



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Construcción Civil

**“Estudio de la Capacidad Física-Mecánica de  
Asfaltos Modificados con Polietileno de Ultra Alta  
Densidad Molecular o U.H.M.W.”**

**Por**

**Pedro Pablo Cabrera Vidal**

Tesis para optar al  
Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción  
y al Título de Ingeniero Constructor

**Prof. Guía: Javier Hernández H.  
Prof. Co-Referente: Guillermo Brante L.**

Abril 2015

## Agradecimientos

A mis padres por su incondicional e infinito apoyo,  
A mis tíos: Jorge, Oriana, Adolfo, José;  
que siempre se preocuparon de mi carrera,  
mi primo Jorge que en la última etapa fue como un hermano.

No puedo no reconocer y agradecer de sobre manera a los  
Pocos profesores que me ayudaron en  
Esta última etapa universitaria.

Especialmente a la profesora Gianella Adofacci  
quien tuvo la paciencia suficiente de hacerme entender “la forma”  
y don Guillermo Brante quien sin obstáculo alguno no dudo  
en poner a mi disposición el laboratorio de asfalto  
para realizar mi tesis.

Gracias a todas aquellas personas  
que curtieron y templaron mi carácter  
para hoy ponerme de pie frente a la vida profesional  
y no temer al fracaso.

## Dedicatoria

A mis padres que con su infinito amor y cariño  
hoy pueden ver realizado este momento,  
porque sin escatimar esfuerzo alguno,  
han sacrificado gran parte de sus vidas  
para formarme, educarme y darme los valores  
que hoy definen quien soy,  
que sin su ejemplo de superación y perseverancia,  
no hubiera sido posible  
la culminación de mi carrera profesional.

# Índice.

Lista de Tablas .....	7
Lista de Figuras .....	8
Listas de Abreviaturas y Siglas.....	9
Resumen .....	10
1.- Antecedentes Generales .....	12
1.1- Introducción.....	12
1.2.- Planteamiento del problema.....	12
1.3.- Objetivos.....	14
1.3.1.- General.....	14
1.3.2.- Específicos.....	14
1.4.- Alcances de la investigación.....	14
1.5.- Hipótesis.....	14
1.6.- Estado del arte y revisión bibliográfica.....	15
2.- Marco Teórico.....	17
2.1.- Composición química del asfalto.....	17
2.2.-Estructura química de los asfaltos.....	17
2.3.-Asfaltenos.....	18
2.4.- Maltenos.....	19
2.5.- Resinas.....	19
2.6.- Aromáticos.....	20
2.7.- Saturados.....	21
2.8.- Propiedades físicas del asfalto de pavimentación .....	21
2.8.1.- Durabilidad.....	21
2.8.2- Susceptibilidad a la temperatura.....	22
2.8.3.- Endurecimiento y envejecimiento.....	22
2.9.- Polietileno.....	23
2.10.- El U.H.M.W.....	24
2.10.1.- Propiedades del UHMW.....	25
2.11.- Asfaltos modificados.....	27

2.11.1.- ¿Qué es un asfalto modificado?.....	27
2.11.2.- Modificación del asfalto.....	28
2.11.3.- Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros.....	28
2.11.4.- Asfaltos modificados con polímeros tipo plastómeros.....	28
2.12.- Estructura de los asfaltos modificados.....	29
2.13.- Compatibilidad de los polímeros.....	29
2.14.- Antecedentes específicos.....	31
3.- Marco Metodológico.....	35
3.1.- Técnicas para modificar asfaltos.....	35
3.2.- Diseño mezclas asfálticas.....	36
3.3.- Método de diseño marshall.....	36
4.-Metodología.....	38
4.1.- Materiales y maquinaria.....	38
4.2.- Procedimiento.....	38
5.-Desarrollo Experimental.....	44
5.1.-Primera experiencia.....	44
5.2.- Informe dosificación para mezcla asfáltica en caliente.....	44
5.3.- Confección cemento asfáltico modificado.....	47
5.3.1.- Temperatura de digestión.....	47
5.3.2.- Extrusión RAM.....	48
5.3.3.- Proceso de digestión.....	48
5.4.- Asfáltico Modificado.....	50
6.- Registro de Datos.....	53
7.- Análisis y Comprobación de Resultados.....	56
7.1.- Presentación de Datos relevantes y Expresiones Graficas.....	56
Como se muestra en el gráfico, las diferentes estabilidades de las probetas, testeadas en el aparato Marshall, mostrando una diferencia en las estabilidades sin cambiar el porcentaje de asfalto, sino, solo el porcentaje de adición de agente modificador UHMW..	57
7.2.-Interpretacion de los Resultados.....	58
7.3.- Análisis de Resultados.....	58
8.- Conclusiones.....	60
8.1.- Recomendaciones.....	61
9. Bibliografía.....	63

10.-Anexo Tablas y Manuales.....	65
10.1.- Visación Marshall. ....	65
10.2.- Manual de Carreteras Volumen 8.302.38. ....	74
10.3. Manual de Carreteras Volumen 8.302.47. ....	77

