

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL



TESIS

**“INCORPORACION DE POLVO DE CAUCHO EN MEZCLA
ASFALTICA CONVENCIONAL PARA MEJORAR EL
COMPORTAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA
FRENTE AL AHUELLAMIENTO EN LA CIUDAD DE
HUANCAYO 2016”**

PRESENTADO POR:

Bach. MERCEDES NADIA TUEROS DAVILA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ
2017

DR. CASIO AURELIO TORRES LÓPEZ
PRESIDENTE

ING. VLADIMIR ORDOÑEZ CAMPOSANO
JURADO

ING. NATALY LUCIA CORDOVA ZORRILLA
JURADO

ING. FERNANDO A. VARGAS MANRIQUEE
JURADO

MG. ING. MIGUEL ÁNGEL CARLOS CANALES
SECRETARIO DOCENTE

ASESOR:
ING. MARÍA LUISA MUERAS GUTIÉRREZ
MG. ING. JOSÉ LUIS TÚPAC YUPANQUI

DEDICATORIA

A mis padres que en todo momento me han motivado para culminar ésta investigación.

A mi hermana y cuñado por su apoyo incondicional, por su comprensión en el desarrollo de la presente investigación.

MERCEDES NADIA

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento sincero al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana los Andes.

A los señores asesores del Curso de Taller de Tesis, Ing. María Luisa Mueras Gutiérrez y Mg. Ing. José Luis Túpac Yupanqui, quienes brindaron su tiempo, dedicación y conocimientos en el aspecto Ingenieril, asimismo en el enfoque metodológico, para la realización del presente trabajo de investigación.

Contribuyendo con el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad.

Al Tec. Lab. Javier Santa Cruz Veliz responsable del laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos C.I.A. Santa Cruz, por mostrarse interesado en el presente trabajo de investigación, asimismo brindar sus servicios para realizar los respectivos ensayos y procedimiento de Ingeniería.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	3
1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	4
1.4.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	4
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. ESPACIAL.....	5
1.5.2. TEMPORAL	5
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6.1. LIMITACIÓN ECONÓMICA	5
1.6.2. LIMITACIÓN TECNOLÓGICA.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN.....	7
2.2. BASES TEÓRICAS	14
2.2.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE	14
2.2.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA	15
2.2.2.1 PROPIEDADES DESEADAS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	15
2.2.2.2 CRITERIOS A CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.	17
2.2.3 MATERIALES UTILIZADOS.....	18

2.2.3.1	ASFALTO	18
2.2.3.2	AGREGADO.....	21
2.2.4	CARACTERISTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA	23
2.2.4.1	DENSIDAD.....	23
2.2.4.2	VACIOS DE AIRE	24
2.2.4.3	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL	24
2.2.4.4	CONTENIDO DE ASFALTO	25
2.2.5	DISEÑO DE MEZCLA	25
2.2.5.1	ESTABILIDAD	25
2.2.5.2	RESISTENCIA A LA FATIGA.....	26
2.2.5.3	DURABILIDAD	26
2.2.5.4	IMPERMEABILIDAD	27
2.2.5.5	TRABAJABILIDAD	27
2.2.5.6	RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.....	28
2.2.5.7	FLEXIBILIDAD	28
2.2.6	METODO DE DISEÑO	29
2.2.6.1	METODO MARSHALL	29
2.2.7	FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	33
2.2.8	DEFORMACIONES PERMANENTES.....	34
2.2.8.1	DEFORMACIONES PLÁSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	34
2.2.8.2	AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA CAPA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	35
2.2.9	ENSAYOS RECOMENDADOS PARA MEDIR DEFORMACIONES PERMANENTES.	36
2.2.9.1	MEDIDOR DE AHUELLAMIENTO – RUEDA CARGADA: MAC-PERÚ.	36
2.2.10	RECOMENDACIONES DE LA MEPDG PARA DEFORMACIONES PERMANENTES (AHUELLAMIENTO)	37
2.2.11	ASFALTOS MODIFICADOS	39
2.2.12	APLICACIÓN DE GRANOS DE CAUCHO EN LAS MEZCLAS	40
2.2.13	CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADO CON CAUCHO	41
2.3.	BASES LEGALES	43
2.4.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	43
CAPÍTULO III	47
HIPÓTESIS Y VARIABLES	47
3.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	47
3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	47
3.3.	VARIABLES	47
3.3.1.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	48

CAPÍTULO IV	52
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	52
4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	52
4.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	52
4.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.3.1. MÉTODO GENERAL	52
4.3.2. MÉTODO ESPECÍFICO	53
4.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	53
4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA	53
4.5.1. POBLACIÓN	53
4.5.2. TIPOS DE MUESTRA.....	53
4.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	54
4.6.1. TÉCNICAS.....	54
4.6.2. INSTRUMENTOS	54
4.6.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	55
4.6.4. CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS.....	56
CAPITULO V	57
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	57
5.1. DESCRIPCIÓN, CARACTERÍSTICAS E IDENTIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS DE INGENIERIA REALIZADOS	57
5.1.1. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504).	59
5.1.2. CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	60
5.1.3. DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EL ENSAYO DE CANTABRO (MTC E 515)	61
5.1.4. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA.	62
5.2. PRESENTACION DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS TÉCNICOS Y PROCEDIMIENTO DE INGENIERIA REALIZADOS.....	64
5.3. VERIFICACIÓN, EVALUACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS TÉCNICOS Y PROCEDIMIENTO DE INGENIERIA REALIZADOS.	68
5.4. CONTRASTACIÓN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	72
5.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS - GENERAL.	72
5.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	76
5.5. INTERPRETACIÓN DE HIPÓTESIS	80
5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Preoperacionalización de La Variable Independiente X	49
Tabla N° 2: Preoperacionalización De La Variable Independiente Y	50
Tabla N° 3: Operacionalización De La Primera Variable Independiente (X)	51
Tabla N° 4: Operacionalización De La Segunda Variable Dependiente (Y)	51
Tabla N° 5: Técnicas e instrumentos de investigación.....	55
Tabla N° 6: Procedimiento del Ensayo: Resistencia De Mezclas Bituminosas Empleando El Aparato Marshall (ASTM D-1559) / (MTC-E 504).	59
Tabla N° 7: Procedimiento del Ensayo: Contenido De Bitumen En Los Agregados Y Análisis Granulométrico Por Tamizado.....	60
Tabla N° 8: Procedimiento del Ensayo: Desgaste De Mezcla Asfáltica En Caliente El Ensayo De Cántabro (MTC E 515).....	61
Tabla N° 9: Procedimiento Para La Medición Del Ahuellamiento De Paños De Prueba.....	62
Tabla N° 10: Detalle de datos: Ensayo Marshall MAC - Convencional.....	64
Tabla N° 11: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 1% de Polvo de Caucho.....	65
Tabla N° 12: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 2% De Polvo De Caucho	65
Tabla N° 13: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 3% De Polvo De Caucho	66
Tabla N° 14: Detalle de Datos: Ensayo Contenido De Bitumen En Los Agregados Y Análisis Granulométrico Por Tamizado	66
Tabla N° 15: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro – MAC - Convencional.....	66
Tabla N° 16: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 1% De Polvo De Caucho	67
Tabla N° 17: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 2% De Polvo De Caucho	67
Tabla N° 18: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 3% De Polvo De Caucho	67
Tabla N° 19: Detalle de Datos: Procedimiento Para La Medición Del Ahuellamiento De 02 Paños De Prueba.....	68
Tabla N° 20: Resultado Final: Ensayo Marshall - MAC Convencional.....	69
Tabla N° 21: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 1% de Polvo de Caucho ..	70
Tabla N° 22: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho ..	70
Tabla N° 23: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 3% de Polvo de Caucho ..	71
Tabla N° 24: Resultado Final: Ensayo Contenido de Bitumen en los Agregados y Análisis Granulométrico por Tamizado – MAC Convencional – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho	72
Tabla N° 25: Resultados Finales de Estabilidad, Flujo e Índice de Rigidez – MAC Convencional – MAC Adicionado 1%, 2% y 3% de Polvo de Caucho del Ensayo Marshall.....	73
Tabla N° 26: Resultado Final de Porcentaje de Pérdida por Desgaste – MAC Convencional – MAC Adicionado 1%, 2% y 3% de Polvo de Caucho	76
Tabla N° 27: Resultado Final del Promedio Depresión de Ahuellamiento – MAC Convencional – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho.....	78
Tabla N° 28: Interpretación de Cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para los indicadores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez.	80
Tabla N° 29: Interpretación de cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para el indicador de la Durabilidad	81
Tabla N° 30: Interpretación de cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para el indicador Depresión de Ahuellamiento.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Distribución Relleno Sanitario Doña Juana	13
Figura N° 2: Relación de Dependencia.....	18
Figura N° 3: Ahuellamiento por fallas en la Mezcla Asfáltica	35
Figura N° 4: Equipo MARC Completo.....	37
Figura N° 5: Terminología Asociada con el Uso del Caucho en las Mezclas Asfáltica	41
Figura N° 6: Ubicación de los Paños de Prueba.....	58
Figura N° 7: Requisitos Para Mezcla de Concreto Bituminoso – Tabla 423-06	69
Figura N° 8: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Estabilidad.....	73
Figura N° 9: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Flujo.....	74
Figura N° 10: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Índice de Rigidez.....	75
Figura N° 11: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Desgaste	77
Figura N° 12: Depresión de Ahuellamiento VS Porcentaje de Polvo de Caucho	79

RESUMEN

En la presente investigación se ha planteado como problema general: ¿De qué manera influye la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016?, siendo el objetivo general: Determinar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento al incorporar polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional en la ciudad de Huancayo 2016 y con la hipótesis general: “La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016”.

El tipo de investigación es Aplicada, nivel Experimental – Correlacional, diseño de investigación: Causal – Correlacional, el método de investigación es el científico y el método específico es cuantitativo. El propósito de la investigación se basa a los resultados obtenidos de acuerdo a los indicadores: Gradación de agregado, proporción física de polvo de caucho, contenido de asfalto, para la variable polvo de caucho, asimismo durabilidad y depresión de ahuellamiento, mediante el comportamiento del MAC frente al ahuellamiento. La población es el cemento asfáltico PEN 85/100 adquirido por la Municipalidad de Huancayo, para el análisis se utilizó una muestra no aleatoria o dirigida que consiste en muestras briquetas de mezclas asfálticas convencional e incorporando con polvo de caucho al 1%, 2% y 3% del peso total de la muestra, realizando ensayos: Diseño Marshall (80 briquetas), Contenido de Bitumen en los Agregados (2400 gr. De la muestra en campo), Ensayo Cántabro (20 briquetas) y 02 Paños de Prueba (1.00 x 1.00 m, e=2”).

La principal conclusión del estudio es: Con la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016, al evidenciar que, la incorporación de polvo de caucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional. Asimismo, por que influye en un 57% la mejora de la durabilidad y diferente en un 66.67% la deformación plástica.

PALABRAS CLAVES: Mezcla asfáltica, polvo de caucho, ahuellamiento.

ABSTRACT

In the present investigation has been raised as a general problem: In what way does the incorporation of rubber powder into the conventional asphalt mixture influences the behavior of the rolling surface against the Runoff in the city of Huancayo 2016, being the general objective : To determine the behavior of the rolling surface against the Runoff by incorporating rubber powder into the conventional asphalt mixture in the city of Huancayo 2016 and with the general hypothesis: "The incorporation of rubber powder in the conventional asphalt mixture improves the behavior of The surface of rolling in front of the Runoff in the city of Huancayo 2016 ".

The type of research is Applied, Experimental - Correlational level, research design: Causal - Correlational, the research method is the scientific and the specific method is quantitative. The purpose of the investigation is based on the results obtained according to the indicators: Aggregate gradation, physical proportion of rubber powder, asphalt content, for the rubber powder variable, also durability and rutting depression, through the behavior of the MAC against the rutting. The population is the asphalt cement PEN 85/100 acquired by the Municipality of Huancayo, for the analysis was used a non-random or directed sample consisting of samples of briquettes of conventional asphalt mixtures and incorporating with rubber powder at 1%, 2% and 3% of the total weight of the sample, carrying out tests: Marshall Design (80 briquettes), Bitumen Content in the Aggregates (2400 gr of the field sample), Cantabrian Test (20 briquettes) and 02 Test Pieces (1.00 x 1.00 m, e = 2 ").

The main conclusion of the study is: With the incorporation of rubber powder in the conventional asphalt mixture improves the behavior of the rolling surface against the runoff in the city of Huancayo 2016, evidencing that the incorporation of rubber powder influences 85 %, 87% and 97% values of Stability, flow and stiffness index of the conventional asphalt mixture. Also, because it influences in 57% the improvement of the durability and different in 66.67% the plastic deformation.

KEYWORDS: Asphalt mix, rubber powder, rutting.

INTRODUCCIÓN

La Presente tesis de investigación intitulado: “**INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO EN MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA FRENTE AL AHUELLAMIENTO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2016**”, se elaboró con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil, según las normas vigentes emanadas por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana los Andes.

El caucho en la actualidad en países de Sudamérica tales como Colombia, Brasil, Uruguay ha cobrado interés como un modificador del Asfalto. Al respecto el caucho proviene de la recuperación de piezas que se encuentran en desuso, como es el caso de los neumáticos.

Por otro lado, las características del asfalto modificado con polvo de caucho son muy susceptible al proceso de mezcla, puesto que dependen de elementos externos como temperatura de la mezcla, tiempo, velocidad de agitación. Asimismo, otros elementos internos como cantidad, tamaño de partícula del polvo caucho, tipo de asfalto, tipo y pureza del polvo de caucho para desarrollar la presente investigación.

Ante esta situación la presente investigación, aborda las variables: **polvo de caucho y ahuellamiento**, que al operacionalizarlas y correlacionarlas respectivamente en la unidad de análisis nos darán una nueva perspectiva de diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente con mejor comportamiento, la cual será un aporte Ingenieril en la ciudad de Huancayo,

Al respecto, se ha estructurado la presente tesis de investigación en 6 capítulos, siendo:

CAPÍTULO I. El presente capítulo contiene el planteamiento del problema, formulación del problema, problema general y específicos, objetivo general y específicos, justificación, delimitación y limitaciones de la presente investigación.

CAPÍTULO II. El presente capítulo contiene antecedentes nacionales e internacionales del estudio de investigación, bases teóricas (marco teórico), bases legales (normas) y definición de términos básicos.

CAPÍTULO III. El presente capítulo contiene el planteamiento de la hipótesis general y específica, las variables e indicadores y su Operacionalización de cada una de ellas.

CAPÍTULO IV. El presente capítulo contiene la metodología de la presente tesis de investigación como: tipo de investigación, nivel de la investigación, método de la investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

CAPÍTULO V. El presente capítulo presenta el análisis e interpretación de los resultados; descripción, características e identificación de los ensayos y procedimientos de ingeniería realizados, presentación, verificación y evaluación de los datos obtenidos, contrastación de prueba de hipótesis, interpretación de hipótesis y discusión de resultados.

CAPÍTULO VI. El presente capítulo presenta las conclusiones, recomendaciones del tema de investigación con el fin de dar aporte y trascendencia a la carrera de Ingeniería Civil.

Asimismo, al final se adjunta las fuentes de información y respectivos anexos con información imprescindible que sustentan la elaboración de la tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Hoy en día existen condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales no son idóneos para resistir la acción conjunta del tráfico de vehículos y las acciones del clima, por ende, es necesario desarrollar nuevas mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga.

Asimismo, la mezcla asfáltica convencional es sensible a la temperatura, por ser un material visco elástico, el cual presenta variación perenne en sus características según la condición de temperatura: es rígido cuando la temperatura desciende y es fluida cuando asciende la temperatura. La primordial característica al utilizar elementos que modifican el cemento asfáltico, es garantizar propiedades no encontradas en los asfaltos producidos con la tecnología convencional, especialmente las que tienen que ver con la gradiente térmica.

De igual manera, la adición de polímeros, en las mezclas asfálticas modificadas, ha consolidado mejorar sus características, como disminución de la deformabilidad y mayor resistencia a las acciones del tráfico de vehículos. Los polímeros en su composición son elementos orgánicos de alto peso molecular que logran hidratarse al combinarse con el ligante asfáltico.

Los polímeros más utilizados son los plastómeros EVA (etileno acetato de vinilo), los elastómeros SBS (estireno-butadieno-estireno) y el caucho molido.

Por ende, uno de los polímeros utilizados para modificar el ligante y las mezclas asfálticas es el polvo de caucho. Asimismo, el polvo de caucho puede ser especialmente fabricado o provenir de la recuperación de piezas que se encuentran en desuso, como es el caso de los neumáticos.

El proceso a estudiar en la presente investigación, es la incorporación de polvo de caucho en el cemento asfáltico mediante la vía seca. Asimismo, las características del asfalto modificado con polvo de caucho son muy susceptible al desarrollo de mezcla y se acondicionan a nuestra necesidad para desarrollar esta presente investigación.

Ante esta situación en el marco aplicativo y normativo, el autor de la presente investigación, aborda las variables: POLVO DE CAUCHO Y AHUELLAMIENTO, que al operacionalizarlas y correlacionarlas respectivamente en la unidad de análisis nos darán una nueva perspectiva en las ciencias de la Ingeniería Civil las cuales serán un aporte para la ciudad de Huancayo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué manera influye la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- A. ¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional influye en la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016?
- B. ¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional interviene en la deformación plástica de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento al incorporar polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional en la ciudad de Huancayo 2016.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- A. Determinar de qué manera influye la incorporar el polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.
- B. Determinar de qué manera interviene la deformación plástica al incorporar el polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Asimismo, la aplicación de los instrumentos de investigación va servir para compilar los resultados de los ensayos, con lo cual se puede ser partícipe a las demás Regiones del país, que aún no han

incursionado en la utilización de polvo de caucho en la mezcla asfáltica en caliente (MAC), puesto que referencias Internacionales aseguran y reportan la mejora en el comportamiento frente al ahuellamiento de la capa de rodadura.

