

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Hoy en día, el uso de materiales asfálticos reciclados se ha convertido en una tendencia mundial como una opción muy conveniente para los llamados procesos viales sustentables. En este contexto, la función del material reciclado está dirigida a reducir el consumo de recursos naturales, incluidos los aspectos económicos, energéticos y técnicos, lo que se traduce en importantes ahorros en las obras viales.

Además, la infraestructura vial de Bolivia vive una revolución, con una creciente construcción de carreteras, columna vertebral del crecimiento económico del país, La Red Fundamental está bajo responsabilidad del Servicio Nacional de Caminos, la red de carreteras tiene una longitud de 69820 Km (2010) de los cuales aproximadamente 11.000 Km corresponden a la Red Fundamental.

Existen investigaciones previas basadas en el uso de aceite motor usado en mezclas asfálticas entre las que destacan tenemos: DeDene en el año 2011 desarrollo la “Investigación del uso del aceite usado de motor en RAP, para mejorar la reciclabilidad de estos”, en donde se concluye que el aceite actúa como un rejuvenecedor del asfalto. Sin embargo, en porcentajes elevados incrementa la probabilidad de desprendimientos en la mezcla.

En el año 2013 Golaipur realizó la investigación titulada “Efecto de la adición de aceite usado en las características críticas de las carpetas asfálticas”, en la investigación se destaca que la adición de aceite tiene un efecto positivo sobre la resistencia del aglutinante en un amplio rango de temperatura.

Con base en las investigaciones desarrolladas en el mundo y también a nivel nacional, se plantea esta investigación, cuyo objetivo principal es Analizar la incidencia de aceite de motor desechado de vehículos con material reciclado asfáltico como un posible rejuvenecedor de asfaltos, siendo esta una alternativa para la restauración y rehabilitación de pavimentos asfálticos y así plantear la posibilidad de usar material reciclado asfáltico y aceite de motor en los porcentajes adecuados, con el propósito de

ayudar a un desarrollo sostenible, ya que esta práctica ha sido poco o nada empleada en el país.

1.2. Situación problemática

El aceite de motor desechado de vehículo puede someterse a un reciclado para producir otros materiales como, betún asfáltico, que luego puede ser usado en el asfalto de carreteras.

La cantidad de aceite de motor desechado de vehículo dependerá en gran medida de sus propiedades que han perdido el material reciclado asfáltico.

La modificación se realizará al material reciclado asfáltico, lo cual tendrá en su composición un porcentaje de aceite de motor desechado de vehículo.

Este análisis servirá como referencia para la utilización del aceite de motor desechado de vehículo como agente de mejora en el desempeño de las propiedades de la mezcla asfáltica, además de la reducción de residuos de aceite de motor desechado de vehículo.

1.2.1. Problema

¿Cómo se puede establecer la incidencia de aceite de motor desechado de vehículo en los materiales reciclados asfálticos?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

Se han realizado varios estudios relacionados con el manejo y comportamiento del reciclado en diferentes condiciones, que en su mayoría se relacionan con la cantidad óptima para la mezcla agregando algunos agentes rejuvenecedores. Sin embargo, se estudia poco sobre las propiedades y características de este material.

Es de esta manera, que el problema radica en la carencia de investigación que se realiza en determinar las cantidades adecuadas de Aceite desechado de motor en mezclas asfálticas que contienen RAP y como este logra actuar como un rejuvenecedor en pavimentos envejecidos.

El desarrollo de técnicas de reciclaje de materiales mediante la trituración de capas de revestimientos antiguos permite reducir desde un punto de vista económico:

- Transporte de materiales, como resultado de lo cual se reducen los costos directos e indirectos de su uso.
- Utilizando los mismos asfaltos, las mismas plantas asfálticas y los mismos equipos de compactación que en la producción de mezclas asfálticas convencionales, el costo final de la carpeta reciclada es mucho menor que el de las carpetas hechas de material virgen.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

El tiempo que tendrá esta investigación es en tiempo futuro, ya que el diseño Marshall que se realizara en el presente proyecto y además de la implementación de un aditivo no convencional como lo es el aceite de motor, prevalecerá en el tiempo ya que se tendrá conocimiento de la incidencia que tendrá este aditivo frente a una mezcla de concreto asfáltico.

La delimitación espacial está dada de la siguiente manera:

- **Área de trabajo:**

Agregados: Material que tiene la alcaldía municipal de la provincia Cercado del departamento de Tarija que está ubicado en la Pintada.

Agregados rap: La muestra de material RAP o pavimento reciclado fue recogido del departamento de Tarija, dentro la provincia Cercado, del barrio los Pedro Antonio flores, de sobre la calle Santa Rosa y Tentaguasu.

Cemento asfáltico: El asfalto utilizado en la elaboración de probetas en la presente investigación para la mezcla asfáltica convencional, fue cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.

Aceite desechado de motor (Gas - gasolina): El aceite fue recolectado de un VAGONETA TOYOTA NOAH motor a (gas-gasolina) el cual usa un aceite 5w30 de la marca REPSOL. Es importante resaltar que para la investigación este aceite tuvo un uso con fecha calendario de cambió según indicaba el fabricante.

Aceite desechado de motor (diésel): El aceite fue recolectado de un camión NISSAN CONDOR de motor a diésel el cual usa un aceite 15w40 de la marca

NISSAN. Es importante resaltar que para la investigación este aceite tuvo un uso con fecha calendario de cambió según indicaba el fabricante.

- **Base de operaciones:**

Laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Laboratorio de física de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.3. Justificación

Se han llevado a cabo una serie de estudios sobre el comportamiento de procesamiento y regeneración en diferentes condiciones, principalmente en relación con la cantidad óptima de mezclas con algunos regenerantes agregados.

Para ello, es necesario analizar diferentes mezclas asfálticas que contengan materiales nuevos y reciclados (aceite desechado de motor de vehículo y mezclas asfálticas que contengan RAP (Material Reciclado Asfáltico)) para poder evaluar el comportamiento resultante del uso de estos materiales en las propiedades de estas mezclas.

De esta forma, el problema es la falta de investigación para determinar la cantidad adecuada de aceite desechado de motor de vehículo en mezclas asfálticas que contengan RAP (Material Reciclado Asfáltico) y cómo actúa como agente rejuvenecedor en pavimentos envejecidos.

Uno de los mayores problemas del mundo es la contaminación ambiental. La necesidad de reciclar los residuos de mezclas asfálticas no es solo un problema de los países más grandes o de las sociedades más industrializadas, sino también un problema global. Muchos países, desde los más desarrollados hasta los países en desarrollo como el nuestro, pueden utilizar estas tecnologías de reciclaje para ahorrar recursos naturales y proteger el medio ambiente.

Los pavimentos de asfalto se utilizan mucho en la construcción de carreteras porque son duraderos y económicos. Por tanto, se proponen un proceso novedoso para reciclar pavimentos de asfalto mezclándolos con aglutinantes a base de aceite y otros aditivos para producir un material de pavimento que se puede usar sin modificaciones importantes en el equipo de pavimentación existente.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar la incidencia de aceite de motor desechado de vehículo con material reciclado asfáltico a través de la metodología Marshall para determinar las propiedades físicas y mecánicas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la granulometría de los agregados naturales.
- Analizar la composición granulométrica de los agregados RAP.
- Realizar los ensayos necesarios para la caracterización del cemento asfáltico.
- Establecer los ensayos necesarios para la caracterización del aceite desechado de motor a (gas-gasolina) y aceite desechado de motor a (diésel).
- Determinar el porcentaje de asfalto presente en las mezclas asfálticas recicladas y convencionales.
- Elaborar briquetas con diferentes porcentajes al 5%, 10%, 15 % y 20% de aceite de motor.
- Determinar las propiedades físicas-mecánicas del material reciclado asfáltico con la adición de aceite desechado de motor.
- Realizar briquetas al 5%, de aceite de motor desechado de vehículo (gas-gasolina) y (diésel).
- Comparar las propiedades físicas-mecánicas del material reciclado asfáltico con la adición de aceite desechado de motor a (gas-gasolina) al 5% y aceite desechado de motor a (diésel) al 5%.

1.5. Hipótesis

Tipo causal/explicativo:

“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor desechado mejorara sus propiedades frente a otras mezclas asfálticas”

1.6.1. Variable independiente

X= % aceite de motor desechado.

1.6.2. Variable dependiente

Y= Propiedades de la mezcla asfáltica.

1.6.3. Conceptualización y operacionabilidad de variables

- **Variable independiente:**

Tabla 1. Variable independiente.

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Adición de aceite desechado de motor vehicular	El asfalto utilizado en la preparación de la mezcla asfáltica en pequeñas proporciones se sustituye por el aceite de motor desechado de vehículo, para el análisis del cumplimiento de la normativa de edificación aplicable.	Material reciclado	Estabilidad (-)	Ensayos de laboratorio (ASTM, AASHTO)
		Aceite de motor desechado	Cantidad (%)	Diseño mezcla asfáltica método Marshall
			Calidad (-)	Investigación bibliográfica y experimental

Fuente. Elaboración propia.

- **Variable dependiente:**

Tabla 2. Variable dependiente.

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Propiedades del material reciclado asfáltico	La compatibilidad con las propiedades mecánicas y físicas de la mezcla depende de la dosificación y calidad de la producción de briquetas	Calidad del material reciclado asfáltico	Cantidad (%)	Ensayos de laboratorio
		Ensayo de estabilidad	Densidad (kg/m ³) y Peso (kg)	Método Marshall
			Carga axial Mpa, kg/mm ² , kg/cm ²	Investigación bibliográfica y experimental

Fuente. Elaboración propia.

1.7. Identificación del tipo de investigación

Esta investigación es del tipo causal explicativo, donde busca aplicar materiales no convencionales a una norma estandarizada como lo es el método Marshall, y además de explicar que incidencia tiene la aplicación de este material, el cual es el objeto de investigación.

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

1.8.1. Unidad de estudio

La unidad de muestra se considera los ensayos de laboratorio de asfaltos y hormigones necesarios para el método de diseño “Marshall”.

1.8.2. Población

La población para la presente investigación se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3. Población.

N°	Ensayo	Ni	σ^2	$Ni*\sigma^2$	fr	ni	ni
1	Penetración	3	0,10	0,30	0,02	1,50	3
2	Ductilidad	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
3	Punto de ablandamiento	2	0,10	0,20	0,02	1,00	1
4	Punto de combustión C.A.	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
5	Punto de inflamación C.A.	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
6	Punto de combustión (Aceite)	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
7	Punto de inflamación (Aceite)	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
8	Viscosidad cinemática C.A.	4	0,10	0,40	0,03	2,00	2
9	Peso específico C.A.	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
10	Desgaste en la máquina de los ángeles	1	0,10	0,10	0,01	0,50	1
11	Centrifugado	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
12	Caras fracturadas	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
13	Equivalente de arena	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
14	Granulometría grava, gravilla y arena.	9	0,10	0,90	0,07	4,50	5
15	Peso específico grueso y fino	6	0,10	0,60	0,05	3,00	3
16	Peso unitario grava, gravilla y arena	9	0,10	0,90	0,07	4,50	5
17	Viscosidad cinemática (Aceite)	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
18	Contenido de asfalto convencional	18	0,10	1,80	0,14	9,00	9
19	Contenido de asfalto RAP	18	0,10	1,80	0,14	9,00	9
20	granulometría material RAP	3	0,10	0,30	0,02	1,50	2
21	Ensayo Marshall	30	0,10	3,00	0,23	15,00	15
Total		133		13,30		66,50	75,00

Fuente. Elaboración propia.

1.8.3. Muestra

Para obtener el tamaño de la muestra se tomará en cuenta la ecuación de muestreo estratificado con población finita:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni * \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n Ni * \sigma^2}{N}}$$

Donde se tomará en cuenta un nivel de confianza de 95% y de acuerdo a la variable estandarizada es $Z= 1.96$, con un margen de error $e=0.05\%$ que es deducido del nivel de confianza. Y por el corto tiempo establecido se asume una varianza de $\sigma^2=0.10$

Reemplazando se tiene:

$$n = \frac{13,30}{133 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{13,30}{133}}$$

Tamaño de la muestra:

$$n = 71,29$$

Se tomará en cuenta 72 ensayos de método Marshall para realizar con nuestro aditivo aceite desechado de motor.

Tabla 4. Muestra.

N°	Etapas	Ensayo	Ni
1	Ensayo con aditivo seleccionado	Ensayo "Método Marshall" "Estabilidad" "Porcentaje de vacíos" "Peso volumétrico" "Porcentaje de huecos ocupados de C.A." "Contenido óptimo de CA"	72
Total			72

Fuente. Elaboración propia.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

Se determino nuestra técnica de muestreo como “muestreo probabilístico”, del tipo “muestreo simple no aleatorio”.

Tabla 5. Técnicas de muestreo.

Conceptos	Acciones			Productos
	Gabinete	Campo	Laboratorio	
Especificaciones técnicas	Determinar parámetros iniciales de concreto asfáltico	Obtención de la muestra de control	Densidad	Comparación con ficha de especificaciones técnicas
			Ductilidad	
			Punto de inflamación	
			Punto de ablandamiento	
			Viscosidad cinemática	
	Determinación de áridos para ensayo Marshall	Obtención de la muestra de control	Desgaste en la máquina de los ángeles	
			Durabilidad en sulfato de sodio	
			Caras fracturadas	
			Equivalente de arena	
			Granulometría	
Pruebas	Diseño método Marshall	Contenido de aceite quemado de motor	Ensayos Marshall	Incidencia en el contenido óptimo de C.A.
Cálculos	Elaboración de planillas y graficas		Verificación de resultados	Control de mediciones
Conclusiones	Análisis de resultados técnicos y económicos			Análisis final de incidencia

Fuente. Elaboración propia.

1.9. Métodos y técnicas empleadas de la obtención de los materiales.

1.9.1. Método para la obtención de los materiales.

Agregados: La obtención del material fue a pedido, del investigador a la alcaldía municipal de la provincia Cercado del departamento de Tarija, más propiamente de la posta municipal de la alcaldía de Tarija.

Procedimiento:

- Realiza una carta dirigida a la alcaldía municipal de Tarija solicitando el material necesario para la elaboración del proyecto.

Carta modelo

Figura 1. Solicitud de materiales agregados

Tarija, (Fecha)
Estimado: (Nombre) (Cargo que ocupa) <u>Presente</u>
<u>REF. SOLICITUD DE LOS MATERIAL AGREGADOS</u>
Le hago llegar un saludo cordial de mi parte. Por medio de la presente, solicito a su autoridad el permiso correspondiente para el uso de los <u>materiales agregados</u> , en cantidades de grava 3/4 (cantidad) kilos, gravilla 3/8 (cantidad) kilos y arena (cantidad) kilos, con el propósito de elaborar mi proyecto de Ing. Civil, titulado “ Nombre del proyecto ”. asignatura (sigla), (materia) (mención) Razón por la cual espero contar con su autorización para llevar a cabo la actividad antes mencionada. Sin más que agregar, me despido en espera de una pronta respuesta. Atentamente: Nombre del Estudiante Estudiante (sigla)(grupo) El docente de la asignatura (sigla)(grupo) certifica que el estudiante está cursando la asignatura de (materia)(semestre)(año) y requiere lo que solicita para desarrollar su trabajo Nombre del Docente Docente (sigla)(grupo)(semestre)(año)

Fuente: Elaboración propia.

Agregados rap: La muestra de material RAP o pavimento reciclado fue recogido del departamento de Tarija, dentro la provincia Cercado, del barrio los Pedro Antonio flores, de sobre la calle Santa Rosa y Tentaguasu.

Procedimiento:

- Realiza una carta dirigida a la alcaldía municipal de Tarija solicitando el material RAP o pavimento reciclado necesario.

- Si se contara con un banco de acopio del material RAP, realizar una carta dirigida al encargado solicitando el material reciclado necesario.

Carta modelo

Figura 2. Solicitud de material RAP o pavimento reciclado

	Tarija, (Fecha)
Estimado:	
(Nombre)	
(Cargo que ocupa)	
<u>Presente</u>	
<u>REF. SOLICITUD DE MATERIAL RAP O PAVIMENTO RECICLADO</u>	
Le hago llegar un saludo cordial de mi parte.	
Por medio de la presente, solicito a su autoridad el permiso correspondiente para el uso del <u>material rap o pavimento reciclado</u> , en cantidades de (cantidad) kilos, con el propósito de elaborar mi proyecto de Ing. Civil, titulado “ Nombre del proyecto ”. asignatura (sigla), (materia) (mención)	
Razón por la cual espero contar con su autorización para llevar a cabo la actividad antes mencionada. Sin más que agregar, me despido en espera de una pronta respuesta.	
Atentamente:	
Nombre del Estudiante	
Estudiante (sigla)(grupo)	
El docente de la asignatura (sigla)(grupo) certifica que el estudiante está cursando la asignatura de (materia)(semestre)(año) y requiere lo que solicita para desarrollar su trabajo	
Nombre del Docente	
Docente (sigla)(grupo)(semestre)(año)	

Fuente: Elaboración propia.

Cemento asfáltico: El asfalto utilizado en la elaboración de Briquetas en la presente investigación para la mezcla asfáltica convencional, fue cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100, el cual también fue proporcionado por la posta municipal de la alcaldía de Tarija.

Procedimiento:

- Realizar una carta dirigida a la alcaldía municipal de Tarija solicitando el cemento asfáltico tipo (especificar) necesario para la elaboración del proyecto.

Carta modelo

Figura 3. Solicitud de cemento asfáltico

Tarija, (Fecha)
Estimado: (Nombre) (Cargo que ocupa) <u>Presente</u>
<u>REF. SOLICITUD DE CEMENTO ASFALTICO TIPO (ESPECIFICAR)</u>
Le hago llegar un saludo cordial de mi parte. El motivo de la presente carta es para solicitarle a su persona la dotación de 20 kg de cemento asfáltico “TIPO 85-100” para fines académicos para realizar los siguientes ensayos: <ul style="list-style-type: none">• Punto de penetración• Punto de Combustión• Pesos Específicos Cemento Asfáltico• Punto de Inflamación• Relación Viscosidad – Temperatura• Ductilidad con el propósito de elaborar mi proyecto de Ing. Civil, titulado “ Nombre del proyecto ”.
asignatura (sigla), (materia) (mención)
Razón por la cual espero contar con su autorización para llevar a cabo la actividad antes mencionada. Sin más que agregar, me despido en espera de una pronta respuesta.
Atentamente:
Nombre del Estudiante Estudiante (sigla)(grupo)
El docente de la asignatura (sigla)(grupo) certifica que el estudiante está cursando la asignatura de (materia)(semestre)(año) y requiere lo que solicita para desarrollar su trabajo
Nombre del Docente Docente (sigla)(grupo)(semestre)(año)

Fuente: Elaboración propia.

Aceite desechado de motor (Gas - gasolina): El aceite fue recolectado de un vehículo liviano tipo vagoneta Toyota NOAH, con motor de funcionamiento a gas y gasolina, el cual usa un aceite 5w30 de la marca REPSOL.

Cabe recalcar que se utilizara ciertos porcentajes de adición para posteriormente aplicarlos en esta investigación.

Aceite desechado de motor (diésel): El aceite fue recolectado de un camión NISSAN CONDOR de motor a diésel el cual usa un aceite 15w40 de la marca NISSAN. Es importante resaltar que para la investigación este aceite tuvo un uso con fecha calendario de cambió según indicaba el fabricante.