## Lista de Tablas

Tabla 2.1: Composición química del asfalto.....	17
Tabla 2.2: Quadrant Plastics S.A. Tivar 1000 (Propiedades.) .....	25
Tabla 4.1: Granulometría reconstitución de mezcla asfáltica. ....	40
Tabla 5.1: Determinación porcentaje de asfalto óptimo.....	45
Tabla 5.2: % Agente Modificador para 200gr. ....	45
Tabla 5.3: Propiedades Térmicas UHMW. ....	47
Tabla 6.1: Ej. Visación Marshall. ....	53
Tabla 6.2: Resumen Marshall. ....	54
Tabla: 7.1: Estabilidad v/s Fluidez.....	57
Tabla A.1: Modificación U.H.M.W. 0,5% .....	65
Tabla A2: Modificación U.H.M.W. 1,0% .....	66
Tabla A3: Modificación U.H.M.W. 1,5% .....	67
Tabla A4: Modificación U.H.M.W. 2,0% .....	68
Tabla A5: Modificación U.H.M.W. 2,5% .....	69
Tabla A6: Modificación U.H.M.W. 3,0% .....	70
Tabla A7: Modificación U.H.M.W. 5,0% .....	71
Tabla A8: Modificación U.H.M.W. 7,0% .....	72
Tabla A9: Modificación U.H.M.W. 10.0% .....	73

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Dilución del Asfalto. ....	18
Figura 2.2: Asfaltenos. ....	19
Figura 2.2: Resinas. ....	20
Figura 2.3: Aromáticos. ....	20
Figura 2.4: Saturados. ....	21
Figura 2.5: Comportamiento del Asfalto Consistencia V/S Temperatura. ....	22
Figura 2.6: Comparativa de longitud de cadenas de moles y sus usos. ....	26
Figura 2.7: Microfotografía. ....	30
Figura 4.1: Diagrama reconstitución mezcla asfáltica. ....	39
Figura 4.2: Balanza digital. ....	40
Figura 4.3: Tamizado y secado. ....	41
Figura 4.4: Horno de convección. ....	41
Figura 4.5: Mezcla cemento asfáltico modificado por vía húmeda. ....	42
Figura 5.1: Cemento asfáltico probisa CA-24. ....	44
Figura 5.2: Escamas de Polietileno. ....	46
Figura 5.3: Polvo Polietileno. ....	46
Figura 5.4: Taladro pedestal. ....	48
Figura 5.5: Malla revolvedora. ....	49
Figura 5.4: Prensa Marshall. ....	50
Figura 5.5: Desmoldador hidráulico. ....	51
Figura 7.1: Estabilidad Marshall. ....	56
Figura 7.2: Fluidez Corregida. ....	57

## Listas de Abreviaturas y Siglas.

A.A.S.T.H.O.= American Association of State Highway and Transportation Officials

A.S.T.M. = American Society for Testing and Materials

A.M. = Asfalto Modificado

C.A. = Cemento Asfáltico

E.V.A. = ethylene vinyl acetate

F.D.A = Food and Drug Administration

H.D.P.E. = High Density Polyethylene

H.M.W.P.E. = High molecular weight polyethylene

I.T.S. = Índice de Tracción Indirecta

L.D.P.E. = Low Density Polyethylene

M.C.V. = Manual de Carretera Volumen

M.O.P. = Ministerio de Obras Publicas

P.E. = Polyethylene o Polietileno

P.E.A.D. = Polietileno de Alta Densidad

P.E.B.D. = Polietileno de Baja Densidad

P.S. = polystyrene o Poliestireno

P.T.F.E. = Politetrafluoroetileno

P.V.C.= Polyvinyl Chloride o Policloruro de Vinilo

S.B.S. = Estireno-Butadieno-Estireno

S.S.S. = Saturada Superficialmente Seca

U.H.M.W. = Ultra high molecular weight

## Resumen

El presente trabajo, fue realizado con el fin de evaluar a través del ensaye Marshall el cambio en la resistencia mecánica que experimentan las mezclas asfálticas densas en caliente, cuando se adicionan por vía húmeda, al cemento asfáltico U.H.M.W.

Es necesario adecuarse a las demandas actuales de tráfico de las vías, pero también se deben prever las futuras, esto se logra con la utilización de nuevos materiales para categorizarlo y evaluar sus propiedades físicas-mecánicas, mediante normas y ensayos.

En esta investigación se evaluaron las características físico-mecánicas del asfalto convencional y del asfalto modificado con U.H.M.W., además de los agregados utilizados para el diseño de la mezcla asfáltica modificada, de acuerdo a los procedimientos y especificaciones aplicables indicados por AASHTO y ASTM.

Encontrando así una mejora sustancial en comparación al convencional, los abre nuevas posibilidades para seguir trabajando en la investigación de este material.

---

**CAPÍTULO 1**  
**ANTECEDENTES GENERALES**

---

# 1.- Antecedentes Generales

Este capítulo hace referencia a la información general que se debe abordar, antes de comenzar con el desarrollo de la investigación propiamente tal.

## 1.1- Introducción.

El asfalto modificado es una técnica usada en varios países con el fin de aprovechar de los polímeros u otros materiales sus características, adicionados a los cementos asfálticos para incrementar así algunas propiedades, características del agente incorporado en el nuevo cemento asfáltico.

Con esto se puede mejorar las características mecánicas; es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular); además, incrementan la adherencia en la interface entre el material pétreo (reología) y el material asfáltico. Estas mezclas aumentan la resistencia a la deformación, a los esfuerzos de tensión repetida y, por lo tanto a la fatiga, reduciendo el agrietamiento; así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura.

