

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERA CIVIL

Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto de Quito Mariscal Sucre.

AUTORES:

KARINA GABRIELA ANDRADE BENAVIDES

ANDREA SOLEDAD MONTALVO BENÍTEZ

DIRECTOR:

ING. GUSTAVO YÁNEZ

QUITO, 2020

Dedicatoria

A Dios por haberme permitido llegar a este momento de mi formación profesional, por su guía y su amor infinito.

A mis padres, los pilares de mi vida, quienes con su ejemplo de valentía y fortaleza han logrado que yo cumpla todas mis metas, por su paciencia, amor y esfuerzo, todo lo que hago es por y para ustedes.

A mis tíos, Victor y Teresa, sin ustedes este proceso no hubiera sido posible, por estar a mi lado desde el primer día.

A mis hermanas Daya y Danielita, por su cariño y apoyo incondicional.

A toda mi familia y amigos, por compartir los momentos más importantes conmigo.

Karina Andrade

Quiero dedicar ésta tesis a mis padres que por su sacrificio estoy culminando esta etapa tan enriquecedora que fue en mi vida.

A mis hermanos Valeria y Diego, a mis amigos y todas las personas que deseen aprender y nutrirse de información.

Andrea Montalvo

Agradecimientos

Le agradezco a Dios, por ser mi guía en los caminos más difíciles, gracias mi Dios por la incomparable familia que tengo, por tu amor y bondad que no tiene fin y por darme el título más valioso de todos, el título de ser tu hija.

Agradezco a mis padres, José y Gloria quienes con tanto amor, sacrificio y esfuerzo han educado a sus hijas que sin dudarlo darían su vida por ellos, gracias por toda la paciencia, confianza, por todo su apoyo a lo largo de mi carrera. Mami, gracias por ser mi ejemplo de mujer e hija, y es que no hay nada que no lo hagas bien, tu dedicación y entrega, junto con las energías y ánimos para despertar después de días difíciles, son mi mejor ejemplo. Papá, mi gran amor, gracias por enseñar y demostrar el esmero tanto a tu trabajo como a tu familia, gracias porque a pesar de mil enojos y desobediencias elegiste apoyarme y confiar en mí, de ti aprendo lo que es un amor incondicional.

Dios me regaló dos padres y dos madres, les agradezco a mis tíos, Víctor y Teresa, es difícil expresar mi gratitud con palabras, me siento infinitamente agradecida por todo el amor, el apoyo invaluable y la complicidad, espero poder llegar a hacer lo mismo o más de lo que han hecho por mí, en gran parte gracias a ustedes hoy soy lo que soy, estos logros se lo merecen.

A mi hermana Dayana, la que llena mis días de felicidad, gracias por ser más que mi hermana una amiga incondicional. Como había mencionado, Dios me premió también con una hermana extra, Dani gracias por ser mi compañera de vida, mi cómplice, por ser mi consejera.

A mis abuelitos en el cielo, Manuel y Rosita, gracias por ese legado de fe, amor, trabajo, honestidad y fortaleza; los abuelitos son los ángeles de los nietos, gracias a ustedes porque estoy segura que me iluminaron y me dieron la valentía para culminar hoy esta etapa.

A mis amigos Andre, Dani, Karlita, Naty, Chema, gracias por todo su apoyo a cualquier hora en cualquier momento.

Quiero dejar por escrito mis agradecimientos también a una persona muy especial, que sin duda Dios puso en mi camino, Sebastián, gracias por ser mi fuerza, por ser ese motor que a veces necesito para salir adelante, por todo tu apoyo y la felicidad que me das, te amo.

Karina Andrade

Agradecimiento

Quiero agradecer en primer lugar a mis Padres Omar y Jenny que en su inalcanzable lucha han logrado formarme de la mejor manera posible, los amo infinitamente y agradezco por proporcionarme de todo lo necesario para culminar mi vida profesional y forjarme como la persona que soy.

A mis abuelitos Marcia, Clara, Gonzalo y Augusto quienes con sus consejos y enseñanzas han logrado que tome decisiones acertadas en mi vida y me han proporcionado la sabiduría de sus experiencias muchas gracias.

A mis hermanos Valeria y Diego que han sido una pieza fundamental en mi vida ya que con su ejemplo hacen que yo quiera ser una mejor persona cada día al igual que con toda su ayuda y consejos que me han brindado solo me resta agradecerlos. A mis amigos Kary, Ceci, Danny, Cris, Paul, Anita, Doménica y Santy gracias por estar acompañándome en este trayecto de mi vida, cada cual apporto en mí de la mejor manera y por eso posee un espacio en mi corazón.

Por último, quiero agradecer a mis profesores y a la Pontificia Universidad Católica por brindarme la oportunidad de pertenecer y ser una profesional no solo formada en conocimientos sino en valores muchas gracias Ingenieros Gustavo, Wilson y Patricio ya que con su sapiencia y paciencia han logrado que hoy este aquí y quiera seguir fortaleciendo mis conocimientos, muchas gracias.

Andrea Montalvo

CONTENIDO

Contenido

CONTENIDO	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
ÍNDICE DE TABLAS	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS	V
ÍNDICE DE ECUACIONES	VI
ÍNDICE DE ANEXOS	VI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	XI
TEMA	1
CAPITULO I:	1
1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. Objetivos Principales	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO II:	5
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.1.1. Mezclas Asfálticas.	5
2.1.2. Mezclas Asfálticas Tibias	11
2.1.3. Polvo de neumáticos	13
2.1.4. Diseño Marshall	13
2.1.5. Diseño por Módulos	13
2.1.6. Aditivo	14
2.2. ALCANCE	15
2.3. ESQUEMAS BÁSICOS DE CONTENIDOS	15
2.3.1. Introducción	15
2.3.2. Metodología	16
CAPÍTULO III	18
3. Desarrollo del Marco Teórico	18
3.1. Análisis de los materiales	18

3.1.1.	Agregados.....	18
3.1.1.2.	Obtención de los agregados	20
3.1.2.	Neumáticos	22
3.1.3	Pulverizadora.....	23
3.1.4.	Tipos de trituradores	25
3.2.	Caracterización de los agregados	27
3.3.	Descripción y ejecución de los ensayos.....	27
3.3.1.	Granulometría ASTM C-136 (diciembre 1, 2014)	28
3.3.2.	Gravedad específica ASTM C29M-17a (abril 1, 2017) (ASTM C128-15) fino y (ASTM C127-15) grueso.....	30
3.3.3.	Resistencia al desgaste de los agregados gruesos, por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. ASTM C535-16 (junio 15, 2016)	41
3.3.4.	Equivalente de arena en el agregado fino ASTM D2419-14 (junio 1, 2014).....	43
3.3.5.	Resistencia de los agregados finos y gruesos mediante el uso de sulfatos ASTM C88-18 (agosto 21, 2018).....	44
4.	CAPÍTULO IV	47
4.1.	Mezclas Asfálticas Tibias	47
4.2.	Aditivos	47
4.2.1.	Aditivos Orgánicos:	48
4.2.2.	Aditivos químicos.....	48
4.2.3.	Aditivos minerales	50
4.3.	Ensayos del Asfalto	51
4.3.1.	Viscosidad absoluta (ASTM D2171/2171M-10).....	52
4.3.2.	Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10).....	52
4.3.3.	Punto de inflamación y combustión (ASTM D92).....	53
4.3.4.	Gravedad específica (ASTM D70-17).....	53
4.3.5.	Índice de penetración (ASTM D5)	54
4.3.6.	Ensayo para la determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36)....	54
4.3.7.	Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872).....	54
4.3.8.	Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17)	55
4.3.9.	Tabla resumen de ensayos de asfalto.....	55
4.6.	MEZCLA PROPUESTA	56
5.	CAPÍTULO V	57
	Diseño Marshall.....	57
5.1.	Propósito	57
5.1.1.	Propósito General	57
5.1.2.	Propósito Específico	57

5.2.	Equipo Utilizado para el Diseño.....	57
5.3.	Fundamentos del Diseño.....	58
5.4.	Técnica de Ensayo, Análisis de Datos y Cálculos.....	58
5.5.	Materiales Utilizados.....	59
5.6.	Propiedades Obtenidas.....	59
5.7.	Marshall realizado.....	60
5.7.1.	Procedimientos.....	61
5.7.2.	Cálculos.....	67
5.7.2.2.	Tabla y Gráficos Marshall con Aditivo (Zyco Therm)	72
CAPÍTULO VI.....		84
Conclusiones y Recomendaciones.....		84
6.1.	Conclusiones.....	84
6.2	Recomendaciones.....	86
6.2.	Bibliografía.....	88
6.3.	Anexos.....	91
6.3.3.	Ensayo de Sulfatos.....	94
6.3.4.	Ensayo Equivalente de arena.....	95
6.3.5.	Ensayo Granulometría del Caucho.....	96
6.3.6.	Ensayos cemento Asfáltico.....	97
6.3.7.	Marshall sin Aditivo.....	97
6.3.8.	Marshall con Aditivo.....	98
6.3.9.	Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil.....	99
6.3.10.	Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión.....	100
6.3.11.	Informe de resultados.....	102
6.3.11.	Fotos.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Propiedades requeridas en las mezclas asfálticas.	6
Ilustración 2. Ubicación mina Pifo (GOOGLE, 2020).....	21
Ilustración 3. Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-535).....	42
Ilustración 4. Máquina de los Ángeles (L.M.D.S., 2020).	43
Ilustración 5. Ensayo Equivalente de Arena (L.D.M.S., 2020).	44
Ilustración 6. Ensayo Desgaste de los agregados por acción de sulfatos (L.D.M.S., 2019).....	46
Ilustración 7. Aditivo ZycTherm.	48
Ilustración 8. Características del Aditivo ZycTherm.	49
Ilustración 9. Tabla Requisitos para el cemento asfáltico AC-20 INEN 2515.	51
Ilustración 10. Briquetas.	62
Ilustración 11. Mezcla de Briquetas.....	63
Ilustración 12. Mezclado con Aditivo para Briquetas.	63
Ilustración 13. Compactación.	64
Ilustración 14. Briquetas Enumeradas.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de mezclas asfálticas por temperatura.	9
Tabla 2. Clasificación de Rocas Ígneas (Asphalt, 2001).....	19
Tabla 3. Tipos de materiales por cantera.	22
Tabla 4. Análisis granulométrico de agregados	28
Tabla 5. Mezcla Propuesta.	29
Tabla 6. Pesos de las muestras del agregado grueso.	35
Tabla 7. Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.	35
Tabla 8. Pesos del agregado medio.	36
Tabla 9. Gravedad específica y Absorción del agregado medio.....	36
Tabla 10. Pesos y volumen del agregado fino.	36
Tabla 11. Gravedad Específica y Absorción del agregado fino.....	36
Tabla 12. Peso Específico Máximo de la muestra suelta natural.....	37
Tabla 13. Peso Específico Máximo de la muestra suelta con zyc Therm.....	37
Tabla 14. Peso Específico Máximo de la muestra suelta con aditivo y polvo de llanta vehicular....	37
Tabla 15. Peso Específico Máximo de la Muestra suelta con aditivo y polvo de llanta de avión. ...	38
Tabla 16. Peso específico Promedio de la mezcla de agregados.	38
Tabla 17. Peso Específico Virtual de la Mezcla de Agregados.	39
Tabla 18. Comprobación Peso Especifico de la Mezcla (5.9%).....	41
Tabla 19. Masa de los tamaños Indicados Resistencia al desgaste por abrasión.	41
Tabla 20. Resultados del ensayo Resistencia al desgaste por abrasión.	42
Tabla 21. Resultados Ensayo Equivalente de Arena.....	44
Tabla 22. N° Partículas y % Pérdida (Ensayo Resistencia a los sulfatos).	45
Tabla 23. Resultados del Ensayo de Resistencia a los sulfatos.	45
Tabla 24. Tabla Resumen de Ensayos de Asfalto.	55

Tabla 25. Análisis Granulométrico del Caucho.	56
Tabla 26. Mezcla Propuesta.	56
Tabla 27. Fundamentos de Diseño.	58
Tabla 28. Propiedades Obtenidas (Sin aditivo).	59
Tabla 29. Propiedades Obtenidas (Con aditivo).	60
Tabla 30. Propiedades Obtenidas (Con aditivo más partículas de llantas de carro).	60
Tabla 31. Propiedades Obtenidas (Con aditivo más Polvo de llantas de avión).	60
Tabla 32. Tabla Marshall Sin Aditivo.	67
Tabla 33. Porcentaje de Asfalto de Marshall sin aditivo.	71
Tabla 34. Comprobación del porcentaje de asfalto del Marshall sin Aditivo.	71
Tabla 35. Tabla Marshall con Aditivo Zyco Therm.	72
Tabla 36. Porcentaje de Asfalto con Zyco Therm.	75
Tabla 37. Comprobación de porcentaje de asfalto con Zyco Therm.	75
Tabla 38. Tabla Marshall Aditivo y polvo de Llanas de Auto.	76
Tabla 39. Porcentaje de asfalto de Marshall zyco Therm más llanta de auto.	79
Tabla 40. Comprobación de Porcentaje de asfalto de Marshall zyco Therm más llanta de auto.	79
Tabla 41. Marshall con Aditivo y polvo de llanta de avión.	80
Tabla 42. Porcentaje de asfalto de Marshall con Aditivo más polvo de llanta de avión.	83
Tabla 43. Comprobación del porcentaje de asfalto de Marshall con aditivo más polvo de llantas de avión.	83

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Granulométrico % que pasa vs tamices.	29
Gráfica 2. Gráfico Granulométrico.	56
Gráfica 3. Bulk vs % de Cemento Asfáltico.	68
Gráfica 4. Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico.	69
Gráfica 5. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.	69
Gráfica 6. V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico.	70
Gráfica 7. Flujo vs % de Cemento Asfáltico.	70
Gráfica 8. VAF vs % Cemento Asfáltico.	71
Gráfica 9. Bulk vs % Cemento Asfáltico.	72
Gráfica 10. Estabilidad vs % Cemento Asfáltico.	73
Gráfica 11. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.	73
Gráfica 12. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.	74
Gráfica 13. Flujo vs % Cemento Asfáltico.	74
Gráfica 14. VAF vs % Cemento Asfáltico.	75
Gráfica 15. Bulk vs % Cemento Asfáltico.	76
Gráfica 16. Estabilidad vs % Cemento Asfáltico.	77
Gráfica 17. Vacío vs % Cemento Asfáltico.	77
Gráfica 18. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.	78
Gráfica 19. Flujo vs % Cemento Asfáltico.	78
Gráfica 20. VAF vs % Cemento Asfáltico.	79
Gráfica 23. Bulk vs % Cemento Asfáltico.	80
Gráfica 24. Estabilidad vs % Cemento Asfáltico.	81

Gráfica 25. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.	81
Gráfica 26. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.	82
Gráfica 27. Flujo vs % Cemento Asfáltico.	82
Gráfica 28. VAF vs % Cemento Asfáltico.	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Gravedad Específica del Agregado Grueso.	30
Ecuación 2. Gravedad específica saturada con superficie seca.	31
Ecuación 3. Gravedad específica aparente.	31
Ecuación 4. Porcentaje de absorción agregado grueso.	31
Ecuación 5. Densidad relativa promedio.	32
Ecuación 6. Valor de la absorción promedio.	32
Ecuación 7. Masa añadida al matraz.	33
Ecuación 8. Gravedad específica bulk agregado fino.	33
Ecuación 9. Gravedad específica saturada con superficie seca del agregado fino.	34
Ecuación 10. Gravedad Específica aparente.	34
Ecuación 11. Porcentaje de Absorción del agregado fino.	34
Ecuación 12. Peso Específico de la mezcla de agregados.	38
Ecuación 13. Peso Específico virtual de la mezcla de agregados.	39
Ecuación 14. Equivalente de arena en el agregado fino.	43
Ecuación 15. Resistencia a los sulfatos.	45
Ecuación 16. Viscosidad cinemática de materiales bituminosos.	52
Ecuación 17. Corrección del punto de inflamación y combustión.	53
Ecuación 18. Gravedad específica de los materiales bituminosos.	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis Granulométrico de los Agregados.	91
Anexo 2. Cálculos Ensayo de Pesos Específicos y Granulometría.	92
Anexo 3. Cálculos Ensayo de Gravedad Específica.	93
Anexo 4. Cálculos Ensayo Desgaste a los Sulfatos.	94
Anexo 5. Cálculos Ensayo Equivalente de Arena.	95
Anexo 6. Cálculos Ensayo Granulometría del Caucho.	96
Anexo 7. Cálculos Ensayo Cemento Asfáltico.	97
Anexo 8. Cálculos de Marshall Sin Aditivo.	97
Anexo 9. Gráficas Marshall Sin Aditivo.	98
Anexo 10. Cálculos Marshall Con Aditivo.	98
Anexo 11. Graficas Marshall con Aditivo.	99
Anexo 12. Cálculos Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil.	99
Anexo 13. Gráficas Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil.	100

Anexo 14. Cálculo Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión	100
Anexo 15. Gráficas Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión.	101
Anexo 16. Informe de Resultados Pág. 1.	102
Anexo 17. Informe de Resultados Pág. 2.	103
Anexo 18. Informe de Resultados Pág. 3.	104
Anexo 19. Informe de Resultados Pág. 4.	105
Anexo 20. Informe de Resultados Pág. 5.	106
Anexo 21. Laboratorios	107
Anexo 22. Laboratorio Cuarteo, medición, peso.	107
Anexo 23. Laboratorio, Agregados.	108
Anexo 24. Laboratorio Pesos Balanza.	108
Anexo 25. Laboratorio, Mezcla Material.	109
Anexo 26. Laboratorio, Preparación Briquetas.	109
Anexo 27. Laboratorio, Compactación Briquetas.	110
Anexo 28. Laboratorio Ensayos Marshall.	110
Anexo 29. Laboratorio, Briquetas.	111

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

“: Pulgadas.

°C: Grados Centígrados.

°F: Grados Fahrenheit.

µm: micrómetro.

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation.

ACI: American Concrete Institute.

ASTM: American Society for Testing and Materials.

C.A.: Cemento Asfáltico.

Cm: Centímetros.

CO₂: Dióxido de Carbono.

Gr: Gramos.

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Kg: Kilogramos.

Km: Kilómetros.

Kpa: Kilopascal.

LDMS: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales.

Lt: Litros.

Min: Minutos.

Mm: Milímetros.

MOP: Ministerio de Obras Públicas.

NEVI: Normativa Ecuatoriana Vial.

S: Segundos.

RESUMEN

El presente proyecto, tiene como finalidad evaluar el comportamiento de las mezclas asfálticas tibias, que su principal diferencia con las mezclas convencionales está en la elaboración, colocación y compactación ya que se las realiza a temperaturas que se encuentran por debajo de las convencionales.

El impacto ambiental que genera la elaboración de una mezcla asfáltica, es uno de los motivos primordiales para producir mezclas asfálticas tibias, que tienen la capacidad de reducir considerablemente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Las mezclas asfálticas tibias cuentan con interesantes beneficios que pueden cambiar los resultados tanto en su elaboración y colocación, como en cuanto a costos de energía y producción. Ventajas entre las cuales predominan:

- La reducción considerable de la viscosidad del asfalto y del consumo de combustible.
- La facilidad de compactación y mejora en condiciones de trabajo.
- La viabilidad de transportar a grandes distancias la mezcla asfáltica.
- Evita la oxidación del asfalto por su disminución en los porcentajes de vacíos en la mezcla asfáltica compactada.
- Incremento de la densidad.
- La tolerancia para incorporar productos reciclables y tener una reducción ambiental formidable.

En el Laboratorio en Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales (L.D.M.S.), se ejecutó la parte práctica de la presente investigación; se desarrolló el diseño y estudio utilizando el método Marshall, en el cual se fueron combinando los materiales que se decidió emplear (polvo de neumáticos de aviones, polvo de neumático de automóviles y el aditivo Zycotherm), obteniendo muestras o briquetas de la mezcla con sus respectivos componentes mencionados, para esto se necesitó de un acompañamiento de la normativa y de personal experimentado. En el proceso de preparación de las muestras obtenidas se fueron determinando las propiedades que resaltan su efectividad ante las mezclas convencionales.

PALABRAS CLAVES:

Mezclas Asfálticas Tibias, temperatura, polvo de neumáticos de aviones, polvo de neumáticos de automóviles, aditivos, Zycotherm.

ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the behavior of warm asphalt mixtures; the main difference from conventional mixtures is the production, settlement and compaction since they are performed at temperatures below conventional ones.

The environment is one of the primary reasons for producing a warm asphalt mixture, which allow to an important reduction of the emission of CO₂ gases to the atmosphere.

Warm asphalt blends have interesting benefits that can change the results, in the processing and settlement of them, as well as in terms of energy and production charges. Advantages among which predominate:

- Significant reduction of asphalt viscosity and fuel consumption.
- Ease of compaction and improvement in working conditions.
- The feasibility of transporting the asphalt mixture over long distances.
- Prevents the oxidation of asphalt by its decrease in the percentages of vacuums in the compacted asphalt mixture.
- Increased density.
- Tolerance to incorporate recyclable products and have a formidable environmental impact reduction.

In the Laboratory in Soil Mechanics and Materials Testing (L.D.M.S.), the practical part of this research was carried out, the design and study was developed using the Marshall method, in which the materials that were decided to be used (aircraft tyre dust, car tyre dust and Zycotherm additive) were combined. Obtaining samples or briquettes from the mixture with their respective mentioned components, for which an accompaniment of the regulations and experienced personnel was required. In the process of the preparation to the obtained samples, the properties that highlight their efficiency against conventional mixtures were determined.

KEYWORDS:

Warm Asphalt Blends, Temperature, Aircraft Tire Dust, Car Tire Dust, Additives, Zycotherm.

TEMA

“Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto de Quito Mariscal Sucre”.

CAPITULO I:

1.1. JUSTIFICACIÓN

Las mezclas asfálticas utilizadas actualmente, presentan inconvenientes a futuro en las vías de acceso en la ciudad de Quito, debido a la carencia de información acerca de técnicas que garanticen una mejor calidad de mezclas asfálticas que puedan generar una mejora en las propiedades físicas y químicas de las mismas.

Al realizar la constitución del pavimento hay variables que debemos considerar como el crecimiento poblacional, el tipo y cantidad de tráfico que se presentan, lo cual elevará los estándares y tendrá más solicitudes la estructura de pavimento por lo cual se debe considerar añadir materiales que lo hagan más resistente.

Dentro de la infraestructura vial, las carreteras asfaltadas forman parte del desarrollo de un país, es por esto que se trata de promover mezclas asfálticas accesibles y amigables con el medio ambiente, dichas mezclas son las mezclas asfálticas tibias, que han gozado de una importante aceptación alrededor del mundo. Las mezclas asfálticas tibias no solo ofrecen una oportunidad de ser más económico en varios aspectos técnicos, sino que también aportan grandes beneficios en la atmósfera, como reducir la producción de gases de efecto invernadero.

En la normativa vial NEVI-12 planteada por el Ministerio de Transporte y Obras públicas, se presentan especificaciones generales para un buen control y manejo ambiental (Volumen No. 3, Capítulo 200), que consideran de una manera peculiar a la industria de la construcción, tomando un enfoque hacia la contaminación ambiental; se ha tomado en cuenta que las plantas de producción de mezclas asfálticas son altamente contaminantes, es por eso que en

esta normativa propone concientizar y promover la inversión en proyectos que sean innovadores y a su vez logren disminuir considerablemente la contaminación ambiental generada, que en las mezclas asfálticas tibias se lograría.

En Quito existen plantas recicladoras de llantas, que cuentan con trituradoras que transforman al caucho de los neumáticos en material granular de varios tamaños, el cual puede ser manejable para cualquier tipo de producto, o a su vez ser mezclado y que forme parte de una mezcla que brinde algún tipo de resistencia y varios beneficios.

En nuestro país se aplican técnicas para realizar pavimentos más resistentes y durables con los recursos disponibles en los proyectos viales; que proporcionen minimizar problemas en obra y deterioro del pavimento debido a que se requiere menor susceptibilidad térmica que puedan resistir con el clima riguroso y el tránsito pesado.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es evidente la necesidad que tenemos en la actualidad por mitigar el daño al medio ambiente que se realiza a diario por parte de todas las actividades humanas, por esta razón hemos propuesto el tema de reutilizar los neumáticos usados y el polvo de los neumáticos de los aviones del aeropuerto Mariscal Sucre, estos últimos terminan en una escombrera que con el tiempo produce daño al medio ambiente.

Cabe indicar que cada año se desechan 2,4 millones de neumáticos de vehículos en el Ecuador, por este hecho hemos visto la manera de reutilizar estos desechos incorporándose pulverizados en las mezclas asfálticas tibias, para analizar su comportamiento y saber en dónde podría ser más conveniente utilizarlo en nuestro país. Se logrará mediante una correcta dosificación, presentaran mayores ventajas que los asfaltos convencionales de uso intensivo en nuestro medio y en las carreteras y caminos a nivel nacional.

Debemos indicar que en nuestra provincia es muy necesaria la comunicación en los sectores rurales, los mismos que al momento son por lo general empedrados y muchos casos en suelo natural, por lo que se podría utilizar estos pavimentos tibios que son ideales para tráfico medianos.

El propósito de esta investigación es contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas tibias, con la adición de polvo pulverizado de llantas de vehículos y aviones adicionando un

porcentaje de aditivo, que ayude a optimizar la calidad de la capa de rodadura y a la vez reducir las emisiones de gases que terminan en la atmósfera, consumo de combustible, y un aumento de energía en la elaboración de mezclas.

El principal resultado a obtenerse es el diseño óptimo de una mezcla asfáltica tibia con adición de polvo de llantas de automóviles y aviones y con un porcentaje de aditivo, para la construcción de pavimentos asfálticos, con la utilización de agregados y asfaltos de buena calidad y una dosificación adecuada en el laboratorio; buscando así, el cumplimiento de la normatividad de las instituciones técnicas encargadas, como son la ASTM, AASHTO y el Instituto del Asfalto ACI.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivos Principales

Determinar el comportamiento físico mecánico de una mezcla asfáltica modificada con polvo pulverizado de llantas de carros y el polvo que produce el frenado de los neumáticos de los aviones del aeropuerto Mariscal Sucre, con un aditivo determinado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar las características físico-mecánicas de las mezclas asfálticas tibias, utilizando polvo de llantas de carros y llantas de aviones.
- Analizar la razón del uso de las mezclas asfálticas tibias en lugar de las convencionales.
- Analizar las diferencias que se obtienen de una mezcla asfáltica tibia.
- Obtener un rendimiento ambiental que produzca la mezcla asfáltica tibia frente a las mezclas asfálticas calientes.
- Examinar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas tibias adicionando un porcentaje de aditivo.
- Determinar el porcentaje ideal de polvo de llantas de vehículos y llantas de aviones para obtener la mezcla modificada óptima mediante el método Marshall.

- Determinar el comportamiento de las mezclas asfálticas tibias, incorporando caucho tanto de aviones como de vehículos, producto del desecho de neumáticos y con un respectivo porcentaje de aditivo.
- Determinar las ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas tibias adicionando como material granular los cauchos de los neumáticos de vehículos y de aviones, mediante ensayos de laboratorio.

CAPÍTULO II:

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Mezclas Asfálticas.

“Las mezclas asfálticas resultan de la combinación de agregados pétreos y ligantes asfálticos, son producidas en plantas mezcladoras y en ocasiones se elaboran in situ.” (Rondón, 2015).

“Las mezclas asfálticas también recién el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en una centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.” (Kraemer et al, 2004).

En general, una mezcla asfáltica viene de una combinación de asfalto con agregados minerales pétreos en exactas proporciones. Las propiedades físicas de la mezcla, la determinan las proporciones de los minerales, así como también el desempeño que puede tener una mezcla asfáltica. Debe tener ciertos parámetros, entre los cuales recalcan, la durabilidad, resistencia, impermeabilidad, trabajabilidad, entre otros.

