	INVIAS 2013	UNE
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	-	INVIAS 2013	UNE
GRANULOMETRÍA	-	INVIAS 2013	UNE
MEDIDAS QUE DEBE TOMAR LA NORMATIVA PERUANA			
<p>Para determinar las características químicas, físicas y la granulometría del polvo de neumático fuera de uso:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Primero se debe aprobar un Decreto Supremo que apruebe el Régimen Especial de Gestión y Manejo de Neumáticos Fuera de Uso. • Segundo formalizar a las plantas recicladoras de neumáticos y procesadoras del caucho que garanticen: <ul style="list-style-type: none"> ✓ El cumplimiento de las especificaciones técnicas con respecto a sus propiedades químicas y físicas. ✓ Determinadas granulometrías para distintas aplicaciones. ✓ Cantidades satisfactorias para la producción de mezcla con asfalto caucho. • Tercero el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, debe crear un centro de investigación de carreteras donde se aplique estas propuestas de modificación de mezclas asfálticas con caucho, deben ser experimentadas y luego proponer normativas y especificaciones técnicas a través de resultados. 			

Fuente: Elaboración propia

4.2.3.2. RESPECTO AL ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NFU

- **NORMATIVA PERUANA**

Actualmente, en el Perú, no se cuenta con una normativa que sea específica para el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polvo de neumáticos fuera de uso, pero el Manual de Carreteras EG - 2013 hace mención sobre las especificaciones del cemento asfáltico modificado con caucho con limitaciones con respecto a valores que se debe tener en consideración, estas especificaciones que menciona el manual son muy genéricas no brindan mucha información.

Tabla 78: Especificaciones del Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Características	Normas	TIPO 1		TIPO 2		TIPO 3	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el producto original							
Penetración, 25°C. 100g. 5s, dmm	MTC E-304	25	-	25	-	25	-
Penetración, 4°C. 200g. 60s, dmm	MTC E-304	10	-	15	-	25	-
Viscosidad Rotacional Brookfield a 175 °C , Cp (*)	ASTM D 2196	1500	-	1500	-	1500	-
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232	-	232	-	232	-
Punto de ablandamiento (anillo y bola) ; °C	MTC E 307	47	-	47	-	55	-
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	40	-	60	-	60	-
Resiliencia , 25°C %	ASTM D 5329	25	-	20	-	10	-
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (**)							
Penetración retenida, % de original. 4°C. 200g. 60s; dmm	MTC E-304	75	-	75	-	75	-

Fuente: (MTC, 2013)

- **NORMATIVA COLOMBIANA**

De acuerdo a (Rondon Quintana, y otros, 2015), a continuación, se presenta un resumen de los aspectos más importantes de las especificaciones:

- INVIAS (2013) especifica que la temperatura de mezcla entre el asfalto y el GCR debe estar comprendida entre 180 y 200°C.
- La temperatura de mezcla del asfalto ya modificado con el agregado pétreo debe estar comprendida entre 160 y 190°C, y nunca se debe mantener por más de 10 horas.
- Si el asfalto – GCR no se usa dentro de las 10 horas siguientes a su producción, se deberá permitir que este se enfríe gradualmente, y se pondrá a calentar de nuevo tan solo una vez.
- El asfalto - GCR no se podrá mantener a temperaturas superiores a 120°C por más de cuatro días.
- Las mezclas que pueden ser fabricadas con CA modificadas con GCR son las siguientes:

- ✓ Concreto asfáltico o mezcla densa, semidensa y gruesa en caliente.

- ✓ Mezclas abiertas en caliente.
- ✓ Mezclas asfálticas drenantes.
- ✓ Mezclas discontinuas o microaglomerados en caliente.

En las siguientes tablas, se presentan los intervalos recomendados para realizar la modificación del cemento asfáltico con el GCR, los requisitos mínimos de calidad que debe cumplir el asfalto - caucho y las mezclas fabricadas con este ligante.

Tabla 79: Especificaciones de asfalto modificado con GCR

Propiedad	Ensayo	Unidad	Tipo I		Tipo II		Tipo III	
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Viscosidad a 175 °C	ASTMD-2196 Método A, modificado según ASTM D- 6114	Pa-s	1.5	5.0	1.5	5.0	1.5	5.0
Penetración (25°C, 100g,5s)	INV. E-706, ASTM D-5	0.1mm	25	75	25	75	50	100
Penetración (4°C, 200g,60s)	INV. E-706, ASTM D-5	0.1mm	10	-	15	-	25	-
Punto de ablandamiento	INV. E-712, ASTM D-36-95	°C	57	-	54	-	52	-
Resiliencia a 25°C (%)	ASTM D-5329	%	25	-	20	-	10	-
Punto de ignición	INV. E-709, ASTM D-92	°C	230	-	230	-	230	-
Ensayos sobre el residuo después de película delgada RTFOT								
Penetración AL RESIDUO EN % DE LA PENETRACIÓN original	INV. E-706, ASTM D-5	%	75	-	75	-	75	-

Fuente: (INVIAS, 2013)

Tabla 80: Valores recomendados para modificar el CA con el GCR.

Variables	Unidad	Mínimo	Máximo
Cantidad de GCR	% (sobre el peso del ligante)	10	20
Tiempo de reacción	Min.	55	75
Velocidad de agitación en lab.	Min.	100	750
Temperatura de mezclado.	°C	155	170

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

Tabla 81: Especificaciones de asfalto modificado con GCR

Características	Unidad	Norma de ensayo	Min.	Max.
Viscosidad Brookfield 163°C	Pa - s	ASTM D4402-87	1.5	3.0
Penetración a 25°C	0.1 mm	INV. E-706	40	60
Punto de ablandamiento	°C	INV. E-712	-	55
Pruebas al residuo después del RTFOT				
Pérdida de masa	%	INV. E-720	-	1
Penetración	% (de la penetración original)	INV. E-706	65	-
Recuperación elástica	%	AASHTO T- 301-95	50	-

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

Tabla 82: Propiedades mínimas de mezcla modificadas con asfalto – GCR

Ensayo	Norma	Valores admisibles
Marshall. Compacidad.	AASHTO T 245 INV. E-748	=97%
Resistencia conservada tras inmersión.	AASHTO T 165 INV. E-738	>75%
Ahuellamiento, máx. Velocidad de def. en el intervalo de 105 a 120 min.	NLT 173, INV. E-756	20 mm/min
Modulo a 15°C y 10 Hz	AASHTO TP 62, INV. E-754	>4600 MPa
Fatiga, (15°C, 25 Hz)	NL P 989 - 261	1800x10 ⁶

Fuente: (Rondon Quintana, y otros, 2015)

- **NORMATIVA ESPAÑOLA**

El **Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España**, hace mención de las características de los betunes modificados de alta viscosidad con caucho los cuales deben cumplir con las especificaciones de la siguiente tabla.

Tabla 83: Especificaciones de Betunes de Alta Viscosidad con Caucho.

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA	BMAVC-1		BMAVC-2		BMAVC-3	
			min.	máx.	min.	máx.	min.	máx.
BETÚN ORIGINAL								
PENETRACIÓN (25°C; 100g; 5S)	0,1 mm	NLT 124	15	30	35	50	55	70
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO (Anillo y Bola)	°C	NLT 125	75		70		70	
VISCOSIDAD	135°C	mPa.s	NLT 375	-	-	7500		5000
	170°C			2000	1200	800		
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS	°C	NLT 182		-4		-8		-15
FUERZA- DUCTILIDAD(5cm/min)	5°C	J/cm2	UNE EN 13589 UNE EN13703	-	2		3	
	10°C			2	-		-	
CONSISTENCIA (Flotador a 60°C)	s	NLT 183	3000		3000		3000	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO* Diferencia Punto Reblandecimiento Diferencia Penetración (25°C)	°C	NLT 328		5		5		5
	0,1 mm			20		20		20
RECUPERACIÓN ELÁSTICA	25°C	NLT 329	10		20		30	
CONTENIDO EN AGUA (en volumen)	%	NLT 123		0,2		0,2		0,2
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	NLT 127	235		235		235	
DENSIDAD RELATIVA (25°C/25°C)		NLT 122	1,0		1,0		1,0	
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA								
VARIACIÓN DE MASA	%	NLT 185		0,8		0,8		1
PENETRACIÓN (25°C; 100g; 5s)	% p.o.	NLT 124	60		60		60	
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA	°C	NLT 125	-4	+10	-4	+10	-5	+12

Fuente: (CEDEX, 2007)

De acuerdo a (CEDEX, 2007), a continuación, se presenta un resumen de los aspectos más importantes de las especificaciones:

A. EQUIPOS DE MEZCLA EN LA CENTRAL DE FABRICACIÓN

Los equipos de mezcla dispondrán como mínimo de los siguientes dispositivos:

- Sistema de alimentación de caucho, que permitirá su dosificación con una tolerancia de un cinco por mil ($\pm 0.5\%$) sobre el peso del ligante producido.
- Tanque de almacenamiento del betún modificado con caucho fabricado, provisto de:

- ✓ Un sistema de calefactor que permita el control de la temperatura del ligante y un termómetro en un lugar fácilmente accesible.
- ✓ Un sistema de agitación que evite sedimentaciones o la flotación del caucho, así como de los eventuales aditivos y facilite la dispersión del polvo.
- ✓ Un sistema de medida de la viscosidad, para detectar los cambios que se produzcan en el ligante durante su almacenamiento en el tanque.
- ✓ Un sistema de toma de muestras, fácilmente accesible.

B. TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO

El tiempo máximo de almacenamiento del betún modificado con caucho a temperaturas iguales o superiores a 160°C será de 4h. A partir de ese tiempo de almacenamiento se reducirá la temperatura al menos en 30°C. el número de ciclos de calentamiento – enfriamiento no debe ser superior a 2 para una partida determinada.

C. CONTROL DE RECEPCIÓN

Para los betunes modificados con caucho, se tomarán 02 muestras cada 50 toneladas de producto fabricado y al menos 02 cada jornada de trabajo de las tuberías de salida de la instalación de fabricación del betún modificado con caucho, conservando 01 muestra hasta el final del periodo de garantía y realizando sobre las otras los siguientes ensayos:

- ✓ Determinación de la penetración, según la NLT – 124.
- ✓ Punto de reblandamiento anillo y bola, según la NLT – 125.
- ✓ Recuperación elástica por torsión, según la NLT – 329.
- ✓ Viscosidad a 175°C, según la NLT – 375.

Luego de revisar la nuestra normativa peruana y las normativas colombiana y española, en la **Tabla 84**, detallaremos un resumen de las normativas utilizadas en los países mencionados y propondremos medidas que debe

tomar la normativa peruana respecto a las normas del asfalto modificado con polvo de NFU.

Tabla 84: Normativas respecto al asfalto modificado con polvo de NFU.

ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE NFU			
	NORMATIVA PERUANA	NORMATIVA COLOMBIANA	NORMATIVA ESPAÑOLA
Especificaciones del Cemento Asfáltico Modificado con Caucho.	Manual de Carreteras EG - 2013	INVIAS 2013	CEDEX
Valores recomendados para modificar el CA con el GCR	-	IDU 2011	-
Propiedades mínimas de mezcla modificadas con asfalto – GCR	-	IDU 2011	-
Equipos de mezcla en la central de fabricación.	-	-	CEDEX
Tiempo máximo de almacenamiento.	-	-	CEDEX
Control de recepción.	-	-	NTL
MEDIDAS QUE DEBE TOMAR LA NORMATIVA PERUANA			
<p>El Ministerio de Transportes y Comunicaciones debe crear un centro de investigación de carreteras donde se aplique estas propuestas de modificación de mezclas asfálticas con caucho, deben ser experimentadas y luego proponer normativas y especificaciones técnicas respecto a las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Implementar las plantas o centros de investigación de cemento asfáltico modificado con polvo de NFU con viscosímetro rotacional, para obtener mejores resultados de la propiedad de Viscosidad. Es importante que el cemento asfáltico modificado con polvo de NFU presente magnitudes adecuadas de viscosidad para que pueda ofrecer: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidad de ser bombeado entre las instalaciones de almacenamiento en planta y el mezclador durante el proceso de fabricación de la mezcla. ✓ Un apropiado proceso de mezclado entre el cemento asfáltico y el polvo de NFU. ✓ Facilidad de la mezcla asfáltica para ser extendida y compactada. ➤ Es importante que las plantas o centros de investigación de asfalto modificado con polvo de NFU, realicen ensayos adicionales a los ensayos descritos en las tablas de especificaciones, ensayos como: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Recuperación elástica por torsión a 25°C. Ensayo utilizado para evaluar la respuesta elástica del asfalto modificado con polvo de NFU, cuando es sometido a un esfuerzo de torsión y la temperatura de la muestra es de 25°C. ✓ Estabilidad de almacenamiento, el cual permitirá no generar un asfalto modificado con propiedades no homogéneas esto puede suceder por una incorrecta o baja dispersión del polvo de NFU en el ligante o por incompatibilidad en ambos. 			

- Respecto al asfalto modificado con polvo de NFU, nuestra normativa comparada con las normativas colombiana y española, presenta muchas deficiencias, se lograría implementar con los resultados obtenidos de los centros de investigación de carreteras de asfalto modificado con polvo de NFU, en un futuro presentarían una valiosa oportunidad para obtener información de pavimentos con mejores propiedades que los tradicionales, y así implementar nuestra normativa. Estos pavimentos podrían tener mayor duración y menores costo de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia

4.3. ANÁLISIS DEL COSTO – BENEFICIO

Del esquema planteado en la metodología del análisis COSTO – BENEFICIO, se ha tomado dos proyectos; proyecto base de pavimentación de una vía con mezcla asfáltica en caliente convencional y proyecto propuesto la pavimentación de una vía con mezcla asfáltica modificada con NFU, los cuales son analizados durante el periodo de ejecución y vida útil (construcción y post construcción).

Para realizar el presente análisis COSTO – BENEFICIO, se ha tomado el análisis de costos unitarios (ACU) de la obra: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE, siendo este proyecto en el cual una de las investigaciones referenciadas ha realizado los ensayos en la planta de dicha obra; dando las condiciones más cercanas a su producción en obra, por lo que se procedió evaluar las consideraciones para su producción en cantidades requeridas para la ejecución de una obra.

Previo al presente análisis se procedió a determinar ciertas características del proyecto en evaluación a fin de contar con los datos esclarecidos.

4.3.1. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO A ANALIZAR

DATOS DE LA OBRA:

NOMBRE	: Rehabilitación y Mejoramiento De La Carretera Chiclayo – Chongoyape
PRESUPUESTO	: S/. 95,545,929.00 soles
FECHA FORMULACIÓN DE EXP.	: 31/12/2013
PERIODO DE EJECUCIÓN	: 24/11/2004 – 01/04/2006
CONTRATISTA	: CONSORCIO CHICLAYO

SUPERVISIÓN

: CONSORCIO NIPPON KOEI-CESEL
S.A.

CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO:

LONGITUD : 59.22 KM
CARPETA ESTRUCTURAL
BASE GRANULAR : 0.20m
CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE : 3" (0.0075m)
SECCIÓN TRANSVERSAL
ANCHO DE VIA : 9.00 m
ANCHO CALZADA : 6.60 m
BERMA C/LADO : 1.20 m

PRESUPUESTO DEL PAVIMENTO CONVENCIONAL X KM:

Se ha determinado que las partidas a realizarse el análisis costo beneficio son las que forman parte del título PAVIMENTOS, siendo estas consideradas con las cantidades planteadas por el autor llevándolos a un metrado para 1.0km:

Tabla 85: Presupuesto de partida Pavimentos – mezcla asfáltica convencional.

ÍTEM	PARTIDA	UND	MET./KM	P.U.(US \$)	PARCIAL
03	PAVIMENTOS				
03.01	Recuperación de Pavimento Asfáltico	M2	10275.00	1.33	13665.75
03.02	Base Granular e=020m	M3	1943.99	12.69	24669.23
03.03	Imprimación Bituminosa	M2	9243.13	0.39	3604.82
03.04	Carpeta Asfáltica Caliente e=0.075m (3")	M3	509.25	33.87	17248.30
03.05	Bermas Asfaltadas e=0.075m (3")	M3	189.00	33.87	6401.43
03.06	Asfalto Liquido RC-250	Gln	2957.80	1.36	4022.61
03.07	Kerosene	Gln	739.45	2.27	1678.55
03.08	Relleno Mineral (Filler)	Kg	30375.00	0.22	6682.50
03.09	Aditivo para Asfalto	Kg	455.42	7.35	3347.34
03.10	Cemento Asfáltico PEN 60/70	Gln	23637.83	1.21	28601.77
03.11	Material Granular de préstamo para recuperación de Pavimento	M3	549.11.25	8.38	4601.54
COSTO DIRECTO POR KM (US \$.)					114,523.84

Fuente: (Quispe Espinoza, 2006)

Considerándose a la fecha de ejecución donde 1\$=3.40 soles, se tiene un valor promedio de S/. 389,381.06 soles/km solo en partidas involucradas en el pavimento.

CARACTERÍSTICAS DEL ACU PAVIMENTO CONVENCIONAL:

En este punto que ha conservado los ACU planteados en el expediente técnico, puesto que es un típico ACU de obras en pavimentación de la investigación realizada por (Quispe Espinoza, 2006) .