Esto se ve fundamentado principalmente en los estudios que se han realizado desde la década de los 60's (cuando se crearon los primeros asfaltos modificados).

A la fecha, además de la incorporación actual en el mercado local, como es el asfalto modificado SBS de "Bitucret".

## 1.2.- Planteamiento del problema.

En lo que concierne al aspecto histórico de la modificación de ligantes hidrocarbonados con polímeros, la idea de modificar asfalto con polímeros se remonta a 1960 en Italia, Francia y Alemania, donde se llevaron a cabo los primeros proyectos de prueba. En esta época en Estados Unidos también surgió la inquietud llevándose a cabo los primeros proyectos de construcción en 1960. En Italia se construyeron más de 1000 Km. de carreteras con este tipo de asfalto, poniendo capas de rodamiento con asfaltos modificados con polímeros ya sea base seca o látex.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Está plenamente probado por experiencias históricas que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes para soportar dicho estrés. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el

problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (Ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corren el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Está plenamente probado con los antecedentes previamente revisados, que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular y el exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras y pavimentos actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y fisuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, nulo mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Por ejemplo: “con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además con asfaltos con mayor dureza se corre el riesgo de formaciones de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.” (Vásquez, Ruiz, Idilat. 2010)

### **1.3.- Objetivos.**

#### 1.3.1.- General.

Analizar las características mecánicas del asfalto modificado con polietileno de ultra alta densidad molecular, a través del ensaye Marshall, en un análisis comparativo contra el convencional.

#### 1.3.2.- Específicos.

- Proponer así una dosificación óptima, para una resistencia mayor a los asfaltos modificados con Polietileno de alta densidad tradicional
- Diseñar una mezcla en el cual se utilice asfalto modificado con material de desecho de U.H.M.W.
- Ensayar las características mecánicas de estabilidad y fluidez en los asfaltos modificados con U.H.M.W. a través de la prensa Marshall.
- Encontrar dosificación óptima del agente modificador (U.H.M.W.)
- Identificar ventajas y desventajas que tiene el asfalto modificado con polímeros respecto al asfalto convencional. (costo-beneficio.)

### **1.4.- Alcances de la investigación.**

- Este trabajo se desarrolló considerando los elementos disponibles en el laboratorio de asfalto, correspondientes al departamento de vialidad del MOP V región.
- Se evaluó la resistencia del asfalto modificado solo mediante el ensaye Marshall.
- La modificación del asfalto se realizó mediante vía húmeda de acuerdo a los protocolos de la ASSHTO, ASTM y al manual de carreteras vol 8.
- El polímero que se utilizó es de fuente propia y corresponde a Hostalen GUR.

### **1.5.- Hipótesis.**

*La dosificación de un cemento asfáltico con polietileno de alta densidad UHMW, modificará sus características, físicas, volviéndolo más dúctil, duro y menos susceptible a la oscilación térmica.*

## 1.6.- Estado del arte y revisión bibliográfica.

En lo que se refiere a las propiedades mecánicas existen estudios avalando las mejoras que se pueden producir con asfaltos modificados.

2007 Rondón Quintana, presentó unos resultados experimentales de ensayar una mezcla asfáltica densa en caliente tipo MDC-2 (acorde con las especificaciones del Instituto Nacional de Vías - INVIAS, 2007) modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD). Para la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales (sin aditivo)

2012 Munera Ossa trata de las técnicas utilizadas para caracterizar el asfalto crudo y modificado que permitieron establecer diferentes niveles de modificación y Análisis de un asfalto modificado con incorpor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente

2008 Figueroa Infante, Reyes Lizcano presentan los resultados obtenidos al elaborar una mezcla asfáltica MDC-2 con asfalto modificado con Incorpor (poliestireno), resultado de la trituración de vasos desechables, con el ánimo de mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas tipo rodadura y garantizar la durabilidad de las mismas bajo las solicitaciones impuestas en el período de diseño.

Sobre el polietileno de alta densidad común también se encuentran papers reveladores sobre sus análisis y resultados en mezclas asfálticas en caliente, pero no hay mención alguna sobre la adición de U.H.M.W.

Resistencia mecánica evaluada en el ensayo Marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfalto modificado con desecho de polietileno de alta densidad (pead.)

2007 Rodríguez, Moreno buscó evaluar en laboratorio el cambio en la resistencia mecánica que experimentan mezclas asfálticas densas en caliente cuando se adicionan, por vía húmeda, al cemento asfáltico aditivos poliméricos producto de desechos industriales del tipo plastómeros.

A diferencia de este último la investigación no solo se basa en el material de desecho del UHMW sino que también se considera la inclusión de material virgen de este polímero como materia prima, a pesar de ser molecularmente similares, el HDPE y el UHMW en sus prestaciones son abismalmente diferentes.

---

**CAPÍTULO 2**  
**MARCO TEÓRICO**

---

## 2.- Marco Teórico.

Este capítulo aborda toda la información requerida para lograr comprender, qué es y cómo funciona el asfalto, el UHMW y la combinación de estos dos compuestos. Desde sus orígenes hasta su combinación.