Su principal función es la de soportar las acciones directas de los neumáticos que transiten y así transmitir todas las cargas a las capas que se componen, proporcionando una resistencia en las capas de rodadura. La mezcla asfáltica, está vinculada a factores como la temperatura y duración de la carga, por esto, se debe tener en cuenta el material a utilizarse en la preparación de la mezcla.

Para (Asphalt Institute , 1992) el asfalto:

Sufre alteraciones físicas y químicas cuando es calentado y/o envejecido por periodos prolongados. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si

se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

Por otro lado, (García, 2010) señala:

El asfalto en Ecuador se obtiene del proceso de destilación del crudo que se ejecuta en la refinería de Esmeraldas, refinería principal del país y productora única de asfalto y diluidos asfálticos. Actualmente producen un solo tipo de asfalto que tiene las características de un AC 20.

Una mezcla asfáltica está compuesta por:

- Agregados pétreos (agregado fino y grueso) en un 90%
Siendo el agregado grueso (que sea retenido en el tamiz N° 4) y el agregado fino (que sea el retenido entre el tamiz N° 4 y 200)
- Polvo mineral en un 5% (Pasante de tamiz N° 200)
- Asfalto en un 5% (60 – 70 ó 80 - 100)

2.1.1.1. *Propiedades Físicas de las Mezclas Asfálticas*

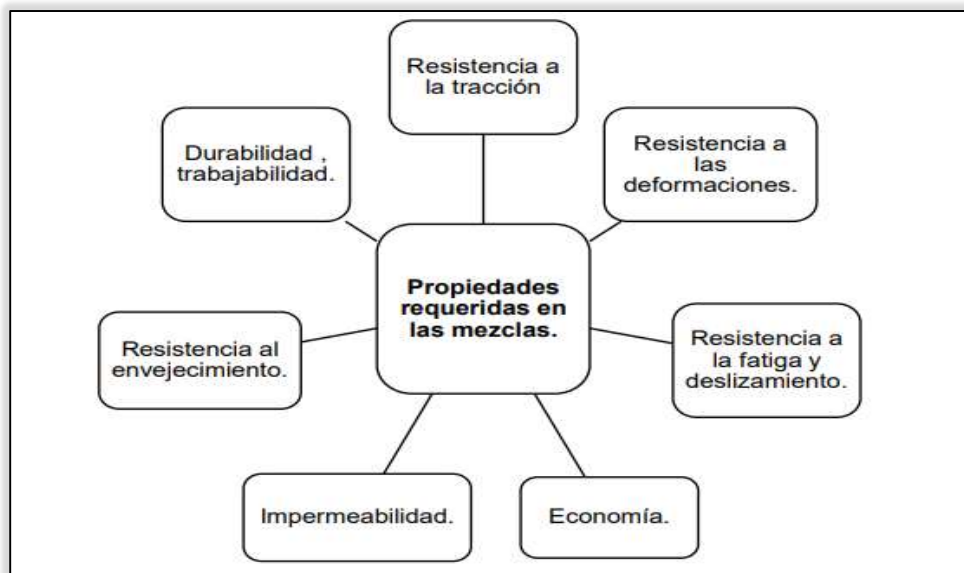


Ilustración 1. Propiedades requeridas en las mezclas asfálticas.

Fuente: Pavimentos: materiales, construcción y diseño 2015.

Autores como Linares (2010), definen a la durabilidad como:

Otra característica la cual indica que tanto puede un asfalto retener sus propiedades originales ya que constantemente es expuesto a los agentes externos produciéndose degradación y envejecimiento.

Trabajabilidad: es parte de las propiedades técnicas de las mezclas asfálticas; se refiere tanto a la facilidad al momento de su colocación, como también brindar una buena compactibilidad y resistencia a la desintegración superficial.

Resistencia al Envejecimiento: durante la mezcla, existe el proceso de oxidación, en el que se combina el asfalto con el oxígeno, esto puede pasar en temperaturas elevadas; se tienen maneras de retrasar ese proceso si se mantiene una poca cantidad de vacíos de aire junto con una gruesa capa de asfalto que cubra las partículas del agregado en el pavimento terminado.

Impermeabilidad: el asfalto tiene la capacidad de impedir que los componentes de la mezcla estén expuestos a los agentes atmosféricos, como el agua o la humedad.

Economía: para una mezcla asfáltica bien producida, se requiere de una serie de actividades y recursos, como materiales, mano de obra, aquellos que tienen una afectación directa al momento de producir una mezcla. Esto va a tener una variación dependiendo únicamente del rendimiento de los recursos necesarios.

Resistencia a la tracción: una mezcla asfáltica debe tener una resistencia a los altos esfuerzos y poder ser capaz de soportar las acciones de las cargas que se presenten.

Resistencia al deslizamiento: Capacidad del asfalto de resistir al escurrimiento o deslizamiento en presencia de la humedad.

Resistencia a las deformaciones: la mezcla debe tener cierta flexibilidad para ser capaz de soportar asentamientos sin agrietamiento.

2.1.1.2. Propiedades químicas de las mezclas asfálticas

El asfalto está compuesto por una serie de hidrocarburos, a esto se refiere a combinaciones de carbono e hidrógeno, con azufre, nitrógeno, oxígeno y otros elementos moleculares. Con esto se puede decir que una mezcla asfáltica está compuesta por elementos químicos complejos. Cabe recalcar que existe un grado de incertidumbre en el comportamiento de la estructura del pavimento y la composición química del cemento asfáltico, ya que la mayoría

de ensayos que se requieren para analizar su composición química necesitan de equipos sofisticados y una buena pericia técnica que en la mayoría de laboratorios no se encuentran disponibles.

Básicamente, el asfalto puede ser producido por procesos una vez que se acoplaron los crudos del petróleo, mediante procesos como el de extracción con solventes, en el cual se remueven del crudo más gasóleos, dejando un asfalto residual; también mediante un proceso de destilación por vacío.

Asphalt Institute (1992) concluye que “Para producir asfaltos con características específicas, se usa el crudo de petróleo o mezclas de crudos de petróleo. El asfalto es separado de las otras fracciones del crudo por medio de destilación por vacío o extracción con solventes.”

2.1.1.3. Clasificación de mezclas asfálticas

Para la clasificación de mezclas asfálticas se consideran varios parámetros, entre estos se tiene:

2.1.1.3.1. Fracciones del Agregado Pétreo en la mezcla

- **Masilla Asfáltica:** es una mezcla asfáltica con elevadas porciones de polvo mineral agregando un ligante, para la facilidad de disipación del agregado grueso; es decir compuesto por polvo mineral más un ligante.
- **Mortero Asfáltico:** Compuesto por agregado fino con masilla.
- **Concreto Asfáltico:** Compuesto por agregado grueso más el mortero.
- **Macadam Asfáltico:** Compuesto por un ligante asfáltico más agregado grueso.

2.1.1.3.2. Temperatura de la Mezcla

“Una temperatura adecuada de los agregados esencial para controlar la temperatura de la mezcla.” (Hernando & Palacio, 2011)

Mezclas Asfálticas en Caliente: este tipo de mezclas son las más convencionales, la temperatura de mezcla del agregado con el asfalto está entre los 135 a 180 °C, esta mezcla se realiza a estas temperaturas debido a que el asfalto debe estar en un estado de fluidez tal que cubra de manera homogénea el agregado y así obtener una buena manejabilidad y compactación.

Mezclas Asfálticas Tibias: aquellas mezclas que tienen una temperatura de producción por debajo de las mezclas asfálticas en caliente, es decir, se encuentran en un rango de temperatura de entre 100 a 135 °C, éstas mezclas son parte de una nueva tecnología con el fin de obtener beneficios al reducir la temperatura y compactación, así lograr beneficios como una disminución de la viscosidad empleando aditivos químicos, reducción de consumos de energía y las emisiones al medio ambiente.

Mezclas Asfálticas Frías: mezclas en las que se realiza su proceso a temperatura ambiente, combinando uno o más agregados con una granulometría controlada, agua y la emulsión asfáltica, teniendo un beneficio de poder ser fabricada en cualquier espacio.

Tabla 1. Clasificación de mezclas asfálticas por temperatura.

Nombre de la mezcla	Temperatura	Objetivo	Logro
Mezclas en frío	de 25°C a 60°C	Permitir la incorporación en la mezcla de una alta proporción, de material reciclado.	Las mezclas en Frío con emulsiones asfálticas donde los agregados se revisten a temperaturas bajas en una emulsión de asfalto en agua, pueden utilizarse como capas intermedias, capas de refuerzo e incluso, capas de rodadura.
Mezclas tibias WMA	100°C a 135°C	Reducir los requerimientos térmicos de las mezclas asfálticas	Se mantienen o mejoran las características de rendimiento final de la mezcla asfáltica, para ello se requiere tecnología para reducir la viscosidad del ligante durante las fases de mezcla y tendido, sin tener un efecto negativo a las temperaturas de uso.
Mezclas en caliente	135°C a 180°C	Producción de mezcla asfáltica convencionalmente.	Son mezclas producidas por técnicas convencionales donde la temperatura de producción es elevada. Estas mezclas son de alto desempeño.

Fuente: Comisión Permanente del Asfalto, (2008).

2.1.1.3.3. Proporción de vacíos

Es necesario que toda mezcla asfáltica tenga un porcentaje de vacíos controlado, tal que permitan fluir el asfalto de ser necesaria una compactación adicional. Esto puede reducir las deformaciones plásticas debido a las cargas de tráfico. A continuación, se detallarán el porcentaje de proporción de vacíos:

- **Mezclas Abiertas:** 12% de proporción de vacíos.
- **Mezclas Densas o Cerradas:** no mayor al 6%.
- **Mezclas Semi-Densas o Semi-Cerradas:** entre 6 al 10%.
- **Mezclas Drenantes o Porosas:** más del 20%.

2.1.1.3.4. Tamaño Máximo del Agregado Pétreo

Respecto al tamaño máximo del árido:

- **Mezclas Gruesas:** el tamaño del agregado o árido es mayor a los 10 mm.
- **Mezclas Finas:** morteros asfálticos o microaglomerados, conformados por agregado fino, ligante asfáltico y polvo mineral. El tamaño del agregado se encuentra del doble al triple del tamaño máximo (tamaño máximo superior de entre 5 a 8 mm).

2.1.1.3.5. Estructura del Agregado Pétreo

- **Con Esqueleto Mineral:** son las más empleadas, económicas y adaptables, son los aglomerados asfálticos y hormigones.
- **Sin Esqueleto Mineral:** estas mezclas contienen proporciones grandes de betún con ligante, son caras y de gran calidad.

2.1.1.3.6. Granulometría

- **Mezclas Continuas:** son las técnicas más comunes, sensibles al contenido del ligante, su estructura tiende a formarse de manera cerrada, y tiene una cantidad distribuida de los tamaños del agregado.
- **Mezclas Discontinuas:** pequeñas cantidades de tamaños del agregado pétreo, de entre 2 y 8 mm, tienen una excelente calidad, son impermeables, pero pueden tener presencia de deformaciones plásticas y cuentan con un precio elevado.

2.1.2. Mezclas Asfálticas Tibias

2.1.2.1. Definición

Es un grupo de tecnologías con la finalidad de reducir una temperatura de producción y de colocación de la mezcla, con esto se puede decir que una mezcla asfáltica en caliente se produce en el rango de 140 °C a 170°C y una mezcla asfáltica tibia puede producirse entre el rango de 105°C a 135°C gracias al uso de tecnologías que reducen viscosidad y mejoran su trabajabilidad.

2.1.2.2. Historia

En busca de desarrollar un asfalto que permita mejorar las propiedades y las condiciones de desempeño a temperaturas más bajas, se inició un proceso de producción de mezcla agregado – asfalto en Europa, conociéndose como la mezcla asfáltica tibia.

Lopera (2011) destaca que:

Desde la década de los ochenta se ha generado una importante tendencia hacia la investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y servicios, que puedan generar sostenibilidad ambiental por medio de la cual se pueda tener mitigación o una adaptación al cambio climático como problema de naturaleza compleja.

La demostración del proceso de un asfalto tibio, fue presentada oficialmente en el 2004, siendo las primeras pruebas realizadas en el continente americano en Florida y Carolina del Norte, en donde se investigaron y solucionaron los problemas obtenidos, sometidos a la norma American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Existen numerosas investigaciones ejecutadas en el continente americano, las cuales se han destacado por su valiosa aportación hacia ésta investigación sobre mezclas tibias, entre las cuales tenemos:

- Estados Unidos de América (USA): el país en el que empezaron a utilizarse las mezclas asfálticas tibias en el continente, realizaron varias investigaciones de renombre que han logrado originar programas de formación e ilustración para el correcto uso de las mezclas asfálticas tibias hasta la actualidad, siendo Texas uno de los estados de USA en ser líder en aplicación de estos asfaltos tibios; por otro lado, California también ha optado por aplicar este tipo de mezclas tibias suplantando a las mezclas en caliente, haciendo un futuro comprometedor para estas mezclas.
- En Sudamérica, existe una investigación relevante acerca de la utilización de partículas de caucho en la fabricación de las mezclas asfálticas tibias.
- En Ecuador, los neumáticos utilizados se consideraban como basura; últimamente se encuentran empresas con trituradoras especializadas en transformar los neumáticos que han terminado su vida útil para poder dar paso a productos que pueden llegar a ser parte de procesos como las mezclas asfálticas y llegar a brindar cierta resistencia que haga la diferencia con las mezclas convencionales.
- En Cuenca existe una planta que fabrica polvo de llanta reciclada llamado “Grupo Innovador del Caucho Cia.Ltda”, este grupo propone utilizar este polvo específicamente como parte de los materiales utilizados para mezclas asfálticas y para repavimentación.

Esta planta, lograría abastecer la demanda de caucho que se proponga si se aprobaría una reforma en el país que permita la utilización en construcción de vías para que su vida útil ascienda y sea una tendencia innovadora en el ámbito de la construcción de carreteras.

2.1.3. Polvo de neumáticos

En nuestro país, se está tomando en cuenta la recolección de llantas, éstas pasan por un proceso de trituración en máquinas para lograr un volumen disminuido y así facilitar en su transporte y disposición final.

Existen 2,4 millones de neumáticos, correspondientes a 55 000 toneladas, que en gran parte resultan desechados en el mar o se proceden a incinerar. Los neumáticos que no tienen un manejo adecuado en su proceso de reciclado, pueden alcanzar un impacto peligroso en el medio ambiente debido a su sinnúmero de componentes considerados negativos para la salud.

2.1.4. Diseño Marshall.

Se utiliza este método para la constitución de mezclas asfálticas, el objetivo de este es determinar el porcentaje óptimo de asfalto que debe usarse en la mezcla, así como la estabilidad, porcentaje de vacíos, y peso específico para el diseño.

The Asphalt Institute (1982) manifiesta que el método Marshall:

Puede ser usados en materiales de partícula máxima de 1 pulgada. Esta metodología consiste en la elaboración de 3 briquetas con distinto porcentaje de asfalto con medidas de 6.35 centímetros de espesor y 10 centímetros de diámetro, estas briquetas son compactadas en un martillo denominado compactador Marshall y el número de golpes en cada cara depende del tráfico que la infraestructura de carretera estará sometida, está especificado en la MOP-001 Tabla 405.5.4.

2.1.5. Diseño por Módulos

Este método considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa linealmente elástico, bajo la acción de las cargas de tránsito, se encuentran caracterizados por su módulo de elasticidad de Young y su relación de poisson. Los materiales se consideran homogéneos y las capas se asumen en una extensión en sentido horizontal.

Este procedimiento supone al asfalto como una estructura tricapa, en donde la capa superior es la carpeta asfáltica, la intermedia la granular y la inferior la subrasante.

2.1.6. Aditivo

En la actualidad, existen carreteras de alta calidad con pavimentos asfálticos que requieren propiedades cada vez más exigentes, para esto, se necesita complementar una mezcla asfáltica con un aditivo para obtener propiedades que brinden un mejoramiento y así lograr modificar fallas que se pueden producir en una mezcla asfáltica.

Para que un aditivo sea efectivo debe ser económico y práctico, es por esto que los aditivos deben tener objetivos como:

- Acrecentar el comportamiento mecánico,
- Aumentar su resistencia a la fatiga,
- Combatir contra las deformaciones permanentes o ahuellamientos,
- De fácil aplicación,
- Mantener estable su composición física y química durante el almacenamiento, empleo y servicio.
- Prolongar la vida útil de las mezclas asfálticas,
- Obtener un alto desempeño en asfaltos,
- Facilitar el empleo de asfaltos.

Para poder realizar una mezcla asfáltica tibia como se había mencionado, es necesario reducir las temperaturas tanto de producción como de compactación de las mezclas asfálticas, para ello se decidió usar el aditivo Zycotherm, es un aditivo que tiene organosilanos, el cual dentro de sus numerosas ventajas tiene la capacidad de brindar una mayor duración del concreto asfáltico a tiempo que mejora los procesos de fabricación, extendido y compactado, permite que la temperatura de mezclado baje entre 20°C a 35°C.

El adicionar zycotherm a la mezcla asfáltica, genera un aumento de adherencia entre el asfalto y los agregados, y puede generar una cobertura total. La mezcla tibia reduce la huella de carbono de la pavimentación asfáltica y las menores temperaturas de pavimentación prácticamente eliminan las emisiones y los olores.

2.2. ALCANCE

La presente investigación se va a realizar para que sea aplicable en la ciudad de Quito puesto que los agregados a utilizarse para la mezcla asfáltica en este proyecto son los mismos de la localidad, para la aplicación en otros sectores se deberá realizar los respectivos ensayos y diseños de mezclas utilizando los materiales disponibles de cada zona.

Para el desarrollo y ejecución se utilizará las instalaciones del laboratorio de suelos y pavimentos de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Los materiales para la mezcla provienen de la planta Holcim Pifo, ubicada al oriente de la ciudad en el sector de Pifo, esta planta trabaja con el agregado fino de la mina de Pifo, y con agregado grueso de la misma mina Cashapamba. El polvo de las llantas de carros será proporcionado por la empresa ECOCAUCHO, ubicada en la ciudad de Quito. El polvo de las llantas de aviones fue proporcionado por personal del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre de Quito.

El tiempo de duración de esta investigación es aproximadamente de seis meses, tiempo en el cual se va a obtener como resultado final el diseño de mezcla asfáltica modificada con polvo de llantas de carros, llantas de aviones, y con el aditivo Zycotherm; así podremos comparar con las mezclas convencionales y concluir en qué tipo de caminos podría aplicarse esta mezcla modificada.

2.3. ESQUEMAS BÁSICOS DE CONTENIDOS

2.3.1. Introducción

Ecuador Obras Públicas (2019) determina que:

Para el progreso de un país es importante las redes viales ya que facilitan el comercio y la comunicación; en el caso de nuestro país se considera que poseemos una red vial buena con una extensión aproximada de 43.1970 Km, en los cuales 5.608 Km (12.98% primarios), 3.876 Km (8.97% secundarios) y 33.710 Km (78.05% terciarios, vecinales y locales). En el Ecuador aproximadamente el 21.95% de la red vial estatal

y provincial está pavimentada, y el 78.05% de la red vial nacional está formada por caminos terciarios y vecinales, concentrados en la Sierra y con condiciones sub-óptimas de transitabilidad.

Esta propuesta de mezclas asfálticas tibias, es una manera de minimizar el impacto tanto físico como económico, que genera la construcción y el mantenimiento de las carreteras pavimentadas. Los beneficios que se obtendrán son el reducir energía durante el proceso de producción de esta mezcla asfáltica, así como también la reducción de producción y de colocación, reduce las temperaturas de mezclado, la compactación y viscosidad de la mezcla.

Mediante una investigación, se logró probar que existen varios métodos para producir estas mezclas tibias, en los cuales tienen en común, el reducir la viscosidad del asfalto a una temperatura determinada, con lo que se logra que el agregado se encuentre completamente cubierto a temperaturas más bajas que en las mezclas asfálticas en caliente.

2.3.2. Metodología

El desarrollo de este proyecto se lo hará mediante actividades y ensayos de laboratorio, los cuales son:

- Ubicación y selección de las fuentes de producción del polvo de neumáticos de aviones y automóviles, y mediante ensayos de laboratorio definir el material que resulte apropiado para la viscosidad del asfalto en las mezclas tibias.
- Caracterización del asfalto para definir sus propiedades.
- Dosificación y mezcla en laboratorio de las proporciones de aditivo, polvo de neumáticos, y el asfalto base.
- Realización de ensayos de viscosidad, para cada porcentaje de adición de polvo de neumáticos y el aditivo.
- Elaboración de curvas de viscosidad vs temperatura, ensayos de penetración, punto de ablandamiento e índice de penetración.
- Determinación del porcentaje óptimo de aditivo y de polvo de neumático, que proporcione al asfalto base la mayor disminución de la viscosidad a la misma temperatura y que cumpla...

- Definición de la fuente de los agregados para elaborar la mezcla asfáltica.
- Caracterización por medio de ensayos de laboratorio, los materiales a utilizar.
- Calcular la curva granulométrica para una mezcla asfáltica tibia.
- Elaboración del diseño de la mezcla asfáltica de acuerdo al método Marshall, dibujar las curvas, y definir la fórmula de trabajo.
- Comparación de los resultados de desempeño de la mezcla tibia con resultados de las mezclas en caliente.

CAPÍTULO III

3. Desarrollo del Marco Teórico

3.1. Análisis de los materiales

3.1.1. Agregados

3.1.1.1. Origen y Composición

Asphalt (2001) identifica que:

El agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen de las estructuras de pavimento.

Los materiales granulares los cuales necesitamos deben poseer las siguientes propiedades:

- Afinidad con el asfalto.
- Baja capacidad de absorción.
- Forma definida de la partícula.
- Resistentes a la compresión.
- Libre de impurezas que eviten una buena mezcla asfáltica.
- Graduación y tamaño máximo necesarios.

Las rocas se clasifican de la siguiente manera:

Rocas ígneas:

Existen dos tipos de rocas ígneas las extrusivas e intrusivas este tipo de rocas en general tienen un origen volcánico con esto podemos decir que ha pasado por un proceso de solidificación.

En cuanto a las rocas ígneas, Asphalt (2001) menciona que se diferencian de las intrusivas:

En cómo se forman, ya que son expulsadas y al estar en contacto libre con la atmósfera, pasan por un proceso de enfriamiento, el cual le brinda una estructura vidriosa. Al contrario de las rocas ígneas intrusivas, que se forman en las profundidades de la tierra y al no estar en contacto con la atmósfera se endurecen brindándoles una estructura cristalina.

Tabla 2. Clasificación de Rocas Ígneas (Asphalt, 2001)

CLASE	TIPO	FAMILIA
IGNEAS	INTRUSIVAS	GRANITO
		SIENITA
		DIORITA
		PERIODONITA
		PIROXENITA
	EXTRUSIVAS	HORNABLENDITA
		OBSIDIANA
		POMEZ
		TUFA
		RIOLITA
		TRAQUITA
		ANDESITA
		BASALTO
		DIABASA

Los agregados que se utilizaran, son rocas ígneas extrusivas como andesita y basalto, los cuales pueden ser:

Agregados naturales, que según Asphalt (2001):

Son aquellos que son utilizados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como el viento, el agua, el movimiento del hielo. Las gravas y arenas naturales utilizadas para la elaboración de pavimentos se clasifican: materiales en bruto, que son aquellos que son producidos en canteras

abiertas y usadas sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tomados de la ribera de un río, son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Agregados procesados, determina Asphalt (2001) como:

Aquellos agregados que han sido triturados y luego tamizados antes de ser utilizados. Existen dos fuentes principales de agregados procesados: gravas naturales que son trituradas para volverse más apropiadas para mezclas asfálticas, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser utilizados.

Agregado fino:

Se considerará como material fino toda partícula que pase el tamiz #10 (4.76mm) según la norma AASHTO

Agregado grueso:

Se considera como material grueso aquel que pasa los tamices previos al #10 y su material retenido en el (#10 incluido) según la norma AASHTO

3.1.1.2. Obtención de los agregados

Los agregados con los cuales se procederá trabajar, son obtenidos de la cantera Piedras Negras, el cual es material granular triturado, ubicada en la avenida Interoceánica barrio Sigsipamba , Pifo 170175 , provincia de Pichincha

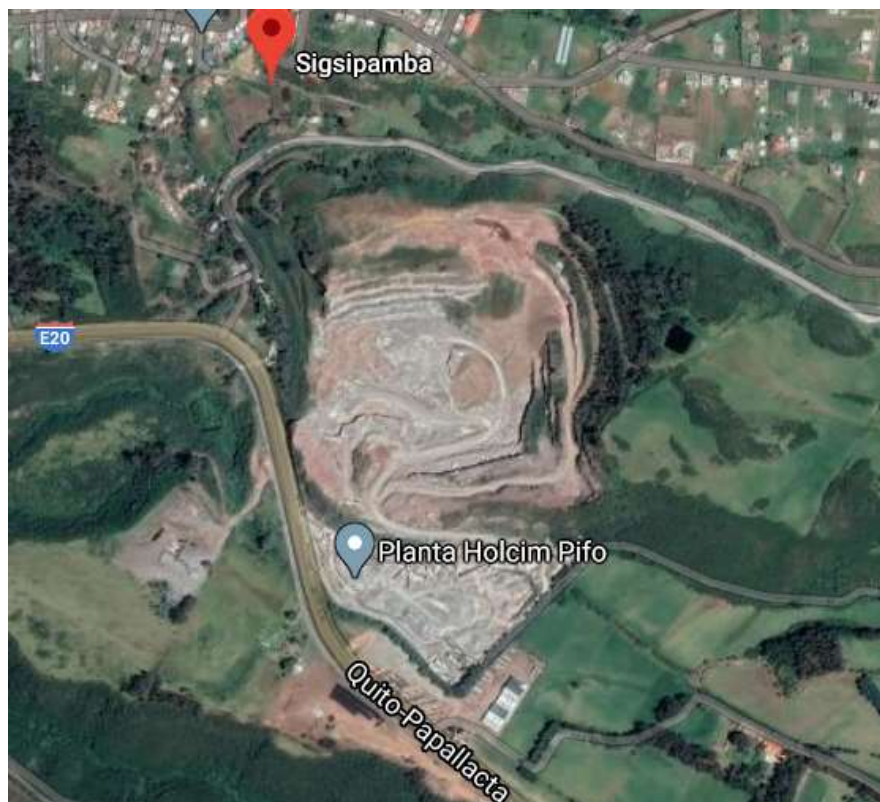


Ilustración 2. Ubicación mina Pifo (GOOGLE, 2020).

Resolución Nro. MRNNR-SRM-N-2014-1147-RES: Mediante la cual se permite explotar los materiales de construcción que puedan obtenerse del área denominada Pifo, la cual cubre una superficie que se encuentra formada por 36 hectáreas mineras contiguas que están ubicadas en los barrios Sigsipamba y La Virginia jurisdicción de la provincia de Pichincha.

Los materiales de la Mina Pifo corresponde a un flujo de lava del Antisana y transición a brechas localizadas en la superficie y piso del flujo; La brecha es una escoria espumosa al contrario de la lava que es masiva y aceptable la cual tiene conformados por coladas de andesitas contemporáneas a la depositación de la Formación Cangahua. Según INEMIN-BGR (1990), el flujo de Pifo mide más de 10 Km de largo y alcanza su ancho máximo (2 Km), a una distancia de 2.5 Km al E-SE de Pifo.

Andesitas: Presentan alto contenido de minerales máficos y se compone mayormente de piroxeno, plagioclasas y piroxenos. En menores cantidades se presentan feldespatos y cuarzo. Se caracteriza por una textura hipocristalina con abundantes fenocristales de plagioclasa entre

los félsicos y anfíbol, biotita o piroxenos entre los máficos, el contenido de cuarzo se encuentra entre el 5 y 10%.

Tabla 3. Tipos de materiales por cantera.