No obstante, el desarrollo de la presente investigación en el área de la Ingeniería Civil tiene envergadura académica por los resultados obtenidos que contribuirán de una u otra manera a servir de antecedente para futuras investigaciones en el campo de la construcción en el tema de pavimentos, tránsito y mezclas asfálticas modificadas, que traten con las variables de: Polvo de Caucho y Ahuellamiento para determinar si estos se correlacionan entre sí, y cuantificar su influencia de las citadas variables.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

En este sentido, la presente investigación tendrá un carácter social, ya que se cuantificarán a través de ensayos las variables de estudio y en función de ellas se tomará decisiones de evaluación al respecto donde la presente investigación constituirá un aporte para el diseño mezcla asfáltica en caliente (MAC), incorporando polvo de caucho, al 1%, 2% y 3%, a fin de mejorar el comportamiento de la capa de rodadura frente al ahuellamiento, en la ciudad de Huancayo.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

El polvo de caucho en la actualidad en países de Sudamérica tales como Colombia, Ecuador, Brasil, Uruguay ha cobrado auge como un modificador del Asfalto. Al respecto el Caucho proviene de la recuperación de piezas que se encuentran en desuso, como es el caso de los neumáticos fuera de uso (NFU). Ayudando así a la reutilización, debido que la mayoría de las municipalidades

Provinciales y Distritales en nuestro país disponen su basura en rellenos sanitarios, cuerpos de aguas (lagunas, ríos) y a cielo abierto.

Asimismo, los neumáticos tardan tiempo en ser descompuestos oscilando entre 100 y 1000 años, es por ello que la presente investigación propone el polvo de caucho como un asfalto modificado en la mejora en el comportamiento frente al ahuellamiento de la capa de rodadura.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. ESPACIAL

La presente investigación comprendió la realización del ensayo de Diseño Marshall, Contenido de Bitumen en los Agregados y Análisis Granulométrico por Tamizado, Ensayo Cántabro y 02 Paños de Prueba, realizados en la ciudad de Huancayo.

1.5.2. TEMPORAL

Se han compilado datos para la presente investigación, especialmente entre el periodo comprendido de noviembre de 2016 a febrero de 2017.

1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. LIMITACIÓN ECONÓMICA

Una de las limitaciones de la presente investigación se centra en la realización de ensayos tales como: La Rueda Cargada de Hamburgo, por ser muy complejo y de costos elevados debido que el precio por cada briqueta a ensayar cuesta 1000 dólares en nuestro País y para la presente investigación se necesita como mínimo ensayar dos briquetas. Por tanto, se realizaron ensayos y

procedimientos de ingeniería los cuales son accesibles a nuestra necesidad y realidad, pero cumpliendo la normativa respectiva.

1.6.2. LIMITACIÓN TECNOLÓGICA

Una de las limitaciones de la presente investigación se centra en la realización de ensayos tales como: La Rueda Cargada de Hamburgo por no ser accesible en nuestro país; a diferencia de otros países que cuentan con laboratorios equipados; por tanto, se realizaron ensayos y procedimientos de ingeniería los cuales son accesibles a nuestra necesidad y realidad, que son suficientes para determinar resultados confiables con respecto a la temática de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

- a) **Fajardo Cachay, Luis Enrique y Vergaray Huamán, Douglas Alfonso (2014). Tesis: “EFECTO DE LA INCORPORACIÓN POR VÍA SECA, DEL POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO, COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS”. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad de San Martín de Porres. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Lima – Perú.**

Fajardo y Vergaray (2014), realizan un estudio donde promueve la investigación del polvo de caucho mediante la incorporación por vía seca a fin de que dicho polvo de caucho ingrese como un agregado fino en la mezcla asfáltica, por ello se da un uso a los neumáticos desechos y se mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Los tesisistas hacen mención que tienen dificultades en el desarrollo de su investigación por no contar con información o antecedentes nacionales como internacionales para la caracterización de los materiales a emplear en el desarrollo de las características de las mezclas asfálticas modificadas con polvo de neumáticos fuera de uso. (Fajardo, Vergaray, 2014).

Asimismo, en su investigación se plantean como objetivo principal identificar la metodología para la mejora del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, donde adicionan el polvo de caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en el agregado fino, donde la mezcla se desarrolló por el proceso vía seca (Fajardo, Vergaray, 2014).

En consecuencia, su investigación coopera con la problemática de la contaminación ambiental siendo uno de los focos contaminantes los neumáticos fuera de uso, puesto que al terminar su vida útil se convierten de residuos difíciles de eliminar (Fajardo, Vergaray, 2014).

b) Salinas Reto, Patricia Inés (2009). Tesis: “APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO USANDO ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO EN LA VÍA SULLANA – AGUAS VERDES”. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Piura – Perú.

Salinas (2009), Realiza su investigación con la finalidad de acceder a nuevas técnicas en la aplicación de micropavimentos con asfalto modificados con polímeros a fin de rehabilitar las vías y obtener mejores resultados en las propiedades reológicas del asfalto modificado frente a la mezcla asfáltica convencional.

Según el Tesista detalla que el tipo de cemento asfáltico PEN 85-100 son originario de la refinería de Talara, Repsol y Conchan que fueron ensayados con los polímeros LG 501, Kraton y Taipol; asimismo los ensayos para evaluar la compatibilidad y elegir uno, el mismo que se empleó para la dispersión durante la ejecución del proyecto (Salinas, 2009).

Por último, el Tesista compara los resultados finales de los ensayos del asfalto modificado frente al asfalto convencional, asimismo, se obtiene que el contenido óptimo de asfalto fue 6.4% mientras que de un asfalto

modificado fue 6.3%. Esto implica en términos económicos que se incrementa los costos durante la ejecución, sin embargo hay una mejora en la vida útil del pavimento, lo cual conlleva a economizar en la etapa de operación y mantenimiento. (Salinas, 2009).

c) Ing. Huamán Guerrero Néstor W. (2011). Tesis: “LA DEFORMACIÓN PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS EN EL PERÚ”. Facultad de Ingeniería Civil – Sección de Postgrado de la Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis para optar el grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes. Lima – Perú.

Huamán (2011), realizó un estudio durante los últimos 17 años en el Perú donde ha aportado una política de crecimiento favorable en la rama de la construcción de obras viales en todo el territorio nacional, asimismo, se construyeron un promedio de 15,000 kilómetros de carreteras asfaltadas, según indica los reportes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Del mismo modo el Tesista menciona que la envergadura de las obras viales se encuentra en las carreteras interoceánicas que atraviesan transversalmente nuestro territorio peruano. La carretera interoceánica Sur, parte de límites con Brasil terminando en puertos marítimos del Océano Pacífico; interconectando de esta manera pueblos del Perú y permitiendo que Brasil tenga salida al mar hacia los mercados orientales (Huamán, 2011).

De igual manera el Tesista menciona que ante esta realidad existen necesidades de mejorar la calidad de la tecnología de los pavimentos en nuestro Perú a fin de lograr alcanzar mayor vida útil en los pavimentos asfálticos, además su investigación sostiene que las deformaciones permanentes son fallas de un deterioro prematura del pavimento

(Huamán, 2011).

Asimismo, el Tesista llega a conceptualizar las deformaciones permanentes con sus diferentes formas que se presentan en las capas de la estructura del pavimento incluyendo la subrasante, generando así tanto fallas funcionales como estructurales, además da más aportes sobre los tipos de cemento asfáltico y generalmente sobre el comportamiento reológico de las mezclas asfálticas (Huamán, 2011).

d) Revista Politécnica (Ed) (2015). OBTENCIÓN DE ASFALTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO PROVENIENTE DEL RECICLAJE DE NEUMÁTICOS DE AUTOMOTORES. Ecuador: Edición Vol. 36 N°3.

Campaña, Gáleas y Guerrero (2015), Realizan un estudio de las mezclas asfálticas modificadas incorporando polvo de caucho donde se obtienen pavimentos con mejores propiedades de durabilidad, mayor vida útil y se reducen los costos en general, asimismo hacen referencia a los dos tipos de procesos seco y húmedo con finalidad de obtener asfalto modificado con polvo de caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso. De igual manera los diseños se realizan con el Marshall evidenciando los beneficios para este tipo de mezcla asfáltica modificada. Para la mezcla asfáltica incorporado polvo de caucho por el proceso húmedo se obtuvieron tres mezclas con 10, 15 y 20 wt % de polvo de caucho en relación al bitumen. Para la mezcla seca se añadió 1, 2 y 3 wt % de polvo de caucho en relación al agregado asfáltico.

De los resultados finales se puede apreciar que existen mejores características de resistencia a la fatiga en el asfalto modificado por proceso húmedo con 20 wt % de polvo de caucho, mientras que el mayor módulo de rigidez y deformación dinámica se obtuvo para asfalto modificado por proceso húmedo con 10 wt % de polvo de caucho.

- e) Navarro Dupré, Nicole Michelle. (2013). Tesis: “CONFECCIÓN Y SEGUIMIENTO DE TRAMOS DE PRUEBA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO NACIONAL DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU) MEDIANTE VÍA SECA”. Universidad de Chile. Tesis para optar Título de Ingeniero Civil. Chile.**

Navarro (2013), Realiza un estudio donde contempla la confección y el seguimiento de dos Tramos de Prueba, a realizarse por primera vez en el país, con mezclas asfálticas en caliente modificadas con polvo de caucho obtenido de neumáticos fuera de uso (NFU). El caucho es incorporado a la mezcla por vía seca; combinada con el agregado fino y su origen es de una planta nacional de reciclaje. Con estos tramos se pretende caracterizar las mezclas asfálticas modificadas por vía seca, lo que permitirá proponer normativas de confección y colocación para la Dirección de Vialidad, especialmente dentro del Manual de Carreteras.

Finalmente, el Tesista obtiene los resultados, donde la utilización del polvo de caucho como agregado fino para pavimentos asfálticos se plantea como una solución ambiental factible como un valor agregado adicional al caucho de NFU y que permitiendo una económica más rentable que los asfaltos con polímero y a un precio relativamente competitivo, aportar ventajas en la vida útil de la carretera. En efecto, respecto a las mezclas asfálticas convencionales, se obtiene una mayor resistencia a los cambios térmicos, a la disgregación (menor susceptibilidad a la humedad), al ahuellamiento y al envejecimiento. Además, como capa superficial provee al pavimento de una mayor capacidad estructural y de una mayor resistencia al deslizamiento (Navarro, 2013).

- f) Rodríguez Gallego, Karina Liset. (2005). Tesis: “MEJORA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE CON ADICIÓN DE CAUCHO E ICOPOR”. Pontificia Universidad Javeriana. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Bogotá – Colombia.**

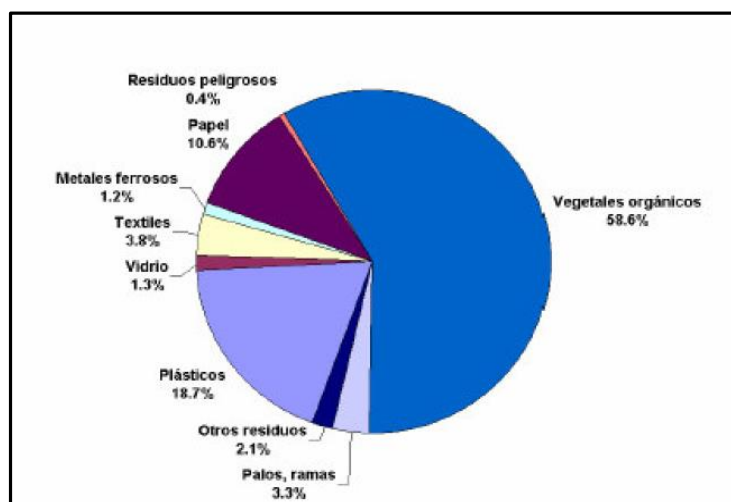
Rodríguez (2005), Realiza un estudio y menciona que hoy en día la contaminación de restos no biodegradables, la escasez del asfalto debido a la disminución de reservas petroleras del mundo y la búsqueda de nuevos materiales que den una alternativa al manejo ambiental y económico de las mezclas asfálticas drenantes, ha puesto a los investigadores en la tarea de modificar las mezclas con el ánimo de dar respuesta solicitadas por el tráfico, respecto a la resistencia y la durabilidad de un pavimento.

Según el Tesista, menciona que la modificación de las mezclas asfálticas convencionales, es una técnica utilizada desde hace más de 20 años para la utilización efectiva de asfaltos en la pavimentación. Dichas técnicas consisten en la incorporación de polímeros a las mezclas asfálticas convencionales con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tráfico de vehículos, buscando eliminar las deformaciones permanentes (Ahuellamientos) de las mezclas que componen las capas de rodadura, aumentando su rigidez, además eliminar el fisuramiento por efecto térmico y por fatiga incrementando su elasticidad (Rodríguez, 2005).

Asimismo, hace referencia que en Colombia hay investigaciones realizadas donde han determinado que aproximadamente los municipios disponen sus basuras de la siguiente manera: el 32% en forma de rellenos sanitarios mecánicos o manuales, 15% a los cuerpos de agua y el resto en botaderos a cielo abierto (Rodríguez, 2005).

El Tesista afirma que, Bogotá dispone sus basuras en relleno Sanitario Doña Juana, las cuales ascienden aproximadamente a 5200 toneladas, distribuidas aproximadamente como se muestra en la figura N° 01 (Rodríguez, 2005).

Figura N° 1: Distribución Relleno Sanitario Doña Juana



(Rodríguez, 2005).

g) Ramírez Palma, Náyane Irene. (2006). Tesis: “ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE CAUCHO DE NEUMATICOS ENMEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE PROCESO SECO”. Universidad de Chile. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile – Chile.

Ramírez (2006), realiza un estudio de los neumáticos fuera de uso donde constituye que los neumáticos fuera de uso son un problema de contaminación para el país de Chile y el mundo, asimismo detalla que el problema radica en la disposición final de los neumáticos fuera de uso, debido que muchas veces lo terminan eliminando en ambientes abiertos, en orillas de ríos o del camino y la acumulación de dichos neumáticos incrementa los focos infecciosos.

Es por ello que el Tesista presenta una solución a la problemática de los neumáticos fuera de uso, dicho residuo estará controlado debido a que el polvo de caucho será adicionado a la mezcla asfáltica. Desde el punto de vista de la reutilización como materia prima, se debe tener presente que, en un neumático, alrededor de un 60% de su composición son cauchos naturales o sintéticos, con posibilidades de ser utilizados en otras aplicaciones (Ramírez, 2006).

Asimismo, se menciona que el caucho granulado reciclado se adquiere a través de la trituración de éstos y la separación de los componentes que los constituyen, principalmente el acero y las fibras textiles. La pulverización de los neumáticos fuera de uso se realiza por dos métodos, uno a temperatura ambiente y otro, criogénico. El primero de ellos, consiste en un proceso mecánico de pulverización, donde las distintas granulometrías del caucho dependen de las etapas se les somete. En segundo lugar, en la trituración criogénica, los neumáticos se someten a baja temperatura, con lo cual el caucho se vuelve frágil y fácil de destrozarse en pequeñas partículas. A través de los procedimientos mencionados, se tiene resultados de migas de caucho con determinadas granulometrías para distintas aplicaciones (Ramírez, 2006).

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Según (Ramírez, 2006). La mezcla asfáltica en caliente lo compone un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente mezclados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla.

Según (Ramírez, 2006). Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. Se denominan “mezclas en caliente”, pues para lograr que los pétreos se combinen homogéneamente con el cemento asfáltico, ambos componentes llegan sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El desarrollo de mezclado se realiza en una Planta Asfáltica, y luego se transporta la mezcla al lugar donde se pavimentará y se coloca por medio de una pavimentadora, asegurándose que la superficie se encuentre preparada correctamente. Una vez extendida, se somete a un proceso de compactación, que hace que esta mezcla tenga propiedades

resistentes al desgaste producido por el paso de los vehículos, y a su vez, pueda traspasar la sollicitación del peso de ellos hacia las capas más profundas, absorbiendo una parte de esta sollicitación.

2.2.2 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN PLANTA

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). En la planta de concreto asfáltico se deberá tener el material pétreo del diámetro adecuado (menor de una pulgada) que de preferencia deberá estar triturado y cumplir con las especificaciones. Este material se eleva a un cilindro de calentamiento y secado hasta llegar a una temperatura de 160 a 175° C, de ahí se pasa a la unidad de mezclado donde se criba para alimentar 3 ó 4 tolvas con material de diferente tamaño, se pesa la cantidad de material necesaria de pétreo y se depositan en las cajas mezcladoras donde se le provee de cemento asfáltico, el cual deberá estar a una temperatura de 130 a 150° C, se recomienda no exceder estos valores para evitar que se pierdan propiedades, se realiza la mezcla hasta su homogenización y ésta se vacía a los vehículos a una temperatura de entre 120 y 130° C, de preferencia esta mezcla se cubre con una lona para evitar se enfríe en el trayecto.

2.2.2.1 PROPIEDADES DESEADAS EN LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Las buenas Mezclas Asfálticas en Caliente, son aquellas que se diseñan, elaboran y colocan, cuidando que se adquieran propiedades que garanticen la obtención de pavimentos y Mantenimientos funcionales y durables. Estas propiedades son:

a) Estabilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) es la resistencia al desplazamiento y a la deformación que están

sujetas a las cargas de tráfico. La estabilidad va depender directamente de la fricción y la cohesión interna en la mezcla.

b) Durabilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Es la habilidad de una carpeta de asfalto, para soportar factores como la descomposición del agregado, cambios en las características del asfalto y la separación de las películas de asfalto. Esta propiedad se mejora de tres formas:

- Usando la mayor cantidad posible de asfalto.
- Usando una gradación compacta de agregado resistente a la separación.
- Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

c) Impermeabilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) es la resistencia al paso del aire y agua hacia la parte interna del pavimento. Esta relacionada directamente con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. Asimismo, la impermeabilidad es fundamental para la durabilidad de las mezclas compactadas, de igual forma la impermeabilización es usada en el proceso constructivo de carreteras donde deben tener cierto grado de permeabilidad.

d) Trabajabilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Es la simplicidad con la que se trabaja una mezcla asfáltica para ser colocada y compactada.

e) Flexibilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) es la facilidad de acoplarse un pavimento asfáltico sin necesidad de agrietarse a movimientos y asentamientos de la subrasante.

f) **Resistencia a la Fatiga:** Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) es la resistencia a la flexión continua bajo las cargas constantes del tráfico de vehículo. Se conoce por medio de los estudios realizados a diferentes carpetas asfálticas, que los vacíos y la viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.

g) **Resistencia al deslizamiento:** Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Es la resistencia de la superficie del pavimento al minimizar el deslizamiento de las llantas de los diferentes vehículos, especialmente cuando la superficie está cubierta por agua.

