



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

TEMA

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO
CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO
ORDEN”**

TUTOR

MSc. EDGAR CALDERÓN CAÑAR

AUTOR

VALERIA STEPHANIA MARCILLO PIÑA

GUAYAQUIL

2018

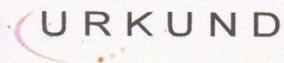
SENESCYT



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN"	
AUTOR/ES: VALERIA STEPHANIA MARCILLO PIÑA	REVISORES O TUTORES: ING. MSC. EDGAR CALDERÓN CAÑAR
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniera Civil
FACULTAD: INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2018	N. DE PAGES: 100
ÁREAS TEMÁTICAS: ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN	
PALABRAS CLAVE: Asfalto; Plásticos; Reciclaje de Desechos; Medio Ambiente	
RESUMEN: En el presente trabajo, se describe el proceso empleado para obtener el asfalto modificado con plástico polietileno reciclado. Para el Diseño de las mezclas asfálticas se utilizó el método Marshall, a través del cual se podrá evidenciar los beneficios originados.	
N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACION:

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTORES: Valeria Stephania Marcillo Piña	Teléfono: 0984912245	E-mail: vmarcillop@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	MSC. JULY HERRERA VALENCIA, DECANA Teléfono: 2596500 EXT. 213 DECANATO E-mail: jherrera@ulvr.edu.ec Ing. Msc. Alex Bolívar Salvatierra Espinoza Teléfono: 2596500 EXT. 242 Correo electrónico asalvatierra@ulvr.edu.ec	

INFORME URKUND



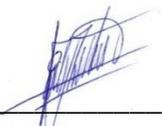
Urkund Analysis Result

Analysed Document: VALERIA MARCILLO - Ho reciclado 26062018.docx (D40505294)
Submitted: 7/5/2018 1:05:00 AM
Submitted By: ecalderonc@ulvr.edu.ec
Significance: 6 %

Sources included in the report:

1470689295_14_GRUPO4_INVESTIGACION.doc (D21346688)
tesis imprimir.pdf (D15042429)
ESTUDIO COMPARATIVO EN LABORATORIO DEL PROCESO HÚMEDO Y SECO PARA CONCRETOS
ASFÁLTICOS EN CALIENTE USANDO POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS
RECICLADOS..docx (D31513123)
TRABAJO TITULACION RIOS ORTIZ Y ALVARADO CARRIEL.doc (D31483212)
completa - Copyact.docx (D14607362)
<https://es.slideshare.net/memix100/apuntes-sobre-diseo-de-mezclas-asfticas>
<https://www.coursehero.com/file/p38jd9p/4124-CONTENIDO-DE-ASFALTO-La-proporci%C3%B3n-de-asfalto-en-la-mezcla-es-importante-y/>
<http://repositorio.uancv.edu.pe/bitstream/handle/UANCV/727/TESIS%20DE%20ADELAIDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Instances where selected sources appear:

Firma:  _____

MSc. EDGAR CALDERÓN CAÑAR

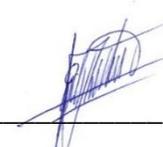
C.I. # 1706454350

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN”, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad LAICA VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN”, presentado por la estudiante Valeria Stephania Marcillo Piña, como requisito previo, para optar al Título de Ingeniero Civil, encontrándose apto para su sustentación

Firma:  _____

MSc. EDGAR CALDERÓN CAÑAR

C.I. # 1706454350

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

La estudiante/egresada VALERIA STEPHANIA MARCILLO PIÑA, declaro bajo juramento, que la autoría del presente trabajo de investigación, corresponde totalmente a la suscrita y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo mis derechos patrimoniales y de titularidad a la UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL, según lo establece la normativa vigente.

Este proyecto se ha ejecutado con el propósito de estudiar “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN”.

Autor



Firma: _____

Valeria Stephania Marcillo Piña

C.I. 0930988076

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios, por el regalo de la vida; y la fortaleza que me da día a día para continuar y mantenerme firme a lo largo de este camino.

A mis padres, y hermanas, siempre apoyándome para poder alcanzar mis metas.

A mi esposo. Y a mi hija; mi motivación principal.

A la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, a mi Facultad de Ingeniería, Industria Y Construcción, por brindarme el espacio para poder formarme e incrementar mis conocimientos para desarrollarme como una excelente profesional.

Al Laboratorio de Suelos, CONSEES, Consultores Especializados en Geotecnia de Obras Civiles, en especial al ing. Guillermo Espín, por la apertura brindada para la realización del proyecto experimental, que, gracias a su colaboración, conocimiento y experiencia, aportaron significativamente para la elaboración del mismo.

Al ing. Edgar Calderón, por su contribución con tiempo y conocimiento para que este trabajo experimental se desarrolle de la mejor manera.

A todos los que formaron parte de mi diario vivir para alcanzar mi Ingeniería.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, por haberme dado la sabiduría y la constancia para alcanzar una meta más.

A mis padres, Fanny y Javier; por su amor, su trabajo y sacrificio a lo largo de todos estos años, gracias a ellos he llegado a esta etapa de mi vida y llegar a ser lo que soy.

A mis hermanas, por brindarme su apoyo y cariño, para ser una mejor persona.

A mi esposo, quien me ha acompañado a lo largo de este recorrido para poder culminar este proyecto.

A mi amada hija, esa personita especial que me motiva día a día para seguir adelante y superarme cada día más. Por ella me esfuerzo para ser una profesional íntegra.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
SENESCYT	ii
INFORME URKUND	iv
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR.....	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xvi
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA A INVESTIGAR	2
1.1. Tema.....	2
1.2. El Problema.....	2
1.2.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2.2. Formulación del Problema	3

1.2.3. Sistematización del problema	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivo Especifico	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.5. Delimitación o Alcance de la investigación	4
1.6. Idea a defender	5
1.6.1. Variable Independiente	5
1.6.2. Variable dependiente.....	5
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.1. Pavimento	6
2.1.1. Clasificación de acuerdo a la superficie de rodamiento	6
2.2. Definición de Asfalto	7
2.2.1. Propiedades del Asfalto.....	7
2.2.2 Propiedades Físicas de las mezclas asfálticas	7
2.2.3. Tipos de Asfalto	8
2.2.4. Tipología de las mezclas asfálticas	9
2.2.5. Comportamiento de las mezclas asfálticas.....	13
2.2.6. Método de diseño de las mezclas asfálticas	15
2.2.6.1 Diseño Marshall	17

2.3. Agregados Pétreos	22
Agregados para mezcla en planta	22
Agregados para mezcla en sitio.....	25
2.4. Descripción del polímero	26
2.5. Modificación de mezclas asfálticas mediante la incorporación de plástico polietileno reciclado.....	28
2.5.1. Características del polietileno.	28
2.5.2 Proceso de reciclado del polímero.....	29
2.5.3. Usos tras el reciclado.....	31
2.6. Aplicación de plástico polietileno en las mezclas asfálticas	32
2.6.1. Proceso por Vía Húmeda.....	33
2.6.2 Proceso por vía seca	34
2.7. Características de las mezclas asfálticas modificadas con plástico polietileno	37
2.8. Experiencias extranjeras utilizando plástico polietileno reciclado.....	37
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.1. Investigación Experimental	39
3.1.1. Investigación Aplicada	39
3.1.2. Investigación de Laboratorio	39
3.2. Población y Muestra	39
CAPÍTULO IV	41

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
4.1. Recolección de datos.	41
4.1.1. Ensayos realizados a los agregados.....	41
a) Análisis Granulométrico.	42
b) Gravedades Específicas.	47
c) Desgaste de los Ángeles.	49
d) Pureza de los agregados por medio de sulfato de sodio.	51
4.1.2. Ensayos sobre la Mezcla Asfáltica.	53
a) Granulometría de la mezcla de agregados (ASTM C-71).	53
4.1.3. Diseño Marshall de Mezcla Patrón.	57
Determinación de la gravedad específica “BULK” del agregado (Gsb).....	61
Determinación de la gravedad específica Aparente del agregado (Gsap).....	61
Ensayo de Estabilidad y flujo.....	61
Determinación de la densidad máxima teórica.....	62
Vacíos en el agregado mineral	63
4.1.4. Preparación de la mezcla asfáltica con plástico polietileno mediante proceso por vía seca.....	68
4.1.5. Resumen de resultados.	76
4.1.6. Preparación de la mezcla asfáltica con plástico polietileno mediante proceso por vía húmeda.....	76

CONCLUSIONES.....	78
RECOMENDACIONES	80
GLOSARIO DE TERMINOS	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de Diseño de Mezclas Marshall.....	21
Tabla 2. Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VAM)	21
Tabla 3 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.	23
Tabla 4. Ensayos de acuerdo a método Marshall	23
Tabla 5. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.	25
Tabla 6. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.....	26
Tabla 7 Terminología asociada con el uso del polietileno reciclado en mezclas asfálticas:.....	33
Tabla 8. Determinación de la Población y Muestra	40
Tabla 9 Arena Gruesa de Río Chimbo	43
Tabla 10 Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca.....	44
Tabla 11 Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca	45
Tabla 12 Agregado Triturado 3/8" (No. 4) - Cantera Tierra Blanca	46
Tabla 13 Arena Gruesa de Río Chimbo	47
Tabla 14 Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca.....	48
Tabla 15 Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca	48
Tabla 16 Agregado Triturado 3/8" (No. 4) - Cantera Tierra Blanca	48
Tabla 17 Determinación del Valor de Degradación de los Agregados	50
Tabla 18 Agregado grueso para Carpeta Asfáltica.....	51
Tabla 19 Agregado fino para Carpeta Asfáltica	52
Tabla 20 Mezcla (25% Cisco+30% Arena+20% Piedra 3/4+25% Piedra 1/2).....	54
Tabla 21. Cálculo para obtención de porcentaje óptimo de asfalto.....	66

Tabla 22. Diseño de mezcla Asfáltica, mezcla patrón 0% plástico.....	72
Tabla 23. Mezcla asfáltica modificada con 1% de plástico.....	73
Tabla 24. Mezcla Asfáltica modificada con 2% de plástico	74
Tabla 25. Mezcla asfáltica modificada con el 3% de plástico.....	75
Tabla 26. Resumen de Resultados.....	76

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cantera Tierra Blanca.....	42
Ilustración 2. Calentamiento cemento asfáltico	59
Ilustración 3. Compactación de manera manual.....	60
Ilustración 4. Mezcla asfáltica con adición de plástico.....	68
Ilustración 5. Briqueta de asfalto más 1% de plástico polietileno reciclado.	69
Ilustración 6. Briqueta de asfalto más 2% de plástico polietileno reciclado.	69
Ilustración 7. Briqueta de asfalto más 3% de plástico polietileno reciclado.	69
Ilustración 8. Briqueta con plástico colocada en la mordaza.....	70
Ilustración 9. Mezcla asfalto-polietileno solidificada.....	77

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo, se describe el proceso empleado para obtener el asfalto modificado con plástico polietileno reciclado. Para el Diseño de las mezclas asfálticas se utilizó el método Marshall, a través del cual se podrá evidenciar los beneficios originados. Para la mezcla asfáltica mediante proceso por vía seca, se añadió el 1%, 2% y 3% con respecto al peso del árido. En reemplazo de una pequeña parte de los agregados, para evaluar las mezclas asfálticas fabricadas se efectuaron las pruebas de gravedad específica máxima teórica, densidad de la mezcla asfáltica (método RICE), densidad Bulk (peso unitario), porcentaje de vacíos de los agregados compactados. Para evaluar el desempeño, se realiza un análisis comparativo de la Estabilidad y el Flujo de la mezcla patrón con la modificada del 1%, 2% y 3%, obteniendo un cumplimiento íntegro de las especificaciones Marshall sólo con la mezcla modificada del 3%. De los resultados obtenidos se puede observar que existe una mejor estabilidad en la mezcla modificada con el 6.10% de cemento asfáltico y añadiéndole el 3% de plástico polietileno reciclado. Con lo cual mejora la durabilidad y las deformaciones por las cargas producidas por el tráfico, con lo que se evitaría el desgaste prematuro y el aumento de los plazos de mantenimiento y por ende reducen su costo total. Con los resultados obtenidos, damos un punto de partida para posteriores investigaciones de mezclas modificadas con plástico polietileno reciclado.

INTRODUCCIÓN

Considerando el hecho de que día a día las reservas de petróleo en el Ecuador y en el mundo tienden a disminuir, por consiguiente, la obtención de sus derivados como lo es el asfalto, ante esto nace la necesidad de buscar nuevos materiales que mejoren las mezclas asfálticas.

La tecnología de los asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas ha sido una técnica ampliamente estudiada y utilizada. Con la adición de polímeros al asfalto, se modifican las propiedades mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente.

Siendo el objetivo principal del ingeniero diseñador de mezclas asfálticas, mejorar el comportamiento estructural de los pavimentos y ofrecer comodidad y seguridad al usuario, se requiere buscar la forma de modificar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, lo que se consigue con la adición de plástico polietileno reciclado.

El propósito de esta investigación es contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas con la adición del plástico polietileno reciclado, que ayude a optimizar la calidad de la capa de rodadura.

CAPITULO I. EL PROBLEMA A INVESTIGAR

1.1.Tema.

“Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden”

1.2.El Problema.

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

1.2.1. Planteamiento del Problema

Las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han generado un efecto sobre la forma tradicional de ejecutar las técnicas de construcción de vías, y que éstas cumplan con la demanda de los usuarios. Ante la necesidad de contar con mejores productos que cumplan una mayor eficiencia bajo la acción del tránsito vehicular, y por otra parte, en el ámbito ambiental; se busca desarrollar una mezcla asfáltica modificada con la adición de polímeros provenientes del plástico reciclado.

1.2.2. Formulación del Problema

¿Mejoraría el desempeño del asfalto modificado con la adición de plástico polietileno reciclado, para aplicarlo en las vías de segundo orden?

1.2.3. Sistematización del problema

- ¿Por qué los pavimentos de hormigón asfáltico han disminuido su rendimiento y durabilidad?
- ¿Qué factores intervienen para determinar el desempeño de la carpeta asfáltica?
- ¿Qué material se puede adicionar para que, el hormigón asfáltico mejore su rendimiento?
- ¿Es el plástico reciclado la mejor opción para solucionar el problema?
- ¿En qué medida se obtienen beneficios para aportar con el cuidado medio ambiente?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Analizar el desempeño de la mezcla asfáltica modificada con la adición dosificada de polímeros (plástico reciclado).