03.04		Descripción : CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=0.075M (3")					
m3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000			Unidad: m3	33.87	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US	Parcial US		
Mano de Obra							
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20		
OPERARIO	hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23		
OPERADOR	hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71		
PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31		
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	2.45	0.12		
					2.57		
Equipos							
RODILLO NEUMATICO 9-26 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03		
RODILLO TANDEM 6.5 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03		
PAVIMENTADORA 95 HP	hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00		
COMPRESORA NEUMATICA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70		
TRACTOR AGRICOLA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70		
					5.46		
Subpartidas							
PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA (FOUR III)	m3		1.0000	25.84	25.84	25.84	

03.05		Descripción : BERMAS ASFALTADAS E=0.075 M (3")					
m3/DIA	MO. 240.0000	EQ. 240.0000			Unidad: m3	33.87	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US	Parcial US		
Mano de Obra							
CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20		
OPERARIO	hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23		
OPERADOR	hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71		
PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31		
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	2.45	0.12		
					2.57		
Equipos							
RODILLO NEUMATICO 9-26 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03		
RODILLO TANDEM 6.5 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03		
PAVIMENTADORA 95 HP	hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00		
COMPRESORA NEUMATICA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70		
TRACTOR AGRICOLA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70		
					5.46		
Subpartidas							
PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA (FOUR III)	m3		1.0000	25.84	25.84	25.84	

03.06		Descripción : ASFALTO LIQUIDO RC-250					
gl/DIA	MO.	EQ.			Unidad: gl	1.36	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US	Parcial US		
Materiales							
ASFALTO RC-250	gl		1.0000	1.36	1.36	1.36	

03.07		KEROSENE				Unidad: gl	2.27
g/DIA	MO.	EQ.					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
	Materiales						
KEROSENE			gl		1.0000	2.27	2.27
							2.27

03.08		Descripción : RELLENO MINERAL (FILLER)				Unidad: kg	0.22
kg/DIA	MO.	EQ.					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
	Mano de Obra						
PEON			hh		0.0080	2.30	0.02
							0.02
	Materiales						
FILLER			kg		1.0000	0.20	0.20
							0.20

03.09		Descripción : ADITIVO PARA ASFALTO				Unidad: kg	7.35
kg/DIA	MO.	EQ.					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
	Materiales						
ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA			kg		1.0000	7.35	7.35
							7.35

03.10		Descripción : CEMENTO ASFALTICO. PEN 60/70				Unidad: gl	1.21
g/DIA	MO.	EQ.					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
	Materiales						
ASFALTO SOLIDO DE PAVIMENTO PEN 60/70-85/100			gl		1.0000	1.21	1.21
							1.21

Sub Partidas:

		Descripción: (909001012005-0402012-01) PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA				Unidad: m3	25.84
m3/DIA	MO.240.00	EQ.240.00					
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio U\$	Parcial U\$
	Mano de Obra						
CAPATAZ			hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
OPERARIO			hh	4.0000	0.1333	2.85	0.38
PEON			hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		5.0000	0.89	0.04
							0.93
	Materiales						
PETROLEO INDUSTRIAL			gl		4.0000	1.28	5.12
							5.12
	Equipos						
CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0333	48.00	1.60
GRUPO ELECTROGENO 150 KW			hm	1.0000	0.0333	18.00	0.60
PLANTA DE ASFALTO 80-100 TN/HR			hm	1.0000	0.0333	298.24	9.93
							12.13
	Subpartidas						
TRITURACION DE AGREGADOS			m3		1.2400	5.44	6.75
ZARANDEO DE MATERIALES			m3		0.3100	2.94	0.91
							7.66

Descripción: (909001012006-0402012-01) ZARANDEO DE MATERIALES							
m3/DIA	MO.280.00	EQ.280.00				Unidad: m3	2.94
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra							
CAPATAZ			hh	1.0000	0.0266	5.86	0.17
OPERADOR			hh	3.0000	0.0857	2.85	0.24
PEON			hh	4.0000	0.1143	2.30	0.26
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		5.0000	0.67	0.03
							0.70
Equipos							
CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0266	48.00	1.37
							1.37
Subpartidas							
CARGUIO		FOLIO 102	m3		1.0000	0.87	0.87
							0.87

Descripción: (909001010706-0402012-01) CARGUIO							
m3/DIA	MO.480.00	EQ.480.00				Unidad: m3	0.87
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra							
OPERADOR			hh	1.5000	0.0250	2.85	0.07
							0.07
Equipos							
CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0167	48.00	0.80
							0.80

Descripción: (909001012003-0402012-01) TRITURACION DE AGREGADOS							
m3/DIA	MO.400.00	EQ.400.00				Unidad: m3	5.44
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra							
CAPATAZ			hh	1.0000	0.0200	5.86	0.12
OPERARIO			hh	4.0000	0.0900	2.85	0.23
OPERADOR			hh	4.5000	0.0900	2.85	0.26
PEON			hh	2.0000	0.0400	2.30	0.09
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		5.0000	0.70	0.04
							0.74
Equipos							
CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0200	48.00	0.96
GRUPO ELECTROGENO 150 KW			hm	2.0000	0.0400	18.00	0.72
CHANCADORA PRIMARIA-SECUNDARIA 75 TN/HR			hm	1.0000	0.0200	75.00	1.50
							3.18
Subpartidas							
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<=1KM		FOLIO 100	m3k		0.5000	1.29	0.65
CARGUIO		FOLIO 102	m3		1.0000	0.87	0.87
							1.52

Descripción: (909001010702-0402012-01) TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR D<=1KM							
m3k/DIA	MO.224.57	EQ.224.57				Unidad: m3k	1.29
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra							
OPERADOR			hh	1.5000	0.0534	2.85	0.15
							0.15
Equipos							
CAMION VOLQUETE 15 M3			hm	1.0000	0.0356	32.00	1.14
							1.14

Descripción: (909001010706-0402012-01) CARGUIO							
m3/DIA	MO.480.00	EQ.480.00				Unidad: m3	0.87
Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$
Mano de Obra							
OPERADOR			hh	1.5000	0.0250	2.85	0.07
							0.07
Equipos							
CARGADOR FRONTAL 170 HP			hm	1.0000	0.0167	48.00	0.80
							0.80

✚ PRESUPUESTO DEL PAVIMENTO MODIFICADO X KM:

Se ha determinado que las partidas a realizarse el análisis costo beneficio son las que forman parte del título PAVIMENTOS, siendo estas consideradas con las cantidades planteadas por el autor llevándolos a un metrado para 1.0km, previo reajuste de los ACU a las condiciones de la producción de un pavimento modificado:

Tabla 86: Presupuesto de partida Pavimentos – mezcla asfáltica modificada con NFU.

ÍTEM	PARTIDA	UND	MET./KM	P.U.(US \$)	PARCIAL	RELACIÓN
3	PAVIMENTOS					
3.01	Recuperación de Pavimento Asfáltico	M2	10275.00	1.33	13665.75	Mantiene
3.02	Base Granular e=020m	M3	1943.99	12.69	24669.23	Mantiene
3.03	Imprimación Bituminosa	M2	9243.13	0.39	3604.82	Mantiene
3.04	Carpeta Asfáltica Caliente e=0.075m (3")	M3	509.25	38.70	19705.94	Difiere ACU y METRADO
3.05	Bermas Asfaltadas e=0.075m (3")	M3	189.00	38.70	7313.54	Difiere ACU y METRADO
3.06	Asfalto Liquido RC-250	Gln	2957.80	1.36	4022.61	Mantiene
3.07	Granos de NFU modificador	kg	20655.00	0.53	10864.53	
3.08	Kerosene	Gln	739.45	2.27	1678.55	Mantiene
3.09	Relleno Mineral (Filler)	Kg	29295.00	0.22	6444.90	Difiere METRADO
3.10	Aditivo para Asfalto	Kg	571.32	7.35	4199.20	Difiere METRADO
3.11	Cemento Asfaltico PEN 60/70	Gln	24295.28	1.21	29397.29	Difiere METRADO
3.12	Material Granular de préstamo para recuperación de Pavimento	M3	529.74	8.38	4439.22	Difiere METRADO
COSTO DIRECTO POR KM (US \$.)					130,005.59	

Fuente: Propia

Considerándose a la fecha de ejecución donde 1\$=3.40 soles, se tiene un valor promedio de S/. 442,189.01 soles/km solo en partidas involucradas en el pavimento.

✚ CARACTERÍSTICAS DEL ACU PAVIMENTO MODIFICADO:

En este punto se ha adecuado los ACU planteados en el expediente técnico, puesto que consideraciones como el incremento de energía de compactación,

incremento del volumen a transportar, el incremento de la temperatura de mezcla reducirá en rendimiento y por ende se presenciara un incremento de costo de pavimentación. Para la presente se ha estimado reducir el rendimiento en 20% según las experiencias de países que vienen implementando las mezclas asfálticas modificadas con NFU. Con la que se puede evidenciar un incremento del costo de producción de mezclas asfálticas en 13.5%.

Tabla 87: ACU partida Carpeta asfáltica en caliente – mezcla asfáltica modificada con NFU.

3.04 PARTIDA : CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E=0.075M (3'')						
M3/DIA	MO: 200.000	EQ: 200.000	UNIDAD: M3	COSTO: 38.70		
DESCRIPCION	RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.0000	0.0400	5.85	0.23
OPERARIO		hh	13.0000	0.5200	2.85	1.48
OPERADOR		hh	7.5000	0.3000	2.85	0.86
PEON		hh	4.0000	0.1600	2.30	0.37
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.00%	2.95	0.15
						3.10
Equipos						
RODILLO NEUMATICO 9-26 TN		hm	1.0000	0.0400	31.00	1.24
RODILLO TANDEM 6.5. TN		hm	1.0000	0.0400	31.00	1.24
PAVIMENTADORA 95 HP		hm	1.0000	0.0400	60.00	2.40
COMPRESORA NEUMATICA		hm	1.0000	0.0400	21.00	0.84
TRACTOR AGRICOLA		hm	1.0000	0.0400	21.00	0.84
						6.56
Subpartidas						
PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA		m3		1.0000	29.04	29.04
						29.04

Fuente: Propia

Tabla 88: ACU partida Berma Asfáltica – mezcla asfáltica modificada con NFU.

3.05 PARTIDA : BERMAS ASFALTICAS E=0.075M (3'')						
M3/DIA	MO: 200.000	EQ: 200.000	UNIDAD: M3	COSTO: 38.70		
DESCRIPCION	RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.0000	0.0400	5.85	0.23
OPERARIO		hh	13.0000	0.5200	2.85	1.48
OPERADOR		hh	7.5000	0.3000	2.85	0.86
PEON		hh	4.0000	0.1600	2.30	0.37
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.00%	2.95	0.15
						3.10
Equipos						
RODILLO NEUMATICO 9-26 TN		hm	1.0000	0.0400	31.00	1.24
RODILLO TANDEM 6.5. TN		hm	1.0000	0.0400	31.00	1.24
PAVIMENTADORA 95 HP		hm	1.0000	0.0400	60.00	2.40
COMPRESORA NEUMATICA		hm	1.0000	0.0400	21.00	0.84
TRACTOR AGRICOLA		hm	1.0000	0.0400	21.00	0.84
						6.56
Subpartidas						
PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA		m3		1.0000	29.04	29.04
						29.04

SUB PARTIDAS:

Tabla 89: ACU Subpartida Preparación de mezcla asfáltica – mezcla asfáltica modificada con NFU.

SUB PARTIDA: PREPARACION DE MEZCLA ASFALTICA						
M3/DIA	MO: 200.000	EQ: 200.000	UNIDAD: M3	COSTO: 29.04		
DESCRIPCION	RECURSO	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
Mano de Obra						
CAPATAZ		hh	1.0000	0.0400	5.85	0.23
OPERARIO		hh	4.0000	0.1600	2.85	0.46
PEON		hh	4.0000	0.1600	2.30	0.37
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.00%	1.06	0.05
						1.11
Materiales						
PETROLEO INDUSTRIAL		gl		4.400	1.28	5.63
						5.63
Equipos						
CARGADOR FRONTAL 170 HP		hm	1.0000	0.0400	48.00	1.92
GRUPO ELECTROGENO 150KW		hm	1.0000	0.0400	18.00	0.72
PLANTA DE ASFALTO 80 - 100 TNHR		hm	1.0000	0.0400	300.00	12.00
						14.64
Subpartidas						
TRITURACION DE AGREGADOS		m3		1.2400	5.44	6.75
ZARANDEO DE MATERIALES		m3		0.3100	2.94	0.91
						7.66

Fuente: Propia

Las subpartidas no referenciadas están siendo mantenidas los rendimientos y costos.

 **RESUMEN COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO CONVENCIONAL Y MODIFICADO:**

Tabla 90: Comparativo de propiedades mecánicas en fase de ejecución y servicio de pavimento convencional y modificado con NFU.

TIPO	PAVIMENTO CONVENCIONAL	PAVIMENTO MODIFICADO CON NFU	FUENTE
FASE DE DISEÑO Y EJECUCIÓN			
Factor	ESTABILIDAD		

Criterio	A mayor estabilidad es mejor (Resiste mejor las tensiones por cargas de tránsito y las deformaciones que estas puedan ocasionar)		(Quispe Espinoza, 2006)
Atributo	1073 kg	1390 kg (18% NFU)	
Ventaja		30% mas aprox.	
Factor	MODULO DINÁMICO ELÁSTICO		(Maila Paucar, 2013)
Criterio	A mayor modulo dinámico elástico es más favorable (representa la rigidez de la mezcla asfáltica ante una carga impuesta sobre el mismo, por lo que a mayor a modulo dinámico se requerirá menor espesor de pavimento)		
Atributo			
Ventaja		40% mayor modulo dinámico	
Factor	RESISTENCIA A LA FATIGA		(Diaz Claros, y otros, 2017)
Criterio	A mayor resistencia a la fatiga es favorable (se evita agrietamiento y formación de baches en el pavimento)		
Atributo	4.5 ciclos aprox.	5.5 ciclos aprox.	
Ventaja		22% más de resistencia	
Factor	MODULO RESILIENTE		(Agudelo Cendales, y otros, 2019)
Criterio	A mayor módulo resiliente es más favorable (mayor absorción de energía)		
Atributo	Para 5Hz y 1200N; envejecido (7200 MPa) y sin envejecer (5750 Mpa)	Para 5Hz y 1200N; envejecido (5500 MPa) y sin envejecer (4200 Mpa)	
Ventaja	31.82% más rígido y 32.65% más rígido respectivamente	Según (Agudelo Cendales, y otros, 2019) conserva su rigidez haciéndolo más estable a lo largo del tiempo.	
Factor	RESISTENCIA A LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA		(REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	A mayor resistencia a la susceptibilidad térmica es mejor (presentará menores fallas tempranas en el pavimento)		
Atributo	46°C a 54°C	>53°C (7°C más resistente)	
Ventaja		15% más aprox.	
Factor	ENSAYO WHEEL TRACKING TEST		(Botasso, y otros, 2008)
Criterio	A menor deformación es mejor (conserva su elasticidad y es más estable)		
Atributo	4.14mm a 10000 pasadas	1.35mm a 10000 pasadas	

Ventaja		67.4% menos deformaciones permanentes que en un pavimento convencional.	
Factor	CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN		(REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	A mayor conocimiento y experiencia más favorable		
Atributo	Mayor experiencia y conocimiento	Menor experiencia y conocimiento	
Ventaja		Según la investigación realizada no se encontraron vías pavimentadas modificadas con NFU en el Perú y solo se ha limitado a investigaciones realizadas a nivel de laboratorio, por lo que se estimó un 10% entre conocimiento y experiencia en la materia.	
Factor	TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN		(Goicochea Fernández, 2019).
Criterio	<ul style="list-style-type: none"> Respecto a la contaminación ambiental: a menor temperatura es mejor (menos producción de CO2 en ejecución) Respecto a la calidad de la mezcla: a mayor temperatura de mezcla es mejor (garantiza una adecuada mezcla y reacción caucho – asfalto) 		
Atributo	Se mezcla a 160°C	Se mezcla entre 180°C a 200°C	
Ventaja	Respecto a la contaminación ambiental: al disminuir en 25% la T° de mezcla se reduce la emisión de CO2.	Respecto a la calidad de la mezcla: al aumentar la temperatura ha mostrado uniformidad en la mezcla de caucho – asfalto.	
Factor	REUSO DE NFU		(Angulo Rodríguez, y otros, 2005) y (REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	A mayor reúso de neumáticos desechados más favorable (Se reduce los daños ambientales dando un valor agregado a los NFU)		
Atributo	0 kg NFU/ton reusados aprox.	285 kg NFU/ton reusados aprox.	
Ventaja		0.5% del peso del pavimento	
Factor	COSTO DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA X M3 (solo insumos)		(Quispe Espinoza, 2006)
Criterio	A menor costo es mejor		
Atributo	US \$12'855,931.39	US \$13'277,929.14	
Ventaja		3.3% mas aprox.	

FASE DE SERVICIO			
Factor	COSTO PARA EL USUARIO A 25 AÑOS		(Calahorra, y otros, 2016)
Criterio	A menor costo es mejor (mayor ahorro en las familias y transportistas)		
Atributo	US \$14800 a los 25 años	US \$13500 a los 25 años	
Ventaja	8.8% aprox menos costoso		
Factor	COSTO DE MANTENIMIENTO A 25 AÑOS		(Calahorra, y otros, 2016)
Criterio	A menor costo de mantenimiento es mejor (mantenimientos en periodos más largos)		
Atributo	US \$12500 a los 25 años	US \$6500 a los 25 años (6000 dólares menos)	
Ventaja	48% menos costoso		
Factor	RUIDO POR EL TRANSITO		(Sotil Chávez, y otros, 2003) y (REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	Menos ruido es mejor (Menor contaminación auditiva a la sociedad)		
Atributo	51.14dB día y 40.28dB noche	47.64dB día y 36.78dB noche (3.5 dB menos aprox.)	
Ventaja	50% menos aprox.		
Factor	ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (CALIDAD DE MANEJO, SEGURIDAD Y COMODIDAD – DETERIORO)		(Sotil Chávez, y otros, 2003) y (REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	A mayor calidad de manejo, seguridad y comodidad es mejor, a menor deterioro más favorable. Parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura (menos riesgo en la transitabilidad de vehículos, menos daño y/o deterioro en los vehículos)		
Atributo	IRI 0.9mm/km aprox.	IRI 0.2mm/km (0.7mm/km menos aprox.)	
Ventaja	Presenta el 77.7% menos irregularidades aprox.		
Factor	CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR VEHÍCULOS		(REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN, 2018)
Criterio	A menor contaminación del aire más favorable		
Atributo	1450 t CO2/km y 0 kg NFU/ton	1390.94 t CO2/km (59.89t CO2/km menos)	
Ventaja	6.1% menos emisión de CO2 (la emisión de CO2 se ve reducido por el menor uso de maniobras)		

Fuente: Propia

4.3.2. IDENTIFICACIÓN DE BENEFICIOS, BENEFICIOS NEGATIVOS Y COSTOS POR ALTERNATIVA

Se realizó la identificación para ambas alternativas, con el proyecto que se viene analizando y para las 3 fases: diseño, ejecución y post construcción como se detalla a continuación:

Tabla 91: Identificación de beneficios y costos Alternativa 01 – Pavimento Convencional.