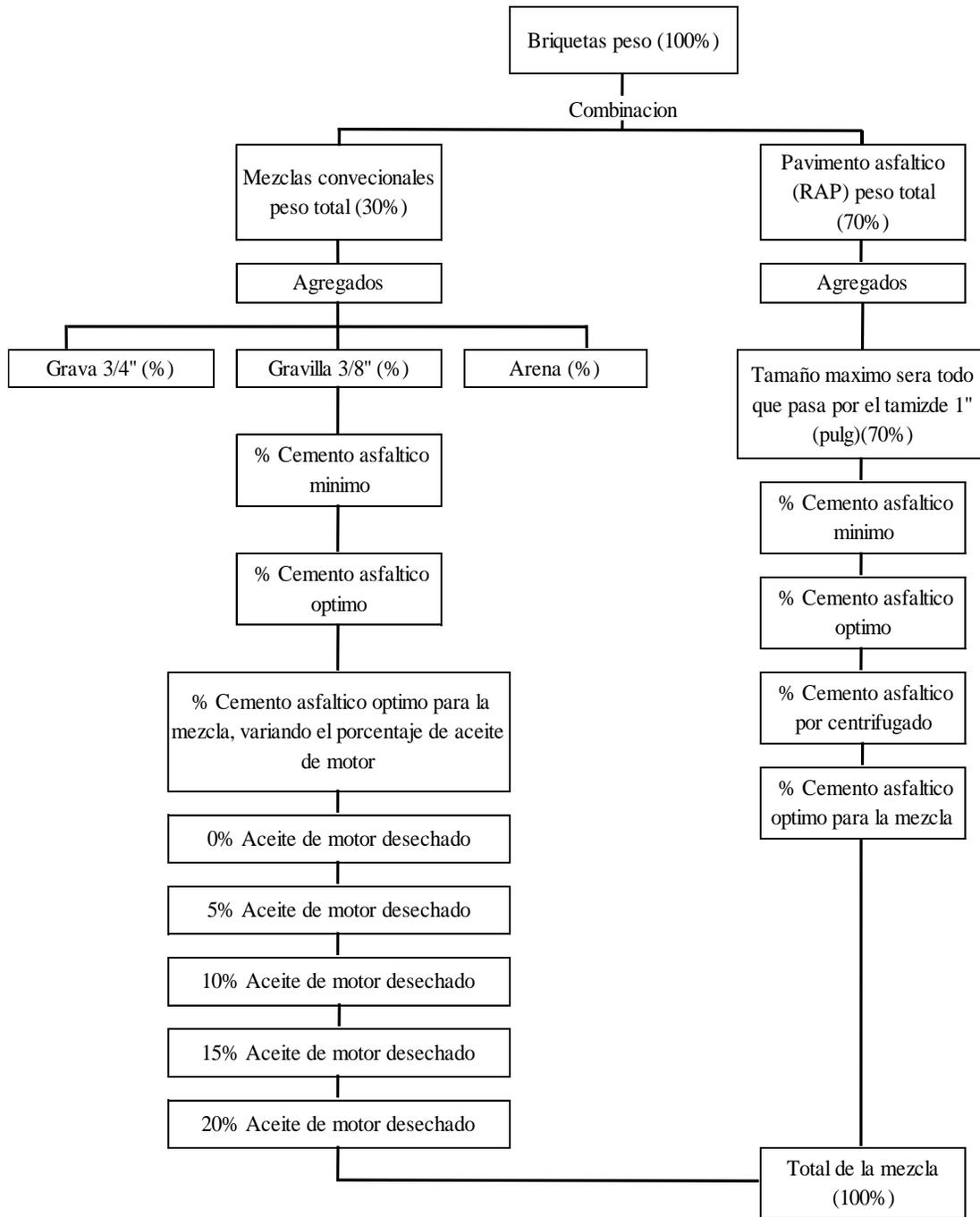
Se utilizará el porcentaje de mayor rendimiento del aceite desechado de motor (gas – gasolina) para posteriormente aplicarlos en esta investigación de manera comparativa.

Tanto para el aceite desechado (gas - gasolina) y (diésel) se seguirá el siguiente procedimiento para la obtención del material.

Procedimiento:

- Se buscará centros o tiendas de lubricantes y cambios de aceite para la recolección del material.
- Al ser un material reciclado desechado, hacer la recolección del aceite, del tipo y marca del vehículo mencionado.
- La cantidad de recolección es de entre 0.5 a 1 litro de aceite desechado.

Gráfico 1. Diseño experimental.



Fuente: Elaboración propia.

1.9.2. Técnicas empleadas al transporte de los materiales.

Agregados: El traslado de los materiales se realizará de manera manual hacia el laboratorio de hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho para su caracterización.

Procedimiento:

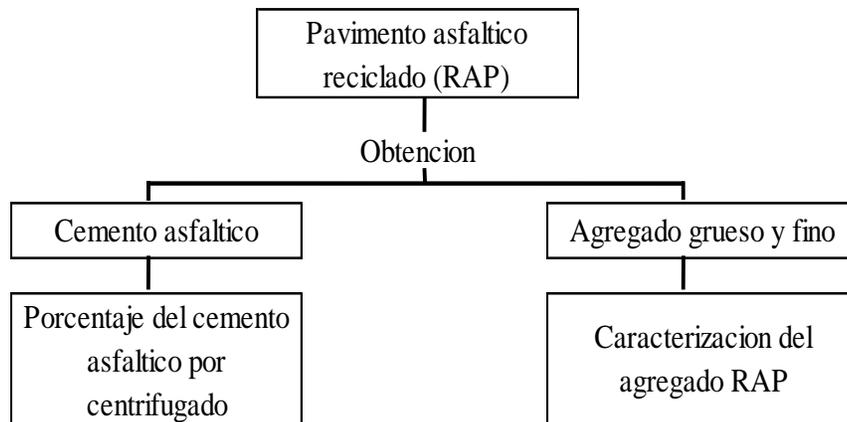
- Los agregados, grava, gravilla, y arena, el cual ya se encuentra separado en 3/4 grava, 3/8 gravilla y arena, se introducirá en sacos quintaleros.
- Se nombrará el saco (nombre del estudiante, material, tamaño).
- Se llevará el material en movilidad por el peso y cantidad del material hacia las instalaciones del laboratorio de hormigones.

Agregados rap: El traslado del material se realizará de manera manual hacia el laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Procedimiento:

- El agregado reciclado RAP o pavimento asfáltico, se introducirá en un saco quintalero.
- Se nombrará el saco (nombre del estudiante, material, tamaño).
- Se llevará el material en movilidad por el peso y cantidad del material hacia las instalaciones del laboratorio de Asfalto para hacer el ensayo de centrifugado y obtener el material separado del cemento asfáltico.
- Se llevará el material rap sin cemento asfáltico hacia las instalaciones del laboratorio de hormigones y se realizará su caracterización.

Gráfico 2. Esquema de procesamiento de RAP



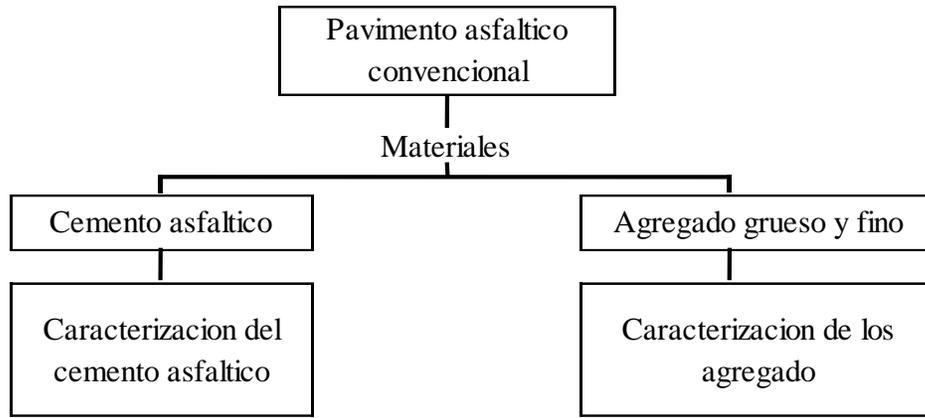
Fuente: Elaboración propia.

Cemento asfáltico: El cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100, se hace el traslado al laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Procedimiento:

- El cemento asfáltico al ser un material líquido se introducirá en lata de manteca de 20 kg o en lata de leche de 5 kg (4 latas).
- Se nombrará la lata de cemento asfáltico (nombre del estudiante, tipo (especificar)).
- Se llevará el material en movilidad por el peso y cantidad del material hacia las instalaciones del laboratorio de Asfalto para hacer su caracterización.

Gráfico 3. Mezclas asfálticas



Fuente: Elaboración propia.

Aceite desechado de motor (Gas - gasolina): El aceite fue recolectado de una vagoneta Toyota NOAH motor a gas el cual usa un aceite 5w30 de la marca REPSOL.

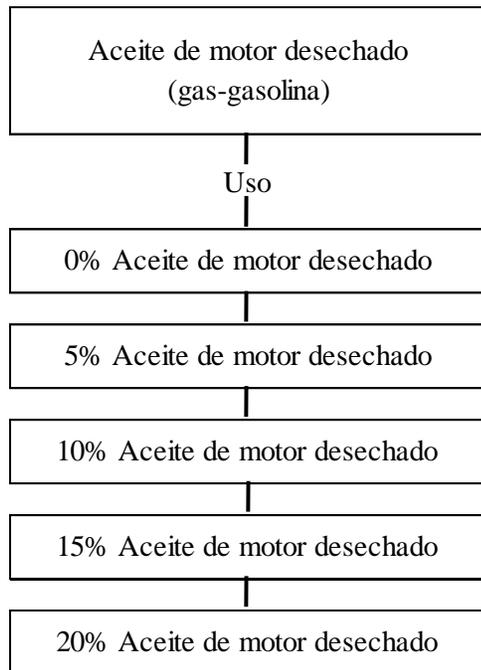
Aceite desechado de motor (diésel): El aceite fue recolectado de un camión NISSAN CONDOR de motor a diésel el cual usa un aceite 15w40 de la marca NISSAN.

Para ambos se realizará el traslado del material de manera manual hacia el laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Procedimiento:

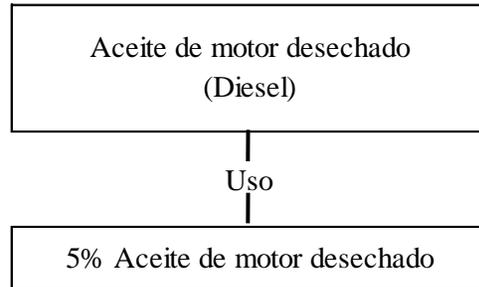
- El aceite desechado de motor de (gas - gasolina) y (diésel) se introducirá en bidones o botellas.
- Se nombrará el bidón o botella (nombre del estudiante, tipo (especificar)).
- Se llevará el material manualmente hacia las instalaciones del laboratorio de Asfalto para hacer su caracterización.

Gráfico 4. Porcentajes de aceite desechado de motor (gas – gasolina)



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Porcentajes de aceite desechado de motor



Fuente: Elaboración propia.

- **Ensayo a los materiales:** Granulometría (material virgen y material reciclado), resistencia al desgaste, peso específico (agregado fino y agregado grueso), peso específico (agregado fino y agregado grueso, material reciclado), peso unitario (agregado grueso y fino), equivalente de arena.
- **Ensayo al cemento asfáltico:** Penetración, ductilidad, punto de inflamación y combustión, peso específico, punto de ablandamiento, viscosidad.
Para la obtención del porcentaje de cemento asfáltico del material reciclado se obtiene mediante el ensayo de Centrifugado.
- **Ensayos a la mezcla asfáltica:** Ensayo de estabilidad y flujo Marshall, contenido de asfalto óptimo de la mezcla convencional y combinada con material reciclado, porcentaje de vacíos en la mezcla (Vv), porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), porcentaje de vacíos llenos de asfaltos (R.B.V), densidad.
- **Ensayos al aceite de motor desechado de vehículo:** Peso específico, Punto de inflamación y combustión, viscosidad.

1.10. Procesamiento de la información

El procesamiento de la información se realizará mediante tablas, gráficos, y cálculos aplicados en el programa Microsoft Excel.

1.11. Alcance de la investigación

En la investigación se analizará la elaboración de briquetas con mezclas convencionales al 100% y una combinación de material reciclado asfáltico y mezclas convencionales al 70% y 30% respectivamente, así mismo se irá incorporando aceite desechado de motor (gas-gasolina) en los porcentajes de 5%,10%,15% y 20%, para determinar las propiedades físicas y mecánicas, (estabilidad, fluencia, porcentajes de vacíos en la mezcla) y serán comparadas con las mezclas asfálticas convencionales. así también poder comparar las propiedades del aceite de motor desechado (diésel) al 5% frente al aceite desechado de motor (gas-gasolina) al 5%.

CAPITULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS EN CALIENTE

2.1. Asfalto

El asfalto es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas.

Sus características físicas más destacadas son la viscosidad, su pegajosidad y su intenso color negro; y como bien decíamos al comienzo su uso primordial se da como aglomerante en mezclas asfálticas a instancias de la construcción de carreteras, autovías y autopistas, ya que es capaz de unir fragmentos de varios materiales y dar cohesión al conjunto a través de transformaciones en su propia masa que dan lugar al origen de nuevos compuestos.

El principal componente del asfalto es el bitumen, también conocido como betún, el bitumen es la fracción residual, es decir, el fondo que queda tras la destilación fraccionada de petróleo, se trata de la parte más pesada y que tiene el punto de ebullición más alto del proceso. Aunque comúnmente se los suele confundir y usar los términos indistintamente, no se debe confundir al betún con el asfalto, ya que este último es una mezcla de betún con minerales.

Además, el asfalto es un material que se encuentra presente en la composición del petróleo crudo. (*Ucha, F. 2010*)

2.2. Beneficios del asfalto

Casi todas las calles y autopistas de todo el mundo se encuentran hechas de asfalto dado que se trata de un material que por su composición provee de buena resistencia al esfuerzo, es adherente e impermeable.

Por caso es ideal para favorecer el tránsito de los vehículos y los camiones, entre otros; en el caso de estos últimos, que ostentan un volumen y peso superior al de los automóviles, que aumenta además con la carga que llevan, el circular por el asfalto los beneficia por la adherencia de las cubiertas, en tanto, también conviene a quienes gestionan las autovías porque la fuerza que dispone este material resistiendo cualquier

esfuerzo es ideal dado que los camiones producen obviamente un desgaste mucho más grande por las autovías que aquel que generan los vehículos o las motocicletas.

Otra ventaja que mencionamos y no podemos soslayar es la impermeabilidad que presenta el asfalto y que lo hace un material muy seguro para poder circular por él los días de lluvias. Si bien siempre se recomienda precaución a los automovilistas los días lluviosos para evitar patinadas o problemas de no frenado, es una realidad que los caminos de asfalto aportan una seguridad mayor en este sentido que otros que no están compuestos por este material.

Por otro lado, los caminos a los que el asfalto no llegó aún por diversas causas, y que están hechos de arena o de tierra suelen quedar cortados o inútiles cuando se producen fuertes precipitaciones. Es realmente imposible circular por un camino de tierra anegado para un vehículo ya que lo más probable es que se quede atorado.

Sobre el asfalto de las calles o autovías suelen pintarse diversas indicaciones para los automovilistas tales como las rayas gruesas verticales de color blanco que tienen la misión de indicar que por ellas debe circular y cruzar el peatón y por caso, el automóvil debe detenerse detrás de ellas.

También se pinta sobre ellas la división de los carriles, en color blanco también.

En las rutas de doble carril se pinta con color amarillo para indicar que los autos no pueden pasarse de carril porque es peligroso dado que no hay una visibilidad total del otro lado que nos permita confirmar que no viene ningún auto de frente. (*Ucha, F. 2010*)

2.3. Carpetas asfálticas

Es aquella capa relativamente delgada (entre 2.5 cm y 6 cm) conformada por una mezcla de material bituminoso de asfalto colocada en la parte superior de la base. La carpeta asfáltica debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color convenientes.

Su función principal es proteger la base de los esfuerzos destructivos del tránsito, impedir el paso del agua de lluvia a las capas inferiores ya que su saturación podría producir un colapso de todo el paquete estructural. Además, debe resistir al

intemperismo y los efectos abrasivos del tránsito ya que es la capa que estará en contacto directo con él. Se puede decir que la carpeta asfáltica tiene características funcionales y estructurales, esto lleva fundamentalmente a obtener un contenido óptimo de asfalto para garantizar que la carpeta cumpla con lo anteriormente mencionado; se debe tener en cuenta que un exceso de asfalto podría causar una pérdida de estabilidad en la carpeta asfáltica incluso hacer resbalosa la superficie. (*Mostejo Fonseca, 2001*)

2.4. Pavimentos

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están: los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el hormigón y mezclas asfálticas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos. (*Mostejo Fonseca, 2001*)

2.5. Objetivos de una pavimentación

2.5.1. Soporte de las cargas producidas por el tráfico

Un camino debe ser capaz de soportar las cargas que el tráfico ocasiona sin que se produzcan desplazamientos en la superficie, base o sub-base.

El asfalto no contribuye sustancialmente a la resistencia mecánica de la superficie, la carga se transmite a través de los áridos a las capas inferiores, donde son finalmente disipadas.

2.5.2. Protección contra el agua

Un exceso de agua en los materiales que componen la carretera, ocasiona la lubricación de las partículas con la consiguiente pérdida de capacidad de soporte, especial cuidado debe tenerse al proyectar un camino del control de aguas, tanto de superficie como filtrantes.

El asfalto puede sellar la superficie del camino contra el exceso de agua fluyente, si el material granular está correctamente graduado.

2.5.3. Textura superficial adecuada

La capa de rodadura debe ser segura para la conducción de vehículos, y lo suficientemente liza para proporcionar una marcha confortable.

La buena combinación del asfalto y las partículas granulares puede producir una excelente textura superficial de conducción segura y marcha suave.

2.5.4. Flexibilidad para adaptarse a las fallas de la sub-base:

Los pavimentos asfálticos son flexibles y pueden ajustarse a los posibles asentamientos de la base.

2.5.5. Resistencia a la oxidación.

El sol, el viento y las variaciones de temperatura afectan a los materiales bituminosos, por lo tanto, una buena elección de materiales y un buen plan de conservación pueden mantener la flexibilidad y propiedades ligante del asfalto.

2.6. Pavimentos flexibles

Se denomina pavimentos flexibles, a los que su estructura total se refleja o flexiona, un pavimento flexible se adapta a las cargas. Este tipo de pavimentos son de amplio uso en zonas de tráfico constante como vías, aceras, parqueos, etc. Están compuestos de una capa de áridos envueltos y aglomerado con betún asfáltico, de espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como base granular, asfáltica, hormigón o pavimentos de bloques.

Para la aplicación de la capa asfáltica debe antes de aplicarse un riego que sirve de unión entre la capa base inferior y la carpeta asfáltica a colocarse, las funciones principales de este riego son:

- Impermeabilizar la superficie.
- Cerrar los espacios capilares.
- Revertir y pegar sobre la superficie las partículas sueltas.
- Endurecer la superficie.
- Facilitar el mantenimiento.
- Promover la adherencia entre la capa base y la primera capa de mezcla asfáltica.

2.7. Capas que conforman un pavimento

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

1.3.1. Sub-rasante

Es la que corresponde al terreno de fundación, que es el suelo que sirve de fundación al pavimento después de haber terminado el movimiento de tierras y que una vez compactado tiene las secciones transversales y pendientes de diseño.

2.7.1. Sub-base

Es la capa granular localizada entre la subrasante y la base en pavimentos flexibles o rígidos y ocasionalmente, sobre todo en pavimentos rígidos, se puede prescindir de ella.

Las bases y subbases son capas de material pétreo adecuadamente seleccionadas para traspasar las cargas de la carpeta de rodadura a la sub-base (infraestructura), puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, la ubicación de estos materiales dentro de la estructura de un pavimento (superestructura), está dado por las propiedades mecánicas de cada una de ellas.

2.7.2. Base

Capa sobre sub-base o sub-rasante destinada a sustentar la estructura del pavimento. Es la capa que recibe mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. Regularmente esta capa, además de compactación, necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores.

