



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORANDO CAUCHO RECICLADO DE NEUMÁTICOS, CAJAMARCA, 2016.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

César Augusto Cervera Borja

Asesor:

Ing. Fabián Sebastián Sánchez Portal

Cajamarca – Perú

2016

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **César Augusto Cervera Borja**, denominada:

**“INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA
ASFÁLTICA INCORPORANDO CAUCHO RECICLADO DE NEUMATICOS,
CAJAMARCA, 2016”**

Mg. Ing. Fabián Sebastián Sánchez Portal
ASESOR

Dr. Ing. Orlando Aguilar Aliaga
JURADO
PRESIDENTE

Dr. Ing. Miguel Mosqueira Moreno
JURADO

Ing. Gerson Quispe Rodríguez
JURADO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	2
<u>DEDICATORIA</u>	3
<u>AGRADECIMIENTO</u>	4
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	5
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	8
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	11
<u>ÍNDICE DE GRÁFICOS</u>	12
<u>RESUMEN</u>	14
<u>ABSTRACT</u>	15
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Limitaciones	17
1.5. Objetivos	18
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	18
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Bases teóricas.....	20
2.2.1. <i>Mezclas Asfálticas</i>	20
2.2.2. <i>Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas</i>	21
2.2.3. <i>Clasificación de las Mezclas Asfálticas</i>	24
2.2.4. <i>Consideraciones en el Diseño de la Mezcla</i>	26
2.3. Método de diseño de la Mezcla	26
2.4. Asfaltos modificados	28
2.4.1. <i>Mezcla Asfáltica con Adición de Partículas de Caucho Reciclado</i>	28
2.5. Utilización del caucho proveniente de neumáticos en desecho	30
2.5.1. <i>El reúso de llantas a partir de llantas usadas en la ciudad de Cajamarca</i>	31
2.5.2. <i>Uso de neumáticos reciclados a nivel mundial.</i>	32
2.6. Aplicación del grano de caucho reciclado (GCR) en los pavimentos	33
2.6.1. <i>Proceso vía húmeda</i>	33
2.6.2. <i>Proceso por vía seca</i>	34
2.7. Características de mezclas asfálticas	36
2.7.1. <i>Agregado Grueso y Fino</i>	36
2.7.2. <i>Gradación para la mezcla asfáltica en caliente (MAC):</i>	37
2.7.3. <i>Cemento asfáltico</i>	38

2.8.	Siglas.....	39
CAPÍTULO 3. HIPÓTESIS.....		40
3.1.	Formulación de la Hipótesis.....	40
3.2.	Operacionalización de Variables	40
3.2.1.	<i>Variable dependiente:</i>	40
3.2.2.	<i>Variable independiente:</i>	40
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....		41
4.1.	Tipo de diseño de Investigación.	41
4.2.	Material de estudio.....	41
4.2.1.	<i>Unidad de estudio</i>	41
4.2.2.	<i>Población.</i>	41
4.2.3.	<i>Muestra.</i>	41
4.3.	Técnicas, procedimientos e instrumentos.....	42
4.3.1.	<i>Para recolectar datos.</i>	42
4.3.2.	<i>Para analizar información.</i>	52
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....		53
5.1.	Ensayos de Calidad Realizados a los Agregados	53
5.1.1.	<i>Análisis Granulométrico por tamizado (NTP 339.128 y ASTM D422)</i>	53
5.1.2.	<i>Limite Líquido, Límite Plástico e índice Plástico (NTP 339.129 y ASTM D 4318)</i>	55
5.1.3.	<i>Equivalente de Arena (NTP 339.146 y ASTM D2419)</i>	56
5.1.4.	<i>Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso y Fino (NTP 400.021, ASTM C127 Y NTP 400.022, ASTM C128 respectivamente)</i>	57
5.1.5.	<i>Abrasión de los Ángeles al desgaste de los Agregados (MTC E207-2000 y ASTM C131)</i>	58
5.1.6.	<i>Porcentaje de caras Fracturadas</i>	59
5.1.7.	<i>Porcentaje de Partículas Chatas y Alargadas, NTP 400.040 y ASTM D-4791....</i>	59
5.1.8.	<i>Contenido De Sales Solubles Totales (NTP 339.152)</i>	60
5.2.	Definición de las Dimensiones y Granulometría del PCR	62
5.2.1.	<i>Análisis Granulométrico por Tamizado de PCR</i>	62
5.3.	Proporciones de Agregados y PCR Utilizados en el Diseño de Mezclas	63
5.3.1.	<i>Proporciones de Agregado en la Mezcla Convencional</i>	63
5.4.	Diseño Marshall de la Mezcla Patrón	65
5.5.	Preparación de la mezcla mediante proceso seco	74
5.5.1.	<i>Granulometría de la mezcla mejorada con caucho</i>	74
5.6.	Diseño Final	75
5.6.1.	<i>Parámetros Marshall</i>	75
5.7.	Comparación de variación de la Estabilidad y Flujo del MAC con PCR respecto al MAC tradicional.....	91
5.8.	Evaluación de cantidad de los agregados finos y gruesos respecto a la mezcla tradicional	95
5.9.	Costo Unitario de Producción de la Mezcla Asfáltica Tradicional y Modificada	96
5.9.1.	<i>Costo para realizar un tramo de 1 km</i>	97
5.9.2.	<i>Costo de mantenimiento periódico de carpetas asfálticas en el tramo de prueba</i>	97
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		98

CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	102
REFERENCIAS.....	103
ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Requerimiento para los Agregados Gruesos.....	36
Tabla N°2: Requerimiento para los Agregados Finos.....	37
Tabla N°3: Gradación para Mezcla Asfáltica en Caliente.....	37
Tabla N°4 Requisitos para la mezcla de concreto bituminoso (Manual de carreteras EG 2013).....	38
Tabla N°5 Vacíos mínimos en el agregado mineral (Manual de carreteras EG 2013).....	38
Tabla N°6: Selección del tipo de cemento asfáltico.....	39
Tabla N°7 Operacionalización de variables dependientes.....	40
Tabla N°8 Operacionalización de variables independientes.....	40
Tabla N°9 Análisis Granulométrico de Agregado Grueso.....	53
Tabla N°10: Análisis Granulométrico de Agregado Fino.....	54
Tabla N°11: Datos del ensayo de Límite Líquido.....	55
Tabla N°12 Ensayo de Límite Plástico.....	56
Tabla N° 13 Resultados del Ensayo Equivalente de Arena.....	56
Tabla N° 14 Resultados del Ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.....	57
Tabla N°15 Resultados del Ensayo Gravedad Específica y Absorción del agregado fino.....	57
Tabla N°16: Datos para el Ensayo Los Ángeles.....	58
Tabla N°17: Resultados del Ensayo Los Ángeles.....	58
Tabla N° 18: Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas.....	59
Tabla N° 19: Resultados del Ensayo de Caras Fracturadas.....	59
Tabla N° 20: Datos del ensayo de partículas chatas y alargadas.....	59
Tabla N° 21: Resultados del Ensayo de partículas Chatas y Alargadas.....	60

Tabla N° 22: Resultados del Ensayo de partículas Chatas y Alargadas.....	60
Tabla N°23: Cuadro de Resumen de los ensayos Realizados a los agregados pétreos.....	61
Tabla N° 24: Análisis Granulométrico de PCR.....	62
Tabla N° 25: Combinación de los Agregados Pétreos.....	63
Tabla N° 26: Diseño de la mezcla Asfáltica Convencional.....	64
Tabla N° 27: Agregados para MAC Convencional.....	65
Tabla N° 28: Cuadro Ensayo Marshall para 4.5% C.A sin PCR.....	66
Tabla N° 29: Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A sin PCR.....	67
Tabla N° 30: Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A sin PCR.....	68
Tabla N° 31: Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A sin PCR.....	69
Tabla N° 32: Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A sin PCR.....	70
Tabla N° 33: Cuadro Resumen de Ensayo Marshall.....	71
Tabla N° 34: Parámetros del Diseño Marshall para mezcla patrón.....	73
Tabla N° 35: Diseño de la Mezcla Mejorada con 1% caucho.....	74
Tabla N° 36: Diseño de la Mezcla Mejorada con 0.5% caucho.....	75
Tabla N° 37: Agregado para MAC Mejorado con 0.5% de Caucho.....	76
Tabla N° 38: Agregado para MAC Mejorado con 1% de Caucho.....	76
Tabla N° 39: Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A con 0.5% PCR.....	77
Tabla N° 40: Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A con 0.5% PCR.....	78
Tabla N° 41: Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A con 0.5% PCR.....	79
Tabla N° 42: Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A con 0.5% PCR.....	80
Tabla N° 43: Cuadro Resumen Ensayo Marshall con 0.5% de PCR.....	81
Tabla N° 44: Cuadro Ensayo Marshall para 5% C.A con 1% PCR.....	84

