



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN**

INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL.**

TITULO:

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Autores:

Br. Cindy María Sandoval Lara.
Br. Norelis Yessenia Rodríguez Calero.

Tutor:

Msc. Adriana García.

Asesor Metodológico:

Lic. Darling Moncada.

Dedicatoria

Dedico esta TESIS a mi Dios TODOPODEROSO porque ha estado conmigo en cada una de mis batallas y desafíos, me ha dado la sabiduría y paciencia para no darme por vencida y alcanzar satisfactoriamente esta meta.

A mi papá Bayardo Miranda y mi adorada madre Ana Cristhian, que me brindaron la vida, sus consejos y sobre todo su comprensión y apoyo a lo largo de todo este proceso y es un privilegio ser su hija.

A mi tía Gleysis Yahoska, que ha sido como una segunda madre para mí y me ha dado sus consejos, tiempo y amor comparable al de una madre.

A mi colega de Tesis Norelys Yessenia, que ha sido una amiga, compañera y ha formado parte de la elaboración del presente trabajo investigativo y hemos trabajado juntas para culminar juntas esta etapa.

Cindy María Sandoval Lara.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación está dedicado a Dios por haberme dado la sabiduría y la constancia para alcanzar una meta más, de las muchas que aún me quedan por cumplir.

A mis padres Orlando Rodríguez y Jerónima Calero por todo su apoyo, consejos, sacrificios y paciencia mostrados durante todos estos años.

A mis hermanos Yader Rodríguez Calero, Omar Rodríguez Calero y en especial a mi hermana Yadira Rodríguez Calero, quien siempre estuvo junto a mí brindándome su apoyo, amor y comprensión incluso en los momentos más difíciles y por contagiarme de esas ganas de ser alguien mejor cada día.

A mi compañera de tesis Cindy Sandoval, porque vivimos muchísimas experiencias inolvidables, por el tiempo, dedicación y esfuerzo que ha dedicado para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Norelys Yessenia Rodríguez Calero.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por ser el principal pilar de mi vida y haberme permitido conocer a todas las personas maravillosas que me rodean.

A mi madre y abuela que con su amor lograron que culmine una etapa más en mi vida y motivándome a seguir adelante.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua por abrirme las puertas de su recinto Universitario Rubén Darío y permitirme desarrollarme como una futura profesional y desempeñarme laboralmente en este campo de la ingeniería.

A la empresa Asfaltos Industriales S, A (ASFISA INDUSTRIALES), por permitir que este proyecto se realizara, y brindarnos su asesoría, equipos e instalaciones y de esta manera desarrollar esta investigación; de igual manera al asesoramiento de los ingenieros Maxwell Palma y Fátima Acevedo, ya que, gracias a su paciencia y conocimiento del tema culminamos satisfactoriamente nuestra tesis.

A mis amigos y colegas que conocí durante mis estudios, que me llenaron de alegrías, ganas de superación, y que me enseñaron que esta etapa podía ser disfrutada y recordada maravillosamente y en mención especial hacer énfasis a Alex Medina por ser una persona especial en mi vida y tener el gozo de compartir con él este logro.

Cindy María Sandoval Lara.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida y la fortaleza para continuar firme en este largo camino y regalarme a todas las personas increíbles que me rodean.

En especial a la empresa Asfaltos Industriales S.A (ASFISA) que puso a nuestra disposición sus instalaciones, por proporcionarnos todos los materiales y el equipo para realización de los ensayos necesarios y en especial a nuestros asesores: Ing. Fátima Acevedo y el Ing. Maxwell Palma por manifestar interés en dirigir nuestro trabajo de investigación, por su confianza, paciencia y orientación que nos brindaron para la realización de esta tesis. Infinitas gracias además a todo el personal del Laboratorio de Planta asfáltica por ser amables en nuestra estadía en el laboratorio.

A la Universidad Nacional Autónoma UNAN- Managua por brindarme su espacio y entorno para poder formarme en mi desarrollo profesional en tan honorable casa de estudios. Y a nuestros docentes de la Facultad que influyeron con sus lecciones, experiencias y conocimientos.

A mi tutor Msc. Adriana García. por el apoyo y tiempo brindado atendiendo nuestras consultas, haciendo las correcciones necesarias, por su contribución en el desarrollo y culminación de nuestro trabajo de investigación.

De manera especial a Nurieth Rodríguez, por estar dispuesta a ayudarme de manera incondicional, por su amistad y las muchas experiencias inolvidables durante estos años.

A María Mendoza, Cindy Sandoval quienes han estado presente en todo el transcurso de mis estudios, por su amistad, apoyo y compañía en los buenos y malos momentos. Y a todos los compañeros que formaron parte de esta inolvidable experiencia.

A todas las personas que de alguna manera colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.

Norelys Yessenia Rodríguez Calero.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

**Facultad de Ciencias e Ingeniería.
Departamento de Construcción.**

Carta aval del tutor.

Sirva la presente para avalar que los bachilleres:

1. Cindy María Sandoval Lara Carnet: 16042780
2. Norelys Yessenia Rodríguez Calero Carnet: 15042669

Estudiantes de la carrera de: **Ingeniería Civil**, han culminado su **trabajo monográfico**, que lleva por título: “**Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall**”, con gran satisfacción, cumpliendo los parámetros, técnicos, académicos y metodológicos. Por tanto, el presente trabajo está listo para que sea asignado el tribunal examinador, para su posterior pre-defensa y defensa.

Sin más que mencionar, extendiendo la presente entres tres tantos de un mismo tenor, a los veintiséis días, del mes de Noviembre del año 2021.

Firma.

Ing. Adriana de Jesús García, MSc.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	III
CAPITULO I.....	2
I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS.....	2
1.1 INTRODUCCION	2
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5.1 OBJETIVO GENERAL:.....	7
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	7
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	8
CAPITULO II.....	10
II. MARCO REFERENCIAL	10
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEORICA	10
2.1.1 GENERALIDADES DEL ASFALTO	10
2.1.1.1 Definición	10
2.1.1.2 Características del ligante asfaltico.....	10
ENSAYO VISCOSIDAD ROTACIONAL (ASTM D 4402):	10
ENSAYO PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D 36):.....	11
ENSAYO DE DUCTILIDAD (ASTM D 6084):	12
ENSAYO ASFALTO ENVEJECIDO EN HORNO ROTATIVO DE PELÍCULA DELGADA RTFO):	13
ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO USANDO UN REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (AASHTO T-315):	14
ENSAYO ENVEJECIMIENTO ACELERADO DEL LIGANTE ASFALTICO [PAV] (ASTM D 6521):	15
2.1.1.2 Asfaltos Modificados	15
2.1.1.3 Asfaltos Modificados con Caucho	16
2.1.2 AGREGADOS	16
2.1.2.1 Definición	16

2.1.2.2 Tipos de clasificación de agregados	16
2.1.2.3 Propiedades generales de los agregados para mezclas asfálticas.	17
2.1.2.4 Caracterización de los agregados.	20
ENSAYO ESTÁNDAR PARA MUESTREO DE LOS AGREGADOS (ASTM D 140 AASHTO T40-78):	20
ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRANULOMETRÍA (AASHTO T-27 Y ASTM C-136):	21
ENSAYO ESTÁNDAR PARA DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM D-479 Y AASHTO T-104):	23
ENSAYO ESTÁNDAR PARA EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T-176):	24
ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN PARA AGREGADOS (ASTM C 127, C 128 Y AASHTO T- 84, T-85):	25
ENSAYO ESTÁNDAR PARA PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO (ASTM C 29).....	29
2.1.3 EL POLÍMERO.	30
2.1.3.1 Clasificación de los polímeros.....	31
CLASIFICACIÓN POR SU ESTRUCTURA QUÍMICA:	31
CLASIFICACIÓN POR SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO:	32
CLASIFICACIÓN POR SU DESEMPEÑO MECÁNICO:.....	33
2.1.3.2 Propiedades Mecánicas De Los Polímeros.....	33
2.1.3.3 CAUCHO	35
Definición	35
Tipos de clases de Caucho	36
Caucho ventajas y desventajas.....	36
2.1.3.4 NEUMÁTICO	37
Origen y composición del neumático	37
Composición de una Llanta	39
Proceso de Trituración de Llantas Usadas para su Reciclaje.....	39
Propiedades de los Neumáticos	40
Afectaciones causadas por los Neumáticos Desechados	41
2.1.3.5 AZUFRE.....	42
2.1.4 MEZCLAS ASFALTICAS	43
2.1.4.1 Definición	43
2.1.4.2 Mezclas modificadas	43

2.1.4.3 Mezclas Asfálticas en Caliente.....	45
2.1.4.4 Características y comportamiento de la mezcla	45
2.1.4.5 Propiedades de la Mezcla Asfáltica.....	48
2.1.4.6 Características de Mezclas Asfálticas mediante la incorporación de Caucho de neumáticos desechados.....	49
2.1.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS: MÉTODO MARSHALL.....	50
2.1.5.1 Definición de la Granulometría de este trabajo	50
2.1.5.2 Estabilidad Marshall	53
2.1.5.3 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica	53
2.1.6 PAVIMENTO	57
2.1.6.1 Tipos de Pavimentos.....	57
2.1.6.2 Fallas típicas que ocurren en los pavimentos	57
2.2 DATOS	65
2.3 MÉTODO	66
2.3.1 PROPÓSITO DE LA METODOLOGÍA	66
2.4 HIPOTESIS	67
2.4.1 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	67
2.4.1.1 Variable Independiente.....	67
2.4.1.2 Variable Dependiente	67
CAPITULO III	69
III. METODOLOGÍA APLICADA	69
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	69
3.1.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	69
3.1.1.1 Área de estudio	69
3.1.1.2 Universo y Muestra.....	70
3.2 METODO E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	71
3.3 MÉTODO DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	74
3.4 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	75
CAPITULO IV	77
IV. RESULTADOS	77
4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS	77
4.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.	77

4.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS.	85
4.1.1 PESOS UNITARIOS SECO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.	88
4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL LIGANTE ASFÁLTICO	91
4.2.1 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE LOS LIGANTES.....	91
4.2.2 VISCOSIDAD ROTACIONAL DE LOS LIGANTES.	92
4.2.5 DUCTILIDAD DE LOS LIGANTES.....	93
4.2.3 GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS LIGANTES.....	94
4.2.4 PÉRDIDA DE MASA POR CALENTAMIENTO EN LOS LIGANTES. ...	95
4.2.5 TEMPERATURA DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN DE LOS LIGANTES.	100
4.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA USANDO EL MÉTODO MARSHALL	103
4.3.1 OBTENCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EN LAS MEZCLAS.	118
4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	120
4.4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL.....	120
CAPITULO V	126
V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1 CONCLUSIONES	126
5.2 RECOMENDACIONES.....	128
5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración II-1: a) Equipo Viscosímetro Rotacional, b) vástago cilíndrico previo a sumergirse en el asfalto. Laboratorio ASFISA.....	11
Ilustración II- 2: a) Equipo de ensayo Punto de Ablandamiento, b) Muestras de Asfalto colocadas en los anillos. Laboratorio ASFISA.....	12
Ilustración II-3: a) Moldes empleados para ensayo de ductilidad, b) Comportamiento del ligante en el transcurso del ensayo. Laboratorios ASFISA.....	13
Ilustración II-4: a) Equipo para ensayo RFTO, b) Probetas con diversas mezclas de asfalto con polímeros para la prueba RFTO, Laboratorio ASFISA.	14
Ilustración II- 5: a) Muestra de asfalto previo al ensayo, b) Equipo Rheotest, Laboratorio ASFISA.	14
Ilustración II- 6: Equipo PAV-3 para ensayo de envejecimiento acelerado, Laboratorios ASFISA.	15
Ilustración II-7: Recolección de muestra del agregado. Empresa ASFISA.	21
Ilustración II-8: a) Tamices usados para ensayo de granulometría, b) Separación de los pesos por cada tamiz. Laboratorio ASFISA.	22
Ilustración II-9: a) Colocación del material en la probeta, b) Enrasado del material + agua + placa de vidrio para obtener su peso. Laboratorios RURMA.....	27
Ilustración II- 10: Ensayo de Gravedad Especifica de Agregado Fino. Laboratorios RURMA.	29
Ilustración II- 11: a) Enrasado del material grueso en el espécimen, b) Calculo del peso del agregado + espécimen. Laboratorios RURMA.	30
Ilustración IV-12: Muestras de los ligantes modificadas para prueba RTFO.	95
Ilustración IV-13: a) Determinación del peso del agregado y b) Control de temperatura del agregado, Laboratorio ASFISA.....	103
Ilustración IV-14: Determinación de la temperatura del asfalto, Laboratorio ASFISA.	104
Ilustración IV-15: a) Obteniendo cantidad de asfalto para mezcla., b) Determinación del Peso del agregado + asfalto. Laboratorio ASFISA.	104

Ilustración IV-16: a) Mezclado automático de la mezcla asfáltica b) Mezclado manual del material, Laboratorio ASFISA.....	105
Ilustración IV-17: a) Calculando el peso de las pastillas b) Obtención de las muestras para sus respectivos ensayos Laboratorio ASFISA.....	105
Ilustración IV-18: Toma de temperatura a muestras para ser compactadas, Laboratorio ASFISA.	106
Ilustración IV-19: a) Fabricación de las briquetas, b) Resultados de las briquetas. Laboratorio ASFISA.	106
Ilustración IV-20: Toma de medidas de las briquetas, Laboratorio ASFISA.	107
Ilustración IV-21: a) Pesos al aire, b) Peso sumergido y c) Peso superficialmente seco, Laboratorio ASFISA.	107
Ilustración IV-22: a) Colocación de las briquetas en el Baño María, b) Equipo programado para un periodo de 35 minutos. Laboratorio ASFISA.	108
Ilustración IV-23: a) Briqueta colocada en Equipo Marshall b) Grafica resultante de Ensayo Marshall, Laboratorio ASFISA. Fuente: Propia.....	108
Ilustración IV-24: a) Control de la temperatura previo al Ensayo Rice, b) Colocación del material en el equipo, c) Enrasado del material + agua para obtener su peso. Laboratorio ASFISA.	110

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación II-1: Humedad del agregado.	22
Ecuación II-2: Masa Inicial Seca.....	22
Ecuación II-3: % Masa Retenida.....	22
Ecuación II-4: Masa Retenida Acumulada %.....	22
Ecuación II-5: Material que pasa %	23
Ecuación II-6: Material de perdidas por lavado.	23
Ecuación II-7: Gravedad Especifica Bulk.	26
Ecuación II-8: Gravedad Especifica Bulk (SSD).	27
Ecuación II-9: Gravedad Especifica Aparente.	27
Ecuación II-10: Gravedad Especifica Bulk.	28

Ecuación II-11: Porcentaje de Absorción.....	29
<i>Ecuación II-12: Densidad Especifica Máxima Teórica</i>	<i>53</i>
Ecuación II- 13: Densidad Bulk	54
<i>Ecuación II-14: Porcentaje de vacíos</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación II-15: Vacíos en el agregado mineral, % del volumen aparente</i>	<i>55</i>
<i>Ecuación II-16: Vacíos rellenos se asfalto, porcentaje del VAM</i>	<i>56</i>

INDICE DE TABLAS

TABLA II- 1: TOLERANCIAS (TABLA NO. 3 ASTM D 3515)	51
TABLA II-2: ESPECIFICACIONES PARA GRADACIONES DENSAS, MEZCLAS CERRADAS ASTM D- 3515	52
Tabla III-3: Dosificación de los porcentajes de polímeros.....	70
Tabla III-4: Dosificación de la Mezcla Asfáltica.	70
Tabla III-5: Equipos Utilizados ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS.	71
Tabla III-6: Equipos utilizados ENSAYO DE PESOS UNITARIOS.....	71
Tabla III- 7: Equipos utilizados ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO.	72
Tabla III-8: Equipos utilizados ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO.....	72
Tabla III-9: Equipos utilizados ENSAYO DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS.....	72
Tabla III-10: Equipos utilizados ENSAYO VISCOSIMETRO ROTACIONAL.	73
Tabla III-11: Equipos utilizados ENSAYO ASFALTO ENVEJECIDO EN HORNO ROTATIVO DE PELÍCULA DELGADA (RFTO).....	73
Tabla III-12: Equipos utilizados ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS (PAV)	73
Tabla III-13: Equipos utilizados FLUENCIA Y RECUPERACIÓN DE MÚLTIPLES TENSIONES.	74
TABLA IV-14: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO	78

TABLA IV-15: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO.....	80
Tabla IV-16: Resultados de la Combinación de Agregados.....	82
Tabla IV-17: RESULTADOS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS SEGÚN LAS TOLERANCIAS DE PRODUCCIÓN.	84
TABLA IV-18: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO.	86
TABLA IV-19: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO.....	87
<i>TABLA IV-20: PESO UNITARIO SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.....</i>	<i>88</i>
TABLA IV-21: PESO UNITARIO SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.....	89
TABLA IV-22: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS.....	90
Tabla IV-23: Pérdida de Masa de los ligantes según ensayo RTFO.	95
Tabla IV-24: Propiedades Reológicas de la Mezcla con Caucho (3%) y azufre usando 2.5%.....	97
Tabla IV-25: Propiedades Reológicas de la Mezcla con Neumático 1.15%.....	98
Tabla IV-26: Resultados de los ensayos al Ligante Asfáltico.....	101
TABLA IV-27: DETERMINACIÓN DE RICE PARA MEZCLA USANDO 5.8% DE ASFALTO CON AC-30 + 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE	111
TABLA IV-28: DETERMINACIÓN DE RICE USANDO 5.8% ASFALTO CON MEZCLA AC-30 + 1.15% NEUMÁTICO	112
Tabla IV-29: Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall usando 1.15% Neumático.....	113
Tabla IV-30: Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall usando 3% Caucho y 2.5% Azufre.....	114
Tabla IV-31: COMPROBACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO.	118
TABLA IV-32: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.	118
Tabla IV-33: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.	119

Tabla IV-34: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 1.15% NEUMÁTICO PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.	119
---	-----

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico IV-1: Curva Granulométrica de material Tamaño Máximo Nominal (1/2") ...	79
Gráfico IV-2: Curva Granulométrica Agregado Fino	81
Gráfico IV- 3: Curva Granulométrica de Diseño	83
Gráfico IV- 4: Curva Granulométrica de diseño con tolerancias de producción.	85
Gráfico IV- 5: Comparativo de los Puntos de Ablandamiento de los Ligantes.	91
Gráfico IV-6: Comparativo de las Viscosidades Rotacionales de los Ligantes.	92
Gráfico IV-7: Comparativo Ductilidad de los Ligantes	93
Gráfico IV-8: Comparativo Grado de desempeño de los Ligantes.	94
Gráfico IV-9: Comparativo Temperaturas de Mezclado y Compactación.....	100
Gráfico IV- 10: Curva de Vacíos con aire vs Porcentaje de Asfalto de los Ligante vs Porcentaje de Asfalto de los Ligante	115
Gráfico IV-11: Curva de Vacíos en el agregado mineral vs Porcentaje de asfalto de los Ligantes	115
Gráfico IV- 12: Curva de vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de asfalto.....	116
Gráfico IV-13: Curva de Densidad Máxima vs Porcentaje de asfalto	116
Gráfico IV-14: Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto.....	117
Gráfico IV-15: Curva de Flujo vs Porcentaje de Asfaltos.....	117
Gráfico IV- 16: Comparativa de la Estabilidad de las Mezclas Asfálticas.	122
Gráfico IV- 17: Comparativa del Flujo Marshall de las Mezclas Asfálticas.....	123

CAPITULO I



ASPECTOS INTRODUCTORIOS

CAPITULO I

I. ASPECTOS INTRODUCTORIOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente investigación, es realizada con el fin de mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica mediante la incorporación de dos tipos de polímeros, a fin de ofrecer una alternativa de solución a los problemas que afectan al asfalto y consecuentemente a la carpeta asfáltica, para esto se contó con el apoyo de la empresa Asfaltos Industriales S.A (ASFISA).

La investigación abarca la caracterización de los materiales, el diseño y estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mejoradas con polímeros neumático y caucho. La incorporación de este tipo de material en mezclas asfálticas no es reciente, varios países como USA, Canadá, Brasil y España entre otros, han incorporado este tipo de mezclas en tareas de conservación y construcción de pavimentos.

El uso de asfaltos modificados es cada vez más común en todo el mundo. El porcentaje de mezcla asfáltica producida con asfaltos modificados ha crecido en los últimos años debido a todas las ventajas que la modificación del asfalto puede brindar a las mezclas, en cuanto a factores ambientales y económicos para mejorar el desempeño de los pavimentos asfálticos. Sin embargo, la magnitud del beneficio de la modificación también dependerá de otros factores, como el tamaño máximo nominal del agregado y el tipo de granulometría de la mezcla.

Para el diseño de la mezcla asfáltica se utilizó el método Marshall, con el cual se podrá denotar los resultados obtenidos. Para cada una de las evaluaciones se tomó en consideración los parámetros establecidos por la normativa AASHTO T 245.

Los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en las propiedades de la mezcla asfáltica lo cual permitió deducir que la incorporación del polímero dentro de una mezcla convencional le da características de durabilidad e incrementa sus propiedades físico-mecánicas para disminuir el deterioro y daños viales producidos por cargas de tráfico. Pero aún se requiere de más investigación con distintos tipos de agregados y polímeros a fin de desarrollar especificaciones para la construcción de carreteras que incorporen estos materiales.

1.2 ANTECEDENTES

Palma, Ortiz Cisneros, Avalos Belmonte y Castañeda Facio, (2015), elaboraron una investigación en conjunto titulada “*Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos*” en la ciudad de Saltillo, México, en este documento se especifican los polímeros más frecuentados en la combinación de polímeros con asfalto, entre ellos se encuentran: caucho natural, SBS, caucho etileno-propileno- dieno, estireno- butadieno, los cuales proporcionan a las mezclas asfálticas muchos beneficios, debido a que, ayudan a mitigar los posibles danos al pavimento provocados por los ahuellamientos, la fatiga, la permeabilidad y la susceptibilidad térmica, prolongando la vida del pavimento; se comprobó que los elastómeros, destacando el SBS con la mejor aceptación en el asfalto debido a sus propiedades.

Velásquez Mayen, (2016) trabajo en una investigación que consistía en rehabilitar las calles pavimentadas aplicando asfalto caliente modificado con polímeros en la ciudad de Guatemala, donde se utilizó el tipo de polímero elastómero del tipo estireno butadieno, este trabajo se finalizó satisfactoriamente concluyendo que el elastómero es un material que ayuda a mejorar las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica, mejorando el rendimiento bajo cargas, a bajas o altas temperaturas, asimismo el índice de penetración disminuye por lo que se vuelve más rígido el pavimento, a diferencia del asfalto sin modificar.

Ramírez Villamizar, Ladino Rubio y Rosas Ramírez, (2014) trabajaron en una investigación titulada “*Diseño De Mezcla Asfáltica Con Asfalto Caucho Tecnología Gap Grade*” en la Ciudad de Bogotá, Colombia, tenían como objetivo diseñar un pavimento flexible para de esta manera mejorar el comportamiento mecánico de la mezcla incorporando el caucho como material granular fino, usando tecnología GAP GRADE, hicieron uso del caucho para de esta manera conocer solucionar los problemas en las propiedades mecánicas que presenta el asfalto convencional, y asimismo conocer que propiedades presenta el asfalto en combinación con caucho y determinar si se incrementaría el tiempo de vida útil del pavimento.

Segovia Carhuas y Paco Martínez (2020), realizaron una investigación cuyo nombre tiene: “*Análisis del aprovechamiento de neumáticos reciclados usados como aditivo en el asfalto*” en Arequipa, Ciudad de Perú, con un objetivo claro el cual era incorporar materiales reciclables a las mezclas asfálticas ayudando de esta manera al impacto ambiental, en dicho trabajo se analizaron las ventajas de este polímero a través de la granulación, esto con el propósito de conocer cuanto porcentaje (entre 3 y 5%) debe ser el ideal para la mezcla en proceso de vía seca y caliente, concluyendo que entre más fino sea el material, tendrá mejor aceptabilidad.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las estructuras de pavimentos requieren de mantenimiento funcional y estructural antes de lo previsto, es decir, las estructuras no están cumpliendo con el periodo de diseño para la cual fueron diseñadas. Este fenómeno se debe al incremento de las cargas por eje, pero también a inconvenientes en la construcción dado por deficiencia en la calidad de los materiales y deficiencia en los procesos constructivos. Los asfaltos convencionales utilizados en la construcción tienen propiedades y características que en la actualidad no son suficientes para satisfacer las necesidades debido al incremento de flujo vehicular, por esta razón buscamos soluciones que ayuden a mejorar las características de los asfaltos y su comportamiento.

La problemática que aborda esta investigación se basa en el diseño de la mezcla asfáltica modificada, un tema que ha sido investigado ampliamente en los últimos años. Lo anterior es debido a la necesidad actual de desarrollar pavimentos con un mejor desempeño durante su vida útil. Adicionalmente, se busca reducir los daños que sufre el pavimento asfáltico como: agrietamiento por fatiga, deformación permanente, daño por humedad, entre otros. Un envejecimiento menos rápido y con una deformabilidad ante las solicitudes de tráfico menos influenciadas por factores como los climáticos, calidad del cemento asfáltico, encarecimiento de la energía, aumento del parque automotor, incremento de la carga por eje, etc., han generado un impulso en el conocimiento científico de las empresas productoras y constructoras de mezclas asfálticas, a partir de asfaltos modificados como alternativa para mantenimiento de pavimentos flexibles en Nicaragua, evaluando diferentes parámetros de calidad de los materiales.

El uso diario de las vías se ha visto deteriorado a consecuencia del tráfico que éste soporta, razón por la cual se busca una solución, creando una mezcla asfáltica con la adición de dos tipos de polímeros y así de esta manera aportar con el medioambiente y bajar los índices de materiales plásticos desechados, promoviendo así a que se fomente más la reutilización de materiales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se busca diseñar una mezcla asfáltica modificada con neumático y caucho que mejore las propiedades de la carpeta asfáltica por medio de la aplicación de normas y ensayos. En la actualidad los asfaltos convencionales que se utilizan, presentan calidades y propiedades que son insuficientes o no alcanzan a satisfacer las necesidades y requerimientos de las demandas de tráfico vehicular, en virtud de lo cual se investigan alternativas de solución, desde la modificación de los asfaltos incorporando materiales de distinta naturaleza, tendientes a obtener mejoras en su desempeño y comportamiento dentro de las mezclas asfálticas.

Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. Por lo anterior, con el presente trabajo se pretende contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas, ayudando a obtener mezclas resistentes a las deformaciones permanentes, fisuramiento y ampliar su vida útil.

A nivel nacional no existen muchas empresas recicladoras de llantas, y son pocas las que se dedican también a la reutilización de estas como un material para uso vial debido a la falta de conocimiento, miedo a innovar con nuevos componentes y falta de cultura de aplicación a la investigación.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el método Marshall.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica modificada.
- Determinar la dosificación óptima de polímero para la modificación de la mezcla asfáltica.
- Diseñar una mezcla asfáltica modificada utilizando como aditivo el neumático y el caucho.
- Comparar las propiedades volumétricas de una mezcla con asfalto modificado y una mezcla convencional AC-30 a escala de laboratorio.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

Este trabajo de investigación tiene como alcances:

- ✓ Nos enfocamos en este tema de investigación con el propósito de proporcionar un método ecológico ante la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales.
- ✓ La ejecución de este diseño de mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polímeros Neumático y Caucho desarrollará una mejor vida útil a la mezcla en comparación con un diseño de mezcla asfáltica tradicional y también esta metodología contribuirá como una solución para el problema de contaminación ambiental que las llantas generan al finalizar su vida de uso.
- ✓ Este trabajo de investigación, servirá como referencia para otros estudios de análisis de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

LIMITACIONES

- ✓ Selección de material, la mayoría de polímeros utilizados son por lo general producto del reciclaje o de desecho industrial y en Nicaragua no se cuenta con tantas empresas dedicadas a esto son pocas las plantas trituradoras.
- ✓ Debido a que en el país estamos pasando por momentos de crisis debido a la pandemia, esto nos hizo prolongar el tiempo debido a las cuarentenas como medidas preventivas.
- ✓ El desarrollo de esta investigación se realizó en base a los resultados de los ensayos de laboratorio, es por ello que se presentó la limitación de verificar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada, en el pavimento una vez colocada, debido a que ello conlleva un tiempo prudente para realizar el seguimiento y medir su desempeño de las mezclas in situ.

CAPITULO II



MARCO REFERENCIAL

CAPITULO II

II. MARCO REFERENCIAL

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEORICA

2.1.1 GENERALIDADES DEL ASFALTO

2.1.1.1 Definición

El asfalto es un material aglomerante sólido de color negro que se licua fácilmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes, que se dan en la naturaleza en forma semisólida o se obtienen a partir de la refinación del petróleo.

Este se representa mediante un rango de [5.4 a 5.9 %] restante de la mezcla asfáltica, y debe de mantenerla unida y en servicio por el período de diseño. Así mismo, la ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como *“Un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los bitúmenes que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la destilación del petróleo crudo”*.