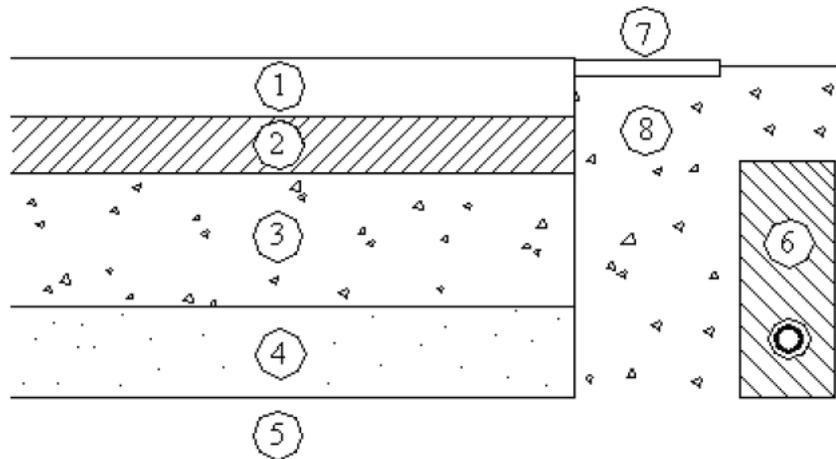
2.7.3. Carpeta de rodadura

Es la capa superior del pavimento y sobre esta circulan los vehículos durante la vida útil de la misma, debe ser resistente a la acción mecánica de rozamiento generada por el tráfico y el intemperismo.

Tiene la función general de proteger la estructura, impermeabilizando la superficie del pavimento, debe ser suave y de superficie continua para que sea cómoda la circulación de vehículos y debe ser rigurosa para asegurar la adherencia de los vehículos.

Según el tipo de carpeta de rodadura los pavimentos se clasifican de dos formas, pavimento flexible y pavimento rígido, aunque en esta ocasión trataremos el pavimento flexible, su conceptualización, características, clasificación y otros.

Figura 4. Carpeta de rodadura.



Fuente: Aeronautica,2000.

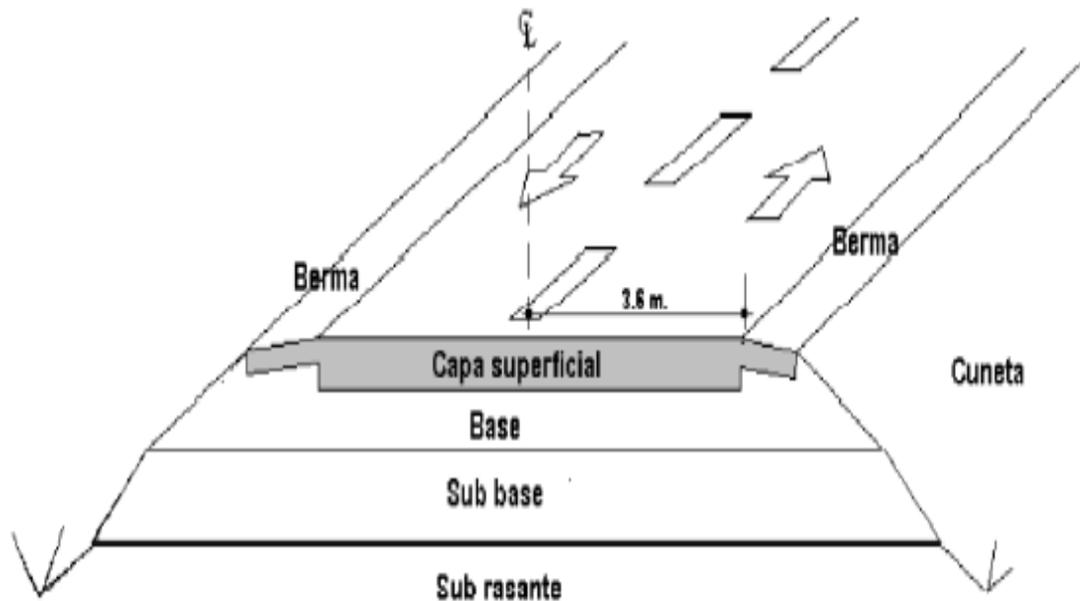
- 1. Capa de Rodadura
- 2. Capa Base
- 3. Capa Sub-base
- 4. Suelo Compactado
- 5. Subrasante
- 6. Subdrenaje longitudinal
- 7. Revestimiento de Hombreras
- 8. Sub-base de Hombreras

2.8. Funciones de un pavimento flexible

- Prevenir la intrusión de los finos del suelo de sub-rasante en las capas de base, para lo cual se debe especificar materiales de graduación relativamente para este propósito.
- Minimizar los daños por efecto de las heladas y en estos casos se debe especificar materiales con alto porcentaje de vacíos.
- Ayuda a prevenir la acumulación de agua libre dentro de la estructura del pavimento, en este caso se debe especificar material de libre drenaje y colectores para evacuar el agua.
- Proveer una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

- Dar soporte a las capas estructurales siguientes.

Figura 5. Pavimento flexible



Fuente: Artículo web: “Pavimentos”.

2.9. Carpeta asfáltica de un pavimento flexible

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base.

Olivera Bustamante (2009) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos naturales. Para poder ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

Se recomienda que las partículas que se utilicen tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o de aguja pueden romperse muy fácilmente y afectar la granulometría.

Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes:

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

2.10. Cemento asfáltico

El asfalto, llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo. A temperaturas normales, es sólido y posee un color café oscuro.

Para poder mezclarlo con los materiales pétreos, éste debe tener una temperatura de 140 °C.

2.11. Diseño de pavimentos flexibles

Debe tenerse en cuenta tres elementos principales: tipo de agregados, tipo de ligante y método de construcción; a continuación, trataremos los dos principales.

2.11.1. Tipo de agregado.

El agregado pétreo contribuye a la estabilidad mecánica, soporta el peso del tráfico y al mismo tiempo transmite las cargas al terreno.

Los áridos deberán clasificarse y acopiarse separadamente en tres fracciones como mínimos: gruesa, fina y polvo mineral (filler), las que deberán cumplir ciertos requisitos dispuestos en el proyecto.

2.11.2. Tipo de ligante.

El tipo y grado de asfalto a emplear en una determinada obra dependerá del objeto de la obra, del tipo de pavimento a confeccionar, del clima imperante, de los agregados disponibles en la zona y de la intensidad del tráfico.

2.12. Materiales de los Pavimentos Flexibles

Los materiales más usuales para conformar los pavimentos, son los agregados, y están constituidos de partículas minerales granulares, que incluyen los depósitos naturales de

arena y grava. Los agregados que se utilicen en la construcción de pavimentos asfálticos deberán ser limpios, tenaces, durables y deberán tener una granulometría correcta. Las especificaciones más importantes que estas deben cumplir son:

- Granulometría.
- Resistencia al desgaste.
- Densidad relativa y de absorción.
- Porcentaje que pasa el tamiz N°200.
- Limpieza y pureza.
- Adherencia con el asfalto.

2.12.1. Granulometría

Es la determinación de la distribución y composición granulométrica de un material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de una carpeta asfáltica de diferentes características; es de vital importancia porque en función de ellas se puede determinar la clase de textura que tendrá la misma. La graduación de los agregados, que es la combinación de tamaños de partículas en la mezcla, afecta la densidad, la resistencia y la economía de la estructura del pavimento.

2.12.2. Resistencia al Desgaste

Resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles (AASHTO T 96, INV. E-218-13, 219-13). Ensayo utilizado en teoría para medir la resistencia a la abrasión o desgaste por fricción entre partículas. Sin embargo, la realidad es que el ensayo solo representa una resistencia al fracturamiento entre partículas por impacto ya que, durante la prueba, agregados pétreos gruesos de hasta 37.5 mm (gravas) son impactados dentro de un cilindro metálico por esferas de acero de diámetro aproximado 46.8 mm y una masa comprendida entre 390 g y 445 g, las cuales lo fracturan. (*Mostejo Fonseca, 2001*)

Figura 6. Máquina de los ángeles.



Fuente. “UTEST”, Equipos para ensayos en materiales.

Para que los agregados cumplan satisfactoriamente su función, deben ser duros y resistir el desgaste debido al efecto de pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetidas. La estimación más comúnmente aceptada de la dureza de los agregados es la prueba de abrasión de los Ángeles.

El desgaste es un efecto producido por la acción abrasiva del neumático sobre la superficie del pavimento y es un efecto importante dado que, al desgastarse, este baja su espesor y en consecuencia se pierde estructura. Esto puede ser prevenido mediante el empleo de agregados pétreos cuyo desgaste medido a través del ensayo de “Los Ángeles”, no sobrepase los límites de acuerdo a especificaciones técnicas.

2.12.3. Densidad Relativa y Absorción

La densidad relativa y absorción de los agregados son propiedades importantes que se requieren para el diseño del concreto y de las mezclas bituminosas. La densidad relativa de un sólido es la razón de su masa a la de un volumen igual de agua destilada a una temperatura específica. Debido a que los agregados pueden contener huecos permeables al agua, se usan dos medidas de la densidad relativa de los agregados: densidad relativa aparente y densidad relativa de la masa.

2.12.4. Porcentaje que Pasa el Tamiz N° 200

Interesa en la caracterización del agregado la determinación del porcentaje que pasa el tamiz N° 200, debido a que este tipo de material es muy influyente en la consistencia de la mezcla, para ello se hace un ensayo sencillo, determinando el porcentaje retenido en el tamiz N° 200 de la muestra representativa del agregado, este valor no debe pasar del 5%.

2.12.5. Limpieza y Pureza

Generalmente se determina visualmente, pero es conveniente cuando hay dudas, efectuar un tamizado por vía húmeda.

Los materiales vegetales, partículas blandas, terrones de arcilla y partículas revestidas de arcillas no son aceptables, debido a que producen en las mezclas asfálticas mala adherencia, cambios granulométricos, etc.

2.12.6. Adherencia con el Asfalto

Esta prueba tiene por objeto el conocer si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de carpetas es de características hidrofílicas o hidrofóbicas. Se dice que un material es hidrofílico cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto, e hidrofóbico en caso contrario. Si un material empleado para formar carpeta asfáltica es hidrofílico, dicho material atraerá al agua y desalojará a la película de asfalto que lo recubre y por lo tanto quedará destruida la adherencia entre el agregado y el asfalto y por ende se presentará la falla de la carpeta por la pérdida de estabilidad al separarse del asfalto.

La falta de adherencia del asfalto con el material pétreo puede presentarse por la presencia de una película fina de polvo adherido al material pétreo o debido a las características hidrofílicas del material que no es más que un fenómeno de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua.

Las características hidrofílicas de un material pétreo pueden ser modificadas empleando agentes químicos con lo cual se mejora mucho la adherencia del material con el asfalto. Para conocer si un material tiene una buena o mala adherencia con un determinado asfalto, debe efectuarse la prueba de desprendimiento por fricción.

2.13. Métodos de diseño de pavimentos flexibles

Son muchos y muy diferentes los métodos que existen para proyectar el espesor de un pavimento. Sin embargo, el problema es bastante complejo y su estudio bastante reciente como para que se pueda haber llegado a un método que sea tan seguro y de una aceptación tan general como los métodos de proyecto que se emplean en otras ramas de la ingeniería.

Cada uno de los métodos que existen para proyectar el espesor de un pavimento exige una suficiente cantidad de experiencia y de sentido común por parte de quien los aplica.

Los métodos existentes para este objetivo son los siguientes:

- Método del C.B.R.
- Método del V.R.S
- Método del 13 V.
- Método del procedimiento del instituto del asfalto.
- Método de la Marina Americana.
- Método de Golbech.
- Método de Kansas.
- Método del AASTHO.
- Método del índice de grupo.
- Método de Shell.
- Método Marshall.

2.14. Prueba mediante el método de Marshall

Este método es utilizado tanto en el diseño como en el control de las mezclas asfálticas elaboradas en planta estacionaria, en caliente, empleando cemento asfáltico. Su función primordial es determinar una mezcla asfáltica que se encuentre dentro de las especificaciones técnicas más óptimas respecto a la estabilidad, fluencia, peso volumétrico, porcentaje de vacíos y porcentaje de huecos ocupados por el cemento asfáltico.

Con la prueba de Marshall, se determinan los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a 60° C. El valor de estabilidad se determina midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje. La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectado principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente el valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado. El valor del flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir la fractura. Este valor es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica, y consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

2.14.1. Equipo necesario mínimo

El equipo necesario para la elaboración de los especímenes es el siguiente:

- Un molde de compactación provisto de un collarín y de una placa de base, un sostén de molde de compactación para sujetar firmemente el mismo
- Un pisón de compactación con superficie circular de apisonado de 9.84 cm (1.7/8") de diámetro, equipado con una pesa deslizante de 4.536 kilogramos (10 lbs.) cuya altura es de 45.7 cm (18").
- Una máquina de compresión Marshall accionada con motor eléctrico que permite aplicar cargas por medio de una cabeza de prueba con forma de anillo seccionado a una velocidad de 5.08 cm/min=2 min. Está equipada con un anillo calibrado para determinar el valor de las cargas y un extensómetro para medir las deformaciones del anillo.
- Un medidor de flujo, un tanque de saturación con dispositivo eléctrico para mantener constante la temperatura del agua.
- Hornilla eléctrica para calentar los agregados.
- Un termómetro blindado para registrar temperaturas entre 10 y 200° C.
- Una balanza con capacidad de 20 kg y sensibilidad de 1 gramo.

- Una cuchara de albañil, un baño de agua para calentar el pisón de compactación y el molde.
- Una espátula y charolas.

2.14.2. Elaboración de los especímenes

Para la elaboración de los especímenes se sigue el procedimiento de la siguiente manera:

Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determina el porcentaje en peso de los siguientes tamaños que ha sido separado previamente el material pétreo:

- Material retenido en la malla de 1/2"
- Material que pasa la malla de 1/2" y se retiene en la malla de 1/4"
- Material que pasa la malla 1/4" y se retiene en la malla N° 10
- Material que pasa la malla N° 10 y se retiene en la malla N° 40
- Material que pasa la malla N° 40

Para cada contenido de cemento asfáltico se fabrican tres especímenes cada uno de los cuales requieren 1200 gramos de agregado pétreo. Se toma de cada uno de los tamaños mencionados la cantidad de muestra que resulta de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra. Las fracciones ya pesadas se mezclan previamente a la adición del cemento asfáltico. La cantidad de cemento asfáltico que deberá agregarse a cada muestra se calcula sobre la base de contenido mínimo de Cemento Asfáltico.

Las cantidades de Cemento Asfáltico deberán corresponder a los siguientes porcentajes de cemento asfáltico.

- Contenido calculado -1.0 %
- Contenido calculado neto
- Contenido calculado + 0.5 %
- Contenido calculado + 1.0 %
- Contenido calculado + 1.5 %
- Contenido calculado + 2.0 %

Se mezclan los agregados y el cemento asfáltico, calentados previamente a las temperaturas de 165° C y 120° C, respectivamente, hasta obtener una distribución uniforme del cemento asfáltico. La temperatura de la mezcla no debe ser menor de 100° C al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

2.14.3. Compactación de los especímenes

Para compactar los especímenes se procede de la siguiente manera:

El pisón de compactación y el molde se calentarán en un baño de agua hirviendo. Una vez caliente se sacará el equipo del baño y se colocará un papel filtro en el fondo del molde y se llenará este con la mezcla caliente. Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplican 50 golpes con la pesa deslizante. La cara del pisón será mantenida paralela a la base del molde durante el proceso de compactación. Se quitará el collarín y se invertirá la posición del molde; se colocará el collarín y se aplicarán otros 50 golpes en el espécimen. El proceso de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de 7 kg/cm² (100 lbs/pulg²). El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a 75 cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre 7 y 14 kg/cm² (100 a 200 lb/pulg²). Se removerá el collarín y la placa de base, y el molde con su contenido se sumergirá en agua fría por un tiempo mínimo de 2 minutos. Se extraerá el espécimen del molde, se identificará y se dejará enfriar a la temperatura ambiente 12 a 24 horas. Los especímenes compactados deberán tener una altura de 6.35 cm (2 – ½”), con una tolerancia de 3.2 mm (1/8”), y en caso contrario deberán repetirse el proceso. (*Apuntes de diseño de pavimentos, 2010*)

2.14.4. Prueba a compresión de los especímenes

La prueba de los especímenes comprende la determinación del peso volumétrico y la determinación de la estabilidad y flujo de los mismos. La determinación del peso volumétrico del espécimen ya compactado se realizará dividiendo el peso entre el volumen. Los valores de estabilidad y flujo se determinarán ensayando los especímenes en el aparato Marshall, siguiendo el procedimiento siguiente:

Se sumerge el espécimen en el tanque con agua a la temperatura de 60° C con medio grado de tolerancia y se mantendrá ahí 20 a 30 minutos. Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubrica los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo seccionado se deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga. Terminando el periodo de inmersión en agua caliente se sacará el espécimen del agua y se secará su superficie. Se colocará el espécimen entre las dos secciones de cabeza de prueba y se centrará el conjunto en la máquina de compresión. Se colocará el medidor de flujo en el poste guía y se ajustará a cero su carátula. Se aplicará la carga del espécimen a una velocidad constante de 5 cm/min. hasta que la falla del espécimen ocurra. La carga máxima aplicada para producir la falla del espécimen a la temperatura de 60° C se debe registrar como el valor de la estabilidad Marshall. Mientras la prueba se lleve a cabo se debe sostener firmemente el medidor de flujo sobre el poste guía y se removerá tan pronto se haya aplicado la carga máxima, anotándose la deformación sufrida por el espécimen. Esta lectura en milímetros expresa el valor del flujo. Se promedian los valores de estabilidad y de flujo de los tres especímenes con el mismo contenido de cemento asfáltico, debiendo desecharse para el cálculo el valor que discrepe notablemente.

La prueba anteriormente descrita debe completarse dentro de un periodo de 30 segundos contados a partir del momento en que los especímenes sean sacados del tanque de agua caliente.

La deformación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico se efectuará de acuerdo con el criterio siguiente:

- Se calculará el promedio del peso volumétrico de los especímenes de prueba elaborados con un mismo porcentaje de cemento asfáltico.
- Por el procedimiento se determinan las densidades teóricas máxima y el porcentaje de vacíos para cada contenido de cemento asfáltico.
- Se calcula la relación entre volumen ocupado por el cemento asfáltico y el volumen total de huecos que existirá si el material pétreo del espécimen no contuviera cemento asfáltico. Para este último se utilizará la siguiente fórmula:

$$V_o = \frac{D_r P_a \gamma}{100 D_r D_a - (100 - P_a) D_a \gamma} = \frac{\text{Volumen de C.A.}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

$$\%V_o = \frac{D_r P_a \gamma}{100 D_r D_a - (100 - P_a) D_a \gamma} * 100 = \frac{\text{Volumen de C.A.}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

Donde:

D_r = Densidad relativa aparente del material pétreo.

γ = Peso volumétrico del espécimen en gr/cm^3 .

D_a = Densidad relativa del C.A. (1.3 aproximadamente).

P_a = Porcentaje de C.A. con relación al peso de la mezcla.