### 2.1.- Composición química del asfalto.

La composición del asfalto es una “Enciclopedia” de Química Orgánica. En un análisis detallado de los asfaltos encontramos: saturados, anillos nafténicos y aromáticos, sencillos o múltiples, radicales ácidos, aldehídos, cetonas, está constituido por cadenas de Peso Molecular de hasta 200.000gr/mol.

**Tabla 2.1: Composición química del asfalto.**

ELEMENTO	BETUN A	BETUN B	BETUN C	BETUN D
CARBONO (%)	83.77	85.78	82.90	86.77
HIDROGENO (%)	9.91	10.19	10.45	10.93
NITROGENO (%)	0.28	0.26	0.78	1.10
AZUFRE (%)	5.25	3.41	5.43	0.99
OXIGENO (%)	0.77	0.36	0.29	0.20
VANADIO (PPM)	180	7	1380	4
NIQUEL (PPM)	22	0.4	109	6

Fuente: Repsol S.A.

La composición química de los asfaltos es muy compleja, básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual procede.

El análisis químico del asfalto es muy laborioso, sin embargo, es posible distinguir dos grandes grupos que lo constituyen: los asfaltenos y maltenos.

Dentro del grupo de los maltenos, podemos distinguir a tres grupos estructurales con propiedades definidas y son los saturados, aromáticos y resinas.

### 2.2.-Estructura química de los asfaltos.

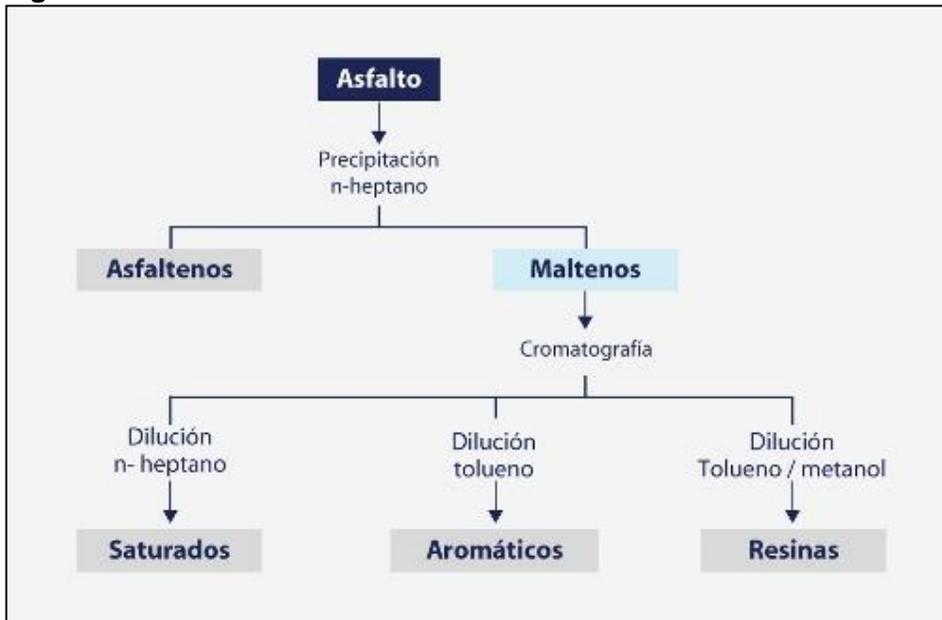
Cuando el asfalto es disuelto en n-heptano, los materiales duros son precipitados, estos materiales son llamados asfaltenos, nombre propuesto por Boussingault en 1837.

Existen otras fracciones asfálticas precipitadas por otros solventes, pero esta es la mejor manera de distinguir a estos materiales como insolubles en n-pentano.

Las sustancias solubles en n-heptano se denominan en general petrolenos, también llamados maltenos. Las resinas se encuentran en los maltenos, pueden ser parcialmente precipitadas por algunos solventes o absorbidas de los maltenos por medio de arcillas u otras minerales activados, estas resinas, previamente absorbidas, pueden pasar a un proceso de desorción (operación, inversa de la absorción) del mineral por solventes previamente seleccionados.

Los carbonos son materiales duros presentes en los asfaltenos de algunos asfaltos. Estos son solubles en disulfuro de carbono pero insolubles en tetracloruro de carbono.