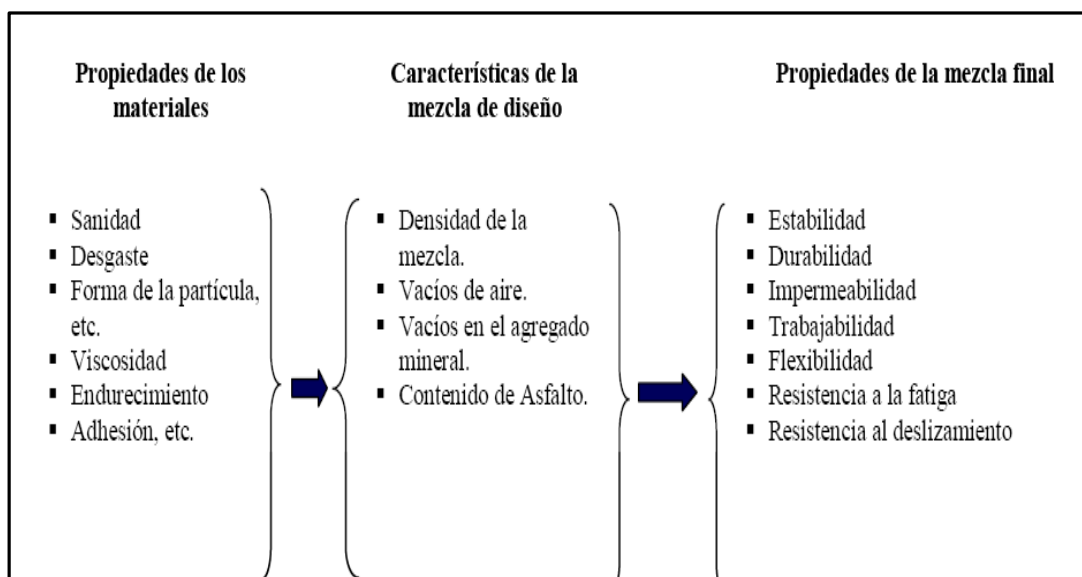
2.2.2.2 CRITERIOS A CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). El espesor de la película de asfalto alrededor del agregado, tiene una influencia determinante en la estabilidad y durabilidad. Mientras más delgada es dicha película, menor será la estabilidad. A medida que esta película se engruesa el asfalto tiende a cohesionar el agregado, pasando por un óptimo y luego hace un efecto lubricador. La cohesión entre pétreos, varía con el tiempo al perder el asfalto su poder ligante y flexibilidad al oxidarse. El aporte del material pétreo a la estabilidad, lo efectúa a través de su fricción interna y ésta a su vez, es función del tamaño del agregado y de la rugosidad de sus caras. La falta de estabilidad proporcionada por los agregados, puede ser suplida en parte, usando un asfalto de menor penetración.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). El diseño debe encontrar el mejor balance entre estabilidad y durabilidad,

porque el objetivo de esto, es obtener la mezcla más económica. Esquemáticamente se observa que, para obtener una mezcla final con las propiedades y calidad esperada, se tiene que supervisar el cumplimiento de las propiedades básicas de todos los materiales que conformarán la mezcla.

Figura N° 2: Relación de Dependencia



(Cárdenas y Fuentes, 2014).

2.2.3 MATERIALES UTILIZADOS

2.2.3.1 ASFALTO

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Es un material visco elástico de color negro que varía constantemente según su consistencia entre sólido y semi sólido influidos por la temperatura. Asimismo, el asfalto se vuelve líquido debido que se calienta incrementa la temperatura lo cual permite mezclar las partículas de los agregados durante su proceso de producción de una mezcla asfáltica en caliente. Por ello cuando el asfalto se calienta tiende a volverse rígido, frágil y pierde su capacidad de adherirse a las partículas del agregado pétreo.

A. CLASIFICACIÓN, PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO.

Clasificación: Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico.
- Asfalto rebajado.
- Asfalto emulsificado.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Los asfaltos rebajados y emulsificados son usados casi por completo, en mezclas en frío y en riegos. Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después del envejecimiento y penetración. En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta; en cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto. Cuando se clasifica el asfalto por medio de su viscosidad después del envejecimiento; para identificar cuáles serán sus características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en la carpeta asfáltica, para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en laboratorio utilizando el ensayo de envejecimiento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento se clasifica, de acuerdo a su viscosidad; Otro método usado para clasificar el asfalto es la penetración que consiste en dejar penetrar una muestra de asfalto por una aguja bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en decímetros de milímetro (0.1 mm).

B. PRUEBAS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

Viscosidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). La viscosidad a 60°C es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. La viscosidad a 135°C corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y colocación.

Penetración: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) menciona que el ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba debe estar dentro de las especificaciones que consisten con la viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que contengan valores inapropiados de penetración a 25°C.

Punto de inflamación: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). El punto de inflamación de un cemento asfáltico es el punto más bajo de la temperatura donde separan materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación de un cemento asfáltico se define por la temperatura más alta la cual puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame.

Ductilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). es la medición de cuanto puede ser tensada una muestra de asfalto antes de que se parta en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de extensión, en donde una probeta de cemento asfáltico es tensada o estirada a una velocidad y temperatura indicada. El estiramiento continúa hasta que el hilo de cemento asfáltico se parta.

Solubilidad: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). es un procedimiento que permite medir la pureza del cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se diluyen sus componentes. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven. Estas impurezas insolubles son luego depuradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.

2.2.3.2 AGREGADO

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) es un material mineral duro e inerte usado, que cuenta con partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El proceso de una mezcla asfáltica se ve directamente influenciado por la selección del agregado, debido a que el agregado proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

A. CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas y metamórficas; esta clasificación se basa en el tipo de formación de cada roca.

B. FUENTES DE AGREGADOS.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Los agregados usados en un pavimento asfáltico se clasifican, principalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales son aquellos usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo y los químicos; y agregados procesados y agregados sintéticos o artificiales son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimentos de mezcla asfáltica y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaños antes de ser usados en pavimentación.

C. PROPIEDADES DEL AGREGADO.

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 al 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer además ciertas propiedades para poder ser

considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de la
- Textura de la superficie, partícula.
- Capacidad de absorción.
- Limpieza.
- Afinidad con el asfalto.
- Dureza.
- Gravedad específica.
- Forma de la partícula.

2.2.4 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) una muestra de mezcla asfáltica elaborada en el laboratorio debe ser examinada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento frente al tránsito vehicular. El estudio está enmarcado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

2.2.4.1 DENSIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la densidad de la mezcla asfáltica está determinada por su peso unitario debido a que es una característica muy importante y es esencial tener una óptima densidad en el pavimento para tener un rendimiento duradero. Asimismo, las pruebas de análisis y

diseño de las mezclas asfálticas la densidad esta expresada en kg/cm³. Es por ello que la densidad se calcula multiplicando la gravedad especifica por la densidad del agua, es por ello que la densidad obtenida en el laboratorio se considera el patrón, las especificaciones técnicas usualmente describen que la densidad del pavimento debe ser un porcentaje de la densidad del laboratorio.

2.2.4.2 VACIOS DE AIRE

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). Los vacíos de aire son diminutos espacios de aire, que están presentes en los agregados mezclados con la mezcla asfáltica final compactada, es imprescindible que todas las mezclas adecuadamente graduadas presenten cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tránsito de vehículos y así proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. La durabilidad de una mezcla asfáltica está en función del contenido de vacíos. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire y causar deterioro.

2.2.4.3 VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) mencionan que los vacíos en el agregado mineral (VAM) vienen a ser los espacios de aire que se encuentran en las partículas de los agregados. El VAM presenta el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

2.2.4.4 CONTENIDO DE ASFALTO

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). La proporción de contenido de asfalto en la mezcla es muy importante ya que se debe determinar con exactitud en el laboratorio y posteriormente en la obra. El contenido de asfalto es una mezcla muy especial que se debe establecer criterios según se indique su diseño y sus especificaciones técnicas. Asimismo, depende de gran parte de las características de su granulometría y su capacidad de absorción. La granulometría y el contenido de asfalto están directamente relacionadas entre más finos presente la mezcla mayor será el área superficial total y mayor la cantidad de asfalto requerido para poder cubrir uniformemente todas las partículas en sí.

2.2.5 DISEÑO DE MEZCLA

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) las mejores mezclas asfálticas son diseñadas, producidas y colocadas con la finalidad de obtener mejores comportamientos en sus propiedades, asimismo hay propiedades que contribuyen directamente a la calidad del pavimento flexible y estas propiedades están dadas por la estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, resistencia a la fatiga y resistencia al desplazamiento; por ello el objetivo principal de diseñar una mezcla asfáltica es de mejorar cada una de estas propiedades ya mencionadas.

2.2.5.1 ESTABILIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la estabilidad en una mezcla asfáltica debe tener la capacidad de resistir al desplazamiento y deformación bajo las cargas constantes

de tráfico vehicular; una mezcla asfáltica debe ser capaz de sostener su forma y textura lisa bajo las cargas continuas del tránsito, es así que una mezcla asfáltica inestable desenvuelve ahuellamiento, ondulaciones y entre otras que manifiestan cambios en las mezclas asfálticas. La estabilidad en una mezcla asfáltica necesita de la fricción y la cohesión interna, donde la fricción interna de los agregados esta enlazada con características del agregado como su forma y textura superficial.

2.2.5.2 RESISTENCIA A LA FATIGA

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la resistencia a la fatiga en una mezcla asfáltica que resiste a la flexión continua de las cargas de tráfico vehicular. Se ha concluido por medio de las investigaciones que los vacíos relacionados con el contenido de asfalto y la viscosidad del asfalto tienen una finalidad considerable sobre la resistencia a la fatiga. Es así que el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica aumenta debido al diseño o por la falta de compactación y la resistencia a la fatiga descende. Asimismo, una mezcla asfáltica que se calienta y endurece considerablemente presenta menor resistencia a la fatiga.

2.2.5.3 DURABILIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la durabilidad de una mezcla asfáltica consiste en la resistencia de factores como la desintegración del agregado, así como los cambios en las propiedades de polimerización, oxidación y separación de las partículas de la mezcla asfáltica. Asimismo, la durabilidad de una mezcla asfáltica se

mejora con tres formas: primero utilizando una mayor gradación densa de los agregados que resiste a la separación, segundo utilizando mayor cantidad de mezcla asfáltica y tercero diseñando y compactando la mezcla asfáltica a fin de obtener la máxima impermeabilidad.

2.2.5.4 IMPERMEABILIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la impermeabilidad en una mezcla asfáltica tiene que resistir el paso del aire y del agua hacia el interior o hacia través de él, dicha característica está directamente relacionado con el contenido de vacíos de la mezclas asfáltica ya compactada; asimismo la naturaleza de los vacíos es muy importante debido a su cantidad ya que el paso eventual del aire y del agua está relacionado con los vacíos en una mezcla asfáltica; por otro lado el grado de impermeabilidad está determinado por los tamaños de los vacíos sin implicar si están o no conectados por la superficie de la mezcla asfáltica. La importancia de la impermeabilidad radica en la durabilidad de las mezclas asfálticas compactada, es así que todas las mezclas asfálticas convencionales utilizadas en la actualidad en la pavimentación de carreteras tienen un grado de permeabilidad y es así que la permeabilidad es aceptada siempre en cuando está dentro de los límites especificados.

2.2.5.5 TRABAJABILIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la trabajabilidad está dado por la simplicidad con la que se trabaja una mezcla asfáltica en su colocación y compactación, es así que una buena mezcla asfáltica es trabajable debido a su facilidad de su tendido, colocado y compactado; entonces se habla de una

mala trabajabilidad cuando una mezcla asfáltica es difícil su tendido, colocado y compactado en obra. Asimismo, la trabajabilidad se puede mejorar en el diseño que se realiza y según la granulometría de los agregados. Las mezclas asfálticas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso tienden a segregarse durante su maniobra y también pueden ser difíciles de compactar.

2.2.5.6 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la resistencia al desplazamiento tiene la habilidad de disminuir el deslizamiento de las ruedas de los vehículos cuando la superficie de rodadura esta húmeda o mojada. Para conseguir una excelente resistencia al desplazamiento, la rueda del vehículo debe ser capaz de mantener contacto sobre dicha superficie de rodamiento en vez de rodar sobre una superficie de agua (hidroplaneo). Una superficie áspera y rugosa del pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa; esto se logra empleando agregados de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta, además los agregados deben de resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito.

2.2.5.7 FLEXIBILIDAD

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) la flexibilidad de una mezcla asfáltica es la capacidad para adaptarse sin tener agrietamientos o fisuramiento debido a los asentamientos o deformaciones graduales en la base, subbase y subrasante; generalmente esta propiedad tiende a presentar conflictos con los requerimientos de estabilidad.

2.2.6 METODO DE DISEÑO

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) el diseño de mezclas asfálticas consiste en seleccionar y proporcionar materiales para obtener las propiedades deseadas de la mezcla terminada. El objetivo general del procedimiento de diseño radica en definir una combinación y gradación económica de agregados (dentro de los límites de especificaciones del proyecto) y asfalto que produzca una mezcla con:

- Lo necesario de asfalto para garantizar una mezcla durable.
- Apropiaada estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformación o desplazamiento.
- Un contenido de vacíos lo suficiente alto que permitir una ligera cantidad adicional de compactación bajo las cargas del tránsito sin que produzca exudación o pérdida de estabilidad.
- Considerar la trabajabilidad para permitir una colocación eficiente sin segregación.

2.2.6.1 METODO MARSHALL

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) El propósito del método Marshall es definir el contenido óptimo del cemento asfáltico para obtener una combinación exitosa con los agregados. El diseño también contempla información sobre las propiedades de mezcla asfáltica en caliente que se diseña, asimismo establecer densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplir con las especificaciones durante la construcción del pavimento. El diseño original únicamente se aplica para mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contenga agregado con tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El diseño Marshall modificado se desarrolló para

tamaños máximos de 38 mm (1 ½"). Este fue usado para diseñar en el laboratorio, con la finalidad de controlar en campo la mezcla asfáltica en caliente, con graduación densa. El diseño Marshall usa materiales de prueba normalizados de 64 mm (2 ½") de espesor por 101.6 mm (4") de diámetro. Asimismo, el procedimiento a utilizar es calentar, mezclar y compactar una serie de probetas estandarizadas, cada una de las probetas debe estar con la misma proporción de agregados, pero con diferentes contenidos de cemento asfáltico. Los datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

- Procedimiento del ensayo Marshall: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). El método de ensayo Marshall consta de tres procedimientos. Estos son: determinación de la gravedad específica, la medida de la estabilidad y flujo, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

- Determinación de la gravedad específica: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014). La prueba de gravedad específica puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya disminuido la temperatura ambiente. La medida de gravedad específica es primordial para un análisis preciso de densidad-vacíos. Esta prueba se hace de acuerdo con la Norma ASTM - D1188, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina; o la ASTM D2726, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas mediante superficies saturadas de especímenes secos. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizan pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se recurre a la norma ASTM D1188; en caso

contrario, se emplea la norma ASTM D2726.

- **Ensayos de estabilidad y flujo: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014)** el ensayo de la estabilidad mide la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica, mientras que el flujo mide la deformación bajo carga que se da en la mezcla asfáltica, el procedimiento del ensayo a continuación:

1. Los especímenes son sumergidas en baño maría de agua a 60°C (140°F). dicha temperatura es, la óptima y es la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
2. Los especímenes son extraídas del baño maría, secadas y colocadas en la prensa Marshall, esta prensa consiste de un dispositivo que aplica carga sobre el espécimen, y de unos medidores de carga y deformación.
3. La carga aplicada a los especímenes tiene una velocidad constante de 50.8 mm (2") por minuto hasta que el espécimen se quiebre. La falla es determinada como la carga máxima que el espécimen puede resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de deformación se registra como el flujo.

- **Valor de estabilidad Marshall: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014)** el valor de estabilidad es la medida de una carga donde cede o falla totalmente; es así durante el ensayo la misma carga máxima es determinada por el medidor donde establece la estabilidad Marshall. Es por ello que debido a la estabilidad de la mezcla asfáltica se mide la resistencia a la deformación, muchos creen que teniendo una tendencia a un

mejor valor de estabilidad se tendrá mejores resultados. Para muchos materiales utilizados en ingeniería, la resistencia del material es, repetidamente, una medida de su calidad; asimismo, en el caso de las mezclas asfálticas en caliente, las estabilidades elevadas se obtienen a costa de la durabilidad.

- **Valor de flujo Marshall: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014)** el flujo indica la deformación del espécimen; la deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical del espécimen. Las mezclas asfálticas tienden a tener valores bajos de flujo y valores muy altos de estabilidad por ello son denominadas como demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Es así los que tienen valores altos de flujo son consideradas suficientemente plásticas y tienden a deformarse fácilmente bajo las cargas del tráfico de vehículos.

- **Análisis de densidad y vacíos: Según (Cárdenas y Fuentes, 2014)** una vez que se realicen los ensayos respectivos de estabilidad y flujo a los especímenes, se prosigue a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de ensayado. El propósito del análisis es determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada. Se debe determinar la gravedad específica teórica máxima (ASTM D2041) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente los que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado, se calcula de estos valores.