2.1.1.2 Características del ligante asfáltico.

(Mercado, Bracho, & Avendaño, 2021) Las características del asfalto se determinan mediante una serie de ensayos estandarizados, los cuales se describen a continuación:

ENSAYO VISCOSIDAD ROTACIONAL (ASTM D 4402):

El ensayo de “Viscosidad Rotacional”, empleando la normativa ASTM D4402, nos describe el proceso a seguir para obtener la viscosidad aparente del asfalto, el cual es sometido a elevadas temperaturas que van de 60°C a 200 °C. Para realizar este ensayo se debe colocar una pequeña muestra de asfalto en un recipiente especial termostáticamente controlado.

Un parámetro importante, es mantener una constante velocidad de rotación y una temperatura estable, el ensayo va tener una duración de 10 minutos, tiempo en el cual el vástago cilíndrico estará sumergido moviéndose circularmente, transcurrido el ensayo se obtienen la viscosidad aparente del asfalto en unidades de Pascal por segundo.

a)



b)



Ilustración II-1: a) Equipo Viscosímetro Rotacional, b) vástago cilíndrico previo a sumergirse en el asfalto. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO PUNTO DE ABLANDAMIENTO (ASTM D 36):

Esta normativa nos detalla el procedimiento para determinar el punto de ablandamiento del asfalto a temperaturas que se encuentre en un rango de (30 - 200 °C), utilizando el aparato de anillo y bola. El punto de ablandamiento consiste en encontrar la temperatura a la cual una muestra, se suspende en un anillo horizontal cuyas dimensiones están específicas y es forzada a caer a una altura de 25mm, ya que se le aplica el peso de una bola de acero especificada, esto debido a que, la muestra se caliente de manera gradual a una velocidad determinada, sobre un baño de agua o bien en glicerina.

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

a)



b)



Ilustración II- 2: a) Equipo de ensayo Punto de Ablandamiento, b) Muestras de Asfalto colocadas en los anillos. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO DE DUCTILIDAD (ASTM D 6084):

La ductilidad en el campo de la ingeniería se refiere a un material que puede ser sometido a grandes esfuerzos antes de romperse, a diferencia de un material frágil bajo una deformación repentinamente, es por ello que la ductilidad tiene la propiedad de que los materiales se deformen visiblemente (plásticamente) antes de llegar a la ruptura. El ensayo de ductilidad se rige por la normativa ASTM D-6084 y tiene por objetivo determinar la distancia a la cual el material asfáltico se alarga antes de romperse, esto se logra colocando llenando un molde con un pequeño contenido de asfalto y esta se deja reposar, una vez enfriada se coloca en el equipo para proceder a ser sujeta a los extremos para empezar el ensayo y se define cuanto se va alargar (10 centímetros) y la velocidad de alargamiento.

a)



b)



Ilustración II-3: a) Moldes empleados para ensayo de ductilidad, b) Comportamiento del ligante en el transcurso del ensayo. Laboratorios ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO ASFALTO ENVEJECIDO EN HORNO ROTATIVO DE PELÍCULA DELGADA RTFO):

Este ensayo se rige de acuerdo a las normativas AASHTO T-240 y ASTM D-2872; el método consiste en cómo influye la aplicación de aire y calor sobre una película de materiales asfálticos semisólidos, para comprender el ensayo se debe conocer las propiedades de las muestras para de esta manera comparar los efectos que se generan antes y después del procedimiento en el RTFO y así evaluar el grado de endurecimiento producido en el asfalto durante su calentamiento. El proceso del ensayo es, seleccionar las muestras a ensayarse y colocarlas en frascos con cantidades que no exceda 35 ± 0.5 gramos por muestra y colocarlas en el horno durante un periodo de tiempo de 75 minutos a una temperatura estable de 170°C .

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

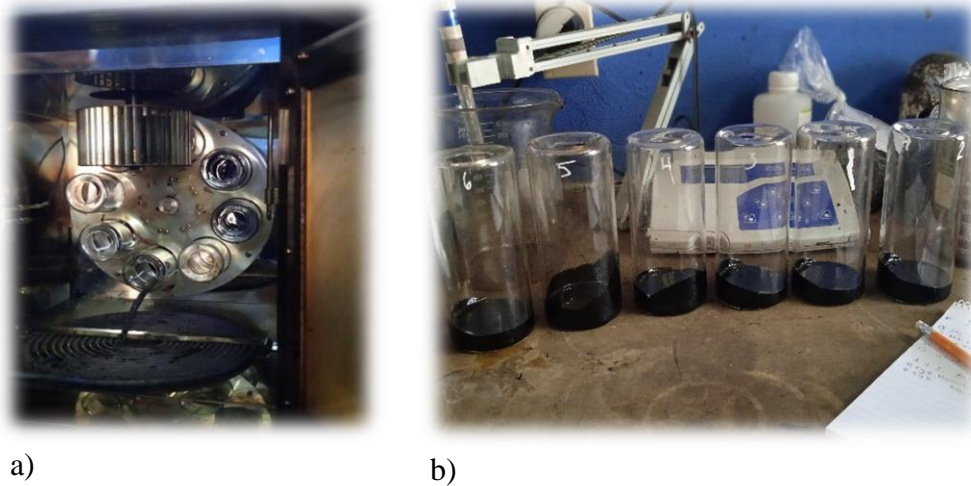


Ilustración II-4: a) Equipo para ensayo RFTO, b) Probetas con diversas mezclas de asfalto con polímeros para la prueba RFTO, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL ASFALTO USANDO UN REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (AASHTO T-315):

El reómetro de corte dinámico es implementado para caracterizar el comportamiento viscoso y elástico del asfalto aglutinante, en medias y altas temperaturas, para este ensayo DSR se ocupa una pequeña cantidad de muestra que se coloca en medio de dos placas circulares fijas, la placa inferior se encuentra fija, mientras que la placa superior hace movimientos oscilatorios hacia delante generando la acción de corte, cabe mencionar que este ensayo se hace mediante de un software *Rheotest RN 5.3*.

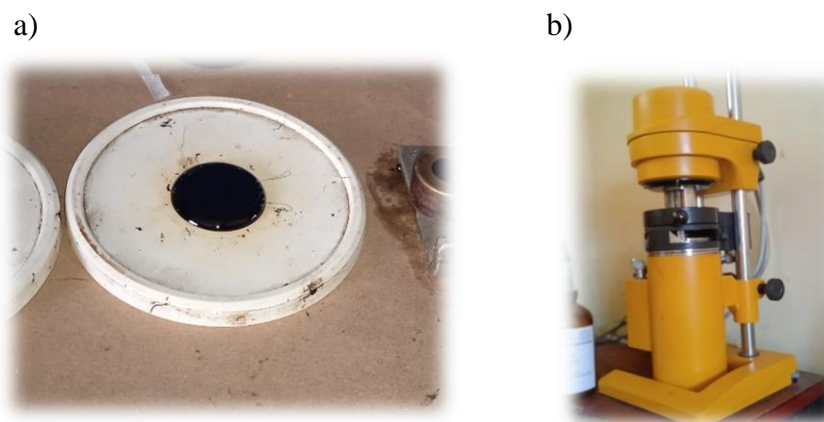


Ilustración II- 5: a) Muestra de asfalto previo al ensayo, b) Equipo Rheotest, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO ENVEJECIMIENTO ACELERADO DEL LIGANTE ASFALTICO [PAV] (ASTM D 6521):

El ensayo de envejecimiento acelerado del ligante asfáltico se rige bajo las normativas de la ASTM D 6521 y AASHTO R 28, *“Este ensaye se hace una simulación por oxidación del ligante asfáltico en una mezcla asfáltico convencional a un tiempo de proyección de servicio entre 7 y 10 años. Conlleva el deterioro de la carpeta asfáltico ocasionado durante su vida útil producto del tiempo, factores climáticos, temperatura y/o servicio de la vía”.* (PITRA-Lanamme, UCR, 2014).

Ilustración II- 6: Equipo PAV-3 para ensayo de envejecimiento acelerado, Laboratorios ASFISA.



2.1.1.2 Asfaltos Modificados

(Conejo Poveda & Camacho Vargas, 2017) La modificación de asfaltos surge en la década de los 60's en Francia, Italia, Alemania y Estados Unidos, donde se iniciaron investigaciones para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto y su duración.

Para garantizar una adecuada realización de la modificación se debe presentar una buena compatibilidad del asfalto con el modificador, es decir, este debe ser miscible para obtener una mezcla monofásica. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar visualmente. Los asfaltos ricos en fracciones aromáticas y resinas son los más compatibles con los polímeros ya que son estas fracciones las que permiten la disolución del polímero. Los asfaltos ricos en

asfáltenos y saturados son los menos compatibles, estas propiedades dependen de la fuente y la refinación del asfalto a utilizar.

2.1.1.3 Asfaltos Modificados con Caucho

(Conejo Poveda & Camacho Vargas, 2017) La llanta proveniente de neumáticos usados es tal vez uno de los elementos que más se desechan en el mundo. Se reporta que el 2% de los residuos sólidos totales provienen del desecho de neumáticos en desuso. Aproximadamente 300 millones de llantas de neumático son desechadas anualmente en los estados unidos. Estos desechos generan un alto impacto ambiental (Negativo) al ambiente ya que por lo general son almacenados, incinerados al aire libre o utilizados como fuente alterna de energía en hornos artesanales que no cuentan con la tecnología y los sistemas de filtrado apropiados para disminuir los gases y compuestos que contaminan al aire de la atmosfera. Múltiples estudios e investigaciones se han desarrollado en el mundo con el fin de evaluar la forma como pueden ser reutilizados estos materiales una vez han sido usados y desechados.

2.1.2 AGREGADOS

2.1.2.1 Definición

(Martinez Mendez & Molina Zavala, 2011) Los agregados se definen como cualquier material mineral, en forma de partículas graduadas o fragmentos que adecuadamente proporcionados en diferentes tamaños, forman parte de una mezcla asfáltica.

2.1.2.2 Tipos de clasificación de agregados

Los agregados utilizados para mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a diferentes parámetros, entre ellos:

a) Según su tamaño.

Gruesos: Fracción del agregado que pasa el tamiz de 2 pulgada y es retenida en el tamiz No. 4.

Finos. Fracción de Agregado que pasa el tamiz No. 4 y es retenida en el tamiz No. 200.

Polvo Mineral: Fracción del agregado fino que pasa el tamiz No. 200.

b) Según su origen.

Naturales: Son gravas y arenas encontradas en depósitos de ríos o minas, y son empleadas sin ningún procesamiento adicional, salvo el tamizado o lavado, en caso de que ello sea necesario.

Procesados: Son gravas o rocas que se someten a procesos de trituración y tamizado para lograr incrementar su resistencia, mejorar su granulometría, reducir el tamaño máximo de las partículas, cambiar su forma y mejorar su textura superficial.

Estabilizados: Son materiales locales que por no lograr alcanzar propiedades físicas que les permitan ser empleados en las capas del pavimento, son mejorados mediante la incorporación de agentes externos tales como cemento y cal.

2.1.2.3 Propiedades generales de los agregados para mezclas asfálticas.

Independientemente del tipo de mezcla asfáltica, las siguientes propiedades son deseables en los agregados que la constituyen:

- Granulometría y tamaño adecuado.
- Resistencia y durabilidad.
- Forma cúbica.
- Baja porosidad.
- Textura superficial adecuada.
- Buena adherencia.
- Limpieza.

A. Granulometría y tamaño.

Una de las características más importantes de los agregados que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas es la granulometría. De acuerdo con esta los materiales pueden clasificarse en:

- ✚ ***Densamente gradados:*** Son agregados que contienen cantidades adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos.
- ✚ ***Granulometrías abiertas:*** Son materiales con una gradación incompleta, que contienen menos finos que las densas.
- ✚ ***Granulometrías uniformes:*** Estos materiales están constituidos por agregados de prácticamente un tamaño; y son generalmente utilizados en sellos y tratamientos superficiales.

B. Resistencia y durabilidad.

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos de manipuleo y compactación en las etapas de construcción y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos efectos tienden a triturar y degradar las partículas. La habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como resistencia.

Los agregados deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la desintegración y degradación de las partículas, lo cual normalmente se produce, y acelera, en presencia de agua.

C. Forma de las partículas.

La forma de la partícula es también otro factor importante en los agregados, ya que afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente se da con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas, casi siempre por trituración.

Las partículas alargadas o planas son indeseables, ya que aun cuando resisten el manipuleo, tienden a romperse y degradarse bajo los efectos de la compactación y del tráfico. Los agregados con partículas de forma redondeada son de más fácil compactación, con lo que se logran, aparentemente mayores zonas de contacto entre las mismas. Obteniéndose mayor estabilidad, pero debido a su forma, son muy susceptibles a "rodar" o desplazarse al ser sometidas al tráfico, es decir a largo plazo tienden a deformarse.

D. Textura superficial.

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación (llamada estabilidad), debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas, como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

E. Porosidad.

Se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos sean algo poroso, para que el asfalto "penetre" dentro de ellos y se adhiera mecánicamente a las partículas, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de las mismas ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua. Los agregados muy porosos, sin embargo, al absorber mucho asfalto, requieren contenidos muy elevados de ligante para mantener su contenido efectivo, lo cual puede resultar antieconómico.

F. Adherencia.

Es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, su textura y composición química, también en parte importante del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

G. Limpieza

Los agregados gruesos deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

El agregado fino no debe contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños.

2.1.2.4 Caracterización de los agregados.

ENSAYO ESTÁNDAR PARA MUESTREO DE LOS AGREGADOS (ASTM D 140 AASHTO T40-78):

Los métodos para obtener muestras representativas de agregados se presentan en la norma ASTM D 75. La reducción de las muestras de campo de gran tamaño hasta obtener cantidades pequeñas para las pruebas individuales se debe realizar con precaución a fin de que las muestras finales sean realmente representativas.

El procedimiento del muestreo de los materiales en los bancos de acopio es el siguiente:

Se debe homogenizar el material que se acopia en grandes cantidades para tomar una muestra representativa del agregado muestreado.

- ✓ Tomar las muestras en sacos, de diferentes puntos del material homogenizado.
- ✓ Realizar el traslado del material al laboratorio
- ✓ Una vez este el material en el laboratorio se realiza el cuarteo (Maquina Cuarteadora) para la reducción de muestra a volúmenes de ensayo, colocando estas en bolsas para evitar pérdida o ganancia de humedad.

- ✓ Registrar con códigos cada uno de los materiales resguardados.



Ilustración II-7: Recolección de muestra del agregado. Empresa ASFISA.

Fuente: Propia.

ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRANULOMETRÍA (AASHTO T-27 Y ASTM C-136):

Resumen del método:

No es más que una descripción gráfica del tamaño de las partículas en el espacio, por ejemplo, cuando se habla de un estrato de suelo denso se hace referencia a que las partículas están bien distribuidas en el espacio, este ensayo nos determina los tamaños de cada partícula del estrato de suelo, haciendo uso de tamices o bien, mallas para clasificar los granos. Según la normativa AASHTO T 11, el material que pasa por la malla No. 200 se obtiene mediante el lavado del material.

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.



a)



b)

Ilustración II-8: a) Tamices usados para ensayo de granulometría, b) Separación de los pesos por cada tamiz. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia.

Para obtener la estimación de la distribución granulométrica se debe aplicar las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Humedad: } \left\{ \left[\frac{\text{Masa}_{\text{HUMEDA}} - \text{Masa}_{\text{SECA}}}{\text{Masa}_{\text{SECA}}} \right] * 100 \right\} \quad \text{Ecuación II-1: Humedad del agregado.}$$

$$\text{MIS: } \left\{ \frac{\text{MIH}}{1 + \left(\frac{\% \text{ Humedad}}{100} \right)} \right\} \quad \text{Ecuación II-2: Masa Inicial Seca.}$$

$$\% \text{ MR: } \left\{ \left(\frac{\text{Masa Retenida}}{\text{MIS}} \right) * 100 \right\} \quad \text{Ecuación II-3: \% Masa Retenida.}$$

$$\% \text{ MRA: } \text{MRA}_{\text{inicial}} + \text{MR \%} \quad \text{Ecuación II-4: Masa Retenida Acumulada \%}$$

$$MQP \% : 100 - \% MRA$$

Ecuación II-5: Material que pasa %

$$MPL = MIS - MMLS$$

Ecuación II-6: Material de pérdidas por lavado.

Donde:

MIS: Masa Inicial Seca (G)

MIH: Masa Inicial Húmeda (G)

MR: Masa Retenida (G)

MRA: Masa Retenida Acumulada (G)

MQP: Material Que Pasa (g)

MPL: Material de Pérdidas por Lavado (g)

MMLS: Material de Muestra Lavada y Seca (g)

ENSAYO ESTÁNDAR PARA DESGASTE DE LOS AGREGADOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM D-479 Y AASHTO T-104):

Con este ensayo se pretende conocer el porcentaje de desgaste del agregado grueso cuando es sometido a revoluciones con carga abrasiva en la máquina de los Ángeles, para hacer el ensaye primero se hace una granulometría al material para de esta manera conocer la cantidad de bolas de acero a colocarse y el tamaño de muestra, luego proceder a colocarlo en la máquina de los ángeles, en donde las bolas de acero tendrán un tamaño aproximado a 46.8 mm de diámetro, y con una masa de muestra de (390-445 gr), luego de terminar el proceso en la máquina de los ángeles se procede a realizar otra granulometría para ver si el material cumple con según las especificaciones, que según la normativa debe ser 30% el desgaste máximo del agregado.

ENSAYO ESTÁNDAR PARA EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T- 176):

Equivalente de arena (ASTM D 2419 y AASHTO T-176)

El equivalente de arena es un ensayo que tiene como principal objetivo determinar la porción relativa del contenido de polvo fino, o material arcilloso en los suelos o agregados finos. Con este método de ensayo también nos permite determinar rápidamente en campo las variaciones de calidad de los agregados finos y gruesos durante la producción y colocación del material.

Equipos utilizados

- ✓ Tubo irrigador
- ✓ Espátula
- ✓ Pana de plástico
- ✓ Probetas graduadas
- ✓ Pistón con marco para las lecturas de arenas
- ✓ Cronometro
- ✓ Termómetro
- ✓ Recipiente medidor de arena

Procedimiento

Un volumen medido de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante son colocados dentro de un cilindro plástico graduado y es agitado para aflojar los revestimientos de arcilla en las partículas de arena en el espécimen de ensayo. Entonces el espécimen es “irrigado” usando solución floculante adicional forzando al material de arcilla entrar en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación prescrito, la altura de arcilla floculada es leída y la altura de arena en el cilindro es determinada. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena a la altura de arcilla por 100.

Un valor mínimo de equivalente de arena puede ser especificado para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en un agregado. Este método de ensayo provee un método de campo rápido para determinar cambio en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

ENSAYO ESTÁNDAR PARA GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN PARA AGREGADOS (ASTM C 127, C 128 Y AASHTO T- 84, T-85):

El objetivo de este ensayo es determinar la densidad bruta del agregado en condición suelta o compactada y se calculan los vacíos de las partículas finas, gruesas o dentro de la combinación. El tamaño nominal máximo es de 125 mm este dato se utiliza para seleccionar proporciones en mezclas en frío y en caliente.

✚ Gravedad Especifica y porcentaje de absorción del Agregado Fino (ASTM C 128):

Procedimiento:

- a) El material se criba por el tamiz # 8 y de lo que pasa se toma una muestra representativa, para proceder a saturarla y dejarla por un periodo de 24 horas.
- b) Luego de pasar las 24 horas la muestra en estado de saturación, se procede a colocarla en una charola y secarla frente a un abanico, se mueve para que se seque de manera homogénea y alcanzar el estado saturado superficialmente seco (SSS).
- c) Se evalúa la muestra para comprobar el estado SSS mediante el cono y maso, el material se coloca dentro del cono en 3 capas, la 1er y 2da capa se le dan 10 golpes con el maso y a la 3era capa se le dan solo 5 golpes, al terminar se enraza la muestra y se quita el cono de forma rápida, si la muestra conserva la forma de un cono se dice que la muestra se encuentra en estado Saturado Superficialmente Seco.
- d) Luego de comprobar el estado SSS de la muestra, se tara una charola y en ella ponemos una muestra representativa para luego colocarla en el horno por un periodo de 24 horas a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Cabe recalcar que, esta humedad es la misma del porcentaje de absorción debido a que, la muestra está en estado SSS.

- e) Se procede a determinar la masa del picnómetro, para luego colocar una muestra de 500 gramos del material saturado superficialmente seco, y se mide la masa del picnómetro más la muestra. Sucesivamente, se llena con agua a una temperatura $23^{\circ}\text{C} \pm 1.7^{\circ}\text{C}$ el picnómetro hasta alcanzar la altura de la arena y se agita manualmente el picnómetro por un periodo de tiempo de 15 minutos.
- f) Posteriormente, se llena de agua el picnómetro hasta su límite superior y se enraza con una placa de vidrio procurando no dejar ninguna partícula de aire y se toma el peso del picnómetro (con la muestra y el agua adentro). Luego, se toma la masa del picnómetro lleno de agua, igualmente se enrasa para no dejar burbujas de aire. Ahora se cuenta con todos los datos necesarios para proceder a los cálculos haciendo uso de las siguientes ecuaciones:

$$\textit{Gravedad Especifica Bulk: } \frac{A}{B + S - C} \quad \textit{Ecuación II-7: Gravedad Especifica Bulk.}$$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra (gr).

B= Peso del picnómetro lleno de agua (gr).

S= Peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco (gr).

C= Peso del picnómetro calibrado incluyendo la muestra y el agua (gr).

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

$$\text{Gravedad Especifica Bulk (SSD)}: \frac{B}{B + S - C} \quad \text{Ecuación II-8: Gravedad Especifica Bulk (SSD).}$$

Donde:

B= Peso del picnómetro lleno de agua (gr).

S= Peso de la muestra en estado saturado superficialmente seco (gr).

C= Peso del picnómetro calibrado incluyendo la muestra y el agua (gr).

$$\text{Gravedad Especifica Aparente}: \frac{A}{B + A - C} \quad \text{Ecuación II-9: Gravedad Especifica Aparente.}$$

Donde:

A= Peso en el aire de la muestra (gr).

B= Peso del picnómetro lleno de agua (gr).

C= Peso del picnómetro calibrado incluyendo la muestra y el agua (gr).

a)



b)



Ilustración II-9: a) Colocación del material en la probeta, b) Enrasado del material + agua + placa de vidrio para obtener su peso. Laboratorios RURMA.

Fuente: Propia.

Gravedad Especifica y porcentaje de absorción del Agregado Grueso (ASTM C 127):

Procedimiento:

- a) La muestra a ensayar se toman 3000 gr aproximadamente, pero primero se criba por la malla No. 4 (En este caso se utilizó la numeración de malla No.4 por el tipo de granulometría requerida) para eliminar todo material fino, posteriormente la muestra se lava para eliminar toda suciedad, una vez lavada la muestra se sumerge en agua; haciendo uso de una cesta la cual se le debe tomar su peso una vez sumergida (E), se determina el peso del material más la cesta (D) y se deja sumergido por un periodo de 24 horas.
- b) Una vez transcurrido las 24 horas, se saca la muestra de la cesta y se seca con un pañuelo de manera que la muestra se vea visiblemente sin exceso de agua y quede en estado Saturado Superficialmente Seco.
- c) Se toma una muestra aproximada de 300 gramos (B) y se mete al horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para así determinar el porcentaje de humedad del material.
- d) Se saca la muestra del horno y se toma el peso de la grava seca (A).
- e) Se determina la gravedad especifica haciendo uso de las siguientes fórmulas.

$$GE = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación II-10: Gravedad Especifica Bulk.

Donde:

A= Peso de la muestra seca

B= Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

C= Peso de la muestra sumergida = D-E

D= Peso de la cesta más la muestra sumergida.

E= Peso de la cesta sumergida

a)



b)



Ilustración II- 10: Ensayo de Gravedad Especifica de Agregado Fino. Laboratorios RURMA.

Fuente: Propia.

$$\% \text{ Absorción: } \left[\frac{A}{B - A} \right] * 100$$

Ecuación II-11: Porcentaje de Absorción.

Donde:

A= Peso de la muestra seca

B= Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

ENSAYO ESTÁNDAR PARA PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DEL AGREGADO (ASTM C 29)

Por medio de este ensayo se obtiene el porcentaje existente de vacíos en el material, ya sea, según el método de compactado o envarillado, suelto o percusión. Para hacer este ensayo se usó una muestra aproximada de 40kg para cada ambos ensayos, se aplicó el método de compactación para el agregado grueso y el método de percusión o suelto para el agregado fino.

El equipo que se utilizó fue un espécimen (ver ilustración No. 9) cuyo volumen fue de $0.0005 m^3$, una balanza granataria cuya capacidad era de $50 kg$. Para el método de envarillado se tenía que repetir el ensayo tres veces para posteriormente promediar los resultados, la muestra se iba colocando en el espécimen en tres capas, por cada capa se le da 25 golpes haciendo uso de la varilla, al llegar a la 3era capa se enrasa el material y se procede a pesar su contenido; el mismo proceso se hace para el método de percusión o suelto.

a)



b)



Ilustración II- 11: a) Enrasado del material grueso en el espécimen, b) Cálculo del peso del agregado + espécimen. Laboratorios RURMA.

Fuente: Propia.

2.1.3 EL POLÍMERO.

(Gargate Alva & Huamaní Sánchez, 2018) Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamados monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Hoy en día, el uso de los polímeros se ha expandido a varias aplicaciones debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

La utilización comercial de un nuevo producto como el caso de los polímeros depende del costo y sus propiedades. El costo, depende básicamente de su proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros. Así, las principales fuentes de materia prima para la producción de monómeros son:

1. Productos Naturales.
2. Hulla o Carbón Mineral.
3. Petróleo

2.1.3.1 Clasificación de los polímeros

Existen tres formas de clasificar los polímeros:

- Por su estructura química.
- Por su comportamiento mecánico.
- Por su desempeño mecánico.

CLASIFICACIÓN POR SU ESTRUCTURA QUÍMICA:

Esta analiza un polímero en cuanto a la estructura del mero. Existen de cadena carbónica y de cadena heterogénea.

Polímeros de cadena carbónica:

- Poliolefinas.
- Polímeros de tipo dienos.
- Polímeros de tipo estirenicós.
- Polímeros de tipo cloruros.
- Polímeros de tipo fluoruros.
- Polímeros de tipo acrílicos.
- Esteres polivinílicos.
- Poli (fenol- formaldehído).

Polímeros de cadena heterogénea:

- Poliéteres.
- Poliésteres.
- Policarbonato.
- Poliamidas.
- Poliuretanos.
- Aminoplásticos.
- Celulósicos.
- Siliconas.

CLASIFICACIÓN POR SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO:

Los polímeros pueden ser clasificados por su comportamiento mecánico en:

Plásticos:

Son materiales poliméricos sólidos a temperatura ambiente. Existen dos tipos:

- Termoplásticos
- Termorígidos: a este grupo pertenecen los plastómeros.

Elastómeros:

Son deformables a temperatura ambiente, al aplicarle un esfuerzo son comprimibles, pero recobran su forma original al ser retirado este. La flexibilidad de los elastómeros se debe a cadenas flexibles, las cuales se amarran unas con otras. Entre las principales propiedades de los elastómeros se pueden mencionar:

- Aceptan grandes deformaciones, manteniendo su módulo de elasticidad y resistencia mecánica una vez deformados.
- Una vez retirado el esfuerzo, se recuperan totalmente de la deformación.

Fibras:

En este grupo se encuentran el Nylon, poliéster, etc.

CLASIFICACIÓN POR SU DESEMPEÑO MECÁNICO:

Se basa en cuanto al desempeño mecánico cuando son utilizados para diferentes funciones. Existen los siguientes tipos:

Termoplásticos convencionales

Termoplásticos especiales

Termoplásticos de ingeniería

Termoplásticos de ingeniería especiales

2.1.3.2 Propiedades Mecánicas De Los Polímeros

1) Resistencia.

Cuando se habla de resistencia en polímeros, este tiene varios tipos:

- **Resistencia a la tracción:** La resistencia a la tracción o tenacidad es el máximo esfuerzo que un material puede resistir antes de su rotura por estiramiento desde ambos extremos con temperatura, humedad y velocidad especificadas. El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente.

- **Resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que un material rígido puede resistir bajo compresión longitudinal. No es necesario el esfuerzo en el punto de rotura, pero es de significación en materiales que quebrantan bajo una cierta carga. La unidad es fuerza por unidad de área de sección transversal inicial, expresada como Pa. El ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material. Se suele usar en materiales frágiles. La resistencia a compresión de todos los materiales siempre es mayor que a tracción. Se realiza preparando probetas normalizadas que se someten a compresión en un dispositivo para ensayo de compresión o una máquina universal de ensayos.
- **Resistencia a la flexión:** La resistencia a la flexión estática, también conocida como módulo de rotura, representa el máximo esfuerzo desarrollado en la superficie de la probeta en forma de barra, soportada cerca del extremo y cargada en el centro hasta que ocurra la falla. La unidad es fuerza por unidad de área, en Pascales. El ensayo es aplicable solamente a materiales rígidos.
- **Resistencia al impacto (Tenacidad):** La resistencia al impacto representa la resistencia o tenacidad de un material rígido a la repentina aplicación de una carga mecánica. Es convencionalmente determinado por medición de la energía requerida para fracturar una probeta bajo condiciones normalizadas. La energía absorbida en la fractura de la probeta estándar se expresa en Joule/m. El impacto es convenientemente obtenido por la caída de un péndulo.