ALTERNATIVA 01 – PAVIMENTACIÓN CONVENCIONAL			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CATEGORÍA
ETAPA 1: DISEÑO			
01	COSTOS DE DISEÑO - Costo de diseño de mezcla - Laboratorio	GLB	COSTO
ETAPA 2: CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE PRODUCCIÓN - Materiales de construcción para pavimentación asfáltica en caliente – convencional (Agregados y asfalto con aditivo). - Combustible. - Maquinaria, equipos y herramientas. - Mano de obra. - Mantenimiento de equipos.	KM	COSTO
ETAPA 3: MANTENIMIENTO POST CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE MANTENIMIENTOS A 25 AÑOS - Costo de mantenimiento periódico de la vía. - Costo de mantenimiento rutinario de la vía.	KM	COSTO
02	AHORRO EN COSTO DE TRANSPORTE PARA EL USUARIO A 25 AÑOS. - Gastos en compra de neumáticos. - Consumo de combustible. - Tiempo de transporte.	GLB	BENEFICIO
03	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN MEDIANTE PAGOS POR DERECHO DE TRANSITO O CIRCULACIÓN (PEAJE) A 25 AÑOS Se ha estimado una recuperación del 5% para de los costos durante el periodo de diseño de una vía. En ese sentido seria la suma de los costos en la etapa de diseño, construcción y post construcción como son los mantenimientos.	GLB	BENEFICIO

Fuente: Propia

Tabla 92: Identificación de beneficios y costos Alternativa 02 – Pavimento modificado con NFU.

ALTERNATIVA 02 – PAVIMENTACIÓN CON INCORPORACIÓN DE NFU			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CATEGORÍA
ETAPA 1: DISEÑO DE MEZCLA			
01	COSTOS DE DISEÑO - Costo de diseño de mezcla – Laboratorio - Costo equipamiento y ensayos adicionales (ensayo de viscosidad y adherencia).	TON	COSTO
ETAPA 2: CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE PRODUCCIÓN - Costo de materiales de construcción para pavimentación asfáltica en caliente – convencional (Agregados y asfalto con aditivo). - Combustible. - Mano de obra. - Mantenimiento de equipos. - Incremento en control de calidad en la producción y colocación. - Maquinarias, equipos y herramientas. Variación en el incremento de la energía de compactación en la capa de rodadura (Rodillo).	TON	COSTO
ETAPA 3: MANTENIMIENTO POST CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE MANTENIMIENTOS A 25 AÑOS - Costo de mantenimiento periódico a la vía. - Costo de mantenimiento rutinario de la vía.	KM	COSTO
02	AHORRO COSTO DE TRANSPORTE PARA EL USUARIO A 25 AÑOS - Gastos en compra de neumáticos. - Consumo de combustible. - Tiempo de transporte.	GLB	BENEFICIO
03	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN MEDIANTE PAGOS POR DERECHO DE TRANSITO O CIRCULACIÓN (PEAJE) A 25 AÑOS Se ha estimado una recuperación del 5% para de los costos durante el periodo de diseño de una vía. En ese sentido seria la suma de los costos en la etapa de diseño, construcción y post construcción como son los mantenimientos.	GLB	BENEFICIO

Fuente: Propia

4.3.3. ESTIMACIÓN MONETARIA

Con los alcances referenciados, se procedió a la estimación monetaria, cabe indicar que el análisis costo beneficio proporciona un factor de viabilidad para determinar si es beneficioso el uso, siendo los precios y/o montos que figuren

expuestos a modificaciones por diversos factores como: cambio en el valor monetarios de los insumos, modificaciones en diseños específicos, condiciones del lugar, zona y disposición en el lugar de implementación.

Se detalla las estimaciones para cada alternativa con las experiencias de los autores referenciados y variaciones identificadas.

Tabla 93: Estimación monetaria en Alternativa 01 – Pavimento Convencional.

ALTERNATIVA 01 – PAVIMENTACIÓN CONVENCIONAL			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CATEGORÍA
ETAPA 1: DISEÑO			
01	COSTOS DE DISEÑO - Costo de diseño de mezcla - Laboratorio	GLB	S/. 4,500.00
ETAPA 2: CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE PRODUCCIÓN - Materiales de construcción para pavimentación asfáltica en caliente – convencional (Agregados y asfalto con aditivo). - Combustible. - Maquinaria, equipos y herramientas. - Mano de obra. - Mantenimiento de equipos. Se ha considerado: - Espesor de mezcla asfáltica = 3.0 pulg - Análisis de costos unitarios del autor (Quispe Espinoza, 2006) - Valor del dólar considerado 1\$=3.40 soles	KM	S/. 114,523.84
ETAPA 3: MANTENIMIENTO POST CONSTRUCCIÓN			
01	COSTO DE MANTENIMIENTOS A 25 AÑOS (S/. 42,500.00 / KM) - Costo de mantenimiento periódico de la vía. - Costo de mantenimiento rutinario de la vía.	KM	S/. 42,500.00
02	AHORRO EN COSTO DE TRANSPORTE PARA EL USUARIO A 25 AÑOS (S/. 50,320.00 / KM) - Gastos en compra de neumáticos. - Consumo de combustible. - Tiempo de transporte.	GLB	S/. 0.00 (Se ha considerado 0.0 soles ya que para su evaluación será el beneficio base).
03	RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN MEDIANTE PAGOS POR DERECHO DE TRANSITO O CIRCULACIÓN (PEAJE) A 25 AÑOS	GLB	S/. 10,952.19

<p>Se ha considerado la recuperación de la inversión más el 5% de los costos de inversión durante el periodo de diseño de una vía. En ese sentido sería la suma de los costos en la etapa de diseño, construcción y post construcción como son los mantenimientos más el 5% de utilidad.</p> <p>GASTOS DE DISEÑO = S/. 4,500.00</p> <p>GASTOS DE CONSTRUCCIÓN = S/. 114,523.84</p> <p><u>GASTOS DE POST CONSTRUCCIÓN = S/. 92,820.00</u></p> <p>TOTAL = S/. 211,843.84</p> <p>INVERSIÓN + GANANCIA = S/. 222,436.03</p> <p>(5% MAS)</p>		
---	--	--

Fuente: Propia

Tabla 94: Estimación monetaria en Alternativa 01 – Pavimento Modificado con NFU.

ALTERNATIVA 02 – PAVIMENTACIÓN CON INCORPORACIÓN DE NFU			
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CATEGORÍA
ETAPA 1: DISEÑO DE MEZCLA			
01	<p>COSTOS DE DISEÑO (10% más)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo de diseño de mezcla – Laboratorio - Costo equipamiento y ensayos adicionales* <p>Ensayos al asfalto modificado con NFU</p> <ul style="list-style-type: none"> - Viscosidad absoluta (S/. 71.07 soles) - Viscosidad cinemática (S/. 66.57 soles) - Recuperación Elástica (25 °C) (Ductilímetro) (S/. 69.14 soles) - Recuperación Elástica (Ductilímetro Modificado) (4 °C) (S/. 69.22 soles) - Punto de Ablandamiento (Anillo y bola) (S/. 56.96 soles) <p>Ensayos a la mezcla asfáltica modificado con NFU</p> <ul style="list-style-type: none"> - ninguno 	TON	S/. 5,053.76 (12.3% más costos que el convencional)
ETAPA 2: CONSTRUCCIÓN			

01	<p>COSTO DE PRODUCCIÓN (según ACU referenciado)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo de materiales de construcción para pavimentación asfáltica en caliente – convencional (Agregados y asfalto con aditivo). - Combustible. - Mano de obra. - Mantenimiento de equipos. - Incremento en control de calidad en la producción y colocación. - Maquinarias, equipos y herramientas. Variación en el incremento de la energía de compactación en la capa de rodadura (Rodillo). <p>Se ha considerado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espesor de mezcla asfáltica = 3.0 pulg - Valor del dólar considerado 1\$=3.40 soles - Incremento del ligante (polvo NFU) - variación del concreto asfáltico - Aditivo adherente 	TON	S/. 130,005.59 (13.51% más costoso que el convencional)
ETAPA 3: MANTENIMIENTO POST CONSTRUCCIÓN			
01	<p>COSTO DE MANTENIMIENTOS A 11 AÑOS (COSTO S/. 22,100.00 / KM)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo de mantenimiento periódico a la vía. - Costo de mantenimiento rutinario de la vía. 	KM	S/. 22,100.00 (48.0% menos costos de mantenimiento)
03	<p>AHORRO EN EL COSTO DE TRANSPORTE PARA EL USUARIO (COSTO S/. 45,900.00 / KM)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gastos en compra de neumáticos. - Consumo de combustible. - Tiempo de transporte. 	GLB	S/. 4,420.00
03	<p>**RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN MEDIANTE PAGOS POR DERECHO DE TRANSITO O CIRCULACIÓN (PEAJE) A 25 AÑOS</p> <p>Se ha considerado la recuperación de la inversión más el 5% de los costos de inversión durante el periodo de diseño de una vía. En ese sentido sería la suma de los costos en la etapa de diseño, construcción y post construcción como son los mantenimientos más el 5% de utilidad.</p> <p>GASTOS DE DISEÑO = S/. 5,053.76 GASTOS DE CONSTRUCCIÓN = S/. 130,005.59 <u>GASTOS DE POST CONSTRUCCIÓN = S/. 68,000.00</u> TOTAL = S/. 203,059.35</p>	GLB	S/. 20,337.01 (9.6% MAS)

INVERSIÓN + GANANCIA 222,436.03 MAS)	= S/. (9.6%		
--	--------------------	--	--

Fuente: Propia

*Se ha tomado como costo base de ensayos a la tabla de “TARIFAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES AÑO 2015” (MTC, 2015). Y se ha considerado 4 ensayos de cada una a fin de poder determinar los óptimos porcentajes en un diseño.

** Para este presente análisis se ha tomado como base una ganancia del 5% del monto invertido en la partida de pavimentos, siendo está un valor referencial a fin de evaluar de la manera más conservadora los beneficios de usar en el NFU en la pavimentación de las vías peruanas.

4.3.4. CÁLCULO RAZÓN BENEFICIO/COSTO

✚ CÁLCULO DE COSTOS TOTALES (ΔC)

$$\begin{aligned} & \text{ALTERNATIVA 2 – ALTERNATIVA 1} \\ & = (5,053.76 + 130,005.59 + 22,100.00) - (4,500.00 + 114,523.84 + 42,500.00) \\ & = 4,364.49 \end{aligned}$$

✚ CÁLCULO DE LOS BENEFICIOS TOTALES (ΔB)

$$\begin{aligned} & \text{ALTERNATIVA 2 – ALTERNATIVA 1} \\ & = (4,420.00 + 20,337.01) - (0.00 + 10,952.19) \\ & = 13,804.82 \end{aligned}$$

✚ CÁLCULO DE LA RAZÓN BENEFICIO / COSTO

$$\begin{aligned} \Delta B / \Delta C &= \frac{B1 - B2}{C1 - C2} \\ \Delta B / \Delta C &= \frac{13,804.82}{4,364.49} \\ \Delta B / \Delta C &= 3.16 \end{aligned}$$

INTERPRETACIÓN Y TOMA DE DECISIÓN

Se evidencia que la relación Beneficio/Costo >1 , por lo que mediante el análisis costo-beneficio se ha determinado que el proyecto es viable. Con aquellos factores posibles de monetizar a fin de ser evaluados. Sin embargo, es necesario mencionar que existen otro tipos de metodologías para el análisis de proyectos como el presente y que podrían determinar con mayor exactitud y/o claridad los beneficios de esta, tal es el caso de la metodología Elección por Ventajas o Chosing By Advantages (CBA), que se centra en la evaluación de las ventajas, magnitud de estas; categorizando su importancia (diferencias positivas), mas no ventajas y desventajas siendo la que mejor se adaptaría a la presente investigación.

CONCLUSIONES

1. **CONCLUSIÓN DEL PROBLEMA GENERAL** *“Analizar y evaluar las implicancias que conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025”.*

Basado en la recopilación de información se puede afirmar que la hipótesis planteada es correcta, sin embargo la presente investigación ha conllevado a profundizar los beneficios de la implementación de la mezclas asfálticas modificadas con NFU; ya que según las fuentes referenciadas las mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU), implica un cambio en la mentalidad del sector ya que se busca una mejora en las capacidades estructurales del material asfáltico como hoy sucede con otro tipo de modificadores (*El asfalto con la adición del NFU por vía húmeda incrementa las propiedades físicas los cuales se detallan en la conclusión específica N° 01*), se incluye a esto un factor sostenible como es el uso de NFU que hoy ocupan grandes extensiones de terrenos en basurales siendo focos infecciosos en nuestro ambiente, siendo almacenes clandestinos expuestos a ser puntos con riesgo a incendios y a la contaminación del aire (*El factor sostenible y el cambio de mentalidad se refleja con la adecuación de la normativa para los NFU, la implementación de sistemas y tecnologías de gestión del NFU*). Este cambio conlleva a obtener beneficios económicos a largo plazo (*ya que según autores como: (Quispe Espinoza, 2006) y (Calahorra, y otros, 2016), se extendería la vida útil del pavimento, los costos de mantenimiento son menores al del asfalto convencional como se detalla en la conclusión específica N° 03*); se produce una mejora en la tecnología peruana en la rama de la ingeniería de pavimentos (*mejora tecnológica con la implementación de equipos a nivel de laboratorio; para producción industrial y actualización de normativas necesarias para su aplicación*

al 2025); una mejora en el manejo de residuos como son los NFU, las cuales según sus características deberían ser excluidas y atendidas independientemente de los residuos sólidos generales y/o convencionales (normativas, directivas y protocolos de almacenamiento, gestión y procesamiento de NFU), dando un paso más en la conservación del ambiente, mismas que se detallan en la conclusión específica N° 02.

2. CONCLUSIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO 1 “Determinar las variaciones en las propiedades de tecnología de materiales que se dan en una mezcla convencional y determinar las implicancias que se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU”.

Se acepta la hipótesis planteada, así mismo la presente investigación ha conllevado a poder estimar y asignar valores a fin de entender mejor la magnitud de los cambios que ha generado la incorporación de NFU en las mezclas convencionales y ver si estas son o no favorables para la implementación de pavimentos modificados con NFU en el Perú.

Según las fuentes estudiadas y referenciadas en el presente trabajo de investigación se ha podido definir que:

En promedio se debería incrementar entre un 15% y un 20% de NFU al peso del ligante asfáltico independientemente del tipo de asfalto a usar (los asfaltos más usados en el Perú son los del tipo PEN) y que esta modificación se refleja en variaciones de las siguientes propiedades físico – mecánicas tanto en la fase de diseño y servicio.