1.3.2. Objetivo Especifico

- Establecer el método en que se incorporará la mezcla; como parte de los agregados o dentro de la masa asfáltica.

Tema: “Evaluación del desempeño del hormigón asfáltico con plástico polietileno reciclado para vías de segundo orden”

Delimitación espacial: Vías de segundo orden.

Delimitación temporal: 10 meses

1.6. Idea a defender

Mejorar las propiedades de la carpeta asfáltica con la adición de plástico polietileno reciclado, en las vías de segundo orden.

1.6.1. Variable Independiente

Adición de plástico polietileno reciclado en la mezcla asfáltica.

1.6.2. Variable dependiente

Aumento de las propiedades de la mezcla asfáltica dentro de las normas vigentes.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Pavimento

La capa de pavimento es una estructura que consiste en una o más capas de materiales seleccionados en la capa de cimentación (sótano) y un proceso constructivo (regulación y control), cuya función principal es la de transmitir de manera adecuada los esfuerzos a la subrasante.

2.1.1. Clasificación de acuerdo a la superficie de rodamiento

Pavimento Flexible: son aquellos que tienen una capa de rodadura formada por una mezcla bituminosa de asfalto altamente resistente a los ácidos, álcalis y sales.

Pavimento Rígido: son aquellos donde la capa de rodadura está compuesta por una losa de concreto hidráulico (agua, cemento, arena y grava), con o sin refuerzo estructural, es compatible con el suelo de material granular.

Afirmados: estos son aquellos en los que la superficie de rodadura consiste en una capa de material granular con una dimensión máxima de dos pulgadas y media (2½ pulgadas) y con un número de partículas finas debidamente densificadas.

Superficie Natural: Su capa de laminación consiste en un relieve natural del sitio, formado correctamente.

2.2. Definición de Asfalto

Es un material que se adhiere al color y va desde el marrón oscuro hasta el negro, sólido, semisólido o líquido, cuyos constituyentes predominantes son los betunes que se producen naturalmente como tales o que se obtienen al destilar petróleo. El asfalto se incluye en proporciones variables en la composición de la mayor parte del petróleo crudo.

2.2.1. Propiedades del Asfalto

Propiedades Químicas: Básicamente el asfalto está formado por diferentes hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto disuelto en un solvente como el heptano, se puede dividir en dos partes principales: los asfaltenos y los maltenos.

Propiedades Físicas: Las propiedades físicas del asfalto, que son importantes para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: Durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

2.2.2 Propiedades Físicas de las mezclas asfálticas

La construcción de la mezcla de asfalto consiste básicamente en la elección del tipo y la granulometría del agregado utilizado, así como la elección del tipo y el contenido del asfalto.

Propiedades correspondientes en asfalto con mezcla caliente:

Estabilidad. - La estabilidad del asfalto es la capacidad de soportar el desplazamiento y la deformación en las cargas de tráfico. La forma estable del pavimento y la suavidad se pueden mantener bajo cargas repetidas. Los caminos pavimentados inestables tienen otros signos que indican un cambio en la forma de estructuras rugosas onduladas y mixtas. (CAP 4 pruebas de desempeño para mezclas asfálticas)

Durabilidad. - Esta es una medida en que el asfalto puede mantener las propiedades originales cuando se expone a procesos normales de envejecimiento y degradación

Flexibilidad. - Esta es la capacidad del pavimento de asfalto para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base sin sufrir ninguna grieta.

Resistencia a la fatiga. - Esta es la capacidad del pavimento de resistir los esfuerzos asociados con el tránsito en pases repetidos ("Vida útil").

Resistencia al deslizamiento. - Es una cualidad que debe presentar un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje o a la posibilidad de hidroplaneo.

Trabajabilidad. - Es la propiedad que hace a la mezcla fácil de manejarla, colocarla y darle acabado.

2.2.3. Tipos de Asfalto

Asfalto Natural: Asfalto formado naturalmente por la migración de petróleo a la superficie de la Tierra, seguido o combinado con la volatilidad de sus componentes más ligeros y mezclado, en mayor o menor proporción, con materia mineral.

Es bien conocido desde el lago Trinidad, así como los afloramientos de El Tena y la Tierra Brea de Santa Elena.

Asfalto Rebajado: Es un cemento asfáltico, es estado líquido a temperatura ambiente, obtenido de la refinación del petróleo o calentado y diluyendo un cemento asfáltico, agregando un destilado volátil del mismo petróleo: nafta, gasolina, kerosén, aceites combustibles, aceites diésel o combustibles para la propulsión a chorro.

Dependiendo de la velocidad de curado del agente diluyente, se pueden obtener tres tipos principales de asfalto líquido: si contienen diluyentes ligeros que se evaporan rápidamente, como la nafta y la gasolina, se denominan Curado rápido (RC); si contienen menos diluyentes ligeros, como queroseno o combustible, se conocen como de curado Medio (MC); y si contienen aceite diésel u otros aceites combustibles, se los llama Curado Lento (SC).

Dentro de cada tipo, la viscosidad (Resistencia derramarse), que depende de la cantidad y el tipo de diluyente, se representa entre el número entre 0 y 5. A menor número, menor viscosidad (Mayor porcentaje de diluyente).

2.2.4. Tipología de las mezclas asfálticas

- Mezcla asfáltica en caliente.

Este es el tipo más común de mezcla de asfalto y se define como una mezcla de asfalto caliente: una combinación de un aglutinante de hidrocarburo, agregados, incluido un polvo mineral y, en última instancia, aditivos, para que todas las partículas de áridos estén muy

bien cubiertas por una homogeneizadora película aglutinante. Su proceso de producción implica calentar el aglutinante y los agregados excepto, si es necesario, polvo de relleno mineral y colocarlos en su lugar, debe llevarse a cabo a una temperatura mucho mayor que la temperatura ambiente.

Se utilizan tanto en la construcción de carreteras como en carreteras urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas rodantes como para capas inferiores de superficies de carreteras. En esta familia de mezclas con diferentes características, también hay subtipos. Se producen con asfaltos, aunque a veces se utiliza asfalto modificado, las proporciones pueden variar de 3% a 6% del asfalto en el volumen de los agregados de piedra.

- Mezcla asfáltica en frío.

Son mezclas hechas con el uso de emulsiones de asfalto, y su principal área de aplicación es la construcción y preservación de caminos secundarios. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas frías, el sello generalmente se recomienda con suspensiones de asfalto.

Se caracterizan por su maquinabilidad después de la fabricación incluso durante varias semanas, ya que esto se debe a que el aglutinante permanece un largo período de baja viscosidad debido al uso de emulsiones de asfalto fluidizado: el aumento de la viscosidad en los preparados es muy lento, lo que hace el almacenamiento es viable, pero después de la puesta en servicio en una capa de espesor reducido, el endurecimiento se produce de manera relativamente rápida en las capas ya extendidas debido a la evaporación del

fluidizador. Hay un grupo de mezclas frías que se producen con una emulsión de liberación lenta, sin ningún tipo de fluidizador, pero son menos comunes y se pueden compactar después de que se destruye la emulsión. El proceso de aumento gradual de la resistencia generalmente se denomina maduración, que básicamente consiste en la evaporación del agua proveniente de la destrucción de la emulsión, seguida de un aumento en la adhesión de la mezcla.

Mezcla porosa o drenante

Se utilizan en capas rodantes, principalmente en carreteras de rápida circulación, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que van del 4,5% al 5% de la masa de áridos pétreos, con asfaltos ordinarios, utilizados en carreteras secundarias, en vías urbanas o en las capas de base debajo de caminos concretos.

Usado como mezclas calientes para movimientos intensivos y como capas rodantes con un grosor de aproximadamente 4 cm., se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacúe rápidamente por infiltración.

Micro aglomerados

Son mezclas con un tamaño máximo agregado de piedra de menos de 10 mm, que se puede aplicar como una capa de pequeño espesor. Los aglomerados finos y los micro agregados calientes de frío (comúnmente denominados suspensiones gruesas de asfalto) se deben a tratamientos superficiales pequeños (<3 cm) en diversas aplicaciones.

Tradicionalmente, se han considerado adecuados para áreas urbanas. Debido a que el pequeño espesor de la capa se extiende, el problema se evita con la altura libre del calibre y la altura del bordillo.

Hay micro aglomerados con texturas gruesas hechas de agregados de piedra de alta calidad y asfaltos modificados para carreteras de alta velocidad.

Masillas

Son mezclas con altas proporciones de polvo mineral y aglutinante, por lo que, si hay un gran agregado, se dispersa en la masilla formada por el hecho de que este tipo de mezcla no funciona con fricción interna, y su resistencia se debe a un enlace que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad de estas estructuras a los cambios de temperatura, es necesario gestionar la calidad del polvo mineral, mejorar el aglutinante mediante la adición de fibras, reforzar la masilla con asfalto duro y reducir la susceptibilidad térmica. El asfalto fundido es de este tipo y su calidad es excelente, pero su uso está justificado incluso en carreteras urbanas con puentes y climas fríos y húmedos.

Mezclas de alto módulo

El proceso de fabricación es a altas temperaturas. En particular, el uso de mezclas de alto módulo para la capa base produce asfalto muy duro. A veces, el contenido de asfalto es cercano al 6% del agregado de piedra y la proporción de polvo mineral está entre 8% y

10%. Son mezclas con un alto módulo de elasticidad de aproximadamente 13,000 Mpa. Relativamente alta resistencia a la fatiga a 20 grados Celsius. Se usan como capas de 8 a 15 cm de grosor. Está destinado a la rehabilitación y rehabilitación de nuevas carreteras con tráfico intenso o tráfico de alta intensidad. Su principal ventaja para la base de la gravedad es que la ausencia de grietas por contracción o la ventaja de una mezcla convencional más gruesa es que tiene una mayor capacidad para absorber la tensión y generalmente es menos resistente a la fatiga debido a su mayor resistencia a la fatiga.

2.2.5. Comportamiento de las mezclas asfálticas

Se puede analizar una muestra del pavimento preparado en el laboratorio para determinar sus posibles características en la estructura del pavimento. El análisis se centra en las cuatro características de la mezcla y su efecto sobre el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Contenido de asfalto.
- Densidad de la mezcla.
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.

Densidad. - La densidad de una mezcla prensada se define como su gravedad específica (el peso del volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante, ya que es importante tener una alta densidad en el revestimiento terminado para obtener un buen rendimiento.

Vacíos de aire. - Un vacío de aire es un espacio de aire pequeño presente en el agregado revestido en la mezcla compacta final. Todas las mezclas altamente densas deben tener un cierto porcentaje de vacíos para permitir cierta compresión dependiendo del tráfico y proporcionar espacio para que fluya el asfalto durante esta compresión adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestra de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

Vacíos en el agregado mineral. - Los vacíos en el mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas en la mezcla de pavimento compactado, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

VAM es un espacio disponible para acomodar un volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción en el agregado)

Y la cantidad de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto más VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Hay valores mínimos para VAM, que se recomiendan y especifican según el tamaño de la unidad. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa es la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más fuerte será la mezcla.



Gráfico 1. Representación de los Volúmenes en una Briqueleta Compactada de Mezcla Asfáltica
Fuente: Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero.

Contenido de asfalto. – La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe determinarse con precisión en el laboratorio y controlarse con precisión en el trabajo. El contenido de asfalto de una mezcla en particular se establece utilizando los criterios determinados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de la mezcla dependerá en gran medida de la naturaleza del agregado, como el tamaño de partícula y la absorbencia.

Las medidas del tamaño de partícula de los aglomerados están directamente relacionadas con el contenido óptimo del asfalto. Cuanto más fina sea la escala de la mezcla, mayor será el área de superficie total y mayor será la cantidad de asfalto necesario para cubrir todas las partículas de manera uniforme. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) requieren menos asfalto debido a la menor superficie total.

2.2.6. Método de diseño de las mezclas asfálticas

Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente.

The Hubbard-Field (1920). El método de diseño de mezclas asfálticas fue uno de los primeros métodos para evaluar el contenido vacío de mezclas y aglomerados minerales. Usó la estabilidad como una prueba para medir la deformación. Funciona bien para evaluar pequeños agregados o mezclas de tamaños de partículas finas, pero no es adecuado para mezclas con mediciones de tamaño de partículas que involucran grandes agregados.

Método Marshall (1930). Método de diseño de mezcla asfáltica, 2 ° desarrollo. Era adecuado para usar en la carretera después de la Primera Guerra Mundial. Fundamentalmente, usa la estabilidad y el porcentaje de vacío como evidencia. Excepto por los cambios en las especificaciones, este método no ha sido modificado desde la década de 1940.

Método Hveem (1930). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad triaxial.

Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials. WASHTO (1984). Este enfoque de diseño de mezcla mejora la resistencia a la rodadura al recomendar cambios en los requisitos del material y las especificaciones de diseño de la mezcla.

Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). Se reconoció la necesidad de cambiar el diseño de la mezcla y se tardó dos años en desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de la mezcla. Esto incluye nuevos métodos de compresión y caracterización de volúmenes en el laboratorio, el desarrollo de pruebas para identificar

deformaciones, permanentes, grietas por fatiga y resistencia a las grietas a bajas temperaturas.

Método SUPERPAVE (1993). El método AAMAS se utilizó como punto de partida para el método SUPERPAVE, que incluye un nuevo método de mezcla de volumen completo basado en modelos y métodos de prueba de laboratorio, grietas por fatiga y predicciones a través del agrietamiento en frío. El modelo de predicción de rendimiento se completó satisfactoriamente hasta 2000. El diseño de volumen de la mezcla en SUPERPAVE ahora se ha implementado en varios estados de los Estados Unidos debido a las características volumétricas de la mezcla de asfalto caliente y su función exacta. Como resultado, la aceptabilidad del control de calidad ha cambiado a las características de volumen. SUPERPAVE promete trabajo basado en pruebas de laboratorio o métodos que pueden usarse para determinar la resistencia a la deformación plástica en el pavimento.

2.2.6.1 Diseño Marshall

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, un ingeniero de Bitumenes en la carretera estatal de Mississippi.

El juicio de Marshall proviene de una investigación que comenzó en 1943 con el Cuerpo del Ejército de los EE. UU. Con el fin de desarrollar un método simple, se compararon y evaluaron varios métodos para diseñar y administrar mezclas de asfalto.