2) Elongación

La resistencia indica cuánta tensión se necesita para romper algo, sin embargo, ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de elongación de la muestra polimérica. La elongación es un tipo de deformación, que simplemente expresa el cambio en la forma que experimenta cualquier material bajo tensión. Cuando se habla de tensión, la muestra se deforma por alargamiento. Esto precisamente es la elongación.

3) Módulo.

Si se quiere conocer cuánto un material resiste la deformación, se mide algo llamado módulo. Para medir el módulo de tracción, se hace lo mismo que para medir la resistencia y la elongación; esta vez se mide la resistencia ejercida sobre el material, tal como se procede con la resistencia a la tracción, incrementándose lentamente la tensión y midiendo la elongación que experimenta la muestra en cada nivel de tensión, hasta que finalmente se rompe.

4) Tenacidad.

La tenacidad es en realidad, una medida de la energía que una muestra puede absorber antes de que se rompa.

2.1.3.3 CAUCHO

Definición

(Benites Cruz, 2020) El caucho es fundamentalmente un polímero, el cual puede ser una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica; el caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex y el caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados.

En los últimos años diversos sectores industriales están priorizando la reutilización y el reciclado de caucho con fines de aplicar estos materiales en un nuevo uso ya que estos materiales son extremadamente duradera, fuertes, flexibles y pueden mantener su volumen bajo carga. En las últimas décadas las investigaciones sobre el uso de caucho, buscan disminuir el uso del cemento asfáltico en pavimentaciones, debido a su mayor costo.

La combinación del caucho en las mezclas asfálticas no es reciente, muchos de los países como Estados Unidos, Canadá, España y Brasil están incorporando este tipo de mezclas en los pavimentos desde hace muchos años atrás, de esta manera usar el caucho para mejorar las condiciones de durabilidad y resistencia de mezclas asfálticas. A pesar de que las industrias le dan nuevo uso al caucho, la mayor parte de estos materiales aún son quemados o simplemente arrojados en las vías públicas. Esto genera que se produzca mayor contaminación al medio ambiente y desperdicio a uno de los materiales más resistentes como es el caucho.

(Santos & Lobato Campos, 2020) El caucho a temperaturas bajas, su estado cambia a rígido y cuando se aproxima a su congelamiento adquiere una estructura fibrosa. Cuando sobrepasa los 100°C comienza a tener alteraciones y llega a su estado plástico. Si el caucho es sometido a fuertes deformaciones y estiramientos no recobra su estado original por un lapso de tiempo.

Tipos de clases de Caucho

- Triturado: Son trozos de caucho reciclado, que son provenientes del pre trituración de las llantas.
- Polvorizado: Son partículas de caucho reciclado y tienen una buena, resistencia, durabilidad, amortiguación y permeabilidad.
- Líquido: Son cauchos naturales que se obtienen naturalmente y estas provienen del látex que producen algunos vegetales, mayormente estos árboles se encuentran en la amazonia.

Caucho ventajas y desventajas

Ventajas

- Resiste a las deformaciones y hace menos ruido.
- Extiende la vida útil de las carreteras
- Contribuye el daño ocasionado a nivel medioambiental generados por los neumáticos utilizados.
- Mejora resistencia al deslizamiento

- Mas impermeabilizante en sellados bituminosos, con lo que se evitan fisuramiento.
- Poseen mejor elasticidad y adherencia.
- Resistente a la vejez: conserva sus características dado el uso de caucho reciclado.

Desventajas

- La mezcla asfáltica podría ser muy blanda y delicada, ya que la obtención o absorción tienen impacto en el factor adhesivo.
- El caucho pulverizado no debe estar ni húmedo ni sucio.
- Necesidad de una maquinaria especializada en separación del caucho.
- Las temperaturas mínimas de distribución son de 125°C por su rápido endurecimiento.

2.1.3.4 NEUMÁTICO

Origen y composición del neumático

(Meléndez Cabrera, 2019) Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire a presión, el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo.

La complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso. La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo.

El neumático está compuesto principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. Los principales componentes de la goma de los neumáticos son goma de estireno butadieno (SBR), goma natural (NR) y goma de

polibutadieno (BR). A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos de elevado peso molecular) entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estierobutadieno, todos basados en hidrocarburos.

Descripción

1. Banda de rodamiento:

Esta parte, generalmente de hule, proporciona la interface entre la estructura de la llanta y el camino. Su propósito principal es proporcionar tracción y frenado.

2. Cinturón (Estabilizador)

Las capas del cinturón (estabilizador), especialmente de acero, proporcionan resistencia a al neumático, estabiliza la banda de rodamiento y protege a ésta de picaduras.

3. Capa radial

La capa radial, junto con los cinturones, contienen la presión de aire. Dicha capa transmite todas las fuerzas originadas por la carga, el frenado, el cambio de dirección entre la rueda y la banda de rodamiento.

4. Costado (Pared)

El hule del costado (pared) está especialmente compuesto para resistir la flexión y la intemperie proporcionando al mismo tiempo protección a la capa radial.

5. Sellante

Una o dos capas de hule especial (en neumáticos sin cámara) preparado para resistir la difusión del aire. El sellante en estos neumáticos reemplaza la función de las cámaras.

6. Relleno

Piezas también de hule con características seleccionadas, se usan para llenar el área de la ceja (talón) y la parte inferior del costado (pared) para proporcionar una transición suave del área rígida de la ceja, al área flexible del costado.

7. Refuerzo de la ceja (talón)

Es otra capa colocada sobre el exterior del amarre de la capa radial, en el área de la ceja, que refuerza y estabiliza la zona de transición de la ceja al costado.

8. Ribete

Elemento usado como referencia para el asentamiento adecuado del área de la ceja sobre el rim.

9. Talón

Es un cuerpo de alambres de acero de alta resistencia utilizado para formar una unidad de gran robustez. El talón es el ancla de cimentación de la carcasa, que mantiene el diámetro requerido de la llanta en el rim.

Composición de una Llanta

La estructura del neumático está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero y/o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de tracción, frenado y adherencia.

Proceso de Trituración de Llantas Usadas para su Reciclaje

Este proceso se realiza con máquinas trituradoras para separar el caucho de los otros componentes de la llanta como acero y textiles reduciéndola en partículas manipulables para la elaboración de nuevos productos. Actualmente existen dos métodos de trituración que son: trituración mecánica y trituración criogénica.

Trituración Mecánica

Este proceso es puramente mecánico, no existen agentes químicos ni adición de calor. Consta de pasar el neumático inicial por una serie de triturados sucesivos hasta conseguir reducir su volumen a un tamaño de salida muy pequeño, el cual dependerá del uso posterior que se le vaya a dar al producto.

Trituración Criogénica

Este método necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. La baja calidad de los productos obtenidos y la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre sí y de los materiales textiles que forman el neumático provoca que este sistema sea poco recomendable.

Propiedades de los Neumáticos

(Santos & Lobato Campos, 2020) Tienen factores importantes como son:

1. Amortiguación

Es la capacidad de adaptarse a las irregularidades del terreno, y de absorber elásticamente los choques producidos por obstáculos pequeños. Esta capacidad depende de la elasticidad del material de la banda de rodadura, de la presión de inflado y la flexibilidad de los flancos de la cubierta.

2. Flexibilidad

Debido a su propia constitución, los neumáticos se deforman con la aplicación de fuerzas exteriores; se denomina flexibilidad a la facilidad con que se produce la deformación y su capacidad de recuperación. Según la dirección de las fuerzas exteriores la flexibilidad puede ser: vertical, transversal y longitudinal.

3. Flexibilidad vertical

Esta propiedad permite el aplastamiento del neumático por efecto del peso del vehículo, esta depende de la rigidez de los flancos de la cubierta y de la presión de inflado. o Flexibilidad transversal Mediante la flexibilidad transversal los neumáticos se forman con los esfuerzos laterales, como son; la fuerza centrífuga, los vientos laterales.

4. Flexibilidad transversal

Mediante la flexibilidad transversal los neumáticos se forman con los esfuerzos laterales, como son; la fuerza centrífuga, los vientos laterales.

5. Flexibilidad longitudinal

Esta se pone de manifiesto en la aceleración y en el frenado, en ambos casos el eje de la rueda, se avanza en la dirección de la marcha respecto al neumático y produce la deformación del mismo, amortiguando el esfuerzo y evitando el deslizamiento.

6. Capacidad de carga

Es el peso máximo que puede soportar un neumático, depende de sus características constructivas, de la presión de inflado, de la velocidad del vehículo y de la clase de terreno por el que circula. La capacidad de carga viene determinada por el fabricante para la presión de inflado recomendado. Esta propiedad viene escrita en la parte lateral del neumático junto con las especificaciones del mismo.

7. Adherencia

Es el agarre del neumático al suelo; este no depende únicamente de las fuerzas de rozamiento en la que solo intervienen la carga aplicada y el coeficiente de rozamiento. Cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento, mayor será la cantidad de asperezas que deformen el neumático por lo tanto mayor será el agarre.

Afectaciones causadas por los Neumáticos Desechados

(Santos & Lobato Campos, 2020) Cada año millones de neumáticos son desechados en todo el mundo, el principal inconveniente con los neumáticos usados es su disposición final, dado que la mayoría de ellos terminan en sitios eriazos o en vertederos clandestinos. El almacenamiento ocupa un espacio considerable, aparte del peligro por la posibilidad de incendios y además por ser un terreno ideal para la proliferación de roedores e insectos que a menudo son transmisores de enfermedades. La quema directa provoca graves problemas ambientales ya que produce emisión de gases que contienen partículas nocivas para el entorno. En los vertederos, imposibilitan la compactación y ocasionan problemas de estabilidad por degradación química parcial que sufren, generando inseguridad en los mismos.

Se ha estimado que un 80% de los neumáticos desechados proceden de automóviles o camionetas, un 20% de los vehículos pesados, y alrededor del 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción y vehículos especiales.

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados constituye uno de los problemas medioambientales, más graves en los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar el neumático de un camión).

2.1.3.5 AZUFRE

Definición

Fuente especificada no válida. El azufre es un elemento químico, clasificado dentro del grupo de los no metales, que se encuentra de manera abundante en la naturaleza. Tiene un característico olor a huevo podrido, se presenta en color amarillo limón fuerte, amarronado o anaranjado.

Obtención

La obtención de azufre se lleva adelante principalmente mediante el Proceso de Frasch, un método para extraer el elemento de las profundidades de la tierra, fundiendo el azufre contenido en yacimientos subterráneos (es un sistema similar al de las exploraciones petrolíferas).

También se obtiene azufre a partir de la separación del gas natural que contiene sulfuro de hidrógeno (H₂S), a través del proceso de oxidación. Se extrae, además, a partir del petróleo, de la fundición de rocas que lo contienen, y de la recolección manual en depósitos de azufre puro combinado con cenizas volcánicas.

Mezclas asfálticas con aditivo de azufre

El azufre es utilizado en dos tipos de pavimentos asfálticos procesados y un número de productos importantes. El azufre mezclado en el asfalto utiliza una pequeña cantidad de azufre como un diluyente del asfalto.

La gran necesidad de pavimentos asfálticos con mejores características de explotación para los climas de América Latina hacen necesarias nuevas investigaciones en el campo del uso de azufre o de residuos azufrados en las mezclas asfálticas para pavimentos. El aumento de la producción de azufre en los últimos años obligo a muchas empresas químicas a buscar nuevos caminos para su uso industrial. Con la incorporación de este aditivo se mejora la trabajabilidad de los cubrimientos y otras características como los aspectos ecológicos de calentamiento de las mezclas. La cantidad de azufre que reaccionaria con el asfalto depende de la composición y de la temperatura del asfalto.

2.1.4 MEZCLAS ASFALTICAS

2.1.4.1 Definición

(ASFALCA) Una mezcla asfáltica en general es una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir carreteras. La combinación de tales proporciones es diseñada y específica según las necesidades del proyecto en el cual se colocará.

2.1.4.2 Mezclas modificadas

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito. Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos. Se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico.

Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones.

Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse dentro del asfalto. Así por ejemplo tenemos los cauchos, de comportamiento elastomérico. Algunos polímeros generan cadenas lineales, otros en bloque, pero en general la macrodispersión lograda consta de un sistema de dos fases en donde:

- El polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno.
- Absorben los aceites máltenos y se hinchan.

Se dispersan en forma molecular. El grado de dispersión depende de la temperatura de trabajo, del esfuerzo de corte ejercido, de la aromaticidad de los máltenos del asfalto base y de la cantidad de asfáltenos presentes.

Los asfaltos modificados quedan así constituidos por dos fases diferenciables:

- 1) Polímero Ligante
- 2) Asfáltico.

Cuando hay bajas concentraciones de polímeros existe una matriz continua de ligante asfáltico en la que se encuentra disperso el polímero, a altas concentraciones de ligante asfáltico se invierten las fases. Esta estructura da origen al cambio de comportamiento de los asfaltos modificados.

2.1.4.3 Mezclas Asfálticas en Caliente

(Ramirez Palma, 2006) La mezcla asfáltica la constituye un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla.

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 áridos se mezclen homogéneamente con el asfalto, ambos componentes se llevan a temperaturas altas, sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. El proceso de mezclado se realiza en una Planta Asfáltica, y luego se transporta la mezcla al sitio de pavimentación y se coloca por medio de una pavimentadora o finisher, 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. A través de este proceso, se obtiene una superficie suave y bien consolidada.

2.1.4.4 Características y comportamiento de la mezcla

(Granados Noa, 2017) Una muestra de mezcla de asfáltica preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento.

La razón primordial de evaluar la mezcla es dar una garantía factible que la mezcla de pavimentación en campo tenga las características y propiedades requeridas. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla, las cuatro características son:

1. Densidad de la mezcla
2. Vacíos de aire, o simplemente vacíos
3. Vacíos en el agregado mineral (VMA)
4. Contenido de asfalto
5. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

a) Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m³). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada.

b) Vacíos de aire (o simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. 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. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

c) Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el

VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto; de igual manera, hay un valor mínimo de VMA que dependerá del tamaño máximo de la mezcla. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más grueso sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

d) Contenido de asfalto

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

2.1.4.5 Propiedades de la Mezcla Asfáltica

(Benites Cruz, 2020) Las Mesclas Asfálticas deben cumplir las siguientes propiedades, para que de esta manera pueda garantizar la duración de los pavimentos y soportar las cargas repetidas por el tránsito de vehículos.

- **Durabilidad:** Resistentes al lavado por el agua, a la fisura térmica y resistencia al envejecimiento.
- **Trabajabilidad:** Resistencia a la segregación de los agregados finos y gruesos.
- **Estabilidad:** Capacidad para soportar sin deformar las cargas actuantes.
- **Flexibilidad:** Capacidad para adaptarse a los movimientos sin agrietarse.
- **Resistencia a la fatiga:** Capacidad para resistir los esfuerzos repetidos.
Resistencia al deslizamiento: Capacidad para ofrecer resistencia al patinaje de llantas.
- **Resistencia al daño por humedad:** El daño por humedad es un problema generalizado en pavimentos asfálticos que conlleva a la ocurrencia de fallas prematuras. Este tipo de daño puede ocurrir debido a una pérdida de adherencia entre el ligante asfáltico y el agregado.

2.1.4.6 Características de Mezclas Asfálticas mediante la incorporación de Caucho de neumáticos desechados.

(Ramirez Palma, 2006) Como se ha visto, existen distintas tecnologías de incorporación de caucho de neumáticos en la mezcla asfáltica, pero existen ciertas ventajas que son comunes para ambos casos. Entre estas ventajas, se encuentra la mejora en la resistencia a las deformaciones plásticas.

Uno de los polímeros utilizados para modificar el ligante y las mezclas asfálticas es el caucho. Este puede ser especialmente fabricado o provenir de la recuperación de piezas en desuso, como es el caso de los neumáticos.

En términos generales, puede decirse que cuanto más caucho se incorpora, es mayor el contenido de ligante en la mezcla asfáltica y mayor es la resistencia a la fatiga y a la reflexión de grietas.

Según literatura, el uso de partículas gruesas de caucho como un agregado en la mezcla asfáltica puede mejorar el desempeño de la misma. Las partículas de caucho que quedan expuestas en las superficies del pavimento tienen una función importante al impedir 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.

2.1.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS: MÉTODO MARSHALL

(Reyson Amadeo, 2020) La metodología Marshall para mezclas asfálticas en caliente, usada en pavimentaciones, es aplicable en agregados que contenga un tamaño máximo nominal de 25 mm (1”) o menor. Para la compactación el método utiliza especímenes de prueba de 64 mm (2 ½”) y 102 mm (4”) de diámetro. La preparación consiste en mezclar, calentar y compactar estos materiales con un ligante asfáltico clasificado por viscosidad y penetración. Este método se puede aplicar dentro del diseño en laboratorio, como también en el control de campo. Los principales aspectos de este método son: la densidad (análisis de vacíos) y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

2.1.5.1 Definición de la Granulometría de este trabajo

Elegir correctamente la granulometría juega un papel importante al momento de realizar un diseño de mezcla, según sea la estructura a realizarse (subbase, base o carpeta asfáltica). Se emplea una gradación granulométrica para que exista espacio suficiente entre las partículas para su acomodamiento y tengan a su vez un mejor comportamiento y resistencia a esfuerzos de compresión y flexión.

La curva granulométrica para el método Marshall, es una curva semi logarítmica y representa en el eje vertical el porcentaje de material que pasa por los tamices y en el eje horizontal la abertura en milímetros de los tamices, este eje se trabaja logarítmicamente. Se utiliza la normativa ASTM D- 3515, la cual establece las tolerancias a considerarse para trabajar y clasificar los agregados.

Las mezclas asfálticas clasifican al agregado según su tamaño nominal y su tamaño máximo nominal, de acuerdo el libro *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction* por la *NAPA Research And Education Foundation* especifica que la mayor parte de las mezclas asfálticas requieren gradaciones densas para los agregados. En las siguientes tablas, Tabla II-1 y Tabla II-2 obtenidas mediante la normativa ASTM D -3515 se puede observar cuales son los rangos en los que se debe encontrar nuestros agregados a utilizarse.

TABLA II- 1: TOLERANCIAS (TABLA NO. 3 ASTM D 3515)

TAMIZ	TOLERANCIAS %
12.5 mm (1/2 in) y mayores	± 8
9.5 mm (3/8 in) y 4.75 mm (No.4)	± 7
2.36 mm (No.8) y 1.18 mm (No.16)	± 6
600 µm (No.30) y 300 µm (No.50)	± 5
75 µm (No.200)	± 3
Asfalto (% total del peso de mezcla)	± 0.5

TABLA II-2: ESPECIFICACIONES PARA GRADACIONES DENSAS, MEZCLAS CERRADAS ASTM D- 3515

Abertura de malla	DESIGNACIÓN DE LA MEZCLA Y TAMAÑO NOMINAL DEL AGREGADO								
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9
	2 in (50mm)	1 1/2 in (37.5mm)	1 in (25mm)	3/4 in (19mm)	1/2 in (12.5mm)	3/8 in (9.5mm)	No.4 (4/75mm)	No.8 (2.36mm)	No.16 (1.18mm)
	CLASIFICACIÓN DEL AGREGADO TOTAL								
2 1/2 in (63 mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in (50 mm)	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 1/2 in (37.5 mm)	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...
1 in (25 mm)	60 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...
3/4 in (19 mm)	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...
1/2 in (12.5 mm)	35 - 65	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...
3/8 in (9.5 mm)	...	...	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...
No.4 (4.75 mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	...	100
No. 8 (2.36 mm)	oct-36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	...	95 - 100
No.16 (1.18 mm)	...	...	...	...	...	...	40 - 80	...	85 - 100
No. 30 (600 µm)	...	...	...	...	...	...	25 - 65	...	70 - 95
No. 50 (300 µm)	3 -- 19	4 -- 16	5 -- 17	5 -- 19	5 -- 21	7 -- 23	7 -- 40	...	45 - 75
No. 100 (150 µm)	...	...	...	...	...	...	3 -- 20	...	20 - 40
No. 200 (75 µm)	0 - 5	0 - 6	1 -- 17	2 -- 8	2 -- 10	2 -- 10	2 -- 10	...	9 -- 20
	Asfalto, Peso En Porcentaje De La Mezcla Total								
		3 -- 8	3 -- 9	4 -- 10	4 -- 11	5 -- 12	6 -- 12	7 -- 12	8 -- 12

Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. NAPA,1996.

2.1.5.2 Estabilidad Marshall

Son aquellos parámetros de carga, bajo la aplicación constante de presión donde una briqueta compactada cede o falla totalmente. El ensayo consiste en la aplicación de carga donde dos cabezales, inferior y superior, se acercan lentamente sobre la briqueta hasta obtener la lectura del indicador donde la briqueta falla. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall. Este valor puede ser un indicador de durabilidad de una mezcla asfáltica en caliente; el valor mínimo de Estabilidad en la mezcla deberá ser 2400 en unidades de libras.

2.1.5.3 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

➤ Gravedad específica máxima teórica

Esta se calcula utilizando la mezcla no compactada para calcular la densidad sin vacíos de está, usando una máquina de vacíos Rice la cual extrae el aire de la muestra con una presión de 30 mm de Hg durante 15 min y a la vez rellenando esos vacíos con agua, este procedimiento se realiza para determinar el volumen de sólidos de la muestra y posterior la densidad máxima de la mezcla, este proceso se describe en la norma ASTM D2041.

Para determinar la densidad específica máxima teórica se utiliza la siguiente ecuación:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{CA}{G_b}}$$

*Ecuación II-12: Densidad Específica
Máxima Teórica*

Donde:

Gmm= Gravedad Especifica Máxima Teórica

Pmm= Porcentaje del peso de la mezcla total suelta= 100

Gse= Gravedad especifica efectiva del agregado.

Gb= Gravedad especifica del asfalto

CA= Contenido de asfalto con respecto a la masa

Ps= Contenido del agregado, % total de la masa de mezcla

➤ **Densidad Bulk**

A diferencia de la densidad máxima teórica esta se calcula con la muestra ya compactada vinculando el peso de la pastilla seca, el peso sumergido el cual se obtiene sumergiendo la muestra en una balanza hidrostática y el peso saturado superficialmente seco, con dichos valores determina el volumen y el peso específico Bulk de la mezcla, el proceso de realización de este ensayo se detalla en la norma ASTM D1188.

$$Gb = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Ecuación II- 13: Densidad Bulk

Donde:

Gb= Densidad Bulk

Wa= Peso de la briqueta seca en el aire

Ww= Peso de la briqueta en el agua

Wss= Peso en el aire de la briqueta saturada y superficialmente seca

Para la evaluación de las características volumétricas de la mezcla asfáltica, se emplean diferentes parámetros como son el volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM), los vacíos llenos de asfaltos (VFA) y el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica compactada (V_a).

➤ **Porcentaje de vacíos**

La diferencia entre la densidad máxima teórica y la densidad Bulk permite calcular el valor de los vacíos de la mezcla los cuales deberían de estar entre 3% y 5%. Los vacíos son pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto.

Para determinar el porcentaje de vacíos empleamos la siguiente ecuación:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad \text{Ecuación II-14: Porcentaje de vacíos}$$

Donde:

V_a = vacíos de la mezcla compactada

G_{mm} = Gravedad Especifica Máxima Teórica

G_{mb} = Gravedad especifica neta de la mezcla compactada

➤ **Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)**

El VMA corresponde al volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

$$VMA = 100 - \frac{G_{ab} \times P_s}{G_{mb}} \quad \text{Ecuación II-15: Vacíos en el agregado mineral, \% del volumen aparente}$$

Donde:

VMA= Vacíos en el agregado mineral, (% del volumen aparente)

Gmb=Gravedad específica bruta de la combinación de agregados

Ps= Contenido del agregado, % total de la masa de mezcla

Gab= Gravedad específica bruta de la mezcla asfáltica compactada

➤ **Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto de la mezcla compactada (VFA)**

Los volúmenes llenos de asfalto representan la porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo.

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

*Ecuación II-16: Vacíos rellenos de asfalto,
porcentaje del VAM*

Donde:

VFA= Vacíos rellenos de asfalto, porcentaje del VAM

VAM= Porcentaje de vacíos en el agregado mineral

Va= Vacíos en la mezcla compactada, % del volumen total

2.1.6 PAVIMENTO

(Reyson Amadeo, 2020) Se define a un pavimento como el conjunto de capas superpuestas entre sí, diseñadas y construidas técnicamente con materiales adecuados. Estos elementos que conforman la estructura se apoyan sobre la sub rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierra en el proceso de exploración, para finalmente resistir aquellos esfuerzos de cargas repetidas del tránsito durante su ciclo de vida para el cual fue diseñado.

2.1.6.1 Tipos de Pavimentos

(Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), 2016) A continuación, se describen los siguientes tipos de pavimentos:

a) Pavimentos Flexibles y Mixtos

Constituidos por una o más capas asfálticas (carpetas o tratamientos superficiales) apoyadas sobre capas de base y subbase conformadas por materiales granulares, materiales corregidos o estabilizados con diversos agentes (cemento, cal, material bituminoso, etc.), en el caso de pavimentos flexibles, o sobre losas de hormigón, tratándose de pavimentos mixtos.

b) Pavimentos Rígidos

Constituidos por losas de hormigón apoyadas sobre una subbase de material granular natural, corregido o estabilizado, o directamente sobre la subrasante.

2.1.6.2 Fallas típicas que ocurren en los pavimentos

1. Ahuellamiento

Depresión longitudinal continúa a lo largo de las huellas de canalización del tránsito. Se entiende por Ahuellamiento cuando la longitud afectada es mayor es mayor de 6m. Las repeticiones de las cargas conducen a una acumulación de las deformaciones permanentes en cualquiera de las capas del pavimento o su fundación. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, las deformaciones ocurren en las capas superiores y suelen ser acompañadas de un deslizamiento y levantamiento lateral de la

superficie del pavimento; cuando el radio de influencia es amplio, las deformaciones ocurren en las capas inferiores o en la fundación.

Posibles Causas

Las repeticiones de las cargas del tránsito originan Ahuellamiento como consecuencia de alguno de los factores siguientes:

- Insuficiente estabilidad de las mezclas asfálticas por inadecuada compactación o deficiente dosificación.
- Insuficiente estabilidad de las capas del pavimento o de la subrasante (falla por corte, compresión o desplazamiento lateral material) ya sea por ingreso de agua o deficiente calidad.
- Espesores de pavimento insuficientes (infra diseño estructural) para las repeticiones de carga soportadas.
- Exagerado incremento en las cargas del tránsito.

2. Hundimiento

Depresión o descenso de la superficie original del pavimento en un área localizada del mismo. Pueden ocurrir en los bordes o internamente en la calzada. En muchos casos las depresiones son difíciles de detectar, sino es durante luego de una lluvia, por la acumulación de agua o vestigios de humedad. En otros da lugar a distorsiones apreciables, de gran longitud de onda o, por el contrario, abrupto y localizado.

Posibles Causas

Las siguientes causas originan diversas formas de hundimiento:

- Asentamiento o consolidación de estratos comprensibles de la fundación (de gran longitud de onda).
- Deficientes prácticas de construcción (deficiente nivelación o heterogeneidades constructivas de bases y subbases).
- Pérdida de estabilidad por incremento de humedad en capas de pavimento o fundación.
- Falta de confinamiento lateral de los paseos (hundimiento de borde).

3. Corrugación

Movimiento plástico caracterizado por la ondulación de la superficie del pavimento, formando crestas y valles que se suceden próximas unas de otras perpendicularmente a la dirección del tráfico. La separación entre crestas es menor de 3m, encontrándose por lo general en un rango de 0.60 a 0.90m.

Posibles Causas

Son ocasionadas por la acción de las cargas del tránsito, cuando se dan algunas de las situaciones siguientes:

- Capas superficiales (carpeta asfáltica o base del pavimento) muy deformables (baja estabilidad) pero bien adheridas a la capa de apoyo subyacente, principalmente en zonas de aceleración, frenado o rampas fuertes, donde las fuerzas horizontales provocados por los vehículos sobre el pavimento, generan mayores esfuerzos tangenciales.
- Altas temperaturas de servicio (reducen estabilidad de las mezclas)
- Defectos constructivos: Contaminación de las mezclas asfálticas, sobredosificación del ligante, falta de aireación de mezclas con asfaltos líquidos.
- Excesos de humedad en subrasante o capas granulares (asentamientos diferenciales).