TIPO	PAVIMENTO CONVENCIONAL	PAVIMENTO MODIFICADO CON NFU
FASE DE DISEÑO Y EJECUCIÓN		
Factor	ESTABILIDAD	
Criterio	A mayor estabilidad es mejor (Resiste mejor las tensiones por cargas de tránsito y las deformaciones que estas puedan ocasionar)	
Atributo	1073 kg	1390 kg (18% NFU)
Ventaja		30% mas aprox.
Factor	MODULO DINÁMICO ELÁSTICO	

Criterio	A mayor modulo dinámico elástico es más favorable (representa la rigidez de la mezcla asfáltica ante una carga impuesta sobre el mismo, por lo que a mayor a modulo dinámico se requerirá menor espesor de pavimento)	
Atributo		
Ventaja		40% mayor modulo dinámico
Factor	RESISTENCIA A LA FATIGA	
Criterio	A mayor resistencia a la fatiga es favorable (se evita agrietamiento y formación de baches en el pavimento)	
Atributo	4.5 ciclos aprox.	5.5 ciclos aprox.
Ventaja		22% más de resistencia
Factor	MÓDULO RESILIENTE	
Criterio	A mayor módulo resiliente es más favorable (mayor absorción de energía)	
Atributo	Para 5Hz y 1200N; envejecido (7200 MPa) y sin envejecer (5750 Mpa)	Para 5Hz y 1200N; envejecido (5500 MPa) y sin envejecer (4200 Mpa)
Ventaja	31.82% más rígido y 32.65% más rígido respectivamente	Según (Agudelo Cendales, y otros, 2019) conserva su rigidez haciéndolo más estable a lo largo del tiempo.
Factor	RESISTENCIA A LA SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA	
Criterio	A mayor resistencia a la susceptibilidad térmica es mejor (presentará menores fallas tempranas en el pavimento)	
Atributo	46°C a 54°C	>53°C (7°C más resistente)
Ventaja		15% mas aprox.
Factor	ENSAYO WHEEL TRACKING TEST	
Criterio	A menor deformación es mejor (conserva su elasticidad y es más estable)	
Atributo	4.14mm a 10000 pasadas	1.35mm a 10000 pasadas
Ventaja		67.4% menos deformaciones permanentes que en un pavimento convencional.
Factor	CONOCIMIENTO Y EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN	
Criterio	A mayor conocimiento y experiencia más favorable	
Atributo	Mayor experiencia y conocimiento	Menor experiencia y conocimiento
Ventaja		Según la investigación realizada no se encontraron vías pavimentadas modificadas con NFU en el Perú y solo se ha limitado a investigaciones realizadas a nivel de laboratorio, por lo que se estimó un 10% entre conocimiento y experiencia en la materia.
Factor	TEMPERATURA DE PRODUCCIÓN	

Criterio	<ul style="list-style-type: none"> Respecto a la contaminación ambiental: a menor temperatura es mejor (menos producción de CO2 en ejecución) Respecto a la calidad de la mezcla: a mayor temperatura de mezcla es mejor (garantiza una adecuada mezcla y reacción caucho – asfalto) 	
Atributo	Se mezcla a 160°C	Se mezcla entre 180°C a 200°C
Ventaja	Respecto a la contaminación ambiental: al disminuir en 25% la T° de mezcla se reduce la emisión de CO2.	Respecto a la calidad de la mezcla: al aumentar la temperatura a mostrado uniformidad en la mezcla de caucho – asfalto.
Factor	REUSO DE NFU	
Criterio	A mayor reúso de neumáticos desechados más favorable (Se reduce los daños ambientales dando un valor agregado a los NFU)	
Atributo	0 kg NFU/ton reusados aprox.	285 kg NFU/ton reusados aprox.
Ventaja		0.5% del peso del pavimento
FASE DE SERVICIO		
Factor	RUIDO POR EL TRÁNSITO	
Criterio	Menos ruido es mejor (Menor contaminación auditiva a la sociedad)	
Atributo	51.14dB día y 40.28dB noche	47.64dB día y 36.78dB noche (3.5 dB menos aprox.)
Ventaja		50% menos aprox.
Factor	ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (CALIDAD DE MANEJO, SEGURIDAD Y COMODIDAD – DETERIORO)	
Criterio	A mayor calidad de manejo, seguridad y comodidad es mejor, a menor deterioro más favorable. Parámetro de referencia en la medición de la calidad de rodadura (menos riesgo en la transitabilidad de vehículos, menos daño y/o deterioro en los vehículos)	
Atributo	IRI 0.9mm/km aprox.	IRI 0.2mm/km (0.7mm/km menos aprox.)
Ventaja		Presenta el 77.7% menos irregularidades aprox.
Factor	CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR VEHÍCULOS	
Criterio	A menor contaminación del aire más favorable	
Atributo	1450 t CO2/km y 0 kg NFU/ton	1390.94 t CO2/km (59.89t CO2/km menos)
Ventaja		6.1% menos emisión de CO2 (la emisión de CO2 se ve reducido por el menor uso de maniobras)

Adicionalmente a las propiedades de tecnología de materiales, se ha podido identificar que se requerirá mayor porcentaje de ligante modificado en promedio de 7% a 7.5% en una mezcla asfáltica modificada, incrementándose de 1.5% a 2.0% de ligante asfáltico con respecto a mezcla convencional, esto debido al hinchamiento producido por el NFU al ser calentado en el proceso de mezclado. Además, será necesario incrementar la energía de compactación para poder llegar a los vacíos que especifican las normativas para un diseño de mezcla denso. Por otra parte, mejora la resistencia al deslizamiento, debido a que la interacción (adherencia) entre el neumático y la mezcla asfáltica con NFU es mejor a la del neumático – mezcla asfáltica convencional e incluso en la presencia de agua (lluvias), entre otros. Los cuales dependerán muchas veces de las características del NFU, los agregados minerales y el diseño de la mezcla asfáltica modificada con el NFU.

3. CONCLUSIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO 2 *“Determinar las medidas que debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU al 2025”.*

Se acepta la hipótesis planteada siendo necesario detallar que se debería adoptar las siguientes medidas para la producción de mezclas asfálticas modificadas con NFU, a fin de garantizar su viabilidad en el Perú al 2025:

A) RESPECTO AL MARCO LEGAL

Las entidades peruanas encargadas de incorporar las medidas para implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas con NFU, vendrían a ser las siguientes:

MINAN: Ministerio del Ambiente, a través de las siguientes acciones:

- ✚ Primero debe aprobar un Decreto Supremo que apruebe el Régimen Especial de Gestión y Manejo de Neumáticos Fuera de Uso. Esto de manera independiente de otros residuos ya que los neumáticos por sus características difieren ampliamente de residuos como el plástico y otros.

- ✚ Segundo formalizar a las plantas recicladoras de neumáticos y procesadoras del caucho, exigiendo su implementación acorde a DS que se apruebe.
- ✚ Establecer instituciones con o sin fines de lucro para el manejo adecuado de los NFU en el Perú, como lo vienen haciendo países sudamericanos y europeos.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de las siguientes acciones:

- ✚ Generar y financiar proyectos de investigación a profundidad en pavimentaciones flexibles con la modificación de mezclas asfálticas incorporándose porcentajes del polvo de NFU, las cuales deben ser llevadas a experimentación en laboratorio e in situ en las vías, para luego proponer y establecer normativas y especificaciones técnicas que regulen el adecuado diseño y funcionamiento en el territorio peruano.
- ✚ Establecer parámetros de uso obligatorio del polvo de NFU en las licitaciones de obras públicas vinculadas a pavimentación flexible de vías, así como hacer prevalecer esos parámetros en todas las entidades públicas que ejecuten obras de pavimentación en el país (Gobiernos Locales, Regionales y nacionales).

MEF: Ministerio de Economía y Finanzas, a través de las siguientes acciones:

- ✚ Restringir la importación del polvo de caucho para la pavimentación; de esta manera se verá reducido la presencia de NFU en el Perú; así mismo, será un impacto positivo para salud al reducirse una fuente infecciosa.

Estas acciones contribuirán a soportar los pilares de la sostenibilidad; economía, protección del medio ambiente y beneficios sociales logrando una infraestructura vial sostenible.

Actualmente en el Perú no se cuenta con una normativa que sea específica para el diseño de mezclas asfálticas modificadas con polvo de neumáticos fuera de uso, por lo que se propone de acuerdo a las investigaciones y normas de otros países, medidas que debería adoptar el Perú a través de las acciones de las entidades mencionadas:

B) RESPECTO A LOS MATERIALES

Es necesario que la norma peruana establezca el tamaño de las partículas de NFU, mediante un huso granulométrico tipo fino (partículas de NFU no mayores a 0.5mm), sin embargo, no hay que dejar de lado el aspecto económico para la obtención de partículas de NFU, se conoce que a medida que disminuye las partículas de caucho se tendrán que optar por procesos y maquinarias más especializadas para su producción. Los otros componentes de las mezclas asfálticas modificadas con NFU conservaran las especificaciones técnicas que se establecen en el manual de carreteras EG – 2013.

C) RESPECTO A LA DISPOSICIÓN DE EQUIPOS

- ✚ El Perú deberá de implementar plantas de reciclaje y procesamiento de NFU con equipos necesarios para alcanzar los parámetros que se establezcan en las normativas para diseños de pavimentos modificados con NFU, bajo los sistemas de trituración aprobadas.
- ✚ Los laboratorios de producción de mezclas asfálticas deberán ser implementadas con viscosímetro rotacional, para obtener un mejor control de la Viscosidad, la temperatura optima de mezcla y temperatura optima de extendido. Es importante que el cemento asfáltico modificado con polvo de NFU presente magnitudes adecuadas de viscosidad para que pueda ofrecer:
 - Facilidad de ser bombeado entre las instalaciones de almacenamiento en planta y el mezclador durante el proceso de fabricación de la mezcla.
 - Un apropiado proceso de mezclado entre el cemento asfáltico y el polvo de NFU.
 - Facilidad de la mezcla asfáltica para ser extendida y compactada.

✚ Realicen ensayos adicionales a los ya descritos en las especificaciones de las mezclas asfálticas modificadas, ensayos como:

- Recuperación elástica por torsión a 25°C. Ensayo utilizado para evaluar la respuesta elástica del asfalto modificado con polvo de NFU, cuando es sometido a un esfuerzo de torsión y la temperatura de la muestra es de 25°C.
- Estabilidad de almacenamiento siempre en cuando se halla planteado envasar el asfalto y no su producción in situ en obra, el cual permitirá no generar un asfalto modificado con propiedades no homogéneas esto puede suceder por una incorrecta o baja dispersión del polvo de NFU en el ligante o por incompatibilidad en ambos.

4. CONCLUSIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO 3 *“Realizar un análisis del costo–beneficio de la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú”.*

Autores como (Carmona, 2016), (Angulo Rodríguez, y otros, 2005), (Quispe Espinoza, 2006), entre otros referenciados, dan a conocer que el costo de producción de mezclas asfálticas modificadas con NFU a nivel industrial son mayores respecto a la producción de una mezcla convencional; sin embargo; también indican acerca de los beneficios de una mezcla asfálticas modificadas con NFU, los cuales se detallan en la CONCLUSIÓN DEL PROBLEMA ESPECÍFICO 1, reflejándose esta en una mejor respuesta en la fase de servicio, alargan la vida útil de la vía, requieren menores costos de mantenimiento y resultando más económico para el usuario.

Del Análisis Costo – Beneficio se ha podido determinar que el costo de diseño de la mezcla asfáltica incrementaría en 12.3% aproximadamente; el costo de producción de mezclas asfálticas incrementaría en 13.5% aproximadamente, el costo de mantenimiento de vía se reduciría en 48.0% aproximadamente a los 25 años de vida útil, se proyectaría un ahorro del 8.8% aproximadamente en los costos de transporte para el usuario a los 25 años de vida útil en la vía y finalmente se ha estimado que en un periodo de recuperación de la inversión de una vía pavimentada con el sistema convencional, se generaría un 9.6% más

aproximadamente de dinero con una vía pavimentada incorporando el NFU. Estos indicadores al analizarse mediante la metodología costo beneficio se ha determinado que existe una razón beneficio/costo de 3.16, que al ser superior a 1 se podría concluir que la implementación de mezclas asfálticas con la incorporación del NFU es viable en el país según los análisis y consideraciones realizadas en la presente investigación. Cabe mencionar que existe variaciones favorables en las propiedades mecánicas, los beneficios económicos a un largo plazo, reducción en el impacto ambiental con reciclaje y reúso del NFU, la mejora de la calidad de vida y una reducción en los riesgos de accidentes de tránsito que serán ampliamente beneficiosas para el Perú.

RECOMENDACIONES

1. Que en los años siguientes el Perú a través del MTC (Ministerio de transporte y Comunicaciones) y el MINAM (Ministerio del Ambiente), establezcan las normativas necesarias para un adecuado manejo de los NFU.
2. Que el MTC inicie un estudio minucioso, completo y definitivo a través de la creación de centros de investigación en carreteras, del uso del NFU en el diseño de mezclas modificadas; para así establecer los estándares, normativas, manuales y otros que garanticen su uso obligatorio y correcto en la pavimentación de las vías en el Perú.
3. Así mismo, se recomienda de la investigación realizada, tomar en cuenta el proceso de obtención del NFU procesado sea por el proceso ambiental, ya que proporciona mejores características físicas para la reacción con el ligante asfáltico.
4. Para realizar el análisis de las ventajas que presenta la incorporación del NFU en las mezclas asfálticas en caliente, se recomienda realizar un análisis distinto al ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO, puesto que esta metodología se adapta mejor a un proyecto en específico con características específicas. Por lo que, se ha determinado por conveniente usar la metodología ELECCIÓN POR VENTAJAS O CHOSING BY ADVANTAGES (CBA), que se centra en la evaluación de las ventajas, magnitud de estas; categorizando su importancia (diferencias positivas), mas no ventajas y desventajas siendo la que mejor se adaptaría a la presente investigación.
5. Es importante realizar una evaluación minuciosa de cada propuesta planteada en la investigación ya que al nivel de pregrado hay una variedad de detalles que se podrían estar obviando.

REFERENCIAS

- Ramirez Velarde, Jose Artemio, Gómez Lazarte, Cesar Enrique y Donoso Rodriguez, Josue Luis. 2018.** *Plan de negocio para la implementación de una planta de reciclaje de llantas usadas mediante el proceso de Pirolisis.* [En línea] 05 de 12 de 2018. [Citado el: 26 de 06 de 2020.]
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/624919/Donoso_RJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20el%20Per%C3%BA%20se%20producen,170%20empresas%20recogiendo%202880%20toneladas.
- Agudelo Cendales, Miguel Angel y Martín Gómez, Stivinson. 2019.** *ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.* Bogota - Colombia. Bogota : s.n., 2019. pág. 60, Tesis.
- Angulo Rodríguez, Ricardo Alberto y Duarte Ayala, José Luis. 2005.** *MODIFICACIÓN DE UN ASFALTO CON CAUCHO RECICLADO DE LLANTA PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS.* [En línea] 08 de 2005. [Citado el: 12 de 01 de 2020.]
[https://www.academia.edu/14221736/MODIFICACION_DE_UN_ASFALTO_CON_CAUCHO_RECICLADO_DE_LLANTA_PARA_SU_APLICACION_EN_PAVIMENTOS.](https://www.academia.edu/14221736/MODIFICACION_DE_UN_ASFALTO_CON_CAUCHO_RECICLADO_DE_LLANTA_PARA_SU_APLICACION_EN_PAVIMENTOS)
- ASOASFALTOS. 2015.** GOOGLE. *GOOGLE (MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE).* [En línea] 2015. [Citado el: 04 de AGOSTO de 2020.]
[file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/mezclas%20asfalticas%20en%20caliente%20asoasfaltos%20\(1\).pdf.](file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/mezclas%20asfalticas%20en%20caliente%20asoasfaltos%20(1).pdf)
- Asphalt Institute Serie de Manuales Nº 22. 1982.** *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.* Estados Unidos de America : FHWA, 1982.
- Botasso, Gerardo, y otros. 2008.** TECNOLOGIAS CONSTRUCTIVAS. *Utilización del caucho de neumáticos en mezcla asfáltica densa en obras de infraestructura.* [En línea] 11 de 07 de 2008. [Citado el: 24 de 01 de 2019.]
[https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2028/1993.](https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/2028/1993)

Calahorra Jiménez, María, y otros. 2016. *Análisis de ciclo de vida de mezcla asfáltica con/sin caucho: estudio de caso.* Bogotá : s.n., 2016.

Carmona, Daniel Olivares. 2016. Planta de reciclaje de neumáticos de caucho Comercialización de miga de caucho. [En línea] 06 de 2016. [Citado el: 27 de 06 de 2020.]

<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/140906/Olivares%20Carmona%20Daniel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Castro, Guillermo. 2007. Reutilización, reciclado y disposición final de los neumáticos fuera de uso. [En línea] 12 de 2007. [Citado el: 25 de 04 de 2020.]

https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Numatico.pdf.

CEDEX. 2007. CEDEX. [En línea] 2007. [Citado el: 29 de 06 de 2022.]

http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/27EDCC96-7C3A-42B5-96B7-F6B87D0BD3DF/116371/Manual_NFU.pdf.

De La Cruz Bazan, Paulino y Porras Zavala, Mario Jose. 2015. Google. *Repositorio Universidad Ricardo Palma.* [En línea] 2015. [Citado el: 06 de Agosto de 2020.]

<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2188>.

Díaz Claros, César Mauricio y Castro Celis, Liliana Carolina. 2017. IMPLEMENTACIÓN DEL GRANO DE CAUCHO RECICLADO (GCR) PROVENIENTE DE LLANTAS USADAS PARA MEJORAR LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y GARANTIZAR PAVIMENTOS SOSTENIBLES EN BOGOTÁ. [En línea] 2017. [Citado el: 12 de 01 de 2020.]

<https://pdfs.semanticscholar.org/ed87/c6556733bd2bb8b151f0b2cbbb36f06d605d.pdf>.

Diez Trujillo, Juan Pablo y Vásquez Vásquez, Juan Simón. 2017. Viabilidad de la implementación del asfalto caucho a partir de un diseño de mezcla de MPI en Procopal S.A. [En línea] 2017. [Citado el: 06 de 12 de 2021.]

https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12256/JuanPablo_DiezTrujillo_JuanSimon_VasquezVasquez_2017.pdf;jsessionid=B7F5CBBF2C040B7D132E648E6676EF82?sequence=2.

E-Asfalto. 2005. *EVOLUCION Y DESARROLLO DE LA PAVIMENTACION ASFALTICA EN EL PERU.* [En línea] 2005. [Citado el: 2019 de 01 de 24.] <http://www.e-asphalt.com/go/?redvialperu/index.htm>. 01.

E-Asphalt. 2005. ASFALTOS MEJORADOS. [En línea] E-asfalto SRL, 2005. [Citado el: 24 de 01 de 2019.] <https://www.e-asphalt.com/modificados/modificados.htm>.