El equipo de ingenieros adoptó el enfoque de Marshall y decidió desarrollarlo y adoptarlo para el diseño y control de mezclas de empaques bituminosos en el campo. Esto

se debe en parte al uso de equipos portátiles. Realice una investigación exhaustiva sobre pruebas de tráfico y estudios de correlación en el laboratorio. La unidad de ingeniería desarrolló los criterios de diseño mixto después de mejorar el procedimiento Marshall Test y agregar detalles adicionales.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación particular de agregados. Este método también proporciona información sobre las características de mezcla asfáltica en caliente y establece la densidad óptima y el contenido de vacío que se debe cumplir durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, solo se emplea a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico que contiene agregados clasificados como viscosidad o penetración y que tienen un tamaño máximo de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5") de espesor por 103 mm (4") de diámetro. Se prepara una serie de muestras con la misma combinación de agregados, pero diferentes tipos de asfalto, usando procedimientos específicos para calentar, mezclar y compactar la mezcla de asfalto agregado. Dos de los datos más importantes del diseño de la mezcla del método Marshall son el análisis de relación de la densidad de poro y la prueba de flujo de estabilidad de la muestra comprimida.

A continuación, una descripción general del procedimiento seguido por el diseño de Marshall:

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall AASHTO T245.

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características afectan directamente las características del empaque. El primer paso del método de diseño es determinar la calidad (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) de la mezcla del paquete y seleccionar el tipo de asfalto compatible con el tipo de agregado. Se puede combinar para producir esas cualidades. Cuando se completa el proceso anterior, se realiza la preparación de la prueba.

Selección de las Muestras de Material

La primera preparación para la prueba consiste en recolectar las muestras de asfalto y agregado para usar en la mezcla final. Lo mismo es cierto para agregar muestras. El motivo es simple. Los datos extraídos del procedimiento de diseño mixto determinan la fórmula para la mezcla de empaque. La receta solo se aplica si los ingredientes probados en el laboratorio tienen las mismas características que los ingredientes utilizados en el producto final.

Una variedad de problemas serios que van desde la mala trabajabilidad de la mezcla hasta la falla prematura del paquete es un resultado histórico de los cambios que ocurren entre el material probado y el material realmente utilizado en el laboratorio.

Preparación del Agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico utilizado ya debería conocerse en el laboratorio para establecer la temperatura de mezcla y compresión. Por lo tanto, el proceso preliminar se centra en la agregación.

Especificaciones de la Metodología

La selección de contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios; un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 1) (Tabla 2). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Tabla 1. Criterios de Diseño de Mezclas Marshall

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

Tabla 2. Mínimo Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral (VAM)

Tipo de Mezcla	VAM, Mínimo (%)
A	16
B	15
C, D	14
E	13

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

2.3. Agregados Pétreos

Agregados para mezcla en planta

Descripción. - Son agregados que se utilizan para la fabricación de hormigón asfáltico empleando una planta de asfalto o equipo semejante para su mezcla con el asfalto.

Requisitos. - Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava o piedra natural, arena, etc., de tal manera que cumpla con los requisitos de graduación que se establecen en la (Tabla 3), y se clasifican en “A”, “B” y “C”, de acuerdo a lo establecido a continuación:

- a) Agregados tipo A: Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se puede añadir relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación antes mencionadas. Este relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland, si así se establece para la obra.
- b) B) Agregados tipo B: Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en la zona del proyecto.
- c) Agregados tipo C: Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 4.

Tabla 3 Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm.)	100	--	--
1 1/2" (38.1 mm.)	90 - 100	100	--
1" (25.4 mm.)		90 - 100	100
3/4" (19.0 mm.)	56 - 80	--	90 - 100
1/2" (12.5 mm.)	--	56 - 80	--
3/8" (9.5 mm.)	--	--	56 - 80
Nº 4 (4.75 mm.)	23 - 53	29 - 59	35 - 65
Nº 8 (2.36 mm.)	15 - 41	19 - 45	23 - 49
Nº 50 (0.30 mm.)	4 - 16	5 - 17	5 - 19
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 6	1 - 7	2 - 8

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

Tabla 4. Ensayos de acuerdo a método Marshall

Ensayos de acuerdo al método Marshall	T R A F I C O					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Nº de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800	--	1.200	--	750	--
Flujo (pulgada/100)	8	16	8	18	8	20
% vacíos con aire:						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

Los agregados serán segmentos duros, resistentes y limpios, y estarán cubiertos de materia vegetal y partículas planas, alargadas, blandas o degradables, así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material inconveniente. Se utilizarán agregados completamente secos y de no poder cumplirse con esto, se instalarán dos secadores en serie, de tal forma que cuando se termine la operación de mezclado, la humedad de los agregados no exceda de 1%.

Además de los requisitos granulométricos y los referentes a su producción, que se indicaron anteriormente, los agregados deben cumplir con las siguientes exigencias:

Los agregados gruesos no deberían tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles, cuando sean ensayados a la abrasión, según la Norma INEN 860.

La porción de los agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm. (N° 40), el índice de plasticidad debe ser menor a 4, según lo establecido en las Normas INEN 691 y 692.

El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfatos de sodio, en la prueba de durabilidad, como lo dispone la Norma INEN 863, salvo que las especificaciones especiales indiquen otra cosa.

Los agregados se caracterizan por la inclusión de más del 95% del material bituminoso cuando están impregnados con un material bituminoso, de acuerdo con ASSHTO T 182.

Agregados para mezcla en sitio

Descripción. - Son agregados que se utilizan en la producción de concreto asfáltico, cuando se construye en el lugar de trabajo, utilizando un equipo especial para mezclar en el sitio.

Requisitos. - Los agregados para la mezcla del sitio deben cumplir los mismos requisitos que se especifican en la Tabla 5 y la Tabla 6, excepto por las medidas de tamaño de partícula establecidas para este tipo de operación.

Tabla 5. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
2" (50.8 mm.)	100	--	--
1 1/2" (38.1 mm.)	70 - 100	100	--
1" (25.4 mm.)	55 - 85	70 - 100	100
3/4" (19.0 mm.)	50 - 80	60 - 90	70 - 100
3/8" (9.5 mm.)	40 - 70	45 - 75	50 - 80
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 60	30 - 60	35 - 65
Nº 10 (2.00 mm.)	20 - 50	20 - 50	25 - 50
Nº 40 (0.425 mm.)	5 - 30	5 - 30	10 - 30
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 5	0 - 5	0 - 5

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

Tabla 6. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	3/8" Máximo	1/4" Máximo
1/2" (12.7 mm.)	100	--
3/8" (9.5 mm.)	90 - 100	100
1/4" (6.3 mm.)	55 - 75	85 - 100
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 50	--
Nº 8 (2.38 mm.)	15 - 32	15 - 32
Nº 16 (1.18 mm.)	0 - 15	0 - 15
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 3	0 - 3

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002

2.4. Descripción del polímero

El polietileno de alta densidad es un polímero olefínico (por ejemplo, polipropileno) o polietileno. La fórmula es (-CH₂-CH₂-). Es un polímero termoplástico formado por unidades repetitivas de etileno. Denominado HDPE (polietileno de alta densidad) o HDPE (polietileno de alta densidad). Este material se utiliza en la producción de envases de plástico desechables.

Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual.

Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas serán los más compatibles (Gráfico 2), ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva.

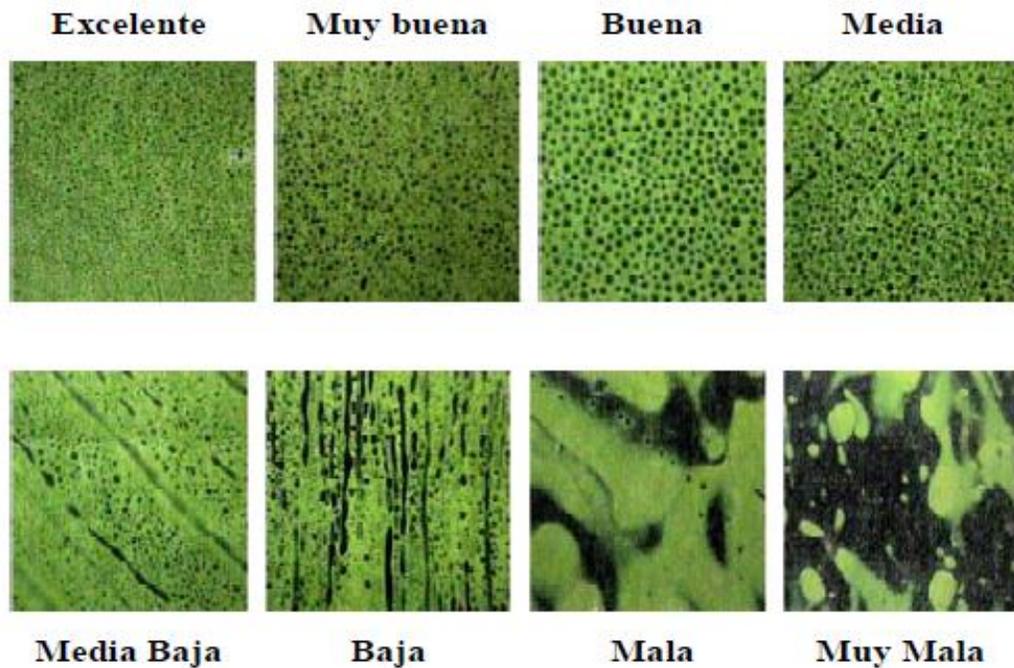


Gráfico 2. Compatibilidad asfalto-polímero

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica 2004.

El comportamiento del asfalto depende básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Envejecimiento
- Tiempo de carga

A altas temperaturas y bajo cargas sostenidas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso, es una mezcla plástica la cual provoca ahuellamiento. A bajas temperaturas y bajo cargas rápidas se vuelve frágil, ocasionando grietas transversales y agrietamiento térmico.

El objetivo perseguido con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.

- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

2.5. Modificación de mezclas asfálticas mediante la incorporación de plástico polietileno reciclado.

2.5.1. Características del polietileno.

El polietileno de alta densidad es el polímero sintético de producción más alta del mundo. Tiene las propiedades de ser incoloro, inodoro, no tóxico y de baja presión.

Este polímero pertenece a una cadena lineal, y es más fuerte, más duro, menos permeable que 4 veces menor en ductilidad que el polietileno de baja densidad. Debido a sus componentes físicos y químicos, es extremadamente resistente al fuego y productos químicos.

El polietileno de alta densidad tiene una calidad bastante regular cuando se recicla, y el proceso de reciclaje es mecánico. Solo puede ser reutilizado por el proceso de extrusión y el moldeo por presión se usa cuando la presentación es grande.

Las características del polietileno de alta densidad son las siguientes:

1. Alta resistencia al impacto.
2. Alta resistencia química y térmica.

3. Es flexible, incluso en temperaturas bajas.
4. Es muy ligero.
5. No puede ser atacado por los ácidos.
6. Resiste al agua a 100°C

El polietileno de alta densidad ofrece las siguientes ventajas:

- Elasticidad
- Es flexible
- Es resistente a cualquier forma de corrosión
- Es un producto reciclable
- Fácil de transportar
- No se deforma permanentemente
- Resiste ácidos, elementos químicos altamente corrosivos y bacterias (Quiminet.com)
- Resistencia a movimientos sísmicos
- Se puede procesar en grandes láminas, lo que reduce la necesidad de otros materiales
- Su costo de adquisición e instalación es sumamente reducido
- Tiene una vida útil bastante larga

2.5.2 Proceso de reciclado del polímero.

El reciclado de plástico es el proceso de recuperación de desechos de plásticos. Los tres objetivos principales de los plásticos reciclados son usarlos como materias primas para la

reutilización directa, la fabricación de nuevos productos y la conversión a combustibles o nuevos productos químicos.

Los plásticos se clasifican según el tipo de resina antes del reciclaje. Se han usado varios métodos para distinguir la resina, pero ahora se usa infrarrojo. Después de la separación, se tritura como una etiqueta de papel y se eliminan las impurezas. Luego se derrite y se divide en pequeñas esferas y se utiliza en la producción de otras esferas.

Existen tres tipos de reciclaje principales:

Reciclaje mecánico: El método consiste en separar el plástico por tipo, y enjuagar hasta que el molde se derrita y se convierta en una pieza pequeña hasta que se produzca un nuevo producto.

Reciclaje químico: El método consiste en la descomposición del plástico por calor para regenerar moléculas simples.

Recuperación energética: Un método para convertir plásticos en combustible para generar energía.

Dentro del proceso de investigación, se llegó a conocer que existen alrededor de 20 empresas que se dedican a reciclar papel, cartón, plásticos, metales y vidrios que no sean peligrosos; la planta escogida para realizar el muestreo del plástico polietileno, es la Planta de nombre: FORTEX-Plásticos Industriales C.A., la cual se encuentra ubicada en el Km. 11.5 Vía Daule, Parque Industrial El Sauce, los mismos que permitieron observar el proceso de reciclado y funcionamiento de las máquinas.

2.5.3. Usos tras el reciclado.

En muchas partes del mundo, los plásticos se reciclan. Probablemente estamos acostumbrados a soltar los plásticos y depositarlos en el contenedor apropiado.

Pero, ¿y este plástico? ¿A dónde van millones de botellas de refrescos, tarrinas de yogur y bolsas de plástico? Los plásticos ocupan el 25% del volumen de basura urbana.

Hay una gran variedad de resinas plásticas y todas están hechas de petróleo. Pero cuando se trata de reutilizar plástico, no todos se pueden reciclar juntos o usarse para el mismo propósito.

Por ejemplo, las botellas de bebidas están hechas de PET (tereftalato de polietileno), tardan aproximadamente 500 años en descomponerse. Con cinco de estas botellas de dos litros puedes hacer una gran camisa de poliéster; se necesitan alrededor de 25 suéteres; llenar la fibra de una chaqueta de esquí 5 sería suficiente; para un saco de dormir, se necesitan 35 botellas de dos litros. Las almohadas y alfombras también están hechas de este tipo de plástico.

Las botellas de detergente, así como las jarras de aceite de motor o jarras de leche están hechas con HDPE (polietileno de alta densidad) y se reciclan a recipientes, botes de basura o botellas de una nueva preparación.