2.2.7 FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Según (Cárdenas y Fuentes, 2014) las mezclas asfálticas convencionales soportan directamente las acciones de las ruedas de los vehículos y transfieren de adecuadamente las cargas a las capas inferiores de la estructura del pavimento; proporcionando unas condiciones adecuadas de rodamiento, además cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas inferiores. Si se utiliza como material estructural puede caracterizarse de diferentes maneras; el diagnóstico de sus características por la cohesión y el rozamiento interno es usualmente empleada, o por el módulo de rigidez longitudinal o un módulo transversal, o por un valor de estabilidad y deformación. Asimismo, en otros materiales se debe considerar la resistencia a la rotura, la fatiga y las deformaciones plásticas como el ahuellamiento. Las cualidades funcionales de la mezcla asfáltica residen esencialmente en la superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

- La adherencia de las ruedas a la carpeta.
- Las proyecciones del agua en épocas de lluvia.
- El desgaste de las ruedas.
- El ruido en el exterior y en el interior de los vehículos.
- La comodidad y estabilidad en marcha.
- Las cargas dinámicas del tránsito.
- La resistencia a la rodadura.
- El envejecimiento de los vehículos.
- Las propiedades ópticas.

2.2.8 DEFORMACIONES PERMANENTES

2.2.8.1 DEFORMACIONES PLÁSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Según (Huamán, 2011) las deformaciones plásticas en una mezcla asfáltica se presentan en clima cálidos, asimismo se puede presentar por una mal compactación de las capas durante su proceso constructivo, también por los asfaltos blandos o agregados pobres.

Según (Huamán, 2011). El ancho de carriles y la velocidad del tránsito también pueden afectar la deformación permanente. La distribución lateral de la zona de rodadura está influenciada por la velocidad del tránsito, ancho de carril y profundidad de las huellas. Las velocidades bajas del tránsito, las cuales corresponden a frecuencias de carga más bajas, también contribuyen directamente al desarrollo de deformaciones permanentes en las capas bituminosas.

Según (Huamán, 2011) la deformación permanente en carpetas asfálticas ocurre necesariamente por una combinación del flujo del material (viscoelástico ó viscoplástico) y el perjuicio en este material, esta diagnosticado por la formación y presencia de fisuras. La capacidad de una mezcla de resistir este tipo de deformación depende de diversos factores, entre los cuales, la concentración del ligante y la granulometría y volumen de la mezcla (agregados y ligantes).

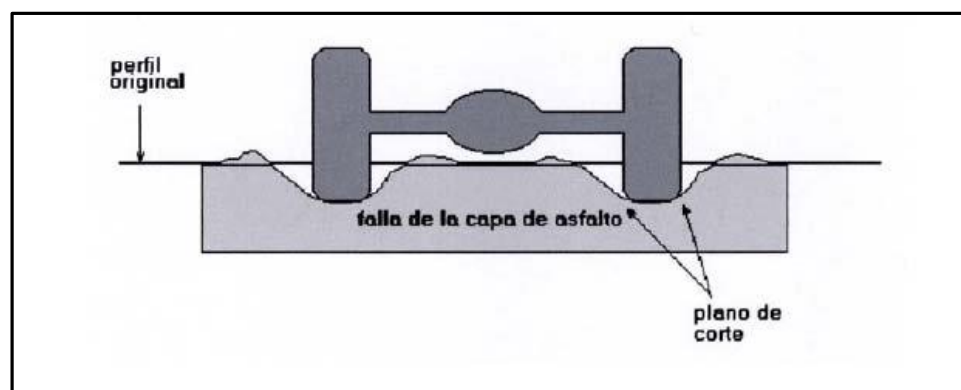
Según (Huamán, 2011). La temperatura del asfalto es un factor que afecta fuertemente a la deformación

permanente; no sólo las temperaturas máximas, sino también los gradientes de temperatura pueden tener una influencia sobre la deformación permanente. La temperatura máxima, así como el gradiente de temperatura pueden ser cambiados por la conductividad térmica de la mezcla, así como la brillantez o reflectividad, por medio de la selección del agregado.

2.2.8.2 AHUELLAMIENTO POR FALLAS EN LA CAPA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Según (Huamán, 2011) este tipo de falla se origina debido a la baja capacidad portante del suelo o a la falta de soportar cargas pesadas, una mezcla asfáltica pobre, va acumulando una evidente deformación plástica, en cada pulso de carga pesada, y generalmente forma una ruta caracterizada con una inclinación y deslizamiento lateral de la mezcla, el Ahuellamiento puede ocurrir en la capa superficial de asfalto o debido al declive en las capas inferiores del asfalto.

Figura N° 3: Ahuellamiento por fallas en la Mezcla Asfáltica



(Huamán, 2011).

Según (Huamán, 2011). Los Ahuellamientos en una mezcla débil ocurren típicamente durante el verano,

cuando el pavimento se encuentra sometido a temperaturas altas, esto podría sugerir que son causados por el sol, pero es más correcto pensar, que es una combinación de la resistencia de los agregados pétreos y el ligante asfáltico empleado.

Según (Huamán, 2011). Los Ahuellamientos como se ha dicho antes son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes y una manera de incrementar la fuerza contra el deslizamiento es no solamente utilizar asfaltos más duros, sino otro que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas; así cuando se aplique la carga el material podrá deformarse y volver a su posición original.

2.2.9 ENSAYOS RECOMENDADOS PARA MEDIR DEFORMACIONES PERMANENTES.

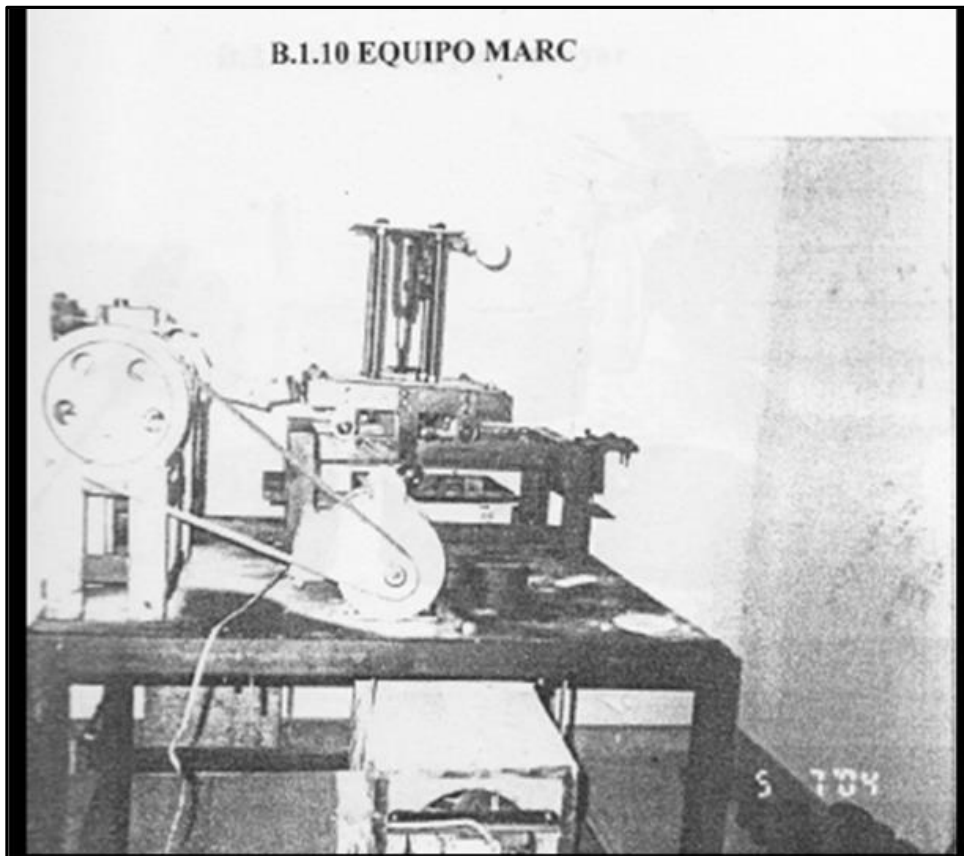
2.2.9.1 MEDIDOR DE AHUPELLAMIENTO – RUEDA CARGADA: MAC-PERÚ.

Según (Huamán, 2011). También en el Perú, ante la necesidad de asegurar un mejor comportamiento de las mezclas asfálticas a través de ensayos de laboratorio que de alguna forma permitan predecir la respuesta del pavimento ante la presencia de las cargas generadas por los vehículos, en el año 2007 se implementa el MARC – PERÚ.

Según (Huamán, 2011). Este equipo se introduce en el Perú como resultado del desarrollo de la tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes del Ingeniero Civil Orlando

Huauya Tomaylla, quien en el año 2007 sustentó la tesis “Desarrollo e Implementación de un Equipo Medidor de Ahuellamiento en Mezclas Asfálticas”, la misma que fue asesorada por el Dr. Ing. Carlos Chang Albitres y sustentada en la Sección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Figura N° 4: Equipo MARC Completo



(Huamán, 2011).

2.2.10 RECOMENDACIONES DE LA MEPDG PARA DEFORMACIONES PERMANENTES (AHUELLAMIENTO)

Según (Huamán, 2011). También en el Perú, ante la necesidad de asegurar un mejor comportamiento de las mezclas asfálticas a través de ensayos de laboratorio que de alguna forma permitan predecir la respuesta del pavimento ante la presencia de

las cargas generadas por los vehículos, en el año 2007 se implementa el MARC – PERÚ.

Según (Huamán, 2011). Como bien es sabido desde el año 2002 existe la Metodología Empírico-Mecanicista para el Diseño Estructural de Pavimentos (MEPDG), a través de la llamada GUIA.

Según (Huamán, 2011). AASHTO 2002, la que a través de los años se ha venido perfeccionando a fin que pueda aplicarse en los diferentes países en busca de la mejora en el diseño de los pavimentos.

Según (Huamán, 2011). El presente trabajo por recomendación del Dr. Ing. Carlos Chang Albitres, reconocido profesional en la especialidad de los pavimentos y asesor de la presente tesis de grado, incluye en el presente trabajo algunas consideraciones de esta guía en lo que corresponde a las predicciones de los Ahuellamientos que como sabemos es una forma de deformación permanente, tema en estudio.

Según (Huamán, 2011). Como antecedentes de esta guía se puede decir que compone aspectos empíricos como mecanicistas. Los factores mecanicistas determinan la respuesta del pavimento ante condiciones críticas de cargas y clima; asimismo son utilizados modelos matemáticos. Los elementos empíricos se relacionarán a la respuesta del pavimento con indicadores observados de comportamiento (deterioros e IRI); límites aceptables y confiabilidad son definidos individualmente para cada indicador.

Según (Huamán, 2011). Es así que según el procedimiento MEPDG, mecanísticamente calcula la respuesta del pavimento (tensiones, deformaciones y deflexiones) asociadas a cargas de

tránsito, y condiciones ambientales, acumula “daño” producido durante el período de diseño.

2.2.11 ASFALTOS MODIFICADOS

Según (Ramírez, 2006). En nuestro medio hay condiciones en las cuales, las mezclas asfálticas convencionales no son idóneos de resistir la acción conjunta del tráfico de vehículos y las acciones del clima, por ello, se necesita implementar nuevos diseños de mezclas asfálticas más resistentes, mejorando sus propiedades mecánicas, haciendo realce en la durabilidad, el ahuellamiento y la fatiga.

Según (Ramírez, 2006). Menciona que la mezcla asfáltica convencional es sensible a la temperatura, por ser un material visco elástico, el cual presenta variación perenne en sus características según la condición de temperatura: es rígido cuando la temperatura desciende y es fluida cuando asciende la temperatura. La primordial característica al utilizar elementos que modifican el cemento asfáltico, es garantizar propiedades no encontradas en los asfaltos producidos con la tecnología convencional, especialmente las que tienen que ver con la gradiente térmica.

Según (Ramírez, 2006) la rentabilidad o aprovechamiento que se pueden conseguir al modificar el asfalto son:

- Incrementar la durabilidad del pavimento.
- Disminuir la sensibilidad térmica, de modo que se incremente la rigidez a una temperatura alta de servicio, obteniendo la resistencia de las mezclas a la deformación permanente y, por otro lado, se disminuya la fragilidad del asfalto expuesto a temperaturas bajas, cuidando así la fisuración térmica.
- Incrementar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- Acrecentar la adhesión del asfalto con los agregados pétreos.

- Incrementar la cohesión, brindando mejor retención de los agregados.
- Disminuir el envejecimiento en servicio, ampliando la vida útil de las mezclas asfálticas, ya que se mantienen las ventajas iniciales.

Según (Ramírez, 2006) esencialmente la adición de polímeros en las mezclas asfálticas convencionales ha conseguido mejorar sus características, como disminuir la deformabilidad y mayor resistencia a solicitud del tránsito. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse al interactuar con el betún asfáltico.

Según (Ramírez, 2006). Los polímeros más utilizados son los plastómeros EVA (etileno acetato de vinilo), los elastómeros SBS (estireno-butadieno-estireno) y el caucho molido.

2.2.12 APLICACIÓN DE GRANOS DE CAUCHO EN LAS MEZCLAS

Según (Ramírez, 2006) para utilizar el polvo de caucho provenientes de los neumáticos fuera de uso y adicionarlo en la mezcla asfáltica existen tres formas diferentes de obtener mediante el proceso vía húmeda, vía sea y proceso en refinería.

Según (Ramírez, 2006) mediante el Proceso Húmedo, el caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso interviene modificando principalmente el cemento asfáltico, asimismo, mediante el Proceso Seco, el caucho proveniente de neumáticos fuera de uso es adicionado como una porción de agregado fino. Ahora en el Proceso en Refinería, la mezcla del caucho con el cemento asfáltico se ejecuta necesariamente en la planta productora de asfalto, para que posteriormente sea transportado a obra en donde se mezclara con los agregados para producir la mezcla

asfáltica. Cada proceso es ejecutado dependiendo de la necesidad y del producto que se quiera obtener.

Según (Ramírez, 2006). A continuación, se muestra la terminología asociada al uso de los granos de caucho en mezclas asfálticas:

Figura N° 5: Terminología Asociada con el Uso del Caucho en las Mezclas Asfáltica

MATERIAL	VÍA	PRODUCTO
GRANOS DE CAUCHO	Húmeda	Asfalto modificado con caucho ó Asfalto-Caucho
	Seca	Mezcla asfáltica mejorada con caucho

(Ramírez, 2006).

2.2.13 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADO CON CAUCHO

Según (Ramírez, 2006) Como se ha visto, existen diferentes tecnologías al adicionar el caucho de neumáticos fuera de uso en la mezcla asfáltica, asimismo presentan ciertas ventajas que son favorables para ambos casos. Entre estas ventajas, se halla el perfeccionamiento a la resistencia a las deformaciones plásticas.

Según (Ramírez, 2006) se puede mencionar en términos sencillos, que cuanto más caucho se adiciona, es mayor el contenido del cemento asfáltico en la mezcla asfáltica y se incrementa la resistencia a la fatiga y a la reflexión de grietas.

Según (Ramírez, 2006) menciona que el primordial beneficio que se obtiene usando asfalto con caucho como ligante modificado mediante el proceso de vía húmeda, está la reducción de la

susceptibilidad térmica, asimismo mejora su comportamiento a la fatiga y el envejecimiento producto de los altos contenidos de ligante asfalto adicionado caucho (entre 6.5 y 7.5% con respecto a los agregados), sin que se perjudique la resistencia a las deformaciones plásticas. Por ello se debe de mencionar que al adicionar el caucho como modificador del ligante, incrementa la viscosidad, permitiendo incrementar flexibilidad a bajas temperaturas y mejor estabilidad a altas.

Según (Ramírez, 2006) las desventajas del proceso por Vía Húmeda, se debe que, al poseer un alto costo inicial, debido que es fundamentalmente incrementar equipos especiales en dicho proceso para la producción y el respectivo mezclado del ligante conjuntamente con el polvo de caucho. Es así que al incrementar la viscosidad produciríamos dificultades en la colocación y compactación es por eso que se requieren mayores temperaturas de mezclado y de compactación.

Según (Ramírez, 2006) en el proceso por vía seca, la interacción entre el polvo de caucho y el cemento asfáltico disminuye para el ligante asfalto y polvo de caucho resultados que se tienen por vía húmeda, si se halla la temperatura y tiempo de digestión especificada, se tendrá propiedades semejantes en ambas mezclas.

Según (Ramírez, 2006) el uso de particular de granulometría gruesa de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica podría aumentar el desempeño de la misma mezcla. La granulometría de caucho queda a simple vista en las superficies del pavimento, necesariamente tiene una función fundamental de evitar que los neumáticos de los vehículos se deslicen sobre el pavimento, ofreciendo un mejor agarre, y las que quedan dentro del cuerpo de la mezcla ayudan a retardar el fisuramiento de ésta, por absorción de los esfuerzos, obstaculizando la propagación de la fisura.

2.3. BASES LEGALES

La investigación presente se regula a normas técnicas, Leyes, Artículos y Reglamentación correspondiente a las variables de polvo de caucho y ahuellamiento, basado en la metodología de diseño Marshall y otros ensayos de vital importancia, a continuación, se detallan las normas utilizadas:

- Norma Técnica de Edificación CE.010 Pavimentos Urbanos
- Norma Técnica Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.
- Norma técnica MTC E 1002 - 2000 Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Manual de ensayo de materiales (EM - 2000)
- Norma ASTM International Designation D 4695 – 03

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Las definiciones que a continuación se detallan líneas abajo son recopiladas del “**Glosario De Términos De Uso Frecuente En Proyectos De Infraestructura Vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones**” (agosto 2008), que paso a detallar:

- **AFIRMADO:** Es una capa de material selecto procesado de acuerdo a diseño, que se coloca sobre la subrasante o sub-base de un pavimento. Funciona como capa de rodadura y de soporte al tráfico en vías no pavimentadas. Esta capa puede tener un tratamiento de estabilización.
- **ASFALTO:** Es un material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

- **AHUELLAMIENTO:** Son surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

- **BASE:** Es una capa generalmente granular, aunque también podría ser de suelo estabilizado, de concreto asfáltico, o de concreto hidráulico. Su función principal es servir como elemento estructural de los pavimentos, aunque en algunos casos puede servir también como capa drenante.

- **CAPA ASFÁLTICA DE SUPERFICIE:** Es la capa superior de un pavimento asfáltico, llamada también Capa de Desgaste o Capa de Rodadura.

- **CAPA DE BASE ASFÁLTICA:** Es una capa estructural de algunos pavimentos flexibles compuesta de agregados minerales unidos con productos asfálticos. También conocida como Base Negra.

- **CEMENTO ASFÁLTICO:** Es un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.