- Goicochea Fernandez, Fredy. 2019.** repositorio.untrm.edu.pe.
 repositorio.untrm.edu.pe. [En línea] 2019. [Citado el: 09 de 03 de 2021.]
<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1627?show=full>.
- Guerrero, Victor, Galeas, Salome y Campaña, Kleber. 2015.** OBTENCION DE ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO PROVENIENTE DEL RECICLAJE DE NEUMATICOS DE AUTOMOTORES. [En línea] 09 de 2015. [Citado el: 07 de 02 de 2019.]
https://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Obtencion_de_Asfalto_Modificado_con_Polvo_de_Caucho_Proveniente.pdf.
- Hernandez Sampieri, Roberto, Fernandez Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2010.** *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN*. MEXICO : McGrawHil, 2010.
- INVIAS. 2013.** mpi.net. [En línea] 2013. [Citado el: 29 de Junio de 2022.]
<http://www.mpi.net.co/document/Especificacion-invimas-Asfaltos-Caucho.pdf>.
- Magallanes Reyes, Claudio A. y Guillen Solari, Ivette C. 2014.** *Experiencias en el tratamiento de neumaticos fuera de uso emn iberoamerica*. Lima, Area de Investigacion - Congreso de la Republica del Perú. Lima : s.n., 2014.
- Maila Paucar, Manuel Elías. 2013.** COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA). [En línea] 2013. [Citado el: 13 de Febrero de 2019.]
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>.
- Martínez Reguero, Adriana. 2000.** Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución. *UPCommons*. [En línea] Febrero de 2000. [Citado el: 12 de Febrero de 2021.]
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93942>.
- Menendez Acurio, José Rafael. 2009.** *Ingeniería de Pavimentos*. Lima : ICG (Instituto de la construcción y gerencia), 2009.
- Minaya Gonzales, Silene y Ordoñez Huaman , Abel. 2006.** Diseño Moderno De Pavimentos Asfálticos. [En línea] 2006. [Citado el: 14 de Febrero de 2021.]
https://www.academia.edu/34829662/UNIVERSIDAD_NACIONAL_DE_INGENIERIA_DISEÑO_MODERNO_DE_PAVIMENTOS_ASFÁLTICOS_M_Sc_SILENE_MINAYA_GONZÁLEZ.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente - Gobierno de España. 2020.** Catalogo de residuos utilizables en construcción. *Neumaticos fuera de uso*. [En línea] 2020. [Citado el: 03 de 07 de 2020.] <http://www.cedexmateriales.es/catalogo-de-residuos/32/neumaticos-fuera-de-uso/>.

Ministerio de Transporte y Carreteras. 2018. RED VIAL EXISTENTE DEL SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS, SEGUN SUPERFICIE DE RORADURA: 1999-2018. [En línea] 31 de 07 de 2018. [Citado el: 2019 de 01 de 23.]

http://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html?fbclid=IwAR1wAqvaehYIlgpUyA_07z_r9tDBg3H7rSAGX_9RmakN1095d0IBcaZJYIlg. 02.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2020. Estadística - Servicios de Transporte Terrestre por Carretera - Parque Automotor. [En línea] 12 de 03 de 2020. [Citado el: 20 de 04 de 2020.] <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344892-estadistica-servicios-de-transporte-terrestre-por-carretera-parque-automotor>.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico - Gobierno de España. 2019. Neumaticos. [En línea] 2019. [Citado el: 26 de 06 de 2020.] <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/neumaticos/Donde-se-generan.aspx>.

Moreno Chavez, Marcelo Andrés. 2011. EFECTO DE LA PRESENCIA DE HUMEDAD EN EL COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS SOMETIDAS A ENSAYO DE RUEDA DE CARGA (NORMA NLT-173/84). [En línea] 09 de 2011. [Citado el: 11 de 03 de 2019.] http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-moreno_mc/pdfAmont/cf-moreno_mc.pdf.

MTC. 2016. Manual de Ensayos de Materiales. [En línea] 05 de 2016. [Citado el: 19 de 02 de 2021.]

—. **2013.** Ministerio de Transportes y Comunicaciones. [En línea] 06 de 2013. [Citado el: 05 de 01 de 2020.]

—. **2015.** TARIFAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO DE LA DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ESPECIALES. [En línea] 2015. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/servicios/documentos/1%20-%20TARIFA%20DE%20ENSAYOS%20DE%20LABORATORIO%202015%20\(UIT%203850%20-18\).pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/servicios/documentos/1%20-%20TARIFA%20DE%20ENSAYOS%20DE%20LABORATORIO%202015%20(UIT%203850%20-18).pdf).

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAYÁN. 2017. ORDENANZA MUNICIPAL QUE REGULA Y PROMUEVE EL MANTENIMIENTO, LIMPIEZA Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO DE SAYÁN. [En línea] 27 de 12 de 2017. [Citado el: 27 de 07 de 2020.] <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/regulan-y-promueven-el-mantenimiento-limpieza-y-manejo-de-r-ordenanza-no-013-2017-mdsa-1601554-2>.

Pereda Rodriguez, Danfer Alonso y Cubas Parimango, Nahum Octavio. 2016. repositorio.upao.edu.pe. *repositorio.upao.edu.pe*. [En línea] 21 de Octubre de 2016. [Citado el: 18 de Febrero de 2020.] <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/1987>.

Pereda Rodriguez, Danfer Alonso y Cubas Parimango, Nahum Octavio. 2015. INVESTIGACIÓN DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS CON EL USO DE CAUCHO RECICLADO DE LLANTAS Y SU COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICO CON LOS ASFALTOS CONVENCIONALES. [En línea] 2015. [Citado el: 06 de 02 de 2019.] http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/1987/1/RE_ING.CIVIL_DANFER.PEREDA_NAHUM.CUBAS_ASFALTOS.CAUCHO.RECICLADO_DATOS_T046_18189442T.PDF.PDF.

PERÚ VÍAS. 2014. CALAMEO. *MEJOR TRATAMIENTO Y USO DE LOS NEUMATICOS DESECHADOS*. [En línea] 2014. [Citado el: 18 de 01 de 2020.] <https://es.calameo.com/read/001525117810803ed5485>.

Quispe Espinoza, Sergio Enrique. 2006. COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: CAUCHO ASFALTO. [En línea] 2006. [Citado el: 11 de 03 de 2019.] <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4230>.

República del Perú. 2005. REGLAMENTO TÉCNICO PARA NEUMÁTICOS DE AUTOMÓVIL, CAMION LIGERO, BUSES Y CAMIONES. [En línea] 05 de 05 de 2005. [Citado el: 22 de 02 de 2020.] <http://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/ds019-2005-produce.pdf>.

REVISTA INGENIERIA DE CONSTRUCCION. 2018. Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho. [En línea] 2018. [Citado el: 18 de 12 de 2020.] https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732018000300301#aff3.

Rondon Quintana, Hugo Alexander y Reyes Lizcano, Fredy Alberto. 2015. *Pavimentos Materiales, construccion y diseño*. Bogota : Macro EIRL, 2015.

SAAVEDRA, NEPTON RUIZ. 2011. MEZCLAS ASFALTICAS. [En línea] 06 de 2011. [Citado el: 15 de 12 de 2020.] <https://www.slideshare.net/ELIRID/mezclas-asflticas-75063172>.

Sotil Chavez, Andres, y otros. 2003. *EVALUACIÓN DEL CAUCHO ASFALTO USANDO LA PRUEBA DEL MÓDULO (COMPLEJO) DINAMO , E**. ARIZONA : s.n., 2003.

Supo Ccalachua, Denys Alexander y Velásquez Apaza, César David. 2018.
GOOGLE. *UNSA BIBLIOTECA DIGITAL*. [En línea] 2018. [Citado el: 04 de AGOSTO de
2020.] <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7185>.

The Asphalt Institute traducido por Velasquez, Manuel. 1972. *The Asphalt Institute*.
Bilbao - España : URMO, S.A. DE EDICIONES, 1972.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia de la tesis titulada “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS IMPLICANCIAS DE IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN EL PERÚ AL 2025”

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente
¿Qué implicancias conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025?	Analizar y evaluar las implicancias que conllevaría implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025.	Implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de neumáticos fuera de uso (NFU) en el Perú al 2025 implicaría un cambio en la mentalidad del sector ya que no solo se buscaría una mejora en las capacidades estructurales del material asfáltico como hoy sucede con otro tipo de modificadores, sino que se incluiría un factor sostenible como es el uso de NFU que hoy ocupan grandes extensiones de terrenos en basurales siendo focos infecciosos en nuestro ambiente. Este cambio conllevaría beneficios económicos de largo plazo, estructurales y por sobretodo ambientales.	Incorporar NFU en diseño de mezclas asfálticas en caliente en el Perú para el año 2025.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué variaciones en las propiedades de tecnología de materiales se dan en una mezcla convencional y que implicancias se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU? • ¿Qué medidas debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU al 2025? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar las variaciones en las propiedades de tecnología de materiales que se dan en una mezcla convencional y determinar las implicancias que se genera en el diseño de una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación NFU. • Determinar las medidas que debería adoptar el Perú para poder implementar la producción de mezclas asfálticas modificadas en 	<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades de tecnología de materiales que se verían afectados por la adición del NFU son: aumento en la estabilidad de la carpeta asfáltica, incremento de la elasticidad lo que reduce la formación de ahuellamiento, incremento en la resistencia a la fatiga, mejora la adherencia entre la carpeta asfáltica y los neumáticos, reduce el ruido por tránsito, mayor vida útil y mejor adherencia en presencia de agua. Diseñar una mezcla asfáltica modificada en caliente con la incorporación del NFU implica: aumento en las temperaturas de mezclas y compactación, incremento 	Implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente en el Perú para el año 2025.

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué costo–beneficio implica la producción de mezclas asfálticas en caliente con incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú? 	<p>caliente con la incorporación de NFU al 2025.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar un análisis del costo–beneficio de la producción de mezclas asfálticas modificadas en caliente con la incorporación de NFU, respecto al convencional en el Perú. 	<p>de la energía de compactación, se priorice el control de la mezcla Asfalto – NFU.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se debería implementar una normativa que contemple el almacenamiento, procesamiento y producción de NFU para mezclas asfálticas, establecer una normativa donde el Perú a través del MTC “Ministerio de Transportes y Comunicaciones” obligue el uso del NFU en todas las obras de pavimentación. • Los beneficios de usar mezclas asfálticas en caliente con incorporación de los NFU son los mencionados en el ítem 1), sin embargo se tendría un costo de producción inicial elevado debido a que se requiere el uso de aditivos para garantizar la adherencia NFU - Asfalto, maquinarias, tiempo y materiales para el procesamiento del NFU, aumentar cuidados en el diseño y producción de las mezcla asfáltica modificada; el cual sería compensado con aumento de la vida útil del pavimento; haciendo factible así el uso de este tipo de mezclas asfálticas modificadas. 	
---	--	---	--

Anexo 2: Operacionalización de Variables de la tesis titulada “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LAS IMPLICANCIAS DE IMPLEMENTAR MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS EN CALIENTE CON INCORPORACIÓN DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) EN EL PERÚ AL 2025”

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores
<p>Dependiente:</p> <p>Implicancias de implementar mezclas asfálticas modificadas en caliente en el Perú para el año 2025.</p>	<p>Son métodos que permiten identificar si un tramo de concentración de accidente (TCA) o una intersección específica debe ser considerada como punto negro o no.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de vida de los peruanos en el 2025. 		<ul style="list-style-type: none"> • % de reducción de NFU en el Perú. • % de reducción de accidentes de tránsito con el uso de NFU en vías pavimentadas. • Realizar un listado de características que indiquen mejoras y/o daños a calidad de vida de las personas, medio ambiente, entre otros.
<p>Independiente:</p> <p>Incorporar NFU en diseño de mezclas asfálticas en caliente en el Perú para el año 2025.</p>	<p>Son propuestas planteadas por las metodologías de identificación de puntos negros, que a través de sus promedios ponderados en las zonas de accidentes de tránsito permiten tomar soluciones para prevenir y reducir los accidentes de tránsito.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad de las mezclas asfálticas en caliente con la incorporación del NFU en su diseño. • El costo de producción de mezclas asfálticas con NFU 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de materiales naturales y procesados para su uso en mezclas asfálticas con NFU. • Disponibilidad de equipos y herramientas necesarias para la fabricación de mezclas asfálticas con NFU. • Disponibilidad de normativa y manuales para la fabricación de mezclas asfálticas con NFU, según las condiciones presentadas en Perú. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de materiales necesarios disponibles en la actualidad y la proyección al 2025. • Cantidad de equipos necesarios disponibles en Perú en la actualidad, y listado de los equipos necesarios a disponerse para el 2025. • Listado de normativas disponibles en la actualidad en Perú y listado de normativas mínimas necesarias para la implementación adecuada del uso de mezclas asfálticas con incorporación de NFU. • % de variación entre el costo de producción de pavimentos convencionales y modificados con NFU.

Anexo 3: Data parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo: 2007-2018.

(Unidades vehiculares)

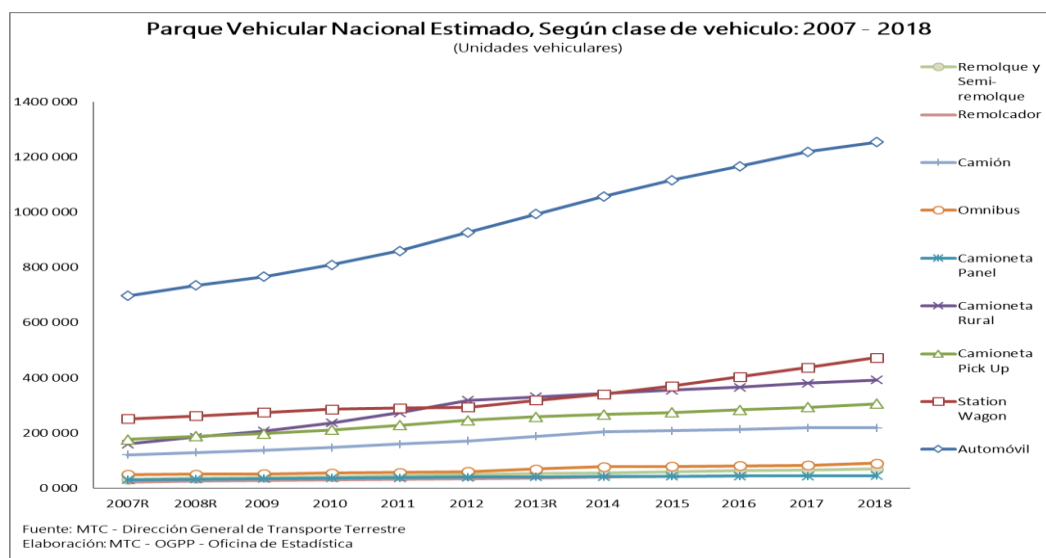
CLASE DE VEHÍCULO	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327
Automóvil	696 897	735 314	766 742	809 967	860 366	927 698	993 705	1 058 075	1 116 226	1 167 041	1 220 121	1 254 803
Station Wagon	250 979	261 441	274 566	285 300	289 649	292 840	318 022	340 009	369 554	403 193	436 923	472 955
Camioneta Pick Up	176 111	187 940	196 833	210 988	228 321	246 205	258 028	266 305	274 153	283 479	293 292	305 855
Camioneta Rural	159 829	184 328	207 067	235 889	272 596	318 484	330 472	342 645	354 858	365 316	379 895	391 591
Camioneta Panel	29 684	32 498	34 172	36 184	37 847	39 476	40 938	41 976	42 892	43 387	43 935	44 349
Omnibus	48 542	49 882	51 563	54 389	56 704	59 088	69 128	77 773	78 579	80 119	82 377	90 315
Camión	120 661	129 295	137 407	147 293	158 939	171 407	187 970	203 180	208 216	213 155	218 006	217 931
Remolcador	20 872	24 890	26 457	28 679	30 779	33 722	36 017	39 482	41 514	43 604	45 352	47 074
Remolque y Semi-remolque	30 728	35 382	38 027	41 001	44 664	48 917	53 595	54 251	58 141	62 425	66 200	69 454

R/: Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

P/: Estimacion Preliminar.

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 4: Diagrama parque vehicular nacional estimado, según clase de vehículo: 2007-2018.



Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

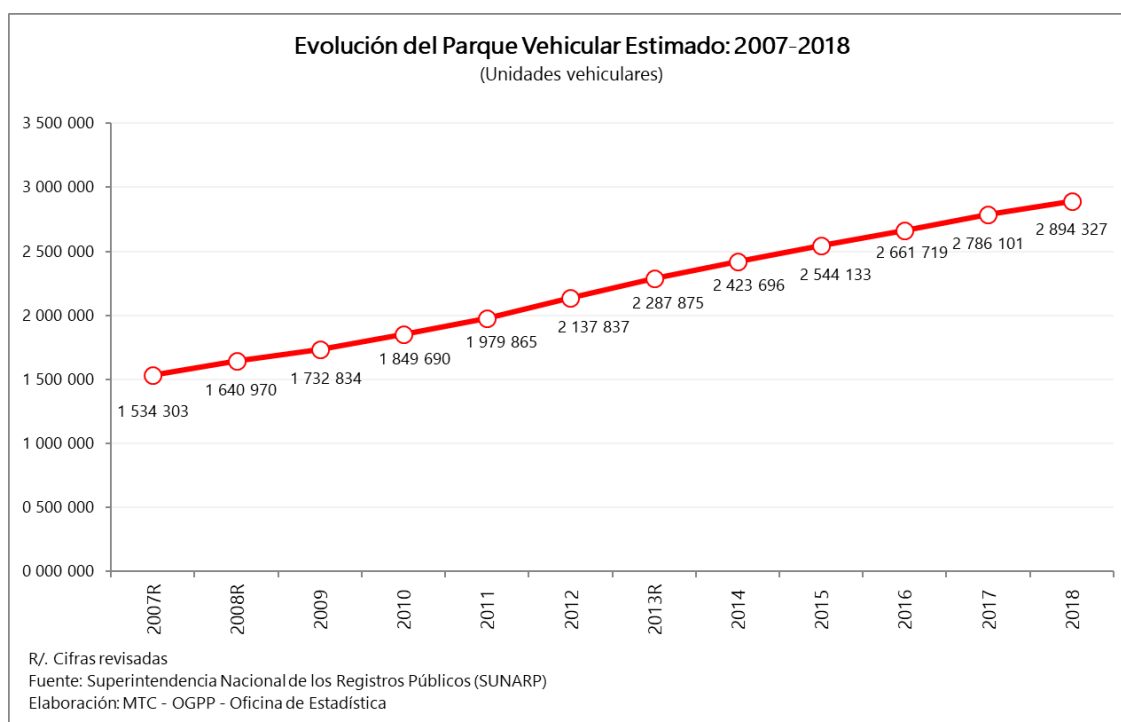
Anexo 5: Data parque vehicular estimado, según departamento: 2007-2018

(Unidades vehiculares)												
DEPARTAMENTO	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327
Amazonas	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314	2 275	2 273	2 227	2 182
Ancash	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	27 542	29 573	31 213	33 542	34 923	36 190
Apurímac	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 083	4 139	4 192	4 216	4 177	4 120
Arequipa	84 829	91 674	98 270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315	187 929	200 560	211 735
Ayacucho	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 968	6 021	6 022	6 041	6 015	5 918
Cajamarca	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	21 461	22 664	23 740	24 943	26 224	27 674
Cusco	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	59 459	64 820	69 213	73 997	79 874	84 942
Huancavelica	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 300	1 315	1 286	1 286	1 259	1 235
Huánuco	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	14 261	14 911	15 648	16 382	16 915	17 367
Ica	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 398	26 439	26 715	27 092	27 423	27 558
Junín	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	59 019	61 933	64 576	67 049	69 760	72 316
La Libertad	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	172 968	178 433	183 931	190 073	196 040	202 558
Lambayeque	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	58 142	61 896	65 160	68 261	71 328	74 092
Lima y Callao	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 498 037	1 590 755	1 674 145	1 752 919	1 837 347	1 908 672
Loreto	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 443	5 533	5 501	5 501	5 489	5 477
Madre de Dios	870	913	941	986	1 027	1 062	1 123	1 136	1 161	1 223	1 308	1 383
Moquegua	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 944	14 979	14 931	14 931	14 887	14 810
Pasco	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 108	6 956	6 804	6 804	6 660	6 545
Piura	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	46 029	49 576	52 390	55 060	57 740	60 006
Puno	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041
San Martín	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 271	11 648	12 047	12 358	12 669	13 052
Tacna	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 960	47 180	48 201	49 382	50 858	52 161
Tumbes	3 042	3 040	3 054	3 086	3 119	3 257	3 320	3 372	3 415	3 451	3 423	3 375
Ucayali	7 383	7 441	7 441	7 481	7 679	7 987	8 319	8 745	9 052	9 310	9 608	9 918

R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 6: Diagrama evolución del parque vehicular estimado: 2007-2018



Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 7: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2011

Departamento	TOTAL	CLASE DE VEHICULO								
		Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	1 979 865	860 366	289 649	228 321	272 596	37 847	56 704	158 939	30 779	44 664
Amazonas	2 407	267	743	461	337	30	65	333	62	109
Ancash	23 322	8 189	4 323	3 127	4 300	205	648	2 082	195	253
Apurímac	3 966	520	1 607	342	643	60	142	625	13	14
Arequipa	118 985	54 462	10 105	15 408	14 740	1 855	2 575	11 537	3 448	4 855
Ayacucho	5 784	1 731	1 039	683	790	66	256	1 111	48	60
Cajamarca	17 320	3 480	4 048	3 174	3 488	368	307	1 503	157	795
Cuzco	48 491	14 593	11 224	6 727	7 288	529	1 465	6 460	137	68
Huancavelica	1 317	222	394	174	167	22	100	198	36	4
Huánuco	12 576	5 403	1 093	2 427	1 014	43	302	1 739	111	444
Ica	26 419	13 004	3 738	3 072	2 261	302	858	2 435	398	351
Junín	53 118	15 457	11 439	7 144	6 142	281	1 832	8 626	910	1 287
La Libertad	162 026	63 540	20 495	22 986	13 648	1 304	6 207	18 902	3 675	11 269
Lambayeque	49 440	19 726	5 070	7 669	6 221	1 051	806	6 945	533	1 419
Lima */	1 287 454	614 135	182 400	128 657	184 362	25 427	35 972	76 857	19 151	20 493
Loreto	5 211	1 966	399	963	706	75	361	721	9	11
Madre de Dios	1 027	91	308	234	143	23	23	192	10	3
Moquegua	14 003	4 314	3 557	1 886	2 311	441	449	870	99	76
Pasco	7 292	1 245	2 094	357	847	95	490	1 746	190	228
Piura	39 099	15 517	3 754	8 446	4 828	363	879	4 436	482	394
Puno	37 074	4 776	8 122	3 782	11 061	3 523	1 049	4 127	277	357
San Martín	10 418	1 550	989	3 928	1 468	68	204	1 857	162	192
Tacna	42 318	13 629	11 169	4 458	4 383	1 622	1 426	4 247	601	783
Tumbes	3 119	890	509	497	519	65	92	470	27	50
Ucayali	7 679	1 659	1 030	1 719	929	29	196	920	48	1 149

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 8: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2012

Departamento	TOTAL	CLASE DE VEHICULO								
		Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 137 837	927 698	292 840	246 205	318 484	39 476	59 088	171 407	33 722	48 917
Amazonas	2 400	265	742	452	351	29	66	327	61	107
Ancash	25 418	9 390	4 261	3 429	4 845	207	644	2 202	193	247
Apurímac	4 039	545	1 584	346	706	59	145	626	14	14
Arequipa	134 533	62 078	10 298	16 910	18 508	1 898	2 826	12 906	3 807	5 302
Ayacucho	5 941	1 797	1 046	727	818	65	257	1 119	51	61
Cajamarca	19 673	4 242	4 033	3 643	4 299	374	365	1 740	198	779
Cuzco	53 675	16 825	11 494	7 331	8 622	544	1 664	6 967	162	66
Huancavelica	1 323	223	412	170	163	23	98	195	35	4
Huánuco	13 476	5 904	1 086	2 531	1 232	70	310	1 800	109	434
Ica	26 551	13 128	3 736	3 085	2 303	296	845	2 422	389	347
Junín	56 237	16 860	11 818	7 508	6 966	284	1 809	8 782	893	1 317
La Libertad	167 325	65 494	20 312	23 629	15 167	1 338	6 310	19 438	3 863	11 774
Lambayeque	53 902	21 980	5 073	8 164	7 335	1 053	799	7 331	526	1 641
Lima */	1 395 576	659 127	184 313	140 935	216 218	26 942	37 686	85 245	21 531	23 579
Loreto	5 313	1 993	392	969	767	77	356	739	9	11
Madre de Dios	1 062	104	323	230	154	23	23	192	10	3
Moquegua	14 608	4 582	3 617	1 923	2 499	435	472	906	98	76
Pasco	7 238	1 236	2 114	352	845	93	481	1 708	186	223
Piura	42 404	17 097	3 765	8 955	5 730	369	924	4 692	480	392
Puno	40 543	5 663	8 444	3 995	12 890	3 503	1 039	4 360	276	373
San Martín	10 926	1 764	995	4 022	1 627	68	199	1 903	159	189
Tacna	44 430	14 612	11 441	4 624	4 864	1 634	1 480	4 371	598	806
Tumbes	3 257	971	506	511	550	64	90	490	26	49
Ucayali	7 987	1 818	1 035	1 764	1 025	28	200	946	48	1 123

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 9: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2013

Departamento	TOTAL	CLASE DE VEHICULO								
		Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 287 875	993 705	318 022	258 028	330 472	40 938	69 128	187 970	36 017	53 595
Amazonas	2 351	262	726	442	344	28	66	319	60	104
Ancash	27 542	10 872	4 170	3 606	5 146	220	803	2 292	191	242
Apurímac	4 083	587	1 548	354	727	58	155	626	14	14
Arequipa	149 892	69 801	10 178	18 244	21 568	1 919	3 792	14 678	3 727	5 985
Ayacucho	5 968	1 811	1 032	733	837	64	269	1 110	51	61
Cajamarca	21 461	4 926	3 991	3 984	4 755	373	543	1 931	198	760
Cuzco	59 459	19 722	11 380	8 055	9 591	544	2 265	7 634	203	65
Huancavelica	1 300	220	407	166	161	22	96	190	34	4
Huánuco	14 261	6 304	1 069	2,638	1,405	71	363	1 880	107	424
Ica	26 398	13 036	3 698	3,057	2,302	290	896	2 397	380	342
Junín	59 019	18 230	11 788	7,859	7,623	287	2 041	8 952	874	1 365
La Libertad	172 968	68 036	19 909	24 070	16 614	1 358	6 646	20 021	3 992	12 322
Lambayeque	58 142	24 520	4 984	8 511	8 102	1 049	1 045	7 619	0 515	1 797
Lima */	1 498 037	701 245	210 621	148 137	218 206	28 445	43 596	97 137	23 807	26 843
Loreto	5 443	2 019	383	973	847	75	355	770	9	12
Madre de Dios	1 123	151	327	227	163	22	28	191	11	3
Moquegua	14 944	4 719	3 589	1 940	2 608	431	516	965	98	78
Pasco	7 108	1 215	2 084	347	827	91	472	1,672	182	218
Piura	46 029	19 062	3 717	9 325	6 639	379	1 060	4 980	472	395
Puno	43 477	6 499	8 496	4 301	13 361	3 432	2 055	4 683	271	379
San Martín	11 271	1 937	976	4 100	1 714	67	214	1 921	155	187
Tacna	45 960	15 497	11 440	4 628	5 227	1 621	1 554	4 549	593	851
Tumbes	3 320	1 031	495	517	563	63	90	487	26	48
Ucayali	8 319	2 003	1 014	1 814	1 142	29	208	966	47	1 096

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

R/: Cifras Revisadas.

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 10: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2014

Departamento	TOTAL	CLASE DE VEHICULO								
		Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 423 696	1 058 075	340 009	266 305	342 645	41 976	77 773	203 180	39 482	54 251
Amazonas	2 314	261	711	433	342	27	66	313	59	102
Ancash	29 573	12 344	4 080	3 790	5 404	219	958	2 352	188	238
Apurímac	4 139	664	1 514	359	737	57	153	627	14	14
Arequipa	164 302	77 604	9 978	19 253	24 606	1 921	4 699	16 078	4 318	5 845
Ayacucho	6 021	1 895	1 009	739	842	63	266	1 091	56	60
Cajamarca	22 664	5 439	3 905	4 219	5 049	368	672	2 074	196	742
Cuzco	64 820	23 228	11 144	8 375	10 558	536	2 681	8 023	212	63
Huancavelica	1 315	220	421	165	163	21	95	192	34	4
Huánuco	14 911	6 633	1 048	2 733	1 569	72	395	1 942	105	414
Ica	26 439	13 078	3 622	3 060	2 355	285	976	2 357	371	335
Junín	61 933	19 795	11 554	8 256	8 468	284	2 204	9 158	856	1 358
La Libertad	178 433	70 798	19 474	24 372	17 957	1 355	6 925	20 853	4 299	12 400
Lambayeque	61 896	26 777	4 883	8 774	8 795	1 038	1 372	7 939	521	1 797
Lima */	1 590 755	741 231	234 686	152 877	220 918	29 628	49 035	108 333	26 377	27 670
Loreto	5 533	2,026	416	971	895	74	358	768	11	14
Madre de Dios	1 136	170	321	226	167	21	29	188	11	3
Moquegua	14 979	4 771	3 516	1 944	2 633	422	531	985	100	77
Pasco	6 956	1 192	2 040	339	808	89	461	1 635	179	213
Piura	49 576	20 868	3 656	9 775	7 541	382	1 239	5 253	475	387
Puno	45 056	7 239	8 340	4 473	13 633	3 361	2 510	4 855	272	373
San Martín	11 648	2 133	0 955	4 149	1 818	65	237	1 954	151	186
Tacna	47 180	16 353	11 259	4 627	5 543	1 597	1 603	4 753	606	839
Tumbes	3 372	1 106	484	506	572	62	88	482	25	47
Ucayali	8 745	2 250	993	1 890	1 272	29	220	975	46	1 070

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 11: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2015

Departamento	CLASE DE VEHICULO									
	TOTAL	Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 544 133	1 116 226	369 554	274 153	354 858	42 892	78 579	208 216	41 514	58 141
Amazonas	2 275	261	698	423	338	26	64	307	58	100
Ancash	31 213	13 531	4 318	3 884	5 492	227	940	2 404	184	233
Apurímac	4 192	744	1,495	369	729	58	152	616	15	14
Arequipa	176 315	83 827	12 034	20 266	25 984	1 943	4 886	16 338	4 627	6 410
Ayacucho	6 022	1 944	996	736	831	64	266	1 070	55	60
Cajamarca	23 740	5 915	4 146	4 412	5 175	370	662	2 141	193	726
Cuzco	69 213	26 105	11 706	8 773	10 854	548	2 812	8 130	219	66
Huancavelica	1 286	215	412	161	159	21	93	188	33	4
Huánuco	15 648	7 068	1 196	2 789	1 642	75	394	1 976	103	405
Ica	26 715	13 414	3 608	3 033	2 348	280	1,032	2 304	363	333
Junín	64 576	21 148	11 932	8 508	9 051	285	2 170	9 248	839	1 395
La Libertad	183 931	74 100	20 416	24 633	18 152	1 358	6 996	20 928	4 402	12 946
Lambayeque	65 160	28 868	5 396	8 992	9 116	1 038	1 351	8 045	511	1 843
Lima */	1 674 145	777 513	258 131	157 741	229 701	30 576	49 470	112 548	28 062	30 403
Loreto	5 501	2 028	438	957	879	73	350	750	12	14
Madre de Dios	1 161	195	320	223	171	23	30	185	11	3
Moquegua	14 931	4 808	3 498	1 917	2 606	417	532	979	99	75
Pasco	6 804	1 167	1 995	331	791	87	451	1 599	175	208
Piura	52 390	22 346	4 286	10 087	7 750	392	1 257	5 427	467	378
Puno	46 200	7 882	8 597	4 616	13 808	3 298	2 495	4 873	266	365
San Martín	12 047	2 352	1,023	4 204	1 874	65	232	1,967	148	182
Tacna	48 201	17 172	11,332	4 676	5 567	1 577	1 642	4 746	603	886
Tumbes	3 415	1 170	488	498	571	61	86	471	24	46
Ucayali	9 052	2 453	1,093	1 924	1 269	30	216	976	45	1 046

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 12: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2016

Departamento	CLASE DE VEHICULO									
	TOTAL	Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 661 719	1 167 041	403 193	283 479	365 316	43 387	80 119	213 155	43 604	62 425
Amazonas	2 273	261	698	423	338	26	64	307	58	98
Ancash	33 542	14 484	5 472	4 009	5 555	235	940	2 415	199	233
Apurímac	4 216	788	1,481	371	725	58	150	612	17	14
Arequipa	187 929	89 335	14 236	21 353	27 142	1 989	5 099	16 853	4 804	7 118
Ayacucho	6 041	1 999	993	732	827	64	261	1 050	56	59
Cajamarca	24 943	6 419	4 440	4 616	5 326	385	659	2 173	213	712
Cuzco	73 997	29 313	12 253	9 108	11 300	578	2 938	8 160	281	66
Huancavelica	1 286	215	412	161	159	21	93	188	33	4
Huánuco	16 382	7 411	1 357	2 853	1 769	82	403	1 993	118	396
Ica	27 092	13 765	3 616	3 046	2 408	281	1,040	2 254	355	327
Junín	67 049	22 296	12 308	8 749	9 715	295	2 139	9 231	881	1 435
La Libertad	190 073	77 440	21 459	25 037	18 382	1 372	7 105	21 208	4 548	13 522
Lambayeque	68 261	30 741	5 908	9 192	9 418	1 034	1 348	8 088	572	1 960
Lima */	1 752 919	807 529	284 251	163 793	236 502	31 006	50 441	116 601	29 520	33 276
Loreto	5 501	2 028	438	957	879	73	350	750	12	14
Madre de Dios	1 223	250	324	222	177	23	30	183	11	3
Moquegua	14 931	4 808	3 498	1 917	2 606	417	532	979	99	75
Pasco	6 804	1 167	1 995	331	791	87	451	1 599	175	208
Piura	55 060	23 771	4 922	10 378	7 915	400	1 280	5 503	518	373
Puno	47 696	8 711	8 867	4 740	14 029	3 246	2 562	4 887	297	357
San Martín	12 358	2 479	1 104	4 260	1 934	66	228	1 956	153	178
Tacna	49 382	18 040	11 476	4 777	5 580	1 556	1 703	4 727	614	909
Tumbes	3 451	1 213	488	495	570	61	86	468	24	46
Ucayali	9 310	2 578	1 197	1 959	1 269	32	217	970	46	1 042

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 13: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2017

Departamento	CLASE DE VEHICULO									
	TOTAL	Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 786 101	1 220 121	436 923	293 292	379 895	43 935	82 377	218 006	45 352	66 200
Amazonas	2 227	257	684	414	331	25	63	300	57	96
Ancash	34 923	15 168	5 895	4 125	5 697	249	924	2 424	212	229
Apurímac	4 177	794	1,462	368	715	57	148	601	18	14
Arequipa	200 560	94 215	17 614	22 280	28 611	2 076	5 537	17 453	4 974	7 800
Ayacucho	6 015	2 010	1,000	727	813	64	255	1 032	56	58
Cajamarca	26 224	7 029	4 751	4 668	5 542	391	671	2 236	240	696
Cuzco	79 874	32 152	13 873	9 621	11 924	632	3 050	8 192	334	96
Huancavelica	1 259	211	403	157	156	21	91	184	32	4
Huánuco	16 915	7 629	1 532	2 868	1 872	87	414	1 997	129	387
Ica	27 423	13 867	3 754	3 060	2 476	283	1,097	2 216	350	320
Junín	69 760	23 403	12 906	8 883	10 460	319	2 108	9 275	931	1 475
La Libertad	196 040	79 758	23 155	25 304	18 775	1 418	7 263	21 628	4 700	14 039
Lambayeque	71 328	32 076	6 862	9 399	9 747	1 050	1 363	8 125	620	2 086
Lima */	1 837 347	843 236	306 924	171 083	246 408	31 344	51 672	120 298	30 651	35 731
Loreto	5 489	2 039	458	947	870	72	343	734	12	14
Madre de Dios	1 308	296	344	228	193	24	30	179	11	3
Moquegua	14 887	4 826	3 489	1 899	2 588	410	535	967	100	73
Pasco	6 660	1 142	1 953	324	776	85	441	1 565	171	203
Piura	57 740	25 066	5 795	10 521	8 108	425	1 304	5 591	565	365
Puno	49 387	9 500	9 208	4 837	14 327	3 193	2 756	4 894	323	349
San Martín	12 669	2 669	1 213	4 216	1 982	69	225	1 959	162	174
Tacna	50 858	18 802	11 855	4 908	5 674	1 544	1 789	4 731	631	924
Tumbes	3 423	1 211	490	489	562	61	84	458	23	45
Ucayali	9 608	2 765	1 303	1 966	1 288	36	214	967	50	1 019