El PVC se usa para botellas de champú, bandejas de comida rápida y aceite y se recicla para producir tuberías de plomería. Las bolsas de plástico de supermercados o bolsas de pan se pueden reciclar para hacer nuevas bolsas de plástico. Las tapas suaves de

polipropileno (PP) se pueden reciclar para hacer cajas de cartón para baterías de automóviles.

El uso de plástico reciclado es extremadamente variado y no todas las ciudades tienen los medios para reciclar todo tipo de plásticos. Sin embargo, los residuos orgánicos separados permiten la producción de compost, y aunque las autoridades no han implementado un sistema de reciclaje para todos los plásticos, tenemos que comprometernos a usar lo menos posible el plástico y reciclar lo más posible en el hogar.

2.6. Aplicación de plástico polietileno en las mezclas asfálticas

El plástico polietileno reciclado, puede ser incorporado en las mezclas asfálticas por medio de dos métodos diferentes denominados como Proceso por Vía Húmeda y Proceso por Vía Seca.

En el proceso por vía Húmeda, el plástico polietileno actúa modificando el cemento asfáltico, mientras que, en el proceso por vía seca, el plástico es usado como una porción del agregado.

A continuación, se muestra la terminología asociada al uso del polietileno reciclado en mezclas asfálticas:

Tabla 7 Terminología asociada con el uso del polietileno reciclado en mezclas asfálticas:

MATERIAL	VÍA	PRODUCTO
PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO	Húmeda	Asfalto modificado con polietileno reciclado o Asfalto-Polietileno
	Seca	Mezcla asfáltica mejorada con Polietileno reciclado.

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

2.6.1. Proceso por Vía Húmeda

En este proceso, se unen el polietileno reciclado con el cemento asfáltico para producir la mezcla modificada llamada Asfalto- Polietileno, que es usada de la misma manera que un ligante modificado. Este proceso se encuentra definido en la Norma ASTM D8-88.

La fabricación de asfalto-polietileno consiste en la mezcla del polietileno reciclado, usualmente tamaño 2 a 4 mm, con el cemento asfáltico en un estanque con agitación. Generalmente, el porcentaje de adición de plástico polietileno reciclado es entre 10%-20% con respecto al peso del ligante.

Para promover la unión del asfalto y el polietileno, es necesario establecer una temperatura y un tiempo de reacción dentro del estanque. Usualmente, la mezcla es formulada a temperaturas entre 150°-200° C por 1 a 4 horas.

Dentro del proceso húmedo, se establece que el estanque agitador debe estar en terreno, ubicado junto a la planta asfáltica.

Una vez que el asfalto-polietileno alcance los parámetros requeridos, especialmente la viscosidad de la mezcla, se incorpora, en un proceso continuo, al mezclador de la planta asfáltica para unirse con los agregados pétreos.

En el siguiente esquema, se muestra la fabricación de las mezclas asfalto-polietileno por proceso de vía húmeda.



Gráfico 3. Esquema fabricación de las mezclas Asfalto-Polietileno - Vía Húmeda

Fuente: tomado de <http://rubberizedasphalt.org/how.htm>

Una vez terminado el mezclado del asfalto-polietileno con los agregados pétreos, el concreto asfáltico obtenido se transporta al sitio de pavimentación y se coloca por medio de una finisher tradicional. Par la compactación, generalmente se utiliza un rodillo liso doble tambor.

2.6.2 Proceso por vía seca

El proceso por vía seca es el método mediante el cual el polietileno reciclado es mezclado con los agregados, antes de adicionar el cemento asfáltico. En este proceso, se

usa el polietileno reciclado como un agregado en la mezcla asfáltica, que se puede agregar como un árido más o como un sustituto de una pequeña porción del agregado fino, que puede estar entre el uno y el tres por ciento del peso total de los agregados de la mezcla.

Si bien los granos de polietileno son tratados como un árido, no pueden considerarse un material inerte, pues interacciona con el ligante de la mezcla asfáltica. Este proceso de digestión suele llamarse “digestión” del polietileno. Mediante este proceso, el polietileno pasa de ser un árido elástico a ser un modificador del ligante en la mezcla asfáltica.

La digestión es un proceso que prolifera desde la superficie de la partícula de polietileno hacia su interior, por lo que será más rápida cuanto más fino sea el polvo de caucho, menor su proporción dentro de la mezcla asfáltica y cuanto más elevada sea la temperatura de la mezcla y el tiempo que se mantenga ésta caliente durante el proceso de fabricación y puesta en obra. En laboratorio, la digestión puede simularse manteniendo la mezcla en horno, a una temperatura en un rango 150-170° C y un tiempo de una a dos horas, previamente a la compactación de la probeta.

Durante la digestión, no se producen reacciones importantes entre el polietileno y cemento asfáltico debido al corto tiempo de mezclado, donde este no es suficiente para que se produzca una reacción similar al proceso húmedo, por lo tanto, se asume que el efecto de la reacción polietileno-ligante en el proceso seco es menor y, así mismo, tiene un efecto limitado en el comportamiento de la mezcla.

Sin el tiempo de digestión, no podría obtenerse la interacción entre el ligante y el polietileno, provocando que este funcione como un árido elástico con granulometría muy

concentrada, que por un lado crea aberturas y, por otro lado, evita la compactación debido a su componente elástico. Este tiempo de curado de la mezcla es fundamental porque si no se hace correctamente, la modificación del aglutinante no solo cambia, sino que es una mezcla de propiedades peores que la tradicional. Sin digestión existe el riesgo de un deterioro prematuro de la mezcla de asfalto en el campo. Se ha encontrado que el principal riesgo es el ataque de agua sobre la mezcla, lo que conduce a una descomposición gradual.

Para evitar esta situación, al diseñar la mezcla de asfalto, es necesario evaluar cuál será la temperatura y el tiempo mínimo de digestión para lograr una digestión suficiente, esto se puede hacer mediante la prueba de inmersión y compresión que mide el efecto del agua sobre la adhesión de mezclas de asfalto compactas.

En la siguiente figura se muestra la fabricación de las mezclas asfálticas mejoradas con polietileno a través del proceso seco:

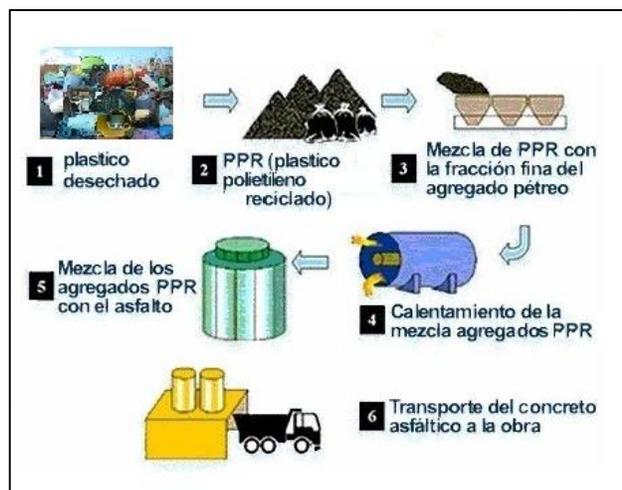


Gráfico 4. Esquema fabricación de las mezclas Asfalto-Polietileno - Vía Seca
Fuente: tomado de <http://rubberizedasphalt.org/how.htm>

2.7. Características de las mezclas asfálticas modificadas con plástico polietileno

Una mezcla asfáltica a partir de plástico reciclado logra reducir el presupuesto de mantener las carreteras.

Además, se ha observado un mejor comportamiento técnico del material frente a las deformaciones plásticas y mejores prestaciones mecánicas, por lo que se trata de un compuesto más duradero que el tradicional que verá reducidas las operaciones de mantenimiento y conservación de la vía.

2.8. Experiencias extranjeras utilizando plástico polietileno reciclado.

España. - El Instituto Tecnológico del plástico (Aimplas), en colaboración con Acciona Infraestructuras, la Universidad de Cantabria y la Dirección General de Carreteras de la Comunidad de Madrid, ha logrado obtener una innovadora mezcla asfáltica a partir de residuos plásticos que ya se ha aplicado a lo largo de un tramo en los accesos de Alcalá de Henares, según ha informado la entidad en un comunicado. A lo largo de dos kilómetros del trazado se han extendido cuatro tipos de mezclas asfálticas modificadas con diferentes tipos de residuos, concretamente perchas de polipropileno, envases de polietileno y polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

Escocia. – El ingeniero Toby Maccartney, con la finalidad de solucionar dos problemas mundiales, como lo son, mejorar la calidad de las carreteras por la que transitamos, y la epidemia de desperdicios plásticos en todo el mundo, de la que somos testigos; decidió utilizar desperdicios plásticos en una mezcla de asfalto, para crear carreteras más fuertes y duraderas libres de baches. De esta manera creó su propio método industrial, en una granja a la cual llegan toneladas de residuos plásticos y son transformados en millones de gránulos

que luego se mezclan con piedra y algo de asfalto; dando como resultado una mezcla lista para ser expandida.

México. – La Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, se realizaron estudios para crear asfaltos modificados con una estructura química de sus polímeros diferente.

El proyecto de la Facultad implica el análisis de la estructura química de algunos polímeros para transformarla y proponer un material que, al ser adicionado al asfalto, permita que la carpeta no se fracture.

“Cuando el pavimento tiene asfalto sin polímero, éste se reblandece a los 70°C y se forman ondas; a los 0°C se quiebra como si fuera vidrio. En cambio, cuando se utiliza asfalto modificado, puede resistir un rango de temperaturas que va de los 100 a -20°C sin sufrir deformaciones permanentes. Además, el asfalto con polímero limita el paso del agua, una de las principales causas de la formación de hoyos”, indicó.

El especialista refirió que, si bien este tipo de asfalto es más costoso, los beneficios obtenidos son mayores, al reducirse la cantidad de carpeta asfáltica empleada y su tiempo de vida útil.

Un ejemplo concreto del uso de polímeros en la carpeta asfáltica fue el realizado en una vía de la Ciudad de México, donde se colocaron piezas prefabricadas utilizando un polímero - sellador elaborado a base de químicos - en el carril confinado.

De acuerdo con la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal se inyectaron los polímeros, los cuales ayudaron a mejorar la calidad del suelo y del tendido asfáltico que soporta varias toneladas de peso.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Investigación Experimental

La investigación experimental es esencial para realizar los ensayos a compresión con las briquetas elaboradas, con el objetivo de comparar e identificar cuál es el porcentaje de plástico como agregado recomendable para conseguir mayor resistencia en relación al asfalto común. Contribuyendo a la mejora de las obras civiles y al mismo tiempo al cuidado medioambiental.

3.1.1. Investigación Aplicada

Una vez estudiado y comprendido el contenido sobre la utilización del plástico polietileno reciclado como agregado en el asfalto, se ha observado que han obtenido resultados probables. Por lo tanto, se va poner en práctica con la finalidad de encontrar características que comprueben una mejor calidad de asfalto teniendo al plástico como parte del agregado.

3.1.2. Investigación de Laboratorio

Su aplicación es necesaria para realizar briquetas de asfalto común, y briquetas de asfalto con agregado de plástico polietileno reciclado en porcentajes del 1%, 2% y 3% respectivamente, en sustitución parcial del agregado. Para este proceso se contará con equipo adecuado para que la dosificación sea la correcta.

3.2. Población y Muestra

Debido a que el presente trabajo se basa en lo experimental, no es necesario calcular una muestra, porque mientras más elementos se estudien, mejores resultados se pueden obtener. Entonces mi población y muestra con la que se va a experimentar, está conformada por 24

briquetas de asfalto, siendo 15 de estas de asfalto común y 9 con agregado parcial del plástico en distintos porcentajes anteriormente estudiados.

Se realizarán ensayos con las probetas de asfalto normal y con las probetas de asfalto con agregado de plástico. La comparación entre las briquetas de asfalto común con las briquetas de asfalto con plástico agregado, nos presentarán la variación de resistencia, por ende, se identificará el porcentaje factible para la mejora de la misma.

Tabla 8. Determinación de la Población y Muestra

REEMPLAZO DE PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO COMO COMPONENTE DEL ASFALTO			
# de Muestras	% de Cemento Asfáltico	El plástico sustituye una parte del árido	
		Agregado grueso	Agregado fino
3	4,53	Muestra Patrón	
3	5,06	Muestra Patrón	
3	5,59	Muestra Patrón	
3	6,10	Muestra Patrón	
3	6,61	Muestra Patrón	
Porcentaje de Plástico de 1%			
3	6,10	Variación	Constante
Porcentaje de Plástico de 2%			
3	6,10	Variación	Constante
Porcentaje de Plástico de 3%			
3	6,10	Variación	Constante
Total =	45		

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Recolección de datos.

En el presente capítulo se describirá el proceso para la investigación, es decir, la metodología que se aplicó, los procedimientos empleados para la realización de los ensayos, las características de los materiales utilizados y la determinación de la mejor composición de las mezclas asfálticas con plástico polietileno reciclado.

Para la realización del estudio de mezclas asfálticas con plástico polietileno, es necesario partir de una mezcla patrón con la finalidad de compararla con la mezcla a la cual se le añadirá un porcentaje determinado de plástico. Estas mezclas van a contener los mismos agregados y cemento asfáltico.

4.1.1. Ensayos realizados a los agregados.

Al referirse de los agregados, es importante aclarar que el agregado grueso es la porción que pasa por los tamices #3/4" hasta el #4" y para el agregado fino son utilizados tamices #8 hasta el #200, denominándose al obtenido de este último como filler o llenante.

Estos agregados fueron obtenidos de la cantera "Tierra Blanca", ubicado en un sector del cantón Daule.

De acuerdo a las Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes, se procedieron a realizar los siguientes ensayos a los agregados:

a) Análisis Granulométrico.

Se puede definir a la granulometría como la clasificación por tamaños de las partículas que constituyen el agregado pétreo. Los tamaños de las partículas son obtenidos a través de la utilización de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. A continuación, se presenta el resultado del análisis granulométrico y la respectiva curva granulométrica.

Para este estudio se utilizan 4 tipos de materiales: Arena Gruesa (Rio Chimbo), Agregado triturado cisco (Cantera Tierra Blanca), agregado triturado $\frac{3}{4}$ " (Cantera Tierra Blanca), agregado triturado $\frac{3}{8}$ " (Cantera Tierra Blanca).



Ilustración 1. Cantera Tierra Blanca

En las siguientes tablas se muestra la granulometría obtenida para estos materiales.