- Se corregirán los valores de estabilidad de los especímenes que no tengan la altura especificada de 63,5 cm multiplicando los valores obtenidos por los valores de corrección que siguen:

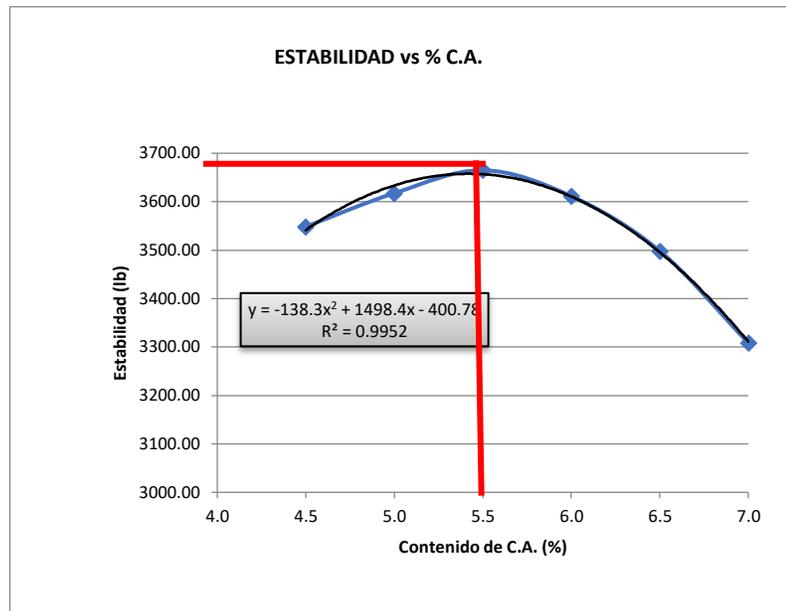
Tabla 6. Factores de corrección.

Altura del espécimen	Factor de corrección	Altura del espécimen	Factor de corrección
55	1,27	63,50	1,00
56	1,23	64,00	0,98
57	1,20	65,00	0,96
58	1,16	66,00	0,94
59	1,13	67,00	0,92
60	1,10	68,00	0,90
61	1,07	69,00	0,88
62	1,04	70,00	0,86
63	1,01	71,00	0,84

Fuente: Elaboración propia.

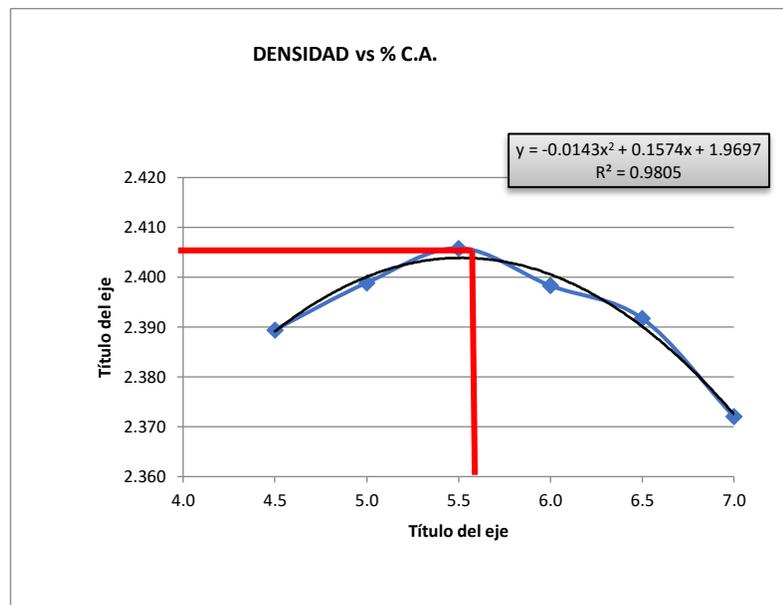
- Se dibujan las gráficas siguientes:
 - Densidad Vs. Contenido de cemento asfáltico.
 - Estabilidad Vs. Contenido de cemento asfáltico.
 - Flujo Vs. Contenido de cemento asfáltico.
 - Porcentaje de vacíos Vs. Contenido de cemento asfáltico.
 - Huecos ocupados por el asfalto Vs. Contenido de cemento asfáltico.

Gráfico 4. Estabilidad de método Marshall.



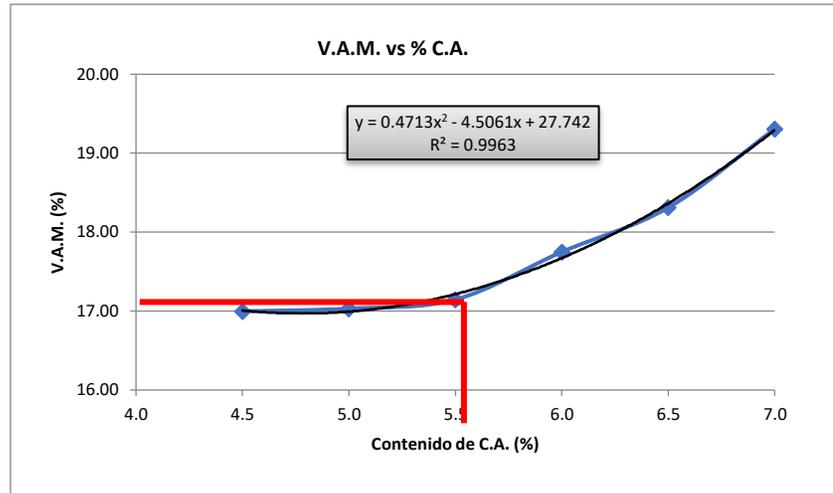
Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 5. Densidad de método Marshall.



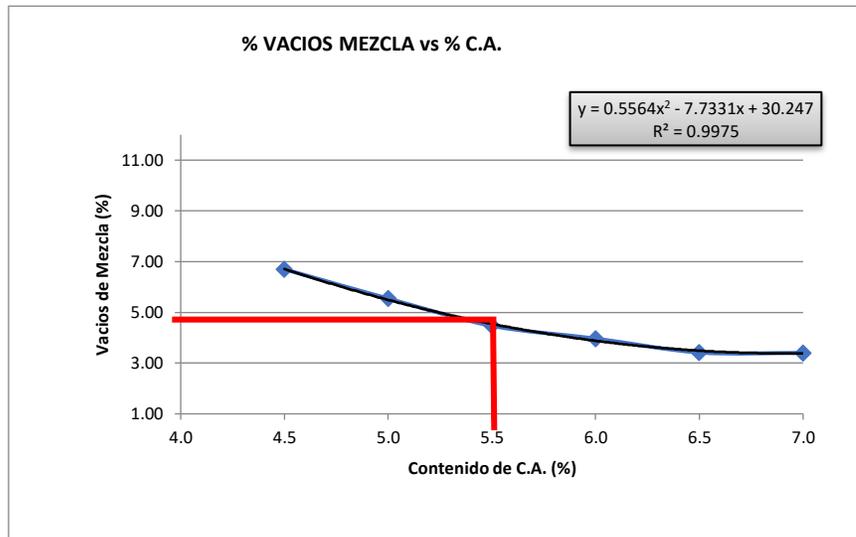
Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 6. % de vacíos ocupados vs C.A. de método Marshall.



Fuente: Guías de laboratorio.

Gráfico 7. % de vacíos vs C.A. de método Marshall.



Fuente: Guías de laboratorio.

- De los datos obtenidos de las gráficas indicadas, se calculará el contenido óptimo de C.A, promediando los siguientes valores.
- El contenido de C.A. correspondiente al mayor peso volumétrico.
- El contenido de C.A. correspondiente a la máxima estabilidad.

- El contenido de C.A. correspondiente al valor medio del porcentaje de vacíos señalados en la tabla que sigue:

2.15. Aceite usado de motor

El aceite usado de cárter es el líquido aceitoso, pardo a negro, que se remueve del motor de un automóvil cuando se cambia el aceite. Es similar al aceite que no ha sido usado excepto que contiene productos químicos adicionales a causa de su uso como lubricante del motor.

Los productos químicos en el aceite consisten de hidrocarburos, que son destilados del petróleo crudo y de varios aditivos que mejoran el rendimiento del aceite. El aceite usado también contiene productos químicos formados cuando el aceite es expuesto a altas temperaturas y presión dentro del motor. También contiene ciertos metales de partes del motor y pequeñas cantidades de gasolina, anticongelante, y sustancias químicas que provienen de la gasolina cuando ésta se enciende dentro del motor.

Los productos químicos encontrados en el aceite usado de cárter varían dependiendo de la marca o del tipo de aceite, de si se usó gasolina o aceite Diesel, de la condición del motor de donde provino el aceite, y de la cantidad de uso entre cambios de aceite. El aceite usado no ocurre naturalmente en el ambiente. (ATSDR, 1997)

2.16. Aceite usado de motor y el medio ambiente

- El aceite usado de motor entra al aire a través del tubo de escape durante el uso del motor.
- Puede entrar al agua o al suelo cuando es desechado en forma inapropiada.
- Los hidrocarburos componentes del aceite generalmente se adhieren a la superficie del suelo.
- Algunos hidrocarburos se evaporan al aire sumamente rápido, en tanto otros se evaporan más lentamente.
- Los hidrocarburos componentes del aceite que entran al agua superficial se adhieren a pequeñas partículas en el agua y eventualmente se hunden al fondo.
- Los hidrocarburos de aceite usado de cárter pueden acumularse en mariscos y en otros organismos.

- Ciertos metales en aceite usado de cárter se disuelven en agua y se movilizan a través del suelo fácilmente y pueden encontrarse tanto en agua superficial como subterránea. (ATSDR, 1997)

2.17. El aceite de motor y sus perjuicios a la salud

Los efectos sobre la salud del aceite usado de cárter varían dependiendo de la marca y el tipo de aceite usado y de las características del motor de donde provino.

Los mecánicos y otros trabajadores de automóviles que están expuestos a aceite usado de cárter de un gran número de automóviles han experimentado salpullidos, efectos a la sangre (anemia), y dolores de cabeza y temblores. Sin embargo, estos trabajadores también están expuestos a otras sustancias químicas que pueden causar estos efectos.

Voluntarios que respiraron neblinas de aceite usado de cárter por unos pocos minutos sufrieron leve irritación a la nariz, la garganta y los ojos. Animales que comieron grandes cantidades de este aceite sufrieron diarrea. Por lo tanto, gente que traga aceite usado de cárter puede también sufrir diarrea.

Algunas vacas que comieron pastos contaminados con aceite usado que contenía metales tales como molibdeno y plomo experimentaron anemia y temblores. Algunas de las vacas murieron.

No sabemos si exposición a aceite usado de cárter perjudica la capacidad reproductiva de hombres o mujeres o si causa defectos de nacimiento. (ATSDR, 1997)

2.18. Reciclaje del aceite usado de motor

La contaminación es un tema bastante serio que azota a nuestras decisiones del día a día, separamos envases y productos orgánicos, arrojándolos a distintos contenedores que permitan su reciclaje, y así poder conservar en mejor estado el medio ambiente. Evitamos así tirar sin control toneladas de residuos que, de lo contrario, se seguirían acumulando y serían un gran problema a corto plazo para la conservación del planeta.

Esta toma de decisiones también afecta a los talleres y usuarios que deciden hacer el mantenimiento de sus propios vehículos. Desgraciadamente, no todos los usuarios

cumplen con el deber de reciclar el aceite y, en el peor de los casos, terminan por verter el aceite sobrante del motor en cualquier sitio.

Para solventar esta nefasta situación, te detallamos dónde y cómo se recicla el aceite usado de nuestros vehículos. Una ya vez ya sabemos cómo cambiar el aceite de nuestro coche, a muchos os han surgido las dudas de qué hacer con el aceite del motor usado y dónde se deposita. Es cierto que, en muchas localidades, los propios ayuntamientos, al igual que con los aceites domésticos, han instalado un contenedor de aceites industriales. Lamentablemente, no todas las localidades cuentan con este tipo de depósitos. En el caso de no poder depositar el aceite en ninguno de estos puntos limpios, vamos a contaros el cómo es el proceso de reciclaje y quién lo gestiona.

SIGAUS, es una compañía sin ánimo de lucro que como sus propias siglas indican, es un Sistema Integrado de Gestión de Aceites Usados en territorio español. Destinan todos sus fondos al tratamiento de estos residuos. Hacen una recogida selectiva y una correcta gestión para que el aceite pueda ser reutilizado por las marcas, consiguiendo así reducir la cantidad de residuos que inundan nuestro planeta.

Esta gestión está financiada por las compañías de lubricantes y aceites industriales que tienen que pagar 0,06€ por litro de aceite comercializado. Con esta recaudación, se paga todo el tratamiento, recogida y gestión de los mismos. De hecho, los fabricantes están obligados por ley, la normativa española les obliga a financiar la gestión del aceite usado, en el mismo momento en el que distribuyen sus productos de lubricación del motor en España. (ATSDR, 1997)

2.19. Aceite de motor 5w30 y 15w40

5w30 y 15w40 son aceites de motor que se usa ampliamente en motores de (gas – gasolina) y diésel de servicio ligero y pesado. Como la mayoría de los aceites de motor producidos hoy en día, 5w30 es un aceite multigrado, lo que significa que varía de un grado de viscosidad más bajo de 5 a un grado de viscosidad más alto de 30.

La "W" significa "invierno", el número que le precede indica la viscosidad (o grosor) del aceite a bajas temperaturas (de ahí el W), y el número posterior indica la viscosidad a temperaturas más altas, cuando el motor está funcionando.

El aceite de motor 5w30 tiene un grado de viscosidad invernal de cinco, lo que significa que es menos viscoso (menos espeso) a temperaturas muy bajas

2.20. Material RAP

El Pavimento Asfáltico Reciclado (RAP), corresponde al material recuperado de la carpeta asfáltica de un pavimento removido producto de una reconstrucción o rehabilitación.

Con el objeto de analizar la viabilidad técnica del reciclado en caliente con altas tasas de mezclas asfálticas recuperadas de pavimentos ya reciclados, se han diseñado dos tipos de mezclas, la “F20”, con un 20% de RAP, y la “F70”, con un 70% de RAP, los resultados obtenidos

Figura 7. Pavimento al 0%,20% y 70% de RAP

Mezclas UPM	FO-0% RAP	FO-20% RAP	Ahorro	FO-70% RAP	Ahorro
Subsistemas	KgCO ₂ eq/t HMA	KgCO ₂ eq/t HMA	%	KgCO ₂ eq/t HMA	%
Subsistema 1: Extr. Y proc. Aridos	6,65	5,78	13,1	3,42	48,5
Subsistema 2: Filler	13,51	12,72	5,9	12,63	6,5
Subsistema 3: Betún asfáltico	11,97	8,81	26,4	5,09	57,4
Subsistema 4: Fabricación HMA	18,33	19,26	-6,3	22,05	-21,7
Subsistema 5: Puesta en obra HMA	1,49	1,49	0,0	1,49	0,0
Subsistema 6: Demolición	0,21	0,21	0,0	0,21	0,0
Subsistema 7: Transporte	9,91	9,44	4,8	8,60	13,3
Total	61,87	57,71	6,7	53,50	13,5

Fuente: Elaboración propia.

Como puede apreciarse, se obtienen, en ambos casos, ahorros de emisiones de CO₂ equivalente. Para la F20, el ahorro es del 6,70 %, y para la F70, el ahorro llegaría al 13,50 %, para el caso concreto planteado. Este ahorro se debe, fundamentalmente, a la reducción del asfalto necesario y a la menor necesidad de extracción y procesamiento de áridos. Por el contrario, se aprecia que el sobrecalentamiento que requieren los áridos, debido al empleo de RAP, incrementa las emisiones de fabricación de la mezcla asfáltica. (*Bucaramanga España, 2012*).

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Ubicación de la zona de aplicación

Agregados: Material que tiene la alcaldía municipal de la provincia Cercado del departamento de Tarija que está ubicado en la Pintada.

Agregados rap: La muestra de material RAP o pavimento reciclado fue recogido del departamento de Tarija, dentro la provincia Cercado, del barrio los Pedro Antonio flores, de sobre la calle Santa Rosa y Tentaguasu.

Cemento asfáltico: El asfalto utilizado en la elaboración de probetas en la presente investigación para la mezcla asfáltica convencional, fue cemento asfáltico STRATURA de Brasil C. A. 85 – 100.

3.1.1. Mapa con coordenadas geográficas y UTM

El agregado a utilizar debe cumplir con ciertas especificaciones de la norma ASTM. Para este proyecto se utilizaron materiales existentes en el municipio de Tarija que cumplen con la normatividad vigente. En el municipio de Tarija existen varias clasificadoras de áridos de río, pero se tienen en cuenta los áridos que utiliza la alcaldía y los que también realizan asfaltado para asegurar su calidad. Los áridos a utilizar provienen de materiales recolectados por la Alcaldía de Cercado, Tarija, ubicada en La Pintada.

Tabla 7. Tabla de coordenadas geografías y UTM.

Zona UTM	20 k
Coordenadas Este	317.905,37 m E
Coordenadas Norte	7.623.487,45 m S
Latitud	-21,481965°
Longitud	-64,757611°

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Banco de acopio La Pintada.



Fuente: Google earth.

Figura 9. Agregados La Pintada

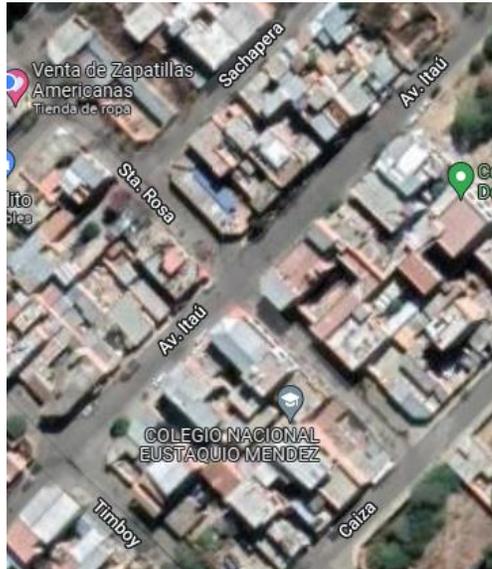


Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Material RAP

La toma de muestra del material RAP o pavimento reciclado fue recogido del departamento de Tarija, dentro la provincia Cercado, del barrio Pedro Antonio Flores, sobre la calle Itaú y Santa Rosa que es una de las calles secundarias del barrio.

Figura 10. Extracción de RAP.



Fuente: Google earth

Figura 11. Extracción de RAP.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Aceite desechado de motor (Gas - gasolina)

El aceite fue recolectado de un vehículo liviano tipo vagoneta Toyota NOAH, con motor de funcionamiento a gas y gasolina, el cual usa un aceite 5w30 de la marca REPSOL.

Figura 12. Aceite desechado de motor (Gas – gasolina)



Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Aceite desechado de motor (diésel).

El aceite fue recolectado de un camión NISSAN CONDOR de motor a diésel el cual usa un aceite 15w40 de la marca NISSAN.

Figura 13. Aceite desechado de motor (diésel)



Fuente: Elaboración propia

3.2. Caracterización de los materiales

3.2.1. Materiales naturales de aportación

3.2.1.1. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM E 40, AASHTO T27-99)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Para la granulometría del agregado grueso se tomó una muestra de peso de 5000 gramos, se realizó tres ensayos para poder ver su homogeneidad del tamaño de sus partículas y se determinó un promedio para estos ensayos. En cuanto a la arena también se realizó tres ensayos, pero con muestras de 500 gr.

Figura 14. Granulometría de los agregados (Grava (3/4”), gravilla (3/8”) y arena).