CANtera	MATERIA
POMASQUI	A-R-P
LLOA	A-R-P-L
PITAG	A-R-P
PIFO	A-R-CH

Fuente: Herrería y Villegas, ESPE, Sangolquí, (febrero 2008).

El gráfico nos indica que la cantera de Pifo proporciona los siguientes materiales: Arena, Ripio y Chispa.

3.1.2. Neumáticos

Un elemento cuyo material principal con el que se fabrica es el caucho, en América toma el nombre de cubierta, o llanta. Este dispositivo mecánico se lo coloca en la rueda de un automóvil, proporcionando adherencia, confort, estabilidad y suministran la tracción y el soporte del vehículo.

Caucho

Material que resulta de un corte de 1,5 milímetros en la corteza de un árbol, éste empieza a emanar gotas de látex, que pasan por un proceso de coagulación en el cual se va formando el caucho con el que los neumáticos son fabricados.

Neumático Usado

Los neumáticos que son desechados, se los recicla mediante algunos métodos tales como:

- Métodos mediante aplicación de calor (incineración),

- Métodos físicos (trituración),
- Trituración Mecánica,
- Conversión en energía eléctrica,

Al momento de realizar una trituración de los neumáticos se tiene una mezcla de caucho con metal que contienen los neumáticos originales, que serán quitados mediante imanes ó separadores magnéticos para dejar el caucho completamente libre y limpio.

Existen diferentes usos que pueden adquirir los neumáticos reciclados, por ejemplo:

- Componentes para mezclas asfálticas disminuyendo la utilización de áridos y así dar un paso al reciclado para beneficio del medio ambiente.
- Materiales para construcción.
- Suelos para juegos, como atletismo, tenis, etc.
- Alfombras.
- Bandas transportadoras.
- Suelas de zapatos.
- Pisos de goma.

3.1.3 Pulverizadora

La empresa en la cual se realizó el proceso de pulverizar los neumáticos de carros es Ecocaucho S.A., la cual está ubicada en al norte de la ciudad de Quito, en la parroquia de Carcelén.

Esta empresa inicia sus labores el 13 de junio del 2013, 100% ecuatoriana, realizando productos conformados de caucho reciclado, a través de trituración de neumáticos desechados.

Dicha gestión tiene como objetivo cerrar el círculo del neumático, asegurando la reutilización máxima de todos y cada uno de sus componentes en las distintas aplicaciones. ECOCAUCHO contribuye de manera activa y voluntaria al mejoramiento social y medioambiental de la comunidad.

INDUSTRIA RECICLADORA DE CAUCHO ECOCAUCHO, aporta a reducir la emisión de millones de toneladas de CO2 a la atmósfera, equivalente a plantar 500.000 hectáreas de pinos y ahorrando millones de barriles, y la contaminación de la naturaleza. (EcoCaucho S.A.,2017).

3.1.3.1. *Proceso de pulverización*

El proceso de esta empresa dedicada al reciclado de neumáticos empieza con los desechos de neumáticos adquiridos en plantas recicladoras, ya con estos se realiza un procedimiento de limpieza para que las partículas de polvo o tierra no queden adheridas en estos, se procede a llevarlos a la máquina de trituradora donde son convertidos en polvo de caucho el cual se lo puede dar uso gracias a la ingeniería de desarrollo y manufacturar nuevos accesorios para el uso de nuestras carreteras como rompe velocidades y muchas otras cosas elaborados gracias a este procedimiento.



Ilustración 3. Proceso de reciclaje de neumáticos (EcoCaucho S.A. 2017).

3.1.3.2. Polvo de llantas de aviones

Este material se consiguió del Aeropuerto Mariscal Sucre con la colaboración de un docente de la facultad el cual nos facilitó este material, que se produce al momento de aterrizar el avión en la pista, la fricción que se efectúa en el frenado genera este polvo que se desprende de los neumáticos del avión.

3.1.4. Tipos de trituradores

Se pueden clasificar todas las trituradoras:

Trituradoras por compresión: Son aquellas que comprimen el material hasta que este se rompe.

Trituradoras por Impacto: Son aquellas que usan el principio de impactos rápidos para triturar el agregado.

Las trituradoras de mandíbulas, cono, giratorias y de rodillos operan según el principio de compresión, mientras que las trituradoras de impactos y los molinos de martillos usan el principio de impacto.

3.1.4.1. Trituradoras de Impacto

Los dos tipos principales (trituradoras de impactos de eje horizontal y de eje vertical) se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto.

3.1.4.2. Trituración Primaria

El propósito de la trituración primaria es reducir el material a un tamaño que permita su transporte en bandas transportadoras. Cuando el material es fácil de triturar y no muy abrasivo, una trituradora de impactos puede ser la mejor solución para la trituración primaria.

3.1.4.3. Trituración Intermedia (Secundaria)

Para Olgúin (2016):

El propósito de la trituración intermedia es producir varios productos gruesos o preparar el material para el re trituración final. Normalmente no hay exigencias de calidad con la excepción de que el producto sea adecuado para la trituración fina. En la mayoría de los casos, el objetivo es obtener la mayor reducción posible con los menores costos.



Ilustración 4. Pilas de Material Pétreo (Holcim Pifo, 2019).



Ilustración 5. Máquina de Trituración (Holcim Pifo, 2019).

3.2. Caracterización de los agregados

Para la caracterización de los agregados se realizaron ensayos de laboratorio con los tres tamaños de materiales ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, y fino) para así conocer cuáles son sus propiedades físico-mecánicas y determinar si este nuevo material obtenido de la cantera del Colibrí cumple con las solicitaciones necesarias para la mezcla asfáltica.

3.3. Descripción y ejecución de los ensayos

Las propiedades de los materiales nos ayudarán a tener una mezcla asfáltica de calidad, es por ello que se debe ensayar los agregados y bitumen que van hacer colocados en nuestra estructura de pavimento para cumplir con los rangos estipulados en las normas vigentes.

Es por eso que en el Laboratorio de suelos y ensayo de materiales L.D.M.S se realizarán los ensayos normados con los materiales de la mina Pifo para conocer sus propiedades, es así

que se comprueba que los materiales cumplen las normas establecidas por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, institución encargada de la regulación de la construcción de puentes y caminos MOP-001 – F 2002

A continuación, se presenta los ensayos más importantes para la caracterización de los agregados.

3.3.1. Granulometría ASTM C-136 (diciembre 1, 2014)

Para elaborar el pavimento asfáltico es necesario que el tamaño del agregado esté dentro de un rango de proporciones, por lo cual se determina mediante tamices, estos tienen una abertura normada por INEN: 696, AASHO: T- 27, ASTM: C-136 específicamente de mayor a menor; es decir las partículas de mayor tamaño se quedan en los tamices superiores.

El ensayo para un análisis granulométrico empieza después de realizarse el cuarteo respectivo, para proceder a secar al horno la muestra que se seleccionó a 110 °C de temperatura, hasta alcanzar un peso constante.

Después del tamizado, el peso total debe ser comprobado con el peso original de la muestra que se tiene. Si el número o cantidad supera en más del 0.3% basado en el peso de la muestra seca, dicho resultado debe ser rechazado.

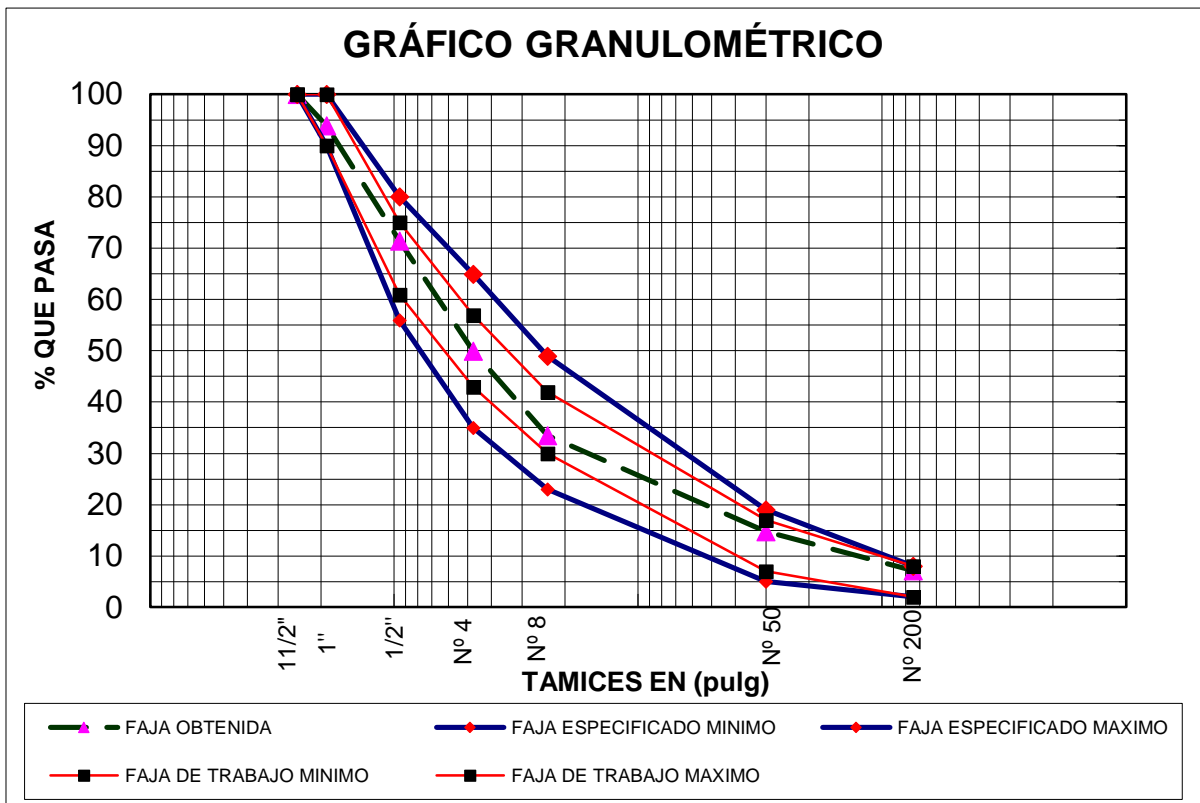
A continuación, en la tabla 4. Se indica la distribución granulométrica del material utilizado.

Tabla 4. Análisis granulométrico de agregados

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL	% RET. ACUM	% QUE PASA	PESO RET. ACUMU	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1, % QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	622,1	40,6	59,4	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8	1342,7	87,6	12,4	815,2	61,7	38,3	0	0	100	56	80
Nº 4	1411,2	92,1	7,9	976,9	74	26	421,6	29,5	70,5	35	65
Nº 8	1526,7	99,6	0,4	1023,5	77,5	22,5	767,9	53,7	46,3	23	49
Nº 50	1526,7	99,6	0,4	1295,4	98,1	1,9	1089,7	76,2	23,8	5	19
Nº 200	1526,7	99,6	0,4	1312,7	99,4	0,6	1264,3	88,4	11,6	2	8
Pasa 200	5,4	0,4		7,8	0,6		165,2	11,6			
TOTAL	1532,1			1320,5			1429,5				

Tabla 5. Mezcla Propuesta.

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
			AGREGADO GRUESO	15,00%	15,0	8,9	1,9	1,2	0,1
AGREGADO MEDIO	25,00%	25,0	25,0	9,6	6,5	5,6	0,5	0,1	
AGREGADO FINO	60,00%	60,0	60,0	60,0	42,3	27,8	14,3	7,0	
CURVA OBTENIDA			100,0	93,9	71,4	50,0	33,5	14,8	7,2
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±7%	±6%	±5%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	43	30	7	2
			100	100	75	57	42	17	8



Gráfica 1. Granulométrico % que pasa vs tamices.

3.3.2. Gravedad específica ASTM C29M-17a (abril 1, 2017) (ASTM C128-15) fino y (ASTM C127-15) grueso.

Gravedad específica es una propiedad que relaciona el peso del volumen del agregado y el peso de un volumen igual de agua, la cual es realmente importante para preparar mezclas asfálticas ya que los agregados son proporcionados según el peso, es importante tomar en cuenta la relación de vacíos que existe en las mezclas compactadas por lo cual esta propiedad es necesaria porque toma en cuenta todos los poros de la muestra, ya que agregados tienen porosidad lo cual va a afectar a la cantidad de asfalto que se necesita para cubrir al agregado en las mezclas asfálticas.

Peso específico efectivo excluye la porosidad o espacios capilares del volumen de la muestra, los cuales absorben asfalto.

Asphalt (2001) señala que “el peso específico aparente excluye la porosidad o espacios capilares del volumen de la muestra, que se saturaran de agua al mojar la muestra”.

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso:

1. Gravedad específica bulk, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ge = \left(\frac{A}{B - C} \right)$$

Ecuación 1. Gravedad Específica del Agregado Grueso.

En Donde:

Ge = Gravedad específica.

A = Masa seca de la muestra (gr).

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr).

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (gr).

2. Gravedad específica saturada con superficie seca, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ges = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 2. Gravedad específica saturada con superficie seca.

En Donde:

Ges = Gravedad específica del material saturado con superficie seca.

B = Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr).

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (gr).

3. Gravedad específica aparente, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Gea = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 3. Gravedad específica aparente.

En Donde:

Gea = Gravedad específica aparente.

A = Masa seca de la muestra (gr).

C = Masa de la muestra sumergida en el agua (gr).

4. Porcentaje de absorción, se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Ecuación 4. Porcentaje de absorción agregado grueso.

En donde:

A = Masa seca de la muestra pesada en el aire (gr).

B = Masa de la muestra saturada sumergida en agua (gr).

5. Valores de densidad relativa promedio, se calcula con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{1}{\frac{P1}{100 G1} + \frac{P2}{100 G2} + \frac{Pn}{100 Gn}}$$

Ecuación 5. Densidad relativa promedio.

En donde:

G= densidad relativa o promedio (Gravedad Específica)

G1, G2, ..., Gn= Densidad promedio para cada tamaño de fracción dependiendo del tipo de densidad relativa.

P1, P2, ..., Pn= Porcentaje en masa de cada tamaño de fracción en la muestra original.

6. Valor de la absorción promedio, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ab = \frac{P1 \times A1}{100} + \frac{P2 \times A2}{100} + \frac{P3 \times A3}{100}$$

Ecuación 6. Valor de la absorción promedio.

En donde:

Ab= porcentaje de Absorción promedio (%).

A1, A2, ..., An= porcentaje de absorción para cada tamaño de fracción.

P1, P2, ..., Pn= porcentajes en masa de cada tamaño de fracción presente en la muestra original.

Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino:

1. La masa añadida al matraz, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ma = Mmw - (Mm + B)$$

Ecuación 7. Masa añadida al matraz.

En donde:

Ma= Masa de agua añadida al matraz (gr).

Mm= Masa del matraz (gr).

Mmw= Masa del conjunto matraz, muestra y agua (gr).

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr).

2. Gravedad específica bulk, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ge = \frac{A}{500 - Ma}$$

Ecuación 8. Gravedad específica bulk agregado fino.

En donde:

Ge= Gravedad específica bulk.

A= Masa de la muestra seca (gr).

Ma= Masa de agua añadida al matraz (gr).

3. Gravedad específica saturada con superficie seca, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ges = \frac{B}{500 - Ma}$$

Ecuación 9. Gravedad específica saturada con superficie seca del agregado fino.

En donde:

Ges = gravedad específica del material saturado con superficie seca

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr).

Ma= Masa de agua añadida al matraz (gr).

4. Gravedad Específica aparente, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Gea = \frac{A}{500 + A + Mm - Mmw}$$

Ecuación 10. Gravedad Específica aparente.

En donde:

Gea= Gravedad Específica Aparente.

A= Masa de la muestra seca (gr).

Mm= Masa del matraz (gr).

Mmw= Masa del conjunto matraz, muestra y agua (gr).

5. Porcentaje de Absorción, se calcula con la siguiente ecuación:

$$Ab = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Ecuación 11. Porcentaje de Absorción del agregado fino.

En donde:

Ab= Porcentaje de absorción.

A= Masa de la muestra seca (gr).

B= Masa de la muestra saturada con superficie seca (gr).

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 2” y retenido en el tamiz N° 4.

Tabla 6. Pesos de las muestras del agregado grueso.

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4956
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3245

Tabla 7. Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso.

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,824
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,849
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,897
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	0,89

AGREGADO MEDIO

Material que pasa el tamiz 1" y retenido en el tamiz N° 4.

Tabla 8. Pesos del agregado medio.

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4885
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3134

Tabla 9. Gravedad específica y Absorción del agregado medio.

Gravedad específica de la masa = $A/(B-C)$	2,618
Gravedad específica de s.s.s = $B/(B-C)$	2,680
Gravedad específica aparente = $A/(A-C)$	2,790
% de Absorción = $(B-A)/A*100$	2,35

AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 3/8".

Tabla 10. Pesos y volumen del agregado fino.

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	480,9
V=	Volumen de la probeta	500
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	302,1

Tabla 11. Gravedad Específica y Absorción del agregado fino.

Gravedad específica de la masa = $A/(V-W)$	2,430
Gravedad específica de s.s.s = $500/(V-W)$	2,527
Gravedad específica aparente = $A/(V-W)-(500-A)$	2,690
% de Absorción = $(500-A)/A*100$	3,97

Peso Específico Máximo de la muestra suelta Natural (Ensayo Rice)

Tabla 12. Peso Específico Máximo de la muestra suelta natural.

	% de asfalto	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
A=	Peso de la muestra	1725,3	1623,2	1500	2000
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6365,6	6321,4	6272,5	6534,9
Densidad Rice gr/cc =	$A/(A + D - E)$	2,286	2,330	2,410	2,325

Peso Específico Máximo de la Muestra Suelta con Zyco Therm (Ensayo Rice)

Tabla 13. Peso Específico Máximo de la muestra suelta con zyco Therm.

	% de asfalto	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
A=	Peso de la muestra	1590	1725	2025	2200
D=	Peso del recipiente + agua	7730	7730	7730	7730
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	8688,8	8748,2	8912,9	8967,1
Densidad Rice gr/cc =	$A/(A + D - E)$	2,519	2,441	2,405	2,285

Peso Específico Máximo de la Muestra Suelta con Aditivo y Polvo de Llanta Vehicular (Ensayo Rice)

Tabla 14. Peso Específico Máximo de la muestra suelta con aditivo y polvo de llanta vehicular.

	% de asfalto	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
A=	Peso de la muestra	1500	1650	1522	1545
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6244,7	6335,2	6265,8	6261,5
Densidad Rice gr/cc =	$A/(A + D - E)$	2,307	2,325	2,337	2,277

Peso Específico Máximo de la Muestra Suelta con Aditivo y Polvo de Llanta de Avión (Ensayo Rice)

Tabla 15. Peso Específico Máximo de la Muestra suelta con aditivo y polvo de llanta de avión.

% de asfalto		5,0%	5,5%	6,0%	6.5%
A=	Peso de la muestra	1695,9	1545,4	1479,4	1500
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6366,3	6259,8	6239,1	6190,7
Densidad Rice gr/cc = $\frac{A}{(A + D - E)}$		2,340	2,271	2,329	2,130

Peso Específico Promedio de la mezcla de agregados

Tabla 16. Peso específico Promedio de la mezcla de agregados.

% de Asfalto		6,10%
% de agregado en la mezcla		93,90%
% de agregado 1. con asf/sin asf	15,0%	14,1%
% de agregado 2 con asf/sin asf	25,0%	23,5%
% de agregado 3 con asf/sin asf	60,0%	56,3%
Total de la mezcla de agregados	100,0%	93,9%
Peso Esp. Agreg 1		2,824
Peso Esp. Agreg 2		2,618
Peso Esp. Agreg 3		2,430

$$PeAg = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE1} + \frac{\%Ag 2}{PE2} + \frac{\%Ag 3}{PE3}}$$

Ecuación 12. Peso Específico de la mezcla de agregados.

En donde:

% de Agreg en la mezcla= Porcentaje de agregados en la mezcla

% Ag 1= Porcentaje de agregado 1

% Ag 2= Porcentaje de agregado 2

% Ag 3= Porcentaje de agregado 3

PE1= Peso específico agregado 1

PE2= Peso específico agregado 2

PE3= Peso específico agregado 3

$$PeAgr = 2,528 \text{ gr/cc}$$

Peso Específico Virtual de la Mezcla de Agregados

Tabla 17. Peso Específico Virtual de la Mezcla de Agregados.

% de Asfalto	5,90%
% de agregado en la mezcla	93,90%
Peso Específico mezcla (RICE) gr/cc	2,410
peso Específico cemento asf. gr/cc	1,015

$$PEv = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{100}{PE.rice} - \frac{\%c. Asf}{PE c. Asf}}$$

Ecuación 13. Peso Específico virtual de la mezcla de agregados.

En donde:

PEv= Peso específico virtual de la mezcla de los agregados

% de Agreg en la mezcla= Porcentaje de agregados en la mezcla

%c. Asf= Porcentaje de asfalto

PE.rice= Peso específico mezcla RICE

PE c.Asf= Peso específico del cemento asfáltico

$$PEv = 2,631 \text{ gr/cc}$$

% C.A. Absorbido por los Agregados

$$\%CA. a = \frac{(Pev - Peag)}{(Pev \times Peag)} \times 100 \times PE ca$$

Ecuación 14. Cemento Asfáltico Absorbido en la Mezcla por los Agregados.

En donde:

% CA. **a** = Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por los agregados

PEv= Peso específico virtual de la mezcla de los agregados

Peag= Peso específico de los agregados

PE ca= Peso específico del cemento asfáltico

$$\%CA. a = 10,0\%$$

Contenido Efectivo de Cemento Asfáltico

$$\%CA. e = \%ca - \frac{(\%ca. a)}{100} \times 100 \times \% Agr. Mezcla$$

Ecuación 15. Contenido Efectivo de Cemento Asfáltico.

En donde:

% CA. **e** = Porcentaje de contenido efectivo de cemento asfáltico

% ca= Porcentaje de cemento asfáltico

%ca.a= Porcentaje de cemento asfáltico absorbido por los agregados

% Agr.Mezcla= Porcentaje de agregado en la mezcla

$$\%CA. e = 5,84\%$$

Comprobación Peso Específico de la Mezcla (5.9% ca)

Tabla 18. Comprobación Peso Especifico de la Mezcla (5.9%).

A=	Peso de la muestra	2000
D=	Peso del recipiente + agua	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6568,3
Densidad Rice gr/cc =	$A/(A + D - E)$	2,419

3.3.3. Resistencia al desgaste de los agregados gruesos, por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. ASTM C535-16 (junio 15, 2016)

Este ensayo determina la resistencia al desgaste de los agregados, por lo que estos al estar en la capa superficial deben estar expuestos directamente a cargas de tránsito lo cual el desgaste que van a sufrir es irreversible. Este consiste en colocar los agregados en la máquina de los ángeles conjuntamente con un número de esferas determinado según la cantidad de muestra y la gradación del mismo. (Asphalt, 2001).

Tabla 19. Masa de los tamaños Indicados Resistencia al desgaste por abrasión.

TAMICES	MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS			
	PASA	RETENIDO	NORMA	PESADO
			(g)	(g)
1 1/2"	1"		1250 ± 10	1250
1"	3/4"		1250 ± 10	1250
3/4"	1/2"		1250 ± 10	1250
1/2"	3/8"		1250 ± 10	1250
	SUMAN:		5000 ± 10	5000

RESULTADOS:

Tabla 20. Resultados del ensayo Resistencia al desgaste por abrasión.

MASA INICIAL - g.	5000,0
Retenido N°12 después de 100 revoluciones - g.	4852,0
PERDIDA DE LAS 100 REVOLUCIONES : - g.	148,0
ABRASIÓN DE LAS 100 REVOLUCIONES : - %.	3,0%
Retenido N°12 después de 500 revoluciones - g.	3787,3
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES : - g.	1212,7
% ABRASIÓN DE LAS 500 REVOLUCIONES :	24,3%
Coeficiente de Uniformidad:	0,12
ESPECIFICACION MOP -001 F-2002:	no mayor al 40%

OBSERVACIONES:

El porcentaje de abrasión de la muestra es menor que el máximo de lo especificado por lo que este material puede ser utilizado para mezclas de hormigón, asfaltos y procesándola para las bases, súbbase y demás

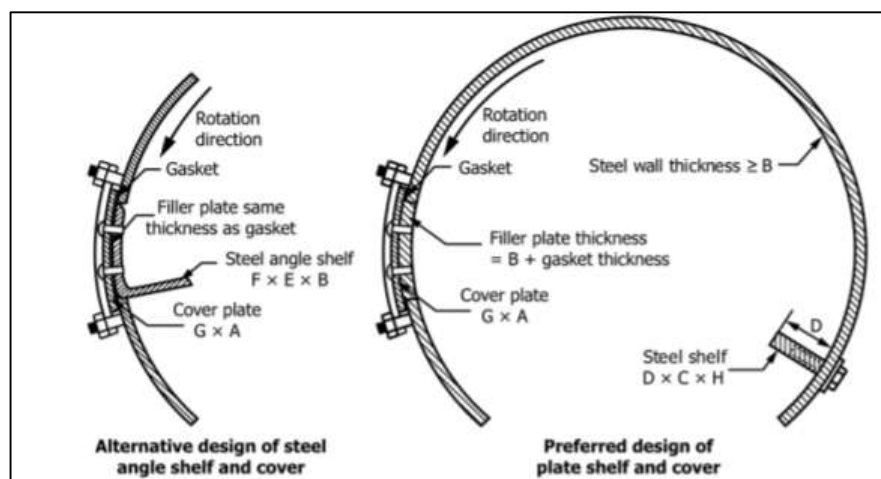


Ilustración 3. Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-535).



Ilustración 4. Máquina de los Ángeles (L.M.D.S., 2020).

3.3.4. Equivalente de arena en el agregado fino ASTM D2419-14 (junio 1, 2014)

Esta metodología se utiliza para determinar la presencia de partículas finas arcillosas en la arena, que afectan directamente a la durabilidad de la mezcla asfáltica.

Este ensayo nos indica la proporción y características de los agregados finos, así como las impurezas que poseen los mismos.

$$SE = \left(\frac{SR}{CR} \right) \times 100$$

Ecuación 14. Equivalente de arena en el agregado fino.

Donde:

SE = Equivalente de arena.

SR = Lectura de arena en centímetros (material sedimentado).

CR = Lectura finos (limo, arcilla, polvos) (material en suspensión).

Se realizarán 3 ensayos con el fin de obtener resultados representativos y descartar posibles errores.

Tabla 21. Resultados Ensayo Equivalente de Arena.

MUESTRA	LECTURA ARCILLA	LECTURA ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA
1	4,1	3,3	80,5%
2	3,3	2,7	81,8%
3	3,8	3,1	81,6%
ESPECIFICACIÓN	> 50%	PROMEDIO	81,3%

El porcentaje de equivalente de arena en la muestra es mayor que el mínimo requerido en la especificado por lo que este material puede ser utilizado para cualquier tipo de construcción siempre que no exista contaminación con otros materiales ya que está bordeando los límites de especificación.



Ilustración 5. Ensayo Equivalente de Arena (L.D.M.S., 2020).

3.3.5. Resistencia de los agregados finos y gruesos mediante el uso de sulfatos ASTM C88-18 (agosto 21, 2018)

El presente ensayo determina la resistencia de disociar de los agregados por la acción de sulfato de sodio o sulfato de manganeso para la preparación de mezclas asfálticas.

$$\%Dg = \left(\frac{m_o}{m_f} \right) \times 100$$

Ecuación 15. Resistencia a los sulfatos.

En donde:

%Dg = porcentaje de pérdida del material.

m_o = masa inicial retenida en el tamiz (g).

m_f = masa final retenida en el tamiz luego del ensayo (g).

Tabla 22. N° Partículas y % Pérdida (Ensayo Resistencia a los sulfatos).

TAMAÑO		N° DE PARTÍCULAS				PÉRDIDA
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	ANTES DEL ENSAYO		DESPUÉS DEL ENSAYO		
1½"	1"	100		99,3		1%
1"	¾"	100		99,1		1%

Tabla 23. Resultados del Ensayo de Resistencia a los sulfatos.