Tabla 9 Arena Gruesa de Río Chimbo

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL					
		FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Realizado por: Valeria Marcillo Piña					
Fecha: Febrero 2017					
Masa de la muestra: 3000,00					
Arena Gruesa de Río Chimbo					
TAMICES	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	ESPECIFICACIONES
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	9,80	0,33	0,33	99,67	
3/8"	75,30	2,51	2,84	97,16	
1/4"					
No.4	358,10	11,94	14,77	85,23	
No.8	386,70	12,89	27,66	72,34	
No.10					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40					
No.50	1751,30	58,38	86,04	13,96	
No.80					
No.100					
No.200	365,20	12,17	98,21	1,79	
FONDO	53,60	1,79	100,00	0,00	
TOTAL	3000,00				

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

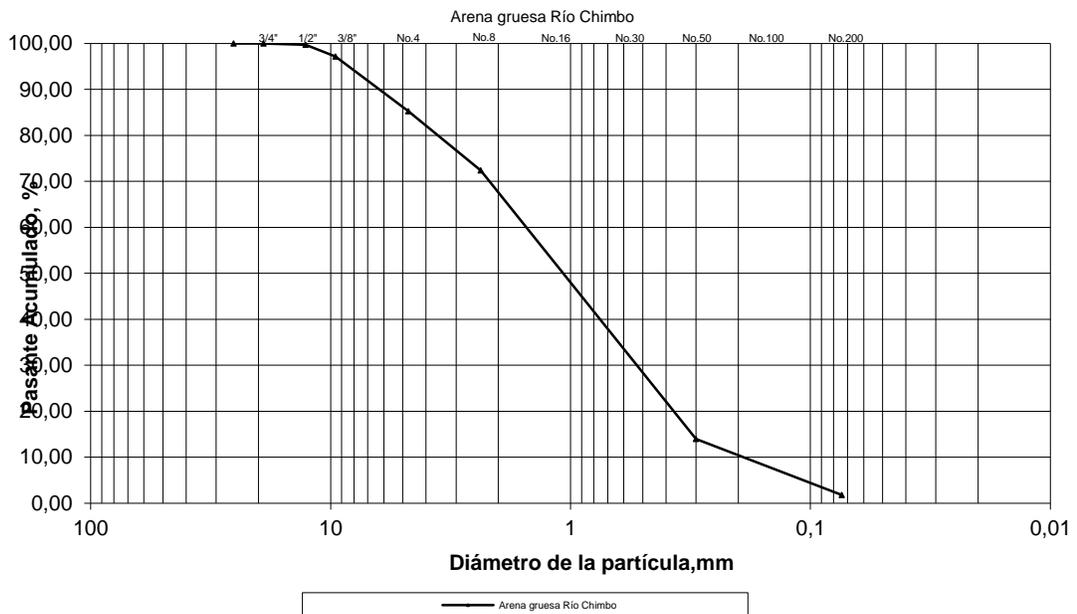


Figura 1 Granulometría de la Arena Gruesa de Río Chimbo

Tabla 10 Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL					
		FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Realizado por: Valeria Marcillo Piña					
Fecha: Febrero 2017					
Masa de la muestra: 3000,00					
Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca					
TAMICES	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	ESPECIFICACIONES
3"					
2"					
1 1/2"					
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/4"					
No.4	152,50	5,08	5,08	94,92	
No.8	654,50	21,82	26,90	73,10	
No.10					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40					
No.50	1233,50	41,12	68,02	31,98	
No.80					
No.100					
No.200	685,10	22,84	90,85	9,15	
FONDO	274,40	9,15	100,00	0,00	
TOTAL	3000,00				

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

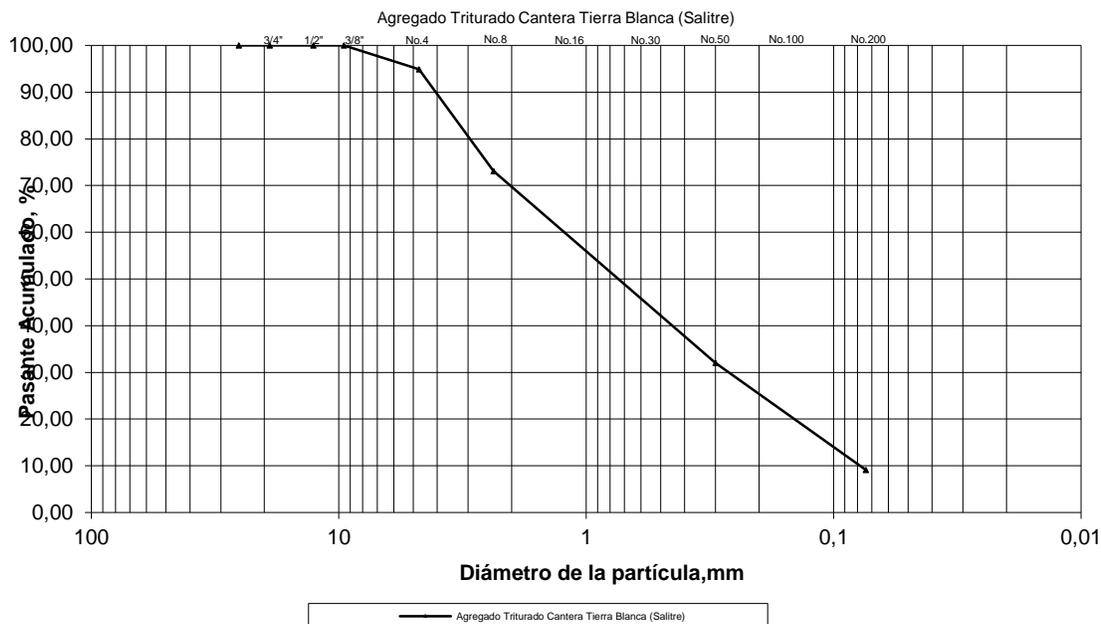


Figura 2 Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca

Tabla 11 Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL					
		FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
Realizado por: Valeria Marcillo Piña					
Fecha: Febrero 2017					
Masa de la muestra: 3000,00					
Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca					
TAMICES	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	ESPECIFICACIONES
3"					
2"					
1 1/2"					
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	2725,20	90,94	90,94	9,06	
3/8"	237,90	7,93	98,87	1,13	
1/4"					
No.4	22,40	0,75	99,62	0,38	
No.8	0,90	0,03	99,65	0,35	
No.10					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40					
No.50	1,30	0,04	99,69	0,31	
No.80					
No.100					
No.200	3,20	0,11	99,80	0,20	
FONDO	6,10	0,20	100,00		
TOTAL	3000,00				

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

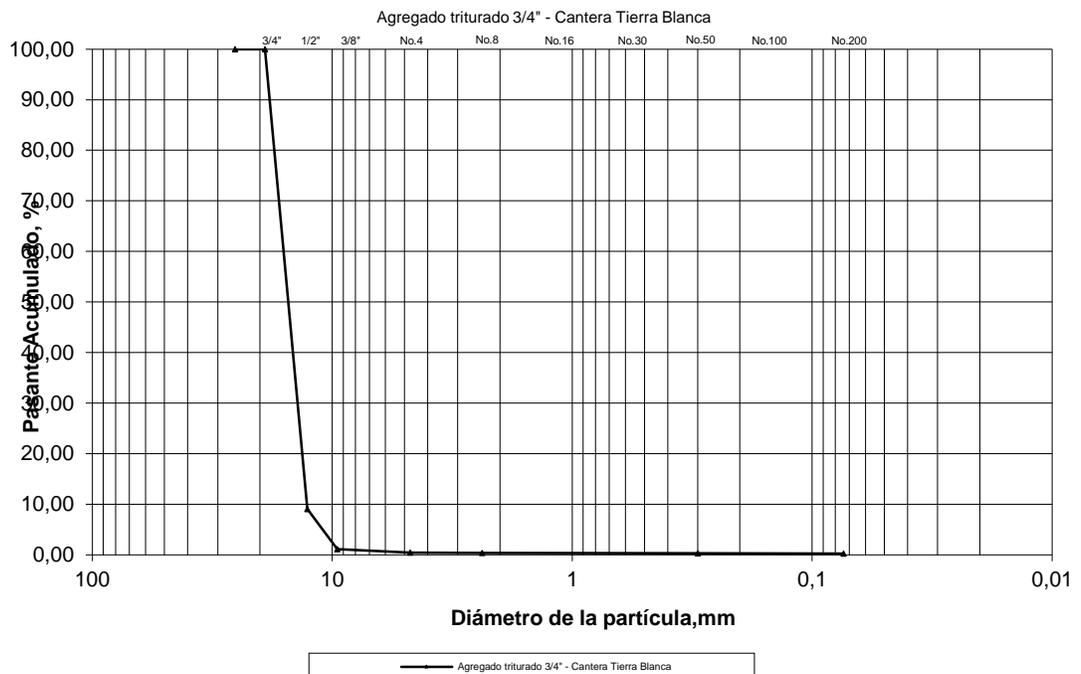


Figura 3 Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca

b) Gravedades Específicas.

Se puede definir a la densidad, como relación entre el peso y el volumen de la masa, en este caso de los agregados, como las gravas y la arena; con la aplicación de métodos del picnómetro y de la canastilla respectivamente.

Tabla 13 Arena Gruesa de Río Chimbo

 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL' FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN 			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN			
GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Realizado por: Valeria Marcillo Piña			
Fecha: Febrero 2017			
Arena Gruesa de Río Chimbo			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		GRAVEDAD S.S.S.	
Peso Agregado secado horno =	491,8 gr.	Peso Agregado secado horno =	488 gr.
Volumen del Picnometro =	500 gr.	Volumen del Picnometro =	500 gr.
Agua añadida =	310 gr.	Agua añadida =	310 gr.
Gravedad Bulk =	2,588	Gravedad S.S.S. =	2,632
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		ABSORCION	
Peso Agregado secado horno =	491,8 gr.	Peso Agregado secado horno =	488 gr.
Volumen del Picnometro =	500 gr.	Volumen del Picnometro =	500 gr.
Agua añadida =	310 gr.	Agua añadida =	310 gr.
Gravedad Aparente =	2,705	Adsorción =	2,46%

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

Tabla 14 Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca

 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017			
Agregado Triturado (Cisco) - Cantera Tierra Blanca			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		GRAVEDAD S.S.S.	
Peso Agregado secado horno =	490,40 gr.	Peso Agregado secado horno =	490,40 gr.
Volumen del Picnometro =	500,00 gr.	Volumen del Picnometro =	500,00 gr.
Agua añadida =	323,00 gr.	Agua añadida =	323,00 gr.
Gravedad Bulk =	2,771	Gravedad S.S.S. =	2,825
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		ABSORCION	
Peso Agregado secado horno =	490,40 gr.	Peso Agregado secado horno =	490,40 gr.
Volumen del Picnometro =	500,00 gr.	Volumen del Picnometro =	500,00 gr.
Agua añadida =	323,00 gr.	Agua añadida =	323,00 gr.
Gravedad Aparente =	2,930	Adsorción =	1,96%

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

Tabla 15 Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca

 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017			
Agregado triturado 3/4" - Cantera Tierra Blanca			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		GRAVEDAD S.S.S.	
Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.	Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.
Volumen del Picnometro =	5058,00 gr.	Volumen del Picnometro =	5058,00 gr.
Agua añadida =	3197,00 gr.	Agua añadida =	3197,00 gr.
Gravedad Bulk =	2,687	Gravedad S.S.S. =	2,718
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		ABSORCION	
Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.	Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.
Volumen del Picnometro =	5058,00 gr.	Volumen del Picnometro =	5058,00 gr.
Agua añadida =	3197,00 gr.	Agua añadida =	3197,00 gr.
Gravedad Aparente =	2,773	Adsorción =	1,16%

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

Tabla 16 Agregado Triturado 3/8" (No. 4) - Cantera Tierra Blanca

 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN GRAVEDADES ESPECIFICAS			
Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017			
Agregado Triturado 3/8" (No. 4) - Cantera Tierra Blanca			
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK		GRAVEDAD S.S.S.	
Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.	Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.
Volumen del Picnometro =	5050,00 gr.	Volumen del Picnometro =	5050,00 gr.
Agua añadida =	3221,00 gr.	Agua añadida =	3221,00 gr.
Gravedad Bulk =	2,734	Gravedad S.S.S. =	2,761
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE		ABSORCION	
Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.	Peso Agregado secado horno =	5000,00 gr.
Volumen del Picnometro =	5050,00 gr.	Volumen del Picnometro =	5050,00 gr.
Agua añadida =	3221,00 gr.	Agua añadida =	3221,00 gr.
Gravedad Aparente =	2,811	Adsorción =	1,00%

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

c) Desgaste de los Ángeles.

Los agregados deben resistir el desgaste irreversible y la degradación durante su fabricación, colocación y compactación de las obras de pavimentación, es decir, durante toda la vida de servicio del pavimento, por lo que es fundamental emplear este método para determinar la resistencia al desgaste, empleando la máquina de los Ángeles.

Procedimiento:

- Colocar la muestra y la carga en la máquina
- Realizar 5000 revoluciones entre 30 y 33 rpm
- Cribar por una malla mayor a la No 12

- Cribar la porción más fina por la malla No 12
- Lavar todo el material retenido y secar en horno para determinar su masa seca con precisión de 1 gramo.

Tabla 17 Determinación del Valor de Degradación de los Agregados

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL  FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN				
ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017 Cantera Tierra Blanca				
MALLAS		NOMENCLATURA	VALOR	UNIDAD
PASA	RETIENE			
1 1/5	1	m1	1250	gr.
1	3/4	m2	1250	gr.
3/4	1/2	m3	1250	gr.
1/2	3/8	m4	1250	gr.
Masa inicial de la muestra de ensayo (m1 + m2 + m3 + m4)		A	5000	gr.
Masa de la muestra retenida en el tamiz # 10 (1,70mm), despues de ensayo		B	4048	gr.
Valor de degradación, en porcentaje $D = ((A - B) / A) * 100$		D	19,04%	gr.

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

d) Pureza de los agregados por medio de sulfato de sodio.