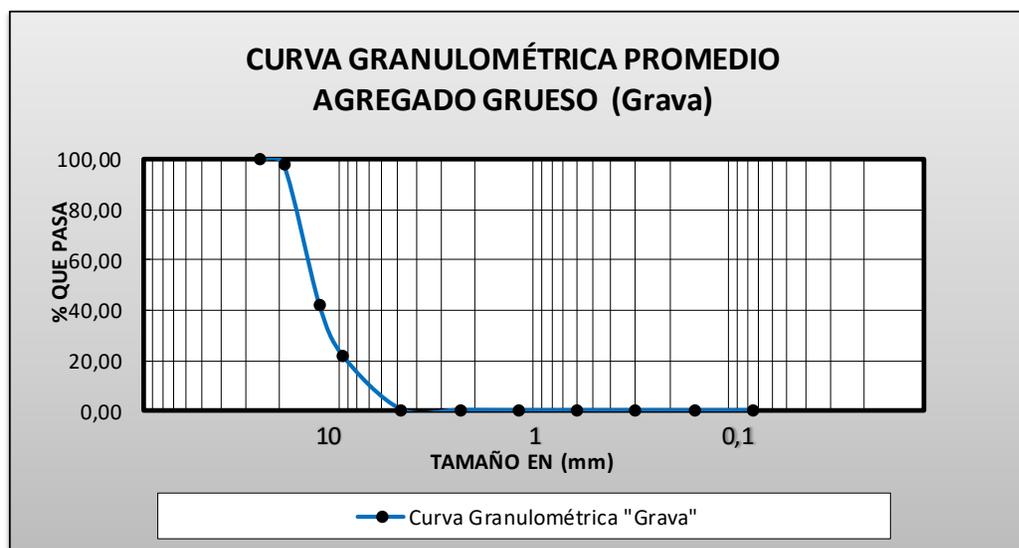
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Granulometría agregado grueso (Grava).

Peso Total (gr.)		5000							
		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total
1"	25,40	0,00	100,00	53,30	98,93	0,00	100,00	17,77	99,64
3/4"	19,00	137,00	97,26	83,30	97,27	87,30	98,25	1.02,53	97,59
1/2"	12,50	2.850,40	40,25	2.698,70	43,29	2.745,20	43,35	2.764,77	42,30
3/8"	9,50	918,80	21,88	1.071,50	21,86	1.064,30	22,06	1.018,20	21,93
Nº4	4,75	1.081,50	0,25	1.074,30	0,38	1.078,40	0,50	1.078,07	0,37
Nº8	2,36	4,80	0,15	11,10	0,16	20,00	0,10	11,97	0,13
Nº16	1,18	6,12	0,03	6,60	0,02	3,30	0,03	5,34	0,03
Nº30	0,60	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
Nº50	0,30	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
Nº100	0,15	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
Nº200	0,075	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
BASE	-	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
Suma		4.998,6		4.998,8		4.998,50		4.998,64	
Pérdidas		1,40		1,20		1,50		1,36	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 8. Curva granulométrica promedio agregado grueso (Grava).



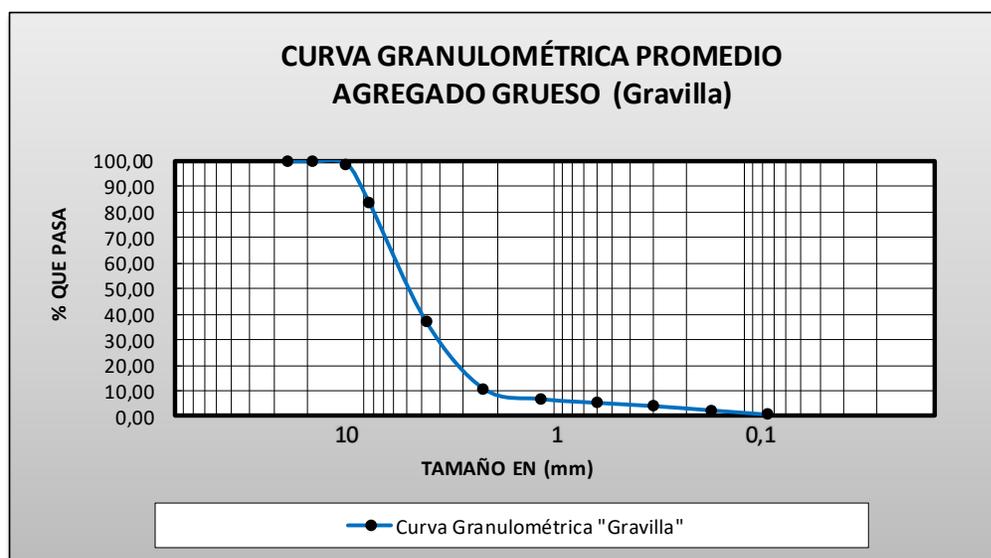
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Granulometría agregado grueso (Gravilla).

Peso Total (gr.)		5000							
		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	51,80	98,96	46,30	99,07	49,80	99,00	49,30	99,01
3/8"	9,50	870,10	81,56	680,10	85,47	743,50	84,13	764,57	83,72
Nº4	4,75	2.458,50	32,39	2.240,40	40,66	2.303,80	38,06	2.334,23	37,04
Nº8	2,36	1.292,60	6,54	1.338,10	13,90	1.301,30	12,03	1.310,67	10,82
Nº16	1,18	142,60	3,69	245,20	9,00	199,30	8,05	195,70	6,91
Nº30	0,60	33,80	3,01	100,10	7,00	89,90	6,25	74,60	5,42
Nº50	0,30	24,70	2,52	98,10	5,03	70,50	4,84	64,43	4,13
Nº100	0,15	36,60	1,79	119,60	2,64	93,80	2,96	83,33	2,46
Nº200	0,075	39,00	1,01	113,10	0,38	100,70	0,95	84,27	0,78
BASE	-	49,40	0,02	17,60	0,03	45,80	0,03	37,60	0,03
Suma		4999,1		4998,6		4998,40		4998,70	
Pérdidas		0,90		1,40		1,60		1,30	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 9. Curva granulométrica promedio agregado grueso (Gravilla).



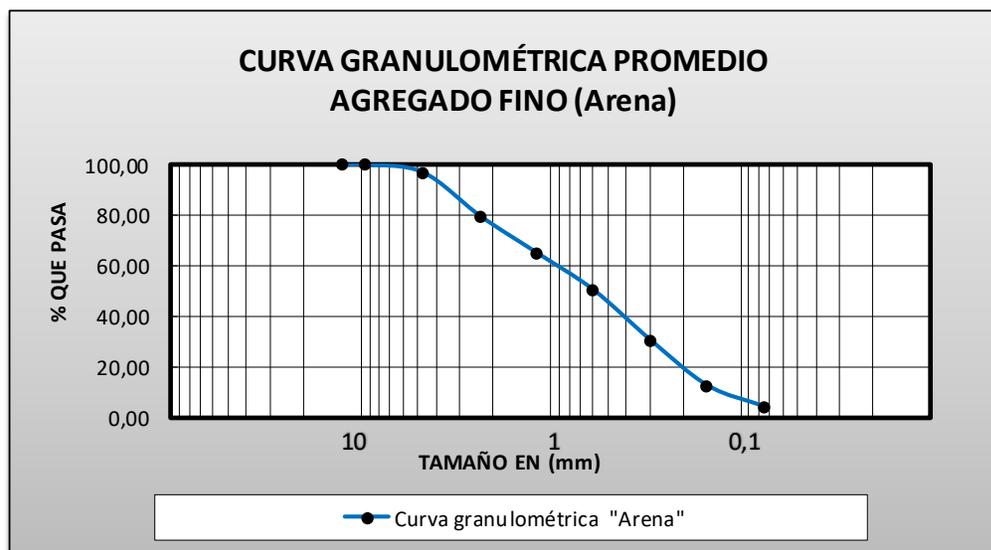
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Granulometría agregado Fino

Peso Total (gr.)		5000							
		Ensayo 1		Ensayo 2		Ensayo 3		Promedio	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total	Peso Ret.	% que pasa del total
1/2"	12,5	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,02	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	84,13	0,00	100,00
N°4	4,75	25,50	94,90	18,90	96,22	0,00	38,06	14,80	97,04
N°8	2,36	87,50	77,40	83,30	79,56	90,20	12,03	87,00	79,64
N°16	1,18	71,20	63,16	75,60	64,44	73,50	8,05	73,43	64,95
N°30	0,60	70,90	48,98	71,30	50,18	74,90	6,25	72,37	50,48
N°50	0,30	96,10	29,76	100,40	30,10	101,70	4,84	99,40	30,60
N°100	0,15	86,20	12,52	90,40	12,02	94,00	2,96	90,20	12,56
N°200	0,075	39,50	4,62	40,60	3,90	44,90	0,95	41,67	4,23
BASE	-	21,70	0,28	18,70	0,16	20,70	0,03	20,37	0,15
Suma		498,6		499,2		499,90		499,23	
Pérdidas		1,40		0,80		0,10		0,77	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 10. Curva granulométrica promedio agregado Fino (Arena).



Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2. Peso específico del agregado grueso (ASTM E 127, ASHTO T85-91)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Para determinar el peso específico del agregado grueso se tomó una muestra de peso de 5000 gramos, se realizó tres ensayos para gravas y gravillas

Figura 15. Pesado del material.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Calibración de la balanza.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Peso sumergido más material.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Grava)

Tabla 11. Peso específico de la grava.

Muestra N ^a	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,61	2,64	2,70	1,21
2	2,61	2,64	2,69	1,21
3	2,62	2,65	2,69	1,01
Promedio	2,61	2,64	2,69	1,15

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Gravilla)

Tabla 12. Peso específico de la

Muestra N ^a	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,57	2,62	2,71	1,94
2	2,58	2,62	2,71	1,83
3	2,60	2,65	2,74	1,87
Promedio	2,59	2,63	2,72	1,88

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3. Peso específico del agregado fino (ASTM E 128, AASHTO T84-00)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos de densidad neta entre 2.000 y 3.000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Para determinar el peso específico del agregado fino se tomó una muestra de peso de 500 gramos y se realizó tres ensayos.

Figura 18. Secado superficial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Molde compactado con el pisón.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Peso de la arena humedad óptima, peso del matraz + agua + arena.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso específico (Arena)

Tabla 13. Peso específico

Muestra N ^a	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,68	2,73	2,82	1,88
2	2,69	2,74	2,83	1,90
3	2,68	2,73	2,83	1,86
Promedio	2,68	2,73	2,83	1,88

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.4. Peso unitario agregado grueso (Grava, Gravilla) y agregado fino (Arena)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Figura 18. Peso unitario Suelto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Peso unitario Compactado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Peso del volumen del molde.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Grava)

Tabla 14. Peso unitario Suelto y compactado (Grava).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,497	1,650
2	1,492	1,638
3	1,503	1,643
Promedio	1,497	1,644

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Gravilla)

Tabla 15. Peso unitario Suelto y compactado (Gravilla).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,460	1,564
2	1,454	1,573
3	1,448	1,587
Promedio	1,454	1,575

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo peso unitario suelto y compactado (Arena)

Tabla 16. Peso unitario Suelto y compactado (Arena).

Muestra N°	Peso unitario suelto (gr/cm ³)	Peso unitario compactado (gr/cm ³)
1	1,560	1,613
2	1,556	1,616
3	1,550	1,615
Promedio	1,555	1,615

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.5. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131, AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,36 mm, de densidad neta entre 2.000 y 3.000 Kg/m³, mediante la máquina de Los Ángeles.

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo con material mayor en el tamiz retenido, A, B, C o D, según se indica en la Tabla 14

Tabla 17. Carga abrasiva.

Granulometría de ensayo	Numero de esferas	Peso total (gr)
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15

Fuente: Manual de ensayo de materiales (EM 2000).

Para la preparación de la muestra agregado grueso (grava) destinada para el ensayo considero trabajar con una muestra de gradación B basada en las siguientes tablas. Para la carga abrasiva se determinó el método B que son de 11 esferas.

Para la preparación de la muestra agregado grueso (gravilla) destinada para el ensayo considero trabajar con una muestra de gradación c basada en las siguientes tablas. Para la carga abrasiva se determinó el método c que son de 8 esferas

Tabla 18. Granulometría de la muestra de agregado para ensayo.

Pasa tamiz		Retenido en tamiz		Peso y granulometría de la muestra para ensayo (g)			
mm	(alt)	mm	(alt)	A	B	C	D
37.5	(1 1/2 ")	-25,00	(1 ")	1.250 ± 25			
25	(1 ")	-19,00	(3/4")	1.250 ± 25			
19	(3/4")	-12.50	(1/2 ")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
12.5	(1/2 ")	-9.50	(3/8 ")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		
9.5	(3/8 ")	-6.30	(1 1/4 ")			2.500 ± 10	
6.3	(1/4 ")	-4.75	(N°4)			2.500 ± 10	
4.75	(N°4)	-2.36	(N°8)				5.000 ± 10
Totales				5.000 ± 10	2.500 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10

Fuente: Manual de ensayo de materiales (EM 2.000).

Figura 24. Peso del material (grava).



Figura 25. Peso del material (gravilla).



Figura 26. Agregado grueso triturado por la máquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultado del agregado grueso triturado por la máquina de los ángeles (grava)

Tabla 19. % De desgaste Máquina de los ángeles (grava).

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación astm
B	5.000	3.935	21,30	35% MAX

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del agregado grueso triturado por la máquina de los ángeles (gravilla)

Tabla 20. % De desgaste Máquina de los ángeles (gravilla).

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación astm
C	5.000	3.810	23,80	35% MAX

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6. Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

La muestra para ensayo deberá ser representativa de la granulometría promedio del agregado, y se obtendrá mediante un cuidadoso cuarteo del total de la muestra recibida. Hágase el análisis granulométrico de la muestra cuarteada.

Sepárese por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37,5 mm y 9,5 mm (1." y 3/8"). Descártese el resto.

Figura 27. % De caras fracturadas (grava). **Figura 28.** % De caras fracturadas (gravilla).



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras fracturadas (Gravas)

Tabla 21. Porcentaje de caras fracturadas (Gravas).

Ensayo	Lecturas	Lecturas	Lecturas	Lecturas
Ensayo N.º	1	2	3	Promedio
Peso total (grs.) (a)	10.000	10.000	10.000	10.000
Peso retenido tamiz N°8 (grs.) (b)	9.444,30	9.324,20	9.239,90	9.336,13
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	555,70	675,80	760,10	663,87
% Caras Fracturadas = (b/a) *100	94,44	93,24	92,40	93,36

Resultado	93,40	>	75
-----------	-------	---	----

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas)

Tabla 22. Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas).

Ensayo	Lecturas	Lecturas	Lecturas	Lecturas
Ensayo N.º	1	2	3	Promedio
Peso total (grs.) (a)	5.000	5.000	5.000	5.000
Peso retenido tamiz N°8 (grs.) (b)	4.612,60	4.468,70	4.587,60	4.556,30
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	387,40	531,30	412,40	443,70
% Caras Fracturadas = (b/a) *100	92,25	89,37	91,75	91,13

Resultado	91,10	>	75
-----------	-------	---	----

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.7. Determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D-4791)

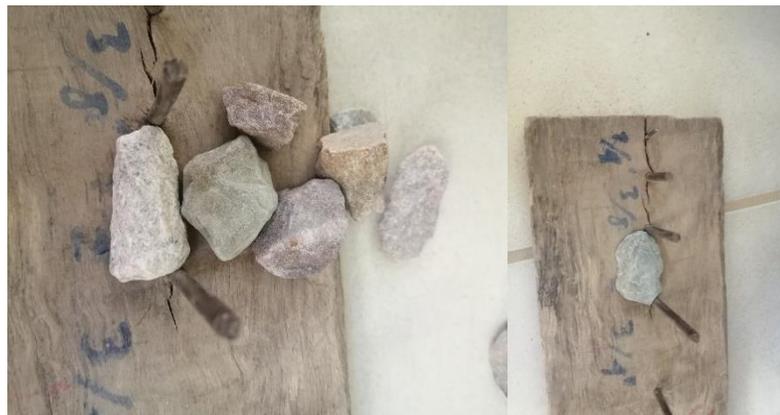
Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los árido que se van a emplear en la construcción de carreteras.

De acuerdo con este método, se define como índice de aplanamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a $3/5$ de la dimensión media de la fracción.

Se define como índice de alargamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a $9/5$ de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable a las fracciones del árido con tamaño inferior a 6,3 mm ($1/4$ ").

Figura 21. Caras Alargadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Caras Aplanadas.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras largas y achatadas (Gravas)

Tabla 23. Determinación de partículas largas y achatadas GRAVA 3/4".

Material	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)	% Retenido Partículas Chatas Alargadas
3/4"	5.000	50,0	1,00
Peso Total de la Muestra	5.000		
(% Total de Partículas Laminares (Máximo 10%))			1,00

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje de caras largas y achatadas (Gravillas)

Tabla 24. Determinación de partículas largas y achatadas GRAVILLA 3/8".

Material	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Partículas Chatas Alargadas (gr)	% Retenido Partículas Chatas Alargadas
3/8"	5.000	278,1	5,56
Peso Total de la Muestra	5.000		
(% Total de Partículas Laminares (Máximo 10%))			5,56

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.8. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419, AASHTO T176-00)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4). Es una prueba de laboratorio, que se realiza con el objeto de determinar qué porcentaje de una muestra se puede considerar como arena. De manera muy simple lo que se hace es separar por medio de una solución química las partículas finas o polvos de las arenas. Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90%.

Figura 31. Enrasado de fino hasta la línea de referencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Llenado de agua destilada más reactivo mezclado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Enrasado de Agua destilada hasta la línea de referencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Eliminación de aire de la probeta.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del Porcentaje del ensayo equivalente de arena.

Tabla 25. Resultado ensayo de equivalente de arena.

N° de muestra	1	2	3	Promedio
H ₁	10,80	10,70	10,60	10,70
H ₂	11,50	11,40	11,60	11,50
Equivalente de Arena (%)	93,91	93,86	91,38	93,04
Equivalente de Arena (%)			Norma	
93,04			>50%	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Caracterización del material reciclado RAP

3.3.2.1. Extractor centrífugo

Este método contempla la extracción de núcleos de asfalto y pavimento utilizando solventes como tricloroetileno, bromuro de propilo común o cloruro de metileno, diésel y gasolina. El contenido de betún está determinado por la diferencia de masa del árido extraído. contenido de agua y minerales. Se usa comúnmente para determinar cuantitativamente el contenido de betún del asfalto o pavimento y para determinar y evaluar las especificaciones. Se usó gasolina como diluyente para este ensayo.

Figura 35. Calentado del RAP.



Figura 36. Introducir e material RAP a la centrifugadora.



Figura 37. Colocado del filtro previamente pesado.



Fuente: Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia.

Figura 25. Introducir solvente (gasolina) a la máquina de centrifugado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Resultado del centrifugado con solvente (Gasolina).



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del centrifugado con material RAP

Tabla 26. % de asfalto presente en el material reciclado RAP.

Ensayo	Ppeso (g) agregado más cemento asfáltico	Peso (g) agregados	Peso (g) filtro seco	Peso (g) filtro seco + fino	% de asfalto
1	1.200	1.173,50	12,30	12,80	4,27
2	1.200	1.168,10	12,80	13,30	3,63
3	1.200	1.172,10	13,30	13,80	4,08
				Promedio	4,00

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

El resultado final del porcentaje de cemento asfáltico perdido por el ensayo de centrifugado es el promedio de los tres ensayos realizados.

$$\% \text{ de asfalto} = 4,00 \%$$

3.3.2.2. Granulometría del material reciclado grueso y fino

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Para la granulometría del material reciclado RAP para agregado grueso y fino se tomó una muestra representativa de 5000 gramos.

Figura 28. Material RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Peso del material RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Granulometría del grueso RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Granulometría del Fino RAP.