4. Hinchamiento

Abultamiento o acenso vertical de la superficie del pavimento, puede ocurrir en forma de onda abrupta y pronunciada sobre una pequeña área, o por el contrario en forma de una onda gradual, de más de 3 m de longitud, que distorsiona el perfil de la vía. En ambos casos puede ser acompañado de agrietamientos.

Posibles Causas

En razón de las condiciones climáticas del país (ausencia de fenómenos de congelamiento) el origen de estos daños se reduce exclusivamente a proceso de expansión, como consecuencia de:

- Cambios volumétricos en fundaciones arcillosas altamente expansivas
- Deficiente tratamiento de suelos arcilloso, potencialmente expansivos, durante la construcción y compactación de terraplenes y fundaciones
- Contaminación de los materiales que conforman las capas del pavimento y/o la fundación con materia orgánica.

5. Agrietamiento Longitudinal

Fracturamiento que se extiende a través de la superficie del pavimento paralelamente al eje de la calzada. Pueden localizarse en las huellas de canalización del tránsito, próximos a los bordes en el eje o en correspondencia con los anchos de distribución de las mezclas asfálticas; con frecuencia su ubicación es indicativa de la causa o mecanismo más probable que la original, y por ende debe ser tenida en cuenta durante la evaluación. En sus instancias iniciales suele presentarse como una fisura simple, pero a medida que avanza el deterioro del pavimento, desarrolla ramificaciones laterales y fisura paralelas.

Posibles Causas

Son diversas las causas que pueden desarrollar fisuras o agrietamientos longitudinales:

- Fatiga de la mezcla asfáltica sometida a repeticiones de carga que provocan deflexiones recuperables importantes (pavimento débil): ocurren en las huellas de canalización del tránsito.
- Acción del tránsito sobre el área del pavimento próxima al borde, donde se encuentra debilitado por efecto de deficiente confinamiento lateral (falta de paseo), constructivos (falta sobreebancho base) o ingreso de agua lateral (deficiente drenaje): ocurren típicamente entre 0.30 y 0.60 m del borde de la calzada.
- Deficiente proceso constructivo de las juntas longitudinales durante la colocación de la mezcla asfáltica: ocurren típicamente en el eje de la vía y/o en coincidencia con los carriles de distribución.
- Reflexión de fisura localizadas en una capa subyacente (recapados delgados sobre pavimentos antiguos muy agrietados, eventualmente grietas por retracción de bases estabilizadas) o de juntas originadas en la construcción de ensanches

(particularmente cuando es diferente la rigidez entre materiales del antiguo y nuevo pavimento).

- Contracción de mezcla asfáltica por excesivo endurecimiento (oxidación) del bitumen.

6. Agrietamiento Transversal

Fracturamiento rectilíneo que se extiende a través de la superficie del pavimento perpendicularmente al eje de la calzada. Puede afectar todo el carril o ancho de calzada como limitarse a los 0.60m próximos al borde. A veces las fisuras transversales se distribuyen a intervalos más o menos regulares, con espaciamiento variables entre 5 y 20m. Al igual que las fisuras longitudinales puede desarrollar ramificaciones y fisuras paralelas.

Posibles Causas

Las siguientes causas pueden dar origen a fisuras transversales:

- Insuficiente espesor del pavimento frente a las cargas del tránsito (infradiseño estructural).
- Falta de sobreebanco y/o contaminación de las capas inferiores en la proximidad de los bordes del pavimento, o deficiente contención lateral (fisuras de bordes).
- Retracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, envejecimiento (oxidación) del asfalto, etc., particularmente ante gradientes térmicos frecuentes.
- Reflexión de grietas que acompañan movimientos de las bases, particularmente la retracción de bases estabilizadas con ligante hidráulico (cemento) y grietas en losa de hormigón.
- Apertura de juntas de construcción defectuosamente ejecutadas.
- Contracción por desecación de los terraplenes o asentamiento de esto y/o su fundación.

7. Fisuras o Agrietamiento en Bloques

Fisuras y grietas interconectadas que dividen la superficie del pavimento en polígonos aproximadamente rectangulares. El tamaño de los bloques varía en un rango de alrededor de 0.9m² hasta un máximo de 9m². Cuando los bloques resultan de mayor tamaño son identificados generalmente como fisuras longitudinales y transversales. Siendo este un fenómeno no asociado a las cargas de tránsito (el tránsito sin embargo puede incrementar su severidad) se desarrollan en cualquier parte del pavimento, normalmente cubriendo una amplia área; a veces ocurren sólo unas áreas no traficadas.

Las fisuras en bloques se diferencian de las fisuras tipo piel de cocodrilo en cuanto a que en estas los polígonos son más pequeños, irregulares y de ángulo agudo, y que, tratándose de un fenómeno asociado a las repeticiones de cargas, las fisuras piel de cocodrilo se localizan en: las áreas más traficadas (huellas de canalización del tránsito).

Posibles Causas

Las siguientes pueden dar origen a fisuras en bloques:

- Excesiva contracción de la mezcla asfáltica inducida por cambios de temperatura y/o humedad en la misma.
- Excesivo endurecimiento del bitumen por deficiencia durante el manipuleo y elaboración de la mezcla asfáltica, o bien por una prolongada exposición y oxidación durante el periodo de servicio.
- Mezcla asfáltica muy rígida, como consecuencia de un exceso de filler en la misma.
- Reflexión de grietas originadas en una capa subyacente debido a la retracción de bases estabilizadas hidráulicamente, fisuras múltiples en losas de hormigón, o eventualmente recapados delgados sobre pavimentos antiguos muy agrietados.
- Debilitamiento brusco de las capas inferiores, (generalmente por saturación de los materiales).

8. Piel de Cocodrilo

Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. La piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Posibles Causas

Los factores siguientes conducen al desarrollo de fisuras piel de cocodrilo:

- Insuficiencia de los espesores y resistencia del pavimento frente a las repeticiones de carga (infradiseño estructural)
- Pavimentos altamente deformables o resilientes (deflexiones recuperables importantes bajos radios de curvatura).
- Significativamente reducción de la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas como consecuencia de deficiente la calidad de los materiales, deficiencias en el proceso de elaboración y puesta en obra, degradación de mezclas susceptibles a la acción del agua por efecto de un drenaje superficial inadecuado.

9. Manchas en pavimentos (exudación)

La exudación, es la presencia de una película de material bituminoso en la superficie del pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa. La superficie adquiere en consecuencia un aspecto brillante, tornándose reflectante, resbaladiza y pegajosa en tiempo caluroso.

La exudación ocurre cuando el asfalto llena los vacíos de la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y entonces se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumulará en la superficie.

Posibles Causas

Las siguientes causas pueden dar origen a exudación de asfalto:

- Exceso de asfalto en la mezcla o tratamiento.
- Insuficiencia de contenido de vacío (el asfalto colma los vacíos de la mezcla).
- Excesiva dotación de asfalto en el riego de la liga.
- Bitumen muy blando para condiciones de servicio desfavorables (tránsito pesado intenso, altas temperaturas en el pavimento).
- Sobre compactación de la mezcla o tratamientos asfáltico o dosificación para condiciones de tránsito menores que las reales.

10. Daño por humedad

El daño por humedad está muy relacionado con el enlace por cohesión, que involucra la fuerza de cohesión del asfalto y con el enlace por adhesión, que más bien tiene que ver con la fuerza de interacción entre el agregado y el asfalto.

Los daños por humedad son:

- Separaciones.
- Desplazamiento.
- Socavación hidráulica.

La separación se distingue del desplazamiento en que el agua penetra a la superficie del agregado a causa de una discontinuidad en la película de asfalto que recubre el agregado, la cual puede ser el resultado de un recubrimiento inadecuado o de una ruptura en la película asfáltica.

La socavación hidráulica ocurre únicamente en la superficie del pavimento y es el resultado de los efectos de las llantas de los vehículos en pavimentos mojados, sobre los cuales generan altas presiones delante de la llanta y succión detrás de la misma.

11. Superficie por Descascaramiento

Rotura de la superficie de la losa por desprendimiento de pequeños o grandes trozos del hormigón que la constituye. Son provocadas por la acción del tránsito y del clima sobre una superficie del pavimento con perceptibles defectos originados en una técnica y control de calidad muy pobres durante la construcción del pavimento.

Posibles Causas

Situación que tiene lugar por efecto de una de las causas siguientes:

- Superficie muy débil por defecto de la exudación de mortero y agua durante las operaciones de terminado (sobre terminado).
- Derrames de productos químicos que ataquen al hormigón (sales, ácidos).
- Armaduras excesivamente próximas a la superficie.
- Desagregación de los ángulos y puntos de intersección de redes o mallas de fisuras capilares.
- Acción del fuego provocado por combustibles derramados.

2.2 DATOS

Los datos obtenidos del procedimiento del diseño de la mezcla asfáltica fueron recopilados en el laboratorio Los datos recopilados serán incluidos tal como se muestre en el trabajo de campo, se contará con el apoyo de personas que trabajan en las diferentes áreas del proyecto en estudio. Una vez realizado la recolección de datos, se llevará al proceso de cálculos de cada resultado.

Los materiales para la mezcla provienen de la planta de asfalto Asfaltos Industriales S.A (ASFISA) ubicada en Sabana grande. Está planta trabaja con el agregado de PROINCO, el polímero Caucho y Neumático será proporcionado por la empresa. La investigación abarca desde la caracterización de los materiales, el diseño y estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mejoradas con polímero Toda la investigación se realizó en los laboratorios de Asfaltos Industriales S.A y los laboratorios del Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés.

2.3 MÉTODO

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

2.3.1 PROPÓSITO DE LA METODOLOGÍA

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla. El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

2.4 HIPOTESIS

El ligante asfáltico combinado con los porcentajes adecuados de materiales reciclados (caucho y neumático) y agregados pétreos permiten el mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas.

2.4.1 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.4.1.1 Variable Independiente

El ligante asfáltico combinado con los porcentajes adecuados de materiales reciclados (caucho y neumático) y agregados pétreos.

2.4.1.2 Variable Dependiente

Mezclas asfálticas

CAPITULO III



METODOLOGIA APLICADA

CAPITULO III

III. METODOLOGÍA APLICADA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Diseño:

El diseño de una investigación es el plan que el investigador debe tener para poder alcanzar describir o resolver los objetivos formuladas en la investigación, responder las interrogantes y analizar las respuestas a base de las hipótesis formuladas; la presente investigación se caracteriza por ser una **INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA** puesto que se plantea una mezcla asfáltica utilizando partículas de neumático y caucho.

Tipo de Investigación:

El tipo de estudio del presente trabajo es índole **INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**, lo cual se define como un conjunto organizado de conocimientos, con el propósito de conocer la verdad de los hechos. Cuyo método está basado a la observación, para que el científico proponga una supuesta explicación a esos hechos y a base de hipótesis plantean experimentos, que pueden ser afirmativos o negativos.

La investigación utilizará métodos o enfoques cuantitativos porque los indicadores y preguntas directrices se recopilan utilizando datos obtenidos del laboratorio y se miden y responden mediante el análisis de datos.

3.1.1.1 Área de estudio

El presente trabajo se ha realizado en el Municipio de Managua, visitando los laboratorios de mezclas asfálticas ubicados en la empresa de Asfaltos Industriales (ASFISA INDUSTRIALES S, A), contando con el apoyo de laboratoristas expertos en la materia.

3.1.1.2 Universo y Muestra

Para la elección del porcentaje óptimo de polímeros se experimentó con cierto número de muestras para llegar a la dosificación del polímero, en la siguiente Tabla No. 3 se muestra la cantidad de pruebas realizadas y sus respectivos porcentajes.

Tabla III-3: Dosificación de los porcentajes de polímeros.

Dosificación Caucho	No. Pruebas
3%	2
6%	1
3% con 2.5% Azufre	2
3% con 0.5% RV19-UNKER	1
Dosificación Neumático	No. Pruebas
1.15%	2
1.50%	1
2%	2
1.15% con 2.5% Azufre	1
TOTAL:	12

Para realizar la mezcla asfáltica con los respectivos polímeros, se utilizó un total de 30 muestras, esta cantidad surge de la necesidad de experimentar con cinco porcentajes de asfalto, para cada porcentaje se ocupan 3 briquetas como mínimo según la normativa.

Tabla III-4: Dosificación de la Mezcla Asfáltica.

Dosificación AC-30	No. Pruebas
4.8%	3
5.3%	3
5.80%	3
6.3%	3
6.8%	3
Dosificación Neumático	No. Pruebas
4.8%	3
5.3%	3
5.80%	3
6.3%	3
6.8%	3
Dosificación Caucho-Azufre	No. Pruebas
4.8%	3
5.3%	3
5.80%	3
6.3%	3
6.8%	3
TOTAL:	45

3.2 METODO E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos se empleó la ejecución de diversos laboratorios realizados en la empresa ASFISA y en el RECINTO UNIVERSITARIO RICARDO MORALES AVILES (RURMA) para obtener los resultados correspondientes, a continuación, se mostrará mediante tablas la secuencia de los laboratorios y asimismo que instrumentos fueron utilizados para su realización.

EQUIPOS UTILIZADOS PARA ENSAYOS AL MATERIAL PÉTREO:

Tabla III-5: Equipos Utilizados ENSAYO GRANULOMETRICO DE AGREGADOS.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Serie de Tamices para agregado grueso de (1/2”,3/8”, No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, Tapa y Fondo). ✓ Serie de Tamices para agregado fino de (1”, 3/4”, 1/2”,3/8”, No 4, No 8, No 16, No 30, No 50, No 100, No 200, Tapa y Fondo). <ul style="list-style-type: none"> ✓ Charolas ✓ Cucharones ✓ Cepillo ✓ Estufa o Horno ✓ Balanza

Tabla III-6: Equipos utilizados ENSAYO DE PESOS UNITARIOS.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE PESOS UNITARIOS.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Balanza ✓ Molde con masa y volumen conocido <ul style="list-style-type: none"> ✓ Varilla de punta de bala ✓ Cucharones y charolas

Tabla III- 7: Equipos utilizados ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Balanza ✓ Cesta ✓ Termómetro digital (0 a 110 °C) ✓ Horno (110 °C ± 5 °C) ✓ Tanque con agua ✓ Tamiz No. 4 y No.8 ✓ Toallas Absorbentes ✓ Cucharones y Panas metálicas

Tabla III-8: Equipos utilizados ENSAYO GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Balanza ✓ Termómetro digital (0 a 110 °C) ✓ Horno (110 °C ± 5 °C) ✓ Cronometro ✓ Tamiz No.8 ✓ Cono Metálico (AASHTO T 84) ✓ Maso compactador (AASHTO T 84) ✓ Abanico (AASHTO T 84) ✓ Cucharones y Panas metálicas

🚧 EQUIPOS UTILIZADOS PARA ENSAYOS AL LIGANTE ASFÁLTICO:

Tabla III-9: Equipos utilizados ENSAYO DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE DUCTILIDAD.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Molde de Bronce ✓ Baño María ✓ Equipo Ductilometro

Tabla III-10: Equipos utilizados ENSAYO VISCOSIMETRO ROTACIONAL.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE VISCOSIMETRO ROTACIONAL.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipo Viscosímetro Rotacional ✓ Termómetro de resistencia de platino <ul style="list-style-type: none"> ✓ Balanza ✓ Controlador de temperatura ✓ Geometría del aparato de medición <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tubos de muestreo

Tabla III-11: Equipos utilizados ENSAYO ASFALTO ENVEJECIDO EN HORNO ROTATIVO DE PELÍCULA DELGADA (RFTO).

	Equipos Utilizados
ENSAYO ASFALTO ENVEJECIDO EN HORNO ROTATIVO DE PELÍCULA DELGADA (RFTO)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Horno (Cumpliendo la normativa ASTM E 145) <ul style="list-style-type: none"> ✓ Termómetro ✓ Balanza ✓ Recipientes

Tabla III-12: Equipos utilizados ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS (PAV)

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS (PAV)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muestra de asfalto envejecido en el RFTO. <ul style="list-style-type: none"> ✓ Horno a presión ✓ Bandejas metálicas ✓ Balanza semi- analítica

Tabla III-13: Equipos utilizados FLUENCIA Y RECUPERACIÓN DE MÚLTIPLES TENSIONES.

	Equipos Utilizados
ENSAYO DE FLUENCIA Y RECUPERACIÓN DE MÚLTIPLES TENSIONES.	<ul style="list-style-type: none">✓ Muestras de asfalto envejecido en el RFTO y PAV.<ul style="list-style-type: none">✓ Plato de 25mm.✓ Equipo reómetro de corte dinámico (DSR).

3.3 MÉTODO DE PROCESAMIENTO DE DATOS

El método a emplear para el procesamiento de datos fue a partir de los resultados de ensayos, los cuales se registraron en tablas, apuntes, informes entre otros. Todo esto con la finalidad de obtener los datos correspondientes del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.

La metodología empleada corresponde seguidamente de la ejecución del ensayo Marshall para la determinación de los parámetros de comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica con el cual se determina el porcentaje óptimo de asfalto; mediante ensayos de laboratorio al ligante asfáltico se obtuvo el porcentaje de caucho y neumático para el diseño. Con los diseños óptimos de ambas mezclas, se tomó la información y se registró los resultados para su posterior análisis.

Plan de Procesamiento de la Información

- ✓ Revisión y clasificación puntualizada de la información recolectada.
- ✓ Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis, manejo de la información.
- ✓ Representación gráfica de resultados.
- ✓ Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

3.4 PROCEDIMIENTO PARA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El proceso para recolección se datos se hizo a partir de una serie de actividades planificadas en campo y laboratorio, a continuación, se va enumerar el desarrollo de dichas actividades:

- ✚ Se definió cuales serían los materiales reciclados a incorporarse al ligante asfáltico AC-30, eligiéndose de esta manera dos materiales, caucho y neumático.
- ✚ Se consiguió muestras de ambos materiales reciclados, para de esta forma empezar a mezclar en cantidades específicas con el ligante asfáltico AC-30.
- ✚ Se determinaron los porcentajes a usar, mediante una serie de pruebas de laboratorio al ligante asfáltico, para de esta forma elegir con cual porcentaje de material reciclado se obtenían mejores resultados.
- ✚ Una vez obteniendo los resultados del ligante asfáltico en combinación al material reciclado, se procede a ensayar a los agregados.
- ✚ Conociendo las propiedades de los agregados, se empieza a realizar combinaciones del agregado fino y grueso para mezclarse con el ligante asfáltico+ material reciclado.
- ✚ Mediante una serie de combinaciones de mezcla, se procede a ensayar la mezcla asfáltica modificada con los porcentajes de asfalto correspondientes para determinar cuál diseño da mejores resultados según los ensayos a realizarse.

CAPITULO IV



RESULTADOS

CAPITULO IV

IV. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS

Cuando nos referimos a agregados, es vital aclarar cómo se clasifican: En *agregados gruesos* y *agregados finos*; el agregado grueso es todo aquel material que pasa por el tamiz 1/2” hasta el tamiz # 200 y el agregado fino es el material que pasa por el tamiz # 8 hasta el # 200, siendo el tamiz # 200 donde se encuentra el material filler. El agregado utilizado en este presente trabajo proviene de la empresa “Productos Industriales de Concreto (PROINCO)” ubicada en el sector de Veracruz, carretera a Masaya. De acuerdo, a las normativas AASHTO y ASTM se realizaron los siguientes ensayos al agregado:

4.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS.

Análisis Granulométrico Del Agregado Grueso (1/2”)

El ensayo de granulometría normado por la ASTM E 11, es de gran importancia para el diseño de una mezcla asfáltica debido a que los agregados tienen relevante influencia en el comportamiento de una mezcla.

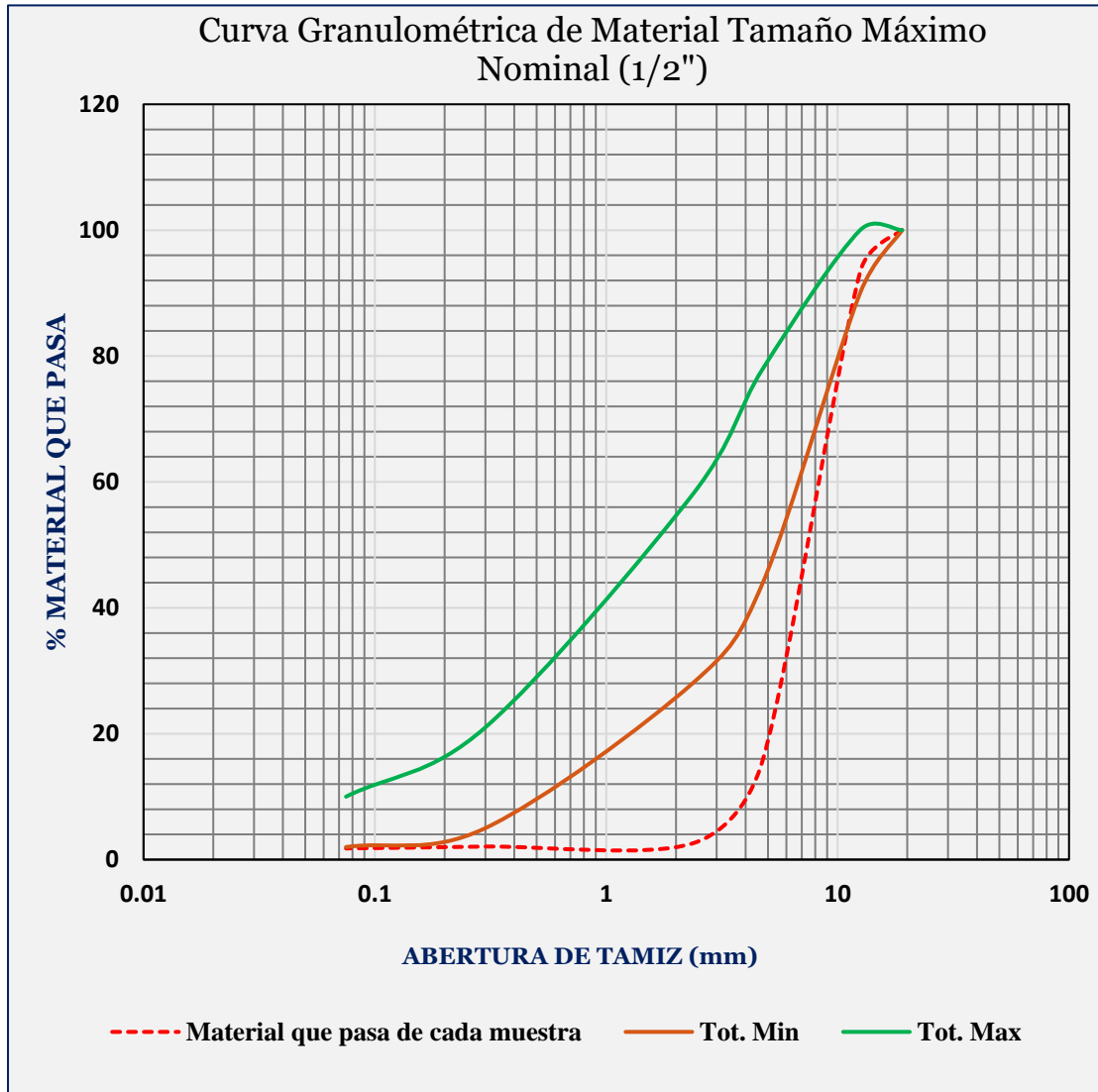
Por lo dicho anteriormente en la Tabla IV-14, se observa el análisis granulométrico para el agregado grueso (1/2”) y en el Gráfico IV-1 se evidencia la distribución granulométrica para dicho agregado el cual se representa por una línea segmentada, en la que se puede ver que la distribución de los porcentajes que pasan en cada malla está contenida dentro del límite inferior según las tolerancias de diseño (ASTM D 3515) esto nos indica que el material por sí solo no compensa con los requisitos granulométricos de modo que se hizo una combinación para compensar y cumplir con los requisitos establecidos para esta investigación.

TABLA IV-14: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>											
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”</p>											
<p>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO (1/2”)</p>											
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: 22 de junio de 2021. Norma: ASTM E 11 Lugar: Laboratorios de Control de Calidad empresa ASFALTOS INDUSTRIALES S, A</p>											
TAMICES		Masa Retenida de cada muestra		% Masa Retenida de cada muestra		Masa Retenida Acumulada de cada muestra		Material que pasa de cada muestra		TOLERANCIAS DE DISEÑO Tabla II-2 C-5 (ASTM D3515)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	Tot. Min	Tot. Max
Pulgadas	mm	g	g	%	%	%	%	%	%	%	%
1"	25	0	0	0		0		100	100		
3/4"	19	0	0	0		0.00		100	100	100	100
1/2"	12.5	108.6	98.8	7.0	6.3	7.0	6.3	93	94	90	100
3/8"	9.5	285.5	466.4	18.3	30.0	25.3	36.3	75	64		
No. 4	4.75	845.4	815.5	54.2	52.4	79.5	88.7	20	11	44	78
No. 8	2.36	274	140.4	17.6	9.0	97.1	97.7	3	2	28	58
No. 16	1.18	7.6	2.9	0.5	0.2	97.6	97.9	2	2		
No. 30	0.6	1.9	0.8	0.1	0.1	97.7	98.0	2	2		
No. 50	0.3	1.7	0.7	0.1	0.0	97.8	98.0	2	2	5	21
No.100	0.15	1.5	1.9	0.1	0.1	97.9	98.1	2	2		
No. 200	0.075	2.5	3.5	0.2	0.2	98.1	98.4	2	2	2	10
FONDO		1.4	6.1	1.9	1.2	100.0	100	0	0		
TOTAL		1530.1									
VERIFICACION DE ENSAYO (AASHTO T-27; Sección 11)								(1S) <0.27	0.00	OK	


Fuente: Propia.

Gráfico IV-1: Curva Granulométrica de material Tamaño Máximo Nominal (1/2")



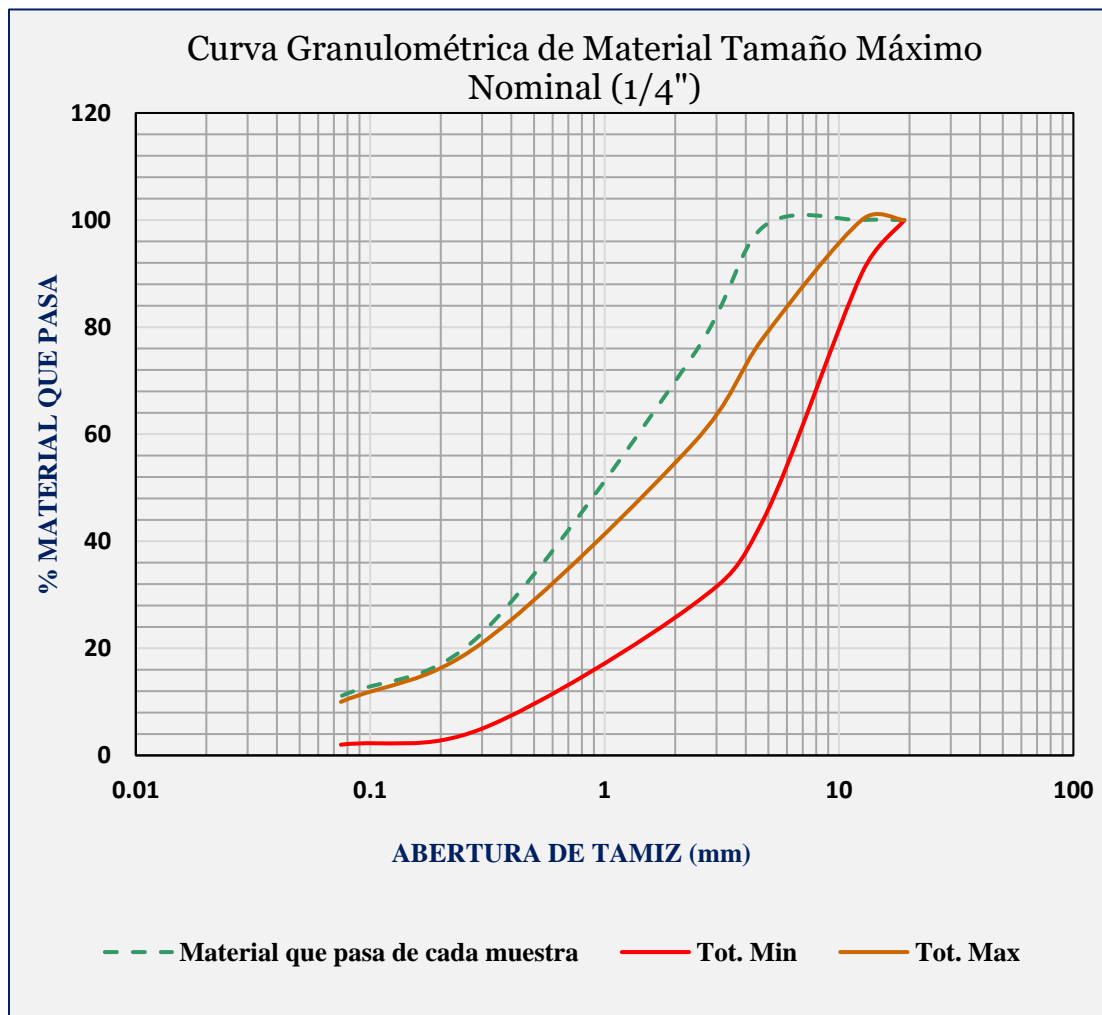
“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

TABLA IV-15: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO

		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL									
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>											
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO (1/4”)											
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: 22 de junio de 2021. Norma: ASTM E 11 Lugar: Laboratorios de Control de Calidad empresa ASFALTOS INDUSTRIALES S, A</p>											
TAMICES		Masa Retenida de cada muestra		% Masa Retenida de cada muestra		Masa Retenida Acumulada de cada muestra		Material que pasa de cada muestra		TOLERANCIAS DE DISEÑO Tabla II-2 C-5 (ASTM D3515)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	Tot. Min	Tot. Max
Pulgadas	mm	g	g	%	%	%	%	%	%	%	%
1"	25	0	0	0		0		100	100		
3/4"	19	0	0	0		0.00		100	100	100	100
1/2"	12.5	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	100	90	100
3/8"	9.5	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	100	100		
No. 4	4.75	18.2	29.8	1.0	1.5	1.0	1.5	99	98	44	78
No. 8	2.36	450.4	458.3	25.0	23.6	26.0	25.2	74	75	28	58
No. 16	1.18	445.6	468	24.7	24.1	50.7	49.3	49	51		
No. 30	0.6	267.8	305.5	14.9	15.8	65.5	65.1	34	35		
No. 50	0.3	178.6	267.3	9.9	13.8	75.4	78.9	25	21	5	21
No.100	0.15	127.1	160.5	7.0	8.3	82.5	87.2	18	13		
No. 200	0.075	96.2	52.3	5.3	2.7	87.8	89.9	12	10	2	10
FONDO		70.9	35.1	12.3	10.3	100	100	0	0		
TOTAL		1654.8									
VERIFICACION DE ENSAYO (AASHTO T-27; Sección 11)								(1S) <0.27		0.00	OK

Fuente: Propia

Gráfico IV-2: Curva Granulométrica Agregado Fino



Análisis Granulométrico Del Agregado Fino (1/4")

La granulometría del agregado fino de este presente trabajo resulto de la siguiente manera: En el Gráfico IV-2, se muestra la curva granulométrica para el agregado fino en el cual es notorio que no está dentro de las tolerancias, por lo tanto, es necesario realizar una adecuada combinación con el material (1/2") de manera que cumplan según las especificaciones de granulometría.