TAMAÑO		Peso antes ciclo	Peso después ciclo	Peso en inmersión	% desgaste
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ				
CONSISTENCIA (GRUESA)					
1½"	1"	1500	1493,4	6,60	0%
1½"	¾"	1500	1495,0	5,00	0%
¾"	⅜"	1000	993,7	6,30	1%
⅜"	N°4	300	297,2	2,80	1%
CONSISTENCIA (FINO)					
⅜"	N°4	100	99,1	0,90	1%
N°4	N°8	100	99,1	0,90	1%
N°8	N°16	100	98,8	1,20	1%
N°16	N°30	100	98,4	1,60	2%
N°30	N°50	100	97,5	2,50	3%
DESGASTE OBTENIDO LUEGO DE 5 CICLOS DE INMERSIÓN					1%

En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de magnesio máximo debe existir un 18% de pérdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de especificación.



Ilustración 6. Ensayo Desgaste de los agregados por acción de sulfatos (L.D.M.S., 2019).

4. CAPÍTULO IV

4.1. Mezclas Asfálticas Tibias

Las mezclas asfálticas tibias tienen una distinción, la cual es que pretenden disminuir la temperatura sin afectar las propiedades del asfalto, reduciendo así también, la viscosidad, que a bajas temperaturas se logrará utilizando el aditivo “Zyco Therm” como reductor, para poder observar qué tan bueno es su desempeño comparado con las mezclas asfálticas en caliente.

El parámetro más importante, es la temperatura, es la clave para obtener estas mezclas tibias ya que puede reducir tanto en costos de energía, como en la contaminación del medio ambiente; según investigaciones, los asfaltos tibios ayudan a reducir las emisiones de CO₂, NOX, polvos y aerosol orgánico debido al calentamiento de ciertos materiales para la obtención de un asfalto en caliente.

Existen varios autores que han realizado proyectos de investigación acerca de estas mezclas asfálticas tibias, como, por ejemplo, Larsen D., Daguerre L., Williams E., Asurmendi A., quienes llegaron a la conclusión de que la temperatura para este diseño puede variar de 20 a 55°C, esto permite también la adición de aditivos y los polvos antes mencionados; sin embargo, otros consideran que debe ser de 40 °C. En general, se habla de que se puede reducir de 30 a 60 grados Celsius la temperatura, colocando aditivos químicos u orgánicos que alteren el ligante asfáltico, y lograr probar esta nueva e innovadora tecnología.

En el caso de granulometrías y contenidos óptimos, estas mezclas tibias actúan y se rigen siendo diseñadas bajo los mismos criterios y métodos que las mezclas asfálticas en caliente, únicamente cambia la selección de temperatura de compactación.

4.2. Aditivos

Los aditivos se clasifican en tres grupos:

4.2.1. Aditivos Orgánicos:

Vera & Rojas (2018) mencionan que:

Los aditivos orgánicos son grasas o ceras parafinadas elaboradas por la conversión del gas natural incorporadas al aglomerante o a la mezcla, el objetivo de estos es reducir la viscosidad del bitumen.

4.2.2. Aditivos químicos

Los aditivos químicos son aquellos que actúan directamente en los agregados y el bitumen, la temperatura de compactación se reduce entre 20 °C a 40 °C con este tipo de agregados, se debe tener en cuenta que este tipo de aditivos no interfiere en la viscosidad del aglomerante.

4.2.2.1 ZycO Therm

ZycO Therm es uno de los aditivos más utilizados a nivel internacional, por sus múltiples beneficios y su buena trabajabilidad con polímeros, razón por la cual se escogió este aditivo como principal para la mezcla asfáltica tibia. En general, ZycO Therm es un aditivo que contiene organosilanos, que son moléculas puente reactivas que tienen la función de modificar la superficie del agregado, en una superficie llamada alkyl de forma permanente, la cual, al mezclarse con el asfalto mediante un enlace químico forma una unión total, expulsando el aire de la interacción del asfalto con el agregado.



Ilustración 7. Aditivo ZycO Therm.

Presenta diferentes beneficios, entre los cuales se tiene:

- Aumenta la trabajabilidad.
- Es uno de los aditivos que permite la reducción de temperatura entre 10-15 °C.
- Proporciona un aumento de distancias a las obras.
- Brinda un mejoramiento en los procesos de extendido, compactado y fabricación.
- Incrementa la adherencia entre asfalto y agregados.
- La oxidación de la mezcla puede ser reducida.
- Es altamente compatible con todos los polímeros.
- Aporta una mezcla sin segregación térmica y más homogénea.
- Concede un asfalto más resistente al agua y más negro.
- Empleado en mezclas tibias.

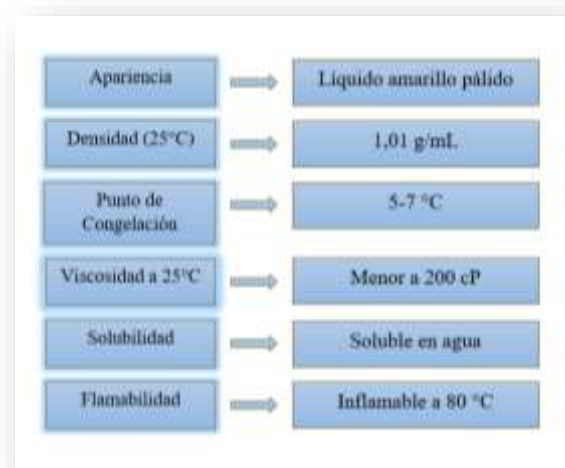


Ilustración 8. Características del Aditivo ZycoTherm.

Según sus etapas de fabricación, Zyco Therm muestra un comportamiento distinto, como los siguientes:

- En su primera fase, (antes del mezclado): como se había mencionado, este aditivo tiene cierta compatibilidad, su parte orgánica con los maltenos. Al momento de incorporar este aditivo al betún, constituye una fase de los coloides (son partículas de 0.001-1µm) que tienen dos partes, una que permita y otra que rechace la absorción de agua, llamadas micelas, esto se da mediante lo llamado micelización de asfaltenos. Esto mejora la trabajabilidad del betún, y proporciona una mayor facilidad y fluidez

para recubrir a temperaturas bajas ya que entre las resinas, los asfaltenos pueden moverse libremente.

- En su fase dos, (Contacto con el árido): en esta etapa, con la superficie de los áridos, el aditivo reacciona a nivel molecular, desarrollando compuestos y enlaces de tipo siloxano (resultado de la acción de silano con el agua). Esta etapa explica que los áridos se transforman en hidrófobas, que gracias a esto se aumenta la adhesividad. “Esto quiere decir que la acción de Zycotherm a una mezcla cualquiera, induce a que la unión árido-betún se produzca a nivel químico, y por lo tanto permanente, mejorándose así la resistencia del pavimento a los agentes degradantes habituales.” (Zydex Industries, 2015).

Zycotherm impulsa un procedimiento químico, formando capas compatibles con asfaltos y betún, esta unión se considera que es generada entre 10 a 20 veces más que si no se utilizara aditivo en la mezcla.

4.2.2.1.2. Dosificación y Mezclado

Dosificación:

El aditivo Zycotherm se va a combinar tanto con polvo de llantas de carros como de avión, y se recomienda dosificar en porcentajes de 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.8% y 1.0%, teniendo en cuenta el peso del cemento asfáltico.

Mezclado:

El mezclado se lo debe realizar con una inyección por goteo, previamente al almacenamiento del asfalto en planta y para brindar un mezclado adecuado, se debe recircular el tanque.

4.2.3. Aditivos minerales

Estos aditivos están compuestos de minerales hidrófilos de la familia de zeolitas, Esta familia de minerales son silicatos de aluminio que mejoran la trabajabilidad por un rango de tiempo de 6 a 7 horas hasta que la mezcla pueda alcanzar temperaturas inferiores a 100 °C.

4.3. Ensayos del Asfalto

Para proceder con los ensayos el cemento asfáltico AC-20 o bitumen, el cual fue obtenido de Holcim Pifo, el mismo que debe ser ensayado mediante metodologías como son ASTM (American Society for Testing Materials) y las normativas INEN (Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización), los cuales especifican los requerimientos que debe poseer un cemento asfáltico usado en mezclas asfálticas para que sea idóneo y sus valores estén en el rango de mínimos y máximos aceptables establecidos por dichas normativas.

Los requerimientos establecidos por la normativa INEN para el cemento asfáltico AC-20 se resumen en la siguiente tabla:

<i>Requisitos para el cemento asfáltico AC-20</i>				
Ensayo	Unidad	Grado de Viscosidad		Norma
		AC-20		
		Min	Max	
Viscosidad absoluta 60 °C	Pa.s	200±40		ASTM 2171
Viscosidad cinemática 135 °C	mm ² s ⁻¹	300	---	ASTM 2170
Punto de Inflamación	°C	232	---	NTE INEN 808
Gravedad Específica 25°C/25°C		Informe		ASTM D70
Índice de penetración		-1.5 a 1.0		ASTM D5/D5M
Viscosidad 60 °C	Pa.s	---	800	ASTM D2171
Cambio de masa	% (w/w)	---	1.0	ASTM 2872
Ductilidad 25 °C	cm	50	---	NTE INEN 915

Fuente: INEN 2515

Ilustración 9. Tabla Requisitos para el cemento asfáltico AC-20 INEN 2515.

4.3.1. Viscosidad absoluta (ASTM D2171/2171M-10).

Fiallos & Martin Unda (2018) señalan que:

La viscosidad representa la resistencia al flujo en el viscosímetro que presenta el líquido, en este caso el asfalto AC-20 a la temperatura de ensayo. La viscosidad se presenta en unidades de Pas. Este método solo es aplicable para materiales con viscosidades entre 0,0036 y 20000 Pas.

4.3.2. Viscosidad cinemática (ASTM D2170/D2170M-10).

La incidencia de la temperatura en el asfalto genera un cambio en su consistencia. La consistencia en función de su viscosidad determina la trabajabilidad con la que se puede efectuar una mezcla asfáltica, es por eso que Rondón Quintana & Reyes Lizcano (2015) consideran esta propiedad importante porque:

Es un parámetro físico que ha sido utilizado principalmente para determinar de manera aproximada, las temperaturas de fabricación de mezclas asfálticas (temperatura de mezclado entre el agregado pétreo y el asfalto en la planta de asfalto) y de extensión y compactación de dichas mezclas en el laboratorio superficie.

Adicionalmente, ofrece una medida indirecta de la consistencia y de la rigidez que presenta el asfalto, siendo por lo general el más rígido, aquel que experimenta mayor viscosidad, puede ser entendida como la resistencia que tiene un material a fluir sobre una superficie (Rondón & Reyes, 2015).

$$v = C \times t$$

Ecuación 16. Viscosidad cinemática de materiales bituminosos.

En donde:

C = constante de calibración del viscosímetro (mm^2/s^2).

t = tiempo de reflujo (s).

v = viscosidad cinemática (mm^2/s).

4.3.3. Punto de inflamación y combustión (ASTM D92).

Este ensayo resulta necesario para fines prácticos de seguridad puesto que los resultados que arroja permiten conocer la temperatura a la cual el bitumen podría entrar en combustión.

$$f = C + 0.033 \times (760 - P)$$

Ecuación 17. Corrección del punto de inflamación y combustión.

En donde:

C = temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

P = presión barométrica (mm Hg).

4.3.4. Gravedad específica (ASTM D70-17).

Se define como gravedad específica a la relación que existe entre la masa de un volumen especificado de bitumen con la masa de un mismo volumen de agua a 25°C .

$$Gs = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]}$$

Ecuación 18. Gravedad específica de los materiales bituminosos.

En donde:

A = masa del picnómetro con tapa seco (g).

B = masa del picnómetro lleno de agua (g).

C = masa del picnómetro parcialmente lleno de asfalto (g).

D = masa del picnómetro con asfalto y con agua (g).

La temperatura constante del ensayo debe ser de 25 °C.

4.3.5. Índice de penetración (ASTM D5)

El índice de penetración nos permite conocer la consistencia del asfalto mediante la medición de la altura que penetra una aguja normalizada en una briqueta de bitumen de medidas estandarizadas.

4.3.6. Ensayo para la determinación del punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D36).

Fiallos & Martin Unda (2018) señalan que:

El resultado de este ensayo nos permite determinar dos cosas; asegura la uniformidad del asfalto durante su transporte, indicador de su tendencia al flujo en bajas temperaturas.

4.3.7. Ensayo para determinar el cambio de masa (ASTM D2872).

American Society for Testing and Materials (2019) determina que:

Este ensayo tiene como objetivo conocer los efectos que producen el aire y el calor en una película de pared delgada de asfalto en este caso, además permite conocer el cambio de masa que se produce en el bitumen al realizar la mezcla en caliente a 150 °C.

4.3.8. Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17)

American Society for Testing and Materials (2019) menciona que:

Este método de prueba describe el procedimiento para determinar la ductilidad de un material de asfalto medido por la distancia a la que se alargará antes de romperse cuando dos extremos de una muestra de briquetas del material se separan a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. A menos que se especifique lo contrario, el ensayo se realizará a una temperatura de 25 ± 0.5 ° C [77 ± 0.9 ° F] y con una velocidad de 5 cm / min $\pm 5.0\%$. A otras temperaturas, se debe especificar la velocidad.

4.3.9. Tabla resumen de ensayos de asfalto.

Tabla 24. Tabla Resumen de Ensayos de Asfalto.

Resultado de la Caracterización del Asfalto AC20						
ENSAYO	NORMA	LÍMITES		UNIDADES	RESULTADO	CUMPLE
		Mín.	Máx.			
Viscosidad absoluta 60°C	ASTM D2171/ASTM D2171M-10	160	240	Pa*s	197.15	Sí
Viscosidad absoluta 135°C	ASTM D2171/ASTM D2171M-10	300	-	mm ² /s	339	Sí
Punto de Chispa copa abierta de Cleaveland	ASTM D92	232	-	°C	301	Sí
Punto de Llama copa abierta de Cleaveland	ASTM 92	-	-	°C	320	Sí
Densidad por el método del picnómetro	ASTM D70	-	-	Kg/m ³	975.22	Sí
Penetración a 25°C	ASTM D5/ASTM D5M	-15	1	-	0.74	Sí
Punto de ablandamiento	ASTM D36/ ASTM D36M	-	-	°C	50.4	Sí
Cambio de masa RTFO	ASTM D2872	-	1	%	0.94	Sí
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	-	cm	51	Sí

Análisis Granulométrico del Caucho

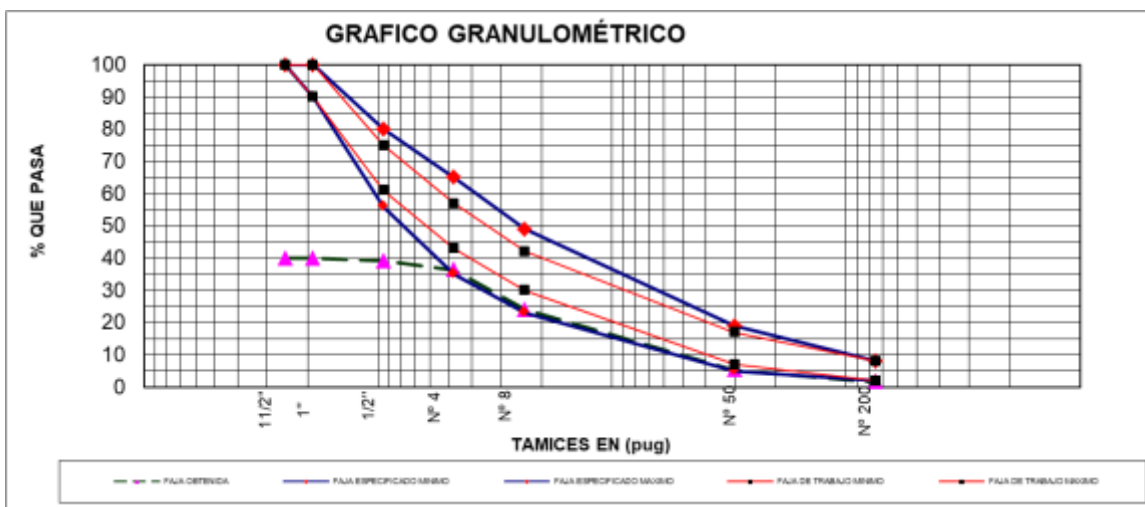
Tabla 25. Análisis Granulométrico del Caucho.

TAMIZ	CAUCHO DEL MOLIDO DE LLANTAS DE AUTOS			CAUCHO DEL MOLIDO DE LLANTAS DE AVIÓN			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 405-5.1,	
										% QUE PASA	% QUE PASA
1"	0	0	100	0	0	100				100	100
3/4"	0,0	0	100	0	0	100				90	100
1/2"	0,0	0	100	0	0	100					
3/8"	0,0	0	100	98,5	3,7	96,3				56	80
Nº 4	67,0	2,4	97,6	344,1	12,9	87,1				35	65
Nº 8	123,5	4,4	95,6	1633,3	61,2	38,8				23	49
Nº 30	1789,9	63,8	36,2	2076,4	77,8	22,2				18	30
Nº 50	2436,5	86,9	13,1	2312,8	86,7	13,3				5	19
Nº 200	2679,2	95,6	4,4	2569,6	96,3	3,7				2	8
Pasa 200	124,7	4,4		98,5	3,7						
TOTAL	2803,9			2668,1							

4.6. MEZCLA PROPUESTA

Tabla 26. Mezcla Propuesta.

FRACCIÓN	TAMICES	% USADO	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
			AGREGADO GRUESO	15.00%	15.0	15.0	15.0	14.6	14.3
AGREGADO MEDIO	25.00%	25.0	25.0	24.1	21.8	9.7	3.3	0.9	
AGREGADO FINO	60.00%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
CURVA OBTENIDA			40.0	40.0	39.1	36.4	24.0	5.3	1.6
PROMEDIO ESPECIFICADO			100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES			100	90	56	35	23	5	2
			100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS			±8%	±8%	±7%	±7%	±5%	±5%	±3%
FAJA DE TRABAJO			100	90	61	43	30	7	2
			100	100	75	57	42	17	8



Gráfica 2. Gráfico Granulométrico.

5. CAPÍTULO V

Diseño Marshall

5.1. Propósito

5.1.1. Propósito General

Determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla hecha en el laboratorio y procesarla en una planta de mezcla en caliente.

5.1.2. Propósito Específico

- Medir la estabilidad y flujo de las muestras.
- Determinar la cantidad de asfalto suficiente para recubrir completamente los agregados.
- Realizar un análisis de densidad–vacíos de la mezcla.

5.2. Equipo Utilizado para el Diseño

- Juego de elementos para ensayo Marshall, que incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordazas para ensayo con sus guías.
- Otros elementos tales como Tamices, balanzas, calentadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, baño María, extractores de muestras, etc.

5.3. Fundamentos del Diseño

Tabla 27. Fundamentos de Diseño.

Estabilidad	(lb.)	2200 mínimo (trafico muy pesado)
Flujo	(0.01")	8 – 14
Vacíos con aire	(%)	3 – 5
V.A.M	(%)	13 mínimo
V.A.F	(%)	64 – 75
Temperatura del asfalto	(°C)	140 – 160
Temperatura de los agregados	(°C)	140 – 160
Temperatura de la mezcla	(°C)	150
Nº golpes por capa		75
Relación filler/betún		0.8 – 1.2
Estabilidad retenida luego de 24h de inmersión en agua a temperatura ambiente	(%)	70 mínimo

5.4. Técnica de Ensayo, Análisis de Datos y Cálculos

Muestreo Necesario

Se recomienda por el método utilizado elaborar tres muestras para cada combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico elegido. Tanto los agregados como el asfalto deberán cumplir individualmente las especificaciones técnicas correspondientes a ellos.

Preparación de los agregados

Procedemos a secar los agregados por separado a una temperatura de 110°C hasta peso constante. Al tener el agregado procedemos a efectuar su granulometría por separado y luego realizamos las combinaciones necesarias para trabajar con las especificaciones técnicas y trabajamos con la graduación recomendada que, para nuestro caso es la faja de 3/4".

Para el método Marshall, con el cual es realizado este diseño, nos permite trabajarlo en planta en caliente utilizando las ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL MOP-001-F-2002 Y LAS INDICADAS POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO.

5.5. Materiales Utilizados

Para producir esta mezcla la cual será utilizada como carpeta asfáltica, se tritura materiales provenientes de la mina Pifo de la planta de Holcim, Parroquia Pifo, Provincia de Pichincha los cuales se les clasifica en tres tamaños:

Grava pasa 1” y retiene ½”

Grava pasa ½” y retiene ¼”

Agregado fino pasa ¼” (Este material esta previamente mezclado entre el fino de trituración y el fino del cribado)

El asfalto a utilizar será el producido en la refinería Estatal de Esmeraldas, denominado AC -20.

El aditivo utilizado es un aditivo de adherencia y ayuda en las propiedades térmicas para que las bajas de temperatura no provoquen daños prematuros, denominado Zyco Therm- E.

5.6. Propiedades Obtenidas

Partiendo de lo establecido en el método Marshal, el que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel que se logra obtener con el 4.0% de vacíos con aire, es así que con este contenido las demás propiedades deben cumplir con las especificaciones y normas respectivas; para este diseño se puede ver en el grafico que el 4% le obtenemos con 5,8% CA y las demás propiedades se indican en el siguiente cuadro.

- Sin Aditivo:

Tabla 28. Propiedades Obtenidas (Sin aditivo).

Estabilidad	2607
Flujo (pulgada/100)	13.0
V.M.A	14.20
V.A.F	70.20
Estabilidad retenida	2607

- Con Aditivo:

Tabla 29. Propiedades Obtenidas (Con aditivo).

Estabilidad	2287
Flujo (pulgada/100)	13.4
V.M.A	14.66
V.A.F	69.00
Estabilidad retenida	2287

- Con Aditivo+P rticulas de llantas de carro:

Tabla 30. Propiedades Obtenidas (Con aditivo más partículas de llantas de carro).

Estabilidad	2180
Flujo (pulgada/100)	18.0
V.M.A	16.32
V.A.F	77.31
Estabilidad retenida	2180

- Con Aditivo+Polvo de llantas de avión:

Tabla 31. Propiedades Obtenidas (Con aditivo más Polvo de llantas de avión).

Estabilidad	2192
Flujo (pulgada/100)	23.0
V.M.A	16.24
V.A.F	79.94
Estabilidad retenida	2192

5.7. Marshall realizado

El método Marshall empieza con una preparación de probetas en las cuales se debe tener en cuenta que el aglomerante, debe ser el cemento asfáltico combinado con los respectivos áridos, los cuales su tamaño máximo sea 25.4 mm (1") o menor; pero, previo a éste procedimiento, se debe considerar lo siguiente:

- Que los materiales ensayados cumplan con las especificaciones correspondientes.

- La dosificación de los agregados utilizados cumpla con las especificaciones de las normas en cuanto a granulometría.
- Disponer de un volumen suficiente de agregados divididos según su tamaño y previamente secos.
- Al realizar el análisis de vacíos y la densidad de la mezcla, determinar el peso específico real del cemento asfáltico y agregados pétreos.

En el laboratorio se propone realizar 3 muestras por cada porcentaje de cemento asfáltico hasta encontrar el óptimo es decir que sus vacíos sean no mayores de 4%.

Para una mezcla asfáltica preparada en laboratorio, se debe analizar teniendo en cuenta cuatro características importantes y la influencia que dichas características pueden llegar a tener en el comportamiento de la mezcla asfáltica, las cuales son:

- La densidad de la mezcla.
- El Volumen de vacíos o simplemente vacíos.
- Los vacíos en el agregado mineral.
- El contenido de asfalto.
- Las relaciones entre volumen de vacíos y densidad.
- Un ensayo para la definición del flujo y estabilidad de las briquetas compactadas.

A continuación, se detallarán los procedimientos estudiados en el laboratorio.

5.7.1. Procedimientos

5.7.1.1. Briquetas

- Se preparan una serie de briquetas con contenidos de asfalto diferentes para determinar el contenido óptimo de asfalto, de modo que las gráficas que se mostrarán en la sección de cálculos, muestren valores bien definidos, para esto, en los ensayos deben incrementarse el contenido de asfalto del 0.5 % y utilizar al menos dos contenidos de asfalto, los cuales sean por encima y por debajo del valor óptimo. En primer lugar, se debe estimar el contenido óptimo para emplear un contenido de asfalto fijo en los ensayos de laboratorio.



Ilustración 10. Briquetas.

- Se procede a separar el material una vez obtenidos los porcentajes necesarios para las muestras.
- Por lo general, para cada briqueta que se va a realizar hacen falta aproximadamente 1200 gramos de agregados. Por ello, 22 kg es una cantidad mínima necesaria de agregados para las briquetas de una granulometría determinada.
- Es necesaria la cantidad de 4 litros de cemento asfáltico.
- Por cada combinación de agregados de asfalto se deben separar tres briquetas.
- Los agregados deben secarse a peso constante de 100 a 110 °C (221 a 230 °F) separándolos mediante un tamizado (vía seca) de acuerdo a su tamaño: ¾” 3/8” #4 y #8.
- Se procede a utilizar una estufa para calentar el asfalto, para las mezclas asfálticas tibias, se escogió una temperatura menor posible de compactación por ello, las briquetas fueron elaboradas a 110°C. Las mezclas tibias, se realizaron en diferentes grupos, el primer grupo contempla todas las mezclas compactadas sin aditivo; el segundo grupo todas las mezclas compactadas con aditivo; el tercer grupo las mezclas compactadas con aditivo más el polvo de llanta de auto; y, por último, las mezclas compactadas con aditivo más el polvo de llanta de avión.



Ilustración 11. Mezcla de Briquetas.

- Para las mezclas, se deben preparar de la manera siguiente: pesar la cantidad de agregado de cada fracción requerida en recipientes separados, como se había mencionado, debe ser 1200 gr la cantidad aproximada para que resulte una briqueta compactada de $6.35 + 0.13$ cm de altura.
- Empleando el cálculo de pesos acumulados, se ejecuta en un recipiente la mezcla, pesando las porciones de correspondientes de cada árido.
- Se procede a agitar la mezcla de los áridos formando un cráter desde el centro, en el cual se va añadiendo la cantidad de asfalto necesaria. Al tratarse de una mezcla tibia, en condiciones normales de tiene una temperatura de 150 a 180 °C, con aditivo se trata de trabajar con temperaturas de 120 a 130 °C.



Ilustración 12. Mezclado con Aditivo para Briquetas.

- Al finalizar la operación del mezclado, continúa la compactación, para lo cual se procede a colocar papel filtro o parafinado en el molde, sobre la superficie de la base, se lo debe engrasar un poco.
- La mezcla recién amasada se debe verter dentro del molde.
- El molde listo se traslada a la base de compactación, para proceder a compactar con el martillo, el número de golpes que se especifica en las normas correspondientes.
- Teniendo en cuenta que el eje del martillo debe estar perpendicularmente a la base del molde, se produce la compactación de la primera cara de la briqueta, se desmonta el collar y se debe invertir el molde junto con la briqueta; para la otra cara, se debe aplicar el mismo número de golpes, sin antes volver a colocar el collar.
- Se suministraron 75 golpes por cada cara.



Ilustración 13. Compactación.

- Concluida la compactación, se deja enfriar la briqueta, previamente removiendo la placa base. Éste procedimiento se realiza dejando enfriar la briqueta hasta que no produzca una deformación al desmoldarla.
- Se retiró del molde la muestra con un extractor o gato hidráulico, dejándola en una superficie plana para utilizarla para el ensayo.
- Finalmente, se numeraron las briquetas.



Ilustración 14. Briquetas Enumeradas.

Cada briqueta que pasó por compactación, debe ser analizada mediante ensayos con el siguiente orden:

- a) Determinación de la densidad aparente (Bulk).
- b) Ensayo de Flujo y Estabilidad.
- c) Ensayo de determinación de densidad y vacíos (Rice).