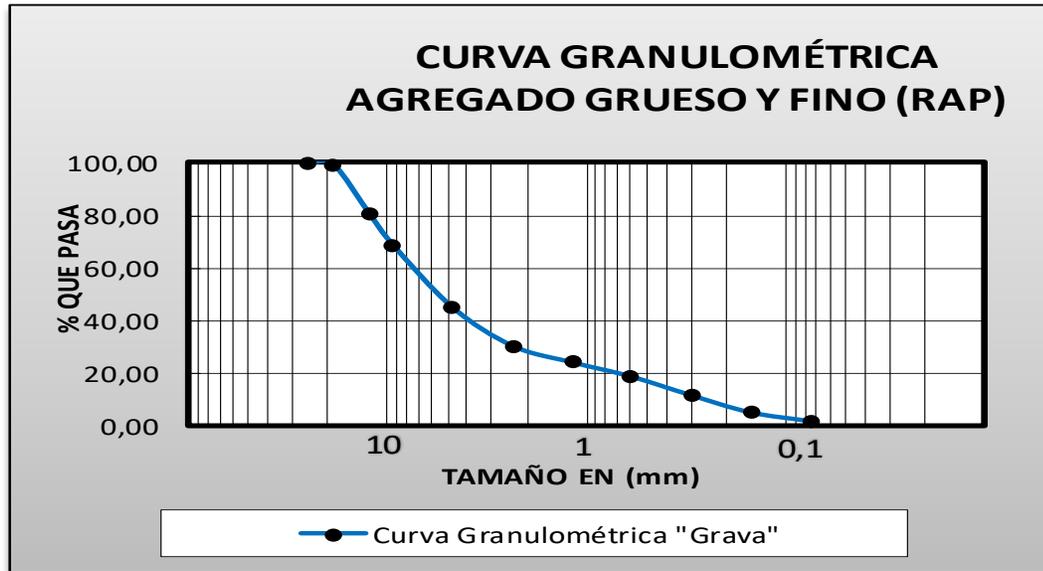
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Granulometría del agregado RAP grueso y fino.

Peso Total (gr.)		5.000	
		Ensayo 1	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret.	% que pasa del total
1"	25,40	5,92	99,88
3/4"	19,00	34,18	99,20
1/2"	12,50	938,02	80,44
3/8"	9,50	594,26	68,55
Nº4	4,75	1.186,77	44,82
Nº8	2,36	730,88	30,20
Nº16	1,18	311,78	23,96
Nº30	0,60	266,10	18,64
Nº50	0,30	352,81	11,59
Nº100	0,15	328,44	5,02
Nº200	0,075	166,99	1,68
BASE	-	83,43	0,01
Suma		4.999,62	
Pérdidas		0,40	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 11. Curva granulométrica del agregado grueso y fino (RAP).



Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3. Peso específico del agregado fino RAP (ASTM E 128, AASHTO T84-00)

Para determinar el peso específico del agregado fino RAP se tomó una muestra de peso de 500 gramos y se realizó tres ensayos.

Figura 30. Secado del material fino RAP.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Molde para saber si esta superficialmente seco.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Peso del matraz + agua + arena.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Medición de la temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del peso específico del fino material RAP

Tabla 28. Peso específico del fino RAP.

Muestra N ^a	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,64	2,69	2,79	2,04
2	2,61	2,66	2,74	1,70
3	2,64	2,69	2,78	1,94
Promedio	2,63	2,68	2,77	1,89

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2. Peso específico del agregado grueso (ASTM E 127, AASHTO T85-91)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Para determinar el peso específico del agregado grueso se tomó una muestra de peso de 5000 gramos, se realizó tres ensayos para gravas y gravillas

Figura 31. Secado del agregado RAP (Gravilla).



Figura 49. Peso muestra RAP (Gravilla).



Figura 50. Peso sumergido RAP (Gravilla).



Fuente: Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia. **Fuente:** Elaboración propia.

Resultado del centrifugado con material RAP

Tabla 29. Peso específico del grueso gravilla RAP.

Muestra N ^a	Peso específico a granel (gr/cm ³)	Peso específico saturado con sup. seca (gr/cm ³)	Peso específico aparente (gr/cm ³)	% de absorción
1	2,62	2,66	2,73	1,60
2	2,62	2,66	2,73	1,62
3	2,61	2,65	2,73	1,65
Promedio	2,61	2,66	2,73	1,62

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Caracterización del cemento asfáltico nuevo

Se realiza la caracterización del cemento bituminoso para asegurar que la mezcla resultante cumpla con las especificaciones exigidas por las normas viales.

3.2.3.1. Ensayo de viscosidad, método para determinar la viscosidad saybolt (ASTM D 244)

Este método describe el procedimiento para la medida empírica de la viscosidad Saybolt de productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 20 y 100° C.

Se realizo 3 ensayos para poder determinar la viscosidad del cemento asfáltico.

Figura 32. Viscosidad Saybolt.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Temperatura a 135 °C para realizar el ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Verificación de la temperatura.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo viscosidad saybolt

Tabla 30. Viscosidad Saybolt.

	1	2	3
s	254	183	251

Promedio (cm):	229,33
----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2. Ensayo para determinar la ductilidad (ASTM D 113, AASHTO T51-00)

La ductilidad mide la capacidad de una probeta de sufrir una deformación plástica antes de romperse. Los resultados suelen expresarse como el porcentaje de alargamiento, o el porcentaje de reducción de área. En términos sencillos, es una medida de cuánto se estira una muestra antes de romperse.

La Ductilidad es una medida de cuanto pueda alargarse o estirarse una muestra de Cemento Asfáltico antes de que se rompa en dos partes.

La ductilidad tiene como objetivo determinar la medida de estiramiento de una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos partes. Salvo indicación contraria, el ensayo se realiza a una temperatura de $25 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una velocidad de $5 \text{ cm/min} \pm 5,0 \%$.

Figura 54. Moldes para el ensayo de ductilidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Medición de la ductilidad del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Medición de las distancias.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Rompimiento del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo de Ductilidad

Tabla 31. Resultado del ensayo de ductilidad.

	1	2	3
Elongación (cm):	99,5	101	100
Promedio (cm):	100		

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo:

Se realizó un promedio de las 3 muestras obteniendo como resultado 100 cm.

3.2.3.3. Ensayo peso específico del asfalto (AASTHO T-43, ASTM D-70)

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso de picnómetro a la temperatura requerida.

La gravedad específica de una sustancia relativa a su peso en el aire a una temperatura dada que pasa a través del mismo volumen de agua a 25° C a la misma temperatura. La gravedad específica es la relación entre el peso de un determinado volumen de material y el peso del mismo volumen de agua, ambos materiales a una determinada temperatura. Por lo tanto, una gravedad específica de 1,05 significa 1,05 veces el peso del agua a la temperatura establecida.

Figura 58. Peso del envase



Figura 59. Envase más cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Muestra a 25 °C.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Llenado de agua destilada a 25° C.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo Peso específico del cemento

Tabla 32. Peso específico del cemento asfáltico.

	1	2	3
Peso del picnómetro (gr) (A):	36,20	34,50	32,70
Peso del picnómetro + agua destilada (gr) (B):	83,60	84,20	84,80
Peso del picnómetro + cemento asfáltico (gr) (C):	65,30	66,20	61,80
Peso del picnómetro + agua destilada + cemento asfáltico (gr) (D):	85,70	85,40	85,50
Densidad (kg/m ³):	1,07	1,03	1,02
Densidad promedio (kg/m ³):	1,04		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

El resultado final del peso específico del cemento asfáltico es el promedio de los tres ensayos realizados.

$$\text{Peso específico del C.A.} = 1,04 \text{ gr/cm}^3$$

3.2.3.4. Ensayo punto de ablandamiento (AASTHO T-53, ASTM D-36)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200° C, por medio del aparato de anillo y bola.

El punto de ablandamiento observado deberá corresponder a la media de las temperaturas a las que los dos discos se ablandan suficientemente para permitir que cada bola, envuelta en aglutinante bituminoso, descienda una altura de $25 \pm 0,4$ mm.

Figura 62. Anillo con cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Proceso de calentado del agua.



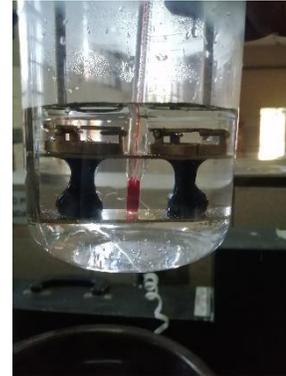
Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Agregado de cemento asfáltico a molde de anillos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo Punto de ablandamiento

Tabla 33. Punto de ablandamiento.

	1	2
Temperatura °C:	47,5	48,00
Promedio (°C):	48,00	

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

El resultado final del punto de ablandamiento del cemento asfáltico es el promedio de los dos ensayos realizados.

Punto de ablandamiento del C.A. = 48° C

3.2.3.5. Ensayo punto de inflamación (AASTHO T-48, ASTM D-92)

Este método define el procedimiento para determinar el punto de inflamación por el aparato Copa Abierta Tag, de asfaltos cortados que tienen punto de inflamación menor que 93 ° C.

El punto de inflamación de un aglomerante asfáltico es la temperatura más baja a la que los volátiles se separan de la muestra y producen "luz" en presencia de una llama abierta. Betún El punto de inflamación del betún indica la temperatura a la que se puede calentar un material en presencia de una llama abierta sin riesgo de ignición. Esta temperatura suele ser mucho más baja que la temperatura a la que se quemará el material. Esta temperatura final se conoce como el punto de inflamación, pero rara vez se incluye en las especificaciones del betún.

Figura 66. Cocinilla especial para calentar el C.A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Punto de inflamación y combustión.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo Punto de inflamación y combustión

Tabla 34. Punto de inflamación y combustión.

	1	2	3
Punto de inflamación °C:	230	240	232
Punto de combustión °C:	288	288	290
Promedio Punto de inflamación °C:	234		

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.6. Ensayo de penetración (AASHTO T49-97, ASTM D-5)

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

La penetración se define como la distancia que una aguja estándar penetra verticalmente a través de un material en condiciones específicas de carga, tiempo y temperatura, expresada en décimas de milímetro. La prueba se realiza normalmente a 25 °C durante 5 segundos con carga móvil completa. 100 gramos incluida la aguja. Betún Claramente, cuanto más suave sea el betún, mayor será el valor de penetración. Para la caracterización del cemento asfáltico 85-100 se realizaron 3 ensayos.

Figura 68. 25° C cemento asfáltico sumergido.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 69. Punto de penetración antes de la medición.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Medición punto de penetración.



Fuente: Elaboración propia.

Resultado del ensayo Punto de penetración

Tabla 35. Punto de penetración.

	Temperatura	Carga	Tiempo
Condiciones:	5 segundos	100 gr	25 °C
	1	2	3
Lecturas:	100	101	87
	98	96	88
	90	94	85
Penetración Promedio:	96	97	87
Penetración final:	93		

Fuente: Elaboración propia.

Calculo:

El resultado final del punto de penetración del cemento asfáltico es el promedio de los tres ensayos realizados.

Punto de penetración del C.A. = 93

3.2.4. Caracterización del aceite desechado de motor

3.2.4.1. Punto de inflamación y combustión (AASTHO T-48, ASTM D-92)

El punto de inflamación es la temperatura más baja a la cual el vapor por encima de la muestra de aceite se encenderá momentáneamente o formará una flama cuando una fuente de ignición pase sobre este. El punto de inflamación (típicamente 225° C o 440 ° F para aceites minerales) es una indicación de los riesgos de seguridad de un lubricante con respecto al fuego y explosión.

Mediante esta práctica de punto de inflamación se usó para ver a que temperatura el aceite quemado de motor es la temperatura más baja a la cual se separa materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta.

En la siguiente tabla podremos ver los diferentes puntos de inflamación de aceites de motor (nuevo) para posterior dar una comparación a los resultados en los ensayos realizados en los puntos de inflamación y combustión del aceite de motor desechado gas-gasolina y diésel.

Figura 71. Aceite de motor desechado



Figura 40. Copa de Cleveland



Figura 73. Temperatura en °C



Fuente: Elaboración

Fuente: Elaboración propia.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Punto de inflamación aceite de motor. (Nuevo)

Grado sae aceite de motor	N° Aceites*	Flash más bajo** (°c)	Flash más alto** (°C)	Promedio** (°C)
20W-50	17	198	263	231
20W-40	3	212	260	233
15W-50	4	212	261	230
5W-50	2	225	236	232
5W-40	1	232	232	232
15W-40	11	203	257	222
10W-30	21	198	271	217
5W30	16	178	248	215

*Cada aceite es de una marca o designación diferente

**Método copa abierta Cleveland

Elaborado: Noria Latín América

Resultado del ensayo Punto de inflamación y combustión

Tabla 37. Punto de inflamación y combustión del aceite (gas-gasolina).

	1	2	3
Punto de inflamación °C:	220	218	221
Punto de combustión °C:	231	237	235
Promedio Punto de inflamación °C:	219,67		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Punto de inflamación y combustión del aceite (diésel).

	1	2	3
Punto de inflamación °C:	222	217	219
Punto de combustión °C:	228	225	232
Promedio Punto de inflamación °C:	219,33		

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2. Ensayo peso específico del aceite (AASTHO T-43, ASTM D-70)

Se realizo el mismo procedimiento que para el peso específico del cemento asfáltico.

La finalidad del peso específico es la inclusión en los cálculos de Marshall.

Figura 41. Peso específico del aceite de motor desechado gas-gasolina y diésel



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Peso específico aceite de motor desechado gas-gasolina

	1	2	3
Peso del picnómetro (gr) (A):	36.40	35.10	33.70
Peso del picnómetro + agua destilada (gr) (B):	83.40	83.70	84.90
Peso del picnómetro + aceite de motor (gr) (C):	64.30	67.40	62.30
Peso del picnómetro + agua destilada + aceite de motor (gr) (D):	81.30	80.30	81.40
Densidad (kg/m ³):	0.92	0.90	0.88
Densidad promedio (kg/m ³):	0.91		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Peso específico aceite de motor desechado diésel

	1	2	3
Peso del picnómetro (gr) (A):	36.40	35.10	33.70
Peso del picnómetro + agua destilada (gr) (B):	83.50	83.60	84.70
Peso del picnómetro + aceite de motor (gr) (C):	64.40	67.30	62.50
Peso del picnómetro + agua destilada + aceite de motor (gr) (D):	81.20	80.10	81.90
Densidad (kg/m ³):	0.92	0.90	0.91
Densidad promedio (kg/m ³):	0.91		

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Se realizará el análisis estadístico que nos llevará a la confiabilidad de los resultados obtenidos según nuestro ensayo del método Marshall, con la aplicación del aditivo aceite quemado de motor.

Para dicha validación tomaremos el método de diferencias de medias muestrales, o más conocido como el modelo de distribución “t de student”.

4.1. Resultados para el inicio del tratamiento correspondiente

4.1.1. Método Marshall con mezclas asfálticas convencionales

Tabla 41. Resultados briquetas con mezcla asfáltica convencional.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	V,A,M, (vacíos de agregado mineral) (%)	R,B,V, (relación betún vacíos) (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
4,50	2,41	6,09	16,48	63,02	3063,28	17,00
5,00	2,42	4,94	16,52	70,09	3141,30	15,67
5,50	2,43	3,84	16,62	76,91	3174,04	15,33
6,00	2,42	3,33	17,23	80,68	3115,83	15,33
6,50	2,41	2,77	17,78	84,43	3021,98	16,33
7,00	2,39	2,78	18,81	85,22	2851,91	17,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Resultados finales mezcla asfáltica convencional.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	V,A,M, (vacíos de agregado mineral) (%)	R,B,V, (relación betún vacíos) (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
5,47	2,42	3,97	16,67	76,22	3166,19	15,37

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Método Marshall con material RAP

Tabla 43. Resultados briquetas con material asfáltico reciclado.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
4,50	2,39	6,70	17,00	60,59	3548,51	15,00
5,00	2,40	5,54	17,03	67,46	3617,52	13,67
5,50	2,41	4,47	17,15	73,92	3664,99	13,33
6,00	2,40	3,97	17,75	77,66	3611,45	13,33
6,50	2,39	3,42	18,31	81,32	3498,19	14,33
7,00	2,37	3,40	19,31	82,38	3308,54	15,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Resultados finales mezcla asfáltica reciclada.

Porcentajes de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	% de vacíos de mezcla total (%)	V.A.M. (vacíos de agregado mineral) (%)	R.B.V. (relación betún vacíos) (%)	Estabilidad (libra)	Fluencia (pulg)
5,60	2,40	4,38	17,29	74,63	3652,99	13,32

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Método Marshall con material RAP + 5% aceite de motor desechado

Tabla 45. Resultados briquetas con RAP + 5% aceite de motor desechado (gas- gasolina).

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V,A,M, (vacíos agregado mineral)	R,B,V, (relación betún en vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,50	0,48	13,90	96,56	3171,39	16,00
2,38	5,45	18,20	70,04	3254,43	15,00
2,35	6,45	19,07	66,17	3113,43	14,00
2,34	6,92	19,47	64,48	3315,31	13,00
2,50	0,75	14,14	94,68	3353,96	15,00
2,42	3,64	16,63	78,13	3461,08	14,00
2,47	1,80	15,04	88,06	3315,53	15,00
2,39	5,10	17,90	71,51	3195,96	14,00
2,43	3,50	16,51	78,80	3428,98	12,00
2,44	2,84	15,94	82,19	3273,71	13,00
2,40	4,40	17,29	74,56	3305,51	12,00
2,41	4,06	17,00	76,11	3193,92	14,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Método Marshall con material RAP + 5% aceite de motor desechado

Tabla 46. Resultados briquetas con RAP + 5% aceite de motor desechado (diésel).

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V.A.M. (vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,41	4,13	17,06	75,80	3175,09	15,00
2,44	2,88	15,98	81,97	3287,93	13,00
2,42	3,94	16,89	76,70	3052,39	16,00
2,40	4,72	17,57	73,14	3280,04	12,00
2,45	2,44	15,60	84,36	3339,84	14,00
2,41	3,95	16,91	76,62	3334,25	17,00
2,47	1,89	15,12	87,51	3317,26	13,00
2,37	5,83	18,53	68,54	3234,89	15,00
2,40	4,50	17,38	74,10	3359,54	11,00
2,42	3,88	16,84	76,99	3275,38	12,00
2,38	5,39	18,15	70,31	3333,20	12,00
2,45	2,54	15,69	83,78	3131,81	15,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Método Marshall con material RAP + 10% aceite de motor desechado

Tabla 47. Resultados briquetas con RAP + 10% aceite de motor desechado (gas- gasolina).

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V,A,M, (vacíos agregado mineral)	R,B,V, (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,49	1,15	14,48	92,08	2818,69	15,00
2,36	6,04	18,71	67,74	2896,31	17,00
2,34	7,02	19,56	64,11	2747,76	13,00
2,33	7,47	19,95	62,55	2973,42	14,00
2,48	1,39	14,69	90,54	3012,33	16,00
2,41	4,23	17,15	75,33	2829,27	14,00
2,45	2,43	15,59	84,39	2961,13	12,00
2,37	5,70	18,41	69,07	2849,37	15,00
2,41	4,11	17,04	75,87	3080,26	14,00
2,43	3,47	16,49	78,97	2916,65	13,00
2,39	5,01	17,82	71,88	2951,74	14,00
2,40	4,66	17,52	73,39	2858,45	13,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Método Marshall con material RAP + 15% aceite de motor desechado

Tabla 48. Resultados briquetas con RAP + 15% aceite de motor desechado (gas- gasolina).