Tabla N° 45: Cuadro Ensayo Marshall para 5.5% C.A con 1% PCR.....	85
Tabla N° 46: Cuadro Ensayo Marshall para 6% C.A con 1% PCR.....	86
Tabla N° 47: Cuadro Ensayo Marshall para 6.5% C.A con 1% PCR.....	87
Tabla N° 48: Cuadro Resumen Ensayo Marshall con 1% de PCR.....	88
Tabla N° 49: Parámetros Marshall para MAC con 0.5% PCR.....	90
Tabla N° 50: Parámetros Marshall para MAC con 1% PCR.....	91
Tabla N° 51: Cuadro de Variación Estabilidad y Flujo MAC Convencional – MAC con PCR.....	91
Tabla N° 52: Cuadro de Variación de agregados de MAC Tradicional y MAC con 1% PCR.....	95
Tabla N° 53: Costo Unitario de MAC Tradicional para tránsito Pesado.....	96
Tabla N° 54: Costo Unitario de MAC con PCR para tránsito Pesado.....	96
Tabla N° 55: Costo de MAC Tradicional y MAC con PCR para tránsito Pesado.....	97
Tabla N° 56 Costo de mantenimiento de carreteras Peruanas.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1: Estructura del Neumático.....	29
Fig. N° 2 Usos alternativo del caucho.....	31
Fig. N° 3 Usos alternativo del caucho (Muros de Contención).....	32
Fig. N° 4 Uso de caucho molido en césped sintético.....	32
Fig. N° 6: Esquema de fabricación de asfalto caucho por vía húmeda.....	34
Fig. N° 7: Esquema de fabricación de asfalto caucho por vía Seca.....	36

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva Granulometría de Agregado Grueso.....	54
Gráfico 2: Curva Granulométrica de agregado fino.....	55
Gráfico N° 3 Curva Granulométrica de PCR.....	62
Gráfico N° 4: Curva Granulométrica de la mezcla Asfáltica Convencional.....	64
Gráfico N° 5: Curva Granulométrica de la Mezcla Asfáltica Convencional con Filler.....	65
Gráfico N° 6: Variación de la Densidad respecto al % de Asfalto para Mezcla Patrón.....	71
Gráfico N° 7: Variación de la Estabilidad respecto al % de Asfalto para Mezcla Patrón.....	71
Gráfico N°8: Variación de la Fluidez respecto al % de Asfalto para Mezcla Patrón.....	72
Gráfico N°9: Variación del % de vacíos en la mezcla respecto al % de Asfalto para Mezcla Patrón.....	72
Gráfico N°10: Variación del % de VMA en la mezcla respecto al % de Asfalto para Mezcla Patrón.....	73
Gráfico N° 11: Gradación de la Mezcla mejorada con 1% de caucho.....	74
Gráfico N° 12: Gradación de la Mezcla mejorada con 0.5% de caucho.....	75
Gráfico N° 13: Variación de la Densidad respecto al % de Asfalto para MAC con 0.5 % PCR.....	81
Gráfico N° 14: Variación de la Estabilidad respecto al % de Asfalto para MAC con 0.5% PCR.....	81
Gráfico N° 15: Variación del Flujo respecto al % de Asfalto para MAC con 0.5% PCR.....	82
Gráfico N° 16: Variación de Vacíos respecto al % de Asfalto para MAC con 0.5% PCR.....	82
Gráfico N° 17: Variación de VMA respecto al % de Asfalto para MAC con 0.5% PCR.....	83
Gráfico N° 18: Variación de la Densidad respecto al % de Asfalto para MAC con 1% PCR.....	88
Gráfico N° 19: Variación de la Estabilidad respecto al % de Asfalto para MAC con 1% PCR.....	88