- **ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO:** Es una estructura de pavimento con todas sus capas de mezclas asfálticas, o de una combinación de capas asfálticas y base granulares, colocadas encima de la sub-rasante natural o estabilizada.

- **IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA:** Es Asfalto diluido, aplicado con un rociador de boquilla que permita una distribución uniforme sobre la Base Granular para impermeabilizarla y lograr su adherencia con la Capa Asfáltica de Superficie.

- **LABORATORIO:** Es una organización que mide, examina, ejecuta los

ensayos; o de otra forma, determina las características o el comportamiento de materiales o productos.

- **MÉTODOS DE ENSAYO PARA LA EVALUACION DE MATERIALES:** Son ensayos normalizados y usados para evaluar los materiales empleados en el proyecto.

- **MUESTRA:** Es un segmento de una población seleccionado según la norma correspondiente o un procedimiento estadístico aceptado, para representar a toda la población.

- **PAVIMENTO:** Es la estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado Período de Diseño y dentro de un rango de Serviciabilidad. Esta definición incluye pistas, estacionamientos, aceras o veredas, pasaje peatonal y Ciclovías

- **PAVIMENTOS FLEXIBLES (PAVIMENTOS ASFÁLTICOS):** Se clasificación por comportamiento de los pavimentos con superficie asfáltica en cualquiera de sus formas o modalidades (concreto asfáltica mezcla en caliente, concreto asfáltica mezcla en frío, mortero asfáltico, tratamiento asfáltico, micropavimento, etc.), compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base y una sub base granulares. El pavimento asfáltico de espesor total (full-depth®), es el nombre patentado por el Instituto del Asfalto, para referirse a los pavimentos de concreto asfáltico construidos directamente sobre la sub-rasante.

- **PAVIMENTOS SEMI FLEXIBLES (INTERTRABADOS):** Es un pavimento cuya capa de rodadura estuvo tradicionalmente conformada por unidades de piedra, madera o arcilla cocida. En la actualidad se utilizan unidades de concreto colocadas sobre una capa de arena, rellorando los espacios entre ellas con arena, para proveerles de

trabazón. De la misma manera que los pavimentos asfálticos tienen una base y además pueden tener una sub-base. Su comportamiento se puede considerar como semi-flexible.

- **PERIODO DE DISEÑO:** Según “**Glosario De Términos De Uso Frecuente En Proyectos De Infraestructura Vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones**” (agosto 2008). Es el tiempo, normalmente expresado en años, transcurrido entre la construcción (denominada año cero) y el momento de la rehabilitación del pavimento.

- **RASANTE:** Es el nivel superior del pavimento terminado. La Línea de Rasante se ubica en el eje de la vía.

- **SUB-RASANTE:** Es el nivel inferior del pavimento paralelo a la rasante.

- **TIPOS DE VIAS:** El sistema vial está constituido por vías expresas, vías arteriales, vías colectoras, vías locales y pasajes.

- **TRÁFICO:** Determinación del número de aplicaciones de carga por eje simple equivalente, evaluado durante el período de diseño de proyecto. Si el número de aplicaciones es menor de 104 ESALs se considera Tráfico Ligero. Si el número de aplicaciones es mayor o igual a 104 ESALs y menor de 106 ESALs se considera como Tráfico Medio. Si el número de aplicaciones es mayor a 10⁶ ESALs se considera tráfico alto.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016.

3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”:**

La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional influye significativamente en la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.

- **HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”:**

La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.

3.3. VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Polvo de Caucho.

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Ahuellamiento.

3.3.1. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES
(Favor pasar a los cuadros)

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): POLVO DE CAUCHO.

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

Tabla N° 1: Preoperacionalización de La Variable Independiente X

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
POLVO DE CAUCHO	El polvo de caucho es un material constituido por partículas finas de caucho natural y sintético vulcanizado, obtenido del triturado de los neumáticos fuera de uso hasta el tamaño deseado y separando los metales, tejidos (fibras textiles) y otras impurezas que puedan incorporar.	GRANULOMETRÍA	Gradación por tamizado y peso	Gramos / kilogramos	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		PROPORCION, CANTIDAD PARA EL DISEÑO	Porcentaje de proporción de polvo de caucho	Porcentaje de proporción	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		TIPO DE CAUCHO	Clasificación y concentración de caucho	Tipo y porcentaje de concentración	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): AHUELLAMIENTO.

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

Tabla N° 2: Preoperacionalización De La Variable Independiente Y

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
AHUELLAMIENTO	Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.	DURABILIDAD	Degaste	Porcentaje	<ul style="list-style-type: none"> DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515). FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		DEFORMACIÓN PLASTICA	Depresión del ahuellamiento	Centímetros / milímetros	<ul style="list-style-type: none"> PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA. FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

OPERACIONALIZACIÓN DE LA PRIMERA VARIABLE INDEPENDIENTE (X):

Tabla N° 3: Operacionalización De La Primera Variable Independiente (X)

VARIABLE	DIMENSIONES	0	1	2
POLVO DE CAUCHO	Granulometría	MAC	MAC	MAC
	Proporción y cantidad de diseño	1%	2%	3%
	Tipo de Caucho	Artesanal	Industrial	

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

OPERACIONALIZACIÓN DE LA SEGUNDA VARIABLE DEPENDIENTE (Y):

Tabla N° 4: Operacionalización De La Segunda Variable Dependiente (Y)

VARIABLE	DIMENSIONES	0	1	2
AHUELLAMIENTO	Durabilidad	0% – 10% (bajo)	11% – 50% (medio)	51% - 100% (alto)
	Deformación plástica	0cm – 1cm (bajo)	2cm – 5cm (medio)	Mayor a 5cm (alto)

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por su finalidad de estudio, el tipo de investigación es APLICADA O TECNOLÓGICA que cuenta con las variables propuestas, el objetivo general y objetivos específicos de la investigación.

4.2. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es EXPERIMENTAL - CORRELACIONAL

4.3. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

4.3.1. MÉTODO GENERAL

En el presente trabajo de investigación se utilizó el MÉTODO CIENTÍFICO como método general, además del inductivo y deductivo.

4.3.2. MÉTODO ESPECÍFICO

Se utilizó el: MÉTODO CUANTITATIVO, en razón que los datos obtenidos, se tratan de datos numéricos y susceptibles de medición e interpretación, por ser datos categoriales y que se someterán a un análisis estadístico, es decir determinar, de qué manera influye la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016.

4.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se utilizó en el trabajo de investigación es CAUSAL CORRELACIONAL; de acuerdo a los indicadores: Gradación de agregado, proporción física de polvo de caucho, contenido de asfalto, para la variable: POLVO DE CAUCHO, asimismo Durabilidad e Depresión de Ahuellamiento, para la variable: COMPORTAMIENTO DEL MAC FRENTE AL AHUELLAMIENTO.

4.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.5.1. POBLACIÓN

Lote de cemento asfáltico de petróleo de penetración 85/100 (PEN 85/100), adquirido por la Municipalidad Provincial de Huancayo de su planta de Asfalto PRONA ubicada en Quebrada Honda – El tambo - Huancayo.

4.5.2. TIPOS DE MUESTRA

El tipo de muestreo es no aleatorio del tipo dirigido o intencional, cuyo detalle es el siguiente:

- 80 Briquetas para ensayo Marshall
- 2400 gr. Para lavado asfáltico.
- 20 Briquetas para ensayo Cántabro.
- 2 Tramos de prueba

4.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.6.1. TÉCNICAS

En primer lugar, se tuvo en cuenta el análisis documental, donde se consideraron las fuentes bibliográficas, de resumen, de párrafo; que nos sirvieron para estructurar el marco teórico referencial y conceptual. Asimismo, se tuvo presente las no documentadas como son los: certificados de los ensayos destructivos y no destructivos, y la ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. En relación a la naturaleza del trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

4.6.2. INSTRUMENTOS

El instrumento que se aplicó en la unidad de análisis fueron principalmente los certificados de los ensayos destructivos y no destructivos y las fichas de organización, sistematización e interpretación de datos obtenidos en los ensayos, que figura en el anexo correspondiente.

Tabla N° 5: Técnicas e instrumentos de investigación

TÉCNICA	INSTRUMENTO	DATOS QUE SE OBSERVARON
Ensayos	<ul style="list-style-type: none"> • Certificado de Ensayos correspondientes. 	Con la aplicación de estos instrumentos nos permitieron: analizar y evaluar mediante la exploración de ensayos aquellos aspectos de diseño, tal como el diseño del MAC a través de la metodología y Prensa Marshall aplicando proporciones variadas de polvo de caucho (1%, 2% y 3%), ensayo de desgaste (Cántabro), lavado asfáltico y la aplicación los paños de prueba In Situ.
Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. 	Al analizar los certificados de los ensayos destructivos y no destructivos es necesario organizar y tabular los datos obtenidos con el fin de realizar su evaluación técnica y su procesamiento estadístico e interpretación.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

4.6.3. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

- **Microsoft Excel:** Para exportar cuadros y datos estadísticos de los resultados y datos obtenidos de los ensayos destructivos y no destructivos.
- **Microsoft Word:** Para la elaboración de la parte descriptiva de las fichas Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos.

- **S10 Presupuestos 2005:** Para la elaboración de la parte de costos entre el MAC – Convencional y MAC – Adicionado el 2% de polvo de caucho.

4.6.4. CRITERIOS DE VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS

El documento se adjunta en el Anexo N° 05 Como validación y confiabilidad del instrumento siendo visados y aprobados por cada identidad y opiniones de expertos en el tema.

CAPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN, CARACTERÍSTICAS E IDENTIFICACIÓN DE LOS ENSAYOS Y PROCEDIMIENTOS DE INGENIERIA REALIZADOS

Los ensayos realizados para la elaboración de esta tesis fueron realizados en el laboratorio: “CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SCRL” – Elaboración de Proyectos – Ejecución de Obras - Control de Calidad en Mecánica de Suelos, la dirección del laboratorio es: Av. Oriente N° 772 – Concepción.

Asimismo, para la ejecución de los paños de prueba fue realizado en prolongación Santa Lucia – San Carlos – Huancayo, en presencia de la Tesista. Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila, como responsable de los procesos y controles técnicos de Ingeniería para el presente trabajo de investigación, el Tec. Javier Santa Cruz Veliz, como responsable técnico del Laboratorio de Suelos, concreto y pavimentos de la CONSTRUCTORA INGENIEROS Y ARQUITECTOS ASESORES SANTA CRUZ SCRL” y el Ing. Jesús Idén Cárdenas Capcha, como especialista técnico del presente trabajo de Investigación.

A continuación, se detalla la ubicación de los paños de prueba realizados.

Figura N° 6: Ubicación de los Paños de Prueba







(Fotografía digital- Google Earth).

Además, se explica y detalla el procedimiento de los ensayos realizados en laboratorio y en campo.

5.1.1. RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504).


Tabla N° 6: Procedimiento del Ensayo: Resistencia De Mezclas Bituminosas Empleando El Aparato Marshall (ASTM D-1559) / (MTC-E 504).

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	PROCEDIMIENTO	IDENTIFICACIÓN	IMÁGENES
<p>RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)</p> <p>OBJETIVO:</p> <p>Diseñar una mezcla asfáltica, obteniendo como resultado una granulometría idónea, el contenido óptimo de asfalto y calcular sus diferentes parámetros de comportamiento.</p> <p>DEFINICIÓN:</p> <p>Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento.</p> <p>El análisis está enfocado hacia cuatro características y cualidades de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla, así mismo seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas características y cualidades.</p> <p>Las cuatro características son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidad de la mezcla • Vacíos de aire, o simplemente vacíos. • Vacíos en el agregado mineral. • Contenido de asfalto. <p>Las cualidades son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad • Flujo • Índice de rigidez • Durabilidad • Trabajabilidad • Resistencia al deslizamiento • Etc. <p>EQUIPO Y MATERIALES QUE SE UTILIZO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Molde ensamblado para especímenes, molde cilíndrico. ➤ Equipo misceláneo: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cocina Industrial. ✓ Taras y bandejas. ✓ Cucharones, espátulas para batido. ✓ Horno. ✓ Balanza, con aproximación a 0.1 g. ✓ Termómetro calibrado de 10 a 200°C. ✓ Corrector para marcar muestras ➤ Martillo de compactación. ➤ Extractor de núcleo de muestras. ➤ Cabezal de ruptura ➤ Máquina de carga a comprensión. ➤ Medidor de flujo (flujometro). ➤ Baño de agua (precisión de +/- 1°C). 	<p>Para realizar el ensayo Marshall se diseña para un MAC – Convencional, MAC – Adicionado 1% De Polvo de Caucho, MAC – Adicionado 2% De Polvo De Caucho, MAC – Adicionado 3% De Polvo De Caucho con diferentes contenidos de cemento asfáltico para un 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% de PEN (85/100), asimismo con un peso de muestra total de 1200 gramos para cada uno de los porcentajes de cemento asfáltico.</p> <p>Se procede al pesado del agregado grueso retenido en las mallas 3/4", 1/2", 3/8" y de la arena gruesa chancada malla N°4, N° 10, N° 40, N° 80 y N° 200 y al pesado del polvo de caucho para cada uno de los porcentajes 1%, 2%, 3% que se adiciona e incorpora en la arena gruesa chancada.</p> <p>De la misma forma se empiezan hacer calentar los moldes y agregados (pesados) en la cocina industrial y con ayuda del termómetro se va controlando la temperatura; calentar el PEN (85/100) en el horno a 150°C como mínimo; una vez calentados los agregados a 150°C se incorpora el polvo de caucho y el PEN, con ayuda de la balanza controlando los pesos.</p> <p>Una vez ya pesados las muestras con/sin polvo de caucho e incorporado el PEN se realizan las mezclas correspondientes en la cocina industrial y con la ayuda del termómetro se va controlando la temperatura.</p> <p>Una vez alcanzado la temperatura de la mezclas asfáltica con/sin polvo de caucho se procede al llenado del molde en dos capas con 15 veces achuradas por cada capa.</p> <p>De igual manera una vez teniendo la mezcla en el molde se procede a llevar al Martillo de compactacion empleando 75 golpes por cada una de las caras, luego de un tiempo se procede a desmoldar con el extractor de nucleo de muestras.</p> <p>Asimismo, con una lija se procede a quitar las partes imperfectas de los bordes de las briquetas para poder medir las alturas y pesar en seco y bajo agua cada una de las briquetas con/sin polvo de cacuho.</p> <p>Una vez ya pesadas y medidas las briquetas se les acondiciona a Baño maria en nuestro caso se coloca 10 briquetas colocadas una tras de otra en relación a un minuto por un promedio de 35 a 40 minutos para llegar a 60°C.</p> <p>Una vez alcanzado la temperatura adecuada se procede a la rotura de cada una de las briquetas con/sin polvo de caucho midiendo el flujo y la estabilidad, con la maquina de carga de comprensión.</p> <p>De igual manera al final de las roturas se procede al trabajo de gabinete donde por criterio se despresa una briqueeta de cada uno de los porcentajes de cemento asfáltico con/sin polvo de caucho.</p>	<p>Los Especímenes obtenidos en laboratorio son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MAC – Convencional, 20 Briquetas. • MAC – Adicionado 1% De Polvo De Caucho, 20 Briquetas. • MAC – Adicionado 2% De Polvo De Caucho, 20 Briquetas • MAC – Adicionado 3% De Polvo De Caucho, 20 Briquetas <p>Los especímenes seleccionados para trabajar en gabinete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MAC – Convencional, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 1% De Polvo De Caucho, 15 Briquetas. • MAC – Adicionado 2% De Polvo De Caucho, 15 Briquetas • MAC – Adicionado 3% De Polvo De Caucho, 15 Briquetas 	   

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

5.1.2. CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO



Tabla N° 7: Procedimiento del Ensayo: Contenido De Bitumen En Los Agregados Y Análisis Granulométrico Por Tamizado

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	PROCEDIMIENTO	IDENTIFICACIÓN	IMÁGENES
<p>CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO. NORMA: (ASTM D 2172 AASHTO T 164) / (MTC E 502)</p> <p>OBJETIVO:</p> <p>Determinar el contenido de residuo o cemento asfáltico en las mezclas, expresándolo como porcentaje en peso respecto al del material pétreo seco.</p> <p>DEFINICIÓN:</p> <p>Para obtener el contenido de cemento asfáltico en la mezcla ya elaborada se emplea un aparato llamado Rótarex o extractor centrífugo, que proporciona un medio útil para comprobar el porcentaje de cemento asfáltico presente en la mezcla. Además, permite el efectuar un análisis granulométrico del agregado al finalizar la prueba de extracción del cemento asfáltico.</p> <p>EQUIPO Y MATERIALES QUE SE UTILZO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Rótarex - Centrífuga. ➤ Cuchara chica. ➤ Balanza, con aproximación a 0.1 gr. ➤ Cocina industrial. ➤ Taras y bandejas. 	<p>Para realizar el ensayo de Lavado Asfáltico se procede a obtener las muestras de campo MAC – Convencional y MAC – Adicionado el 2% de Polvo de Caucho que fueron utilizados para los paños de prueba.</p> <p>El peso de la muestra obtenida aproximadamente 1200 gr. Para cada una de las muestras, se procede al peso de las taras y al peso inicial de la muestra con/sin polvo de caucho.</p> <p>Una vez pesados se procede a colocar a la Rótarex – centrífuga por un periodo de 15 a 20 minutos. Así mismo se incorpora el tricloro etileno el cual se va eliminando hasta que quede transparente mas o menos 6 ciclo.</p> <p>Una vez que se encuentra ya retirada la muestra de la Rótarex – centrífuga, se procede al secado de la muestra y una vez ya secado se procede al pesaje final.</p> <p>De igual forma se realiza la granulometría según las especificaciones técnicas.</p> <p>Asimismo al final se realizan el procesamiento de datos en gabinete.</p>	<p>Los Especimenes obtenidos en campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ MAC – Convencional, 01 especimen extraido. ➤ MAC – Adicionado el 2% de Polvo de Caucho, 01 especimen extraido. 	