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V,A,M, (vacíos agregado mineral)	R,B,V, (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,49	0,93	14,29	93,46	2666,24	14,00
2,37	5,85	18,55	68,46	2656,51	17,00
2,34	6,84	19,40	64,76	2662,98	15,00
2,33	7,29	19,80	63,16	2726,85	16,00
2,48	1,19	14,51	91,82	2740,29	15,00
2,41	4,04	16,98	76,20	2791,06	13,00
2,46	2,23	15,42	85,53	2650,91	14,00
2,38	5,51	18,25	69,83	2548,67	15,00
2,42	3,92	16,87	76,79	2715,81	17,00
2,43	3,27	16,31	79,97	2657,72	18,00
2,39	4,82	17,65	72,72	2683,88	15,00
2,40	4,47	17,35	74,24	2615,54	13,00

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7. Método Marshall con material RAP + 20% aceite de motor desechado

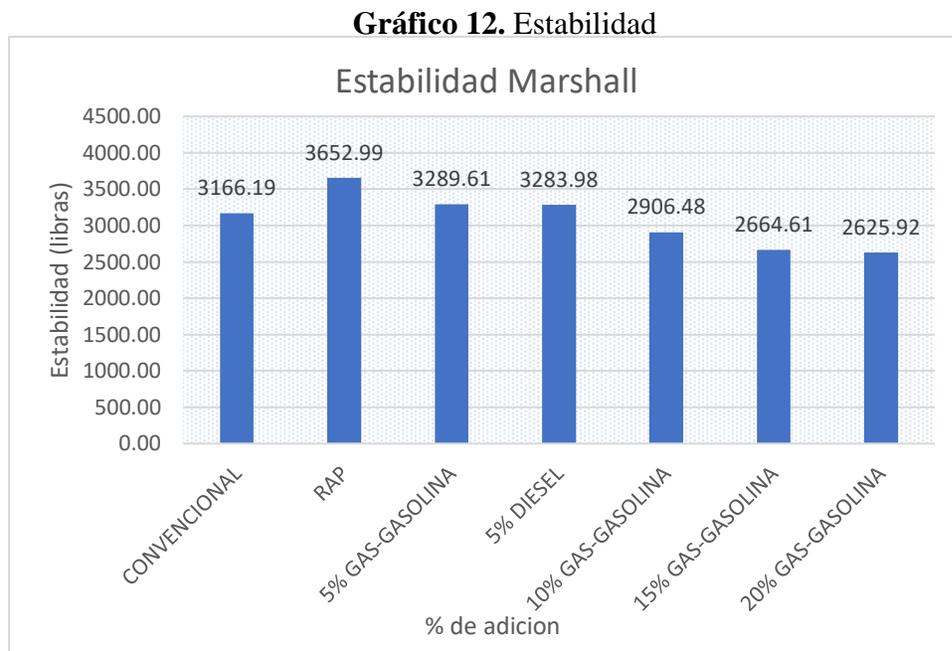
Tabla 49. Resultados briquetas con RAP + 20% aceite de motor desechado (gas- gasolina).

Densidad Real	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)	Estabilidad real corregida	lectura dial del flujo
grs/cm ³	%	%	%	libras	0,01 pulg
2,47	1,58	14,86	89,35	2629,91	15,00
2,40	4,51	17,39	74,04	2616,38	18,00
2,33	7,39	19,88	62,81	2621,93	16,00
2,32	7,83	20,26	61,34	2678,55	17,00
2,47	1,81	15,05	87,99	2693,49	16,00
2,40	4,62	17,48	73,58	2744,97	14,00
2,50	0,75	14,14	94,69	2601,40	15,00
2,36	6,09	18,75	67,55	2512,68	16,00
2,40	4,51	17,39	74,06	2681,89	18,00
2,42	3,88	16,84	76,98	2612,63	19,00
2,40	4,42	17,31	74,47	2644,84	16,00
2,39	5,05	17,86	71,70	2568,26	14,00

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Gráficos de comparación

4.2.1. Estabilidad Marshall



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación de la estabilidad Marshall, obtenido con la mezcla convencional y RAP, además de sus porcentajes de adición de aceite quemado de motor, el cual muestra que tiene una reducción hasta el 28,12%, en comparación del 5% de gas-gasolina y diésel, existe una diferencia del 0,17%.

Tabla 50. Resumen de mezclas y % de adición (estabilidad).

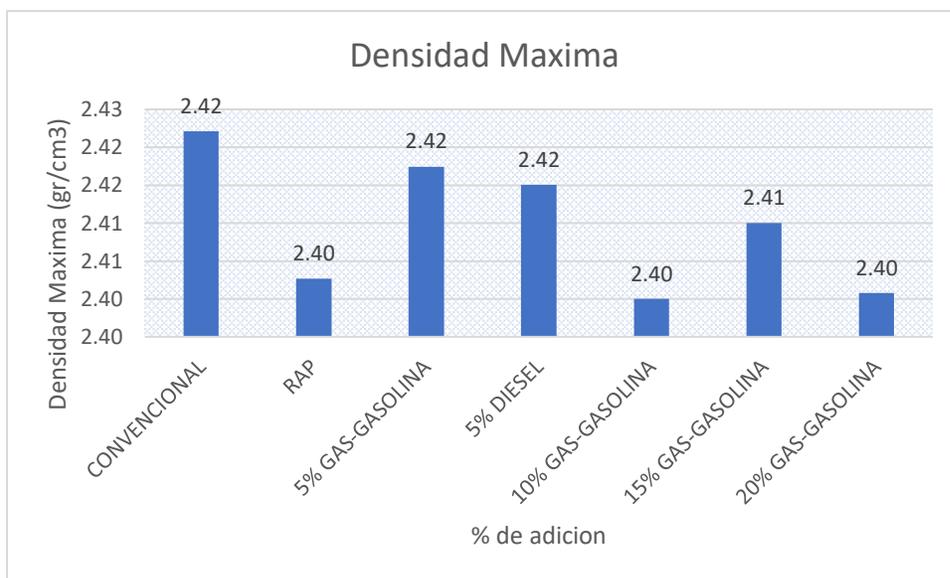
Tipo de mezcla y % de adición	Estabilidad (Libras)
Convencional	3166,19
Rap	3652,99
5% gas-gasolina	3289,61
5% diésel	3283,98
10% gas-gasolina	2906,48
15% gas-gasolina	2664,61
20% gas-gasolina	2625,92

Fuente: Elaboración propia.

También se observa que el método convencional tiene un valor menor al obtenido con el método RAP, el cual también se mostrará un análisis sobre cuál sería el factor que causa esta reducción de estabilidad.

4.2.2. Densidad máxima

Gráfico 13. Densidad máxima.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación de la densidad máxima mediante el ensayo Marshall, obtenido con la mezcla convencional y RAP, además de sus porcentajes de adición de aceite de motor desechado, el cual muestra pequeñas variaciones en las mismas, los cuales no son muy significativas.

Tabla 51. Resumen de mezclas y % de adición (densidad máxima).

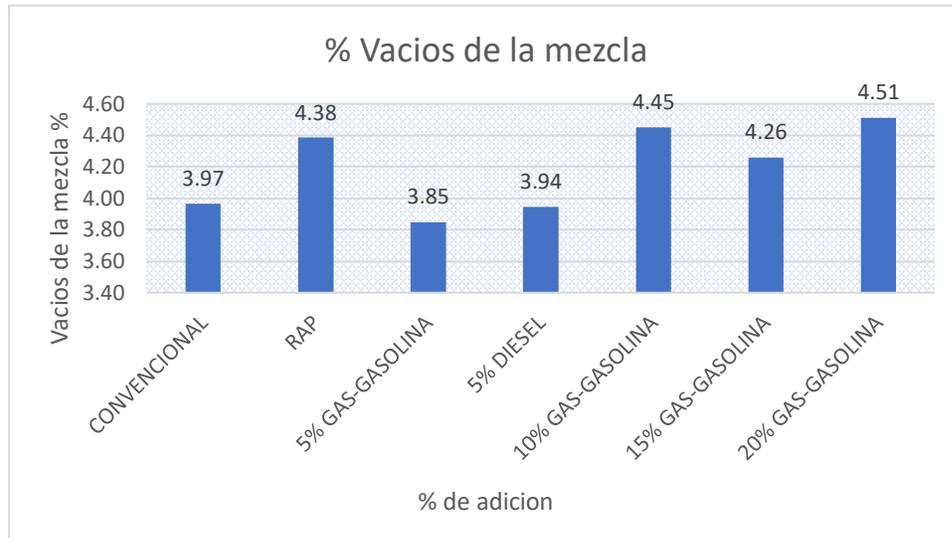
Tipo de mezcla y % de adición	Densidad Máx. (grs/cm ³)
Convencional	2,42
Rap	2,40
5% gas-gasolina	2,42
5% diésel	2,42
10% gas-gasolina	2,40
15% gas-gasolina	2,41
20% gas-gasolina	2,40

Fuente: Elaboración propia.

En comparación del 5% de gas-gasolina y diésel, existe una diferencia mínima del 0,1%. También observamos que el método convencional tiene un valor levemente mayor al obtenido con el método RAP, el cual también se mostrará un análisis sobre cuál sería el factor que causa esta variación en los valores de las densidades máximas.

4.2.3. Vacíos de la mezcla

Gráfico 14. % de vacíos de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación del % de vacíos en la mezcla mediante el ensayo Marshall, obtenido con la mezcla convencional y RAP, además de sus porcentajes de adición de aceite quemado de motor, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta y donde más adelante se mostrará un análisis de este comportamiento y su significado.

Tabla 52. Resumen de mezclas y % de adición (% vacíos de mezcla).

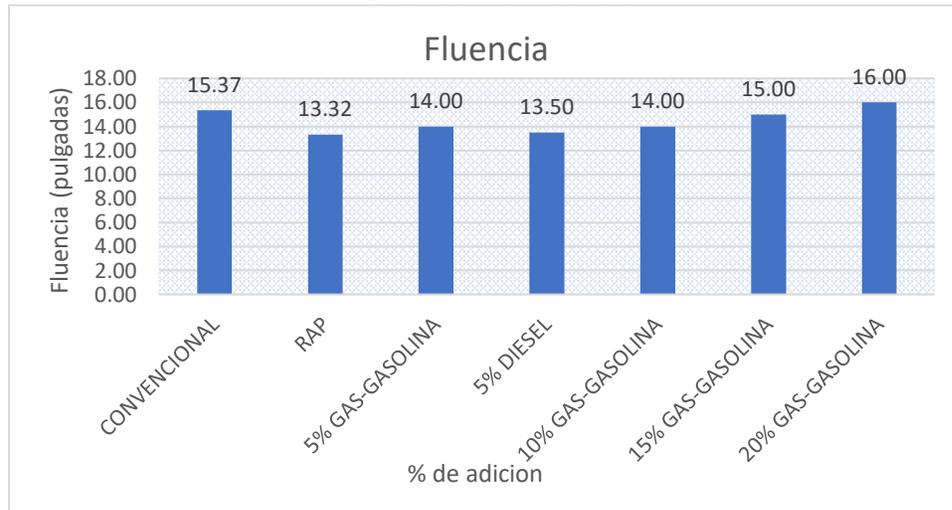
Tipo de mezcla y % de adición	% de vacíos de la mezcla
Convencional	3,97
Rap	4,38
5% gas-gasolina	3,85
5% diésel	3,94
10% gas-gasolina	4,45
15% gas-gasolina	4,26
20% gas-gasolina	4,51

Fuente: Elaboración propia.

También observamos que el método de material asfáltico reciclado tiene un valor más bajo que el obtenido con el método convencional, el cual también se mostrará un análisis sobre cuál sería el factor que causa esta variación en el porcentaje de vacíos en las mezclas.

4.2.4. Fluencia

Gráfico 15. Fluencia.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación del factor fluencia obtenido mediante el ensayo Marshall, mostrado con la mezcla convencional y RAP, además de sus porcentajes de adición de aceite de motor desechado, el cual muestra variaciones mínimas a tomar en cuenta.

Tabla 53. Resumen de mezclas y % de adición (Fluencia).

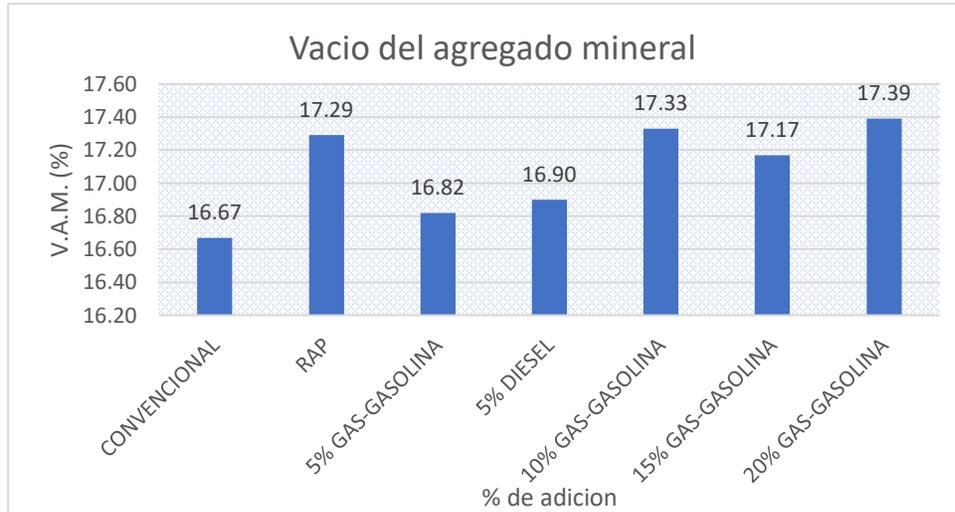
Tipo de mezcla y % de adición	Fluencia (pulgadas)
Convencional	15,37
Rap	13,32
5% gas-gasolina	14,00
5% diésel	13,50
10% gas-gasolina	14,00
15% gas-gasolina	15,00
20% gas-gasolina	16,00

Fuente: Elaboración propia.

También observamos que el método convencional comienza en un valor alto que el obtenido con el método de material asfáltico reciclado pero con la adición de aceite lo va superando, también se mostrará un análisis sobre cuál sería el factor que causa esta variación en el factor de fluencia.

4.2.5. V.A.M. Vacío del Agregado Mineral

Gráfico 16. Vacíos del agregado mineral.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación del vacío del agregado mineral mediante el ensayo Marshall, mostrado con la mezcla convencional, RAP, y además de sus porcentajes de adición de aceite de motor desechado, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta y donde además entre el 5% de gas-gasolina y diésel, existe una diferencia del 0,12%.

Tabla 54. Resumen de mezclas y % de adición (V.A.M.).

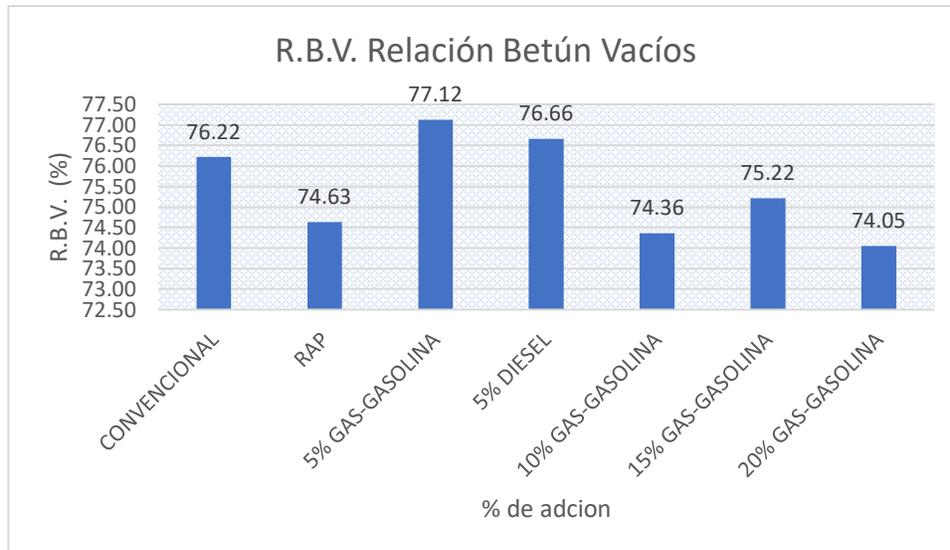
Tipo de mezcla y % de adición	Vacío del agregado mineral (%)
Convencional	16,67
Rap	17,29
5% gas-gasolina	16,82
5% diésel	16,90
10% gas-gasolina	17,33
15% gas-gasolina	17,17
20% gas-gasolina	17,39

Fuente: Elaboración propia.

También observamos que el método convencional tiene un valor levemente bajo que el obtenido con el método de material asfáltico reciclado, el cual también se mostrará un análisis sobre cual sería el factor que causa esta variación en el V.A.M.

4.2.6. R.B.V. Relación Betún Vacíos

Gráfico 17. R.B.V. Relación Betún Vacíos.



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico anterior se muestra una comparación en el factor de relación betún vacíos, mediante el ensayo Marshall, mostrado con la mezcla convencional, RAP, y además de sus porcentajes de adición de aceite de motor desechado, el cual muestra variaciones a tomar en cuenta y donde más adelante se mostrará un análisis de este comportamiento y su significado.

Tabla 55. Resumen de mezclas y % de adición (R.B.V.).

Tipo de mezcla y % de adición	R.B.V. Relación Betún Vacíos (%)
Convencional	76.22
Rap	74.63
5% gas-gasolina	77.12
5% diésel	76.66
10% gas-gasolina	74.36
15% gas-gasolina	75.22
20% gas-gasolina	74.05

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis de la investigación

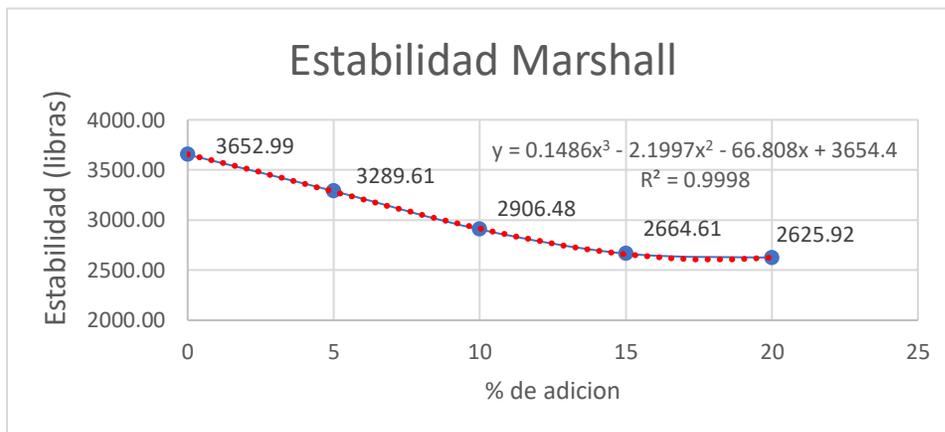
“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor desechado mejorara sus propiedades frente a otras mezclas asfálticas”

4.3.2. Análisis de estabilidad Marshall

La estabilidad de un asfalto es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y dureza bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Según este pequeño concepto mencionado anteriormente, se entiende que, a mayor valor de estabilidad, tendremos una mejor capacidad de resistir deformaciones y ahuellamientos por las cargas de tránsito, entonces según las especificaciones que tenemos para nuestro proyecto que debemos tener una estabilidad ≥ 1800 libras, entonces observamos la gráfica:

Gráfico 18. Tendencia de estabilidad Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

Con el método RAP y convencional cumplimos las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente, al adicionar aceite de motor en los porcentajes de 5 y 10 %, tenemos un descenso significativo de este valor llegando hasta un valor de 2624,13 libras, lo cual significa un descenso del valor inicial de estabilidad de 28,16%, el cual sucede en el porcentaje de adición de 17,9% de aceite de motor desechado, esto según

la ecuación encontrada a partir de los datos obtenidos, si bien aún estamos dentro de las especificaciones técnicas donde debemos tener un valor ≥ 1800 libras, el aceite de motor provoco una disminución de este valor, concluyendo que el uso de este aditivo en términos de estabilidad, no es factible ya que no tiene resultados positivos para el aumento de esta propiedad, por tanto para nuestra hipótesis planteada tenemos que:

“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor desechado no mejora la propiedad de estabilidad frente a otras mezclas asfálticas”

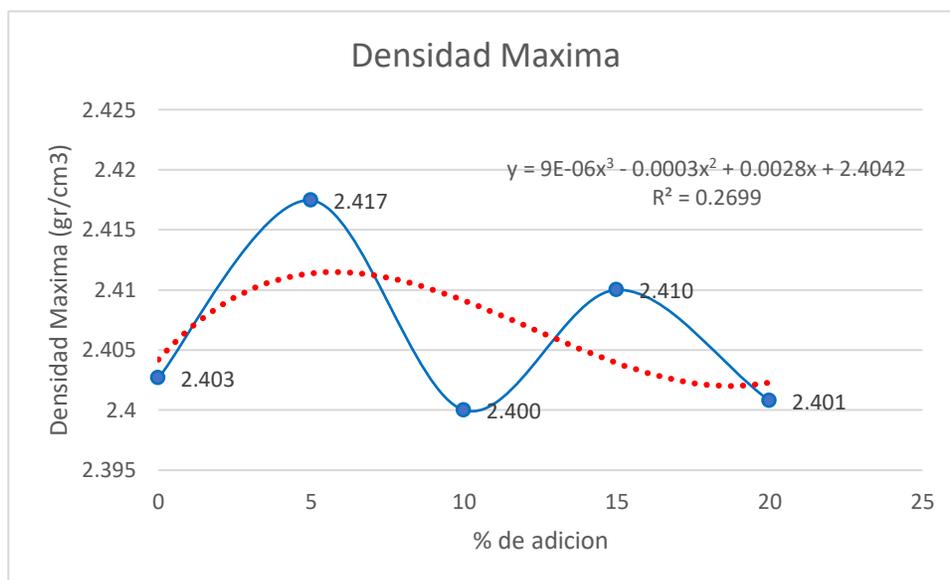
Por tanto, tenemos que la hipótesis alternativa es rechazada.