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 14: Data parque automotor nacional estimado por clase de vehículo, según departamento: 2018

Departamento	CLASE DE VEHICULO									
	TOTAL	Automovil	Station Wagon	Camionetas			Omnibus	Camión	Remolcador	Remolque Semi-Rem.
				Pick Up	Rural	Panel				
TOTAL	2 894 327	1 254 803	472 955	305 855	391 591	44 349	90 315	217 931	47 074	69 454
Amazonas	2 182	252	670	405	325	24	62	294	56	94
Ancash	36 190	15 930	6 189	4 249	5 804	250	949	2 386	209	224
Apurímac	4 120	791	1,436	364	705	56	147	588	18	15
Arequipa	211 735	97 928	20 325	24 043	29 863	2 118	6 363	17 653	5 137	8 305
Ayacucho	5 918	1 982	983	716	800	63	252	1 010	55	57
Cajamarca	27 674	7 458	5 188	4 955	5 758	390	796	2 211	237	681
Cuzco	84 942	35 098	14 601	10 103	12 603	638	3 244	8 204	348	103
Huancavelica	1 235	207	395	155	153	21	89	180	31	4
Huánuco	17 367	7 751	1 684	2 932	1 987	87	453	1 966	128	379
Ica	27 558	13 918	3 841	3 089	2 475	279	1,080	2 219	343	314
Junín	72 316	24 316	13 524	9 195	11 121	340	2 281	9 096	919	1 524
La Libertad	202 558	82 165	24 762	25 897	19 193	1 428	7 885	21 633	4 976	14 619
Lambayeque	74 092	33 522	7 455	9 669	10 012	1 044	1 567	8 022	613	2 188
Lima */	1 908 672	862 480	334 248	178 910	253 880	31 781	57 006	120 595	31 980	37 792
Loreto	5 477	2 014	515	936	861	70	337	718	12	14
Madre de Dios	1 383	356	357	226	202	23	30	175	11	3
Moquegua	14 810	4 840	3 462	1 889	2 558	402	531	954	103	71
Pasco	6 545	1 132	1 923	317	761	83	432	1 531	167	199
Piura	60 006	26 218	6 429	10 790	8 209	425	1 498	5 519	561	357
Puno	51 041	10 092	9 591	5 107	14 675	3 148	2 863	4 907	317	341
San Martín	13 052	2 776	1 341	4 275	2 053	68	285	1 920	160	174
Tacna	52 161	19 487	12 107	5 127	5 731	1 516	1 861	4 756	621	955
Tumbes	3 375	1 202	481	480	555	60	82	448	23	44
Ucayali	9 918	2 888	1 448	2 026	1 307	35	222	946	49	0 997

*/: Se incluye la Provincia Constitucional del Callao

Fuente: MTC - OGPP - Oficina de Estadística (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2020).

Anexo 15: Análisis de costo unitario partida carpeta asfáltica en caliente

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.04 Descripción: CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE E=0.075 M (3")

Rendimiento: m3/DÍA MO. 240.0000 EQ. 240.0000 Unidad: m3 **33.87**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial U\$
Mano de Obra						
0190020001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO	hh	13.0000	0.4333	2.85	1.23
0190020020	OPERDOR	hh	7.5000	0.2500	2.85	0.71
0190020040	PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.0000		2.45	0.12
						2.57
Equipos						
0390040002	RODILLO NEUMATICO 9-16 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390040003	RODILLO TANDEM 6.5 TN	hm	1.0000	0.0333	31.00	1.03
0390050001	PAVIMENTADORA 95 HP	hm	1.0000	0.0333	60.00	2.00
0390080001	COMPRESORA NEUMATICA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
0390120001	TRACTOR AGRÍCOLA	hm	1.0000	0.0333	21.00	0.70
						5.46
Subpartidas						
909001012005	PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTIC.	m3		1.0000	25.84	25.84
						25.84

Fuente: "COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: "CAUCHO ASFALTO", LIMA – PERU" (Quispe Espinoza, 2006)

Anexo 16: Análisis de costo unitario partida preparación de mezcla asfáltica

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.09 Descripción: PREPARACION DE MEZCLA ASFÁLTICA

Rendimiento: m3/DÍA MO. 240.00 EQ. 240.00 Unidad: m3 25.84

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial US\$
Mano de Obra						
0190020001	CAPATAZ	hh	1.0000	0.0333	5.86	0.20
0190020010	OPERARIO	hh	4.0000	0.1333	2.85	0.38
0190020040	PEON	hh	4.0000	0.1333	2.30	0.31
0190020041	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	0.89	0.04
						0.93
Materiales						
0253000003	PETROLEO INDUSTRIAL	gl		4.0000	1.28	5.12
						5.12
Equipos						
0390020001	CARGADOR FRONTAL 170 HP	hm	1.0000	0.0333	48.00	1.60
0390020001	GRUPO ELECTROGENO 150 KM	hm	1.0000	0.0333	18.00	0.60
0390130001	PLANTA DE ASFALTO 80-100 TN/HR	hm	1.0000	0.0333	298.24	9.93
						12.13
Subpartidas						
909001012003	TRITURACION DE AGREGADOS	m3		1.2400	5.44	6.75
909001012006	ZARANDEO DE MATERIALES	m3		0.3100	2.94	0.91
						7.66

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006)

Anexo 17: Análisis de costo unitario partida cemento asfáltico pen 60/70

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.10 Descripción: CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70

Rendimiento: gl/DÍA MO. EQ. Unidad: gl 1.21

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial US\$
Materiales						
0213020007	ASFALTO SÓLIDO PEN 60/70	gl		1.0000	1.21	1.21
						1.21

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006).

Anexo 18: Análisis de costo unitario partida relleno mineral (filler)

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
 FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.08 Descripción: RELLENO MINERAL (FILLER)

Rendimiento: kg/DÍA MO. EQ. Unidad: kg 0.22

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cant.	Precio	Parcial US\$
Mano de Obra						
0190020040	PEON	hh		0.0080	2.30	0.02
						0.02
Materiales						
0204000005	FILLER	kg		1.0000	0.20	0.20
						0.20

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006)

Anexo 19: Análisis de costo unitario partida aditivo para asfalto

Análisis de precio Unitario

OBRA : REHABILITACIÓN Y MEJRAMIENTO DE LA CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
TRAMO : CARRETERA CHICLAYO – CHONGOYAPE
FECHA : 31/12/2003

Partida : 03.09 Descripción: ADITIVO PARA ASFALTO

Rendimiento: kg/DÍA MO. EQ. Unidad: kg 7.35

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla Cant.	Precio	Parcial US\$
	Materiales				
0230230007	ADITIVO MEJ. DE ADHERENCIA	kg	1.0000	7.35	7.35
					7.35

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006).

Anexo 20: Análisis de cantidades para el diseño MAC-02 – Diseño convencional

ANÁLISIS DE CANTIDADES PARA EL DISEÑO MAC-02

Característica de los materiales

	Materiales Componentes	Peso Especifico		% en peso de mezcla
		Aparente	Bulk	
Gb	Ligante Asfáltico PEN 60-70	1,0180		5,67%
Grm	Filler mineral (cal hidratada)	2,383		1,89%
Gag	Agregado grueso		2,710	41,49%
Gaf	Agregado fino		2,700	50,95%
	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000 (*) (%)			0,50%

(*) Incluido en el ligante asfáltico, % en peso del ligante asfáltico.

	Mezcla asfáltica	Peso Especifico Bulk
Gmb	Peso Especifico bruto de la muestra compactada (ton/m ³)	2,380

Pesos de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	ton/m ³
Wb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	ton	0,1349
Wrm	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450
Wag	Agregado grueso	ton	0,9875
Waf	Agregado fino	ton	1,2126

Wr	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	ton	0,000675
-----------	--	-----	-----------------

Volúmenes de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
Vb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	m ³	0,1326
Vrm	Filler mineral (cal hidratada)	m ³	0,0189
Vag	Agregado grueso	m ³	0,3644
Vaf	Agregado fino	m ³	0,4491

Cantidades de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35,019
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,6747
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450
ag	Agregado grueso	m ³	0,3644
af	Agregado fino	m ³	0,4491

Análisis de costo unitario por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³	Precio US	Parcial
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gl	35,019	1,21	42,37
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,6747	7,35	4,96
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0450	220,00	9,90
ag	Agregado grueso	m ³	0,3644	8,38	3,05
af	Agregado fino	m ³	0,4491	8,38	3,76
Total precio por m³				US	64,04

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006).

Anexo 21: Análisis de cantidades para el diseño MAC-02-AR-01 – Diseño modificado

ANÁLISIS DE CANTIDADES PARA EL DISEÑO MAC-02-AR-01

Característica de los materiales

	Materiales Componentes	Peso Especifico		% en peso de mezcla
		Aparente	Bulk	
Gbm	Ligante Modificado Caucho Asfalto (**)	1,0300		7,25%
Gc	Granos de Caucho Modificador	1,1000		1,31%
Gb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	1,0180		5,94%
Grm	Filler mineral (cal hidratada)	2,383		1,86%
Gag	Agregado grueso		2,710	40,80%
Gaf	Agregado fino		2,700	50,10%
	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000 (*) (%)			0,50%

(*) Incluido en el ligante asfáltico, % en peso del ligante asfáltico.

(**) Ligante total, suma del caucho y del cemento asfáltico.

	Mezcla asfáltica	Peso Especifico Bulk
Gmb	Peso Especifico bruto de la muestra compactada (ton/m ³)	2,335

Pesos de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	ton/m ³
Wc	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306
Wb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	ton	0,1387
Wrm	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434
Wag	Agregado grueso	ton	0,9527
Waf	Agregado fino	ton	1,1698

Wr	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	ton	0,000846
-----------	--	-----	----------

Volúmenes de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
Vc	Granos de Caucho Modificador	m ³	0,0278
Vb	Cemento Asfáltico PEN 60-70	m ³	0,1362
Vrm	Filler mineral (cal hidratada)	m ³	0,0182
Vag	Agregado grueso	m ³	0,3515
Vaf	Agregado fino	m ³	0,4333

Cantidades de los componentes por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³
gcm	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gln	35,993
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,8464
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434
ag	Agregado grueso	m ³	0,3515
af	Agregado fino	m ³	0,4333

Análisis de costo unitario por m³ de mezcla asfáltica

	Insumo	Und	Und/m ³	Precio US\$	Parcial
gcm	Granos de Caucho Modificador	ton	0,0306	265,00	8,11
ca	Cemento Asfáltico PEN 60-70	gl	35,993	1,21	43,55
a	Aditivo Mejorador de Adherencia Quimibond 3000	kg	0,8464	7,35	6,22
f	Filler mineral (cal hidratada)	ton	0,0434	220,00	9,55
ag	Agregado grueso	m ³	0,3515	8,38	2,95
af	Agregado fino	m ³	0,4333	8,38	3,63
Total precio por m³				U\$	74,01

Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006).

Anexo 22: Características del cemento asfáltico PEN 60/70

Ensayos realizados a la muestra original	Especificación	Resultado
Viscosidad cinemática, 135 °C (cSt)		364.5
Viscosidad absoluta, 60 °C, 300 mm Hg (P)		2566.1
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	60 – 70	68
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min (cm)	> 100.0	+100
Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland (°C)	> 232.0	291.3
Solubilidad en tricloroetileno	> 99.0	99.88

Ensayos realizados después de película fina, 3.2 mm, 163 °C, 5 h.	Especificación	Resultado
Pérdida (% masa)	< 0.80	0.10
Penetración del residuo (% de la original)	> 52.0	60.0
Ductilidad del residuo, 25 °C, 5 cm/min (cm)	> 50.0	+100

Ensayo	Especificación	Resultado
Índice de penetración (susceptibilidad térmica)	-1.0 – +1.0	0.83
Ensayo de la mancha		
Solvente Nafta Estándar	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno (%)	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno (%)	Negativo	Negativo


Fuente: “COMPORTAMIENTO MECANICO DE MEZCLAS ASFALTICAS MODIFICADAS CON CAUCHO: “CAUCHO ASFALTO”, LIMA – PERU” (Quispe Espinoza, 2006).

Anexo 23: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto convencional (MDC-19)
porcentajes 4.5%, 5.0% y 5.5%

ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFALTICO										
PROYECTO	ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.									
TEMPERTURA DE MEZCLA	150°C									
TEMPERTURA DE COMPACTACION	135° - 140°C									
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES									
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL						Gs. A. PETREOS	2,64 - 2,52		
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70						Gs. ASFALTO	1.012		
	DISEÑO CONVENCIONAL									
Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	4.5%	4.5%	4.5%	5.0%	5.0%	5.0%	5.5%	5.5%	5.5%	
Altura Briqueta (cm)	6.41	6.44	6.42	6.35	6.4	6.39	6.38	6.36	6.35	
Peso briqueta en aire Seca (g)	1187	1189	1194	1187	1186	1191	1193	1191	1197	
Peso briqueta en aire SSS (g)	1189	1191	1196	1189	1190	1193	1194	1192	1198	
Peso briqueta en agua (g)	660	658	661	664	665	663	665	663	665	
Lectura de carga (KN)	12.87	12.56	12.56	13.60	13.88	12.90	12.90	12.67	13.07	
Flujo (1/100") Milsimas pulgadas	145	150	150	140	140	135	155	155	150	
LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA E										
OBSERVACIONES	1 A 3 = 4.5% 4 A 6 = 5% 7 A 9 = 5.5% 10 A 12 = 6%									
Labta	<i>Fay. Lacerda S.</i>									
Reviso	PINZ HAB ORATORIO									

Fuente: "ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO" (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

Anexo 24: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto convencional (MDC-19)
porcentajes 6.0%

ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFALTICO									
PROYECTO	ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.								
TEMPERTURA DE MEZCLA	150°C								
TEMPERTURA DE COMPACTACION	135° - 140°C								
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES								
PROCEDENCIA AGREGADOS PETREOS	CONCRESCOL					Gs.A.PETREOS	2,64 - 2,52		
TIPO DE CEMENTO ASFALTICO	60-70					Gs. ASFALTO	1.012		
	DISENO CONVENCIONAL								
Briqueta No.	11	12	13						
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19						
% Asfalto	6.0%	6.0%	6.0%						
Altura Briqueta (cm)	6.36	6.35	6.35						
Paso briqueta en aire Seca (g)	1190	1191	1199						
Peso briqueta en aire SSS (g)	1191	1192	1200						
Peso briqueta en agua (g)	663	660	665						
Lectura de carga (KN)	12.56	12.18	12.24						
Flujo (1/100") Milsimas pulgadas	165	165	165						
LA LECTURA DE CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA E									
OBSERVACIONES	10 A 12 = 6%								
Lab: 	REVISO					REVISO			



Fuente: “ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO” (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

Anexo 25: Diseño Marshall para porcentajes de asfalto - caucho (MDC-GCR)
porcentajes 6.0%, 6.5% y 7.0%

ENSAYO MARSHALL (INV. E-748-13) - CONCRETO ASFÁLTICO MODIFICADO CON GCR									
PROYECTO	ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO.								
TEMPERATURA DE MEZCLA	160°C								
TEMPERATURA DE COMPACT	150-155°C								
No. DE GOLPES POR CAPA	75 GOLPES								
PROCEDENCIA AGREGADOS	CONCRESCOL						Gs. A PETREOS	2,64-2,52	
TIPO DE CEMENTO ASFALTI	ASFALTO CAUCHO						Gs. ASFALTO	1	
DISEÑO ASFALTO - CAUCHO									
Briqueta No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tipo de Mezcla	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19	MDC-19
% Asfalto	6.0%	6.0%	6.0%	6.5%	6.5%	6.5%	7.0%	7.0%	7.0%
Altura Briqueta (cm)	6.52	6.42	6.41	6.46	6.45	6.45	6.35	6.39	6.34
Peso briqueta en aire Seca (g)	1195	1192	1188	1197	1202	1194	1196	1195	1193
Peso briqueta en aire SSS (g)	1196	1193	1189	1198	1203	1194	1198	1196	1194
Peso briqueta en agua (g)	673	678	674	679	683	678	682	677	676
Lectura de carga (KN)	15.74	16.03	16.1	18.39	17.68	18.81	18.96	19.06	18.09
Flujo (1/100") Milsimas pulgada	150	170	170	155	160	160	140	150	140
E CARGA SE DEBE MULTIPLICAR POR LA CONSTANTE DE CALIBRACION DEL ANILLO (45,1) PARA EXPRESAR LA EST									
OBSERVACIONES	1 A 3 = 6% 4 A 6 = 6,5%								
	7 A 9 = 7% 10 A 12 = 7,5%								
Labita:	fay. Saez S.			Reviso:			PINZ HAB ORATORIO		

Fuente: "ESTUDIO COMPARATIVO DEL ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO DE UNA MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO CON GRANO DE CAUCHO RECICLADO" (Agudelo Cendales, y otros, 2019).