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

5.1.3. DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EL ENSAYO DE CANTABRO (MTC E 515)


Tabla N° 8: Procedimiento del Ensayo: Desgaste De Mezcla Asfáltica En Caliente El Ensayo De Cántabro (MTC E 515)

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	PROCEDIMIENTO	IDENTIFICACIÓN	IMÁGENES
<p>DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515).</p> <p>OBJETIVO:</p> <p>Describir el procedimiento para la determinación del valor de la pérdida por desgaste de las mezclas asfálticas empleando la máquina de Los Ángeles.</p> <p>DEFINICIÓN:</p> <p>Este ensayo permite valorar directamente la cohesión, trabazón, así como la resistencia a la disgregación de la mezcla, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.</p> <p>EQUIPO Y MATERIALES QUE SE UTILIZO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Equipo de compactación: <ul style="list-style-type: none"> • Moldes • Collar • Placa de base • Cocina industrial • Taras y bandejas. • Cucharones, espátulas para batido. • Horno. • Balanza, con aproximación a 0.1 g. • Termómetro calibrado de 10 a 200°C. • Corrector para marcar muestras ➤ Máquina de Abrasión Los Ángeles. 	<p>Las briquetas a ensayar se diseñaron para un MAC – Convencional, MAC – Adicionado 1% De Polvo de Caucho, MAC – Adicionado 2% De Polvo De Caucho, MAC – Adicionado 3% De Polvo De Caucho con diferentes contenidos de cemento asfáltico para un 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7% de PEN (85/100),teniendo así 01 briqueta por cada contenido de PEN y con/sin polvo de caucho.</p> <p>Una vez que ya se tienen las briquetas, se procede a determinar la masa de cada briqueta, antes de ensayarlas dichas briquetas se mantienen a temperatura de ensayo mínimo; luego se introduce una briqueta del mismo porcentaje de cemento asfáltico con/sin polvo de caucho en el bombo de la maquina de los Angeles sin la carga abrasiva de las bolas, se hace girar el tambor a la misma velocidad normalizada en las MTC E 207, durante 300 vueltas o 30 rpm.</p> <p>De igual forma una vez que termina de girar la briqueta se procede al pesaje final en la balanza, ese mismo procedimiento se realiza para cada porcentaje de cemento asfáltico con/sin polvo de caucho.</p> <p>Luego se procede a los calculos en gabinete.</p>	<p>Los Especímenes obtenidos en laboratorio son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • MAC – Convencional, 5 Briquetas. • MAC – Adicionado 1% De Polvo De Caucho, 5 Briquetas. • MAC – Adicionado 2% De Polvo De Caucho, 5 Briquetas • MAC – Adicionado 3% De Polvo De Caucho, 5 Briquetas 	 

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

5.1.4. PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICION DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA.

Tabla N° 9: Procedimiento Para La Medición Del Ahuellamiento De Paños De Prueba

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS	PROCEDIMIENTO	IDENTIFICACIÓN	IMÁGENES
<p>PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PAÑO DE PRUEBA MAC CONVENCIONAL. • PAÑO DE PRUEBA MAC ADICIONADO 2% DE POLVO CAUCHO. <p>OBJETIVO:</p> <p>Determinar la verificación del ahuellamiento (depresión), para lo cual se construyó dos paños de prueba, MAC – Convencional y MAC – Adicionado el 2% de Polvo de Caucho.</p> <p>DEFINICIÓN:</p> <p>Este tramo de prueba permite valorar directamente el comportamiento de cada uno de los paños de prueba, así visualizar la depresión del ahuellamiento originados por el tráfico.</p> <p>EQUIPO Y MATERIALES QUE SE UTILIZO:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Camión volquete placa EGD 553 cargado con 4 m3 de hormigón. ➤ Compactadora lisa (patito). ➤ Herramientas. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pico ✓ Lampa ✓ Carretilla ✓ Regla de aluminio ✓ Flexómetro ➤ Equipo misceláneo: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cocina Industrial. ✓ Taras y bandejas. ✓ Cucharones, espátulas para batido. ✓ Horno. ✓ Balanza, con aproximación a 0.1 g. ✓ Termómetro calibrado de 10 a 200°C. ➤ Yeso ➤ Plástico 	<p>Para ejecutar el tramo de prueba en campo de los 02 paños de prueba MAC-Convencional y MAC-Adicionado el 2% de polvo de caucho, con cemento asfáltico de 6.1% de PEN (85/100) para ambos paños. Asimismo se cubico para los dos paños 11.13 m3 de mezcla asfáltica en caliente.</p> <p>Para iniciar el trabajo se llevo a pesar el volquete de placa EGD 553, asimismo se inicio con el corte y compactado a nivel de sub rasante, una vez ya compactado se procedio a sacar una densidad de campo arrojando un resultado del 95% compactación.</p> <p>De igual manera una vez llegado al porcentaje de compactación requerido para la sub rasante, se procede a colocado y tendido de la base E=0.20 cm con material GW – Grava bien graduada, compactando con la plancha lisa (patito) en tres capas respectivamente, una vez compactado se procede a sacar una densidad de campo arrojando un resultado del 99.5% compactacion.</p> <p>Una vez ya preparado y liberado la estructura del pavimento. Se procede en el laboratorio al secado y pesado del agregado grueso retenido en las mallas 3/4", 1/2", 3/8" y de la arena gruesa chancada malla N°4, N° 10, N° 40, N° 80 y N° 200 y al pesado del polvo de caucho para 2% que se adiciona e incorpora en la arena gruesa chancada.</p> <p>De la misma forma se empiezan hacer calentar los agregados (pesados) en la cocina industrial y con ayuda del termómetro se va controlando la temperatura; de igual forma se calienta el PEN (85/100) en el horno a 140°C como mínimo; una vez calentados los agregados a 140°C se incorpora el polvo de caucho y el PEN, con ayuda de la balanza controlando los pesos.</p> <p>Una vez ya pesados las muestras con/sin polvo de caucho e incorporado el PEN se realizan las mezclas correspondientes en la cocina industrial y con la ayuda del termómetro se va controlando la temperatura, como la cantidad requerida para los paños es considerable todas las combinaciones se realizaron en el mismo campo cerca a los paños de prueba y se fue acopiando las mezclas en un cilindro (tambien se controla la temperatura 150°C).</p> <p>Asi mismo una vez termidado de acopiar el material para cada una de los paños con/sin polvo de caucho, se procede a colocar la carpeta asfáltica de E=2" en cada uno de los paños de prueba, cabe resaltar que la imprimación de dichos paños se realizo un día antes para cumplir con las 24 horas de imprimación, dicha imprimación se realizó con MC 30.</p> <p>Al momento de colocar la carpeta asfáltica de E=2" se utilizó lampas y regla de aluminio para extender el material una vez extendido el material se procedio a pasar la plancha lisa con el fin de compactar y casi al final se esparcio cal en cada paño como</p>	<p>Los Paños de prueba en campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ MAC – Convencional, 01 paño de carpeta asfáltica de 1.00m x 1.00m, e=2". ➤ MAC – Adicionado el 2% de Polvo de Caucho, 01 paño de carpeta asf de 1.00m x 1.00m, e=2". 	

sello para espacios vacios.

Una vez que se termino de compactar los paños, se procedio a esperar 4 horas como mínimo para dar libre transito con el volquete de placa EGD 553 cargado con 4 m3 de hormigon simulando una carga de 8.2 toneladas; iniciando un recorrido de ida y vuelta con las llantas traseras a fin que las cargas puntuales sean transmitidas a los dos paños de prueba.

El recorrido del volquete en los paños de prueba fue por un periodo de 4 horas, durante la prueba fue sometiendo a condiciones: bajo inmersión y saturacion de agua a los dos paños.

Asimismo una vez terminada la prueba se procedio a medir la depresión del ahuellamiento de cada auno de los paños de prueba, las mediciones que se tomaron fue al inicio, medio y final de cada paño.



5.2. PRESENTACION DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS TÉCNICOS Y PROCEDIMIENTO DE INGENIERIA REALIZADOS

Durante la presente investigación se han realizado cuatro (4) diseños de mezclas asfálticas en caliente mediante la prensa Marshall, con las siguientes características, convencional, con adición de polvo de caucho al 1%, 2% y 3 %, respectivamente.

Por otro lado, se ha construido dos paños de prueba en campo, para la verificación del ahuellamiento y desgaste de carpeta asfáltica con el diseño convencional y el adicionado con caucho. Asimismo, se extrajo lavados asfálticos a fin de verificar su gradación y el óptimo contenido de asfalto utilizado. A continuación, se detallan las lecturas y datos obtenidos de los certificados.

Tabla N° 10: Detalle de datos: Ensayo Marshall MAC - Convencional

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL	RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)													
	NORMA: ASTM D 6927													
	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE VACÍOS	% DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	% DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	ESTABILIDAD CORREGIDA		FLUJO		INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)
										(Kg)	(KN)	(mm)	(cm)	
1	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	6.80	16.60	59.20	1,254.00	12.54	3.40	0.34	3,708.00	
2	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.50	5.60	16.70	66.30	1,147.00	11.47	3.50	0.35	3,309.00	
3	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.00	3.50	16.00	77.80	1,022.00	10.22	3.70	0.37	2,813.00	
4	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.50	2.00	16.10	87.80	957.00	9.57	4.50	0.45	2,134.00	
5	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	7.00	1.70	15.40	88.90	921.00	9.21	5.20	0.52	1,760.00	

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 11: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 1% de Polvo de Caucho

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)														
NORMA: ASTM D 6927														
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 1% DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE VACÍOS	% DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	% DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	ESTABILIDAD CORREGIDA		FLUJO		INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)
										(Kg)	(KN)	(mm)	(cm)	
	1	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.00	10.10	19.40	48.10	1,328.00	13.28	4.70	0.47	2,805.00
	2	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.50	8.70	19.00	54.50	1,164.00	11.64	3.90	0.39	2,992.00
	3	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.00	6.20	17.80	64.90	1,138.00	11.38	4.00	0.40	2,865.00
	4	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.50	5.90	18.40	67.80	1,079.00	10.79	4.70	0.47	2,317.00
	5	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	7.00	5.50	18.90	71.00	1,045.00	10.45	5.70	0.57	1,844.00

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 12: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 2% De Polvo De Caucho

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)														
NORMA: ASTM D 6927														
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 2% DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE VACÍOS	% DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	% DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	ESTABILIDAD CORREGIDA		FLUJO		INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)
										(Kg)	(KN)	(m m)	(cm)	
	1	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.00	10.00	20.20	50.60	933.00	9.33	3.90	0.39	2,393.00
	2	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.50	7.80	19.20	59.10	910.00	9.10	3.90	0.39	2,337.00
	3	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.00	6.00	18.50	67.30	815.00	8.15	3.90	0.39	2,096.00
	4	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.50	6.60	19.90	66.70	792.00	7.92	4.70	0.47	1,699.00
	5	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	7.00	8.30	22.10	62.60	717.00	7.17	5.50	0.55	1,303.00

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 13: Detalle de Datos: Ensayo Marshall - MAC - Adicionado 3% De Polvo De Caucho

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504)														
NORMA: ASTM D 6927														
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 3 % DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE VACÍOS	% DE VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VMA)	% DE VACÍOS LLENADOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	ESTABILIDAD CORREGIDA		FLUJO		INDICE DE RIGIDEZ (kg/cm)
										(Kg)	(KN)	(mm)	(cm)	
	1	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.00	11.60	21.60	46.20	878.00	8.78	4.60	0.46	1,934.00
	2	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	5.50	9.90	21.20	53.20	828.00	8.28	4.90	0.49	1,688.00
	3	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.00	7.90	20.50	61.60	748.00	7.48	5.00	0.50	1,502.00
	4	IZQ.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	6.50	7.50	21.20	64.70	715.00	7.15	5.50	0.55	1,302.00
	5	DER.	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2 + CAUCHO	7.00	9.00	23.50	61.90	705.00	7.05	5.50	0.55	1,280.00

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL. - Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 14: Detalle de Datos: Ensayo Contenido De Bitumen En Los Agregados Y Análisis Granulométrico Por Tamizado

CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO														
NORMA: (ASTM D 2172 AASHTO T 164)/ (MTC E 502)														
N° DE MUESTRA	MUESTRA EXTRAIDA	LADO	CAPAS	% PASANTE ACUMULADO								GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	CONTENIDO O ASFÁLTICO (%)
				AGREGADO GRUESO				AGREGADO FINO						
				3/4"	1/2"	3/8"	Nro. 4	Nro. 10	Nro. 40	Nro. 80	Nro. 200			
1	MAC CONVENCIONAL	DER.	CARP. ASFALT.	100,00	93.8	82.1	65.6	45.2	22.6	12	6.1	MAC-2	FINO	6.07
2	MAC ADIC. 2% DE POLVO CAUCHO	IZQ.	CARP. ASFALT.	100,00	91.4	79.4	66.4	48.6	27	12.2	6.1	MAC-2	FINO	6.14

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 15: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro – MAC - Convencional

DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515)							
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE
	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5	52.3
	2	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.5	40.26
	3	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6	30.15
	4	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.5	25.16
	5	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	7	18.6

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 16: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 1% De Polvo De Caucho

DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515)							
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 1 % DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE
	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	20.56
	2	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.50	18.23
	3	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.00	12.36
	4	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.50	8.95
	5	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	7.00	5.15

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 17: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 2% De Polvo De Caucho

DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515)							
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 2 % DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE
	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	25.96
	2	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.50	19.14
	3	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.00	14.56
	4	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.50	12.36
	5	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	7.00	9.56

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 18: Detalle de Datos: Ensayo Cántabro - MAC - Adicionado 3% De Polvo De Caucho

DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515)							
MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON ADICION DE 3 % DE POLVO CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE
	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	30.15
	2	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.50	20.54
	3	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.00	19.75
	4	IZQUIERDO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	6.50	15.36
	5	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	7.00	11.30

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Tabla N° 19: Detalle de Datos: Procedimiento Para La Medición Del Ahuellamiento De 02 Paños De Prueba

PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA			
NRO DE PUNTO	DISTANCIA DE MEDICIÓN EN EL PAÑO DE PRUEBA (cm)	PAÑO DE PRUEBA MAC CONVENCIONAL	PAÑO DE PRUEBA MAC ADICIONADO 2% DE POLVO CAUCHO
		DEPRESIÓN DE AHUELLAMIENTO (cm)	DEPRESIÓN DE AHUELLAMIENTO (cm)
1	10	6.1	2.1
2	60	7.2	2.7
3	90	6.5	1.8
PROMEDIO		6.6	2.2

Fuente: Certificados de los ensayos realizados por la Empresa CIAA Santa Cruz SCRL.
 Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

5.3. VERIFICACIÓN, EVALUACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS TÉCNICOS Y PROCEDIMIENTO DE INGENIERIA REALIZADOS.

De la presentación de datos obtenidos en las propiedades de la Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC) convencional y las adicionadas con polvo de caucho a 1%,2% y 3% respectivamente, tales como porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos del agregado mineral, flujo, estabilidad e índice de rigidez se ha verificado y contrastado con el Manual de Carreteras – Especificaciones técnicas para construcción EG 2013, revisada y corregida hasta junio de 2013, que el diseño MAC convencional cumple en integridad con los requerimientos de la tabla 423-06 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso del Indicado manual.

Por otro lado, el diseño MAC con 1% y 2% de polvo caucho, cumple la mayoría de requerimientos de la tabla 423-06 Requisitos para mezcla de concreto bituminoso del Indicado manual, a diferencia del diseño MAC con 3% de polvo caucho. Razón por la cual se utilizó para el paño de prueba el MAC con 2% de caucho a fin de verificar su comportamiento frente al desgaste y ahuellamiento. A continuación, se detalla lo mencionado.

Figura N° 7: Requisitos Para Mezcla de Concreto Bituminoso – Tabla 423-06

Tabla 423-06			
Requisitos para mezcla de concreto bituminoso			
Parámetro 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	4,53 kN
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	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión 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 AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Manual de Carreteras EG (2013)

Tabla N° 20: Resultado Final: Ensayo Marshall - MAC Convencional

DISEÑO MARSHALL - MAC CONVENCIONAL			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPEF. (EG 2013)	VERIFICACIÓN
Óptimo contenido de Cemento Asfáltico (%)	6.1	± 0.2	
Peso unitario (gr/c3)	2.324		
% de vacíos	3.3	3 a 5 %	SI CUMPLE
% de VMA	16.2	min 14 %	SI CUMPLE
% de vacíos llenados con C.A.	79.5		
Flujo (mm)	3.9	2 a 4 mm	SI CUMPLE
Estabilidad (KN)	10.15	min 8.15 KN	SI CUMPLE
Índice de Rigidez (Kg/cm)	2643	1700 - 4000 kg/cm	SI CUMPLE

Fuente: Tabla N° 10.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Nota: Según el manual de carreteras EG (2013) – tabla 423-06. El diseño Marshall MAC Convencional cumple al 100% de las especificaciones de dicho manual.

Tabla N° 21: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 1% de Polvo de Caucho

DISEÑO MAC CON ADICION DE 1 % DE POLVO CAUCHO			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPEF. (EG 2013)	VERIFICACIÓN
Óptimo contenido de Cemento Asfáltico (%)	6.1	± 0.2	
Peso unitario (gr/c3)	2.268		
% de vacíos	6.5	3 a 5 %	NO CUMPLE
% de VMA	18.1	min 14 %	SI CUMPLE
% de Vacíos llenados con C.A.	64.4		
Flujo (mm)	4.1	2 a 4 mm	SI CUMPLE
Estabilidad (KN)	11.06	min 8.15 KN	SI CUMPLE
Índice de Rigidez (Kg/cm)	2513	1700 - 4000 kg/cm	SI CUMPLE

Fuente: Tabla N° 11.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Nota: Según el manual de carreteras EG (2013) – tabla 423-06. El diseño Marshall MAC Adicionado 1% de polvo de caucho, no cumple con el porcentaje de vacíos según se indica en las especificaciones de dicho manual.