4.3.3. Análisis de densidad máxima

La densidad máxima está definida como el peso unitario de la mezcla compactada. La densidad está directamente relacionada con la durabilidad y resistencia de la mezcla.

Si bien no tenemos un valor que tengamos en la especificación técnica, mayormente los valores que se obtienen oscilan entre $2,39 \text{ gr/cm}^3$ y $2,42 \text{ gr/cm}^3$, se tiene los valores que observamos a continuación:

Gráfico 19. Variación de la densidad máxima.



Fuente: Elaboración propia.

Si bien tenemos una densidad relativamente alta y dentro de las especificaciones técnicas ($2,30 \text{ gr/cm}^3 - 2,42 \text{ gr/cm}^3$), cuando agregamos el aceite de motor desechado,

tenemos un comportamiento desfavorable a partir de la adición de 5%, es decir que en el porcentaje de adición del 5% tenemos un aumento de densidad de 0,83 %, pero al pasar esta cantidad de adición tenemos una reducción de densidad, llegando a tener el mismo valor de densidad inicial al 10% de adición, es decir que se tiene el mismo valor que la mezcla Convencional de 2,403 % y Rap al 10% de 2.400% de densidad, entonces tenemos la siguiente conclusión:

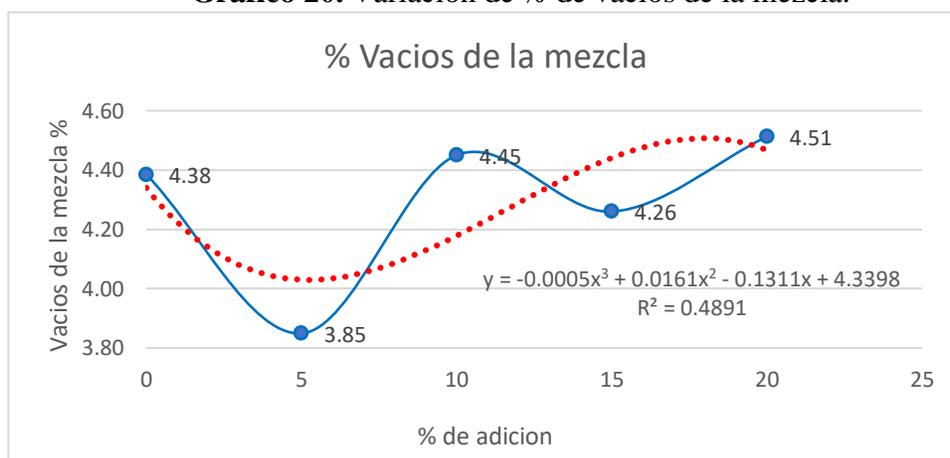
“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor al desechado al 5%, mejora la propiedad de densidad frente a otras mezclas asfálticas”

Entonces damos credibilidad a la hipótesis alternativa, pero con un límite establecido que sería al 5% de adición de aceite de motor desechado, luego de este punto no tenemos una mejora mayor a este porcentaje.

4.3.4. Análisis de % de vacíos de la mezcla

Se expresa generalmente como vacíos o vacíos de aire de la mezcla. Son espacios ocupados por aire, los que pueden estar conectados o no. Los vacíos permiten que el asfalto de la mezcla pueda expandirse por efecto de la temperatura y del tránsito, evitando que el mismo migre hacia el exterior de la capa construida. Los vacíos colaboran en el efecto de sobre compactación que sufren las capas asfálticas por efecto del tránsito.

Gráfico 20. Variación de % de vacíos de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

Los vacíos de la mezcla, serán determinantes en la calidad y durabilidad de la mezcla. Un contenido alto de vacíos dará como resultado una mezcla muy permeable permitiendo la entrada de agua y la posterior oxidación del asfalto que recubre las partículas de agregados. En caso de ser muy bajo el porcentaje de vacíos, es posible que la mezcla presente exudación de asfalto. La densidad está íntimamente relacionada con el porcentaje de vacíos, a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y viceversa. Las especificaciones de la mezcla requieren usualmente una densidad que permita tener el menor porcentaje de vacíos compatible con la capa a construir.

Entonces es muy necesario que el porcentaje de vacíos se encuentre dentro de las especificaciones técnicas, las cuales nos dice que el % de vacíos debe encontrarse entre los valores de 3% - 5%, y observando la gráfica anterior vemos que con mezcla RAP, se tiene un alto contenido de vacíos 4,38 %, pero que aún se encuentra dentro de las especificaciones técnicas, mientras que al 5% se tiene una reducción de vacíos de 12,10 %, , lo cual es favorable y también se encuentra dentro de las especificaciones técnicas, al 10% de adición de aceite de motor se tiene nuevamente un aumento de vacíos de 1,60 % y al 5 % de adición una reducción de 2.73 % de vacíos, lo cual no es favorable para nuestra mezcla, entonces se puede concluir de la siguiente manera:

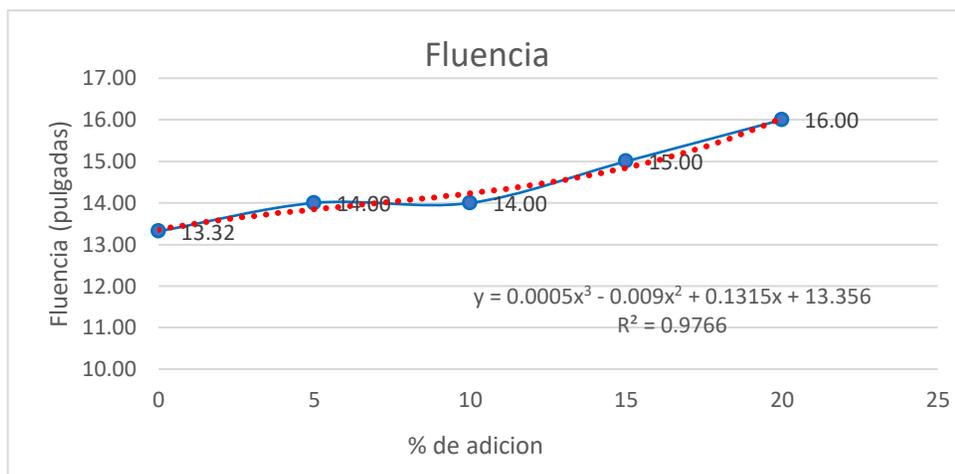
“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor al desechado al 5%, mejora la propiedad de % de vacíos frente a otras mezclas asfálticas”

De esta manera podemos afirmar la hipótesis alternativa con un límite de adición del 5% de aceite de motor desechado, aunque los demás porcentajes de adición aún se encuentren dentro de las especificaciones técnicas, lo ideal es que se tenga una disminución del porcentaje de vacíos de la mezcla pero que se encuentre dentro de las especificaciones técnicas.

4.3.5. Análisis de Fluencia

La fluencia es la deformación total expresada en pulgadas que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

Gráfico 21. Variación de fluencia.



Fuente: Elaboración propia.

Según nuestra especificación técnica tenemos que la fluencia debe encontrarse entre 8 y 18 pulgadas, entonces observando la anterior gráfica, se tiene que con la mezcla RAP con un valor de 13,32 pulgadas se encuentra la fluencia en un valor aceptable, pero si vamos adicionando el aceite quemado de motor, tenemos un aumento en su fluencia, al 5% y 10% tienen el mismo aumento de fluencia de 4,86%, y al 15% un aumento de 11,20% y al 20% un aumento del 16,75%, lo que significa que tendremos mayores deformaciones en nuestra mezcla asfáltica mientras aumentamos el aditivo aceite de motor desechado, de esta manera tenemos la siguiente conclusión:

“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor al desechado no mejora la propiedad de fluencia frente a otras mezclas asfálticas”

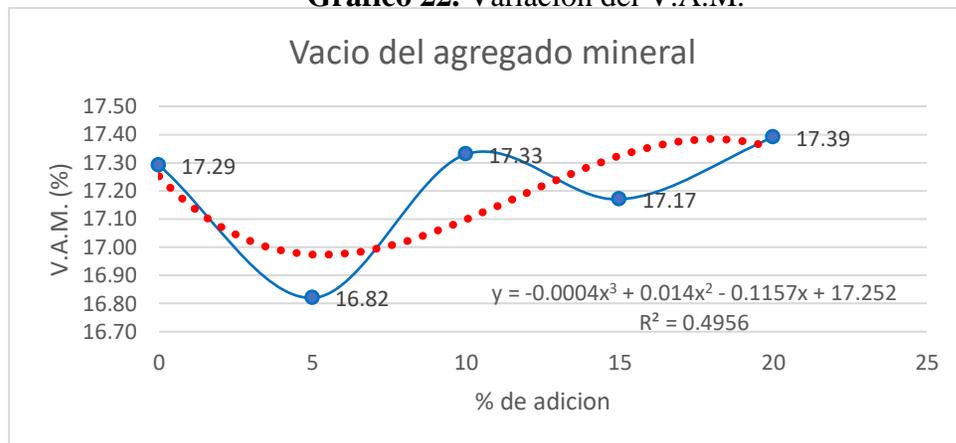
De esta manera rechazamos la hipótesis alternativa y aceptamos la hipótesis nula, la cual nos dice que el aceite quemado de motor no mejora la propiedad de fluencia en ningún porcentaje de adición, el cual es muy importante en una mezcla asfáltica.

4.3.6. Análisis de V.A.M.

Los vacíos en el agregado mineral son los vacíos de aire a los que se suman los espacios intergranulares ocupados por asfalto. Representa el espacio que tiene la mezcla para acomodar el asfalto efectivo (asfalto que forma película sobre los agregados) y los espacios de aire que quedan en la mezcla luego de ser colocada y compactada. El valor

del V.A.M. está directamente relacionado con el tamaño máximo del agregado. Cuanto mayor sea el V.A.M, mayor espesor tendrá la película de asfalto que recubre los agregados, dando una mezcla más durable. Por el contrario, cuando el V.A.M. es muy bajo esta película asfáltica es muy delgada y da como resultado mezclas con tendencia a oxidarse y por lo tanto menos durables.

Gráfico 22. Variación del V.A.M.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la especificación técnica se tiene que según nuestro tamaño máximo de agregado N° 4, se tiene que se debe cumplir un % de vacíos de 18%, lo cual podemos observar en la gráfica anterior que si se cumple con el material RAP con un valor de 17,29 %, luego con la adición del aceite quemado de motor tenemos que al 5% disminuye su % de VAM en un 2,72%, lo cual no es recomendable que suceda, mientras que al 10% se tiene un leve ascenso de 0,23 %, en relación a la mezcla de material RAP, y al 15% otra vez disminuye en 0,69 % en relación a la mezcla RAP.

De esta manera observando nuevamente la gráfica se tiene que al 20% alcanza su pico más alto que tendría un % de VAM de 17.39%, esto significaría un aumento de 0,56%, así acercándose más al valor de 18% el cual sería el más ideal para nuestra mezcla asfáltica.

Por tanto, tenemos la siguiente conclusión:

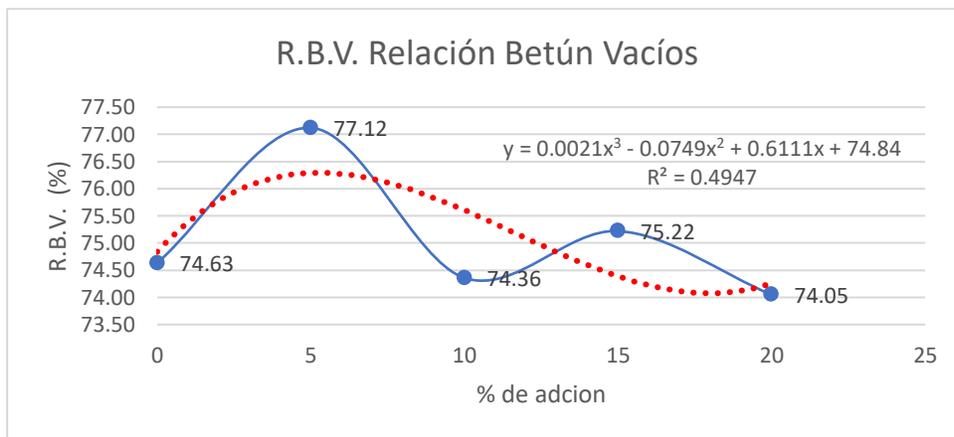
“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor al desechado al 20%, mejora la propiedad de % de VAM frente a otras mezclas asfálticas”

Con la anterior conclusión podemos decir que se acepta la hipótesis alternativa para un porcentaje de adición de 20% de aceite quemado de motor frente a una mezcla asfáltica RAP.

4.3.7. Relación Betún Vacíos

Según la especificación técnica de nuestro cemento asfáltico 85/100, tenemos que la relación betún vacíos debe estar en el rango de 75% - 82%, entonces observando la gráfica, observamos que la mezcla RAP no se encuentra dentro de nuestra especificación, sin embargo el aumento de aceite quemado de motor del 5%, aumenta su valor de la relación en 3,34 %, y de esta manera entramos dentro de la especificación técnica de esta manera cumpliendo los requerimientos de la misma, entonces podemos concluir lo siguiente:

Gráfico 23. Variación de R.B.V.



Fuente: Elaboración propia.

“El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor al desechado al 5%, mejora la propiedad de % de R.B.M. frente a otras mezclas asfálticas”

Entonces de esta manera establecemos que se cumple la hipótesis alternativa con un límite de 5% de adición de aceite quemado de motor, mientras que, a partir de este porcentaje, no es factible la adición del aceite quemado de motor, ya que al 10% se tiene una disminución de 0,36 %, en relación a la mezcla RAP, y al 15 % de adición se tiene un leve ascenso de 0,79 %, lo cual es menor que al aumento que se tiene con un 5 % de adición de aceite quemado de motor, lo cual hace que al 5% de aditivo sea el punto más factible de la propiedad de R.B.V.

4.3.8. Punto de comparación del 5% de aceite de motor desechado de vehículo gas-gasolina y diésel

Tabla 56. Comparativo aceite de motor desechado de vehículo (gas-gasolina) y (diésel)

Tipo de mezcla y % de adición (5%)	Estabilidad (Libras)	Densidad Máxima	% de vacíos de la mezcla	fluencia (pulgadas)	Vacío del agregado mineral (%)	R.B.V. Relación Betún Vacíos (%)
Gas-Gasolina	3.289,61	2,42	3,85	14,00	16,82	77,12
Diesel	3.283,98	2,42	3,94	13,50	16,90	76,66

Fuente: Elaboración propia.

Con el método RAP y convencional cumplimos las especificaciones técnicas mencionadas anteriormente, al adicionar aceite de motor en los porcentajes de 5% , se hizo la caracterización del aceite de motor desechado, se realizó el ensayo de método Marshall para comparar las propiedades físicas-mecánicas y se observa que en los resultados obtenidos, existe una mínima diferencia del 0 al 1.21% , por tanto se concluye que es posible trabajar con los dos tipos de adición de aceite lo cual no afectara en gran medida a los resultados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La adición de material reciclado a un convencional provoca cambios en las propiedades analizadas en los ensayos de laboratorio.
- El porcentaje recomendado en este proyecto oscila entre 0% y 5% por ciento de contenido de aceite desechado de motor.
- De la hipótesis planteada, “El material reciclado asfáltico elaborado con aceite de motor desechado mejorara sus propiedades frente a otras mezclas asfálticas”, No se cumple ya que al analizar todas las propiedades de las mezclas asfálticas estas van disminuyendo al ir incrementado el porcentaje de aceite desechado de motor, además al tener un porcentaje elevado de material reciclado de un 70 %, el aceite no causo muchos efectos de mejoras.
- Por otro lado, el material reciclado en combinación con el material convencional de un 70 % y 30% respectivamente, cumplen las especificaciones para el diseño Marshall. los valores de estabilidad de las mezclas modificadas con aceite desechado de motor, son menores a los valores de la mezcla asfáltica convencional, sin embargo, los mismos satisfacen las exigencias de la norma ASTM para tráfico pesado (1800 lb).
- Se determinó que para la adición del 15% de aceite desechado de motor, existe poco, casi nada de desprendimiento de los agregados, es decir los mismos no perdieron adherencia al momento de ejecutar los ensayos de estabilidad.
- También se puede concluir que la estabilidad se ve afectada con el aceite desechado de motor hasta el porcentaje de 5%, afectando en un 9.95% ya que disminuye de 3652.9 lb a 3289.6 lb mostrando que el aceite actúa como un aditivo rejuvenecedor para esta propiedad.
- Para la propiedad de la fluencia esta se mantiene al límite de 14 pulgadas. También se concluye que existió un incremento en los valores de vacíos de un 0.5 % aproximadamente para las mezclas modificadas con aceite desechado de

motor, es decir en la mezcla no existió un adecuado recubrimiento por parte del asfalto.

- Por otro lado, la adición de otro tipo de aceite de motor desechado de 15w40 (diésel) frente al aceite de motor desechado de 5w30 (gas-gasolina) en comparación del porcentaje de 5% existe una diferencia mínima, por tal razón es recomendable usar igual este tipo de aceite ya que se mantiene entre los rangos de las especificaciones del método Marshall, (estabilidad, fluencia porcentajes de vacíos, etc.). Pero dando así también la hipótesis planteada como nula ya que no mejora las propiedades al incrementar los porcentajes de aceite.

5.2. Recomendaciones

- Tomar en cuenta que el punto de partida para la caracterización de los cementos asfálticos es el ensayo de penetración, dependiendo al tipo de asfalto requerido. Ya que si este no cumple los demás ensayos estarán en el límite o por debajo de las especificaciones.
- Se recomienda mezclar homogéneamente el asfalto con el aceite de motor usado dejando reposar la mezcla y verificar que este a 160° C para su posterior compactación de la mezcla.
- Se recomienda verificar la precisión de los equipos en cada uno de los ensayos, así también los parámetros para el diseño de mezclas vigente.
- Para la estabilidad Marshall se recomienda en el momento de lecturar la estabilidad y fluencia hacer una grabación de los datos para más exactitud ya que esta se determina visualmente.
- Se recomienda que los datos obtenidos antes de realizar la estabilidad Marshall sean corroborados ya que estos datos obtenidos pueden influir de gran manera a los cálculos. (caracterización granulometría, caracterización del cemento asfáltico, caracterización de los agregados reciclados).
- Para una posterior investigación, se recomienda que el centrifugado de los materiales reciclados se realice, previamente un calentamiento del material así dejando sumergir el material un día en solvente (gasolina), para su disgregación, luego realizar el ensayo como dice la norma esto ayudara a disolver de mejor manera el cemento asfáltico del material