Tabla 18 Agregado grueso para Carpeta Asfáltica

		UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN							
<i>PUREZA DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DEL SULFATO DE SODIO.</i>							
Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017							
Agregado grueso para Carpeta Asfáltica							
MALLAS		Graduación de la Muestra original % Retenido	Peso Antes del Ensayo gr.	Peso Después del Ensayo gr.	% de Pérdida Real	% de Pérdida Corregida	
PASA	RETIENE						
3/4 "	1/2"	5,65	1500,00	1451,30	3,25	0,18	
1/2"	3/8"	20,35	1500,00	1378,60	8,09	1,65	
3/8"	No. 4	22,46	1500,00	1395,10	6,99	1,57	
No. 4	No. 8	10,13	1500,00	1428,90	4,74	0,48	
$\% \text{ DE PERDIDA REAL} = \frac{P_i - P_t}{P_i}$							
$\% \text{ DE PERDIDA CORREGIDA} = \frac{\% \text{ Retenido} \times \% \text{ Pérdida Real}}{100}$							
$\% \text{ DE DESGASTE} = \underline{\underline{3,88}}$							

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

Tabla 19 Agregado fino para Carpeta Asfáltica

 UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN 						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN						
PUREZA DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DEL SULFATO DE SODIO.						
Realizado por: Valeria Marcillo Piña Fecha: Febrero 2017						
Agregado fino para Carpeta Asfáltica						
MALLAS		Graduación de la Muestra original % Retenido	Peso Antes del Ensayo gr.	Peso Después del Ensayo gr.	% de Pérdida Real	% de Pérdida Corregida
PASA	RETIENE					
3/8 "	No. 4	22,46	100,00	95,60	4,40	0,99
No. 4	No. 8	10,13	100,00	94,90	5,10	0,52
No. 8	No. 16	5,80	100,00	92,80	7,20	0,42
No. 16	No. 30	14,60	100,00	94,50	5,50	0,80
No. 30	No. 50	20,30	100,00	98,20	1,80	0,37
No. 50	No. 100	9,41	100,00	91,20	8,80	0,83
$\% \text{ DE PERDIDA REAL} = \frac{P_i - P_t}{P_i}$						
$\% \text{ DE PERDIDA CORREGIDA} = \frac{\% \text{ Retenido} \times \% \text{ Pérdida Real}}{100}$						
$\% \text{ DE DESGASTE} = \underline{\quad 3,92 \quad}$						

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

4.1.2. Ensayos sobre la Mezcla Asfáltica.

a) Granulometría de la mezcla de agregados (ASTM C-71).

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de malla cuadrada.

Procedimiento.

Primeramente, se efectúa un muestreo para el agregado grueso mediante el cuarteo, que consiste en colocar a la muestra en el separador para obtener una muestra representativa que abarque el mayor tamaño de partículas. El material se debe inspeccionar visualmente para asegurar homogeneidad.

La muestra escogida de agregado grueso se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y la muestra.

Tomamos la muestra, se coloca sobre la torre de cedazos conformado por los tamices 1", ¾", ½", 3/8", N° 4, N°8, N°30, N°50, N°100, N°200, inmediatamente con movimiento circulares facilitamos que las partículas puedan retenerse o pasar en cada uno de los tamices.

Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del material que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y

sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se dividen para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da el porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente, los resultados de este ensayo se pueden ver en la Tabla 20.

Tabla 20 Mezcla (25%Cisco+30%Arena+20%Piedra 3/4+25%Piedra 1/2)

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL						
	FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN					
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO						
Realizado por: Valeria Marcillo Piña						
Fecha: Febrero 2017						
Masa de la muestra: 5000,00						
Mezcla (25%Cisco+30%Arena+20%Piedra 3/4+25%Piedra 1/2)						
TAMICES	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	ESPECIFICACIONES	BANDA CONTROL
3"						
2"						
1 1/2"						
1"	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00	90 - 100	95-100
1/2"						
3/8"	1370,50	27,41	27,41	72,59	56 - 80	66-79
1/4"						
No.4	1123,00	22,46	49,87	50,13	35 - 65	45-59
No.8	506,50	10,13	60,00	40,00	23 - 49	33-44
No.10						
No.16						
No.20						
No.30						
No.40						
No.50	1375,00	27,50	87,50	12,50	5 - 19	3-12
No.80						
No.100						
No.200	470,50	9,41	96,91	3,09	2 - 8	1 - 5
FONDO	154,50	3,09	100,00	0,00		
TOTAL	5000,00					

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

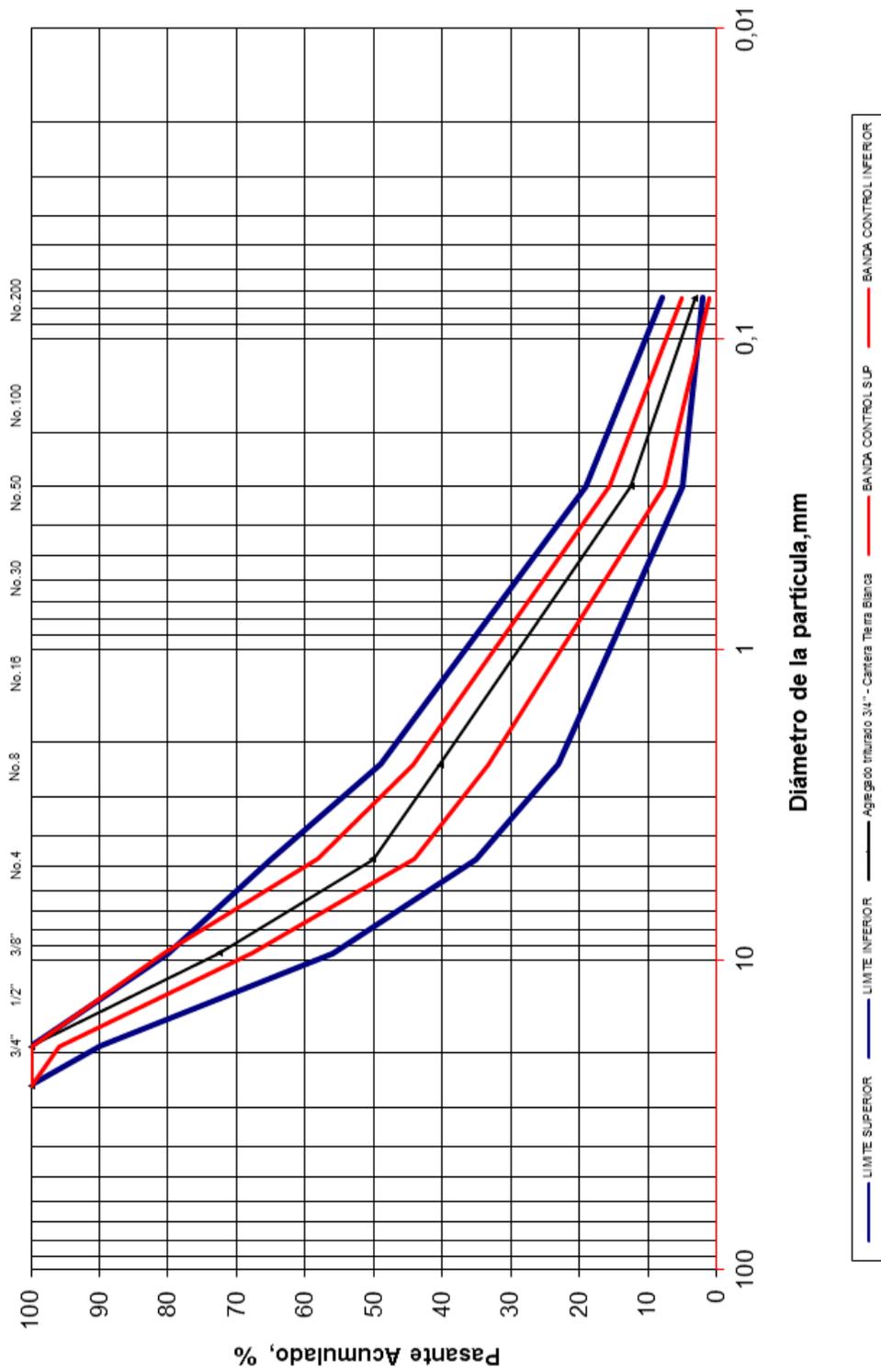


Figura 5 Mezcla (25% Cisco+30% Arena+20% Piedra 3/4+25% Piedra 1/2)

Interpretación: La granulometría de los áridos de la Cantera Tierra Blanca y del Río Chimbo, presentan una curva que cumple con los límites establecidos en la norma NEVI – 12, cuyo tamaño nominal máximo (TNM) corresponde a $\frac{3}{4}$ " (19mm) estando dentro de los requisitos de graduación para agregados para mezclas asfálticas densas (Marshall).

4.1.3. Diseño Marshall de Mezcla Patrón.

Se han desarrollado algunos métodos de proporcionamiento de asfalto y agregado para una mezcla de hormigón asfáltico en caliente, siendo los más conocidos los siguientes; Marshall, Hveem, Hurbbard-Field y Triaxial de Smith.

Para el diseño de las briquetas en la presente investigación se utilizará el método Marshall que es el más aplicado.

El Método Marshall, describe un procedimiento que se debe seguir para determinar la resistencia a la deformación plástica de las mezclas de pavimentación de asfalto. El procedimiento puede usarse tanto para proyectos de mezcla en el laboratorio como para el monitoreo en el sitio.

Este método consiste en moldear briquetas con la mezcla de agregados y asfalto en caliente. Estas briquetas dispuestas en serie y cada serie con diferente porcentaje de asfalto, se las moldea una vez que los materiales (agregados y asfalto) hayan sido aprobados según sus respectivas especificaciones de calidad, tamaño, etc.

Los parámetros de Marshall para cada contenido de asfalto se obtienen a partir de los resultados promedio obtenidos de tres muestras, cuyos valores no difieren entre sí.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 5 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variará con incrementos de 0.50% (aproximadamente), de un grupo a otro. Los porcentajes utilizados fueron de 4,53%, 5,06%, 5,59, 6,10%, 6,61%.

Procedimiento

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado, se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C. Por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 137°C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.



Ilustración 2. Calentamiento cemento asfáltico

Se pesan luego sobre una bandeja las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total. Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 2 1/2" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de: Un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo de 10 libras, en forma de cilindro hueco, el cual se usa para realizar los golpes de compactación de manera manual.



Ilustración 3. Compactación de manera manual.

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Luego de extraer las briquetas de los moldes se somete cada una a los siguientes ensayos:

- a) Determinación de la gravedad específica “BULK” del agregado (G_{sb}).
- b) Determinación de la gravedad específica Aparente del agregado (G_{sap}).
- c) Ensayo de Estabilidad y flujo.
- d) Determinación de la densidad máxima teórica.
- e) Vacíos en el agregado mineral

Determinación de la gravedad específica “BULK” del agregado (Gsb).

El volumen agregado a una temperatura dada (incluida la permeabilidad de las partículas y los poros impermeables, pero no los vacíos entre las partículas) y la misma cantidad de agua destilada en el aire, libre de gas, a la misma temperatura.

$G_{sbm} = \frac{100}{37,112} = 2,695$	GRAVEDAD		% MEZCLA		Agregados
	G1 =	2,588	P1 =	30	Arena
	G2 =	2,687	P2 =	20	Piedra 3/4
	G2 =	2,761	P2 =	25	Piedra 3/8
	G3 =	2,771	P3 =	25	Cisco
			100	Total	

Determinación de la gravedad específica Aparente del agregado (Gsap).

Esta determinación se realiza tan pronto como las briquetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, la densidad aparente de las briquetas se determina calculando la relación entre su peso en aire y el peso en agua.

$G_{sap} = \frac{100}{35,729} = 2,799$	GRAVEDAD		% MEZCLA		Agregados
	G1 =	2,705	P1 =	30	Arena
	G2 =	2,773	P2 =	20	Piedra 3/4
	G3 =	2,811	P3 =	25	Piedra 3/8
	G2 =	2,930	P2 =	25	Cisco
			100	Total	

Ensayo de Estabilidad y flujo

Antes del ensayo, se sumerge las briquetas en baño de agua a 60 °C ± 0.5 °C (140 ± 1.8 °F) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos. Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21 °C y 38 °C (70 a 100 °F). Si es inferior, deberán calentarse en baño

de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto (2" / minuto) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C (150 °F) se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL. Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Determinación de la densidad máxima teórica.

El máximo de la gravedad teórica específica y la densidad de la mezcla de asfalto para pavimentación de carreteras son propiedades fundamentales y el valor está influenciado por la composición de la mezcla en relación con el tipo y la cantidad de agregado y material asfáltico. Este valor se usa para calcular la porosidad del aire del pavimento de asfalto caliente comprimido. Son esenciales para calcular la cantidad de asfalto que se absorbe en los poros internos del agregado a partir de la mezcla de asfalto caliente. Le dan un valor importante al proceso de compresión de las mezclas de asfalto para el pavimento de la carretera.

ENSAYO RICE				
% de cemento Asfáltico	Peso del Material (gr) A	Peso del Picnómetro + Agua (gr) B	Peso Picnómetro + Agua + Material (gr) C	Gravedad Rice = A/(A+B-C)
4,53	1.000	5228	5839	2,57
5,06	1.000	5228	5837	2,56
5,59	1.000	5228	5835	2,54
6,10	1.000	5228	5832	2,52
6,61	1.000	5228	5827	2,49

Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VAM), se define por los vacíos intergranulares de los vacíos presentes entre los agregados de las mezclas empaquetadas, incluidos los vacíos y el contenido efectivo de asfalto, y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VAM se calcula en base al peso total del agregado. Por lo tanto, el VAM puede calcularse restando el volumen agregado (determinado por el peso total agregado) del volumen total de la mezcla comprimida.