5.7.1.2. Determinación de densidad aparente (Bulk)

Tan pronto como las briquetas se hayan enfriado al ambiente, se realiza la determinación de la densidad aparente.

- La densidad es la relación entre el peso y el volumen, y existen tres métodos diferentes para su cálculo.
- Se debe frotar una con otra las briquetas para eliminar el material suelto que se encuentre.
- En este caso, el volumen aparente resulta de la resta del peso de la briqueta en el aire, el peso de la briqueta sumergida en agua sin ser recubierta con parafina.

5.7.1.3. Ensayo de Flujo y Estabilidad

Este ensayo Marshall para mezclas asfálticas determina el diseño de mezclas asfálticas para la construcción de infraestructura vial normados por ASTM C670, ASTM D1188, ASTM D3549, ASTM D6752 que contengan porcentajes de asfalto entre (5-6) % de cemento asfáltico, este ensayo consiste en medir la resistencia al flujo plástico de especímenes o muestras cilíndricas de pavimento de 102 mm de diámetro en dirección perpendicular al eje. El flujo da a conocer la reducción del diámetro de la muestra entre la carga cero y la máxima. Por otro lado, la estabilidad de Marshall hace referencia al valor de la carga necesaria para que la muestra falle.

- Cuartear los agregados de la muestra de análisis, para proceder a realizar el tamizado determinado en las proporciones calculadas.
- Calentar el cemento asfáltico a 165°C.
- Pesar los agregados y arena para cada briqueta y calentar al horno a 160°C.
- Pesar la dosificación de cada briqueta y enumerar.
- Mezclar la dosificación de cada briqueta hasta que quede homogéneo con el porcentaje de cemento asfáltico para cada briqueta.
- Se procede a vaciar en una probeta para compactar en 3 capas de 25 golpes cada una de ellas.
- Se debe dejar enfriar por 2 horas las briquetas para colocarlas en baño María por 48 horas con una temperatura de 60°C.
- Se procede a romper las briquetas en la prensa Marshall.

5.7.1.4. Determinación de densidad y vacíos (RICE)

El presente ensayo tiene como objetivo determinar la gravedad específica teórica de muestras de pavimentos asegurando un control de calidad de los mismos, nos permite conocer el % de vacíos que posee, así como el porcentaje absorbido de ligante de nuestra muestra analizada no compactadas a 25° C.

- Se obtiene una muestra pesada de pavimento secada en horno.
- Se coloca en un vaso de vacío calibrada.
- Se debe llenar el vaso con agua a 25°C para que la muestra sea sumergida completamente.
- El aire o vacío es introducido gradualmente para reducir la presión residual a 4 Kpa o menos entonces es sostenida por 15±2 min.
- Al final el periodo de vacío es gradualmente retirado.
- El volumen de la muestra se obtiene por inmersión del contenedor de vacío con la muestra en un baño de agua y pesando o llenando completamente el nivel del contenedor de vacío de agua y peso al aire.
- La nada y temperatura se miden simultáneamente para calcular la masa y volumen a 25°C.

5.7.2. Cálculos

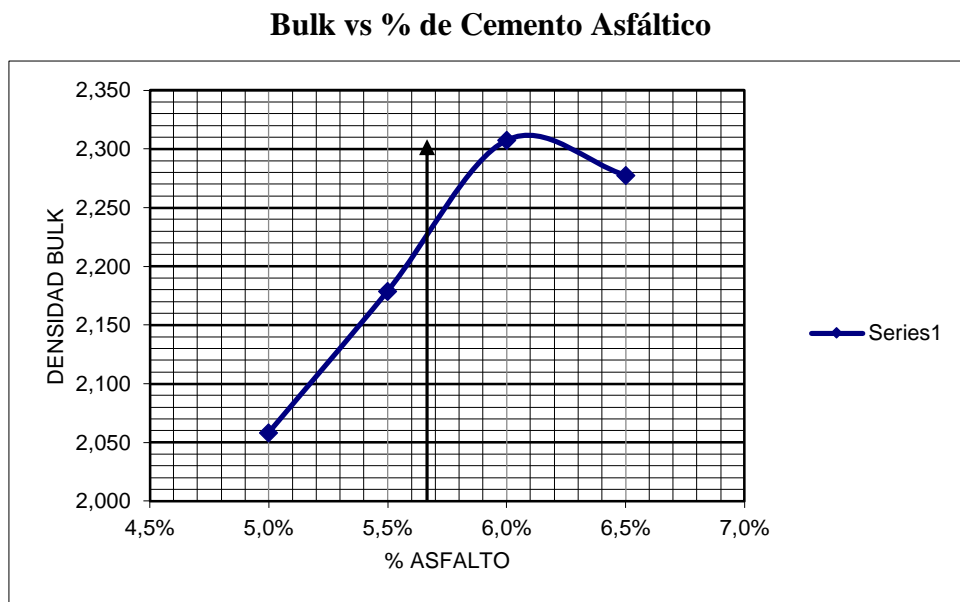
5.7.2.1. Tabla Marshall sin aditivo

Tabla 32. Tabla Marshall Sin Aditivo

BRIQUETA No.	FECHA	% C.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO
			CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pic3)	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100''
1	10-05-20	5,0%	0.81	1242,3	1244,8	634,3	610,5	2,035								2397,0	1941,6	9,5
2			0.81	1289,7	1291,6	667,8	623,8	2,067								2433,0	1970,7	10,0
3			0.83	1198,2	1200,5	622,2	578,3	2,072								2411,0	2001,1	10,0
PROMEDIO								2,058	2,286	46,03	81,36	9,97	128,43	22,67	56,01		1971	9,8
1	10-05-20	5,5%	0.83	1286,4	1288,2	703,4	584,8	2,200								2615,0	2170,5	11,0
2			0.81	1312,5	1315,4	711,7	603,7	2,174								2898,0	2347,4	12,0
3			0.81	1278,0	1281,6	690,8	590,8	2,163								2915,0	2361,2	11,0
PROMEDIO								2,179	2,330	58,72	86,14	6,46	135,97	18,56	65,18		2293	11,3
1	10-05-20	6,0%	1.00	1189,9	1191,0	674,6	516,4	2,304								2566,0	2566,0	12,5
2			0.93	1242,6	1243,8	705,1	538,7	2,307								2767,0	2573,3	13,0
3			0.89	1283,1	1284,7	729,8	554,9	2,312								3012,0	2680,7	13,5
PROMEDIO								2,308	2,410	65,97	91,22	4,23	144,00	14,20	70,20		2607	13,0
1	10-05-20	6,5%	0.93	1225,6	1227,1	689,4	537,7	2,279								2566,0	2386,4	14,5
2			0.86	1278,4	1279,8	715,0	564,8	2,263								2831,0	2434,7	14,0
3			0.86	1305,9	1307,1	736,9	570,2	2,290								2615,0	2248,9	14,5
PROMEDIO								2,278	2,325	84,96	90,03	2,05	142,13	15,77	87,01		2357	14,3

En la tabla indicada podemos observar que el porcentaje óptimo de AC-20 para nuestro material es 6%. Las especificaciones para tráfico pesado mencionan que el porcentaje de

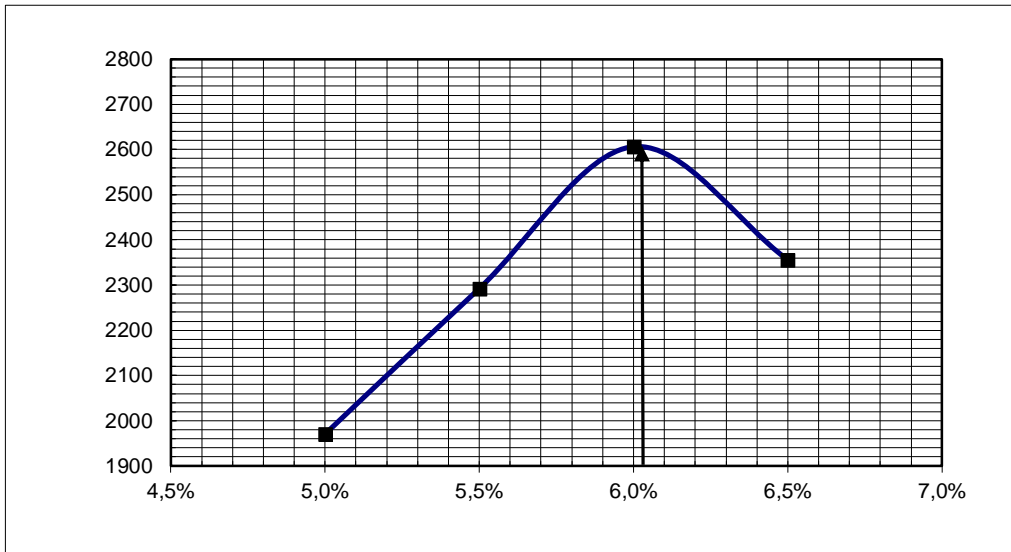
vacíos óptimo debe estar entre 3 y 5, se decidió utilizar 4% como porcentaje de vacíos óptimo, lo cual indica un porcentaje óptimo de asfalto de 6%. Luego de obtenido este valor, realizamos los siguientes gráficos para determinar el cumplimiento de las especificaciones mencionadas en la tabla.



Gráfica 3. Bulk vs % de Cemento Asfáltico.

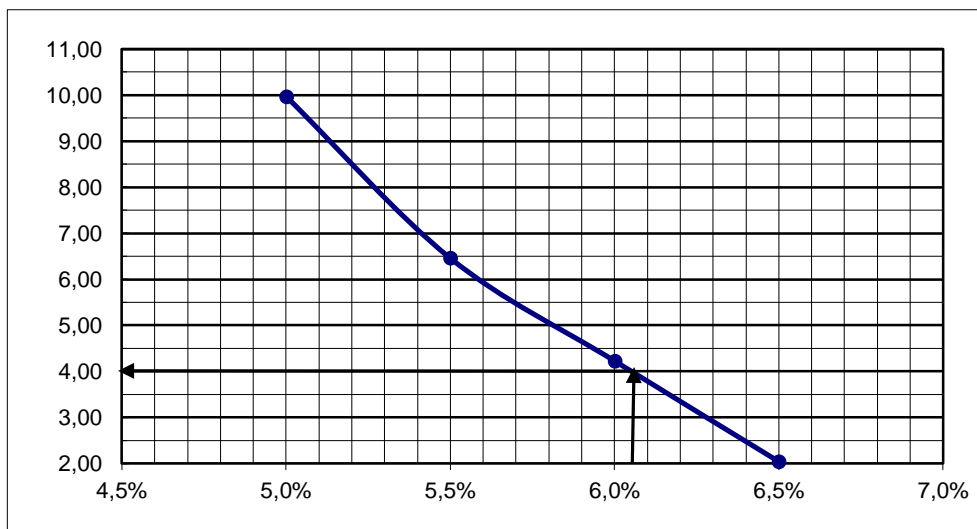
La gráfica anterior nos permite apreciar el comportamiento que sufre la densidad Bulk en las briquetas con la variación de asfalto. Se puede apreciar que el porcentaje de asfalto en la mezcla tiende a aumentar la densidad de la misma.

Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico



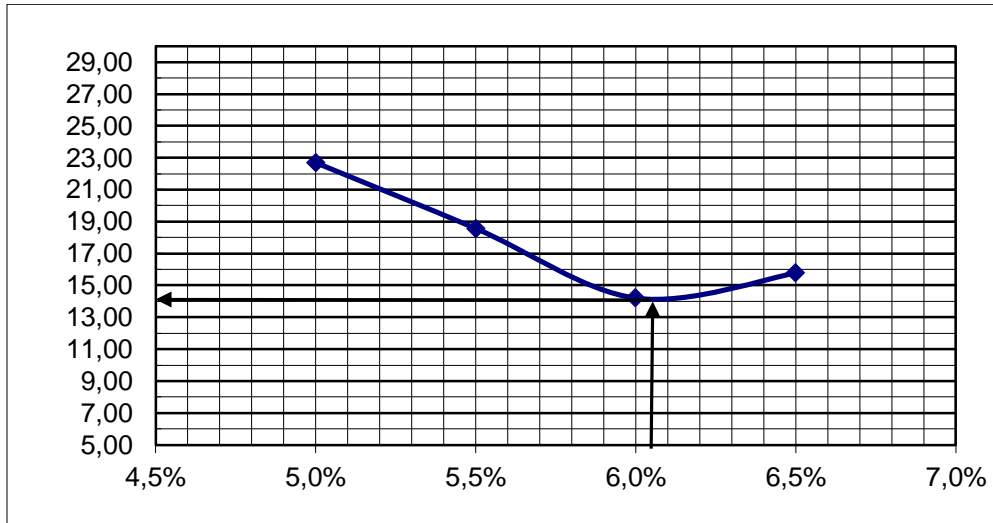
Gráfica 4. Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico.

Vacío vs % de Cemento Asfáltico



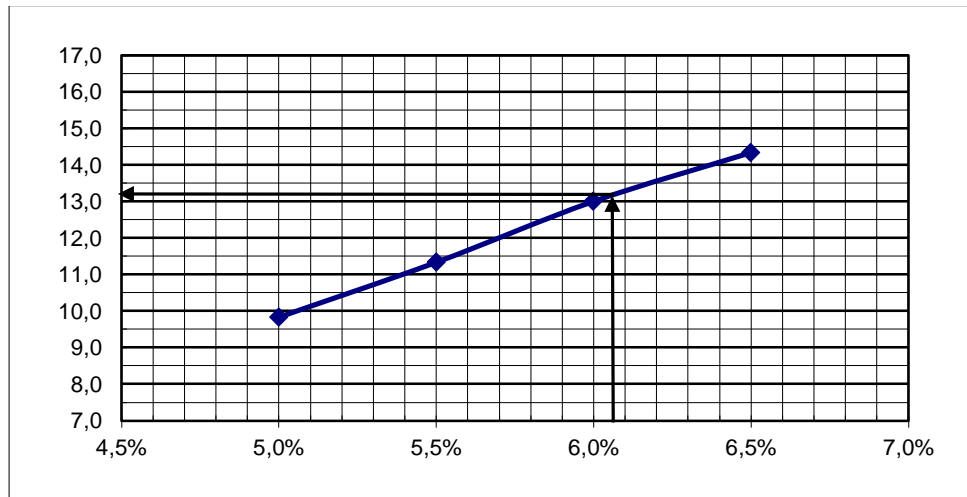
Gráfica 5. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.

V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico



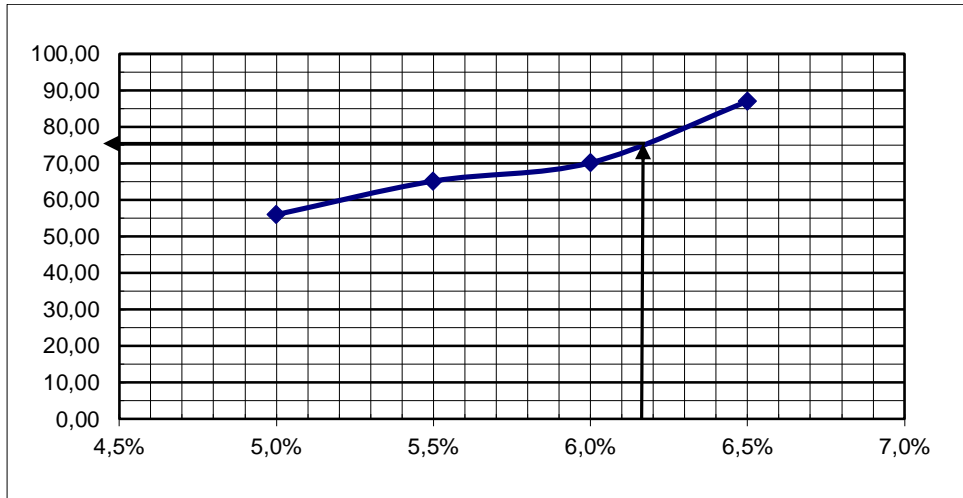
Gráfica 6. V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico.

Flujo vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 7. Flujo vs % de Cemento Asfáltico.

VAF vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 8. VAF vs % Cemento Asfáltico.

Tabla 33. Porcentaje de Asfalto de Marshall sin aditivo.

PORCENTAJE DE ASFALTO		
DENSIDAD	ESTABILIDAD	% DE VACIOS
%6,15	%6,09	%6,09
PROMEDIO AC-20		6,11%

Tabla 34. Comprobación del porcentaje de asfalto del Marshall sin Aditivo.

COMPROBACION :		
FLUJO (8 -14)	% V.A.M. (> 14.0)	% VAF (65 - 75)
13,4	14,7	75,0

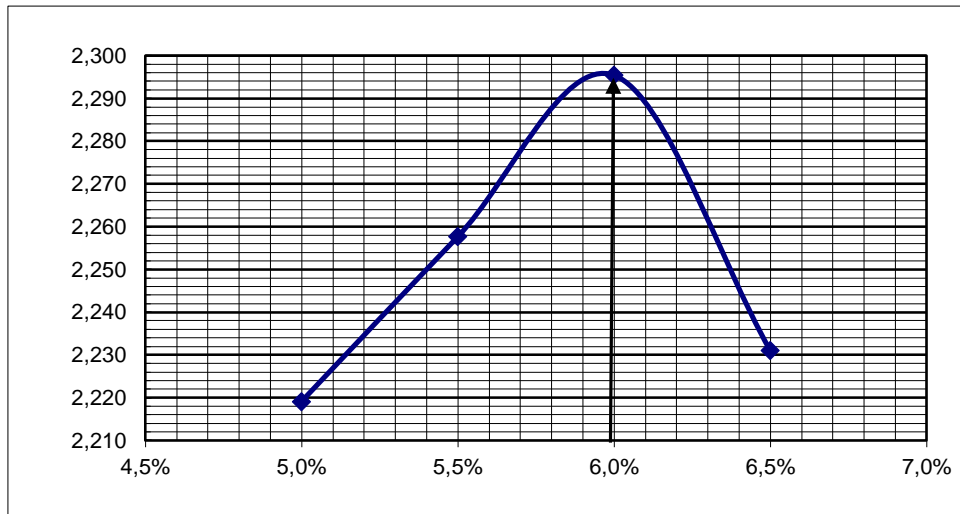
Temperatura de mezcla de 150°C a 170°C

5.7.2.2. Tabla y Gráficos Marshall con Aditivo (Zyco Therm)

Tabla 35. Tabla Marshall con Aditivo Zyco Therm.

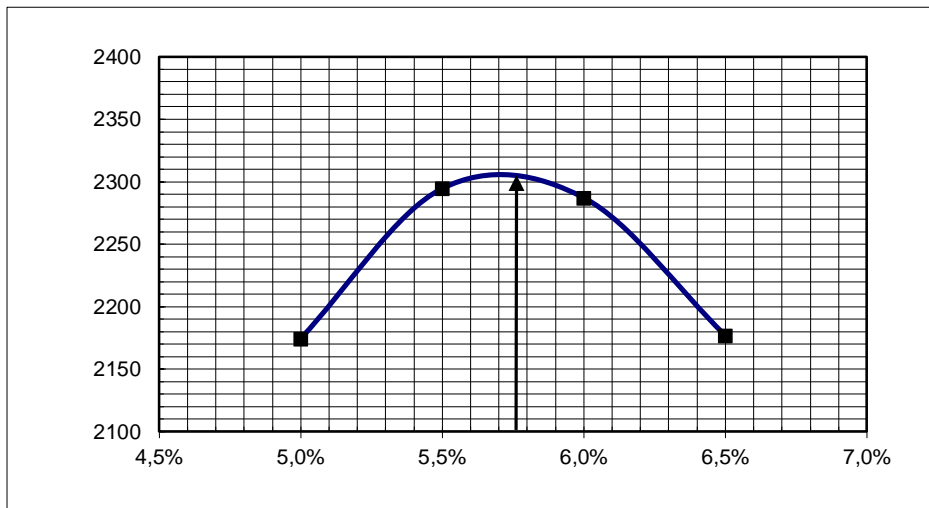
BRIQUETA	FECHA	% C.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)			FLUJO
			CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pie3)	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100"	
1	20-06-20	5,0%	0,86	1269,4	1275,6	705,4	570,2	2,226									2542,0	2186,1	8,0
2			0,86	1257,3	1289,3	720,5	568,8	2,210									2489,0	2140,5	9,0
3			0,81	1309,4	1314,2	724,6	589,6	2,221									2712,0	2196,7	7,0
PROMEDIO								2,219	2,519	16,45	87,73	11,90	138,48	16,61	28,36			2174	8,0
1	20-06-20	5,5%	0,96	1189,4	1196,0	666,9	529,1	2,248									2387,0	2291,5	11,0
2			0,96	1215,7	1220,8	689,2	531,6	2,287									2400,0	2304,0	13,0
3			0,96	1186,3	1192,3	662,3	530,0	2,238									2384,0	2288,6	10,0
PROMEDIO								2,258	2,441	44,52	89,25	7,49	140,88	15,61	52,01			2295	11,3
1	20-06-20	6,0%	1,00	1189,6	1196,3	678,4	517,9	2,297									2289,0	2289,0	14,0
2			1,09	1115,6	1120,0	635,8	484,2	2,304									2095,0	2283,6	12,5
3			0,93	1245,1	1251,0	706,2	544,8	2,285									2462,0	2289,7	13,7
PROMEDIO								2,295	2,405	64,46	90,74	4,54	143,24	14,66	69,00			2287	13,4
1	20-06-20	6,5%	0,89	1245,7	1249,8	690,0	559,8	2,225									2545,0	2265,1	17,0
2			0,83	1289,6	1292,6	712,0	580,6	2,221									2760,0	2290,8	17,0
3			0,83	1302,5	1304,2	724,5	579,7	2,247									2380,0	1975,4	16,0
PROMEDIO								2,231	2,285	84,22	88,19	2,35	139,22	17,49	86,57			2177	16,7

Bulk vs % de Cemento Asfáltico



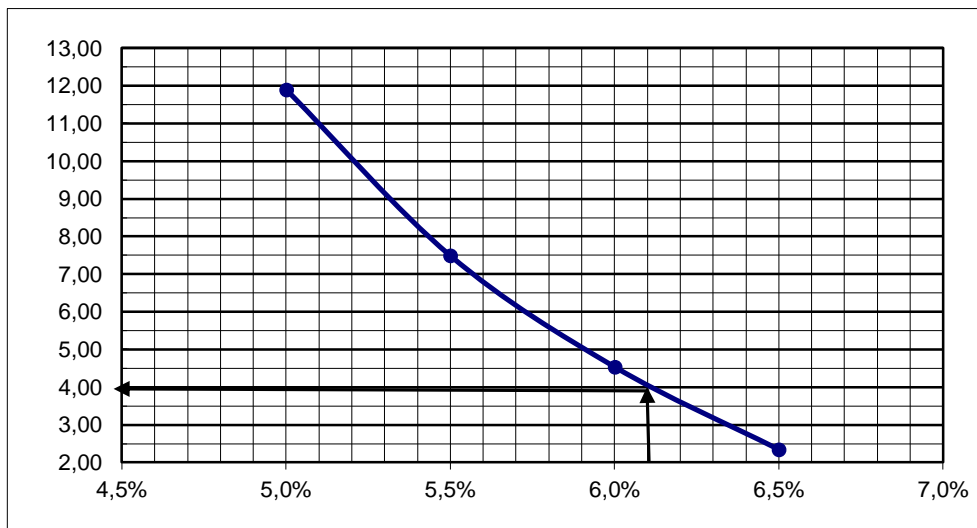
Gráfica 9. Bulk vs %Cemento Asfáltico.

Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico



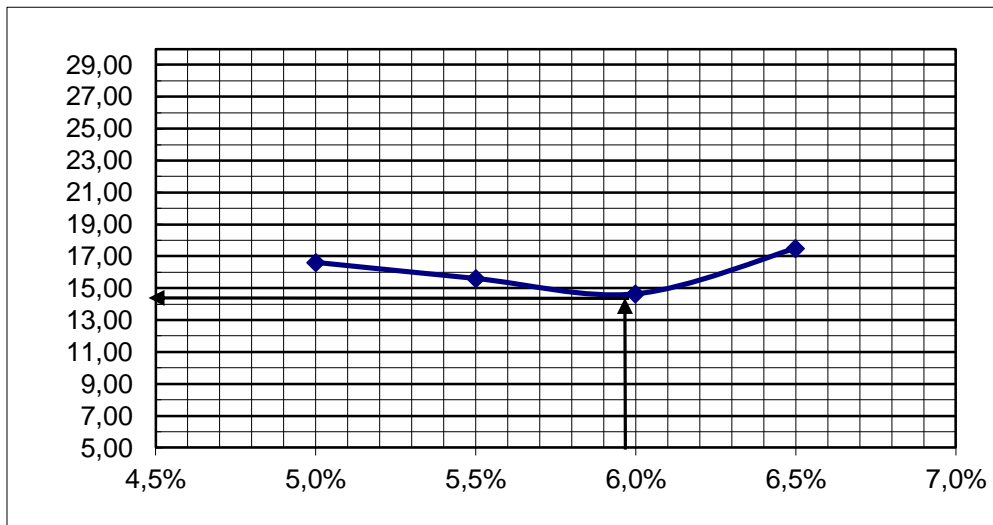
Gráfica 10. Estabilidad vs % Cemento Asfáltico.

Vacío vs % de Cemento Asfáltico



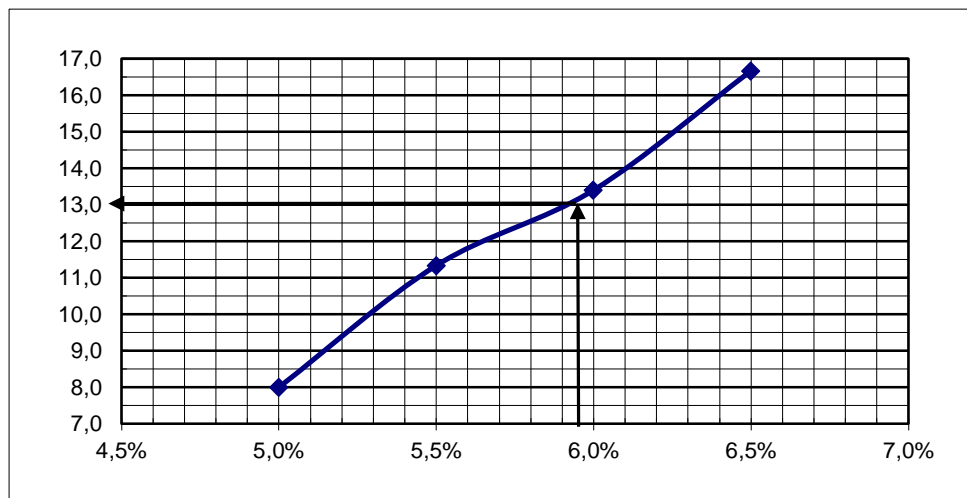
Gráfica 11. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.

V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico



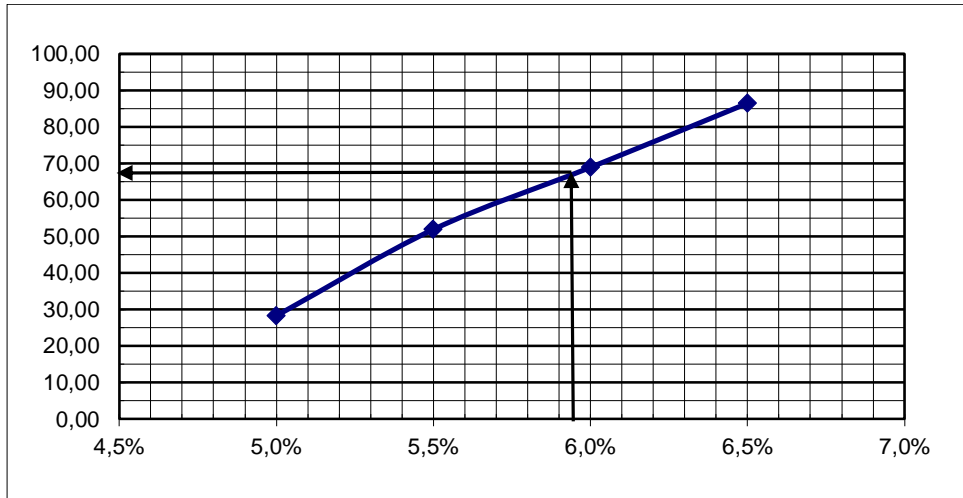
Gráfica 12. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.