Gráfico N° 20: Variación del Flujo respecto al % de Asfalto para MAC con 1% PCR.....	89
Gráfico N° 21: Variación de Vacíos respecto al % de Asfalto para MAC con 1% PCR.....	89
Gráfico N° 22: Variación de VMA respecto al % de Asfalto para MAC con 1% PCR.....	90
Gráfico N° 23: Variación de Estabilidad y Flujo MAC Tradicional vs MAC con PCR.....	92
Gráfico N° 24: MAC con adición de Caucho en 0.5% respecto al peso de la mezcla.....	92
Gráfico N° 25: MAC con adición de Caucho en 1% respecto al peso de la mezcla.....	93
Gráfico N° 26: Gráfica de comparación entre las MAC con PCR y MAC Tradicional.....	93
Gráfico N° 27: Gráfica de comparación entre las MAC con PCR y MAC Tradicional.....	94
Gráfico N° 28: Gráfica de comparación en la variación de Estabilidad y Flujo entre las MAC con PCR y MAC Tradicional.....	94
Gráfico N° 29: Gráfica de comparación en la variación de Vacíos entre las MAC con PCR y MAC Tradicional.....	95

RESUMEN

La presente investigación está orientada a utilizar partículas de caucho reciclados (PCR) en la fabricación de pavimentos flexibles usándose como un agregado, sin alterar la composición del cemento asfáltico, para dicha tesis se utilizó PEN 85/100, elaborando así mezclas asfálticas en caliente que cumplan con las exigencias de estabilidad y flujo para pavimentos flexibles, contempladas en nuestra normativa vigente. Siendo una alternativa novedosa en nuestro medio en relación con los productos tradicionales, en este estudio se ha utilizado caucho de neumáticos reciclados en cantidades de 0.5% y 1% con respecto al peso de los agregados, proporcionado por reencauchadoras locales; obtenidos a través de procesos de trituración y pre granulación. Para el desarrollo de los ensayos de laboratorio en la fabricación de la mezcla asfáltica se hizo uso del caucho con diferentes porcentajes de PEN; comparando las características de Estabilidad y Flujo de acuerdo al tipo de tránsito pesado tradicional definidos en este estudio. Así mismo se llega a la conclusión de que la incorporación de PCR (Partículas de Caucho Reciclado) influye de manera positiva la mezcla asfáltica en caliente, incrementando y mejorando la interrelación del flujo con la estabilidad en un 50%. Los costos unitarios de una mezcla mejorada con PCR son mayores en 5.05% respecto a las MAC tradicionales cuando se utiliza 1% de PCR. La relación de costo mantenimiento dio como resultado beneficiosa, ya que en un plazo de 5 años, los costos se reducen en 8.4% respecto al pavimento tradicional.

ABSTRACT

The present investigation is oriented to use recycled rubber particles (RRP) in the manufacture of flexible pavements used as an aggregate, without altering the composition of the asphalt cement, for this thesis was used PEN 85/100. In this way, we develop hot asphalt mixtures that meet the stability and flow requirements for flexible pavements, contemplated in our current regulations. Being a novel alternative in our environment in relation to traditional products. In this study, rubber from recycled tires has been used in amounts of 0.5% and 1% with respect to the weight of aggregates, provided by local retreaders; Obtained through crushing and pre-granulation processes, for the development of the laboratory tests in the manufacture of the asphalt mix was made use of the rubber with different percentages of PEN; Comparing Stability and Flow characteristics according to the type of traditional traffic defined in this study. It is also concluded that the incorporation of RRP (Recycled Rubber Particles) positively influences the hot asphalt mixture, increasing and improving the interrelation of the flow with the stability. The unit costs of an improved PCR mix are 5.05% higher than traditional MACs when using 1% PCR. The cost-maintenance ratio was beneficial because, within 5 years, costs were reduced by 8.4% compared to traditional pavement. Transforming and taking advantage of our physical environment is the reason for being the engineering, so the purpose of this research is to encourage the culture of recycling by putting into practice the actions of reduction, reuse and recycling of solid waste; Contributing to the solution of an aggravating problem in our cities: pollution.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