**Figura 2.1: Dilución del Asfalto.**

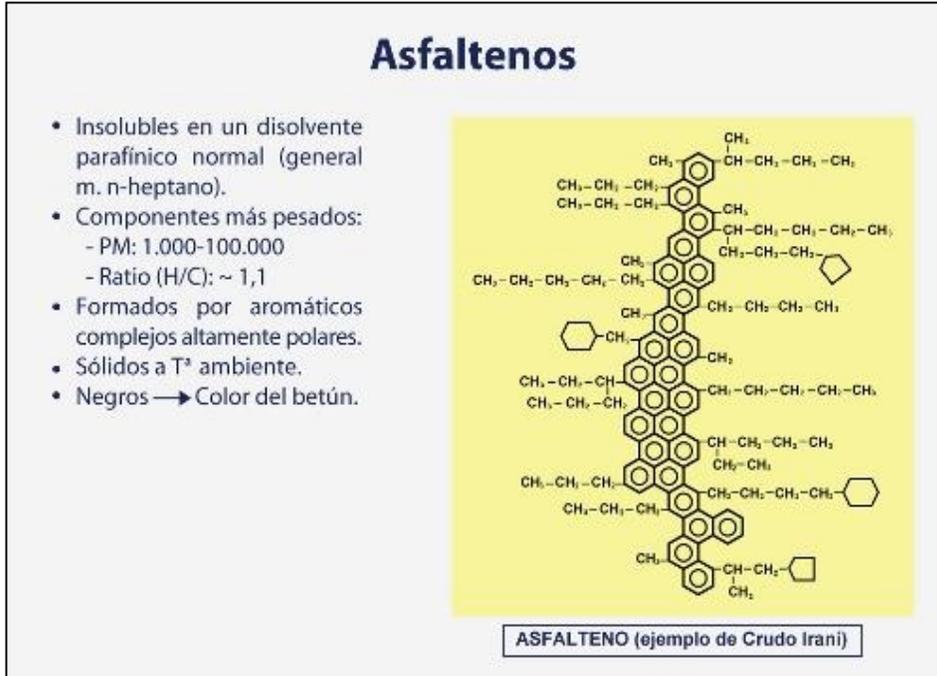


Fuente: Repsol S.A.

### 2.3.-Asfaltenos.

Son estructuras complejas de compuestos aromáticos de color negro o marrón que contienen además del carbón otros elementos químicos tales como nitrógeno, azufre, oxígeno, en general, son compuestos polares, de alto peso molecular.

Figura 2.2: Asfaltenos.



Fuente: Repsol S.A.

## 2.4.- Maltenos.

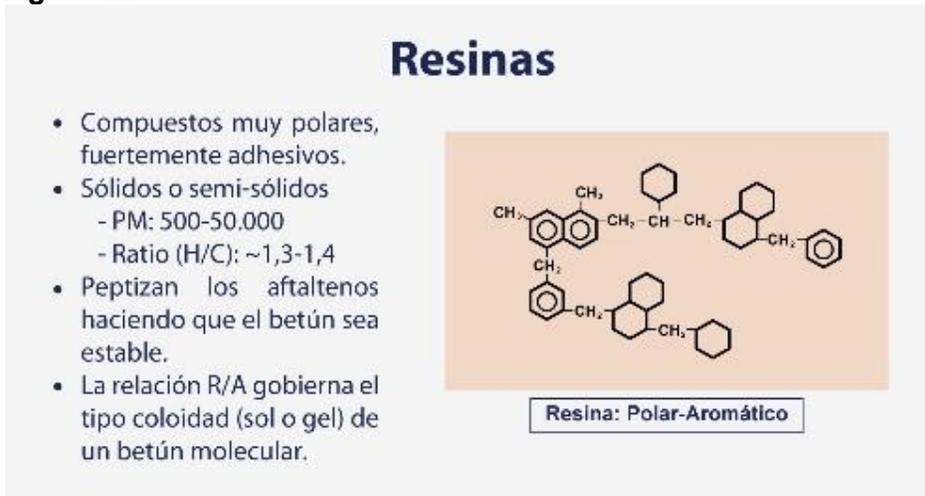
Son sustancias solubles en normal n-heptano y está constituido por resinas, saturados y aromáticos.

Son compuestos muy polares de colores marrones o marrón claro, sólidos o semisólidos, solubles en n-heptano y, al igual que los asfaltenos, son compuestos de carbón, hidrógeno y cantidades menores de nitrógeno, oxígeno y azufre.

## 2.5.- Resinas.

Las resinas son materiales muy adhesivos y actúan como dispersantes o peptizantes de los asfaltenos.

Figura 2.2: Resinas.



Fuente: Repsol S.A.

## 2.6.- Aromáticos.

Los aromáticos constituyen entre el 40 y 65 % de la composición total de los asfaltos, son las fracciones de menor peso molecular en la estructura de los asfaltos, representan la mayor proporción de los dispersantes de los asfaltenos peptizados. Los aromáticos son compuestos donde predominan las moléculas insaturadas de peso molecular de entre 300 a 2000, no polares, con especial capacidad para actuar como disolventes de otras cadenas hidrocarbonadas de alto peso molecular.

Figura 2.3: Aromáticos.