Gsbm =	2,695
Gbk =	2,410
Pb =	6,10

Agregados

$$VAM = 100 - \frac{2,410}{2,695} \times \frac{93,900}{x} = 16,0$$

Los resultados del Diseño Marshall de la mezcla patrón se muestran a continuación:

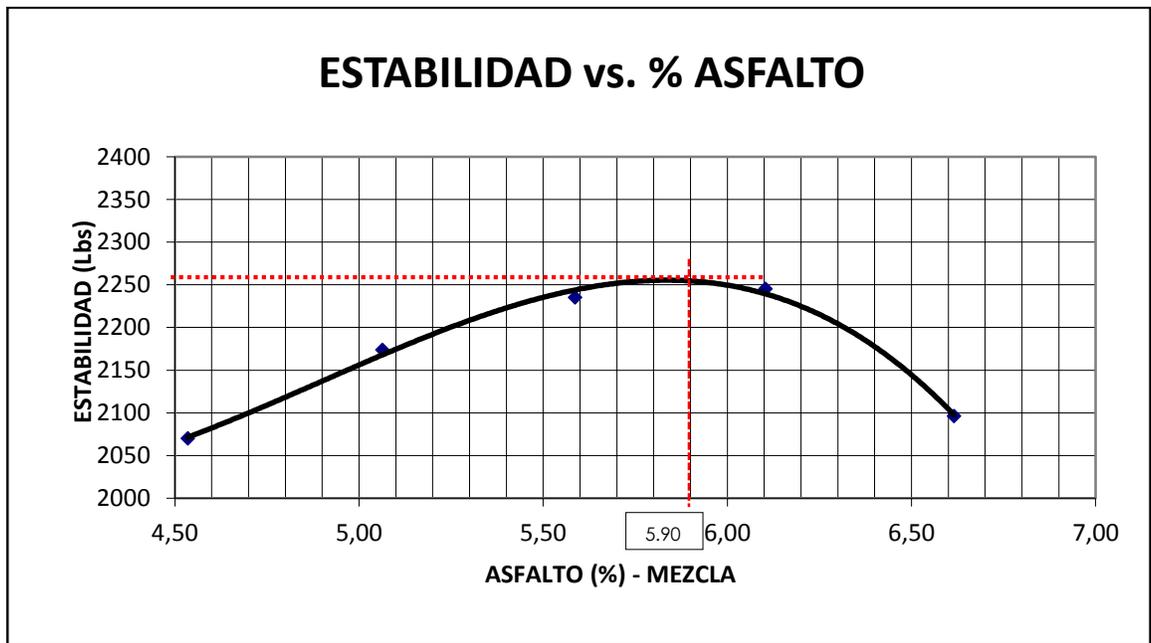


Gráfico 5. Variación de la Estabilidad respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezcla patrón.

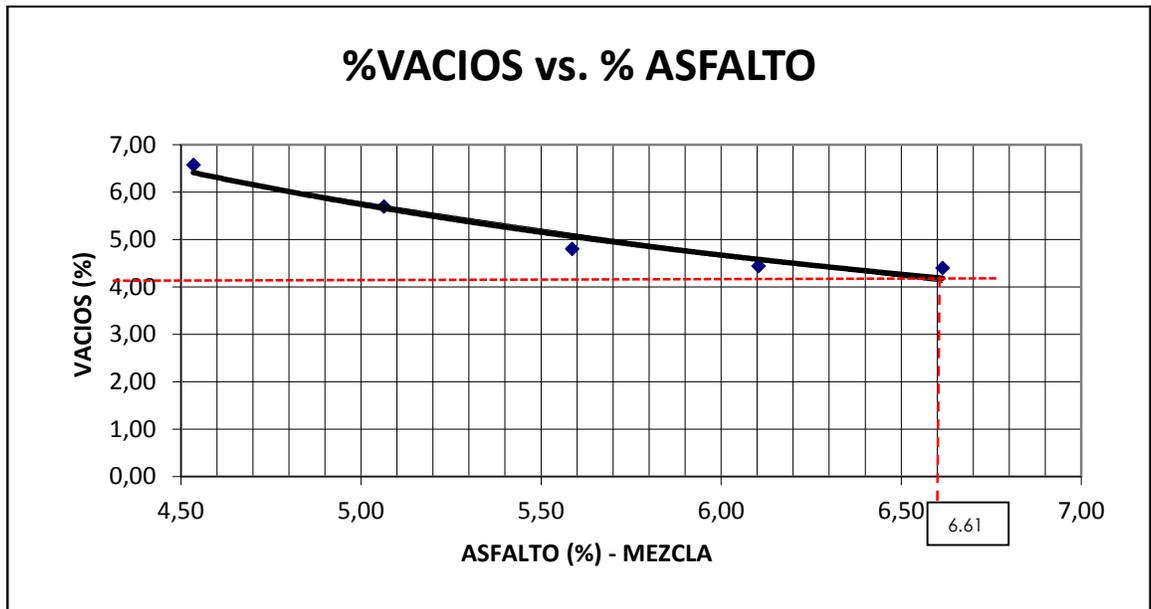


Gráfico 6. Variación % Vacíos respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezcla patrón.

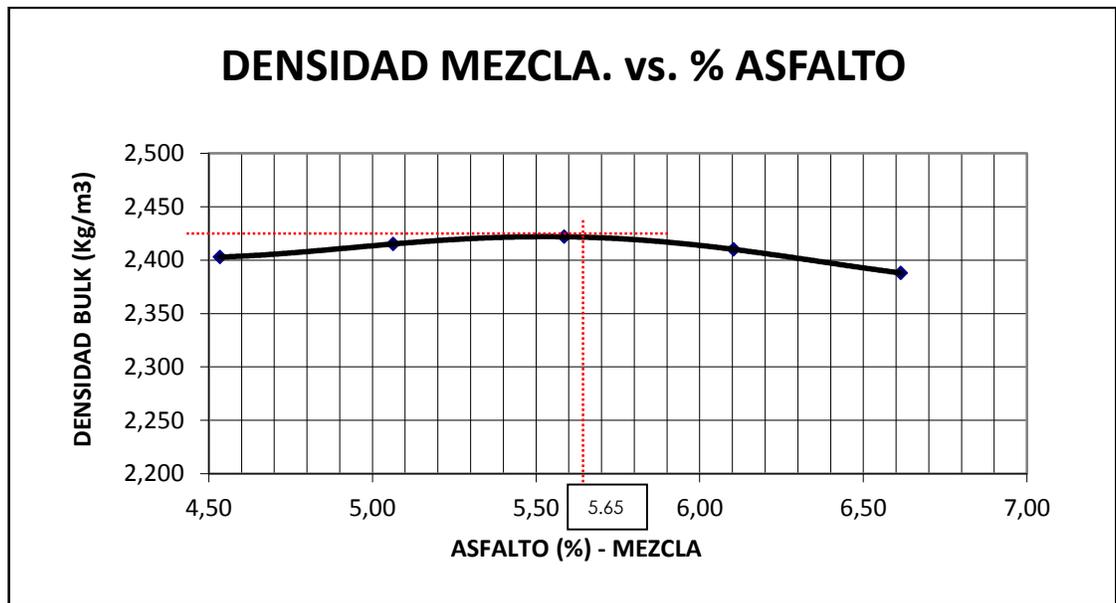


Gráfico 7. Variación Densidad Mezcla respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezcla patrón

Tabla 21. Cálculo para obtención de porcentaje óptimo de asfalto.

Curva	Valor "x"	Valor "y"
Estabilidad vs % Asfalto	2,260,00	5,90
% Vacíos vs % Asfalto	4,10	6,61
Densidad Mezcla vs % Asfalto	2,43	5,65
Promedio		6,05 ≈ 6,10

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

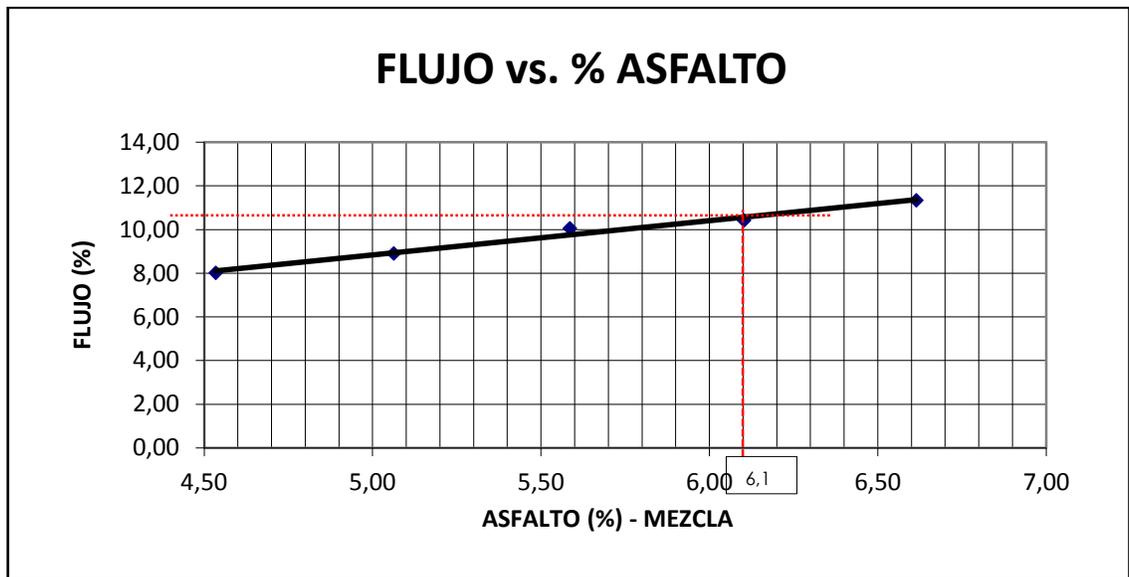


Gráfico 8. Variación del Flujo respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezcla patrón.

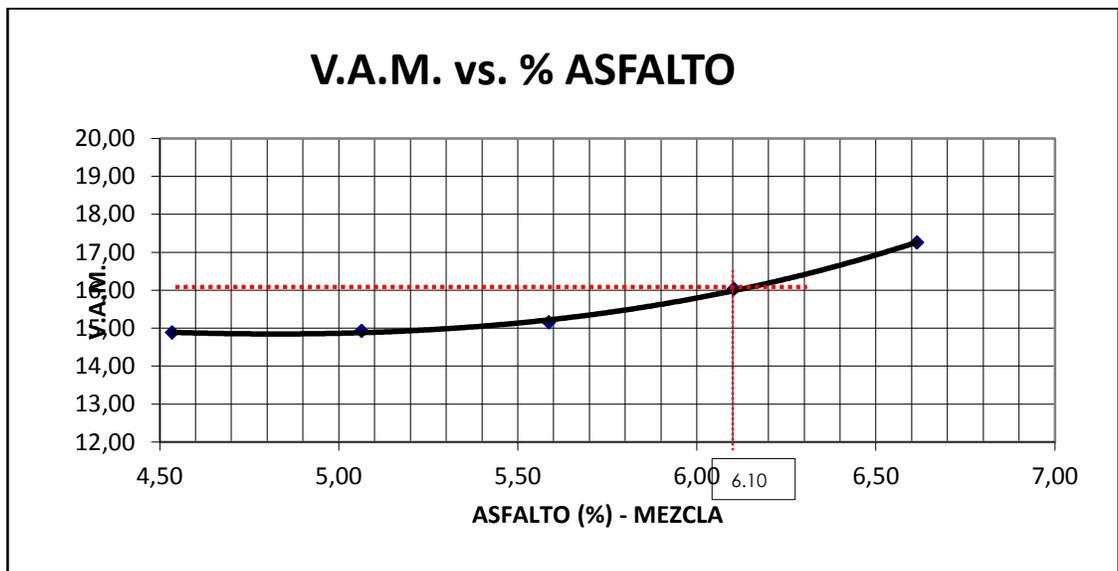


Gráfico 9. Variación V.A.M. Respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezcla patrón.

Una vez dibujadas estas curvas, como se puede observar en los gráficos 5, 6, y 7; se determina en cada caso, el porcentaje óptimo de asfalto, obteniendo los tres porcentajes, y así establecemos el promedio que para nuestro caso es de 6.05% de asfalto entonces tomamos el porcentaje más próximo que es 6,10% de asfalto; posteriormente comprobamos

en las curvas de flujo vs % de Asfalto y VAM vs % Asfalto si con el 6.10% de asfalto calculado se cumple con especificaciones técnicas exigidas tanto para el flujo como para el VAM, según las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002, numeral 405.5, mismas que si se cumplen.

4.1.4. Preparación de la mezcla asfáltica con plástico polietileno mediante proceso por vía seca.

Este proceso se desarrolla para estudiar el efecto del plástico al adicionarse como una parte de los agregados en la elaboración de las mezclas asfálticas. La tecnología de aplicación de la vía seca es la convencional, la cual usa porcentajes de adición de hasta el 3% del peso total de los agregados.



Ilustración 4. Mezcla asfáltica con adición de plástico.

En esta investigación, el plástico se adiciona en porcentajes de 1,0%, 2,0%, y 3,0% con respecto al peso del árido.



Ilustración 5. Briqueta de asfalto más 1% de plástico polietileno reciclado.



Ilustración 6. Briqueta de asfalto más 2% de plástico polietileno reciclado.



Ilustración 7. Briqueta de asfalto más 3% de plástico polietileno reciclado.

Las briquetas elaboradas tienen un peso de 1200 gr., las cuales tienen 6,10% de cemento asfálticos, de acuerdo al obtenido de la mezcla patrón, y, en este caso tienen como parte del agregado al polímero.

Para el ensayo de Estabilidad y Flujo, se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, el proceso se repite de la misma manera que se realizó para la muestra patrón. Leemos los valores, y se anotan estas lecturas, en el cuadro con los resultados obtenidos, para finalmente analizarlos.



Ilustración 8. Briqueta con plástico colocada en la mordaza.

Determinación de la densidad máxima teórica (RICE)

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN</p> <p style="text-align: center;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p>			
<p>EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO CON PLÁSTICO POLIETILENO RECICLADO PARA VÍAS DE SEGUNDO ORDEN</p>			
<p><i>ENSAYO RICE</i></p>			
<p>Realizado por: Valeria Marcillo Piña</p> <p>Fecha: Febrero 2017</p> <p>MUESTRA: Mezcla asfáltica (6,10% Asfalto) y Mezclas con plástico</p>			
<p><i>RICE - 0% PLASTICO</i></p>		<p><i>RICE - 1% PLASTICO</i></p>	
<p>Peso del Material = 1.000 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Material = 1.000 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Picnometro + Agua 5.228 cm³</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Picnometro + Agua 5.232 cm³</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>
<p>Peso Picnometro + Agua + Material 5832 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso Picnometro + Agua + Material 5838 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Gravedad Rice = 2,522</p>	<p>Gravedad Rice = 2,538</p>
<p><i>RICE - 2% PLASTICO</i></p>		<p><i>RICE - 3% PLASTICO</i></p>	
<p>Peso del Material = 1.000 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Material = 1.000 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Picnometro + Agua 5.232 cm³</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso del Picnometro + Agua 5.232 cm³</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>
<p>Peso Picnometro + Agua + Material 5830 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Peso Picnometro + Agua + Material 5824 gr.</p> <hr style="width: 50px; margin-left: auto; margin-right: 0;"/>	<p>Gravedad Rice = 2,488</p>	<p>Gravedad Rice = 2,451</p>

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria

Tabla 22. Diseño de mezcla Asfáltica, mezcla patrón 0% plástico.