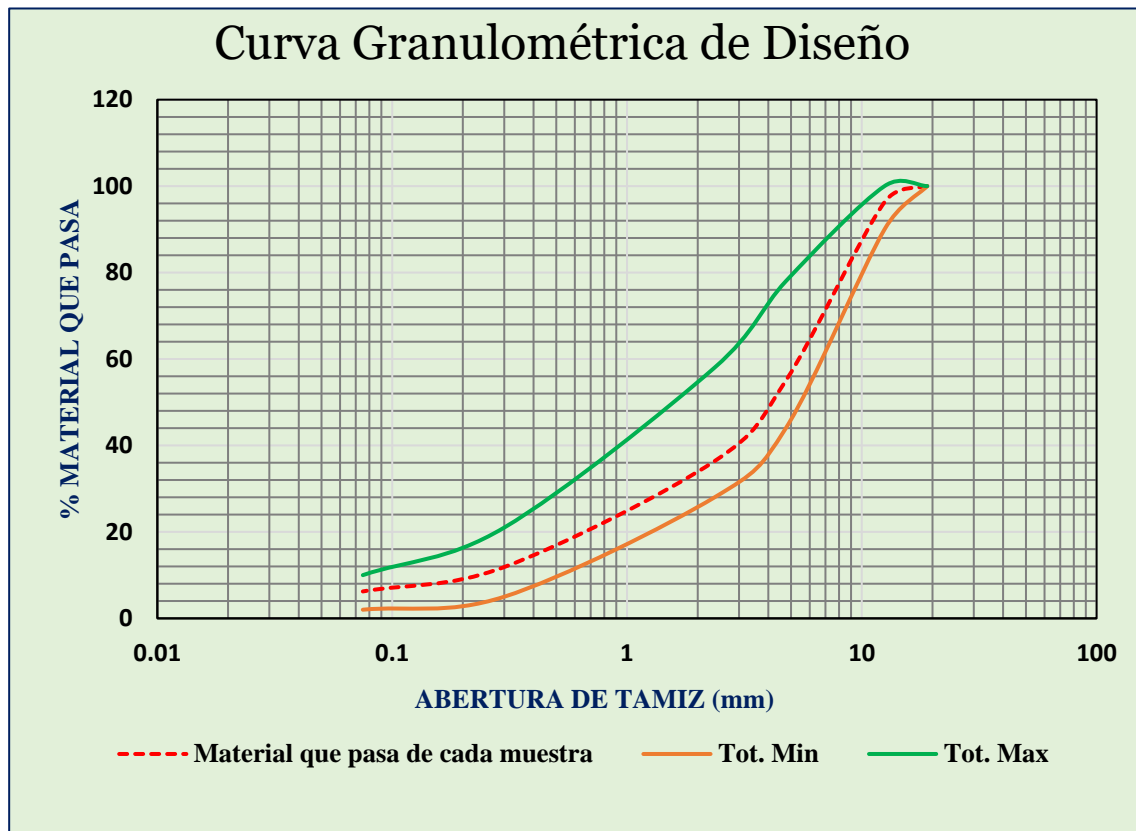
Debido a que, por sí mismos los agregados no entraban dentro de las especificaciones técnicas de diseño, se elaboró una adecuada combinación de ambos, dando como resultados que al usarse un 47% de material fino (1/4”) y un 53% de material (1/2”) se alcanzaban favorables resultados. En la Tabla IV-16 Se reflejan los resultados de los agregados combinados, de la cual se obtiene la curva granulométrica de diseño mostrada en el Gráfico IV-3. se puede observar que los alcances de la curva se ajustan con los parámetros establecidos en la norma ASTM D 3515 (Tabla II-2 C- 5). Una vez combinados los agregados se obtuvieron resultados que cumplen con las especificaciones técnicas de diseño.

Tabla IV-16: Resultados de la Combinación de Agregados

TAMIZ		MATERIAL QUE PASA DE CADA MUESTRA	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DISEÑO (ASTM D3515 Tabla II-2, C- 5)	
Pulgadas	Mm	%	Min (%)	Max (%)
1"	25	100		
3/4"	19	100	100	100
1/2"	12.5	100	90	100
3/8"	9.5	84		
No. 4	4.75	55	44	78
No. 8	2.36	36	28	58
No. 16	1.18	25		
No. 30	0.6	18		
No. 50	0.3	12	5	21
No.100	0.15	8		
No. 200	0.075	6	2	10

Fuente: Propia

Gráfico IV- 3: Curva Granulométrica de Diseño



Una vez teniendo la gráfica Granulométrica de Diseño de los agregados mediante las especificaciones dadas por la ASTM D 3515 en la Tabla 2 columna No.5, se procede a graficar la curva patrón resultante de la combinación de 47% material fino (1/4”) y 53% material 1/ 2” para tener un control de la mezcla in situ haciendo uso de las tolerancias que se encuentran mostradas en la Tabla II-2. En la Tabla IV-17 se mostrará, el comportamiento de la Combinación 1 de agregados, se observa que los agregados combinados entran dentro de los rangos establecidos y en la Gráfica IV-4 nos presenta una visualización de cómo es el comportamiento de nuestra curva patrón según las tolerancias de producción.

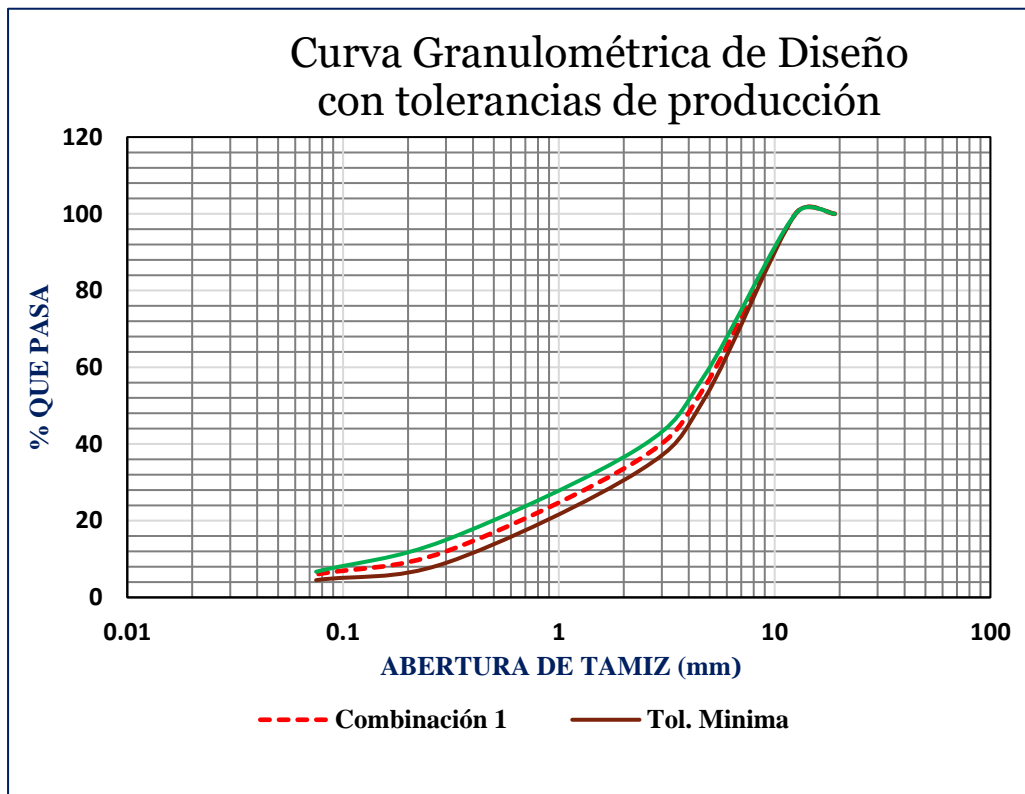
“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Tabla IV-17: RESULTADOS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS SEGÚN LAS TOLERANCIAS DE PRODUCCIÓN.

Tamices ASTM E -11		% Material que pasa			ASTM D 3515		Tolerancias para control de calidad durante producción.	
		Fino	Grueso	Combinación 1				
Pulgadas	mm	47	53	100	Esp. Mínima	Esp. Máxima	Tol. Mínima	Tol. Máxima
1"	25	100	100	100			100	100
3/4"	19	100	100	100	100	100	100	100
1/2"	12.5	100	93	100	90	100	100	100
3/8"	9.5	100	69	84			80	88
No. 4	4.75	99	16	55	44	78	52	58
No. 8	2.36	74	3	36	28	58	33	39
No. 16	1.18	50	2	25			22	28
No. 30	0.6	35	2	18			15	21
No. 50	0.3	23	2	12	5	21	9	15
No.100	0.15	15	2	8			5	11
No. 200	0.075	11	2	6	2	10	4.5	6.7

Fuente: Propia


Gráfico IV- 4: Curva Granulométrica de diseño con tolerancias de producción.



4.1.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS.


La Densidad de un agregado se define, como la unidad por masa de volumen, expresada en kg/m^3 o gr/cm^3 . La densidad relativa o gravedad específica es la característica que nos permite obtener el volumen que ocupa el material en las mezclas que son analizadas de acuerdo a un volumen absoluto.

TABLA IV-18: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”.</p>			
<p>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO</p>			
<p>Origen: "PROINCO", carretera a Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 08 de Julio de 2021. Norma: AASHTO T 85, ASTM C 127. Lugar: Laboratorios RURMA UNAN MANAGUA</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa de la Cesta Sumergida	E	925	Gr
Masa de Cesta + Agregado sumerg	D	1112	Gr
Masa del agregado SSS	B	332.6	Gr
Masa Seca del agregado al horno	A	328.97	Gr
Masa Sumergida del agregado C= (D-E)	C	187	Gr
Gravedad Especifica Bulk $SH=(A/B-C)$	SH	2.26	Gr/cm ³
Gravedad Especifica Aparente $SSS=(A/A-C)$	SSS	2.32	Gr/cm ³
Absorción del Agregado Grueso	Abs	1.1	%

Fuente: Propia

TABLA IV-19: GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO.


 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>			
<p>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO</p>			
<p>Origen: "PROINCO", carretera a Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 08 de Julio de 2021. Norma: AASHTO T 84, ASTM C 128. Lugar: Laboratorios RURMA UNAN MANAGUA</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa Seca de la arena al horno	A	220.12	Gr
Masa SSS de la arena (M2-M1)	B	221.38	Gr
Masa del Picnómetro	M1	130.7	Gr
Masa Picnómetro + arena	M2	352.08	Gr
Masa Picnómetro + agua	M3	576.2	Gr
Masa Picómetro + agua + muestra(g)	C	706.48	Gr
Masa de Placa de Vidrio	M4	119.4	Gr
Masa Seca de la muestra	M5	261.33	Gr
Volumen de la Masa $V1=(M3+B-C)$	V1	91.10	Ml
Densidad del Material $S=(M5/V1)$	S	2.87	gr/ml
Densidad Relativa Bruta $SH=(S/1.000495)$	SH	2.87	gr/cm ³
Densidad Relativa Aparente $SSS=(A/M3+B-C)$	SSS	2.42	gr/cm ³
Absorción del Agregado Fino	Abs	0.54	%

Fuente: Propia

4.1.1 PESOS UNITARIOS SECO Y COMPACTADO DE LOS AGREGADOS.


Los pesos unitarios consideran los espacios vacíos que existen en los agregados, pero no solo los espacios que existen entre las partículas sino, también los espacios vacíos que se forman entre ellos mismos (unos a otros), conociendo los pesos unitarios se hacen las dosificaciones de la mezcla.

TABLA IV-20: PESO UNITARIO SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>			
<p>PESOS UNITARIOS SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO</p>			
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 06 de Julio de 2021. Norma: AASHTO T 19 Lugar: Laboratorios RURMA UNAN MANAGUA</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa de Molde (B)	M1	9.49	kg
Volumen de Molde (C)	V1	0.722	cm ³
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (A)	PVSS	15.072	kg
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTADO (D)	PVSC	16.347	kg
Densidad Relativa PVSS (Gravedad Especifica) $\rho_1 = (A-B) / C$	ρ_1	7.731	kg/m ³
Densidad Relativa PVSS (Gravedad Especifica) $\rho_2 = (D-B) / C$	ρ_2	9.497	kg/m ³

Fuente: Propia

TABLA IV-21: PESO UNITARIO SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>			
<p>PESOS UNITARIOS SECO Y COMPACTADO DEL AGREGADO FINO</p>			
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 06 de Julio de 2021. Norma: AASHTO T 19 Lugar: Laboratorios RURMA UNAN MANAGUA</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Masa de Molde (B)	M1	9.49	kg
Volumen de Molde (C)	V1	0.722	cm ³
PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (A)	PVSS	16.084	kg
PESO VOLUMETRICO SECO COMPACTADO (D)	PVSC	17.069	kg
Densidad Relativa PVSS (Gravedad Especifica) $\rho_1 = (A-B) / C$	ρ_1	9.133	kg/m ³
Densidad Relativa PVSS (Gravedad Especifica) $\rho_2 = (D-B) / C$	ρ_2	10.497	kg/m ³

Fuente: Propia

TABLA IV-22: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS.

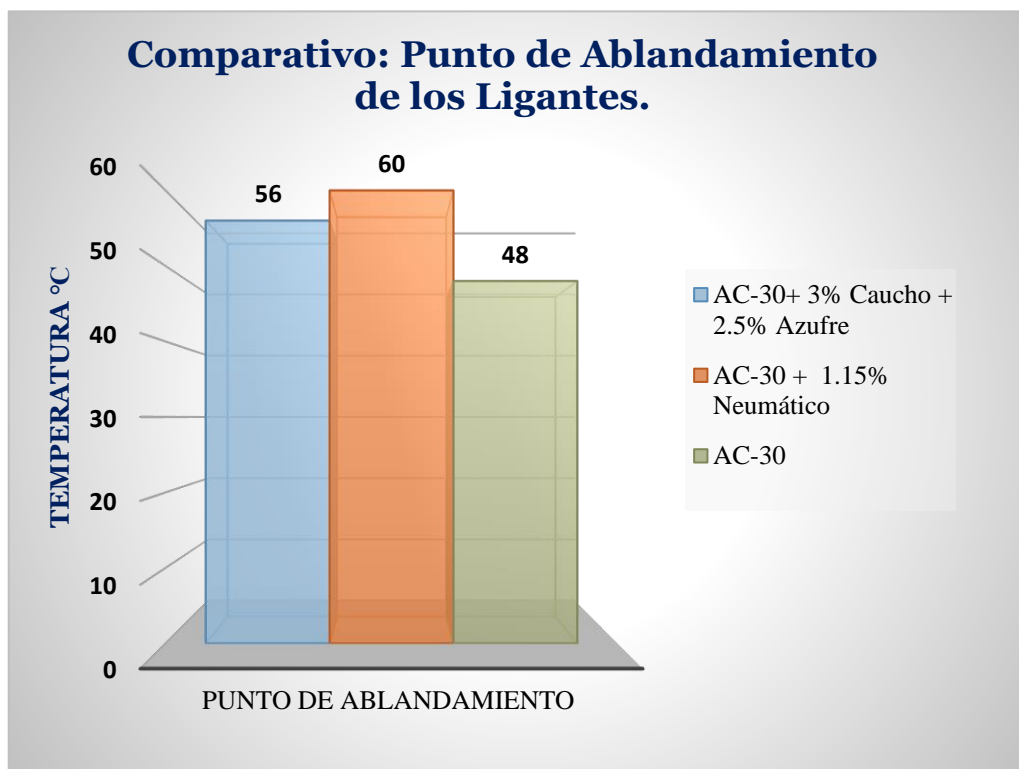
Tipo de Agregado	Ensayos	Resultado	Normas	Normados por AASHTO y ASTM
<i>AGREGADO GRUESO Material 1/2"</i>	Gravedad Especifica del Agregado Grueso.	GEB=2.26	ASTM C 127 y AASHTO T 85	Absorción máxima 1%
		GEA=2.32		
		% Absorción= 1.1		
<i>AGREGADO FINO Material 1/4"</i>	Gravedad Especifica del Agregado Fino.	GEB= 2.87	ASTM C 128 Y AASHTO T 84	Absorción máxima 0.5%
		GEA=2.42		
		% Absorción= 0.54		
<i>AGREGADO GRUESO Material 1/2"</i>	Pesos Unitarios Agregado Grueso.		AASHTO T 19	Tolerancia de resultados [±5% ó ±10%]
	<i>Peso Unit. Seco Suelto.</i>	PUSS= 7.731 kg/m3		
	<i>Peso Unt. Seco Compacto.</i>	PUSC= 9.497 kg/m3		
<i>AGREGADO FINO Material 1/4"</i>	Pesos Unitarios Seco y Suelto Agregado Fino.		AASHTO T 19	Tolerancia de resultados [±5% ó ±10%]
	<i>Peso Unit. Seco Suelto.</i>	PUSS= 9.133 kg/m3		
	<i>Peso Unt. Seco Compacto.</i>	PUSC= 10.497 kg/m3		
	Equivalente de Arena	86%	AASHTO T 176	Min 45%

4.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL LIGANTE ASFÁLTICO

4.2.1 PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE LOS LIGANTES.

Los dos polímeros modificadores añadidos en el AC-30 se sometieron al ensayo de Anillo y Bola o Punto de ablandamiento, ensayo que nos determina en que rango de temperaturas los ligantes alcanzan el punto de reblandamiento, en el Gráfico IV-5 se presenta cuáles fueron sus resultados. Se analiza, que el ligante que alcanzo una máxima temperatura fue la mezcla con Asfalto + 1.15% de Neumático logrando una temperatura de 60°C , mejorando notoriamente el desempeño de la mezcla convencional AC-30, con este dato se conoce como el ligante va fluir según las temperaturas de servicio, evitándose de esta forma fallas al pavimento tales como, corrugación o corrimiento, entre otros y aumentando su resistencia.

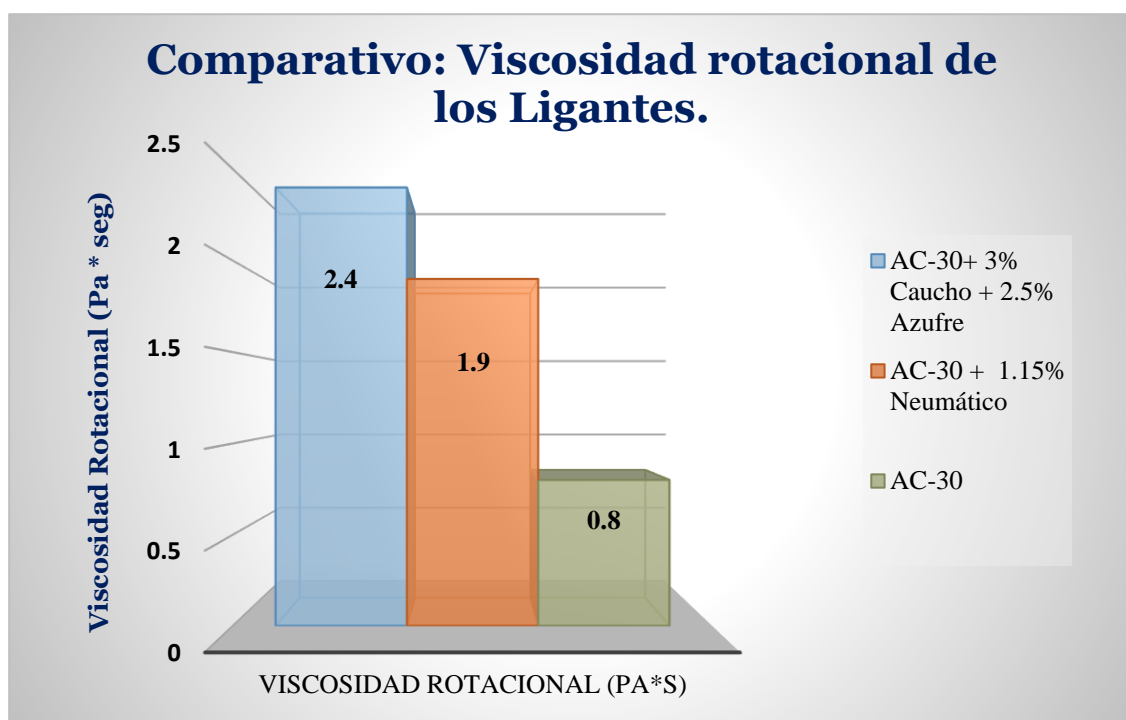
Gráfico IV- 5: Comparativo de los Puntos de Ablandamiento de los Ligantes.



4.2.2 VISCOSIDAD ROTACIONAL DE LOS LIGANTES.

El ensayo de viscosidad se realiza a temperaturas elevadas para determinar en qué temperaturas fluyen los ligantes, en el Gráfico IV-6 se observa el comportamiento que han tenido los ligantes sometidos al ensayo de viscosidad rotacional, en dicho ensayo se obtuvo como resultado que, se requeriría de más consumo energético para generar que la mezcla con 3% de caucho fluya adecuadamente, no obstante, el asfalto convencional AC-30 tiene una ventaja notoria, puesto que consume menos energía para fluir correctamente, a diferencia de la adición de polímeros modificadores que necesitan un poco más de consumo energético para alcanzar los requerimientos.

Gráfico IV-6: Comparativo de las Viscosidades Rotacionales de los Ligantes.

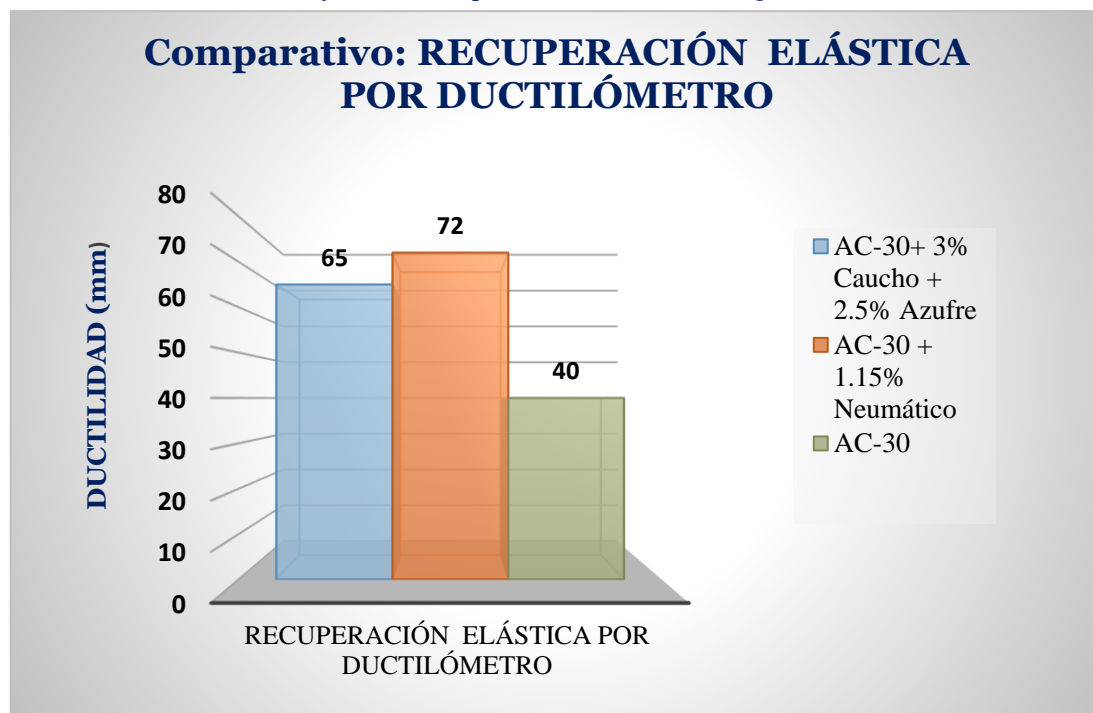


4.2.5 DUCTILIDAD DE LOS LIGANTES

El ensayo de ductilidad, da la distancia en centímetros que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos. Las especificaciones en su mayoría establecen que los aglutinantes deben tener valores mínimos de ductilidad, esto se debe a que los materiales dúctiles presentan mejores propiedades aglomerantes que los materiales no dúctiles. En el Gráfico IV-7 se presenta la comparativa de ductilidad de los ligantes, los valores obtenidos indican que la mezcla No. 2 de 1.15% Neumático con AC-30 tiene un valor más elevado en ductilidad, puesto que al realizar el ensayo su recuperación fue de 72 cm, mientras que la mezcla No.1 de 3% Caucho obtuvo una recuperación de 65 cm.

Una propiedad muy importante de los asfaltos modificados es la recuperación elástica, los materiales con ductilidades elevadas son susceptibles a los cambios generados por la temperatura. El ligante convencional posee valores bajos de ductilidad, esto quiere decir que, la adición de polímeros modificadores aumenta notablemente esta propiedad y nos genera un mejor comportamiento de la mezcla ante fenómenos como la fatiga.