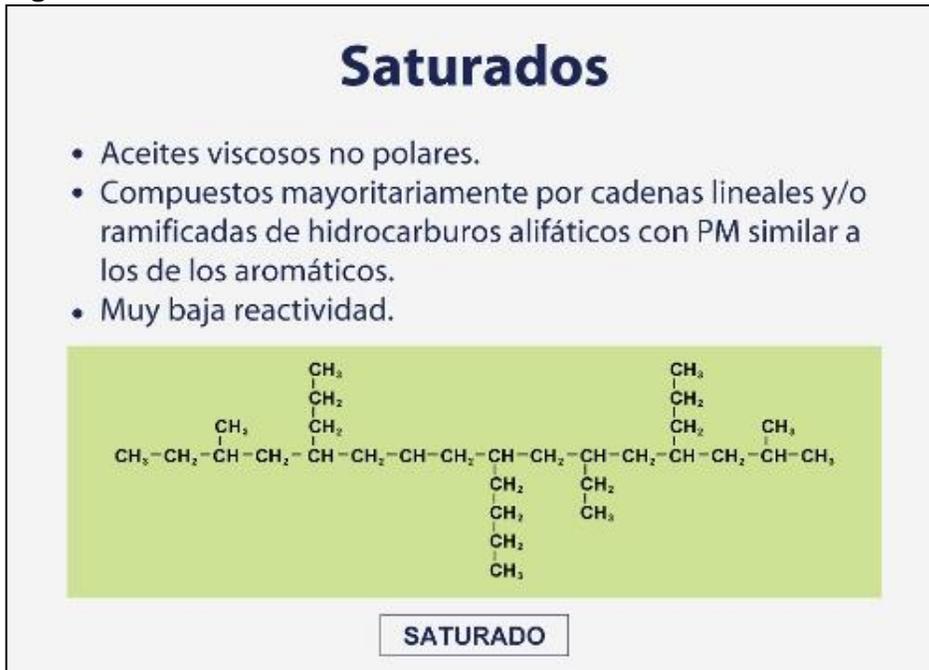


Fuente: Repsol S.A.

## 2.7.- Saturados.

Son cadenas lineales y ramificadas, saturadas, no polares.

Figura 2.4: Saturados.



Fuente: Repsol S.A.

## 2.8.- Propiedades físicas del asfalto de pavimentación

Las propiedades físicas de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos son:

### 2.8.1.- Durabilidad.

Es la medida de qué tanto puede retener un asfalto, sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

### 2.8.2- Susceptibilidad a la temperatura.

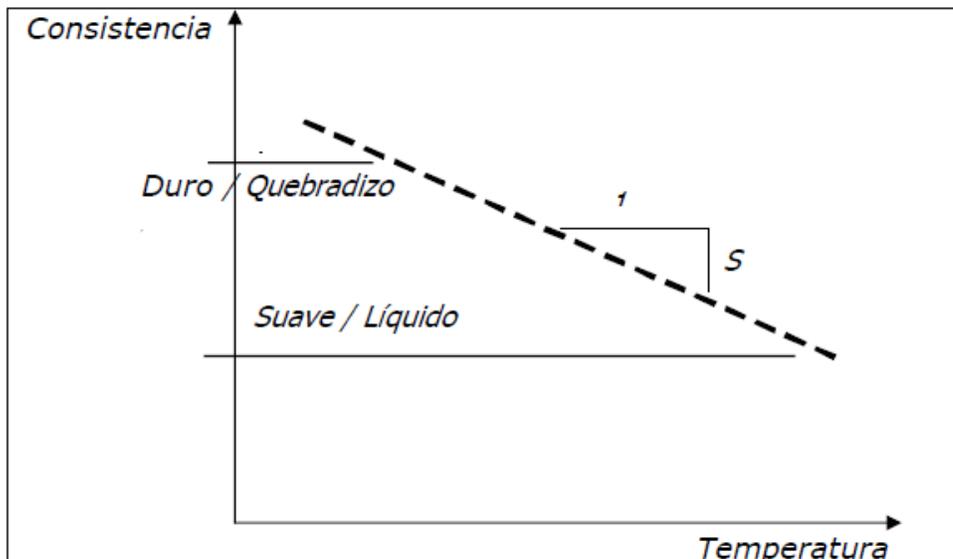
El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura.

La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia.

Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación.

Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

**Figura 2.5: Comportamiento del Asfalto Consistencia V/S Temperatura.**



Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute 2007.

La gráfica muestra cómo el asfalto cambia de consistencia conforme cambia de temperatura, a este cambio se le conoce como susceptibilidad térmica y es la pendiente de la recta (S).

### 2.8.3.- Endurecimiento y envejecimiento.

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el

proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas, mientras está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa.

No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más las causas principales son la oxidación y la polimerización.

Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene en el pavimento terminado, una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas del agregado.

En resumen podemos definir que el comportamiento del asfalto depende básicamente de tres factores:

- Temperatura
- Tiempo de carga
- Envejecimiento

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.

## **2.9.- Polietileno.**

El polietileno (PE) es un polímero resultado de la polimerización del etileno. Es posiblemente el plástico más popular del mundo. Comúnmente se distinguen dos tipos, el de baja densidad, el de alta densidad. El U.H.M.W. que es el utilizado en la experiencia.

Se pueden clasificar en base a su densidad (de acuerdo al código ASTM) como:

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)
- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

El polietileno de alta densidad (HDPE) se produce normalmente con un peso molecular que se encuentra en el rango entre 200.000 y 500.000 gr/mol, pero puede ser mayor. Es un polímero de cadena lineal no ramificada. Es más duro, fuerte y un poco más pesado que el

de baja densidad, pero es menos dúctil. El polietileno con peso molecular entre 3.000.000 y 6.000.000 gr/mol es el que se denomina UHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene). Con este material se producen fibras, tan fuertes, que pueden utilizarse para fabricar chalecos a prueba de balas, con adición de kevlar.

## **2.10.- El U.H.M.W.**

Este miembro de la familia del polietileno tiene muchas aplicaciones en varios sectores. Es uno de los más pesados de esta familia, y sus propiedades lo colocan entre los plásticos de ingeniería. Su uso comienza a popularizarse gracias a una aplicación que podemos ver muy fácilmente: las tablas para picar que encontramos en tiendas departamentales, de color blanco. De hecho su presentación comercial es en forma de tablas, bloques, barras, tubos huecos y perfiles, ya que este plástico tiene tan alto peso molecular que la maquinaria convencional para procesamiento de termoplásticos, como las extrusoras e inyectoras, no pueden procesarlo, y el polvo blanco que se obtiene de los reactores se procesa por compresión o por un proceso especial llamado extrusión RAM.