Tabla N° 22: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho

DISEÑO MAC CON ADICION DE 2% DE POLVO CAUCHO			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPEF. (EG 2013)	VERIFICACIÓN
Óptimo contenido de Cemento Asfáltico (%)	6.1	± 0.2	
Peso unitario (gr/c3)	2.248		
% de vacíos	6.3	3 a 5 %	NO CUMPLE
% de VMA	18.8	min 14 %	SI CUMPLE
% de vacíos llenados con C.A.	66.7		
Flujo (mm)	4.1	2 a 4 mm	NO CUMPLE
Estabilidad (KN)	8.27	min 8.15 KN	SI CUMPLE
Índice de Rigidez (Kg/cm)	1884	1700 - 4000 kg/cm	SI CUMPLE

Fuente: Tabla N° 12.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Nota: Según el manual de carreteras EG (2013) – tabla 423-06. El diseño Marshall MAC Adicionado 2% de polvo de caucho, no cumple con el porcentaje de vacíos y el flujo según se indica en las especificaciones de dicho manual.

Tabla N° 23: Resultado Final: Ensayo Marshall – MAC Adicionado 3% de Polvo de Caucho

DISEÑO MAC CON ADICION DE 3 % DE POLVO CAUCHO			
DESCRIPCIÓN	RESULTADO	ESPEF. (EG 2013)	VERIFICACIÓN
Óptimo contenido de Cemento Asfáltico (%)	6.2	± 0.2	
Peso unitario (gr/c3)	2.195		
% de Vacíos	7.8	3 a 5 %	NO CUMPLE
% de VMA	20.8	min 14 %	SI CUMPLE
% de vacíos llenados con C.A.	62.5		
Flujo (mm)	5.2	2 a 4 mm	NO CUMPLE
Estabilidad (KN)	7.4	min 8.15 KN	NO CUMPLE
Índice de Rigidez (Kg/cm)	1473	1700 - 4000 kg/cm	SI CUMPLE

Fuente: Tabla N° 13.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Nota: Según el manual de carreteras EG (2013) – tabla 423-06. El diseño Marshall MAC Adicionado 3% de polvo de caucho, solo cumple para el porcentaje de vacíos del agregado mineral según se indica en las especificaciones de dicho manual, por tanto, no es un diseño idóneo.

Tabla N° 24: Resultado Final: Ensayo Contenido de Bitumen en los Agregados y Análisis Granulométrico por Tamizado – MAC Convencional – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho

CONTENIDO DE BITUMEN EN LOS AGREGADOS Y ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							VERIFICANDO	
NORMA: ASTM D 2172 AASHTO T 164								
N° DE MUESTRA	MUESTRA EXTRAIDA	LADO	CAPAS	GRADACIÓN GRANULOMÉTRICA (TIPO)	PREDOMINANCIA DEL AGREGADO	CONTENIDO ASFÁLTICO (%)	DISEÑO MARSHALL	VERIFICACION
1	MAC CONVENCIONAL	DER.	CARP. ASFALT.	MAC-2	FINO	6.07	6.1 (± 0.2)	SI CUMPLE
2	MAC ADIC. 2% DE POLVO CAUCHO	IZQ.	CARP. ASFALT.	MAC-2	FINO	6.14	6.1 (± 0.2)	SI CUMPLE

Fuente: Tabla N° 14.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Nota: Al realizar el ensayo de Lavado Asfáltico de las muestras obtenidas en campo de los paños de prueba, se verifica que cumple con los contenidos de Cemento Asfáltico PEN 85/100 con los que fueron diseñados el MAC – Convencional y MAC Adicionado 2% de polvo de caucho.

5.4. CONTRASTACIÓN DE PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS - GENERAL.

Con respecto a la problemática siguiente: **¿De qué manera influye la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para el comportamiento de la superficie de rodadura frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016?**, se realiza los siguientes cuadros donde se procesa el método estadístico de regresión simple, para las propiedades de estabilidad, flujo e índice de rigidez vs los porcentajes de polvo de caucho utilizadas en el diseño Marshall de Mezcla Asfáltica en Caliente, a fin de evidenciar la influencia que produce la incorporación de polvo de caucho en la Mezcla Asfáltica para el comportamiento frente al Ahuellamiento. Lo mencionado se detalla en el siguiente cuadro.

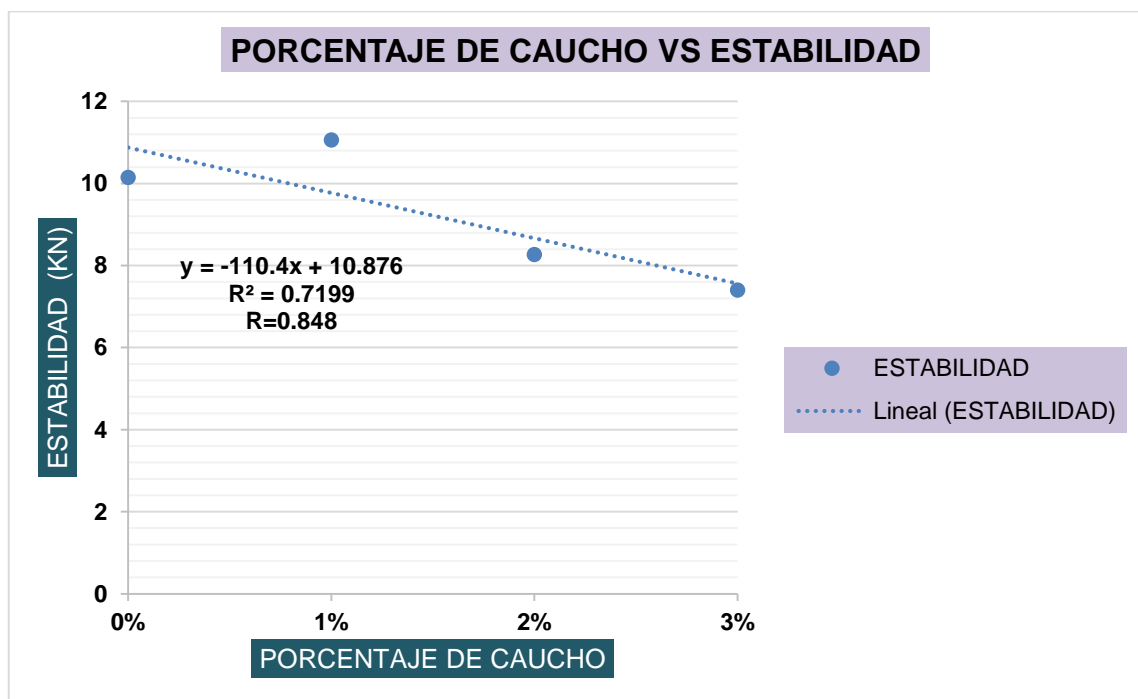
Tabla N° 25: Resultados Finales de Estabilidad, Flujo e Índice de Rigidez – MAC Convencional – MAC Adicionado 1%, 2% y 3% de Polvo de Caucho del Ensayo Marshall

DISEÑO	PORCENTAJE DE CAUCHO	RESULTADOS		
		Estabilidad (KN)	Flujo (mm)	Índice de Rigidez (Kg/cm)
MAC convencional	0%	10.15	3.9	2643
MAC adicionado 1% de polvo de caucho	1%	11.06	4.1	2513
MAC adicionado 2% de polvo de caucho	2%	8.27	4.1	1884
MAC adicionado 3% de polvo de caucho	3%	7.4	5.2	1473

Fuente: Tabla N° 10, 11, 12 y 13
 Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En el siguiente grafico se contrasta los datos de porcentaje de polvo de caucho vs la estabilidad, evidenciándose que este influye en los porcentajes de estabilidad (resistencia) del MAC convencional, reportando un grado de correlación de 0.848, no obstante, al ser mayor que $R=0.5$ (coeficiente de correlación medio), se afirma que los datos contrastados poseen un alto grado de correlación.

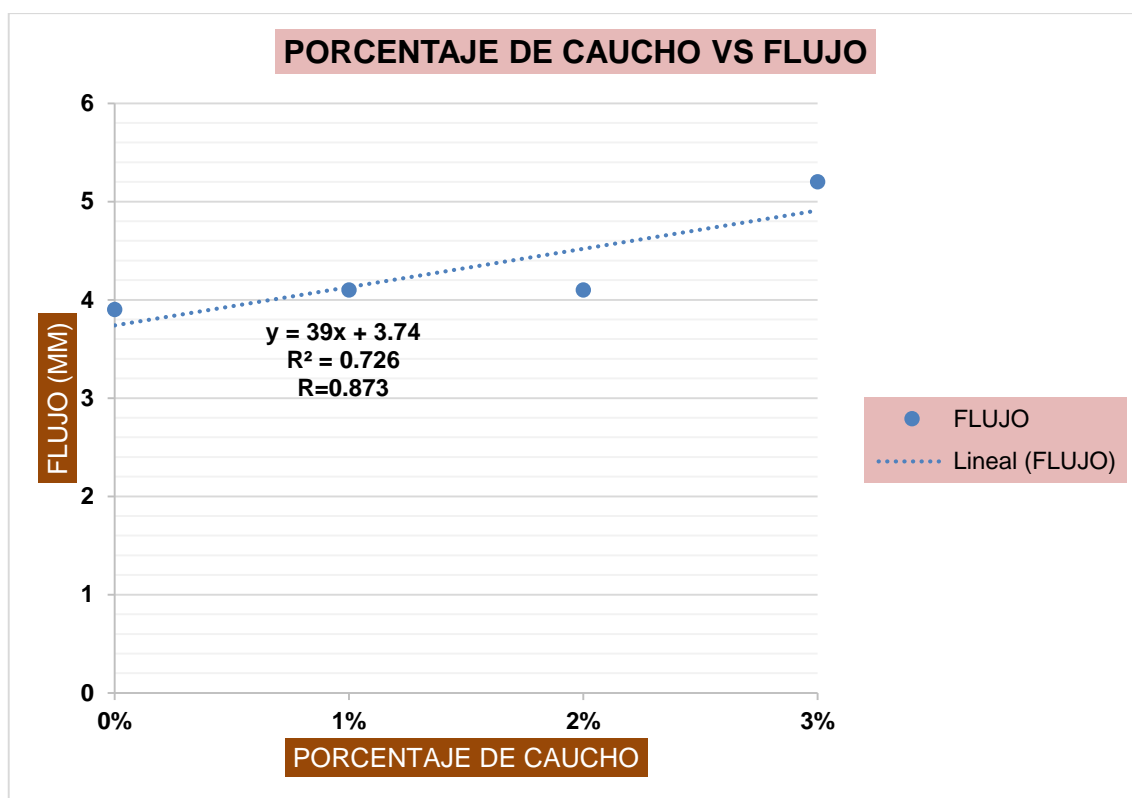
Figura N° 8: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Estabilidad



Fuente: Tabla N° 25
 Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En el siguiente grafico se contrasta los datos de porcentaje de polvo de caucho vs flujo, evidenciándose que este influye en los porcentajes de flujo (deformación) del MAC convencional, reportando un grado de correlación de 0.873, no obstante, al ser mayor que $R=0.5$ (coeficiente de correlación medio), se afirma que los datos contrastados poseen un alto grado de correlación.

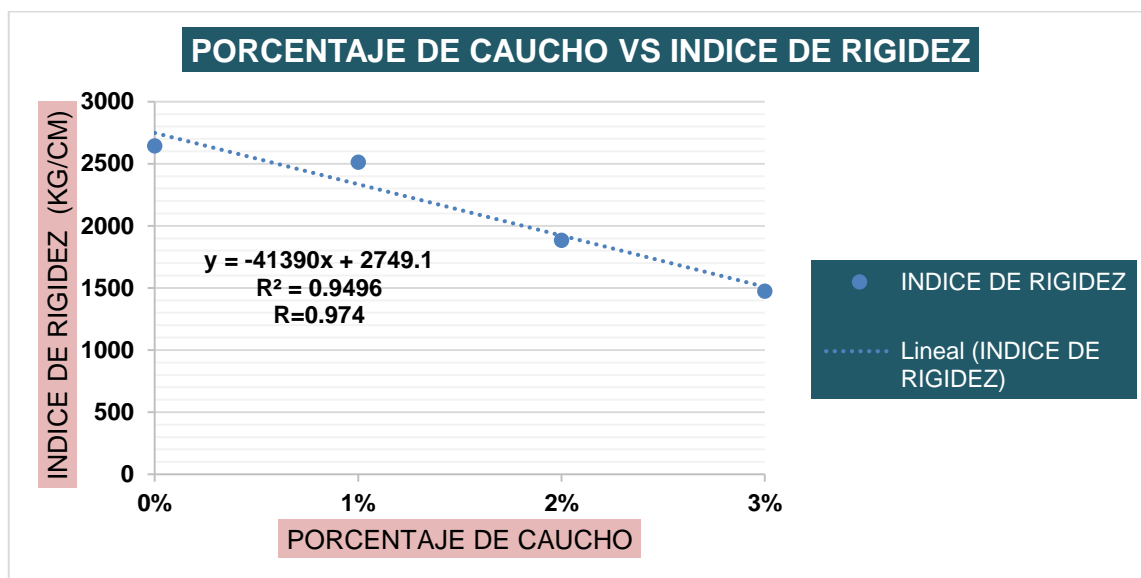
Figura N° 9: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Flujo



Fuente: Tabla N° 25
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En el siguiente grafico se contrasta los datos de porcentaje de polvo de caucho vs índice de rigidez, evidenciándose que este influye en los porcentajes de índice de rigidez del MAC convencional, reportando un grado de correlación de 0.974, no obstante, al ser mayor que $R=0.5$ (coeficiente de correlación medio), se afirma que los datos contrastados poseen un alto grado de correlación.

Figura N° 10: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Índice de Rigidez



Fuente: Tabla N° 25
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Del análisis y evaluación correspondiente a los cuadros mostrados se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis General: La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016, al evidenciar que, la incorporación de polvo de caucho casucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional.

Entonces existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016, al demostrar que, la incorporación de polvo de caucho de caucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional.

5.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

HIPÓTESIS ESPECÍFICA “A”

Con respecto la problemática siguiente: **¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional ayuda a la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016?** se realiza el siguiente cuadro donde se procesa el método estadístico de regresión simple, para los valores de durabilidad (% de pérdida por desgaste) vs los porcentajes de polvo de caucho utilizadas en el diseño Marshall de Mezcla Asfáltica en Caliente, a fin de evidenciar la influencia que produce la incorporación de polvo de caucho en la Mezcla Asfáltica para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura. Lo mencionado se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla N° 26: Resultado Final de Porcentaje de Pérdida por Desgaste – MAC Convencional – MAC Adicionado 1%, 2% y 3% de Polvo de Caucho

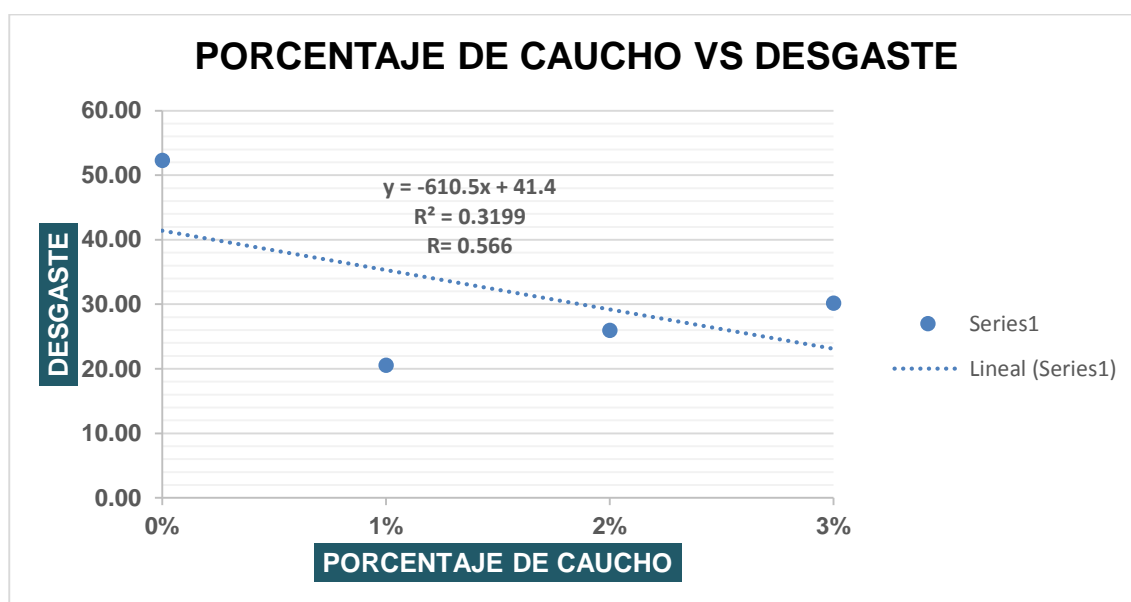
CARACTERÍSTICA DEL DISEÑO MAC	CONDICIÓN	POCENTAJE DE CAUCHO	N° DE MUESTRA	LADO	CAPA	CEMENTO ASFÁLTICO	GRADACIÓN	% DE CEMENTO ASFÁLTICO	% DE PÉRDIDA POR DESGASTE
CONVENCIONAL	CRITICO	0%	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	52.30
ADICIONADO 1% DE POLVO DE CAUCHO	CRITICO	1%	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	20.56
ADICIONADO 2% DE POLVO DE CAUCHO	CRITICO	2%	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	25.96
ADICIONADO 3% DE POLVO DE CAUCHO	CRITICO	3%	1	DERECHO	CARP. ASFALT.	PEN 85/100	MAC 2	5.00	30.15

Fuente: Tabla N° 15, 16, 17 y 18.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En el siguiente grafico se contrasta los datos de porcentaje de caucho vs desgaste, evidenciándose que este influye en los porcentajes de índice de desgaste del MAC convencional, reportando un grado de correlación de 0.566, no obstante, al ser mayor que $R=0.5$ (coeficiente de correlación medio), se afirma que los datos contrastados poseen un alto grado de correlación.

Figura N° 11: Porcentaje de Polvo de Caucho VS Desgaste



Fuente: Tabla N° 26.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Del análisis y procesamiento estadístico correspondiente al cuadro y gráfico mostrado se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis Específica "A": La incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.

Entonces existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho frente al valor de desgaste reporta un valor de correlación 0.566.