BBVA (2012). [Versión electrónica]. Situación Automotriz Latinoamérica. Recuperada el 20 de Agosto del 2016, de <https://www.bbvaresearch.com>

Botasso y Cuattrocchio (2007). Estado de la utilización de caucho reciclado en obras viales en Latinoamérica. Buenos Aires: Edición 5to Encuentro.

Botasso y Rebollo (s.f.). Normalización de asfalto caucho. Buenos Aires: LEMac.

Botasso, G. R. (2010). Utilización de cauchos en mezclas asfálticas. Buenos Aires.

Chávez Alderete, J. C. (2005). Estudio de factibilidad Técnico-económica entre un pavimento de asfalto convencional y uno modificado con agregado de caucho (Tesis Título profesional de Ingeniero). Santiago.

DIGESA (2009). Estándares de gestión medio ambiental. Perú.

Garnica A. P. (2001). [Versión Electrónica]. Evaluación de la pérdida de resistencia en concretos asfálticos por contacto de sustancias agresivas. México: Instituto Mexicano del Transporte. Recuperado el 20 de Agosto del 2016, de <http://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt171.pdf>

Grupo EVE (2012). [Versión Electrónica]. Proceso de Refinería, obtención de asfalto. Recuperado el 20 de Agosto del 2016, de http://roble.pntic.mec.es/jprp0006/tecnologia/3eso_recursos/unidad12_fuentes_energia/animaciones/refinado_petroleo.swf

Iberia, C. D. (2010). Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles. Madrid: Editorial CCI.

Llique R. (2010). Apuntes de Mecánica de suelos. Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperada el 21 de Noviembre del 2016 de la Facultad de Ingeniería Civil UNC.

Madisson, r. (1970). Adición de partículas de neumáticos reciclados en el concreto asfáltico (Tesis Título Profesional de Ingeniero). Arizona.

Méndez. R (2007). [Versión electrónica]. Artículo de revista El País. Recuperada el 20 de Agosto del 2016, de <http://m.ultimahora.com/en-espana-reciclan-neumaticos-construccion-rutas-n36042.html>

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (EG-2013). Manual de carreteras - especificaciones técnicas generales para construcción.

Montalvo F. M. (2008). Complementación de las especificaciones técnicas en los diseños de mezclas asfálticas en caliente. (Tesis de Título Profesional de Ingeniero). Piura

Ramírez V. A. (2014). Diseño de mezcla asfáltica asfalto-caucho tecnología GAP (Tesis Título Profesional de Ingeniero). Colombia

Ramírez Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso en seco (Tesis Título Profesional de Ingeniero). Santiago.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2010). Norma CE.010 Pavimentos Urbanos. Perú.

Repsol (2000). [Versión electrónica]. Composición del asfalto y su aplicación. Recuperado el 03 de octubre del 2016, de http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/fisicoquimica/composicion/

Reyes F.L. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con elastómeros y plastómeros. Bogotá: Portal de revistas académicas.

Rodríguez P. A. (2007). Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos (Tesis Título Profesional de Ingeniero). México.

Rodríguez V. F. (2010). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero (Tesis de Título Profesional de Ingeniero Civil). Chile.

Vargas M. J. (2008) Utilización de asfaltos modificados en una vía por mejorar su rendimiento y resistencia (Tesis de Título Profesional de Ingeniería Civil). Trujillo – Perú.

Valle Rodas, R. (1976). Carreteras, calles y aeropistas. Buenos aires: Cuarta edición El Ateneo.

Vieira, D. C. (2008). Propiedades del concreto conteniendo neumático de caucho. Brasil