<i>EVALUACIÓN HORMIGÓN ASFALTICO - MÉTODO MARSHALL</i>			
Gravedad específica del Cemento Asfáltico (Gb) =	1,015		
Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)=	2,695		
Gravedad Específica Aparente del Agregado (Gsap) =	2,799		
Mezcla No.	PLÁSTICO 0%		
Muestra	1	2	3
Diámetro (cm)	10,16	10,16	10,16
Esfuerzo (golpes/c.lado)	75	75	75
Espesor (cm)	6,30	6,06	6,30
Masa seca en el aire (g)	1274,0	1172,0	1256
Masa superficialmente seca (g)	1276,0	1174,0	1258,0
Masa en el agua (g)	748,0	687,0	737,0
Volumen (cc)	528,00	487,00	521,00
Gravedad Específica de Masa,Bulk (Kg/m ³)	2,413	2,407	2,411
Gravedad Específica efectiva	2,791		
Gravedad Específica Rice	2,522		
Vacíos de Aire (%)	4,33	4,58	4,41
Vacíos de Aire (%) (PROMEDIO)	4,44		
V.M.A.	15,93	16,15	16,01
V.M.A. (PROMEDIO)	16,03		
Contenido de Asfalto absorbido =	1,30%		
Contenido de Asfalto efectivo =	4,88%		
Gravedad específica máxima teórica =	2,522		
Flujo (0.001 pulg)	260,00	250,00	255,00
Flujo (%)	10,48	10,48	10,28
Estabilidad (Lb)	2377	2175	2179
Factor de corrección	0,94	1,10	0,97
Estabilidad (Lb), corregido	2243	2385	2108
PORCENTAJE DE ASFALTO			
Masa con asfalto	6390		
Masa sin asfalto	6000		
Plástico	0		
Porcentaje de asfalto de la mezcla, %	6,10		
Porcentaje de asfalto por agregado, %	6,50		
Porcentaje de plástico en la mezcla, %	0,00		

Elaborado por: Marcillo Piña Valeria

Tabla 23. Mezcla asfáltica modificada con 1% de plástico.

EVALUACIÓN HORMIGÓN ASFALTICO - MÉTODO MARSHALL			
Gravedad específica del Cemento Asfáltico (Gb) =	1,015		
Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)=	2,695		
Gravedad Específica Aparente del Agregado (Gsap) =	2,799		
Mezcla No.	PLASTICO 1%		
Muestra	1	2	3
Diámetro (cm)	10,16	10,16	10,16
Esfuerzo (golpes/c.lado)	75	75	75
Espesor (cm)	6,00	5,93	5,90
Masa seca en el aire (g)	1152,8	1090,0	1116,8
Masa superficialmente seca (g)	1155,8	1093,0	1120,1
Masa en el agua (g)	665,0	627,0	647,0
Volúmen (cc)	490,80	466,00	473,10
Gravedad Específica de Masa,Bulk (Kg/m ³)	2,349	2,339	2,361
Gravedad Específica efectiva	2,812		
Gravedad Específica Rice	2,538		
Vacíos de Aire (%)	7,45	7,84	6,99
Vacíos de Aire (%) (PROMEDIO)	7,43		
V.M.A.	18,16	18,50	17,75
V.M.A. (PROMEDIO)	18,14		
Contenido de Asfalto absorbido =	1,57%		
Contenido de Asfalto efectivo =	4,63%		
Gravedad específica máxima teórica =	2,538		
Flujo (0.001 pulg)	220,00	220,00	220,00
Flujo (%)	9,31	9,42	9,47
Estabilidad (Lb)	4071	4159	4188
Factor de corrección	1,08	1,19	1,16
Estabilidad (Lb), corregido	4401	4951	4847
PORCENTAJE DE ASFALTO			
Masa con asfalto	6390		
Masa sin asfalto	6000		
Plastico	63,9		
Porcentaje de asfalto de la mezcla, %	6,10		
Porcentaje de asfalto por agregado, %	6,50		
Porcentaje de plástico en la mezcla, %	1,00		

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria.

Tabla 24. Mezcla Asfáltica modificada con 2% de plástico

<i>EVALUACIÓN HORMIGÓN ASFALTICO - MÉTODO MARSHALL</i>			
Gravedad específica del Cemento Asfáltico (Gb) =	1,015		
Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)=	2,695		
Gravedad Específica Aparente del Agregado (Gsap) =	2,799		
Mezcla No.	PLASTICO 2%		
Muestra	1	2	3
Diámetro (cm)	10,16	10,16	10,16
Esfuerzo (golpes/c.lado)	75	75	75
Espesor (cm)	6,06	5,93	6,16
Masa seca en el aire (g)	1130,7	1124,0	1154,6
Masa superficialmente seca (g)	1133,2	1127,9	1156,3
Masa en el agua (g)	657,0	641,0	661,0
Volúmen (cc)	476,20	486,90	495,30
Gravedad Específica de Masa,Bulk (Kg/m ³)	2,374	2,308	2,331
Gravedad Específica efectiva	2,747		
Gravedad Específica Rice	2,488		
Vacíos de Aire (%)	4,57	7,22	6,31
Vacíos de Aire (%) (PROMEDIO)	6,03		
V.M.A.	17,27	19,57	18,78
V.M.A. (PROMEDIO)	18,54		
Contenido de Asfalto absorbido =	0,71%		
Contenido de Asfalto efectivo =	5,43%		
Gravedad específica máxima teórica =	2,488		
Flujo (0.001 pulg)	230,00	230,00	240,00
Flujo (%)	9,64	9,85	9,90
Estabilidad (Lb)	4307	4329	4157
Factor de corrección	1,14	1,10	1,06
Estabilidad (Lb), corregido	4924	4750	4418
PORCENTAJE DE ASFALTO			
Masa con asfalto	6390		
Masa sin asfalto	6000		
Plastico	127,8		
Porcentaje de asfalto de la mezcla, %	6,10		
Porcentaje de asfalto por agregado, %	6,50		
Porcentaje de plástico en la mezcla, %	2,00		

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria.

Tabla 25. Mezcla asfáltica modificada con el 3% de plástico

EVALUACIÓN HORMIGÓN ASFALTICO - MÉTODO MARSHALL			
Gravedad específica del Cemento Asfáltico (Gb) =	1,015		
Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)=	2,695		
Gravedad Específica Aparente del Agregado (Gsap)	2,799		
Mezcla No.	PLASTICO 3%		
Muestra	1	2	3
Diámetro (cm)	10,16	10,16	10,16
Es fuerzo (golpes/c.lado)	75	75	75
Espesor (cm)	6,06	5,86	5,96
Masa seca en el aire (g)	1151,0	1095,8	1047
Masa superficialmente seca (g)	1154,3	1097,8	1049,0
Masa en el agua (g)	665,0	625,0	599,0
Volúmen (cc)	489,30	472,80	450,00
Gravedad Específica de Masa,Bulk (Kg/m ³)	2,352	2,318	2,327
Gravedad Específica efectiva	2,699		
Gravedad Específica Rice	2,451		
Vacíos de Aire (%)	4,03	5,44	5,07
Vacíos de Aire (%) (PROMEDIO)	4,85		
V.M.A.	18,04	19,25	18,94
V.M.A. (PROMEDIO)	18,74		
Contenido de Asfalto absorbido =	0,06%		
Contenido de Asfalto efectivo =	6,05%		
Gravedad específica máxima teórica =	2,451		
Flujo (0.001 pulg)	240,00	240,00	240,00
Flujo (%)	10,06	10,40	10,23
Estabilidad (Lb)	4170	4061	3807
Factor de corrección	1,09	1,16	1,27
Estabilidad (Lb), corregido	4533	4706	4835
PORCENTAJE DE ASFALTO			
Masa con asfalto	6390		
Masa sin asfalto	6000		
Plastico	191,7		
Porcentaje de asfalto de la mezcla, %	6,10		
Porcentaje de asfalto por agregado, %	6,50		
Porcentaje de plástico en la mezcla, %	3,00		

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria.

4.1.5. Resumen de resultados.

Tabla 26. Resumen de Resultados.

RESUMEN DE RESULTADOS			
CRITERIO DE MEZCLA	MEZCLA		DIFERENCIA %
	Patrón	Modificada 3% plástico reciclado	
Número de Golpes en cada cara de la briqueta	75	75	0
Estabilidad en libras	2245.33	4691.33	108.94 %
Flujo en centésima de pulgada	10.41	10.23	1.73 %
Porcentaje de vacíos	4.44	4.85	9.23%
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA)	16.03	18.74	16.90 %
Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA)	72.31	74.15	2.54 %

Elaborado por: Marcillo Piña, Valeria.

4.1.6. Preparación de la mezcla asfáltica con plástico polietileno mediante proceso por vía húmeda.

Este proceso se desarrolla para estudiar el efecto del plástico al adicionarse al cemento asfáltico, para obtener una mezcla modificada con nombre Asfalto-Polietileno. Que es usada como un ligante modificado.

Para esta investigación, se realizaría el experimento añadiendo el plástico en porcentajes de 10%, 15%, y 20% con respecto al peso del cemento asfáltico.

Se tomó el valor medio, es decir el 15% con respecto al peso del cemento asfáltico, como un primer experimento. La mezcla de asfalto-polietileno fue realizada manualmente; pero estas pruebas no dieron los resultados esperados porque a medida en que se mezclaba el asfalto con el plástico a una temperatura de 150° C, éste se solidificó haciéndose una masa, después de 15 minutos de mezcla.



Ilustración 9. Mezcla asfalto-polietileno solidificada

CONCLUSIONES

- La estabilidad de las mezclas modificadas, están por encima casi duplicando la estabilidad de la muestra patrón, sin embargo, todas cumplen con la estabilidad Marshall para un asfalto de tráfico pesado, que, de acuerdo a las Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes, éste deberá ser como mínimo 1800 libras.
- De acuerdo a las Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes, los porcentajes de vacíos con aire en la carpeta asfáltica, deben estar en el rango entre el 3% - 5%; notándose que sólo la mezcla modificada con la adición de 3% de plástico reciclado cumple.
- La aplicación del método por vía seca, en planta, no implicaría la utilización de máquinas o equipamientos especiales ya que solo se necesitaría incorporar el plástico cuando los áridos estén calientes.
- La fabricación de las mezclas tradicionales y de las modificadas no presentan mayor diferencia, excepto en el tiempo y la temperatura de digestión para que el plástico pueda combinarse favorablemente.
- La mezcla modificada óptima de la investigación quedó constituida por 25% Cisco+30% Arena+20% Piedra 3/4+25% Piedra 1/2, 6.10% de asfalto y 3% de plástico.
- El método por vía húmeda no dio los resultados esperados, ya que la muestra se plastificó durante el proceso de mezclado con el asfalto. Para la presente

investigación, el mejor método para mezclar el asfalto con el plástico reciclado fue el proceso vía seca, como parte de los agregados.

RECOMENDACIONES

- Este trabajo debe ser complementado con un tramo de prueba que permita comprobar en obra el funcionamiento y la mejora en las propiedades de la mezcla obtenida en el laboratorio.
- Se debe tener en cuenta que el asfalto que llega a las plantas de producción de mezclas asfálticas, varía en sus propiedades en cada abastecimiento, por lo que se recomienda realizar ensayos básicos de caracterización, antes de empezar a trabajar con este asfalto.
- En el presente estudio se realizaron se obtuvieron valores de estabilidad y flujo como elemento de juicio para caracterizar la mezcla, sin embargo, se recomienda realizar ensayos donde se pueda obtener la caracterización dinámica de las mezclas en lo referente a módulos dinámicos, ya que de esta manera se obtiene información bastante clara del comportamiento de la mezcla en servicio y durante su vida útil.
- Es importante que se difunda la cultura ambiental desde los organismos principales del Estado, motivando a empresas constructoras y a las propias personas a optar por asfalto ecológico en la fabricación de pavimentos.
- Es recomendable que el plástico usado sea reciclado, dándole buen uso y destino; y que así no sean eliminados inadecuadamente porque provocan una mayor contaminación ambiental.

GLOSARIO DE TERMINOS

Ahuellamiento.- Deterioro superficial de la capa de rodadura.

Asfaltenos.- Son una familia de compuestos químicos orgánicos del petróleo crudo.

Ligante.- Producto que pega o aglutina los pigmentos a una determinada superficie.

Maltenos.- Fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición.

Reología. - Rama de la física que se dedica al estudio de la deformación.

Subrasante. - Capa fundamental en la estructura de una obra vial que esta encargada de soportar esfuerzos aplicados a la misma.

Triaxial. - Es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de resistencia al cortante.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Americana de Autoridades Estatales de carreteras y Transporte M 320 –*
(2012) Practica para clasificar o verificar el grado de desempeño de una carpeta de asfalto.
- Asociación Americana de Autoridades Estatales de carreteras y Transporte T 313 –*
(2012) Método de prueba para determinar la rigidez de flujo de flexión de la carpeta de asfalto.
- El comercio.com (abril 2017) Ecuador tiene un déficit en reciclar basura.
- Especificaciones Generales para la construcción de caminos y puentes. MOP-001-F
2002
- LORIA SALAZAR Luis Guillermo (2010, Costa Rica) Evaluación de Asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros.
- MAILA PAUCAR MANUEL ELÍAS. Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA) Tesis, Universidad Central del Ecuador
- MANUAL DEL ASFALTO – THE ASPHALT INSTITUTE, Manuel Velázquez; Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
- METAUTE HEREDIA Diana, CASAS OROZCO Daniel. Desarrollo de una mezcla asfáltica utilizando residuos plásticos. (2009)
- NORMA ECUATORIANA VIAL NEVI-12 – MTOP. Quito 2013
- ORESTES CARRASCO Dean. Estudio comparativo entre mezclas asfálticas en caliente y mezclas asfálticas con emulsiones tibias. Tesis, Universidad de Piura, Perú, 2004

PADILLA RODRÍGUEZ Alejandro. Mezclas asfálticas. Capítulo 3. Universidad Politécnica de Cataluña.

VEGA ZURITA Danilo. Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constituido del pavimento asfáltico. (2016)

www.ambiente.gob.ec (marzo 2016) Ecuador impulsa el Reciclaje.