Gráfico IV-7: Comparativo Ductilidad de los Ligantes

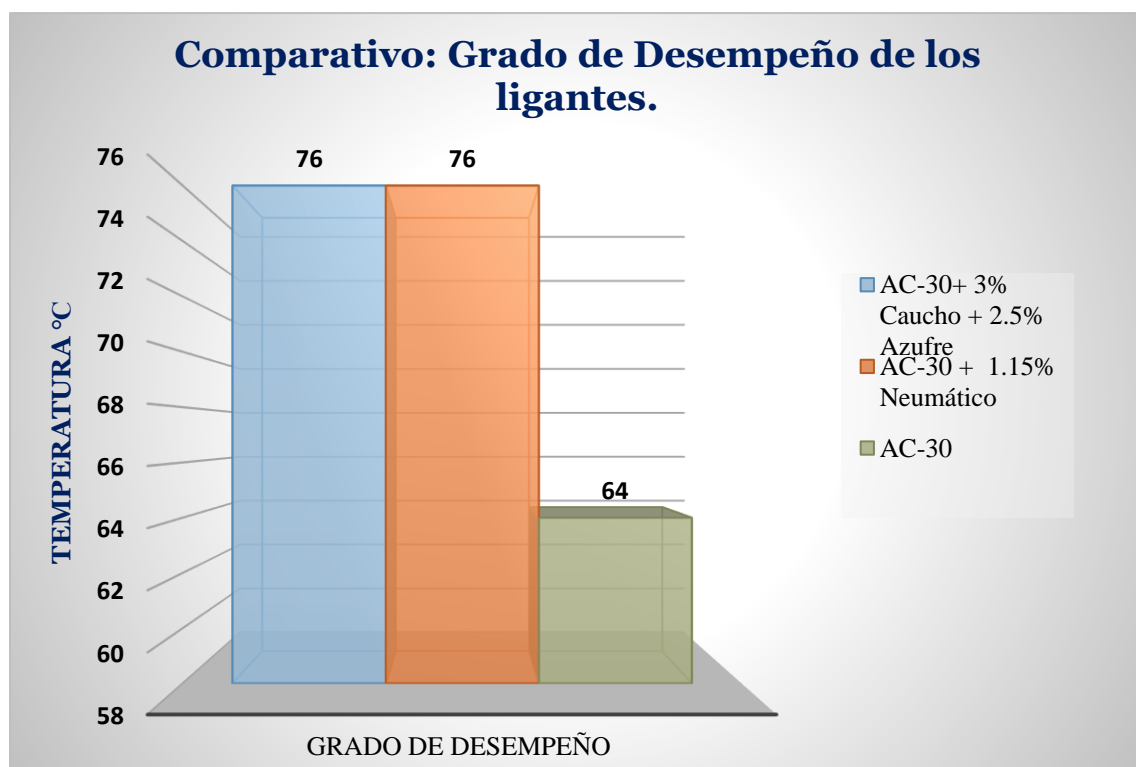


4.2.3 GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS LIGANTES.

El grado de desempeño (PG) representa la respuesta que tiene el asfalto cuando es sometido a rangos diferentes de temperaturas, desde temperaturas máximas a mínimas para conocer cómo es su comportamiento. En este presente trabajo, se experimentó incorporando dos materiales reciclados con el asfalto convencional AC-30, en donde se comprobó que el uso de polímeros incrementa el desempeño del AC-30, el cual sin modificarse tiene un PG -64 (25), pero cuando se le añaden polímeros desarrolla de manera satisfactoria una mejor respuesta, llegando a alcanzar un grado de desempeño de PG-76

En el siguiente Gráfico IV-8, se observa la comparación del comportamiento del Asfalto con 3% Caucho + 2.5% Azufre vs Asfalto con 1.15% Neumático, es notorio que ambos polímeros alcanzaron un similar grado de desempeño; esto nos indica que ambos polímeros llegan a un límite de temperatura de 76°C, luego del PG 76 los ligantes asfálticos comienzan a alcanzar su respectivo fallo.

Gráfico IV-8: Comparativo Grado de desempeño de los Ligantes.



4.2.4 PÉRDIDA DE MASA POR CALENTAMIENTO EN LOS LIGANTES.

Una vez realizados los ensayos a los ligantes asfálticos modificados, se procede a envejecer los ligantes mediante las pruebas RTFO y PAV. Primero, se pesan los frascos a utilizarse (ver Ilustración IV-12) y se les coloca una muestra de 35 ± 0.5 gramos y se registran los datos obtenidos en la tabla IV-23:

Ilustración IV-12: Muestras de los ligantes modificadas para prueba RTFO.



Tabla IV-23: Pérdida de Masa de los ligantes según ensayo RTFO.

Tipo de Mezcla	Peso Frasco Vacío	Peso Muestra	Peso Frasco + Muestra	Pérdida	% Pérdida por calentamiento en RTFO	Promedio de muestras
Asfalto + Neumático 1.15%	156.23	34.76	190.95	-0.0012	-0.115	-0.128
	158.93	35.18	194.06	-0.0014	-0.142	
Asfalto + 3% Caucho + 2.5% Azufre	158.92	35.14	193.84	-0.0063	-0.626	-0.601
	169.13	34.69	203.62	-0.0058	-0.577	

En la tabla IV-23 se han registrado los datos obtenidos de las pérdidas de masa por calentamiento en el horno RTFO, como se puede observar los resultados de pérdida de masa son negativos, esto indica que, en ambas muestras hubo pérdida de masa, de ser positivas indicarían aumento en sus masas. La mezcla de asfalto + 1.15% de neumático presento un comportamiento donde hubo una menor pérdida de masa por calentamiento, mientras que, la mezcla con 3% caucho + 2.5% de azufre tuvo una mayor pérdida de masa, ambas mezclas están dentro de la especificación de la normativa ASTM D 2872, por lo que se verifica que, ambos ligantes no salen del rango establecido según la norma.

Con lo dicho anteriormente, al tener un ligante que presente una menor pérdida de masa nos genera un ligante que va tener menor resistencia a la tensión diametral, sucede lo contrario con un ligante que tenga altos valores de pérdida de masa. Pero, en este caso al tratarse de dos mezclas diferentes tanto en formula, composición y características se tienen los siguientes resultados:

- ✓ La mezcla asfalto + 1.15% de neumático obtuvo menor pérdida de masa por calentamiento, por lo tanto, será susceptible a la tensión diametral, pero tendrá mayor resistencia a la compresión uniaxial.
- ✓ La mezcla asfalto + 3% caucho + 2.5% azufre posee mayores valores de pérdida de masa, es por ello que, tendrá mayor resistencia a la tensión diametral, pero será vulnerable a la compresión uniaxial.

4.2.5 PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES MODIFICADOS

Se obtuvieron las propiedades reológicas de la Mezcla con 3% Caucho + 2.5% Azufre y de la Mezcla con 1.15% de Neumático para obtener los valores del Módulo Reológico, Viscosidad y el Angulo de Fase de ambas mezclas, estos datos se muestran en las Tablas IV-24 e IV-25.

Tabla IV-24: Propiedades Reológicas de la Mezcla con Caucho (3%) y azufre usando 2.5%.

Propiedades Reológicas de la Mezcla con Caucho (3%) y azufre usando 2.5%			
AC-30 modificado sin envejecer			
T (°C)	G/sin (δ) (Pa)	η [Pa*s]	δ: [°]
58	9928.47	911.97	66.54
64	5101.16	480.67	70.23
70	2692.36	256.22	71.89
76	1387.55	134.88	76.13
82	723.27	71.74	82.15
AC-30 modificado envejecido en RFTO			
T (°C)	G/sin (δ) (kPa)	η [Pa*s]	δ: [°]
76	5625.57	517.38	66.72
82	3157.69	298.26	70.63
AC-30 modificado envejecido en RFTO + PAV			
T (°C)	G/sin (δ) (Pa)	η [Pa*s]	δ: [°]
37	530.50	68.54	50.79
34	769.06	103.41	48.13
31	1126.5	158.17	45.48
28	1639.6	242.05	42.71
25	2399.9	376.95	39.6

Fuente: Propia

Tabla IV-25: Propiedades Reológicas de la Mezcla con Neumático 1.15%.

Propiedades Reológicas de la Mezcla con Neumático 1.15%			
AC-30 modificado sin envejecer			
T (°C)	G/sin (δ) (Pa)	η [Pa*s]	δ: [°]
58	14977.37	1411.407	70.25
64	7283.91	696.231	72.68
70	3624.874	349.7023	74.48
76	1823.532	178.6392	78.08
82	939.9144	93.30888	82.53
AC-30 modificado envejecido en RTFO			
T (°C)	G/sin (δ) (kPa)	η [Pa*s]	δ: [°]
76	5245.89	497.93	71.44
82	3328.86	319.23	73.29
AC-30 modificado envejecido en RTFO + PAV			
T (°C)	G/sin (δ) (Pa)	η [Pa*s]	δ: [°]
37	1,019.20	138.04	47.67
34	1,470.90	208.18	45.02
31	2068.6	306.12	42.57
28	2941.9	459.28	39.89
25	4254.4	709.35	36.91

Fuente: Propia

En las tablas anteriores IV-24 e IV-25, se reflejan los valores obtenidos mediante el ensayo de Reómetro de Corte Dinámico aplicado en el equipo RHEOTEST RN 5.3, primero se obtuvieron las propiedades reológicas para los ligantes sin envejecer, luego se procedió a envejecer mediante el ensayo RTFO y finalmente se envejeció en PAV y a ambos ensayos se le determinaron sus propiedades reológicas.

Primero se evaluará el parámetro por deformación plástica el cual corresponde al Módulo Reológico de corte dinámico [G/sin (δ)], que según la normativa ASTM 7175 debe ser mayor o igual a 1 kPa, pero para un ligante envejecido en RTFO el Módulo Reológico debe ser mayor a 2.2 kPa, por lo tanto, en este caso se tiene que, la mezcla con 1.15% Neumático (Ligante B) presento mayor resistencia a la deformación en comparación a la mezcla con 3% caucho + 2.5% azufre (Ligante A).

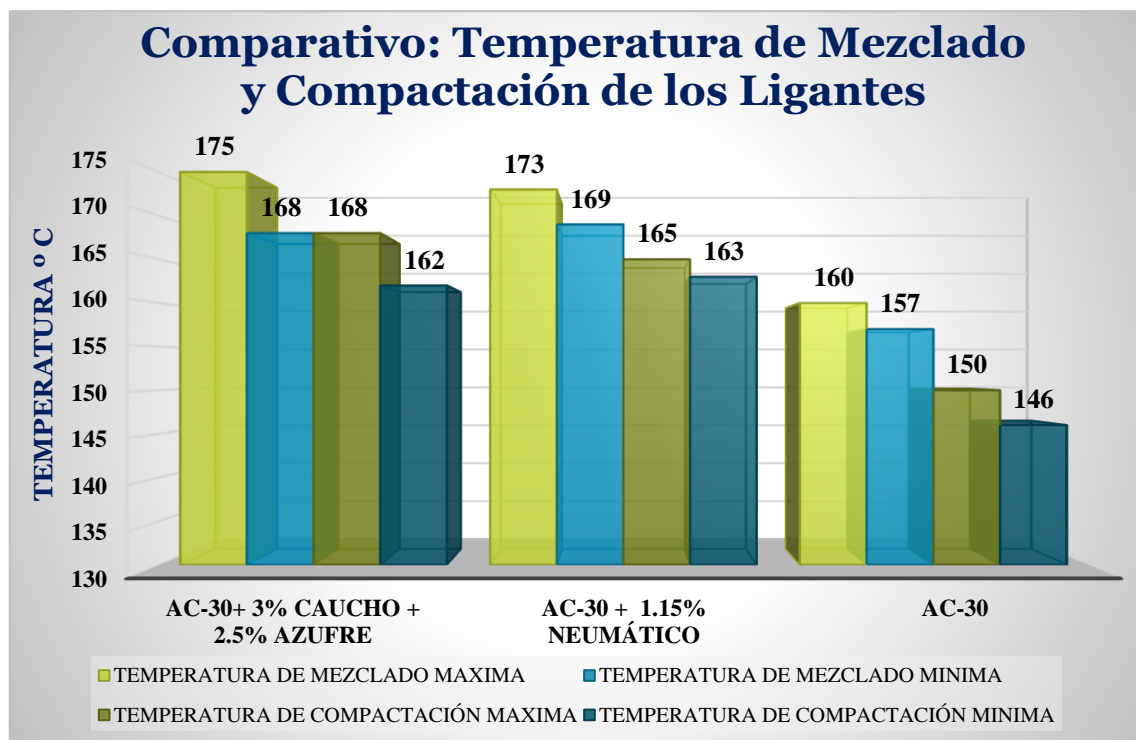
Un dato a mencionar es que, el ligante A presenta menores valores de ángulo de fase conforme incrementan las temperaturas de desempeño, por lo tanto, presenta una mayor componente elástica según sus propiedades obtenidas en los rangos de temperatura ensayados. Otro parámetro de importancia a evaluar es el agrietamiento por fatiga que se obtiene por el Módulo Reológico de corte dinámico $[G/\sin(\delta)]$ al ligante envejecido en RTFO + PAV, según la normativa ASTM 7175 el módulo debe tener una tolerancia máxima de 5000 kPa, en la tabla IV-25 se observa que, el Ligante B presenta mejor comportamiento al agrietamiento por fatiga en comparación al ligante A.

Se confirma de esta manera que, ambos ligantes A y B en condición normal y envejecida presentan un grado de desempeño similar pues, ambos tienen un PG-76, por lo tanto, ambos ligantes tienen un buen comportamiento a las deformaciones plásticas, pues en 76°C ambos ligantes ceden, siendo esta su temperatura máxima de servicio en la cual los ligantes cumplen con los requisitos mínimos estandarizados para resistir las deformaciones plásticas. También se determinaron las temperaturas mínimas obtenidas en PAV, el ligante A dio como resultados una temperatura de 19.5 °C y el Ligante B una temperatura de 23.69 °C, 4.19 °C mayor en comparación a la temperatura intermedia de desempeño del Ligante A, se finaliza de esta forma que ambos ligantes cumplen con el requisito máximo establecido para resistir los agrietamientos por fatiga, pues en temperaturas inferiores un ligantes se comportaría demasiado frágil y nos daría como resultado que la carpeta asfáltica se agriete.

4.2.6 TEMPERATURA DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN DE LOS LIGANTES.

Con el viscosímetro rotacional se obtienen las temperaturas de mezclado y compactación, como se muestran en el siguiente Gráfico IV-9. Las temperaturas se determinan según el rango de las viscosidades de 0.15 a 0.19 Pascales por segundos se obtienen las temperaturas de mezclas y de 0.25 a 0.31 Pascales por segundos las temperaturas de compactación, según el ensayo de viscosidad las temperaturas de mezclado y compactación de las dos mezclas asfálticas modificadas fueron las que se muestran en el grafico No.9, en donde se reflejan las temperaturas correspondientes de la mezcla convencional en comparación a las de los polímeros modificadores.

Gráfico IV-9: Comparativo Temperaturas de Mezclado y Compactación.



Resultados de los ensayos realizados al Asfalto usando Caucho y Neumático

En la siguiente Tabla IV-26 se muestra un resumen de las propiedades de los ligantes modificados que cumplieron con las especificaciones:

Tabla IV-26: Resultados de los ensayos al Ligante Asfáltico.

Descripción de los ensayos	Método de ensayo		Resultados		Especificaciones Técnicas	
	ASTM	AASHTO	Caucho 3% + Azufre 2.5%	Neumático 1.15%	Mín.	Max
Viscosidad rotacional (cP)	ASTM D 4402	AASHTO T-48	2375	1900	-	3000
Punto de ablandamiento (anillo y bola) (°C)	ASTM D 36	AASHTO T-53	56 y 57	60 y 61	-	-
Ductilidad (mm)	ASTM D 6084	-	65	72	50	-
Modulo reológico de corte dinámico a 76 °C (G/sin $\dot{\gamma}$) [kPa]	ASTM D 7175	-	1.387	1.823	1	-
Ensayos a los ligante envejecidos en RTFO						
Pérdida de Masa %	ASTM D 2872	-	0.6	0.13	-	1
Modulo reológico de corte dinámico a 76 °C (G/sin $\dot{\gamma}$) [kPa]	ASTM D 7175	-	5.625	5.245	2.2	-
Ensayos a los ligante envejecidos en RTFO y luego en PAV						
Modulo reológico de corte dinámico a 31 °C (G/sin $\dot{\gamma}$) [kPa]	ASTM D 7175	-	1126.5	2068.6	-	5000

Fuente: Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos se realizaron las siguientes observaciones:

En la Tabla IV-26 se presentan los resultados de los ensayos al ligante asfáltico para el asfalto modificado con los dos tipos de polímeros, realizando la comparación del comportamiento del Asfalto con 3% Caucho + 2.5% Azufre vs Asfalto con 1.15% Neumático, el objetivo de esto fue evaluar el efecto de los diferentes polímeros en las propiedades y desempeños del asfalto valorando de esta manera cuál de los polímeros analizados mejoraba en mayor medida las propiedades reológicas, lo anterior se evaluó tomando en cuenta el “Grado de Desempeño” (PG) para la caracterización de asfaltos modificados. Para un asfalto PG 76-22, los resultados cumplen con las especificaciones, tanto para los ensayos realizados al ligante sin envejecer, como a los ligantes ya envejecidos mediante RTFO y PAV.

Con cada resultado obtenido de las pruebas mediante los ensayos, se identifica que la mezcla asfáltica modificada con incorporación de 1.15% de Neumático presenta mayor valor en comparación a la del caucho.

4.3 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA USANDO EL MÉTODO MARSHALL

El método Marshall nos permite encontrar el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica, el cual se consigue mediante los resultados obtenidos de estabilidad, flujo, vacíos con aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos rellenos en el asfalto (VFA). En el presente trabajo, se experimentó con cinco diferentes tipos de porcentajes de asfalto, para cada porcentaje se elaboraron 3 briquetas cuya masa corresponde a 1200 gramos para sus respectivos ensayos y tener mejores resultados.

PROCEDIMIENTO:

- 3) Inicialmente, se obtienen los pesos del agregado combinando el agregado fino y grueso, luego se procede a colocarse en estufa según la temperatura de mezclado, en este caso 173°C , se retira de la estufa una vez obtenido la temperatura de mezclado y se vuelve a tomar su peso, esto se hace para tener un peso libre de humedad.



a)



b)

Ilustración IV-13: a) Determinación del peso del agregado y b) Control de temperatura del agregado, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

- 4) Asimismo, se pone a calentar la mezcla de asfalto con polímeros, para que tanto el agregado como la mezcla tengan al mismo tiempo la misma temperatura de mezclado 173°C.



Ilustración IV-14: Determinación de la temperatura del asfalto, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

- 5) Una vez teniendo los pesos y el alcance de la temperatura de mezclado de los materiales, se procede a determinar la cantidad de asfalto a ocupar según el peso del agregado.



a)



b)

Ilustración IV-15: a) Obteniendo cantidad de asfalto para mezcla., b) Determinación del Peso del agregado + asfalto. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

- 6) Obteniendo la cantidad exacta a usarse de porcentaje de asfalto en combinación con el agregado, se prosiguió a mezclar ambos materiales en la charola, para luego introducirse al mezclador automático por 1 minuto, pasando el minuto de mezclado, se procede a mezclarse manualmente.



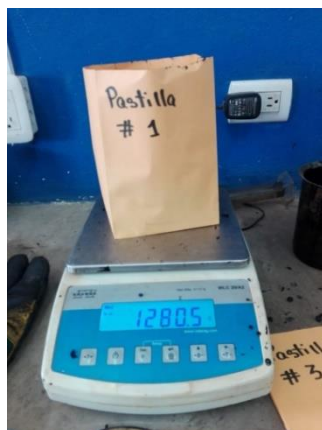
a)

b)

Ilustración IV-16: a) Mezclado automático de la mezcla asfáltica b) Mezclado manual del material, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

- 7) Una vez teniendo el agregado y el asfalto mezclado correctamente, se toman los pesos correspondientes para hacer los ensayos de Gravedad Máxima teórica, el cual debe tener según la normativa un peso mínimo de 1500 gramos y para obtener las briquetas se debe tener por cada briqueta un peso mínimo de 1200 gramos.



a)



b)

Ilustración IV-17: a) Calculando el peso de las pastillas b) Obtención de las muestras para sus respectivos ensayos Laboratorio ASFISA. Fuente: Propia

- 8) Teniendo los pesos correspondientes para los ensayos, se colocan en el horno las bolsas con las muestras, a las briquetas se les hace llegar a la temperatura correspondiente de compactación para ser compactadas.

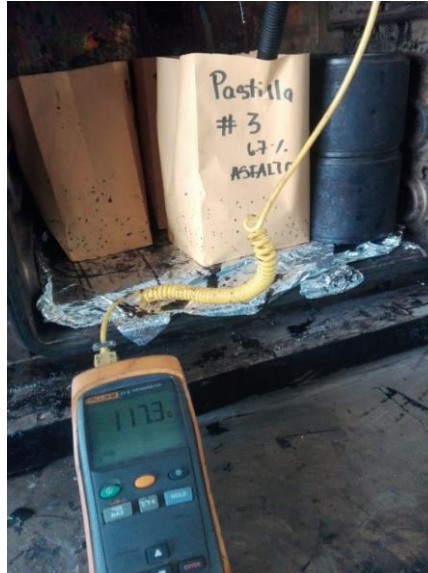


Ilustración IV-18: Toma de temperatura a muestras para ser compactadas, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

- 9) Alcanzado la temperatura de compactación se procede a elaborar las briquetas, se compactan en un total de 75 golpes por cada cara, esto considerando el diseño como tránsito pesado.



a)



b)

Ilustración IV-19: a) Fabricación de las briquetas, b) Resultados de las briquetas. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

PROCESO DEL ENSAYO A LAS BRIQUETAS:

Una vez fabricadas las briquetas se les procede a ensayar; con un calibrador se le toma diferentes medidas en cada lado y obtener de esta manera el espesor promedio de la briqueta.



Ilustración IV-20: Toma de medidas de las briquetas, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

Determinación de los pesos Bulk de las briquetas.

Se determina el peso seco en el aire, el peso sumergido y el peso superficialmente saturado de las briquetas, como se muestra en las siguientes imágenes.



a)



b)



c)

Ilustración IV-21: a) Pesos al aire, b) Peso sumergido y c) Peso superficialmente seco, Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

Determinación de la Estabilidad y Flujo de las Briquetas

Primeramente, las briquetas se colocan en un baño María por un periodo de 35 minutos a una temperatura de 60 °C.



a)



b)

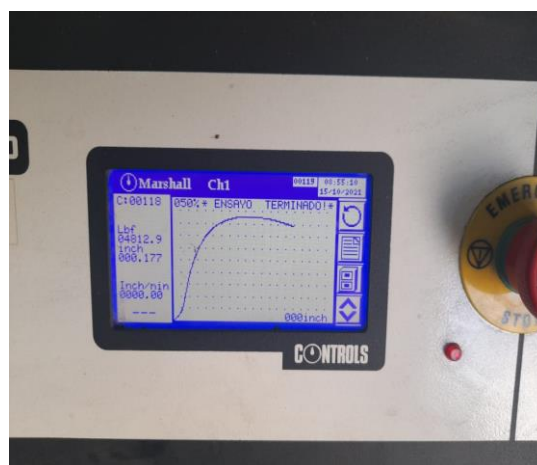
Ilustración IV-22: a) Colocación de las briquetas en el Baño María, b) Equipo programado para un periodo de 35 minutos. Laboratorio ASFISA.

Fuente: Propia

Se prepara la mordaza de la maquina Marshall aplicándole una ligera capa de aceite para que se deslice con facilidad la briqueta, se verifica que el dial de la carga este encerado y una vez hecho esto, se procede a colocar la briqueta en la mordaza, con el equipo compactador se le somete la carga a la briqueta a una velocidad de 50.8mm hasta que se obtiene la falla. El punto de falla es un esfuerzo a compresión lateral en el equipo Marshall, se registran los datos de estabilidad en unidades de libras y el flujo en centésimas de milímetro.



a)



b)

Ilustración IV-23: a) Briqueta colocada en Equipo Marshall b) Grafica resultante de Ensayo Marshall, Laboratorio ASFISA. Fuente: Propia

Determinación de la Gravedad Específica Máxima Teórica (AASHTO T 209)

Se realiza el ensayo de Gravedad específica máxima teórica mediante el ensayo de Rice para determinar el valor de la densidad y gravedad máxima teórico de mezclas asfálticas en caliente sin compactar a una temperatura de 25°C. Para este ensayo se requiere de:

- a. Recipiente de vacío
- b. Termómetro
- c. Balanza eléctrica de $A \pm 0.1 g$
- d. Bomba de vacío
- e. Equipo de agitación mecánica
- f. Muestra a ensayar

PROCEDIMIENTO:

Para realizar este ensayo se debe tener la muestra a ensayar, la cual debe pesar mínimo 1500 gramos, según especificaciones de la normativa. La muestra deberá contener los diferentes tipos de porcentaje de asfalto, se agregará el material en el recipiente de vacío y se anotará el valor del recipiente + muestra, luego se le añadirá agua a una temperatura de 25°C cubriendo totalmente la muestra, se agrega al equipo de agitación mecánica por un tiempo de 15 minutos.

Una vez transcurrido el tiempo, se procede a colocar agua a 25°C, cubriendo totalmente el recipiente para luego enrasar con una placa de vidrio, se toma este dato el cual sería, muestra +recipiente + agua, por último, la muestra se le extrae el agua, y se pone a abanicar para secar superficialmente y tomar el peso saturado superficialmente seco.

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Ilustración IV-24: a) Control de la temperatura previo al Ensayo Rice, b) Colocación del material en el equipo, c) Enrasado del material + agua para obtener su peso. Laboratorio ASFISA.



a)



b)




c)

Fuente: Propia

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.


TABLA IV-27: DETERMINACIÓN DE RICE PARA MEZCLA USANDO 5.8% DE ASFALTO CON AC-30 + 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>			
<p>GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</p>			
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 30 de septiembre de 2021. Lugar: Laboratorios de Control de Calidad empresa ASFALTOS INDUSTRIALES S, A</p>			
<p>MEZCLA ASFÁLTICA USANDO 3% CAUCHO, 2.5% AZUFRE Y 5.8% DE ASFALTO</p>			
<p>Combinación 47% Agregado Fino ¼” y 53% Agregado Grueso ½”</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Absorción de los agregados	Abs	0.717	%
Peso del frasco	M1	1639.4	Gr
Peso muestra + frasco	M2	3141.7	Gr
Masa de la muestra Húmeda	B	1502.3	Gr
Masa frasco+ agua+ muestra	M3	7698.5	Gr
Masa de muestra SSS	C	1494.2	Gr
Masa de muestra Seca	A	1500.7	Gr
Masa de placa de Vidrio	M4	542.5	Gr
Masa frasco + agua	M5	6768.4	Gr
G. Específica Máxima Teórica	Gmm	2.644	

Fuente: Propia

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

TABLA IV-28: DETERMINACIÓN DE RICE USANDO 5.8% ASFALTO CON MEZCLA AC-30 + 1.15% NEUMÁTICO

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA CARRERA INGENIERIA CIVIL</p>			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,</p>			
<p>GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS BITUMINOSAS</p>			
<p>Origen: "PROINCO", ciudad de Masaya. Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero. Fecha: martes, 05 de octubre de 2021. Lugar: Laboratorios de Control de Calidad empresa ASFALTOS INDUSTRIALES S, A</p>			
<p>MEZCLA ASFÁLTICA USANDO 1.15% NEUMÁTICO Y 5.8% DE ASFALTO</p>			
<p>Combinación 47% Agregado Fino ¼” y 53% Agregado Grueso ½”</p>			
DESCRIPCIÓN	NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
Absorción de los agregados	Abs	0.265	%
Peso del frasco	M1	1639.4	Gr
Peso muestra + frasco	M2	3153.8	Gr
Masa de la muestra Húmeda	B	1514.4	Gr
Masa frasco+ agua+ muestra	M3	7711.7	Gr
Masa de muestra SSS	C	1494.2	Gr
Masa de muestra Seca	A	1518.9	Gr
Masa de placa de Vidrio	M4	542.5	Gr
Masa frasco + agua	M5	6768.4	Gr
G. Especifica Máxima Teórica	Gmm	2.631	

Fuente: Propia

Tabla IV-29: Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall usando 1.15% Neumático.

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL (AASHTO T 245)									
1.15% Neumático									
Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero.									
Gravedad Específica de los Agregados: 2.87					Procedencia del Agregado: "PROINCO"				
Gravedad Específica del ligante asfáltico: 1.063					Número de golpes: 75				
Muestra #	LIGANTE ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (mm)	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN DE MUESTRA cm ³	PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)		% RELACION DE VACIOS EN EL ASFALTO
			SECA EN EL AIRE	SSS EN EL AIRE	EN AGUA		BULK (Gb)	MAXIMA MEDIDO	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
						E-F	D/G	METODO RICE	[(I-H/H) *100]
1.1	4.8	63.7	1279.1	1281.3	773.1	508.20	2.517		5.2
1.2		63.5	1278.8	1283.1	773.9	509.2	2.511		5.4
1.3		63.6	1277.6	1280.3	771.7	508.6	2.512		5.4
PROMEDIO		63.6				508.7	2.513	2.656	5.4
2.1	5.3	63.8	1280.9	1281.3	773.1	508.20	2.520		4.6
2.2		63.4	1282.8	1283.1	773.9	509.20	2.519		4.7
2.3		63.9	1279.6	1280.3	773.7	506.60	2.526		4.4
PROMEDIO		63.7				508.0	2.523	2.643	4.5
3.1	5.8	62.6	1281.8	1282.7	773.7	509.00	2.518		4.3
3.2		62.8	1280.8	1282	772.7	509.30	2.515		4.4
3.3		62.9	1280.4	1281.7	770.4	511.30	2.504		4.8
PROMEDIO		62.8				509.867	2.512	2.631	4.3
4.1	6.3	63.4	1279.6	1281.6	772.3	509.30	2.512		4.0
4.2		63.6	1278.5	1280.1	772.1	508.00	2.517		3.9
4.3		63.7	1281.6	1282.9	772	510.90	2.509		4.2
PROMEDIO		63.6				509.4	2.513	2.618	4
5.1	6.8	62.9	1279.2	1281.4	772.5	508.90	2.514		3.5
5.2		62.8	1278.9	1279.8	772.4	507.40	2.520		3.3
5.3		63.1	1281.4	1282.5	772.2	510.30	2.511		3.6
PROMEDIO		62.9				508.867	2.515	2.606	3.5

Tabla IV-30: Diseño de Mezcla Asfáltica por el Método Marshall usando 3% Caucho y 2.5% Azufre.