Anexo 25: Ficha técnica del ensayo de caracterización del caucho (análisis granulométrico).

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076	INFORME DE ENSAYO	
		0247/18 08-05-2018 Pág. 1 de 1	

Estudio
L.020.18

Dóna/Centro del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas – Amazonas – 2017

Descripción del proceso
 Caracterización de Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
 21-03-2018

Datos del solicitante
 Bach. Fredy Goicochea Fernandez –
 Universidad Nacional Toribio Rodríguez de
 Mendoza de Amazonas – Facultad de
 Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º **Ref. solicitante** **Fecha de recepción**
A0201/18 **Caucho** **21-03-2018**

Muestreo
 Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
 Caracterización de Caucho / Proporcionado por el Testista
Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]		REPORTE DE ENSAYO N.º
02.01 – Análisis Granulométrico de Agregado Fino y Grueso	ASTM C136/C136M-14	Facción Retenido en Tamiz N.º4:	Facción Pasante en Tamiz N.º4:	2114.16
		T# N.º4 = 100.0%	T# N.º8 = 100.0%	
			T# N.º10 = 99.9%	
			T# N.º16 = 71.1%	
			T# N.º20 = 29.4%	
			T# N.º30 = 13.4%	
			T# N.º40 = 6.4%	
			T# N.º50 = 2.5%	
			T# N.º60 = 1.1%	
			T# N.º80 = 0.3%	
			T# N.º100 = 0.2%	
			T# N.º140 = 0.1%	
			T# N.º200 = 0.1%	

Observaciones: ---

Anexos: 1 Reporte de Ensayo (1 Página).

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.


MOTA-ENGL PERU S.A.
 Ing. Martín Torres
 GERENTE AREA TECNICA/BAJOS
 Y SOSTENIBILIDAD

LABORATORIO MEP
 Av. Nicolás Ayllón 2524 Apto - Lima 3 - Perú
 Teléfono: +51 1 411 3570
 E-mail: laboratorio@motaaengl.pe

LABREP.679.2

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP.

REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.^o
A0201/18

Reporte N.^o
2114.18

Página
1/1

Fecha
28/mar/18

02.01 - Análisis Granulométrico de Agregado Fino y Grueso ASTM C136/C136M-14

Masa Inicial de la Muestra, p_1 (0.1g) = 5005.9
Masa Retenida en Tamiz No 4 (0.1g) = 0.0
Masa Pasante en Tamiz No 4 (0.1g) = 5005.9
Masa de la muestra después del Lavado, p_2 (0.1g) = 5003.8
Pérdidas en el Lavado, p_3 (0.1g) = 2.1

Muestra Seca al Aire

Muestra Seca en Horno (105-110°C)

Módulo de Finesa = 2.84

FRACCIÓN RETENIDA EN TAMIZ No. 4

Porcentaje de Material Retenido en Tamiz No. 4 (0.1%) = 0.0

Tamiz (Abertura)	Masa Retenida p_i	Parcial Retenido $N_i = \frac{p_i}{p_1} \times 100$	Acumulado Retenido N_c	Acumulado Pasante $N_c' = 100 - N_c$	
					(YN.°)
4	4.75	0.0	0.0	0.0	100.0

FRACCIÓN PASANTE EN TAMIZ No. 4

Porcentaje de Material Pasante en Tamiz No.4 (0.1%) = 100.0

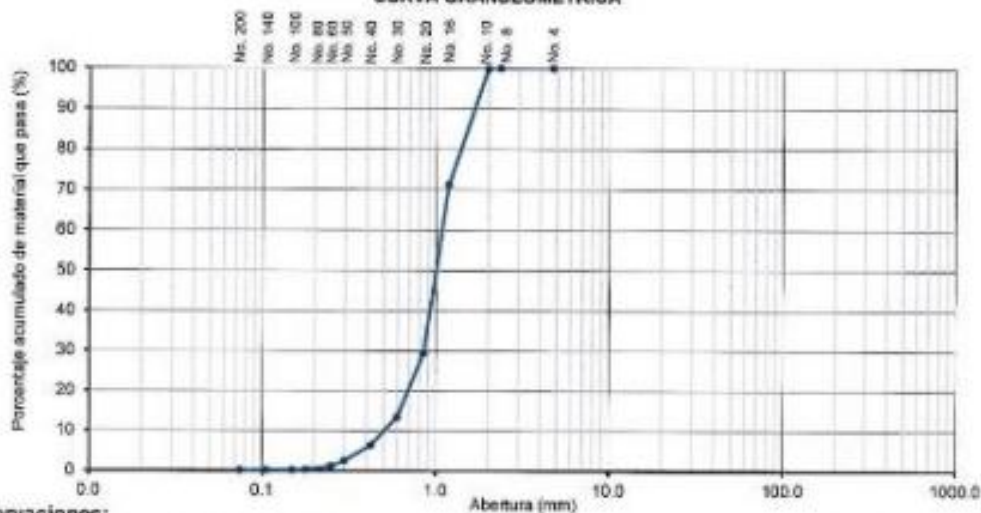
Masa a Ensayar (0.01g) = 5005.90

Tamiz (Abertura)	Masa Retenida p_i	Parcial Retenido $N_i = \frac{p_i}{p_2} \times 100$	Acumulado Retenido N_c	Acumulado Pasante $N_c' = 100 - N_c$	
					(N.°)
8	2.360	0.43	0.0	0.0	100.0
10	2.000	4.65	0.1	0.1	99.9
16	1.180	1439.39	28.8	28.9	71.1
20	0.850	2089.86	41.7	70.6	29.4
30	0.600	800.10	15.0	85.6	13.4
40	0.425	353.23	7.1	93.6	6.4
50	0.300	195.47	3.9	97.5	2.5
60	0.250	68.27	1.4	98.9	1.1
80	0.180	41.78	0.8	99.7	0.3
100	0.150	3.45	0.1	99.8	0.2
140	0.106	2.71	0.1	99.9	0.1
200	0.075	2.26	0.0	99.9	0.1

Masa Retenida en el Fondo, p_{300} (0.01g) = 2.46

Material Pasante en el Tamiz No. 200, $p_{300}' = p_3 + p_{200}$ (0.01g) = 4.58

CURVA GRANULOMÉTRICA



Observaciones:

Ensayo realizado en material Caucho. En la ejecución del ensayo, fueron añadidos los tamices con malla N.°16, N.°20, N.°40, N.°60, N.°80 y N.°140.

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO OLISPE
LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.

Jefe de Laboratorio

ANEXO 26: Fichas técnicas de los ensayos de laboratorio aplicados a las muestras producidas

	LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076		INFORME DE ENSAYO 0248/18 08-05-2018 Pág. 1 de 1		
	Estudio: L.020.18 Obra/Centro del solicitante: Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017				
Descripción del proceso: Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho			Datos del solicitante: Bch. Fredy Golcochea Fernandez - Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental		
Requisitos y especificaciones del solicitante: ---			Fecha de orden de servicio: 21-03-2018		
Muestra N.º: A0202/18		Ref. solicitante: Mezcla Asfáltica con Cemento Asfáltico PEN 60/70 Modificado: - Temperatura 160°C - 88% PEN 60/70 - 10% Caucho - 2% Azufre		Fecha de recepción: 21-03-2018	
Muestras: Responsabilidad del Solicitante					
Descripción/Procedencia: Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista					
Informe:					
ENSAYO		MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º	
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos		ASTM D5D5M-13	Penetración $p_{0.1, 25} = 34$	2116.18	
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)		ASTM D36	Temperatura A&B $p_{0.2, 10} = 51.2^{\circ}\text{C}$	2117.18	
Observaciones: ---					
Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).					
Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada. La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe. (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.					
LABORATORIO MEP Av. Nicolás Ayllón 2124 Ato - Lima 3 - Perú Teléfono: +51 1 414 3370 E-mail: laboratorio@motaperu-engl.pe			 MOTA-ENGI, PERU S.A. Ing. Martha TORRES GERENTE AREA TECNICA/INGEN Y SUPERVISOR		
LABMEP.675.2					

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.^o
A0202/18

Reporte N.^o
2116.18

Página
1/1

Fecha
7/may/18

03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.40	3.36	3.39	3
Penetración (x0.1 mm)	34	34	34	34

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio M&P

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
JORNAERISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

DAVID ESCOBAR
Jefe de Laboratorio

LABOR 302.4



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.°
A0202/18

Reporte N.°
2117.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	51.1	51.4	51.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio M&P

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.
David Cornejo
Jefe de Laboratorio

Laboratorio M&P



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0249/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estado
L.020.18

Objeto/Carátula del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante
Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º
A0203/18

Ref. solicitante
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- **Temperatura 160°C**
- **83% PEN 60/70**
- **15% Caucho**
- **2% Azufre**

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestra
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista

Informe

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $\phi(1 \text{ mm}) = 29$	2119.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $\phi(2 \text{ mm}) = 56.2^\circ\text{C}$	2120.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO NEP
Av. Arellano Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 434 3570
E-mail: laboratorionep@mota-engil.pe

LABNEP.670.2

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Maritza Torres
GERENTE AREA TECNICA IMAGEN
Y SOSTENIBLES

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio NEP

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
AC203/18Reporte N.º
2119.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.84	2.86	2.86	3
Penetración (x0.1 mm)	28	29	29	29

Este reporte de ensayo solo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP.

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

David C. Santos
Jefe de Laboratorio

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0203/18Reporte N.º
2120.18Página
1/1Fecha
07/may/1803.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36**CONDICIONES DEL ENSAYO**

Temperatura inicial del ensayo	°C	4.6
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	56.2	56.3	56.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MTP.

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.
David Cárdenas
Jefe de Laboratorio

LABREP-367-7



Estudio
L.020.18 Obra/Contorno del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º Ref. solicitante Fecha de recepción
**A0204/18 Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 160°C
- 78% PEN 60/70
- 20% Caucho
- 2% Azufre

Muestras
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Testista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $_{(0.1mm)} = 17$	2122.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $_{(0.1°C)} = 60.4°C$	2123.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Ayllón 2534 A02 - Lima 2 - Perú
Teléfono: +51 1 434 3570
E-mail: laboratorio@mepe@mota-engt.pe

LABMEP.678.2

MOTA-ENGE PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA/INGENIERIA
Y SOSTENIBLEAO

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.°
A0204/18Reporte N.°
2122.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	1.66	1.68	1.66	2
Penetración (x0.1 mm)	17	17	17	17

Este reporte de ensayo solo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

Eduardo Quispe
Jefe de Laboratorio

LABEP 300.4

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0204/18Reporte N.º
2123.18Página
1/1Fecha
07/may/1803.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36**CONDICIONES DEL ENSAYO**

Temperatura inicial del ensayo	°C	4.9
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	60.0	61.0	60.4
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 160°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISEPÉ
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

Jefe de Laboratorio

LABREP 01/1



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0251/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estudio
L.020.18 Obra/Centro del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Reguladas y especificaciones del solicitante --- **Fecha de orden de servicio**
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º **Ref. solicitante** **Fecha de recepción**
A0205/18 **Mezcla Asfáltica con** **21-03-2018**
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:
- **Temperatura 180°C**
- **88% PEN 60/70**
- **10% Caucho**
- **2% Azufre**

Muestra
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesisista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración $\phi 10mm = 35$	2125.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $\phi 10mm = 52.2^{\circ}C$	2126.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

MOTA-ENGIL PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA/ANÁLISIS
Y SISTEMAS

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Ayllón 2854 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
Email: laboratorio@mota-engil.pe

LABREP.670.2

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-076

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.°
A208/18Reporte N.°
2134.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D6/D6M 13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.84	3.82	3.84	4
Penetración (x0.1 mm)	38	38	38	38

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEIP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

LA-IMP-300.4

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTARevisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
David Lencinas
Jefe de Laboratorio

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A0208/18Reporte N.º
3135.18Página
1/1Fecha
07/may/1803.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36**CONDICIONES DEL ENSAYO**

Temperatura inicial del ensayo °C	4.8
Tipo de Baño	Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	54.2	54.2	54.2
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 10% de Caucho.

Elaborado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGIL PERU S.A.
DANIELA GARCIA
Jefe de Laboratorio

LABREP-001



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0255/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Título
L.020.18

Obra/Cartera del solicitante
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del solicitante

Fecha de orden de servicio
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Golcochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodríguez
de Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º
A0209/18

Ref. solicitante
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:
- Temperatura 200°C
- 83% PEN 60/70
- 15% Caucho
- 2% Azufre**

Fecha de recepción
21-03-2018

Muestra
Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Intendencia
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Tesista
Interno

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D505M-13	Penetración $_{101mm} = 32$	2137.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B $_{@1^{\circ}C} = 57.8^{\circ}C$	2138.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio MEP

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

LABORATORIO MEP
Av. Nicolás Ayllón 2624 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3570
E-mail: laboratorio@peru-mota-engil.pe

LABEP.670.2

MOTA-ENGIL-PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA-ANAGEN
Y SOSTENIBILIDAD

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.º
A209/18Reporte N.º
2137.18Página
1/1Fecha
7/may/1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	3.19	3.16	3.17	3
Penetración (x0.1 mm)	32	32	32	32

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C, Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO QUISPE
LABORATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

JEFE DE LABORATORIO
JEFE de Laboratorio

LABORatorio MEP



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.°
A0209/18

Reporte N.°
2138.18

Página
1/1

Fecha
07/may/18

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5.2
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	57.8	57.8	57.8
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 15% de Caucho.

Elaborado por
MOTA-ENGL PERU S.A.
EDUARDO QUISPE
T. LABORATORISTA

Revisado por
MOTA-ENGL PERU S.A.
DAVID GARCIA
Jefe de Laboratorio

LAB007-2011



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO
POR EL ORGANISMO PERUANO DE
ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO
N° LE-076

INFORME DE ENSAYO

0256/18
08-05-2018
Pág. 1 de 1



Estudio: **L.020.18**
Otra/Carrera del solicitante:
Estudio de un asfalto con adición de caucho de neumático reciclado como polímero base, Chachapoyas - Amazonas - 2017

Descripción del proceso:
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho

Requisitos y especificaciones del sistema:

Fecha de orden de servicio:
21-03-2018

Datos del solicitante

Bach. Fredy Goicochea Fernandez -
Universidad Nacional Toribio Rodriguez de
Mendoza de Amazonas - Facultad de
Ingeniería Civil y Ambiental

Muestra N.º: **A0210/18**
Ref. solicitante:
**Mezcla Asfáltica con
Cemento Asfáltico PEN
60/70 Modificado:**
- Temperatura 200°C
- 78% PEN 60/70
- 20% Caucho
- 2% Azufre

Fecha de recepción:
21-03-2018

Responsabilidad del Solicitante

Descripción/Procedencia:
Caracterización de Cemento Asfáltico Modificado con Caucho / Proporcionado por el Testista

ENSAYO	MÉTODO	RESULTADO [Incertidumbre si aplica]	REPORTE DE ENSAYO N.º
03.01 - Penetración de Materiales Bituminosos	ASTM D5/D5M-13	Penetración (0,1 mm) = 26	2140.18
03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola (*)	ASTM D36	Temperatura A&B (0,2 °C) = 67.8°C	2141.18

Observaciones: ---

Anexos: 2 Reportes de Ensayo (2 Páginas).

Este informe no puede ser reproducido total o parcialmente sin autorización del Laboratorio HEP.

Los resultados del presente informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que le produce.

Los resultados presentados se refieren únicamente a la muestra ensayada.

La fecha de ejecución de los ensayos se indica en los reportes de ensayo adjuntos que forman parte del presente informe.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.


MOTA-ENGIN PERU S.A.
Ing. Martha Torres
GERENTE AREA TECNICA
TEL: 073484547

LABORATORIO HEP
Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú
Teléfono: +51 1 414 3370
E-mail: laboratorio@motaingen.com.pe

LABOR 679.2

LABORATORIO HEP - MOTA-ENGIN PERU S.A. - Av. Nicolás Ayllón 2634 Ate - Lima 3 - Perú - Teléfono: +51 1 414 3370 - E-mail: laboratorio@motaingen.com.pe

**REPORTE DE ENSAYO**Muestra N.°
A0210/18Reporte N.°
2140.18Página
1/1Fecha
7/may'1803.01 - Penetración de Materiales Bituminosos
ASTM D5/D5M-13**CONDICIONES DE ENSAYO**

Temperatura de Ensayo	°C	25
Carga Total	g	100
Tiempo de Ensayo	s	5

ENSAYO

Determinación	1	2	3	Promedio
Penetración (mm)	2.55	2.58	2.56	3
Penetración (x0.1 mm)	26	26	26	26

Este reporte de ensayo sólo es válido si es parte integral de un informe de ensayo emitido por el Laboratorio MIEP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C, Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

EQUIPO QUISPE
L. JORJATORISTA

Revisado por

MOTA-ENGL PERU S.A.

CIVIL QUILAS
Jefe de Laboratorio

LAMEP-804



REPORTE DE ENSAYO

Muestra N.º A0210/18	Reporte N.º 2141.18	Página 1/1	Fecha 07/may/18
-------------------------	------------------------	---------------	--------------------

03.02 - Punto de Ablandamiento usando Anillo y Bola
ASTM D36

CONDICIONES DEL ENSAYO

Temperatura inicial del ensayo	°C	5.6
Tipo de Baño		Agua destilada

Determinación	1	2	Promedio
Temperatura A&B (0.2 °C)	67.7	67.9	67.8
Temperatura A&B (0.5 °C)	-	-	-

Este reporte de ensayo solo es válido si es parte integral de un Informe de ensayo emitido por el Laboratorio MFP

Observaciones:

Temperatura de Mezcla: 200°C. Mezcla Asfáltica con 20% de Caucho.

Elaborado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

EDUARDO DUISPE
LABORANTISTA

Revisado por

MOTA-ENGIL PERU S.A.

Jefe Ma Laboratorio

Lab007 201.1