HIPÓTESIS ESPECÍFICA “B”

Con respecto la problemática siguiente: ¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional interviene en la deformación plástica de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016? Se realiza el siguiente cuadro donde se procesa el método estadístico de diagrama de barras e histograma, para los valores depresión de ahuellamiento vs los porcentajes de polvo de caucho utilizadas en el diseño Marshall de Mezcla Asfáltica en Caliente, a fin de mostrar la diferencia que produce la incorporación de polvo de caucho en la Mezcla Asfáltica para la mejora de la deformación plástica de la superficie de rodadura. Lo mencionado se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla N° 27: Resultado Final del Promedio Depresión de Ahuellamiento – MAC Convencional – MAC Adicionado 2% de Polvo de Caucho

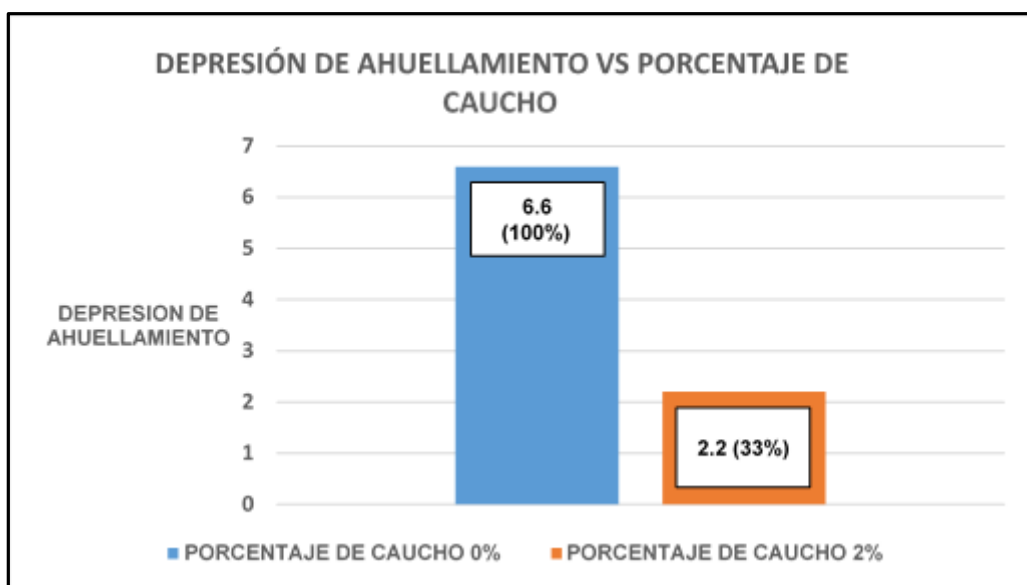
DESCRIPCION	PORCENTAJE DE CAUCHO	PROMEDIO DEPRESIÓN DE AHUELLAMIENTO (cm)
PAÑO DE PRUEBA MAC CONVENCIONAL	0%	6.6
PAÑO DE PRUEBA MAC ADICIONADO 2% DE POLVO CAUCHO	2%	2.2

Fuente: Tabla N° 19.

Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En el siguiente grafico se verifica los datos de porcentaje de polvo de caucho vs la depresión de ahuellamiento, evidenciándose que, en ésta incorporación hay una diferencia en los valores de deformación plástica (depresión de ahuellamiento) del MAC convencional, reportando una diferencia significativa de **66.67%**, no obstante, al ser mayor que 50% (porcentaje de diferencia significativa), se afirma que los datos contrastados se diferencian significativamente.

Figura N° 12: Depresión de Ahuellamiento VS Porcentaje de Polvo de Caucho



Fuente: Tabla N° 27.
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

Del análisis y evaluación correspondiente al cuadro y gráficos mostrados se determina en base a un sustento técnico lo siguiente.

Hipótesis Específica “B”: La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al evidenciar que la incorporación de polvo caucho difiere significativamente en 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento.

Entonces existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho hay una diferencia significativa de 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento.

5.5. INTERPRETACIÓN DE HIPÓTESIS

En la PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL, Existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016, debido a que los grados de correlación entre los indicadores de incorporación de polvo de caucho frente a los valores de estabilidad, flujo e índice rigidez de la mezcla asfáltica convencional y el adicionado con polvo de caucho fueron las siguientes:

Tabla N° 28: Interpretación de Cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para los indicadores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez.

Primer Indicador	Segundo Indicador	Grado de Correlación	Interpretación
MAC CONVENCIONAL ADICIONADO CON POLVO DE CAUCHO AL (0%, 1%, 2% Y 3%)	Estabilidad	R= 0.848	Al reportar un grado de correlación mayor al nivel medio de significancia (R= 0.5), se evidencia que existe un GRADO ALTO de relación entre los indicadores detallados, corroborando que existe relación e influencia.
	Flujo	R= 0.873	
	Índice de Rigidez	R= 0.974	

Fuente: Figura N° 8, N° 9, N° 10
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En la PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA A, Existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho frente al valor de desgaste reporta un valor de correlación 0.566; debido a que los grados de correlación entre los indicadores de incorporación de polvo de caucho frente a los valores de durabilidad de la mezcla asfáltica convencional y el adicionado con polvo de caucho fueron las siguientes:

Tabla N° 29: Interpretación de cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para el indicador de la Durabilidad

Primer Indicador	Segundo Indicador	Grado de Correlación	Interpretación
MAC CONVENCIONAL ADICIONADO CON POLVO DE CAUCHO AL (0%, 1%, 2% Y 3%)	Durabilidad	R= 0.566	Al reportar un grado de correlación mayor al nivel medio de significancia (R= 0.5), se evidencia que existe un GRADO ALTO de relación entre los indicadores detallados, corroborando que existe relación e influencia.

Fuente: Figura N° 11
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

En la PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECIFICA B, Existe evidencia técnica y estadística suficiente para afirmar que, la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al verificar que dicha incorporación, difiere significativamente en un 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento; debido a que los grados de correlación entre los indicadores de incorporación de polvo de caucho frente a los valores depresión de ahuellamiento de la mezcla asfáltica convencional y el adicionado fueron las siguientes:

Tabla N° 30: Interpretación de cómo influye la incorporación de polvo de caucho en el MAC para el indicador Depresión de Ahuellamiento.

Primer Indicador	Segundo Indicador	Porcentaje de Diferencia	Interpretación
MAC CONVENCIONAL ADICIONADO CON POLVO DE CAUCHO AL (0% y 2%)	Depresión de Ahuellamiento	77%	Al reportar un porcentaje de diferencia de 77% mayor al nivel de significativa (50%), se evidencia que existe un PORCENTAJE DE DIFERENCIA SIGNIFICATIVA entre los indicadores detallados.

Fuente: Figura N° 12
Hecho por: Bach. Mercedes Nadia Tueros Dávila

5.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La temática sobre la “Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica convencional para mejorar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo. 2016”, está basada en el análisis comparativo de la mejora de las características de comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente MAC – convencional; frente a la mezcla asfáltica en caliente MAC adicionado con polvo de caucho.

- La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016; puesto que, la incorporación de polvo de caucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional respectivamente. **Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.**
- La incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho frente al valor de desgaste reporta un valor de correlación 0.566. **Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.**
- La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho diferencia significativamente en 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento. Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis. **Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.**

CONCLUSIONES

1. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016; puesto que, la incorporación de polvo de caucho influye en 85%, 87% y 97% los valores de Estabilidad, flujo e índice de rigidez de la mezcla asfáltica convencional respectivamente.
2. La incorporación de polvo de caucho influye en un 57% en la mezcla asfáltica convencional para la mejora de la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho frente al valor de desgaste reporta un valor de correlación 0.566.
3. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016, al comprobar que la incorporación de polvo caucho diferencia significativamente en 66.67% los valores de depresión de ahuellamiento. Debido a los valores altos de correlación de los indicadores detallados en la interpretación de hipótesis.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los ingenieros civiles proyectistas, que estén realizando expedientes técnicos proponer diseños de mezclas asfálticas en caliente la incorporación de polvo de caucho que oscilen en 1% y 2%, ya que dicha adición mejora las características del MAC, mencionadas en las conclusiones de la presente tesis de investigación.
2. Se recomienda a los ingenieros civiles que ocupan cargos de residente, supervisor, inspector, etc. que estén ejecutando obras viales considerar en su diseño de mezcla asfáltica en caliente la adición de polvo de caucho de 2%, ya que dicha adición mejora las características del MAC, mencionadas en las conclusiones de la presente tesis de investigación.
3. A los ingenieros Civiles que son especialistas en mezclas asfálticas en caliente, motivar la investigación en la temática de asfaltos modificados con molienda de polvo de caucho, con la finalidad de mejorar el comportamiento y calidad de las indicadas mezclas asfálticas modificadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campaña O., Gales S., Guerreo V. (2015). Revista Politécnica. *Obtención De Asfalto Modificado Con Polvo De Caucho Proveniente Del Reciclaje De Neumáticos De Automotores*, 36 (03), 1-6. Recuperado de http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen36/tomo3/Obtencion_de_Asfalto_Modificado_con_Polvo_de_Caucho_Proveniente.pdf
- Fajardo Cachay, L. y Vergaray Huamán, D. (2014). *Efecto De La Incorporación Por Vía Seca, Del Polvo De Neumático Reciclado, Como Agregado Fino En Mezclas Asfálticas*. (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de San Martín de Porres). Recuperado de <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.pdf
- Glosario Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial, (2008). Lima, Perú. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Recuperado de http://www.mtc.gob.pe/portal/home/publicaciones_arch/Glosario.final.pdf
- Huamán Guerrero N. (2011). *La Deformación Permanente En Las Mezclas Asfálticas Y El Consecuente Deterioro De Los Pavimentos Asfálticos En El Perú*. (Tesis para optar el grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes, Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/819>
- Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción, (2013). Lima, Perú. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
- Manual de Ensayos de Materiales, (2016). Lima, Perú. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – Viceministerio de Transporte. Recuperado de http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documento

s/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

- Navarro Dupré, N. (2013). *Confección Y Seguimiento De Tramos De Prueba De Mezclas Asfálticas Con Incorporación De Polvo De Caucho Nacional De Neumáticos Fuera De Uso (NFU) Mediante Vía Seca*. (Tesis para optar Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile). Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523>

- Ramírez Ramírez Palma, N. (2006). *Estudio De La Utilización De Caucho De Neumáticos En mezclas Asfálticas En Caliente Mediante Proceso Seco*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile). Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_n/sources/ramirez_n.pdf

- Rodríguez Gallego, K. (2005). *Mejora De Una Mezcla Asfáltica Drenante Con Adición De Caucho E ICOPOR*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana). Recuperado de <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis112.pdf>

- Salinas Reto, P. (2009). *Aplicación De Micropavimento Usando Asfalto Modificado Con Polímero En La Vía Sullana – Aguas Verdes*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, Universidad de Piura). Recuperado de <https://hdl.handle.net/11042/1348>.

ANEXOS

Anexo N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA.

Anexo N° 2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Anexo N° 3. CERTIFICADO DE ENSAYOS REALIZADOS.

Anexo N° 4. FICHA TÉCNICA N° 001-2017 MNTD-UPLA.

Anexo N° 5. INFORME DE OPINIÓN DE JUICIOS DE EXPERTOS PARA LA
VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO.

Anexo N° 6. PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL TRAMO DE
PRUEBA

Anexo N° 7. PANEL FOTOGRAFICO.

Anexo N° 8. ANALISIS DE COSTOS DEL MAC – CONVENCIONAL Y EL
MAC – ADICIONADO 2% POLVO DE CAUCHO.

Anexo N° 9. OTROS DOCUMENTOS DE VITAL IMPORTANCIA.

MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS

TÍTULO: “INCORPORACION DE POLVO DE CAUCHO EN MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE RODADURA FRENTE AL AHUELLAMIENTO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO 2016”

Problemas	Objetivos	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
<p><u>Problema general</u></p> <p>¿De qué manera influye la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016?</p>	<p><u>Objetivo general</u></p> <p>Determinar el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento al incorporar polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional en la ciudad de Huancayo 2016</p>	<p><u>Investigaciones en el Perú</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Fajardo Cachay, Luis Enrique y Vergaray Huamán Douglas Alfonso (2014). Para optar Título Profesional de Ingeniero Civil en la Universidad De San Martín de Porres. Lima – Perú. Tesis titulada: “EFECTO DE LA INCORPORACIÓN POR VÍA SECA DEL POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO COMO AGREGADO FINO EN MEZCLA ASFÁLTICAS”. - Salina Reto, Patricia Inés (2009). Para optar Título de Ingeniero Civil en la Universidad De Piura. Piura – Perú. Tesis titulada: “APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO USANDO ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EN LA VIA SULLANA – AGUAS VERDES”. - Revista Vialidad y Transporte Latinoamericano, Edición Internacional Año1-Nº03 (2015). Lima – Perú. LAS CARRETERAS DEL FUTURO. - Ing. Huamán Guerrero, Néstor W. (2011). Para optar el grado Académico de Maestro en Ciencias con Mención en Ingeniería de Transportes en la Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú. Tesis Titulada: “LA DEFORMACION PERMANENTE EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y EN EL CONSECUENTE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS EN EL PERU” 	<p><u>Hipótesis general</u></p> <p>La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional mejora el comportamiento de la superficie de rodadura frente al ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016.</p>	<p><u>Variable Independiente:</u></p> <p>Polvo de Caucho</p> <p><u>Dimensiones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Granulometría - Proporción y Cantidad para el Diseño. - Tipo de caucho. 	<p><u>Tipo:</u> Aplicada</p> <p><u>Nivel:</u> Experimental - Correlacional</p> <p><u>Método Específico:</u> Método Cuantitativo</p> <p><u>Diseño:</u> Casual Correlacional</p>
<p><u>Problemas específicos</u></p> <p>1. ¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional influye en la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016?</p> <p>2. ¿De qué manera la incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional interviene en la deformación plástica de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016?</p>	<p><u>Objetivos específicos</u></p> <p>1. Determinar de qué manera influye la incorporación del polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional para la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.</p> <p>2. Determinar de qué manera interviene la deformación plástica al incorporar el polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.</p>	<p><u>Investigaciones en el Extranjero</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Revista Politécnica (vol. 36 Nº03). OBTENCION DE ASFALTO MODIFICADO EN POLVO DE CAUCHO PROVENIENTE DE RECICLAJE DE NEUMATICOS DE AUTOMOTERES – Ecuador (2015). - Torres Ospina, Hermes Andrés (2014). Para optar el título de Magister en Ingeniería Civil con Énfasis en estructuras. En la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá – Colombia. Tesis Titulada: “VALORACION DE PROPIEDADES MECANICAS Y DE DURABILIDAD DE 	<p><u>Hipótesis específicas</u></p> <p>1. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional influye significativamente en la durabilidad de la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.</p> <p>2. La incorporación de polvo de caucho en la mezcla asfáltica convencional disminuye la deformación plástica en la superficie de rodadura en la ciudad de Huancayo 2016.</p>	<p><u>Variable Dependiente:</u></p> <p>Ahuellamiento</p> <p><u>Dimensiones:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Durabilidad. - Deformación Plástica. 	<p><u>Población y Muestra:</u></p> <p><u>Población:</u> Lote de cemento asfáltico de petróleo de penetración 85/100 (PEN 85/100), fue adquirido mediante la Municipalidad Provincial de Huancayo de su planta de Asfalto PRONA ubicada en Quebrada Honda – El tambo - Huancayo.</p> <p><u>Muestra:</u> Especímenes elaborados en laboratorio de pavimentos, cuyo detalle es el siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 80 Briquetas para ensayo Marshall ✓ 2400 gr. Para lavado asfáltico. ✓ 20 Briquetas para ensayo Cántabro.

		<p>CONCRETO ADICIONADO CON RESIDUOS DE LLANTAS DE CAUCHO”.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Navarro Dupré, Nicole Michelle (2013). Para optar al Título de Ingeniero Civil en la Universidad de Chile – Chile. Tesis Titulada: “CONFECCION Y SEGUIMIENTO DE TRAMOS DE PRUEBA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON INCORPORACION DE POLVO DE CAUCHO NACIONAL DE NEUMATICOS FUERA DE USO (NFU) MEDIANTE VIA SECA”. - Rodríguez Gallego, Karina Liset (2005). Para optar el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. Tesis titulada: “MEJORA DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA DRENANTE CON ADICION DE CAUCHO E ICOPOR”. - Revista Especializada en Ingeniería de Pavimentos. CONCRETO ASFALTICO EN CALIENTE DENSO CON ASFALTO MODIFICADO CON CAUCHO RECICLADO DE NFU. Argentina. - Ramírez Palma, Náyane Irene. (2006). Tesis: “ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE CAUCHO DE NEUMATICOS ENMEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE PROCESO SECO”. Universidad de Chile. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Santiago de Chile – Chile. 			<p>✓ 2 Tramos de prueba</p> <p><u>Técnica e Instrumento</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ficha de organización, sistematización e interpretación de los datos obtenidos en los ensayos. - Certificados de Ensayos: Diseño de Marshall, Lavado Asfáltico, Ensayo Cántabro y Paños de prueba. - Otros.
--	--	---	--	--	--

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): POLVO DE CAUCHO.

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
POLVO DE CAUCHO	El polvo de caucho es un material constituido por partículas finas de caucho natural y sintético vulcanizado, obtenido triturando los neumáticos fuera de uso hasta el tamaño deseado y separando los metales, tejidos (fibras textiles) y otras impurezas que puedan incorporar.	GRANULOMETRÍA	Gradación por tamizado y peso	Gramos / kilogramos	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		PROPORCION, CANTIDAD PARA EL DISEÑO	Porcentaje de proporción de polvo de caucho	Porcentaje de proporción	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		TIPO DE CAUCHO	Clasificación y concentración de caucho	Tipo y porcentaje de concentración	<ul style="list-style-type: none"> RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL (ASTM D-1559) / (MTC-E 504) FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): AHUELLAMIENTO.

(CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

VARIABLE	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
AHUELLAMIENTO	Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.	DURABILIDAD	Degaste	Porcentaje	<ul style="list-style-type: none"> DESGASTE DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE CÁNTABRO (MTC E 515). FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014
		DEFORMACIÓN PLASTICA	Depresión del ahuellamiento	Centímetros / milímetros	<ul style="list-style-type: none"> PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL AHUELLAMIENTO DE PAÑOS DE PRUEBA. FICHA TÉCNICA N° 001-2017MNTD-UPLA de 28 de febrero de 2014