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL (AASHTO T 245)									
Caucho 3%+ AZUFRE 2.5%									
Realizado por: Cindy María Sandoval, Norelis Yessenia Calero.									
Gravedad Específica de los Agregados: 2.87					Procedencia del Agregado: "PROINCO"				
Gravedad Específica del ligante asfáltico: 1.063					Número de golpes: 75				
Muestra #	LIGANTE ASFÁLTICO %	ESPESOR PROBETA (mm)	PESOS EN GRAMOS			VOLUMEN DE MUESTRA cm3	PESO ESPECIFICO (gr/cm3)		% RELACION DE VACIOS EN EL ASFALTO
			SECA EN EL AIRE	SSS EN EL AIRE	EN AGUA		BULK (Gb)	MAXIMA MEDIDO	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
						E-F	D/G	METODO RICE	[(I-H/I) *100]
1.1	4.8	63.7	1281.4	1281.9	773.9	508	2.522		5.5
1.2		63.9	1278.7	1279.1	774	505.1	2.532		5.1
1.3		64	1280.3	1281	774.3	506.7	2.527		5.3
PROMEDIO		63.9				506.6	2.528	2.669	5.3
2.1	5.3	62.8	1279.4	1280.1	773.7	506.4	2.526		4.9
2.2		63.2	1280.6	1281.5	774	507.5	2.523		5.0
2.3		63.4	1281.1	1282.4	773.9	508.5	2.519		5.2
PROMEDIO		63.1				507.466	2.522	2.657	5.1
3.1	5.8	62.7	1278.4	1278.9	772.1	506.800	2.522		4.6
3.2		62.5	1276.9	1277.6	772.3	505.300	2.527		4.4
3.2		62.6	1280.1	1281.1	772.1	509.000	2.515		4.9
PROMEDIO		62.6				507.033	2.521	2.644	4.7
4.1	6.3	63.2	1280.6	1281.4	774.1	507.3	2.524		4.1
4.2		63.5	1281.6	1282.3	773.6	508.7	2.519		4.3
4.3		63.9	1282.1	1282.8	773.2	509.6	2.516		4.4
PROMEDIO		63.5				508.533	2.519	2.632	4.3
5.1	6.8	63.4	1283.9	1284.1	775.8	508.3	2.526		3.6
5.2		63.7	1283.8	1284.5	777.3	507.2	2.531		3.4
5.3		63.1	1283.9	1284	777.7	506.3	2.536		3.2
PROMEDIO		63.4				507.267	2.536	2.619	3.6

Gráfico IV- 10: Curva de Vacíos con aire vs Porcentaje de Asfalto de los Ligante vs Porcentaje de Asfalto de los Ligante

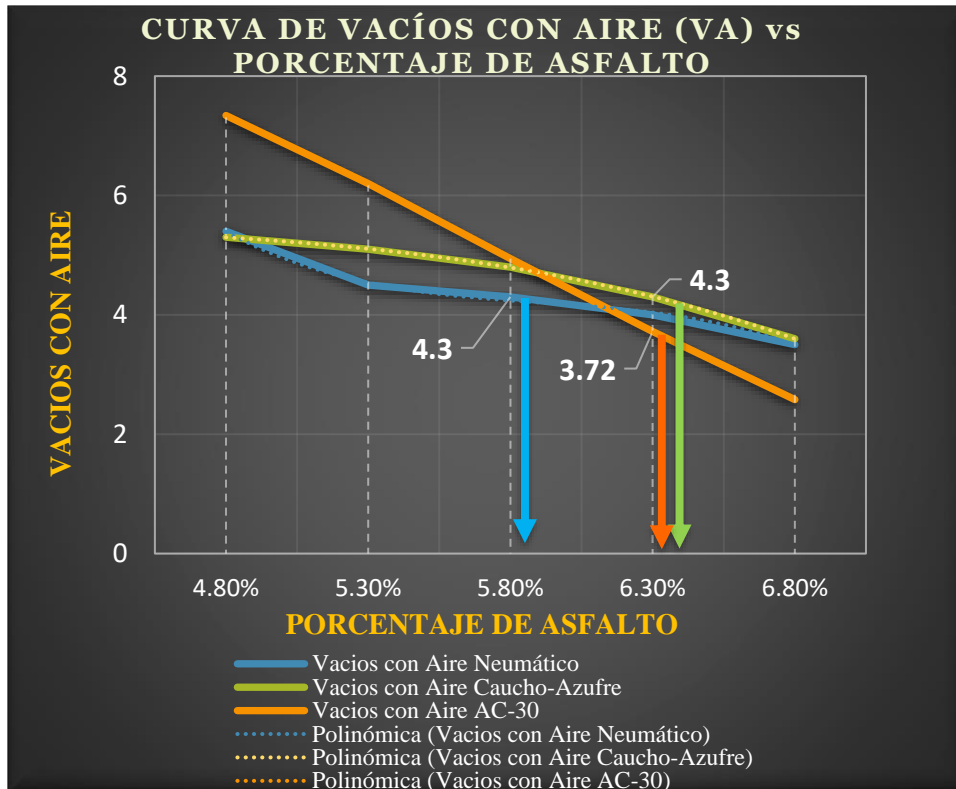


Gráfico IV-11: Curva de Vacíos en el agregado mineral vs Porcentaje de asfalto de los Ligantes

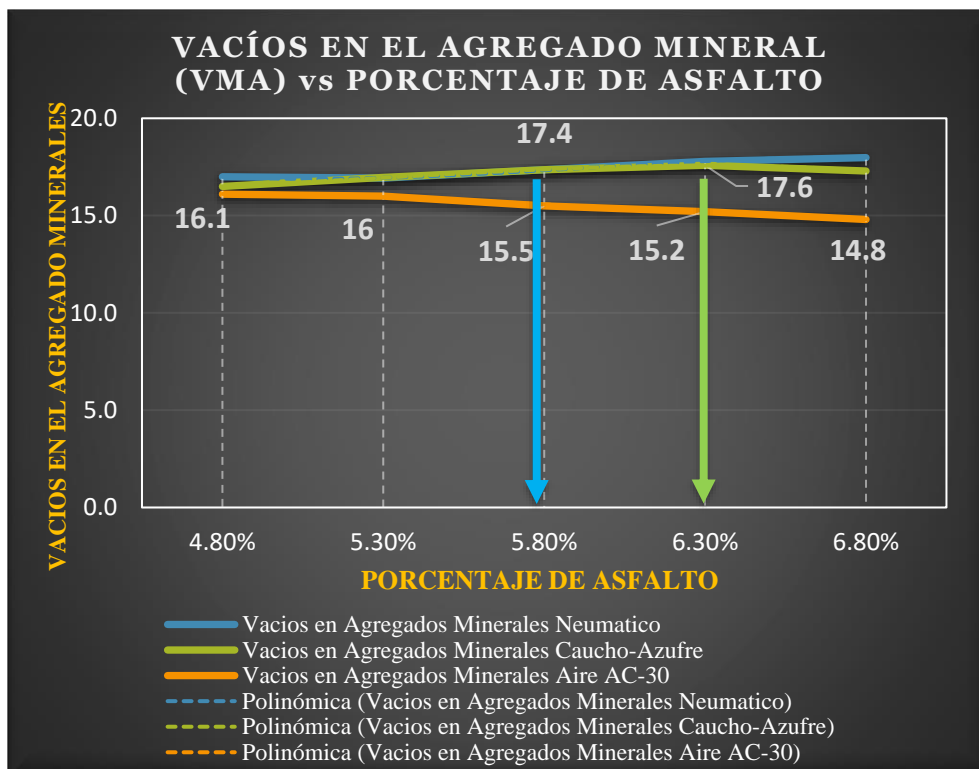


Gráfico IV- 12: Curva de vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de asfalto.

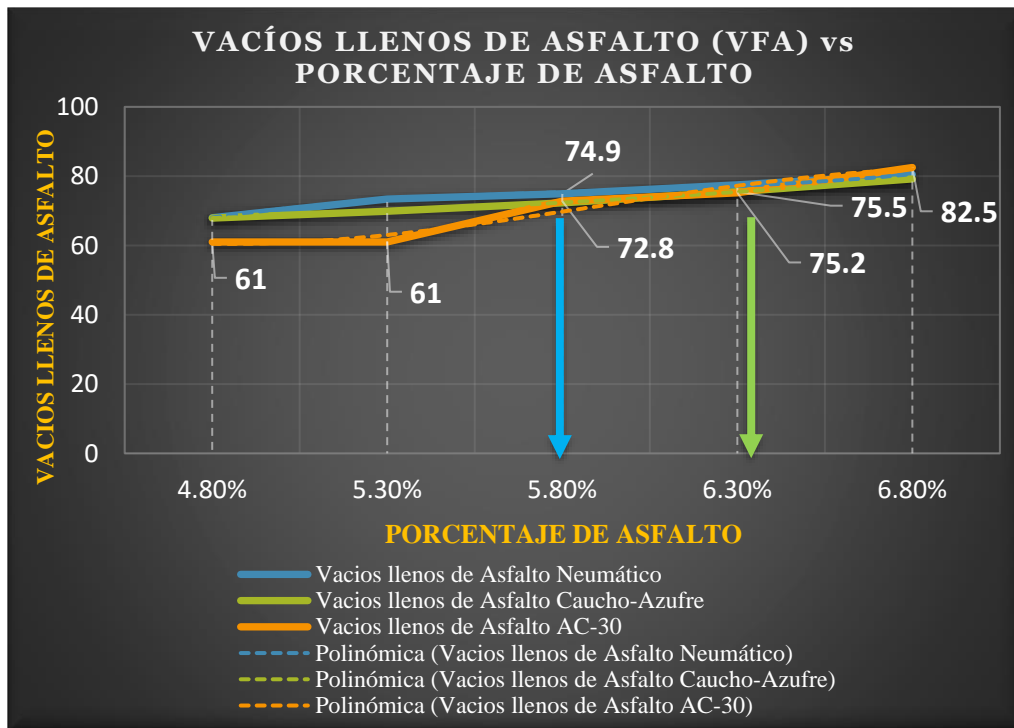


Gráfico IV-13: Curva de Densidad Máxima vs Porcentaje de asfalto

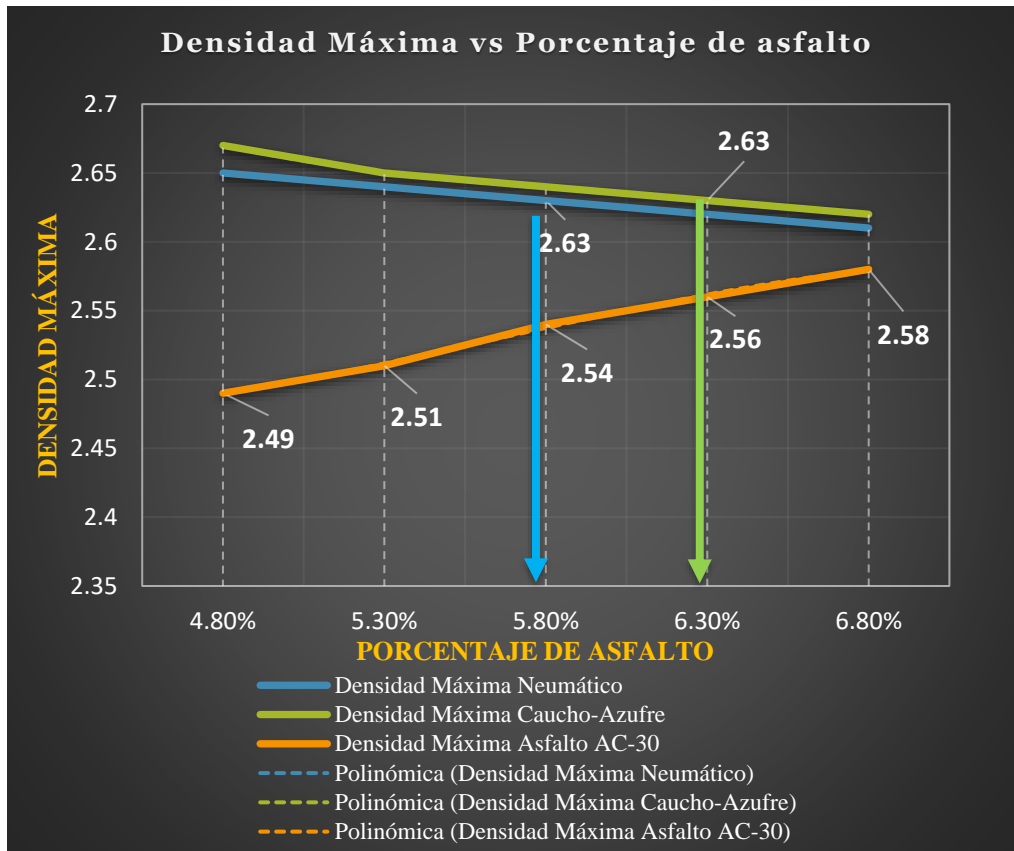


Gráfico IV-14: Curva de Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto.

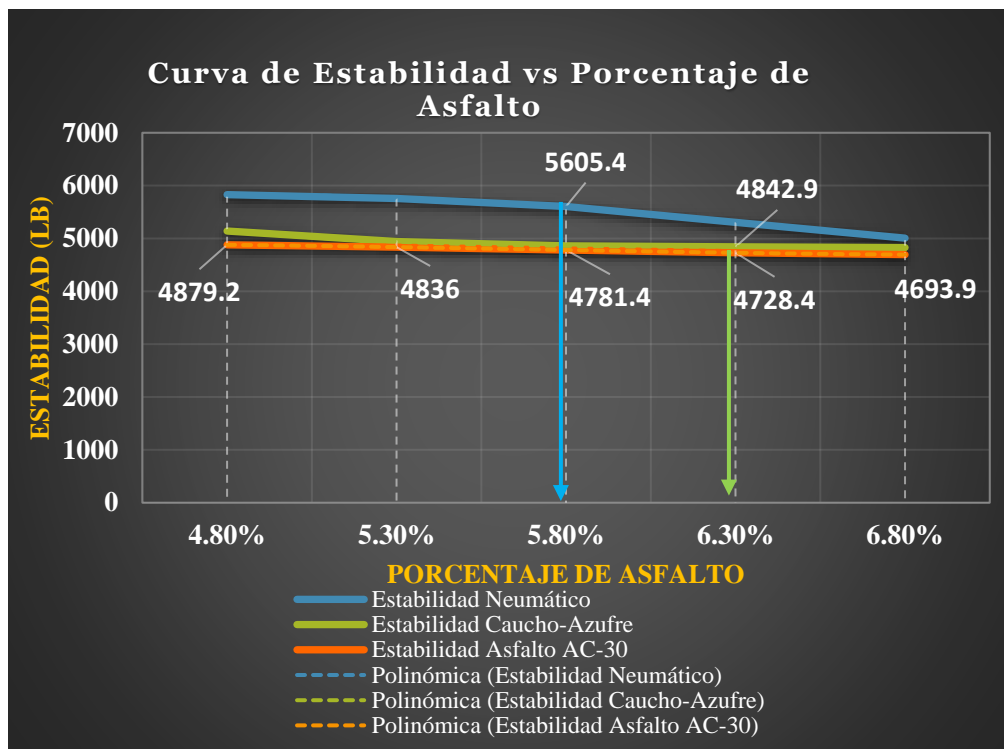
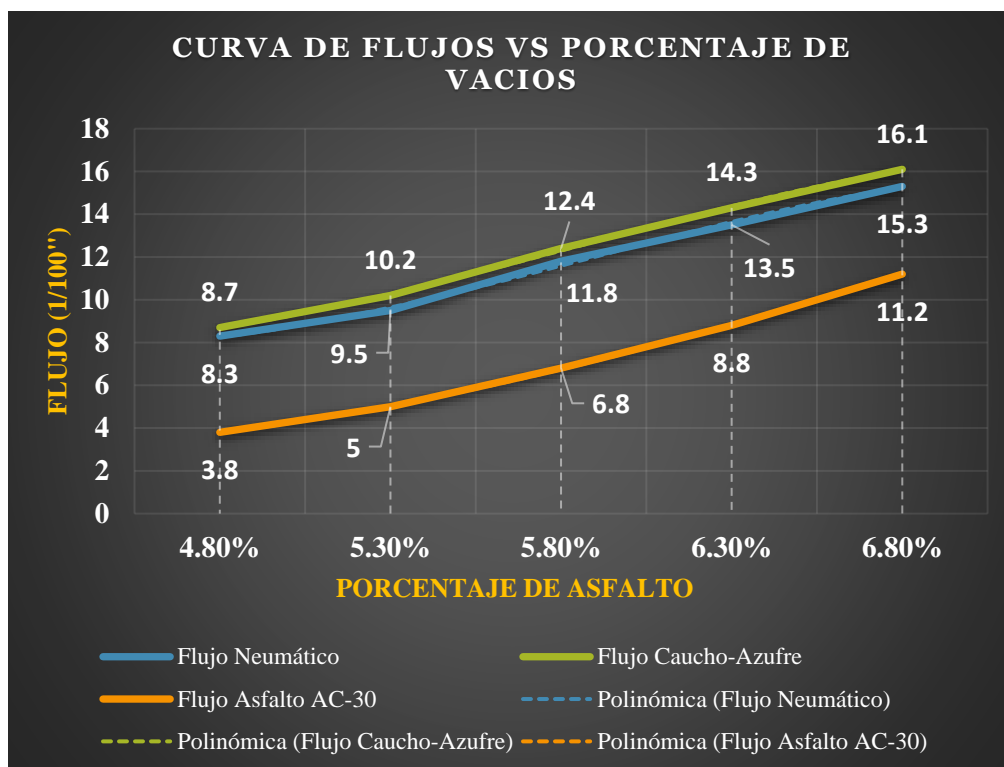


Gráfico IV-15: Curva de Flujo vs Porcentaje de Asfaltos.



4.3.1 OBTENCIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO EN LAS MEZCLAS.

Se ha obtenido mediante la realización de todos los ensayos de laboratorios bajo el método Marshall en que porcentajes de asfalto los ligantes presentan mejores características, para verificar los resultados desarrollados, primero se presentarán en la siguiente Tabla los parámetros que se utilizaron.

Tabla IV-31: COMPROBACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO.

COMPROBACIÓN DEL % ÓPTIMO DE ASFALTO	
DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACION
Estabilidad [lb]	2200lb Min.
Flujo [1/100"]	8 -14 [1/100"]
Vacíos con Aire [%]	3-5%
Vacíos en el agregado mineral [%]	14 % Min
Vacíos llenos de Asfalto [%]	65-75%

Fuente: Especificaciones Técnicas de la Normativa AASHTO T-245.

TABLA IV-32: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.

RESULTADOS MARSHALL MEZCLA CONVENCIONAL AC-30						
Porcentaje de Asfalto [%]	Estabilidad [Lb]	Flujo [1/100"]	Peso Unitario [gr/cm3]	Vacíos de Aire (Va) [%]	Vacíos en el agregado mineral V.M.A [%]	Vacíos llenos de Asfalto V.F.A [%]
4.8	4879.2	3.8	2.49	7.3	16.1	61
5.3	4836	5	2.51	6.2	16	61
5.8	4781.4	6.8	2.54	4.9	15.5	72.8
6.3	4728.4	8.8	2.56	3.7	15.2	75.2
6.8	4693.9	11.2	2.58	2.6	14.8	82.5

Fuente: Propia

Análisis: En la tabla anterior se presenta las características que presentó la Mezcla Asfáltica Convencional siendo sometida a los ensayos, dando como resultado que el 6.3% es su porcentaje de asfalto óptimo y que en ese porcentaje trabaja correctamente según las especificaciones mostradas en la Tabla IV-31.

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Tabla IV-33: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.

RESULTADOS MARSHALL MEZCLA CAUCHO 3% + AZUFRE 2.5%						
Porcentaje de Asfalto [%]	Estabilidad [Lb]	Flujo [1/100"]	Peso Unitario [gr/cm ³]	Vacíos de Aire (Va) [%]	Vacíos en el agregado mineral V.M.A [%]	Vacíos llenos de Asfalto V.F.A [%]
4.8	5140.2	8.7	2.67	5.3	16.5	67.9
5.3	4940.0	10.2	2.65	5.1	17.0	69.9
5.8	4858.6	12.4	2.64	4.7	17.4	72.3
6.3	4842.9	14.3	2.63	4.3	17.6	75.5
6.8	4828.1	16.1	2.62	3.6	17.3	79.2

Fuente: Propia

Análisis: La mezcla asfáltica realizada con 3% caucho + 2.5% azufre da como resultado que con un 6.3 % de porcentaje óptimo de asfalto brinda resultados que están dentro de las especificaciones de la Tabla IV-31.

Tabla IV-34: RESULTADOS MARSHALL DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 1.15% NEUMÁTICO PARA OBTENER SU PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO.

RESULTADOS MARSHALL MEZCLA NEUMÁTICO 1.15%						
Porcentaje de Asfalto [%]	Estabilidad [Lb]	Flujo [1/100"]	Peso Unitario [gr/cm ³]	Vacíos de Aire (Va) [%]	Vacíos en el agregado mineral V.M.A [%]	Vacíos llenos de Asfalto V.F.A [%]
4.8	5828.9	8.3	2.65	5.4	17.0	68
5.3	5755.5	9.5	2.64	4.5	16.9	73.4
5.8	5605.4	11.8	2.63	4.3	17.4	74.9
6.3	5305.7	13.5	2.62	4	17.8	77.5
6.8	5005.9	15.3	2.61	3.5	18.0	80.5

Fuente: Propia

Análisis: La mezcla asfáltica con 1.15% neumático obtuvo como porcentaje óptimo de asfalto un 5.8%, tomándose como referencia las especificaciones establecidas en la Tabla IV-31 para hacer uso de la elección de acuerdo a los parámetros de la mezcla asfáltica en caliente.

4.4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Teniendo los resultados realizados a las mezclas asfálticas mediante el ensayo a compresión lateral de la máquina Marshall, se procede a analizar las propiedades físicas y mecánicas de los ligantes modificados con los polímeros neumático y caucho-azufre y asimismo los de la mezcla asfáltica convencional AC-30, esto con el objetivo de realizar las comparativas de las mezclas y de esta forma verificar la hipótesis de este presente trabajo.

Para la comprensión de los análisis de resultados se elaboraron tablas y gráficas en donde, se presentan las diferencias significativas de las propiedades resultantes de las mezclas. Para la confiabilidad de los análisis se hicieron la misma cantidad de briquetas para las mezclas modificadas con polímeros, esto con el propósito de tener valores más precisos.

4.4.1 RESULTADOS DEL ENSAYO MARSHALL

Para los resultados del ensayo Marshall se realizaron una serie de gráficos para determinar el comportamiento individual de las mezclas asfálticas utilizadas en el presente trabajo, y de esta forma se calculó, analizó y se obtuvo mediante la interpretación de las gráficas las características de las mezclas asfálticas modificadas y la mezcla asfáltica individual.

En las Tablas No. **29, 30, 31, 32, 33 y 34** se muestran los resultados del ensayo Marshall realizado a las briquetas para la mezcla asfáltica con 3% Caucho + 2.5% Azufre y 1.15% Neumático, en donde se representaron los resultados obtenidos mediante los siguientes gráficos: Porcentaje de vacíos con aire (Va), Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA), Densidad Máxima, Estabilidad y Flujo, haciendo uso de líneas de tendencia para generar las curvas correspondientes.

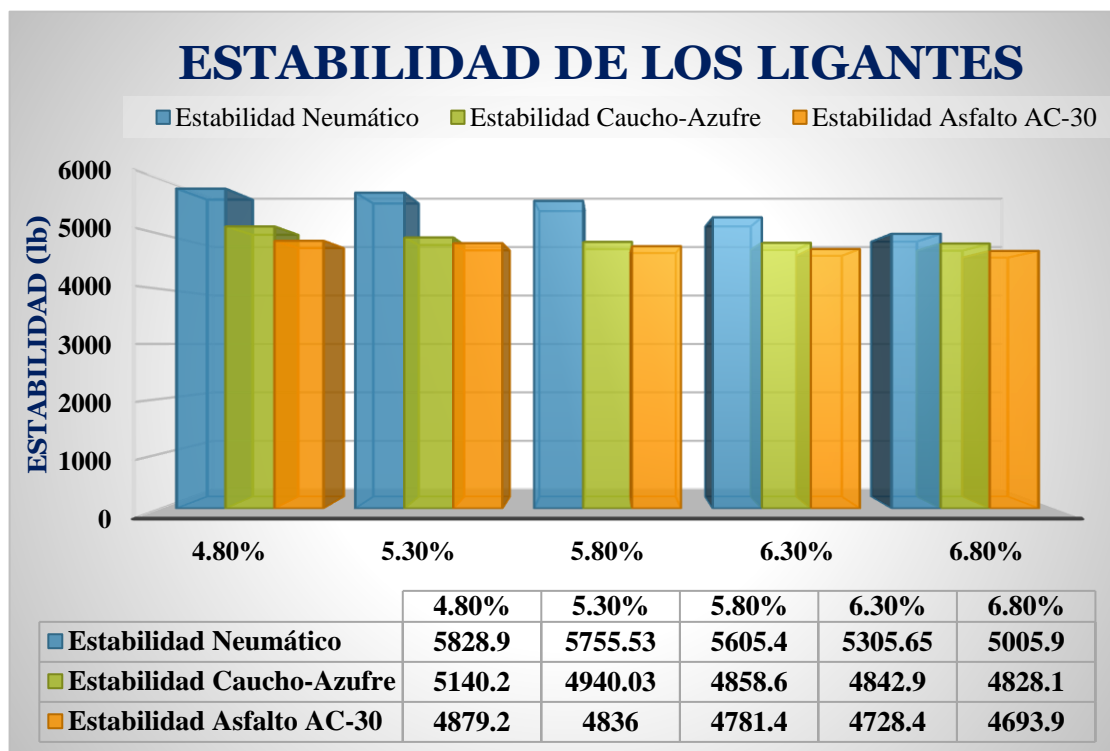
Mediante las gráficas se procede a analizar el comportamiento de las propiedades ligantes en relación a los porcentajes de asfalto. A continuación, se detallará la tendencia que se genera en las gráficas por la mezcla convencional y las mezclas modificadas:

- En el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla convencional y las mezclas modificadas tiende a disminuir su valor mediante el incremento del porcentaje de asfalto, en la mezcla convencional con un porcentaje óptimo de 6.3% da como resultado un valor de vacíos del 3.7%, en la mezcla modificada con Caucho-Azufre en un porcentaje óptimo de asfalto de 6.3% el porcentaje de vacíos con aire es 4.3%, mientras que, en la mezcla modificada con neumático con un porcentaje menor de asfalto 5.8% da un porcentaje de vacíos de 4.3%.
- En el porcentaje de vacíos con agregado mineral (VMA), la mezcla AC-30 tiende a disminuir su valor cuando se le incrementa el porcentaje de asfalto, caso contrario ocurre en las dos mezclas modificadas que, estas aumentan su valor entre más porcentaje de asfalto se le incorpora. La mezcla con 1.15% de neumático es la mezcla con valores altos de VMA según sus porcentajes asfálticos.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA), nos genera valores altos tanto en la mezcla convencional como en las dos mezclas modificadas, esto quiere decir que, simultáneamente elevan o aumentan su comportamiento a medida que se le incrementen los porcentajes de asfalto, para la mezcla asfáltica con 1.15% de neumático y 5.8% de asfalto da un VFA de 74.9%, casi al límite de la especificación, por lo tanto, para tener un valor óptimo de VFA y no alcanzar su valor límite, puede ser considerando un 5.6% de asfalto para mejorar este parámetro del método Marshall.
- La densidad máxima o peso específico Bulk, muestra un comportamiento en el cual, para la mezcla convencional AC-30 a medida que su valor de porcentaje de asfalto aumenta de igual manera aumenta el valor de densidad máxima, mientras que, para las mezclas modificadas ocurre inversamente, entre más porcentaje de asfalto tiende a disminuir su valor de densidad máxima.

- Los resultados de estabilidad nos permiten darnos cuenta que, entre mayor sea el incremento de porcentaje de asfalto disminuyen sus valores por ende su comportamiento se ve afectado a medida ascienden los porcentajes. Mediante los resultados, se obtuvo que el 1.15% de neumático + asfalto nos brinda mayores valores de estabilidad en comparación a la mezcla convencional y la mezcla con asfalto + Caucho-Azufre.
- Los resultados obtenidos para el flujo dan como síntesis que, los valores de flujo en la mezcla convencional se aumentan levemente según sea el porcentaje de asfalto, mientras que, en las mezclas modificadas inician de valores menores y ascienden notoriamente los valores de flujo entre mayor sea el porcentaje.

Es fundamental realizar la comparativa general del comportamiento de Estabilidad y Flujo de las mezclas asfálticas analizadas en este trabajo puesto que, son aspectos fundamentales del método Marshall; mediante el análisis de los Gráficos a continuación se detallará como individualmente se comportaron los ligantes.