Flujo vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 13. Flujo vs % Cemento Asfáltico.

VAF vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 14. VAF vs % Cemento Asfáltico.

Tabla 36. Porcentaje de Asfalto con Zyco Therm.

PORCENTAJE DE ASFALTO		
DENSIDAD	ESTABILIDAD	% DE VACIOS
%5,90	%5,75	%6,10
PROMEDIO AC-20		5,92%

Tabla 37. Comprobación de porcentaje de asfalto con Zyco Therm.

COMPROBACION :		
FLUJO (8 -14)	% V.A.M. (> 14.0)	% VAF (65 - 75)
13,2	14,7	67,0

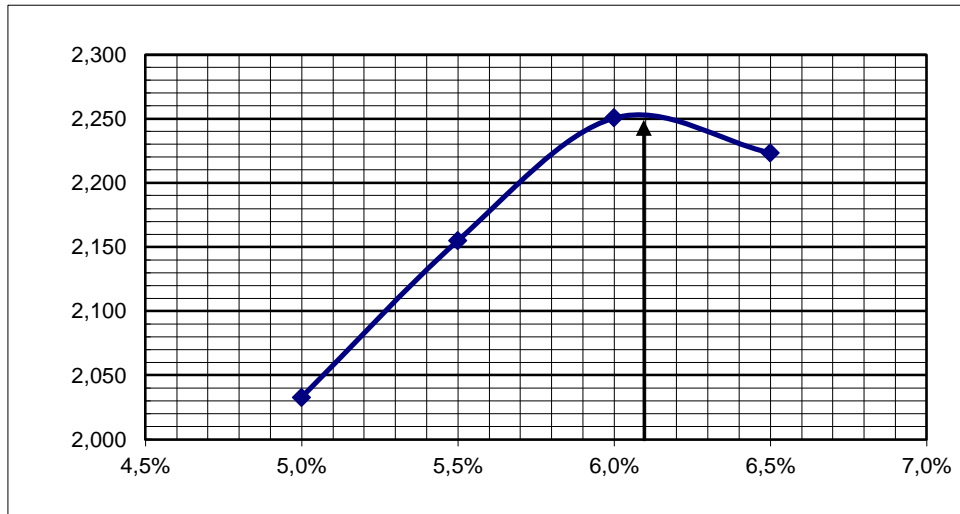
Temperatura de mezcla de 120°C a 130°C

5.7.2.3. Marshall Aditivo y polvo de llantas de auto

Tabla 38. Tabla Marshall Aditivo y polvo de Llanas de Auto.

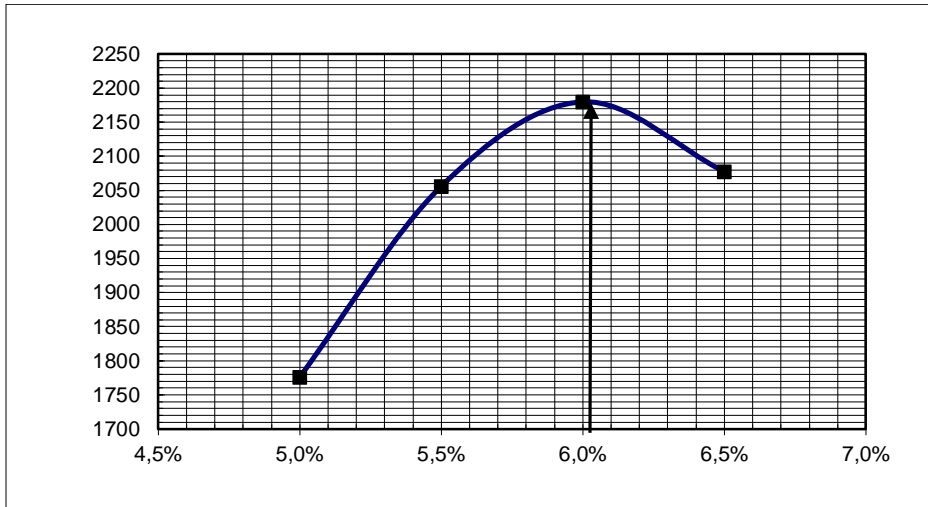
BRIQUETA No.	FECHA	% DEL POLVO DE LLANTA AUTO	% C.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO	
				CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pic3)	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100"	
1	24-06-20	2.0%	5.0%	0.81	1243.6	1251.7	645.3	606.4	2.051								2145.0	1737.5	12.0	
2				0.81	1212.6	1219.3	625.2	594.1	2.041								2234.0	1809.5	14.0	
3				0.81	1267.5	1272.5	640.8	631.7	2.006								2198.0	1780.4	11.0	
PROMEDIO								2,033	2,307		37,86	80,36	11,87	126,85	23,62	49,73			1776	12,3
1	24-06-20	3.0%	5.5%	0.83	1264.3	1270.4	685.8	584.6	2.163								2469.0	2049.3	17.0	
2				0.81	1312.5	1317.8	712.4	605.4	2.168								2561.0	2074.4	16.0	
3				0.81	1269.7	1275.1	680.2	594.9	2.134								2522.0	2042.8	19.0	
PROMEDIO								2,155	2,325		55,20	85,19	7,30	134,47	19,45	62,49			2056	17,3
1	24-06-20	4.0%	6.0%	0.86	1278.4	1283.4	714.5	568.9	2.247								2496.0	2146.6	18.0	
2				0.83	1296.5	1301.9	725.8	576.1	2.250								2680.0	2224.4	21.0	
3				0.81	1324.7	1329.7	742.1	587.6	2.254								2676.0	2167.6	15.0	
PROMEDIO								2,251	2,337		73,61	88,97	3,70	140,44	16,32	77,31			2180	18,0
1	24-06-20	5.0%	6.5%	0.93	1198.7	1201.3	665.3	536.0	2.236								2221.0	2065.5	21.0	
2				0.86	1265.3	1267.8	698.0	569.8	2.221								2411.0	2073.5	21.0	
3				0.86	1240.1	1242.5	682.3	560.2	2.214								2434.0	2093.2	24.0	
PROMEDIO								2,224	2,277		84,42	87,89	2,35	138,75	17,77	86,77			2077	22,0

Bulk vs % de Cemento Asfáltico



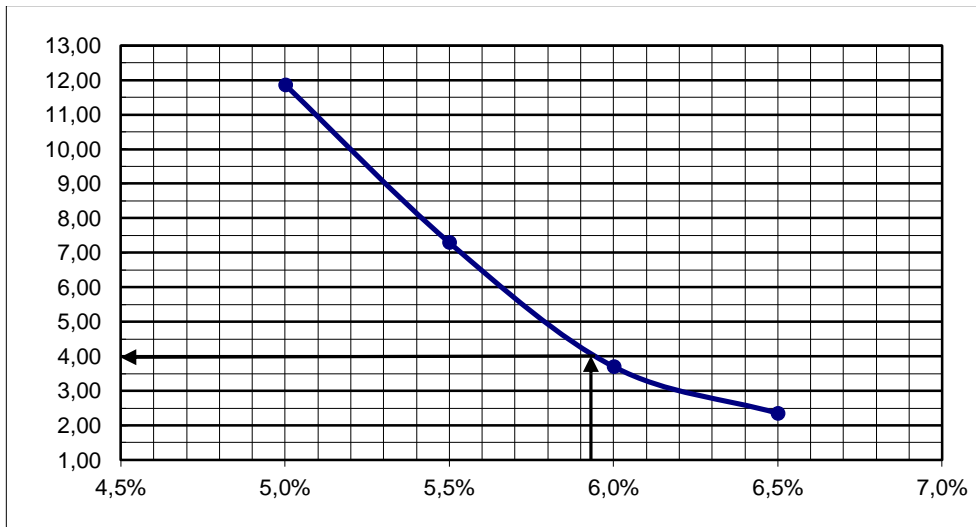
Gráfica 15. Bulk vs %Cemento Asfáltico.

Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico



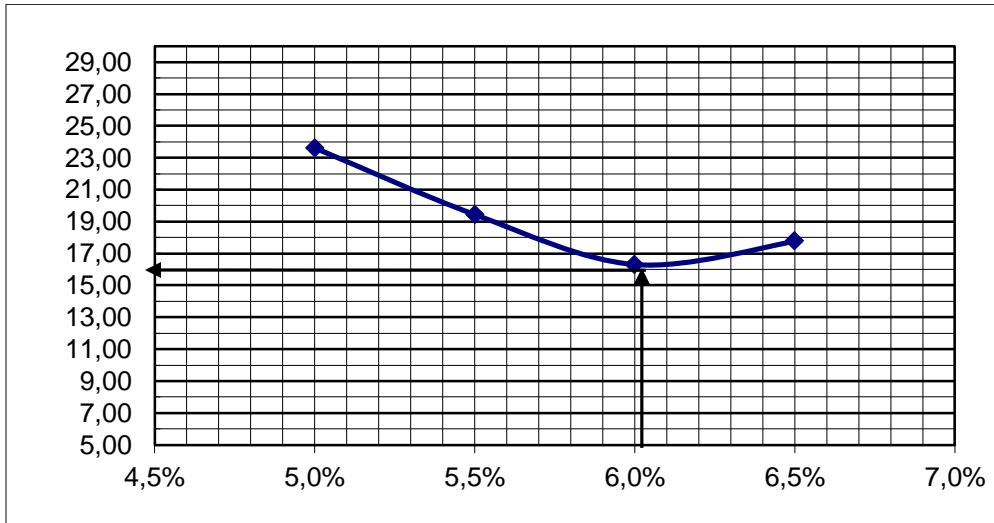
Gráfica 16. Estabilidad vs %Cemento Asfáltico.

Vacío vs % de Cemento Asfáltico



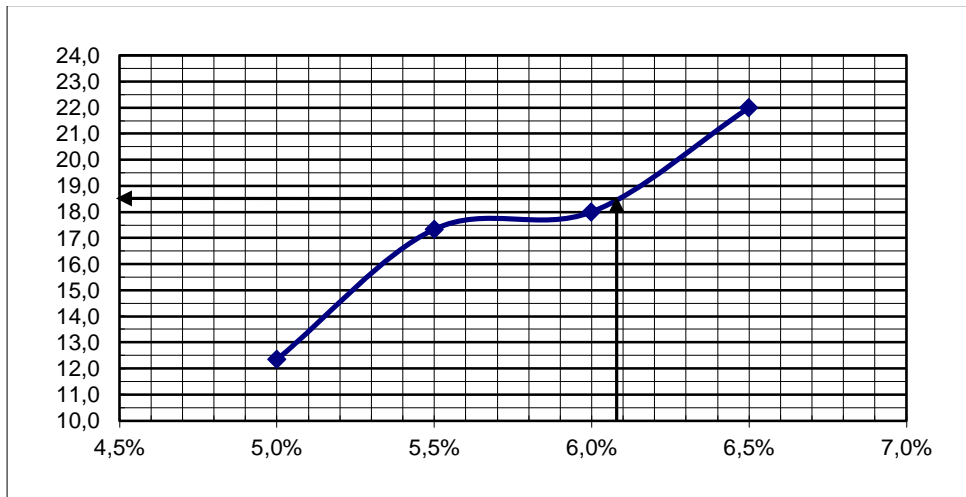
Gráfica 17. Vacío vs % Cemento Asfáltico.

V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico



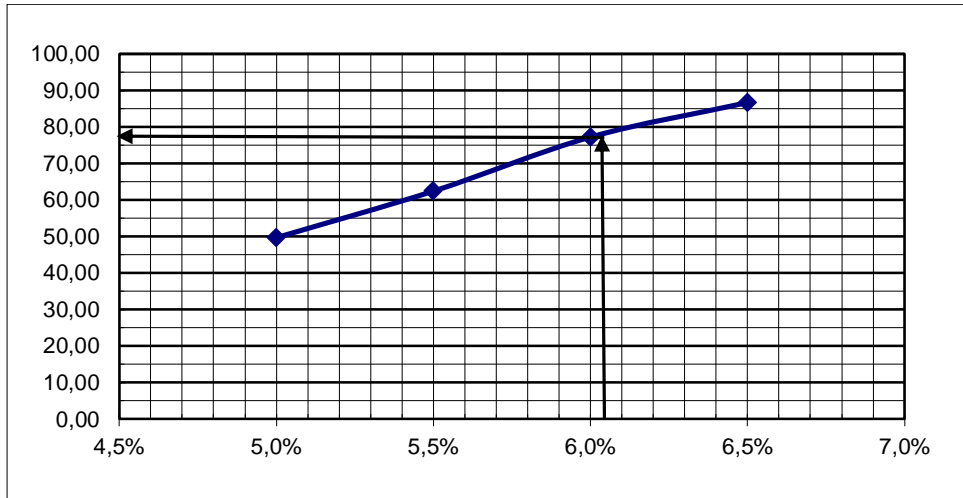
Gráfica 18. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.

Flujo vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 19. Flujo vs % Cemento Asfáltico.

VAF vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 20. VAF vs % Cemento Asfáltico.

Tabla 39. Porcentaje de asfalto de Marshall zyco Therm más llanta de auto.

PORCENTAJE DE ASFALTO		
DENSIDAD	ESTABILIDAD	% DE VACIOS
%6,10	%6,01	%5,95
PROMEDIO AC-20		6,02%

Tabla 40. Comprobación de Porcentaje de asfalto de Marshall zyco Therm más llanta de auto.

COMPROBACION :		
FLUJO (8 -14)	% V.A.M. (> 14.0)	% VAF (65 - 75)
18,5	16,0	75,5

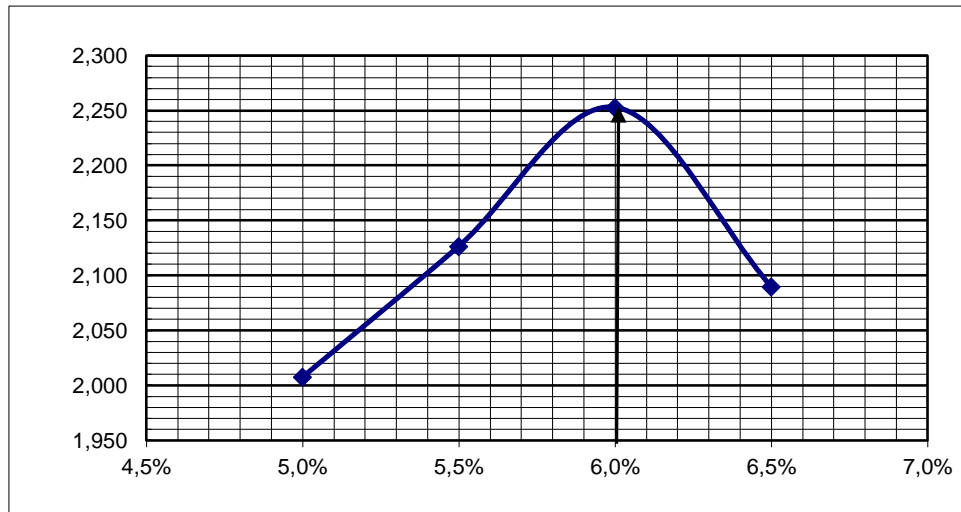
Temperatura de mezcla de 120°C a 130°C.

5.7.2.4. Marshall aditivo y polvo de llanta de aviación

Tabla 41. Marshall con Aditivo y polvo de llanta de aviación.

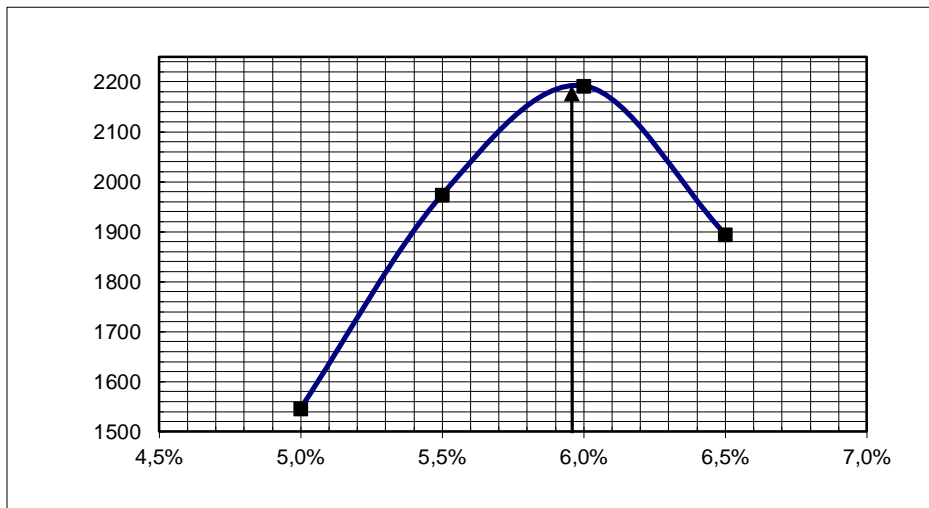
BRIQUETA	FECHA	% DEL POLVO DE LLANTA AVION	% C.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT.	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO
				CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios	(Lib/pic3)	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	1/100"
1	28-06-20	2.0%	5.0%	0.86	1145.7	1148.1	576.5	571.6	2.004								1789.0	1538.5	19.0
2				0.81	1198.3	1200.9	611.9	589.0	2.034								1876.0	1519.6	15.0
3				0.81	1166.9	1169.3	580.8	588.5	1.983								1954.0	1582.7	18.0
PROMEDIO								2,007	2,340	27,83	79,35	14,24	125,25	24,58	42,07			1547	17,3
1	28-06-20	3.0%	5.5%	0.83	1233.6	1235.3	651.5	583.8	2.113								2233.0	1853.4	21.0
2				0.86	1209.9	1211.2	642.3	568.9	2.127								2309.0	1985.7	23.0
3				0.83	1252.5	1253.4	667.9	585.5	2.139								2511.0	2084.1	20.0
PROMEDIO								2,126	2,271	62,68	84,06	6,36	132,68	20,52	69,03			1974	21,3
1	28-06-20	4.0%	6.0%	0.89	1240.4	1241.9	688.3	553.6	2.241								2496.0	2221.4	25.0
2				0.89	1229.5	1231.0	680.0	551.0	2.231								2349.0	2090.6	21.0
3				0.89	1270.1	1271.3	715.8	555.5	2.286								2544.0	2264.2	23.0
PROMEDIO								2,253	2,329	76,69	89,05	3,26	140,57	16,24	79,94			2192	23,0
1	28-06-20	5.0%	6.5%	0.81	1233.7	1234.4	644.4	590.0	2.091								2221.0	1799.0	21.0
2				0.81	1298.9	1299.1	658.3	640.8	2.027								2411.0	1952.9	21.0
3				0.83	1243.4	1245.8	667.6	578.2	2.150								2331.0	1934.7	24.0
PROMEDIO								2,089	2,130	89,79	82,59	1,89	130,38	22,73	91,68			1896	22,0

Bulk vs % de Cemento Asfáltico



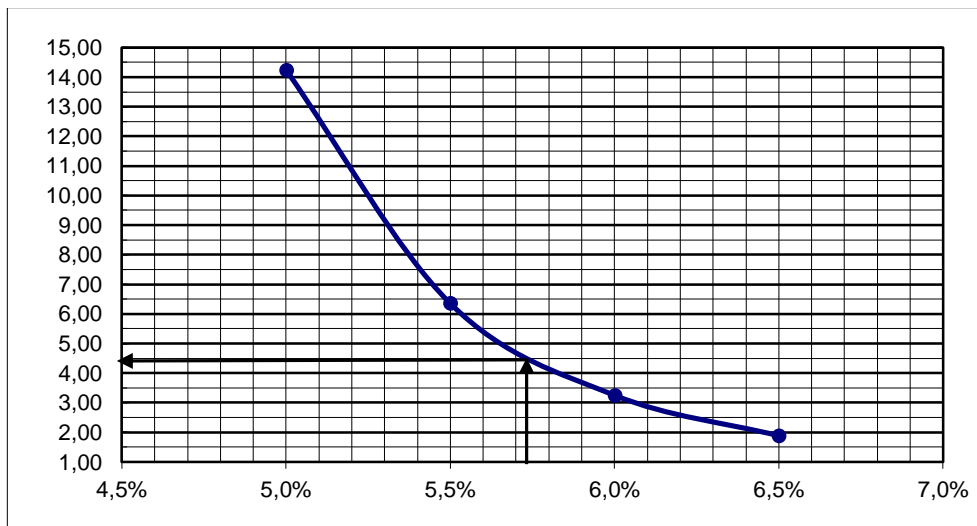
Gráfica 21. Bulk vs % Cemento Asfáltico.

Estabilidad vs % de Cemento Asfáltico



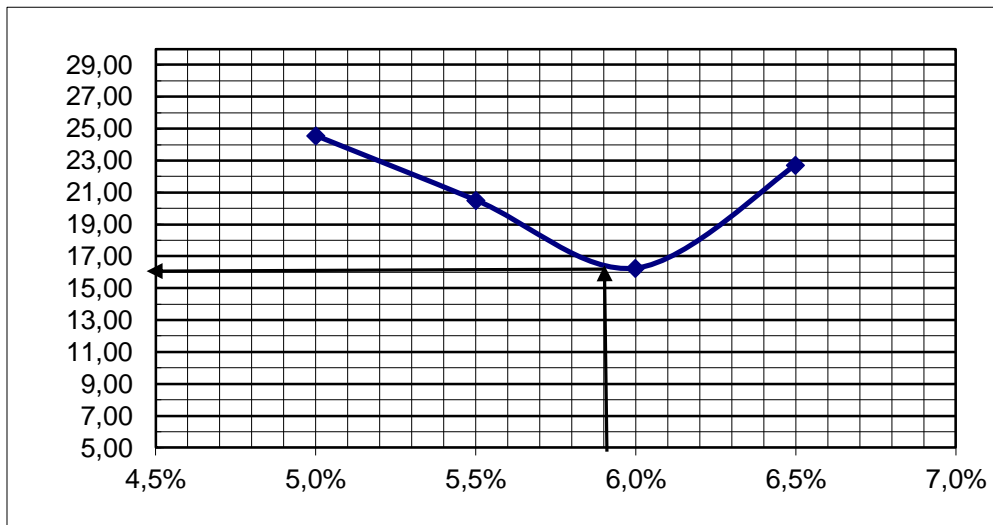
Gráfica 22. Estabilidad vs % Cemento Asfáltico.

Vacío vs % de Cemento Asfáltico



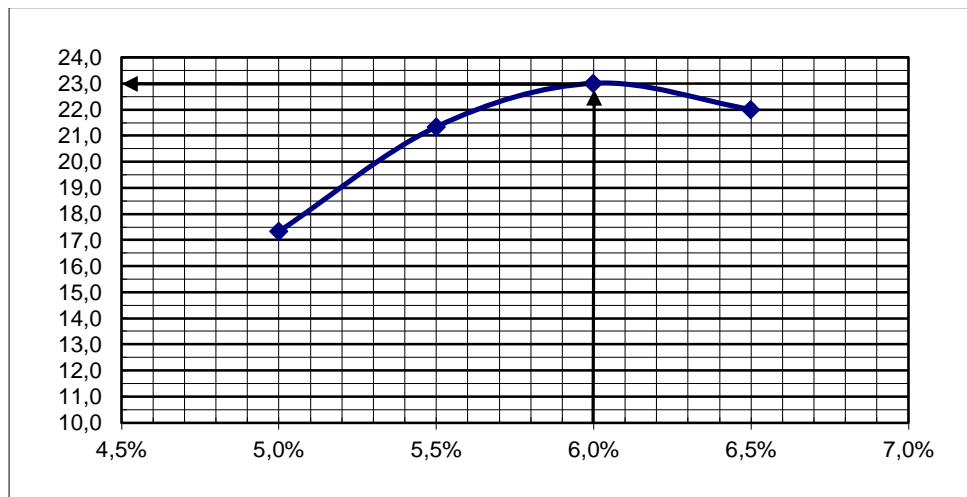
Gráfica 23. Vacíos vs % Cemento Asfáltico.

V.A.M. vs % de Cemento Asfáltico



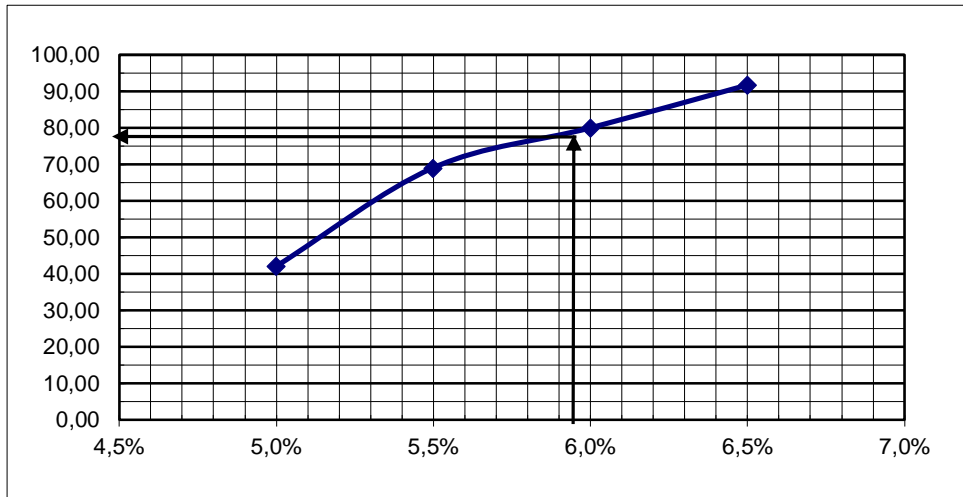
Gráfica 24. V.A.M. vs % Cemento Asfáltico.

Flujo vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 25. Flujo vs % Cemento Asfáltico.

VAF vs % de Cemento Asfáltico



Gráfica 26. VAF vs % Cemento Asfáltico.

Tabla 42. Porcentaje de asfalto de Marshall con Aditivo más polvo de llanta de aviación.

PORCENTAJE DE ASFALTO		
DENSIDAD	ESTABILIDAD	% DE VACIOS
%6,00	%5,95	%5,75
PROMEDIO AC-20		5,90%

Tabla 43. Comprobación del porcentaje de asfalto de Marshall con aditivo más polvo de llantas de aviación.

COMPROBACION :		
FLUJO (8 -14)	% V.A.M. (> 14.0)	% VAF (65 - 75)
23,0	16,0	75,7

Temperatura de mezcla de 120°C a 130°C.

CAPÍTULO VI.

Conclusiones y Recomendaciones.