Este plástico conserva su buen desempeño aún a bajas temperaturas y sus resistencias química y mecánica son superiores. Y como todos los miembros de la familia, no absorbe humedad, se puede utilizar en la industria alimentaria y su aspecto ceroso proporciona excelente lubricidad. Las propiedades que más se han explotado en este plástico son su excelente resistencia al impacto y al desgaste por abrasión. Por eso es el preferido cuando se trata de fabricar piezas maquinadas como engranes, husillos de transporte, juntas, y todo tipo de piezas mecánicas que necesiten excelente resistencia al desgaste por abrasión y que deban estar en ambientes húmedos; ya que su competencia directa, las poliamidas, tienen el inconveniente de ser grandes absorbedores de agua.

Las propiedades que más se han explotado en este plástico son su excelente resistencia al impacto y al desgaste por abrasión. Por eso es el preferido cuando se trata de fabricar piezas maquinadas como engranes, husillos de transporte, juntas, y todo tipo de piezas mecánicas que necesiten excelente resistencia al desgaste por abrasión y que deban estar en ambientes húmedos; ya que su competencia directa, las poliamidas, tienen el inconveniente de ser grandes absorbedores de agua. Quizá sean estas aplicaciones netamente industriales las que mantienen al UHMWPE un poco desconocido para la mayoría de la gente. Las maquinarias para procesamiento de alimentos están dejando al acero inoxidable y usando los mismos elementos, pero de UHMWPE auto lubricado, totalmente atóxico, que no absorbe humedad, resistente mecánicamente, más ligero y fácil de maquinar. Otra aplicación importante está en el campo de las prótesis (como las de rodilla o cadera). Tradicionalmente para esto se utilizaban piezas de platino u otros materiales, pero el problema era que el paciente no recuperaba ni siquiera un mínimo de movilidad en estas partes del cuerpo, pues una pieza de platino no podía rotar sobre un hueso, y así quedaba condenado a una silla de ruedas o a usar muletas o bastones, ni hablar de su vida deportiva. El UHMWPE puede entrecruzarse y hacerse mucho más resistente, y fabricar prácticamente

cualquier forma caprichosa, pues la cabeza del fémur o la rótula de estos pacientes se puede fabricar a su medida anatómica, brindando al paciente una nueva oportunidad de poder recuperar movilidad, e incluso se han reportado casos en los que el paciente puede volver a practicar deporte (no a nivel profesional). A casi ocho años de estos primeros implantes, no se han reportado rechazos ni problemas secundarios derivados del uso de este plástico.

Ventajas:

- Fácil de maquinar (matricería y modelación).
- Alta duración.
- Bajo peso (más ligero que el agua).
- Buena resistencia química (a algunos ácidos, solventes orgánicos, medios salinos).
- Aprobado para estar en contacto con alimentos (FDA).
- Bajo coeficiente de fricción.

Limitaciones en aplicación:

- Abrasión con alta carga.
- Alta compresión.
- Alto esfuerzo cortante
- Temperatura superior a 80°C

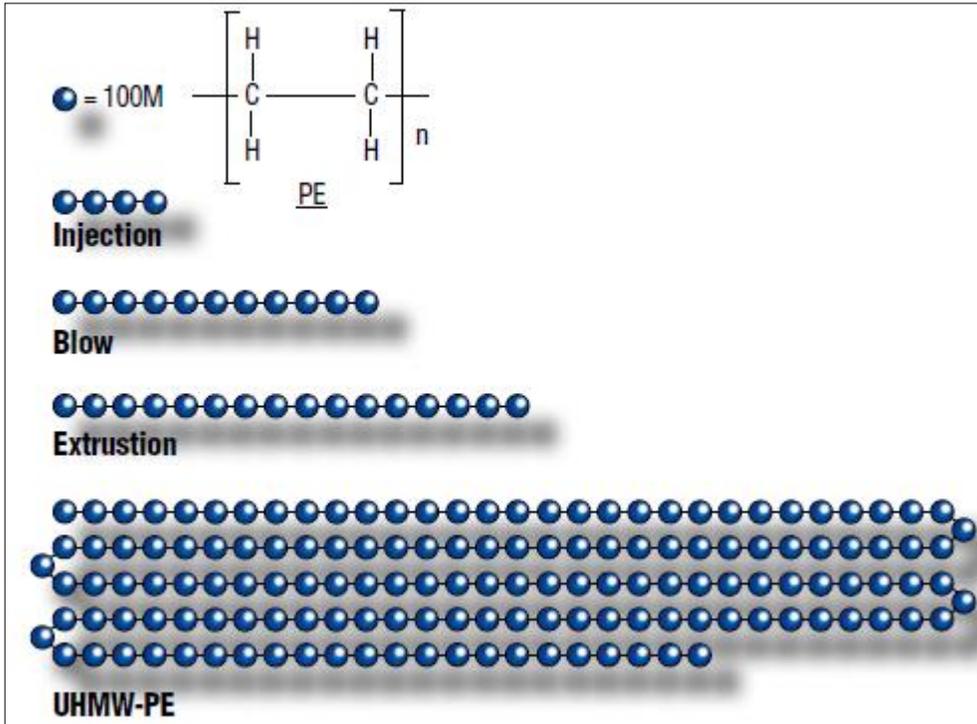
### 2.10.1.- Propiedades del UHMW.