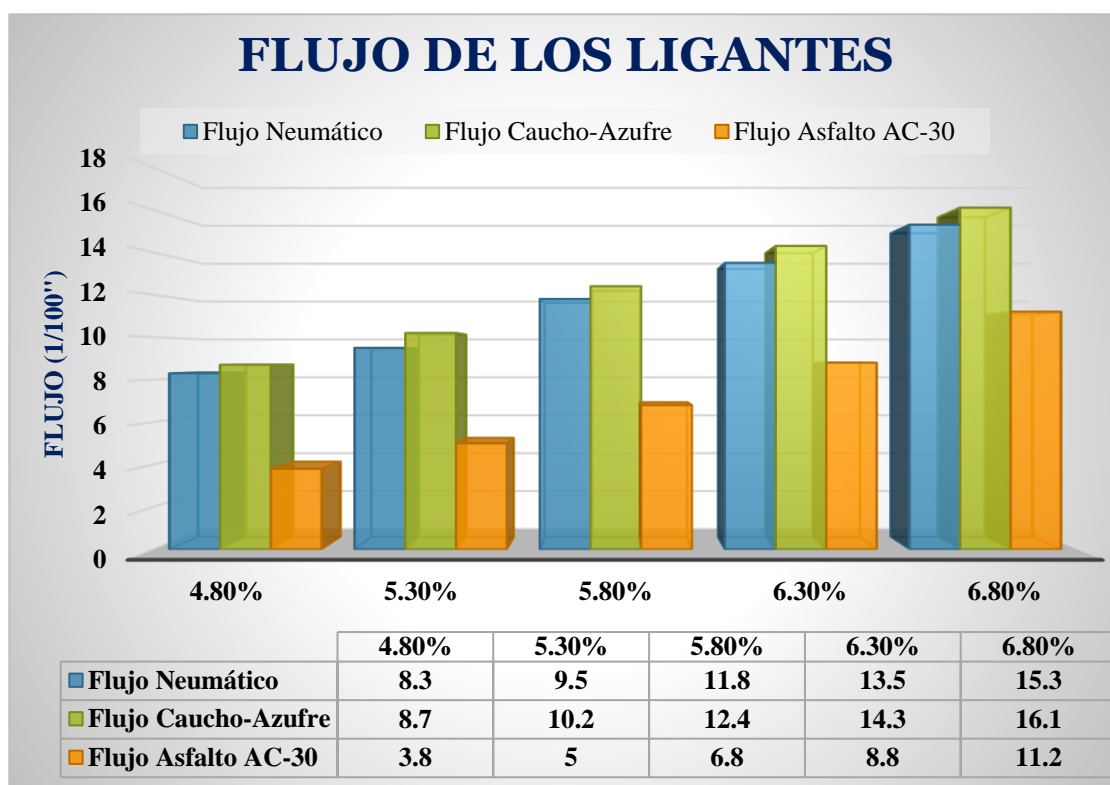
Gráfico IV- 16: Comparativa de la Estabilidad de las Mezclas Asfálticas.



Como se puede observar en el Gráfico IV-16, la mezcla asfáltica modificada con neumático presenta mayores valores de estabilidad en comparación a la mezcla convencional y a la mezcla con 3% de caucho y 2.5% de azufre. Todas las mezclas tienen una tendencia decreciente en sus valores de estabilidad cuando aumentan los valores de porcentaje de asfalto; en este caso es notorio que, la mezcla con bajos valores de estabilidad ha sido la mezcla convencional.

Las mezclas asfálticas analizadas en este trabajo superan los valores de estabilidad significativamente, puesto que, tomando como referencia que en la Tabla IV-29, se muestra que la estabilidad Marshall como mínimo debe tener un valor de 2200 libras fuerza, se verifica el cumplimiento de las especificaciones satisfactoriamente, y se estipula que la mezcla con mejor comportamiento de estabilidad Marshall ha sido la mezcla modificada con 1.15% de neumático.

Gráfico IV- 17: Comparativa del Flujo Marshall de las Mezclas Asfálticas.



Se observa en el Gráfico IV-17 que, los valores de flujo Marshall aumentan conforma los incrementos de porcentajes de asfalto, según las especificaciones mostradas en la Tabla IV-29, el flujo Marshall tendrá un rango de [8-14”], en este caso la mezcla convencional no se sale de los valores de las especificaciones pese al aumento de porcentaje, pero las mezclas modificadas se salen del rango establecido a partir de la incorporación de asfalto de 6.4% para el 1.15% de neumático y el 6.1% la mezcla caucho + azufre.

CAPITULO V



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO V

V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Habiendo finalizado el presente trabajo con los ensayos elaborados a los agregados, se concluye que, según sus propiedades mecánicas los agregados presentan las condiciones requeridas para ser empleados en el diseño de la mezcla asfáltica, se rigió conforme el Manual de ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS, CALLES Y PUENTES NIC 2019, de la sección 1003.9 del tomo II, cabe destacar que los agregados utilizados en este trabajo fueron de la empresa PRODUCTOS INDUSTRIALES DE CONCRETO (PROINCO). El diseño de mezcla asfáltica óptima se elaboró mediante la combinación de 47% de material con tamaño máximo nominal 1/ 4” y 53% de material con tamaño máximo nominal de 1/ 2”, 5.6% de asfalto y 1.15% de neumático como polímero modificador.

Se planteo la combinación adecuada de polímeros mediante una serie de pruebas y resultando una dosificación de 1.15% de neumático y 3% caucho + 2.5% de azufre a utilizarse para ensayarse con el ligante asfáltico. El uso de azufre en la mezcla con 3% caucho mejoro debido a que, el azufre le aporta al asfalto una fácil trabajabilidad de mezclado, mejora sus propiedades elásticas y es mucho más rígido, esto se justifica debido a que, el caucho usado en este trabajo cuando fue ensayado sin el betún de azufre presento bajas propiedades tanto en viscosidad como en ductilidad, el azufre le brindo mayor resistencia en sus propiedades mecánicas, mismas que se han ido evaluando en el transcurso del trabajo.

De los datos obtenidos bajo el Método Marshall se ha llegado a la siguiente conclusión, las relaciones volumétricas se vinculan directamente al tipo de granulometría empleada y al contenido de asfalto, una vez teniendo definido ambas partes se formula una mezcla asfáltica; las relaciones volumétricas inciden en la resistencia y durabilidad de una mezcla. Un valor de Vacíos con aire con tolerancias de 3 – 5 %, un valor mínimo de 14% de VMA y valores de VFA en rangos de 65 - 75%, nos generan límites a considerarse para obtener una mezcla durable. Cuando se tiene una mezcla con valores lejanos a los rangos [vacíos de aire menores de 3% y vacíos de aire mayores al 5%] causan que en el ligante se origine el fenómeno de oxidación y un acelerado envejecimiento en el asfalto. Un alto valor de VFA causa exudación en el asfalto debido a los altos contenido de asfalto y sobrepasar los límites de VMA causa ahuellamientos en el pavimento.

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las propiedades volumétricas y la durabilidad de dos mezclas asfálticas modificadas y compararlas con la mezcla convencional AC-30, se llegó a la conclusión que, el costo es más elevado cuando se incorpora una carpeta asfáltica utilizando materiales reciclables, esto nos hace cuestionarnos qué ventajas nos brindaría, es por ello que durante el desarrollo de la investigación se ha ido evaluando que propiedades mejoraron al usar polímeros modificadores, para poder concluir que, una mezcla asfáltica modificada nos asegura un pavimento capaz de resistir de mejor forma fenómenos futuros que lo deterioren, logrando mejorar sus propiedades y por ende minimizar los costos de mantenimiento pues nos brindara una carpeta de rodamiento más funcional.

5.2 RECOMENDACIONES

- Como recomendación se sugiere aplicar el método Superpave en una futura investigación para determinar qué cambios existirán entre ambos métodos, pues en este trabajo se utilizó la metodología Marshall para caracterizar la mezcla asfáltica y obtener el porcentaje óptimo de asfalto en el diseño realizado.
- Es necesaria la adecuada selección y caracterización física-mecánica de los agregados gruesos y finos, para permitir obtener ensayos favorables en el diseño asfáltico con el método Marshall y cumplir satisfactoriamente con los requisitos para mezcla.
- Se recomienda dar seguimiento de estas nuevas tecnologías, específicamente en los diseños de pavimentos al incorporar material reciclable creando alternativas para generar cambios positivos en el medio ambiente.
- Se sugiere para investigaciones futuras realizar una evaluación de costos en cuanto a la inversión de pavimentos con mezcla asfáltica modificada con polímeros, comparada a la mezcla asfáltica convencional, dado que en la presente investigación no fue contemplado.

5.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASFALCA. (s.f.). Obtenido de <https://www.asfalca.com/sobre-asfalca/>
- Benites Cruz, Y. P. (2020). Recuperado el 7 de Septiembre de 2021
- Conejo Poveda, D. H., & Camacho Vargas, S. A. (2017). *Análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas de concreto asfáltico tipo 2 (mdc-19) con adición de polímeros*. Colombia. Recuperado el 02 de Abril de 2021, de <https://repository.ucatolica.edu.com>
- Gargate Alva, F. M., & Huamaní Sánchez, J. N. (2018). *Análisis comparativo de mezclas asfálticas con polímeros y tradicional para optimizar propiedades mecánicas en pavimento flexible - Lima, 2018*. Peru. Recuperado el 2 de Abril de 2021, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34891>
- Granados Noa, J. L. (2017). Recuperado el 2021, de <https://repositorio.urp.edu.pe>
- Martinez Mendez, H. J., & Molina Zavala, W. E. (2011). *Evaluación de mezcla asfáltica en caliente utilizando el método de “Resistencia retenida”, para la pavimentación de la carretera San Ramón- Muy Muy, departamento de Matagalpa*. . Managua, Nicaragua.
- Meléndez Cabrera, H. H. (Marzo de 2019). Recuperado el Octubre de 2021
- Mercado, R., Bracho, C., & Avendaño, J. (02 de Abril de 2021). Recuperado el 02 de Abril de 2021, de <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC). (2016).
- Ramirez Palma, N. I. (Diciembre de 2006). Recuperado el 7 de Septiembre de 2021
- Reyson Amadeo, H. Q. (2020). Recuperado el Octubre de 2021
- Santos, S. R., & Lobato Campos, J. C. (11 de 2020). Recuperado el 10 de 09 de 2021

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-
MANAGUA**



ANEXO 1

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO MARSHALL”,

ILUSTRACIONES REPRESENTATIVAS AL PROCESO DE REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO INVESTIGATIVO

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

ENSAYOS AL LIGANTE ASFÁLTICO

Porcentaje de polímero para el diseño.

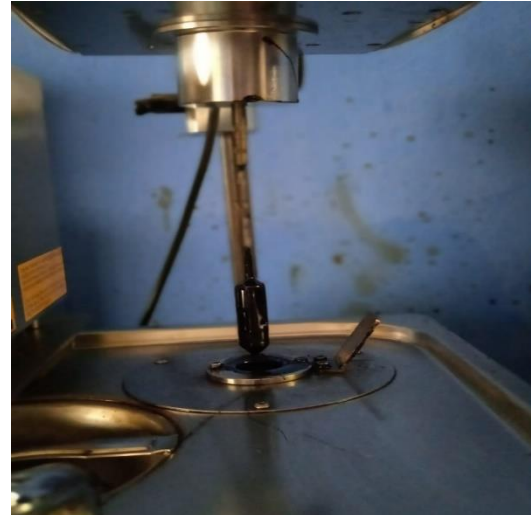


Proceso de mezclado de AC-30 con el polímero



“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Ensayo de Viscosidad dinámica



Ensayo de Punto de ablandamiento

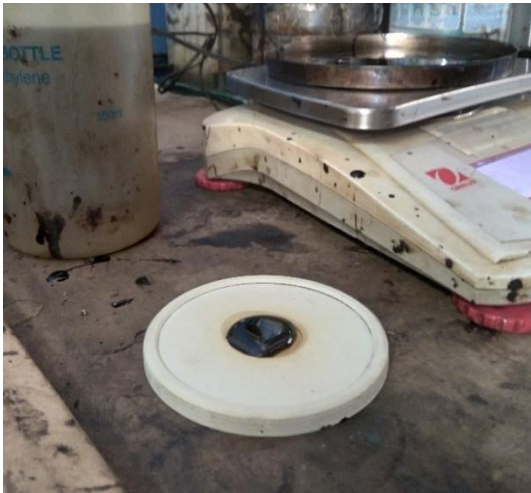


“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Ensayo de Ductilidad



Módulo de corte dinámico



“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Ensayo de envejecimiento RTFO



Ensayo de envejecimiento PAV



“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

ENSAYOS AL AGREGADO

Banco PROINCO



Cuarteo mecánico del agregado



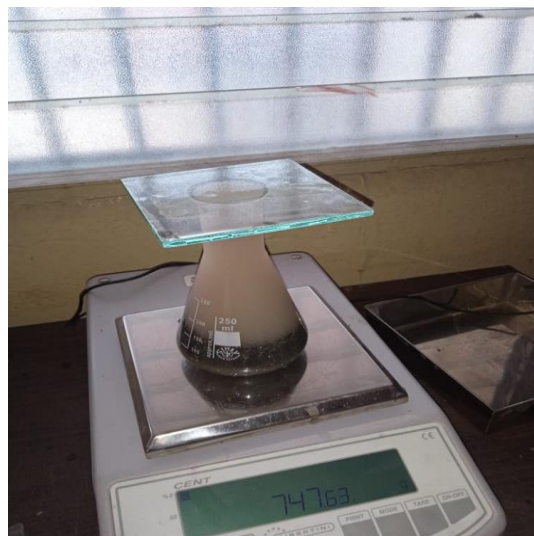
Granulometría del material



Ensayo para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso



Ensayo de Gravedad Especifica de Agregado Fino



“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

Ensayo Marshall



“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-
MANAGUA**



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**
UNAN-MANAGUA

ANEXO 2

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO
MARSHALL”,**

**GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE MEZCLAS
BITUMINOSAS**

			
ASFALTOS INDUSTRIALES S.A.			
Área de Control de Calidad			
Código:	Trabajo Monografico UNAN- Managua	Fecha de Ensayo:	30/9/2021
Actividad:	GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE	Revisado por:	Ing. Fátima Acevedo.
Diseñado por:	Cindy Sandoval & Norelys Calero.		

Limpiar Datos

Mostrar Panel de Navegación

Ir a Menú

Gravedad Específica Bruta de Mezclas Bituminosas Compactadas

Producida en Planta	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de mezcla a ensayar	
Producida en Laboratorio	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Caliente	<input checked="" type="checkbox"/>
Pavimento Existente	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Frío	<input type="checkbox"/>

No. De especímen	1	2	3	Media
Espesor de especímen, mm:	62.7	62.5	62.9	62.7
Masa seca en el aire, g	1,278.4	1,276.9	1,280.1	1,278.5
Masa Sumergida, g	772.1	772.3	772.1	772.2
Masa Saturada Superficie Seca,	1,278.9	1,277.6	1,281.1	1,279.2
Temperatura del agua, °C	25	25	25	25.0
Volumen equivalente de muestra,	506.8	505.3	509.0	507.0
G. Específica Bruta sin	2.522	2.527	2.515	2.521
Factor de corrección por temperatura K	1.000000	1.000000	1.000000	-
Gravedad Específica Bruta	2.522	2.527	2.515	2.521
Absorción de Agua, %	0.1	0.1	0.2	0.1

Corrección de la Gravedad Específica Bruta cuando la temperatura de ensayo difiere de 25 °C

Temperatura de agua, °C	24	25	26	27	28
Factor de corrección, K	1.000253	1.000000	0.999738	0.999467	0.999187

Gravedad Específica Máxima Teórica de Mezclas Bituminosas (AASHTO T 209)

No. Ensayos:	1	Media
Absorción de los agregados, %	1.1	1.1
Masa de la muestra húmeda, g	1,502.3	1,502.3
Masa Recipiente + agua +	7,698.5	7,698.5
Masa de recipiente + agua, g	6768.4	6,768.4
Cont. de agua en la mezcla, %	0.10	0.1
Masa de muestra seca, g	1,500.7	1,500.7
Volumen de la muestra, cm³	570.6	570.6
Corrección por Agregados Absorbentes	No	-
Masa de muestra SSS, g:	1,494.2	1,494.2
Vol. Corregido de la muestra,		
G. Específica Máxima Teórica:	2.644	2.644

ρ Bruta de mezcla a 25°C, kg/m³	2,514
ρ Máx. Teórica de mezcla a 25°C,	2,636

Cindy María Sandoval Lara

Vacíos con aire, % 4.7
Norelys Yesenia Rodríguez Calero

 ASFALTO INDUSTRIALES S.A. Área de Control de Calidad			
Código:	Trabajo Monografico UNAN- Managua	Fecha de Ensayo:	1/10/2021
Actividad:	GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 1.15% NEUMÁTICO	Revisado por:	Ing. Fátima Acevedo.
Diseñado por:	Cindy Sandoval & Norelys Calero.		

Limpiar Datos

Mostrar Panel de Navegación

Ir a Menú

Gravedad Específica Bruta de Mezclas Bituminosas Compactadas

Producida en Planta	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de mezcla a ensayar	
Producida en Laboratorio	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Caliente	<input checked="" type="checkbox"/>
Pavimento Existente	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Frío	<input type="checkbox"/>

No. De especímen	1	2	3		Media
Espesor de especímen, mm:	62.6	62.8	62.9		62.8
Masa seca en el aire, g	1,281.8	1,280.8	1,280.4		1,281.0
Masa Sumergida, g	773.7	772.7	770.4		772.3
Masa Saturada Superficie Seca, Temperatura del agua, °C	1,282.7	1,282.0	1,281.7		1,282.1
Volumen equivalente de muestra, G. Específica Bruta sin	509.0	509.3	511.3		509.9
Factor de corrección por temperatura K	2.518	2.515	2.504		2.512
Gravedad Específica Bruta	1.000000	1.000000	1.000000		-
Absorción de Agua, %	2.518	2.515	2.504		2.512
	0.2	0.2	0.3		0.2

Corrección de la Gravedad Específica Bruta cuando la temperatura de ensayo difiere de 25 °C

Temperatura de agua, °C	24	25	26	27	28
Factor de corrección, K	1.000253	1.000000	0.999738	0.999467	0.999187

Gravedad Específica Máxima Teórica de Mezclas Bituminosas (AASHTO T 209)

No. Ensayos:	1				Media
Absorción de los agregados, %	1.1				1.1
Masa de la muestra húmeda, g	1,514.4				1,514.4
Masa Recipiente + agua + Masa de recipiente + agua, g	7,711.7				7,711.7
Cont. de agua en la mezcla, %	0.10				0.1
Masa de muestra seca, g	1,518.9				1,518.9
Volumen de la muestra, cm³	575.6				575.6
Corrección por Agregados Absorbentes	No				-
Masa de muestra SSS, g:	1,494.2				1,494.2
Vol. Corregido de la muestra,					
G. Específica Máxima Teórica:	2.631				2.631

ρ Bruta de mezcla a 25°C, kg/m ³	2,505
ρ Máx. Teórica de mezcla a 25°C,	2,623

Vacíos con aire, %	4.3
--------------------	------------

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-
MANAGUA**



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**
UNAN-MANAGUA

ANEXO 3

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO
MARSHALL”,**

ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS BITUMINOSAS

 ASFALTO INDUSTRIALES S.A. Área de Control de Calidad			
Código:	Trabajo Monografico UNAN- Managua	Fecha de Ensayo:	5/10/2021
Actividad:	GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 1.15% NEUMÁTICO	Revisado por:	Ing. Fátima Acevedo.
Diseñado por:	Cindy Sandoval & Norelys Calero.		

Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Bituminosas (AASHTO T 245)

Producida en Planta	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de mezcla a ensayar	
Producida en Laboratorio	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Caliente	<input checked="" type="checkbox"/>
Pavimento Existente	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Frío	<input type="checkbox"/>

# Especímen	Volumen cm ³	Estabilidad sin corregir (lbf)	Factor de Corrección	Estabilidad corregida (lbf)	Flujo Plástico	
					Lectura	mm
-						
1	509.3	6,030	1.00	6,030	11.8	2.95
2	509.3	5,458	1.00	5,458	10.4	2.60
3	511.3	5,329	1.00	5,329	15.2	3.80
4	527.0		0.96			
Media	514.2	5,605	0.99	5,605	-	3.10

Volumen cm ³	Espesor mm	Espesor Inch.	Factor de corrección
406.0	50.8	2	1.47
421.0	52.4	2 1/16	1.39
432.0	54.0	2 2/16	1.32
444.0	55.6	2 3/16	1.25
457.0	57.2	2 4/16	1.19
471.0	58.7	2 5/16	1.14
483.0	60.3	2 6/16	1.09
496.0	61.9	2 7/16	1.04
509.0	63.5	2 8/16	1.00
523.0	65.1	2 9/16	0.96
536.0	66.7	2 10/16	0.93
547.0	68.3	2 11/16	0.89
560.0	69.8	2 12/16	0.86
574.0	71.4	2 13/16	0.83
586.0	73.0	2 14/16	0.81
599.0	74.6	2 15/16	0.78
611.0	76.2	3	0.76

Cálculo de Flujo Plástico

Calcular Flujo Plástico

Limpiar datos de flujo

Tipo de Dial Utilizado

0.01 mm
 0.001 Inch

 ASFALTOS INDUSTRIALES S.A. Área de Control de Calidad			
Código:	Trabajo Monografico UNAN- Managua	Fecha de Ensayo:	5/10/2021
Actividad:	GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% CAUCHO + 2.5% AZUFRE	Revisado por:	Ing. Fátima Acevedo.
Diseñado por:	Cindy Sandoval & Norelys Calero.		

Estabilidad y Flujo Marshall de Mezclas Bituminosas (AASHTO T 245)

Producida en Planta	<input checked="" type="checkbox"/>	Tipo de mezcla a ensayar	
Producida en Laboratorio	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Caliente	<input checked="" type="checkbox"/>
Pavimento Existente	<input type="checkbox"/>	Mezcla en Frío	<input type="checkbox"/>

# Especímen	Volumen cm ³	Estabilidad sin corregir (lbf)	Factor de Corrección	Estabilidad corregida (lbf)	Flujo Plástico	
					Lectura	mm
-	cm ³					
1	506.8	4,881	1.04	5,076	12.4	3.10
2	505.3	4,836	1.04	5,030	11.9	2.98
3	509.0	4,741	1.00	4,741	12.9	3.23
4	527.0		0.96			
Media	512.0	4,819	1.01	4,949	-	3.10

Volumen cm ³	Espesor mm	Espesor Inch.	Factor de corrección
406.0	50.8	2	1.47
421.0	52.4	2 1/16	1.39
432.0	54.0	2 2/16	1.32
444.0	55.6	2 3/16	1.25
457.0	57.2	2 4/16	1.19
471.0	58.7	2 5/16	1.14
483.0	60.3	2 6/16	1.09
496.0	61.9	2 7/16	1.04
509.0	63.5	2 8/16	1.00
523.0	65.1	2 9/16	0.96
536.0	66.7	2 10/16	0.93
547.0	68.3	2 11/16	0.89
560.0	69.8	2 12/16	0.86
574.0	71.4	2 13/16	0.83
586.0	73.0	2 14/16	0.81
599.0	74.6	2 15/16	0.78
611.0	76.2	3	0.76

Cálculo de Flujo Plástico

Calcular Flujo Plástico

Limpiar datos de flujo

Tipo de Dial Utilizado

0.01 mm
 0.001 Inch

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-
MANAGUA**



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**
UNAN-MANAGUA

ANEXO 4

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO
MARSHALL”,**

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA



Ensayo Equivalente de Arena AASHTO T-176

Realizado por: Cindy Lara & Norelis Calero

Fecha: 30/6/2021

Revisado por: Ing. Fátima A.

Detalles del Agregado:

Agregado Fino 1/4", (PROINCO)

Muestra No.	1	2	3
Hora entrada	09:30	10:00	10:30
Hora de salida	09:40	10:10	10:40

Código de balanza: INV-EV-369

Código de horno: INV-EV-232

Código del equipo de equivalente de arena: INV-EV-312

Ensayo No.	1	2	3	PROMEDIO
Lectura de suspensión, (pulg)	5.0	4.9	4.9	
Lectura de arena, (pulg)	4.3	4.2	4.2	
Equivalente de arena (pulg)	86	86	86	86

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN-
MANAGUA**



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**
UNAN-MANAGUA

ANEXO 5

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA
MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL AC-30 Y LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS, BAJO EL MÉTODO
MARSHALL”,**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS



Evaluación De Granulometría De Agregado Propuesto [Material Tamaño Máximo Nominal 1/2"]



Realizado por:	Cindy Lara & Norelis Calero
----------------	-----------------------------

Fecha:	22/6/2021
--------	-----------

Revisado por:	Ing. Fátima A.
---------------	----------------

# de Muestra	1	2
ID. Recipiente	3	4
M. Inicial húmeda (g)	1571.7	1577.4

Detalles del Agregado:
Agregado 12.5mm, (PROINCO)

Cálculo de Humedad		
ID. Recipiente	T-2	T-3
Masa Húmeda (g)	306	655.6
Masa Seca (g)	303.4	646.9
% Humedad	0.86	1.34
Masa Seca Inicial (g)	1558.35	1556.47

Cálculo de pérdidas por Lavado		
# de Muestra	1	2
Masa de muestra lavada y seca (g)	1530.6	1537.7
Masa de pérdida por lavado (g)	27.75	18.77
Masa cribada menor a 75-µm (g)	1.4	1.2
Masa total menor a 75-µm (g)	29.15	19.97

Análisis Granulométrico De Agregados Finos Y Gruesos AASHTO T-27

ASTM E-11		M.Retenido de cada muestra acumulada			MUESTRA # 1		MUESTRA # 2		PROMEDIO
TAMICES		1	2	3	M. Ret Acumulada	Material que pasa	M. Ret Acumulada	Material que pasa	M. que pasa
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%
1"	25	0	0		0	100.0	0.0	100	100
3/4"	19	0	0		0.00	100.0	0.0	100	100
1/2"	12.5	108.6	98.8		7.0	93.0	6.3	93	93
3/8"	9.5	285.5	466.4		25.3	74.7	36.3	75	75
No. 4	4.75	845.4	815.5		79.5	20.5	88.7	20	20
No. 8	2.36	274	140.4		97.1	2.9	97.7	3	3
No. 16	1.18	7.6	2.9		97.6	2.4	97.9	2	2
No. 30	0.6	1.9	0.8		97.7	2.3	98.0	2	2
No. 50	0.3	1.7	0.7		97.8	2.2	98.0	2	2
No.100	0.15	1.5	1.9		97.9	2.1	98.1	2	2
No. 200	0.075	2.5	3.5		98.1	1.9	98.4	2	2
FONDO		1.4	6.1		100.0	0.0	100.0	0	0
VERIFICACION DE ENSAYO (AASHTO T-27; Sección 11)				(15)<0.27		0.00		0.00	0



Evaluación De Granulometría De Agregado Propuesto [Material Tamaño Máximo Nominal 1/4"]



Realizado por: Cindy Lara & Norelis Calero

Fecha: 22/6/2021

Revisado por: Ing. Fátima A.

# de Muestra	1	2
ID. Recipiente	3	4
M. Inicial húmeda (g)	1849.8	2010.5

Detalles del Agregado:
Agregado Fino 1/4", (PROINCO)

Cálculo de Humedad		
ID. Recipiente	T-1	T-4
Masa Húmeda (g)	541.6	274.5
Masa Seca (g)	528	264.6
% Humedad	2.58	3.74
Masa Seca Inicial (g)	1803.35	1937.99

Cálculo de pérdidas por Lavado		
# de Muestra	1	2
Masa de muestra lavada y seca (g)	1661.6	1774.3
Masa de pérdida por lavado (g)	141.75	163.69
Masa cribada menor a 75-µm (g)	70.9	35.1
Masa total menor a 75-µm (g)	212.65	198.79

Análisis Granulométrico De Agregados Finos Y Gruesos AASHTO T-27

ASTM E-11		M.Retenida de cada muestra acumulada			MUESTRA # 1		MUESTRA # 2		PROMEDIO
TAMICES		1	2	3	M. Ret Acumulada	Material que pasa	M. Ret Acumulada	Material que pasa	M. que pasa
Pulgadas	mm	g	g	g	%	%	%	%	%
1"	25	0	0		0	100.0	0.0	100	100
3/4"	19	0	0		0.00	100.0	0.0	100	100
1/2"	12.5	0	0		0.0	100.0	0.0	100	100
3/8"	9.5	0	0		0.0	100.0	0.0	100	100
No. 4	4.75	18.2	29.8		1.0	99.0	1.5	98	99
No. 8	2.36	450.4	458.3		26.0	74.0	25.2	75	74
No. 16	1.18	445.6	468		50.7	49.3	49.3	51	50
No. 30	0.6	267.8	305.5		65.5	34.5	65.1	35	35
No. 50	0.3	178.6	267.3		75.4	24.6	78.9	21	23
No.100	0.15	127.1	160.5		82.5	17.5	87.2	13	15
No. 200	0.075	96.2	52.3		87.8	12.0	89.9	10	11
FONDO		70.9	35.1		100.1	0	100.1	0	0
VERIFICACION DE ENSAYO (AASHTO T-27; Sección 11)				(15)<0.27		0.00		0.00	0

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.

“Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional AC-30 y las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, bajo el Método Marshall”.