6.1. Conclusiones

- De los resultados obtenidos para el diseño de la mezcla asfáltica se observa que cumplen con todos los requerimientos de las normas AASHTO T 245 – 97 (2004) que garantiza el método aplicado para la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, del cual forma parte el procedimiento descrito en la presente norma, y está realizado de conformidad con las instrucciones del documento MS-2 del Asphalt Institute, Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types.
- Es importante para que el diseño funcione con todas las características se utilice el aditivo recomendado en caso de no hacerlo será necesario recalcular el contenido óptimo de asfalto ya que el aditivo ayuda a optimizar el uso del AC-20.
- El diseño cumple con las especificaciones técnicas del MTOP 2002 (MOP-001-F – 2000) según el literal 404-5.02. Materiales. - Serán los especificados en la subsección 405-5.02, además se permitirá que la granulometría de los áridos se conforme de acuerdo a lo especificado en la tabla 404-5.1.
- Este diseño está apto para ser utilizado sin ningún problema en la mezcla en planta.
- Como se mencionó anteriormente, éstas mezclas asfálticas tibias en condiciones normales se trabaja a temperaturas de 130 °C, y con aditivos con temperaturas de 120 a 130 °C.
- Este tipo de asfaltos tibios necesitan más tiempo de curado, es decir más tiempo de que el tráfico no se puede dar a las 24 horas sino a las 48 o 72 horas, caso contrario puede destruir la carpeta asfáltica. Después de eso, el asfalto quedaría totalmente duro y funcional y tendría una buena trabajabilidad; en cambio en asfaltos calientes, a las 24 horas se podría dar tráfico, lo cual sería una desventaja para los asfaltos tibios.
- Los asfaltos tibios nos ayudan a ahorrar un poco del asfalto AC-20, a que los vacíos no sean altos, a que haya una mejor consistencia entre toda la masa de la mezcla; en este caso que se realiza adicionando polvo de llantas de aviones y de carros, esto da como resultado una mezcla adecuada del polímero con el asfalto y el aditivo y se adhiere, y con esto se consigue que el rozamiento o fricción de las llantas de

los vehículos tengan un mayor agarre y menor ruido, lo cual con el asfalto normal no se da, al contrario se produce deslizamiento, ruido, etc.

- En Ecuador es necesario implementar nuevas tecnologías que marquen la diferencia y sean amigables con el medio ambiente; el optar por la utilización de reciclaje de llantas debe tener varias investigaciones para que llegue a tener una normativa adecuada ya que el humo que emanan los neumáticos al quemarse a largo plazo puede ser un foco de problemas que perjudiquen la vida humana y sea parte de diferentes enfermedades, al producir carreteras que además de ser una oportunidad para disponer de materiales que sean reciclables, también tenga un beneficio con la sociedad ya que las carreteras son una fuente considerable para la comunicación.
- Al culminar todas las metodologías y laboratorios de materiales que constituyen nuestra investigación se concluye que los agregados pétreos satisfacen las especificaciones de las normas ASTM e INEN para los siguientes ensayos realizados: gravedad específica, abrasión, equivalente de arena, resistencia a los sulfatos.
- Realizadas las metodologías y laboratorios de caracterización de cemento asfáltico, se puede decir que el material AC-20 proveniente de refinería de Esmeraldas utilizado en nuestra investigación como ligante, cumple con la normativa NTE INEN 2515, este se encuentra en los rangos estipulados de dicha norma.
- Al adquirir los resultados de los laboratorios de mezclas asfálticas convencionales o calientes y mezclas asfálticas tibias con aditivos mezcladas con partículas de llantas de vehículos y polvo de llantas de aviones se puede resolver que las mezclas asfálticas tibias poseen un menor porcentaje de vacíos comparándolas con los resultados de la mezcla caliente.
- Posteriormente al analizar los resultados de la metodología Marshall de todas las variables consideradas, podemos observar que la estabilidad de la mezcla asfáltica caliente es de 2607 lbs, en las otras mezclas tibias modificadas con aditivo y partículas de polvo de llantas es un poco menor y varía entre 2180 lbs a 2287 lbs pero cumple con la normativa establecida por el MTOP.
- Al usar el aditivo en las mezclas se diferenciaron notoriamente con la mezcla convencional sin aditivo, ya que estas tenían una mejor trabajabilidad, al disminuir la temperatura con este aditivo permitió que exista adherencia entre los agregados y el bitumen utilizado comprobando así que esta es una gran ventaja de utilizarla para el diseño de mezclas asfálticas tibias.

- Al realizar las briquetas de muestras asfálticas tibias modificadas con partículas de llantas de carros y polvo de llantas de aviones, en el proceso de compactación la temperatura debe estar en el rango de 125°C a 135°C, aunque en la muestra modificado de llantas de aviones por ser partículas más finas es recomendable una temperatura de 120°C y la temperatura ideal para mezcla modifica con partículas de llantas de vehículos es de 130°C.
- Al momento de incorporar caucho reciclado a la mezcla, el flujo, contenidos de vacíos y ligante aumentan, y a la vez la estabilidad Marshall disminuye.
- Para la adición del polvo de caucho reciclado se agregó una granulometría escogida, con la cual se obtuvo una mezcla trabajable, homogénea y se integró fácilmente a la mezcla.

6.2 Recomendaciones

- Los asfaltos tibios temperaturas menores de 130 °C no se recomienda, ya que los agregados están húmedos debido a sus condiciones, por ejemplo, pueden no estar tapados y debido a lluvias pueden tener una cierta humedad, y para que funcionen bien las mezclas se tiene que por lo menos secarse algo de esa agua. En asfaltos tibios, no permite que se seque toda esa agua; se mezcla el material de manera correcta y todo quedaría bien, pero se corre el riesgo que en sitio no se seque rápidamente, y se mantenga en una forma como gelatinosa, y eso puede provocar un desprendimiento del asfalto.
- El optar por una mezcla asfáltica ecológica en la fabricación de pavimentos, es una decisión que debe infundirse desde la cultura ambiental en el país, y así promover la utilización de esta metodología.
- Es recomendable un proceso de reciclado para la gran cantidad de neumáticos que se desechan, dándoles un uso que puede ser de ayuda no solo para el sector de la construcción, sino también usos que pueden formar parte de metodologías innovadoras como las mezclas asfálticas tibias con polvos de llantas usadas.
- Es importante realizar tramos que sean de prueba, para poder comprobar los resultados en estas mezclas modificadas obtenidas.

- Debe persistir la investigación acerca de la incidencia de la integración del caucho de las llantas usadas en vías húmedas, verificando sus beneficios, ya que esto actúa como un modificador del cemento asfáltico.
- Se recomienda antes de utilizar el diseño comprobar las calibraciones de la planta para no tener problemas con el diseño.

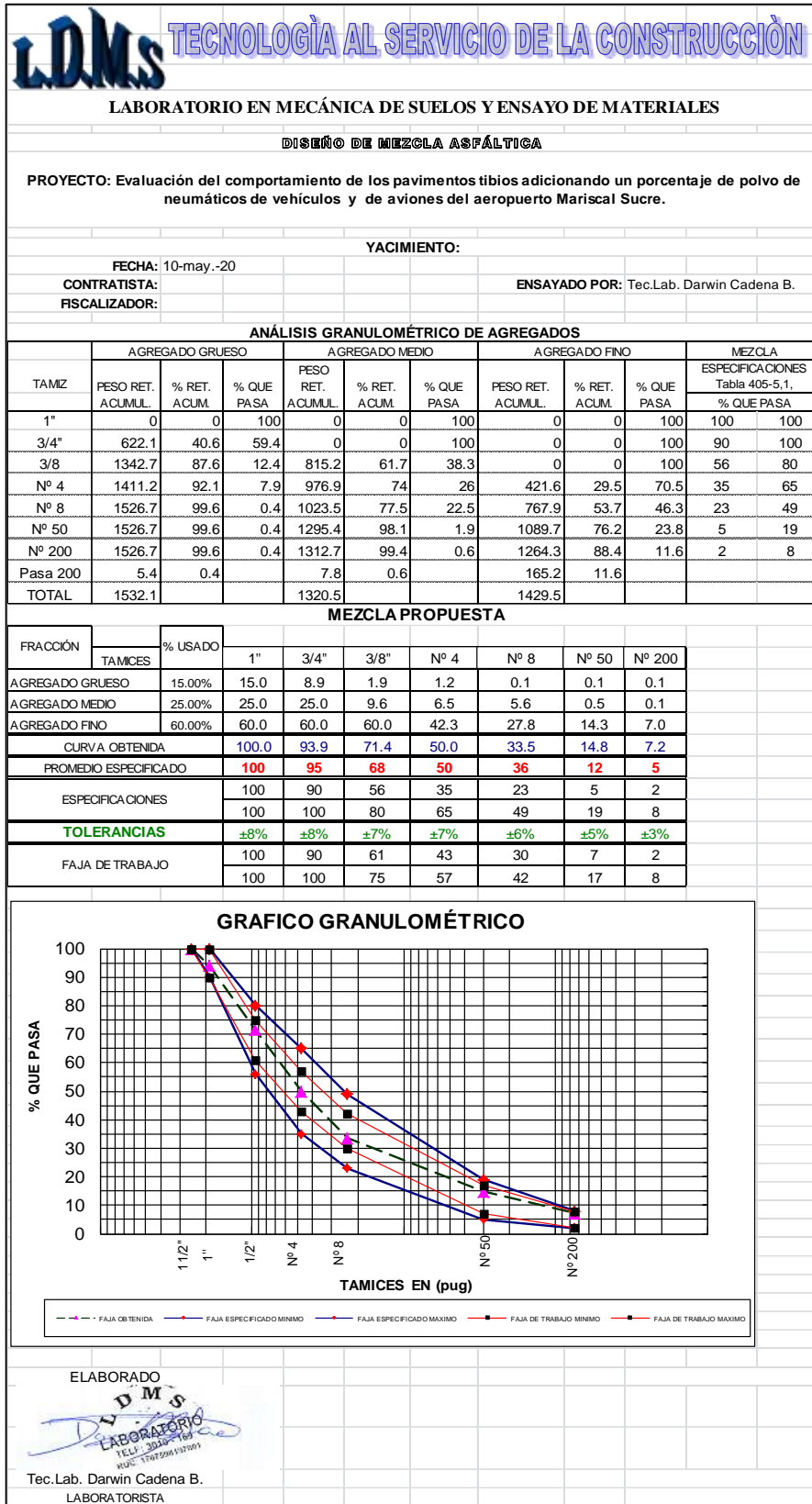
6.2. Bibliografía

- Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM, 5.
- American Society for Testing and Materials. (2015). Ensayo para la determinación de la gravedad específica y absorción del agregado grueso (ASTM C127-15). In American standar test methods (2nd ed., p. 8).
- American Society for Testing and Materials. (2019c). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine. i, 7–12. <https://doi.org/10.1520/C0128-15.2>
- Annual Book of ASTM Standard, 4.03 Roofing and Paving Material; VehiclePavement System (2001).
- Asociación Mexicana de Ingeniería en Vías Terrestres, Reología de asfaltos teoría, aplicación e implementación, 4o Seminario Técnico (1995).
- Asphalt Institute Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Series, No 1 (SP-1), (1996).
- Asphalt Institute, Superpave Mix Design, Series No 2 (SP-2), (1996).
- Asphalt Institute. (2014). MS-2 7 th Edition Asphalt Mix Design Methods MS-2 7 th Edition
- Asphalt Mix Design Methods (7th ed.; M. Buncher & M. Anderson, Eds.). USA.
- ASTM. (2014a). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. ASTM, 5.
- ASTM. (2014a). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse
- ASTM. (2014b). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. ASTM, 10.
- ASTM. (2014b). Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate. ASTM, 10.
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM, 5. <https://doi.org/10.1520/C0127-15.66>
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM, 5. <https://doi.org/10.1520/C0127-15-66>

- ASTM. (2016). Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. ASTM.
- ASTM. (2016). Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens Using Marshall Apparatus. ASTM.
- ASTM. (2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. ASTM, 6.
- ASTM. (2018). Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. ASTM, 6. Mezcla Asfáltica Tibia. Universidad Costa Rica.
- Centros de Estudio Experimentales de Obras Públicas – Centro de Estudios de Carreteras, Normas NLT1-Ensayos de carreteras.
- Dale Alan Rand, Comparative Analysis of Superpave Gyrotory Compactors and TxDoT Gyrotory Compactors. Texas Department of Transportation.
- Ecuador, M. d. (23 de 08 de 2019). Obras Públicas. Obtenido de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/LOTAIP_1_101963-APOYO-PROGRAMA-INFRAESTRUCTURA-VIAL.pdf
- Especificaciones técnicas del MTOP 2002 (MOP-001-F – 2000)
- Fiallos, Martin Unda, L. (2018). ANÁLISIS COMPARATIVO DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE “AUTORREPARABLE” (CON LANA DE ACERO) Y MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CONVENCIONAL. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Harrigan E T, Leahy R B, Youtcheff J S, The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specification, Test Method, and Practices, SHRP-A-379, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC (1994).
- Instituto Mexicano del Transporte, Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Carreteros, Documento Técnico, No. 1, (1990).
- Iván Burbano, J. S. (2019). Tesis Burbano, Salazar. Pichincha.

- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2016). M (ANCHICOS Ingeniería). (2015). Máquina de los ángeles. (Técnicas CP SAC). (2015). Conjunto para pruebas de gravedad específica y absorción en agregado grueso/LA-0520-05.
- Murphy M, O'Mahony M, Lycett C y Jamieson I, Materials and Structures/Matériaux et Contructions, Vol 33, pp 438 (2000)
- Olgúin, D. (2016). Proceso de Producción de Agregados y su Control de Calidad. Obtenido de Repositorio digital de la Facultad de Ingeniería - UNAM: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11125/Proceso%20de%20Producci%C3%B3n%20de%20Agregados%20P%C3%A9treos%20y%20su%20Control%20de%20Calidad.pdf?sequence=1>
- Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). Pavimentos Materiales, construcción y diseño. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Rondón, H., & Reyes, F. (2015). Pavimentos materiales, construcción y diseño. (1st ed.). Bogotá: ECOE Ediciones.
- Rondon, H., León, O., & Fernández, W. (2017). Comportamiento de una mezcla asfáltica tibia fabricada en una planta de asfalto. Ingeniería y Desarrollo, 152–169.
- The Asphalt Institute. (1982). Manual del Asfalto. Maryland: Colleague Park.
- Vera, J., & Rojas, J. (2018). COMPORTAMIENTO FÍSICO – MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y UNA POLIMERIZADA CON LA ADICIÓN DE UN ADITIVO LÍQUIDO MEJORADO CON NANOTECNOLOGÍA.

6.3. Anexos



L.D.M.S. TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN					
LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES					
PROYECTO:					
PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.					
YACIMIENTO: Material Triturado Mina PIFO					
FECHA:	10-may.-20				
CONTRATISTA:	ENSAYADO POR: Tec.Lab. Darwin Cadena B.				
FISCALIZADOR:					
AGREGADO GRUESO					
Material que pasa el tamiz 2" y retenido en el tamiz N° 4					
A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4956			
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000			
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3245			
	Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.824			
	Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.849			
	Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.897			
	% de Absorción = (B-A)/A*100	0.89			
AGREGADO MEDIO					
Material ue pasa el tamiz 1" y retenido en el tamiz N°4					
A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4885			
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000			
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3134			
	Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2.618			
	Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2.680			
	Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2.790			
	% de Absorción = (B-A)/A*100	2.35			
AGREGADO FINO					
Material ue pasa el tamiz 3/8"					
A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	480.9			
V=	Volumen de la probeta	500			
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	302.1			
	Gravedad específica de la masa = A/(V-W)	2.430			
	Gravedad específica de s.s.s = 500/(V-W)	2.527			
	Gravedad específica aparente = A/(V-W)-(500-A)	2.690			
	% de Absorción = (500-A)/A*100	3.97			
PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA NATURAL (ENSAYO RICE)					
	% de asfalto	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
A=	Peso de la muestra	1725.3	1623.2	1500	2000
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6365.6	6321.4	6272.5	6534.9
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	2.286	2.330	2.410	2.325
PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA CON Zyco Therm (ENSAYO RICE)					
	% de asfalto	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
A=	Peso de la muestra	1590	1725	2025	2200
D=	Peso del recipiente + agua	7730	7730	7730	7730
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	8688.8	8748.2	8912.9	8967.1
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	2.519	2.441	2.405	2.285
PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA CON ADITIVO Y POLVO DE LLANTA VEICULAR (ENSAYO RICE)					
	% de asfalto	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
A=	Peso de la muestra	1500	1650	1522	1545
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6244.7	6335.2	6265.8	6261.5
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	2.307	2.325	2.337	2.277
PESO ESPECIFICO MÁXIMO DE LA MUESTRA SUELTA CON ADITIVO Y POLVO DE LLANTA DE AVION (ENSAYO RICE)					
	% de asfalto	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
A=	Peso de la muestra	1695.9	1545.4	1479.4	1500
D=	Peso del recipiente + agua	5395	5395	5395	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6366.3	6259.8	6239.1	6190.7
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	2.340	2.271	2.329	2.130

Anexo 2. Cálculos Ensayo de Pesos Específicos y Granulometría.



LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.

YACIMIENTO: Material Triturado Mina PIFO

FECHA: 10-may-20

CONTRATISTA:

ENSAYADO POR: Tec.Lab. Darwin Cadena B.

FISCALIZADOR:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

PESO ESPECIFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto		6.10%
% de agregado en la mezcla		93.90%
% de agregado 1. con asf/sin asf	15.0%	14.1%
% de agregado 2 con asf/sin asf	25.0%	23.5%
% de agregado 3 con asf/sin asf	60.0%	56.3%
Total de la mezcla de agregados	100.0%	93.9%
Peso Esp. Agreg 1		2.824
Peso Esp. Agreg 2		2.618
Peso Esp. Agreg 3		2.430

$$Peagr = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag 1}{PE_1} + \frac{\%Ag 2}{PE_2} + \frac{\%Ag 3}{PE_3}}$$

$$Peagr = 2.528 \text{ gr/cc}$$

PESO ESPECIFICO VIRTUAL DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

% de Asfalto		5.90%
% de agregado en la mezcla		93.90%
Peso Especifico mezcla (RICE) gr/cc		2.410
peso Especifico cemento asf. gr/cc		1.015

$$PEv = \frac{\% \text{ de Agreg en la mezcla}}{100 - \frac{\%c. Asf}{PE \text{ c. asf}}}$$

$$PEv = 2.631 \text{ gr/cc}$$

% C.A. ABSORBIDO POR LOS AGREGADOS

$$\% \text{ ca-a} = \frac{(Pev - Peagr)}{(Pev \times Peagr)} \times 100 \times PE \text{ ca}$$

$$\% \text{ ca-a} = 10.0\%$$

CONTENIDO EFECTIVO DE CEMENTO ASFÁLTICO

$$\% \text{ CA.e} = \% \text{ ca} - (\% \text{ ca.a}) / 100 \times \% \text{ Agr mezcla}$$

$$\% \text{ CA.e} = 5.84\%$$

COMPROBACIÓN PESO ESPECIFICO DE LA MEZCLA (5.9% ca)

A=	Peso de la muestra	2000
D=	Peso del recipiente + agua	5395
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6568.3
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	2.419

ELABORADO



Tec.Lab. Darwin Cadena B.

LABORATORISTA

Anexo 3. Cálculos Ensayo de Gravedad Especifica.

6.3.3. Ensayo de Sulfatos



TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN

ENSAYO: DESGASTE A LOS SULFATOS
NORMA INEN 604 E ABRIL 7-100

PROYECTO:	FECHA ENSA: #####	FECHA ENTRE: #####
SOLICITA:	FISCALIZADOR:	
PROCEDENCIA:	SUPERVISOR:	
PROPIETARIO:	LABORATORISTA: Tec. Lab. Darwin Cadena B.	
ENSAYO N°:	USO: Varios	

TAMBO		N° DE PARTICULAS		FENÓMENA
PARA TAMBO	RETIENE TAMBO	ANTES DEL ENSAYO	DESPUES DEL ENSAYO	
10"	5"	100	35.8	SI
5"	3/4"	100	35.4	SI

TAMBO	PARA TAMBO	RETIENE TAMBO	Peso antes de ensa	Peso despues de ensa	Peso en suavizado	% de desgaste
CONSISTENCIA (MORTAR)						
10"	5"	100	1479.4	1478.4	0.00	SI
10"	3/4"	100	1485.8	1485.8	0.00	SI
3/4"	3/8"	100	119.7	119.7	0.00	SI
3/8"	N 4	100	210.2	210.2	0.00	SI
CONSISTENCIA (PASTA)						
3/8"	N 4	100	33.1	33.1	0.00	SI
N 4	N 8	100	33.1	33.1	0.00	SI
N 8	N 16	100	33.1	33.1	0.00	SI
N 16	N 30	100	33.1	33.1	0.00	SI
N 30	N 50	100	33.1	33.1	0.00	SI

PRECAUCIONES:
En los recipientes con los PMP 804 P. 0201 T. 01, 0202 T. 01, 0203 T. 01, se debe que sea un filtro de magnesia al menos de 100 micras en el caso de perdida al desmenuarse en el tambo de tamizado que se produce con sulfatos. Anotar de especificación.

DESGASTE OBTENIDO LUEGO DE 5 CICLOS DE INMERSI: SI

ELABORADO



Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORISTA LDMS

Anexo 4. Cálculos Ensayo Desgaste a los Sulfatos.

6.3.4. Ensayo Equivalente de arena


LDMS TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN
ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA NORMA: AASHTO T 176 O ASTM D2419

PROYECTO: _____
 ENTIDAD CONTRATANTE: _____
 PROCEDENCIA: _____
 PROPIETARIO: _____
 ENSAYO N°: _____

FECHA: _____
 ATENCIÓN: _____
 CONTRATISTA: _____
 LABORATORISTA: Tec. Lab. Darwin Cadena B

MUESTRA	LECTURA ARCILLA	LECTURA ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA
1	4.1	3.3	80.5%
2	3.8	2.7	81.8%
3	3.8	3.1	81.6%
ESPECIFICACION > 50%		PROMEDIO	81.3%

OBSERVACIONES: El porcentaje de equivalente de arena en la muestra es mayor que el mínimo requerido en la especificado por lo que este material puede ser utilizado para cualquier tipo de construcción siempre que no exista contaminación con otros materiales ya que esta bordeando los límites de especificación.

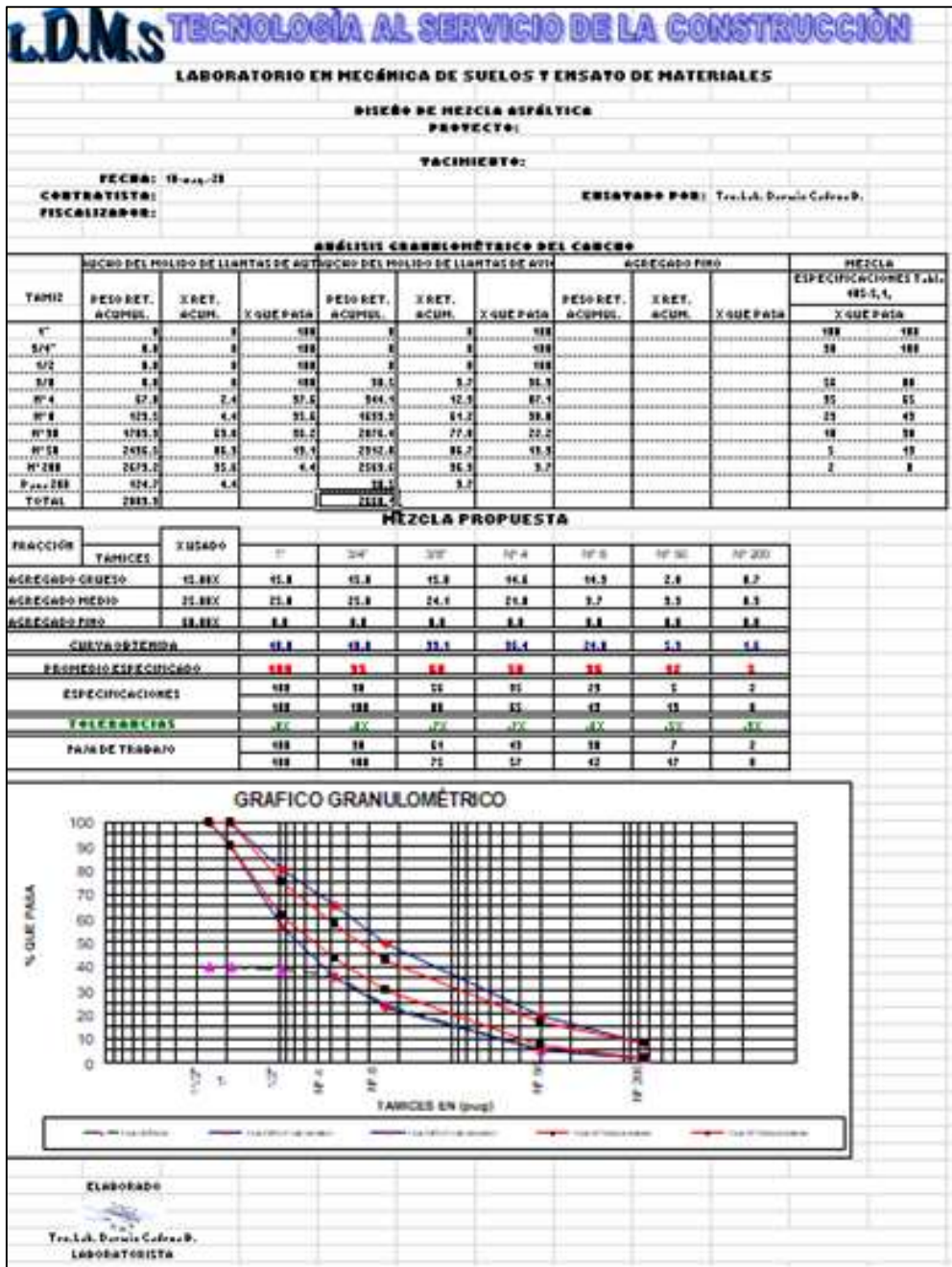
ELABORADO

 Tec. Lab. Darwin Cadena B
 LABORATORISTA LDMS

Página 3

Página 4

Anexo 5. Cálculos Ensayo Equivalente de Arena.

6.3.5. Ensayo Granulometría del Caucho



Anexo 6. Cálculos Ensayo Granulometría del Caucho.

6.3.6. Ensayos cemento Asfáltico

L.D.M.S. TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN						
LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES						
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA						
PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.						
Cemento Asfáltico Refinería de Esmeraldas						
FECHA: SOLICITADO POR:			FISCALIZADOR: ENSAYADO POR: TecLab. Darwin Cadena B.			
Resultado de la Caracterización del Asfalto AC20						
ENSAYO	NORMA	LÍMITES		UNIDADES	RESULTADO	CUMPLE
		Mín.	Máx.			
Viscosidad absoluta 60°C	ASTM D217/ASTM D217M-10	180	240	P/s	197.95	SI
Viscosidad absoluta 135°C	ASTM D217/ASTM D217M-10	300	-	mm ² /s	339	SI
Punto de Chispa copa abierta de Cleveland	ASTM D32	232	-	°C	308	SI
Punto de Ullma copa abierta de Cleveland	ASTM 32	-	-	°C	300	SI
Densidad por el método del picnómetro	ASTM D70	-	-	Kg/m ³	975.22	SI
Penetración a 25°C	ASTM D5/ASTM D5M	1.5	1	-	0.74	SI
Punto de ablandamiento	ASTM D36/ASTM D36M	-	-	°C	88.4	SI
Cambio de masa RTFO	ASTM D372	-	1	%	0.94	SI
Ductilidad a 25°C	ASTM D113	50	-	cm	51	SI

ELABORADO:
 TecLab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA

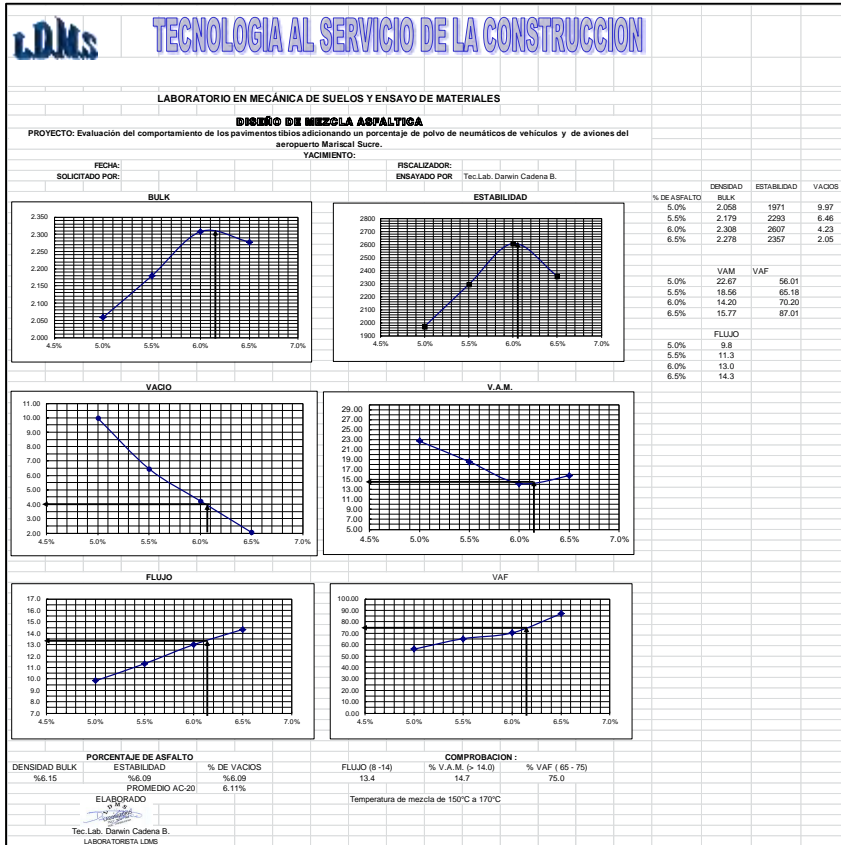
Anexo 7. Cálculos Ensayo Cemento Asfáltico.

6.3.7. Marshall sin Aditivo

L.D.M.S. TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN																		
PROPIEDADES MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS																		
PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.											Uso: Diseño							
FISCALIZADOR: ENSAYADO: Tec. Lab. Darwin Cadena B. PROCEDENCIA AC-20 Refinería de Esmeraldas											FAJA GRANULOMÉTRICA: 3/4" MUESTRAS TOMADAS EN: Diseño Penetración de C.Asfáltico: 90 - 100 Aitvo asfáltico P.E.A.: 1.015 P.E.Ag.: 2.528							
BRIQUETA No.	FECHA	% C.A.	FACTOR			PESO GRAMOS	VOL. cm ³ .	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie ³)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.) FLUJO		
			CORREC.	Aire	Saturado			Agua	BULK	RICE	Asfalto	Áridos		Vacios	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.
1	10-05-20	5.0%	0.81	1242.3	1244.8	634.3	610.5	2.035								2397.0	1941.6	9.5
2			0.81	1289.7	1291.6	667.8	623.8	2.067								2433.0	1970.7	10.0
3			0.83	1198.2	1200.5	622.2	578.3	2.072									2411.0	2001.1
PROMEDIO							2.058	2.286	46.03	81.36	9.97	128.43	22.67	56.01			1971	9.8
1	10-05-20	5.5%	0.83	1286.4	1288.2	703.4	584.8	2.200								2615.0	2170.5	11.0
2			0.81	1312.5	1315.4	711.7	603.7	2.174								2898.0	2347.4	12.0
3			0.81	1278.0	1281.6	690.8	590.8	2.163								2915.0	2361.2	11.0
PROMEDIO							2.179	2.330	58.72	86.14	6.46	135.97	18.56	65.18			2293	11.3
1	10-05-20	6.0%	1.00	1189.9	1191.0	674.6	516.4	2.304								2566.0	2566.0	12.5
2			0.93	1242.6	1243.8	705.1	538.7	2.307								2767.0	2573.3	13.0
3			0.89	1283.1	1284.7	729.8	554.9	2.312								3012.0	2680.7	13.5
PROMEDIO							2.308	2.410	65.97	91.22	4.23	144.00	14.20	70.20			2607	13.0
1	10-05-20	6.5%	0.93	1225.6	1227.1	689.4	537.7	2.279								2566.0	2386.4	14.5
2			0.86	1278.4	1279.8	715.0	564.8	2.263								2831.0	2434.7	14.0
3			0.86	1305.9	1307.1	736.9	570.2	2.290								2615.0	2248.9	14.5
PROMEDIO							2.278	2.325	84.96	90.03	2.05	142.13	15.77	87.01			2357	14.3

ELABORADO:
 TecLab. Darwin Cadena B.
 LABORATORISTA

Anexo 8. Cálculos de Marshall Sin Aditivo.



Anexo 9. Gráficas Marshall Sin Aditivo.

6.3.8. Marshall con Aditivo

L.D.M.s **TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCION**

PROPIEDADES MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos tíbidos adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre. USO: Diseño

FISCALIZADOR: MUESTRAS TOMADAS EN: 3/4"

ENSAYADO: Tec. Lab. Darwin Cadena B. Penetración de C. Asfáltico: 80 - 100

PROCEDENCIA AC-20: Refinería de Esmeraldas. Activo asfáltico: Zyco Therm-E al 0.3%

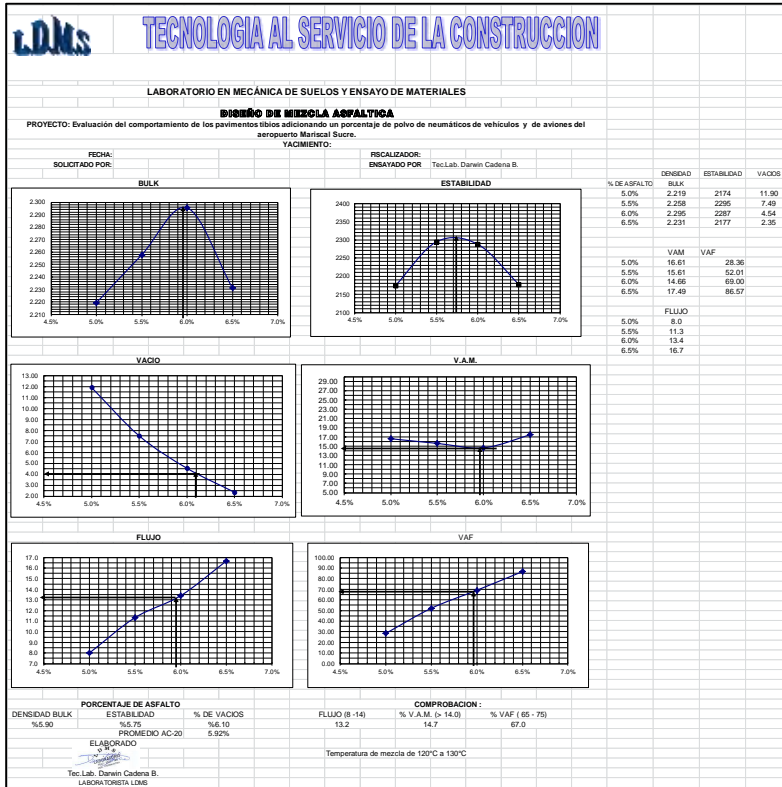
P.E.C.A.: 1.015

P.E.Ag: 2.528

BRIQUETA No.	FECHA	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
				Aire	Saturado	Agua		BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacios		Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	Correg.	
1	20-06-20	5.0%	0.86	1269.4	1275.6	705.4	570.2	2.226								2542.0	2186.1	8.0
2			0.86	1257.3	1289.3	720.5	568.8	2.210								2489.0	2140.5	9.0
3			0.81	1309.4	1314.2	724.6	589.6	2.221	2.519	16.45	87.73	11.90	138.48	16.61	28.36	2712.0	2196.7	7.0
PROMEDIO																		
1	20-06-20	5.5%	0.96	1189.4	1195.0	666.9	529.1	2.248								2387.0	2291.5	11.0
2			0.96	1215.7	1220.8	689.2	531.6	2.287								2400.0	2304.0	13.0
3			0.96	1186.3	1192.3	662.3	530.0	2.238	2.258	2.441	44.52	89.25	7.49	140.88	15.61	52.01	2295	2186.1
PROMEDIO																		
1	20-06-20	6.0%	1.00	1189.6	1196.3	678.4	517.9	2.297								2289.0	2289.0	14.0
2			1.09	1115.6	1120.0	635.8	484.2	2.304								2095.0	2283.6	12.5
3			0.93	1245.1	1251.0	706.2	544.8	2.285	2.295	2.405	64.46	90.74	4.54	143.24	14.68	69.00	2462.0	2289.7
PROMEDIO																		
1	20-06-20	6.5%	0.89	1245.7	1249.8	690.0	599.8	2.225								2545.0	2265.1	17.0
2			0.83	1289.6	1292.6	712.0	580.6	2.221								2760.0	2290.8	17.0
3			0.83	1302.5	1304.2	724.5	579.7	2.247	2.231	2.285	84.22	88.19	2.35	139.22	17.49	86.57	2380.0	1975.4
PROMEDIO																		

ELABORADO: Tec. Lab. Darwin Cadena B. LABORATORISTA

Anexo 10. Cálculos Marshall Con Aditivo.



Anexo 11. Graficas Marshall con Aditivo.

6.3.9. Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil

L.D.M.S. TECNOLOGIA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCION

PROPIEDADES MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos fibros adiciando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.

USO: Diseño

FAJA GRANULOMÉTRICA: 3/4"

MUESTRAS TOMADAS EN: Diseño

Penetración de C.Astáltico: 80-100

Alivo asfáltico: Zyco Therm-E al 0.3%

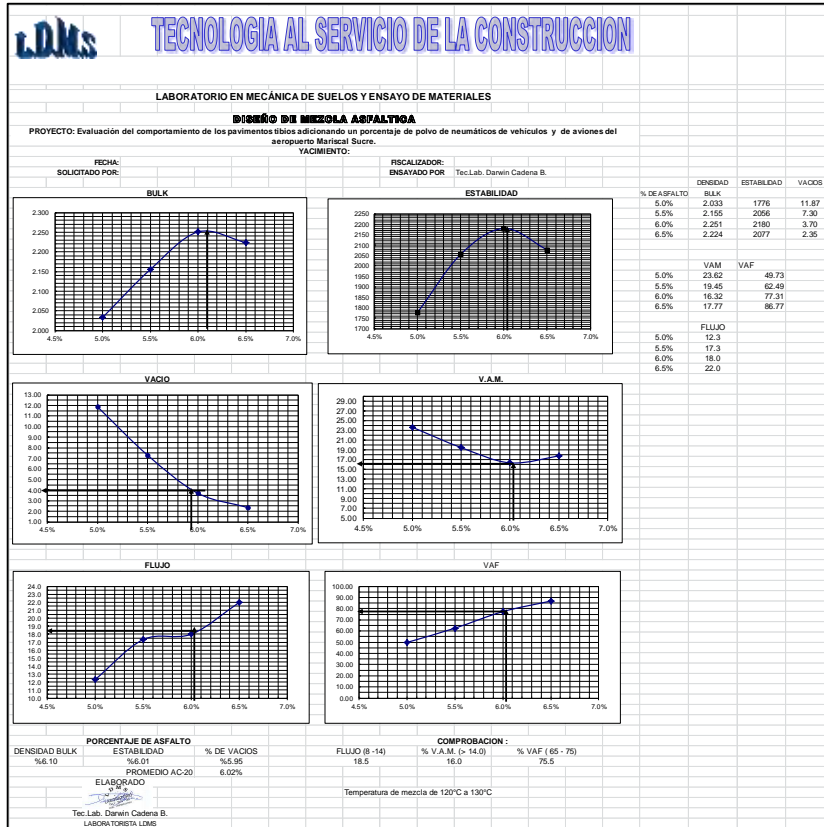
P.E.C.A.: 1.015

P.E.Ag.: 2.528

BRIQUETA No.	FECHA	% DEL POLVO DE LLANTA AUTO	% C.A.	FACTOR			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"	
				CORREC.	Aire	Saturado		Agua	BULK	RICE	Asfalto	Áridos		Vacios	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida		Correg.
1	24-06-20	2.0%	5.0%	0.81	1243.6	1251.7	645.3	606.4	2.051								2145.0	1737.5	12.0
2				0.81	1212.6	1219.3	625.2	594.1	2.041								2234.0	1809.5	14.0
3				0.81	1267.5	1272.5	640.8	631.7	2.006								2198.0	1750.4	11.0
PROMEDIO				0.83	1264.3	1270.4	635.8	584.6	2.163							2469.0	2049.3	17.0	
1	24-06-20	3.0%	5.5%	0.81	1312.5	1317.8	712.4	605.4	2.168								2561.0	2074.4	16.0
2				0.81	1269.7	1275.1	680.2	594.9	2.134								2522.0	2042.8	19.0
3				0.86	1278.4	1283.4	714.5	568.9	2.247								2496.0	2146.6	18.0
PROMEDIO				0.83	1296.5	1301.9	725.8	576.1	2.250							2680.0	2224.4	21.0	
1	24-06-20	4.0%	6.0%	0.81	1324.7	1329.7	742.1	587.8	2.254								2676.0	2167.8	15.0
2				0.83	1198.7	1201.3	655.3	536.0	2.236								2221.0	2065.5	21.0
3				0.86	1265.3	1267.8	698.0	569.8	2.221								2411.0	2073.5	21.0
PROMEDIO				0.86	1240.1	1242.5	682.3	560.2	2.214							2434.0	2093.2	24.0	
PROMEDIO									2.224	2.277	84.42	87.89	2.35	138.75	17.77	86.77	2077	22.0	

ELABORADO: Tec. Lab. Darwin Cadena B. LABORATORISTA

Anexo 12. Cálculos Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil



Anexo 13. Gráficas Marshall Aditivo + Partículas de neumáticos de automóvil

6.3.10. Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión

L.D.M.S. TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN

PROPIEDADES MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

BRIQUETA No.	FECHA	% DEL POLVO DE LLANTA AVION	% C.A.	PESO GRAMOS			VOL. cm3.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT. (Lib/pie3)	VACÍOS %		ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO 1/100"
				CORREC.	Aire	Saturado		Agua	BULK	RICE	Asfalto	Áridos		Vacios	Vacios Agr VAM	Vacios llenos asfalto VAF	Medida	
1	28-06-20	2.0%	5.0%	0.86	1145.7	1148.1	576.5	571.6	2.004							1789.0	1538.5	19.0
2				0.81	1198.3	1200.9	611.9	589.0	2.034							1876.0	1519.6	15.0
3				0.81	1166.9	1169.3	580.8	588.5	1.983							1954.0	1582.7	18.0
PROMEDIO								2.007	2.340	27.83	79.35	14.24	125.25	24.58	42.07		1547	17.3
1	28-06-20	3.0%	5.5%	0.83	1233.6	1235.3	651.5	583.8	2.113							2233.0	1853.4	21.0
2				0.86	1209.9	1211.2	642.3	568.9	2.127							2309.0	1985.7	23.0
3				0.83	1252.5	1253.4	667.9	585.5	2.139							2511.0	2084.1	20.0
PROMEDIO								2.126	2.271	62.68	84.06	6.36	132.68	20.52	69.03		1974	21.3
1	28-06-20	4.0%	6.0%	0.89	1240.4	1241.9	688.3	553.6	2.241							2496.0	2221.4	25.0
2				0.89	1229.5	1231.0	680.0	551.0	2.231							2349.0	2090.6	21.0
3				0.89	1270.1	1271.3	715.8	555.5	2.286							2544.0	2264.2	23.0
PROMEDIO								2.253	2.329	76.69	89.05	3.26	140.57	16.24	79.94		2192	23.0
1	28-06-20	5.0%	6.5%	0.81	1233.7	1234.4	644.4	590.0	2.091							2221.0	1799.0	21.0
2				0.81	1298.9	1299.1	658.3	640.8	2.027							2411.0	1952.9	21.0
3				0.83	1243.4	1245.8	667.6	578.2	2.150							2331.0	1934.7	24.0
PROMEDIO								2.069	2.130	89.79	82.59	1.89	130.38	22.73	91.68		1896	22.0

ELABORADO: Tec. Lab. Darwin Cadena B. LABORATORISTA LDMs

Anexo 14. Cálculo Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión

LABORATORIO EN MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

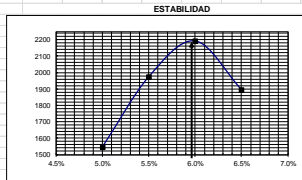
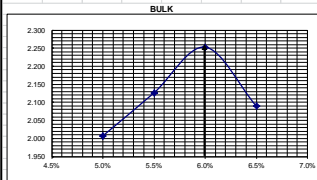
DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA

PROYECTO: Evaluación del comportamiento de los pavimentos fibros adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre.

YACIMIENTO:

FECHA:
SOLICITADO POR:

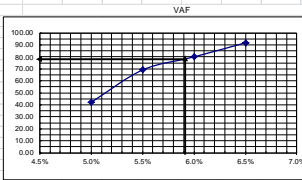
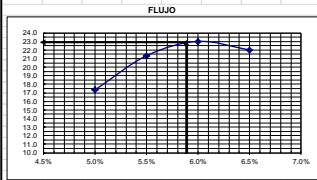
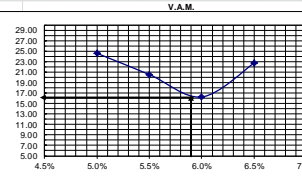
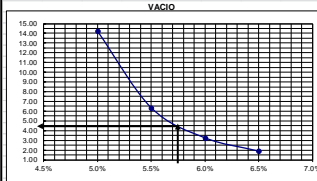
RISCALIZADOR:
ENSAYADO POR: Tec. Lab. Darwin Cadena B.



% DE ASFALTO	DENSIDAD BULK	ESTABILIDAD	VACIOS
5.0%	2.007	1547	14.24
5.5%	2.126	1974	6.36
6.0%	2.253	2192	3.95
6.5%	2.089	1896	1.89

	VAM	VAF
5.0%	24.58	42.07
5.5%	20.52	69.03
6.0%	16.24	79.94
6.5%	22.73	91.68

	FLUJO
5.0%	17.3
5.5%	21.3
6.0%	23.0
6.5%	22.0



PORCENTAJE DE ASFALTO			COMPROBACION:		
DENSIDAD BULK	ESTABILIDAD	% DE VACIOS	FLUJO (8-14)	% V.A.M. (> 14.0)	% VAF (65-75)
6.00	6.95	6.75	23.0	16.0	75.7
PROMEDIO AC-20 5.90%					


ELABORADO: [Firma]

Tec. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORIA L.D.M.S

Temperatura de mezcla de 120°C a 130°C

Anexo 15. Gráficas Marshall Aditivo + Polvo de neumáticos de avión.

6.3.11. Informe de resultados



LDMS
TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES, DISEÑO Y MECÁNICA DE SUELOS

**PROYECTO: "Evaluación del comportamiento de los pavimentos
tibios adicionando un porcentaje de polvo de neumáticos de
vehículos y de aviones del aeropuerto Mariscal Sucre."**

CONTRATISTA:

FISCALIZADOR:
REALIZADO: POR LABORATORIOS "LDM S"

FECHA: 10-06-2020

MÉTODO UTILIZADO:
**MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS DE AGREGADOS CON
CEMENTO ASFÁLTICO.**

DISEÑO CARPETA ASFÁLTICA

1. PROPÓSITO

1.2. Propósito General

Determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla hecha en el laboratorio y procesarla en una planta de mezcla en caliente.

1.3. Propósito Concreto

- Medir la estabilidad y flujo de las muestras.
- Determinar la cantidad de asfalto suficiente para recubrir completamente los agregados.
- Realizar un análisis de densidad-vacíos de la mezcla.

2. EQUIPO UTILIZADO PARA REALIZAR ESTE DISEÑO

- Juego de elementos para ensayo Marshall, que incluye molde de compactación, especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y guías para ensayo con sus guías.
- Otros elementos tales como Tamices, balanzas, calentadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, baño María, extractores de muestras, etc.

Dirección: Panamericana sur Km. 101/2 Barrio La Patagonia S42A, S42-36 y E2F
Quito—Ecuador
Telf: 3010100—3010169—094185252 mail: ldms@ingenieria@hotmail.com
Página 1 de 5

Anexo 16. Informe de Resultados Pág. 1.



LDMS

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES, DISEÑO Y MECÁNICA DE SUELOS

3. TÉCNICA DE ENSAYO, ANÁLISIS DE DATOS Y CÁLCULOS

3.1. Muestreo necesario

Se recomienda por el método utilizado elaborar tres muestras para cada combinación de agregados y contenido de cemento asfáltico elegida. Tanto los agregados como el asfalto deberán cumplir individualmente las especificaciones técnicas correspondientes a ellos.

3.2. Preparación de los agregados

Procedemos a secar los agregados por separado a una temperatura de 110°C hasta peso constante. Al tener el agregado procedemos a efectuar su granulometría por separado y luego realizamos las combinaciones necesarias para trabajar con las especificaciones técnicas y trabajamos con la graduación recomendada que para nuestro caso es la faja de 34".

Para el método Marshall, con el cual es realizado este diseño, nos permite trabajarlo en planta en caliente utilizando las **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOP-001-F-2002 Y LAS INDICADAS POR EL INSTITUTO DEL ASFALTO.**

4. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO

Estabilidad	(lb.)	2200 mínimo (tráfico muy pesado)
Flujo	(0.01")	8 - 14
Vacios con aire	(%)	3 - 5
V.A.M	(%)	13 mínimo
V.A.F	(%)	64 - 75
Temperatura del asfalto	(°C)	140 - 160
Temperatura de los agregados	(°C)	140 - 160
Temperatura de la mezcla	(°C)	150
Nº golpes por capa		75
Relación Agua betún		0.8 - 1.2
Estabilidad retenida luego de 24h de inmersión en agua a temperatura ambiente	(%)	70 mínimo

5. AGREGADOS UTILIZADOS

Para producir esta mezcla la cual será utilizada como carpeta asfáltica, se tritura materiales provenientes de la mina Pifo de la planta de **disensa**, Parroquia Pifo, Provincia de Cotacachi los cuales se les clasifica en tres tamaños:

Dirección: Panamericana s/n Km 10 1/2 Barrio La Patagonia 942A, 942-36 y 82F
Quito—Ecuador

Tel: 3010100—3010169—094185252 mail: ldms@ingenieriaa@hotmail.com

Página 2 de 5



LDMS

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES, ESTRUCTURAS Y MECÁNICA DE SUELOS

Grava pasa 1" y retiene 1/2"

Grava pasa 1/2" y retiene 1/4"

Agregado fino pasa 1/4" (Este material está previamente mezclado entre el fino de trituración y el fino del cribado)

El asfalto a utilizar será el producido en la refinería Estatal de Esmeraldas, denominado AC -20

El aditivo utilizado es un aditivo de adherencia y ayuda en las propiedades térmicas para que las bajas de temperatura no provoquen daños prematuros, denominado **Zyco 3000- E**.

8. PROPIEDADES OBTENIDAS:

Partiendo de lo establecido en el método Marshall, el que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel que se logra obtener con el 4.0% de vacíos con aire, es así que con este contenido las demás propiedades deben cumplir con las especificaciones y normas respectivas; para este diseño se puede ver en el gráfico que el 4% le obtenemos con 5,8% CA y las demás propiedades se indican en el siguiente cuadro

• Sin Aditivo

Estabilidad	2607
Flujo (pulgada/100)	13.0
V.M.A	14.20
V.A.F	70.20
Estabilidad retenida	

• Con Aditivo

Estabilidad	2287
Flujo (pulgada/100)	13.4
V.M.A	14.66
V.A.F	69.00
Estabilidad retenida	

• Con ~~Aditivo~~ ~~Estabiliz~~ de llantas de camión

Estabilidad	2180
Flujo (pulgada/100)	18.0
V.M.A	16.32
V.A.F	77.31
Estabilidad retenida	

• Con ~~Aditivo~~ ~~Estabiliz~~ de llantas de avión

Estabilidad	2192
Flujo (pulgada/100)	23.0
V.M.A	16.24
V.A.F	79.94
Estabilidad retenida	

Observando estos resultados se puede comprobar que se cumplen con las normas establecidas y especificaciones y el porcentaje óptimo de asfalto calculado es 5.90%.

Dirección: Panamericana sur Km 101/2 Barrio La Patagonia SDA 540-36 y 327

Quito—Ecuador

Tel: 3010100—3010169—094185252 mail: ldms@ingenieriaa@hotmail.com

Página 3 de 5



LDMS

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES, DISEÑO Y MECÁNICA DE Puentes

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos para el diseño de la mezcla asfáltica se observa que cumplen con todos los requerimientos de las normas **AAHTO T 245 – 87 (2004)** que garantiza el método aplicado para la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, del cual forma parte el procedimiento descrito en la presente norma, y está realizado de conformidad con las instrucciones del documento MS-2 del **Asphalt Institute, 'Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types'**

Es importante para que el diseño funcione con todas las características se utilice el aditivo recomendado en caso de no hacerlo será necesario recalcular el contenido óptimo de asfalto ya que el aditivo ayuda a optimizar el uso del AC-20.

El diseño cumple con las especificaciones técnicas del MTOP 2002 (MOP-001-F – 2000) según el literal 404-5.02. Materiales. - Serán los especificados en la subsección 405-5.02, además se permitirá que la granulometría de los áridos se conforme de acuerdo a lo especificado en la tabla 404-5.1

Este diseño está apto para ser utilizado sin ningún problema en la mezcla en planta

Se recomienda antes de utilizar el diseño comprobar las calibraciones de la planta para no tener problemas con el diseño.

8. Bibliografía

- Especificaciones técnicas del MTOP 2002 (MOP-001-F – 2000)
- Annual Book of ASTM Standard, 4.03 Roofing and Paving Material; **Vehicle Pavement System** (2001).
- Asociación Mexicana de Ingeniería en Vías Terrestres, **Ecología**, de asfaltos teoría, aplicación e implementación, 4o Seminario Técnico (1995).
- Asphalt Institute Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing, Series, No 1 (SP-1), (1996).
- **Asphalt Institute, Superpave Mix Design**, Series No 2 (SP-2), (1996).
- Centros de Estudio Experimentales de Obras Públicas – Centro de Estudios de Caméteras, Normas NLT1-Ensayos de caméteras.
- Dale Alan Rand, Comparative Analysis of **Superpave** Gyrotory Compactors and **TeDeJ**, Gyrotory Compactors. Texas Department of Transportation.
- **Boaligan** E T, **Leahy** R B, **Youchko** J S, The SUPERPAVE Mix Design System Manual of Specification, Test Method, and Practices, SHRP-A-379, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC (1994).
- Murphy M, **O'Mahony**, M, **Lyons** C y Jamieson I, Materials and Structures/**Matériaux et Constructions**, Vol 33, pp 438 (2000)
- Instituto Mexicano del Transporte, Manual de Calidad de los Materiales en Secciones Estructurales de Pavimentos Caméteros, Documento Técnico, No. 1, (1990).

Concluyendo que la demás características se encuentra dentro de especificaciones.

NOTA: se adjunta informes.

Dirección: Panamericana sur Km 101/2 Barrio La Patagonia S2A, S4D-36 y E2F

Quito—Ecuador

Tel: 3010100—3010169—094185252 mail: ldms@ingenieria.net

Página 4 de 5



LDM S

TECNOLOGÍA AL SERVICIO DE LA INGENIERÍA EN LA CONSTRUCCIÓN
LABORATORIO DE MATERIALES, DISEÑO Y MECÁNICA DE PULSOS

Atentamente,



Joc. Lab. Darwin Cadena B.
LABORATORIO LDM S

Dirección: Puntarenas s/n Est. III-C Barrio La Paz Zona NEA, 342-96 y E29
Grua - Ecuador
Tel: 3011181 - 3011186 - 0991252512 / 0991252512@lms.com.ec
Página 5 de 5

6.3.11. Fotos



Anexo 21. Laboratorios



Anexo 22. Laboratorio Cuarteo, medición, peso.



Anexo 23. Laboratorio, Agregados.



Anexo 24. Laboratorio Pesos Balanza.



Anexo 25. Laboratorio, Mezcla Material.



Anexo 26. Laboratorio, Preparación Briquetas.



Anexo 27. Laboratorio, Compactación Briquetas.



Anexo 28. Laboratorio Ensayos Marshall.



Anexo 29. Laboratorio, Briquetas.