**Tabla 2.2: Quadrant Plastics S.A. Tivar 1000 (Propiedades.)**

Propiedades Térmicas (2)				
Punto de Fusión		-	°C	135
Temperatura de Transición Vítre (3)		-	°C	-
Conductividad Térmica a 23°C		-	W/(k.m)	0,4
Coeficiente de Dilatación:				
- valor medio entre 23 y 60°C		-	m/(m.k)	
- valor medio entre 23 y 100°C		-	m/(m.k)	200x10 <sup>-6</sup>
Temperatura de Transformación por Calor:				
- por el método A: 1,8 Mpa		75	°C	42
Temperatura Máxima de Servicio en Aire:				
- en periodos cortos (4)		-	°C	120
- en continuo: durante 5.000 / 20.000 h (5)		-	°C	80
Temperatura Mínima de Servicio (6)				-200
Inflamabilidad (7):				
- índice de oxígeno		4589	%	<26
- con respecto a la clasificación UL94 (para 3 / 6mm de espesor)		-	-	HB/HB
Propiedades Mecánicas a 23°C (8)				
Ensayo a Tracción (9):				
- elongación en el punto de fluencia / (seca)	+	527	Mpa	15
- esfuerzo a la rotura (10) (húmeda)	++	527	MPa	10
- elongación a la rotura (10)	+	527	%	>50
	++	527	%	-

Fuente: Quadrant plastic S.A.

**Figura 2.6: Comparativa de longitud de cadenas de moles y sus usos.**



Fuente: UTEC Plastics. U.H.M.W. (what is it?)

- 1.- El UHMW (0,92gr/cm<sup>3</sup>) es más liviano que el HDPE (0,95gr/cm<sup>3</sup>) tradicional.
- 2.- El UHMW es más de 1000 veces más resistente al impacto que el HDPE.  
UHMW (170Kj/m<sup>2</sup>) v/s HDPE (15Kj/m<sup>2</sup>)
- 3.- El UHMW es 4 veces más resistente a la abrasión, basado en el sand slurry test iso 15527.

El HDPE utilizado mayoritariamente en el país es fabricado en el oeste asiático ya sea, Corea, Indonesia, China, Taiwán y este en de baja calidad de hecho no es HDPE real ya que su peso molecular no llega a los 500.000 gr/mol, sino que se maneja cerca de los 250.000 y 400.000gr/mol, y a diferencia de UHMW que se necesita que sea un material de calidad, debido a que su uso es destinado a trabajos en los que se necesita explotar sus propiedades y no ductilidad, manejabilidad y/o trabajabilidad.

Si bien el UHMW es más costoso que el HDPE, este tiene una trabajabilidad y desempeño mejores lo que alarga su duración en 4 a 5 veces más.

## 2.11.- Asfaltos modificados.

La modificación del asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías o carreteras. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los procesos de modificación de asfalto con polímeros son muy utilizados para lograr crear asfaltos que por sí solos no son muy recomendables para algunas aplicaciones, ya sea por su alta susceptibilidad térmica, por su tendencia a oxidarse prematuramente o por su alto contenido de compuestos saturados y aromáticos. La modificación de asfaltos se puede realizar mediante la mezcla simple de asfalto y polímeros a temperaturas que pueden oscilar entre 140 a 190°C, o también buscando una reacción química entre ambos, en cualquiera de los casos, el asfalto se apropia parcialmente de las propiedades del polímero con el cual se combine.

### 2.11.1.- ¿Qué es un asfalto modificado?

Son aquellos que tienen un aditivo (polímero o hule de neumático en desuso) con el fin de modificar y mejorar algunas de sus características mecánicas y reológicas, el cual se le adiciona agente modificadores para cambiar sus propiedades naturales y funcionar con propiedades plásticas - elastoméricas, es decir, su dureza, elasticidad, durabilidad, resistencia a temperaturas extremas y retracción elástica.

Los asfaltos modificados tienen como objetivo contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez y estabilidad a altas temperaturas y Flexibilidad y retracción elásticas a bajas temperaturas.

La modificación ofrece las siguientes ventajas:

1. Mayor cohesión, ya que el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
2. Mayor resistencia al envejecimiento, ya que mantiene las propiedades del ligante.
3. Disminuye la susceptibilidad térmica.
4. Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
5. Mejor impermeabilización, ya que en los sellados bituminosos, absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.

La adición de un modificador puede incrementar la rigidez y mejorar la componente elástica del cemento asfáltico, reflejándose en los factores de ahuellamiento y fisuramiento.

### 2.11.2.- Modificación del asfalto.

La modificación de asfaltos nace en parte de la reutilización de materiales de desecho tales como, el hule en desuso de neumáticos, envases de poliestireno expandido, etc. Encontrando así mayores estabilidades y prestaciones de servicio, pero siempre teniendo en cuenta el costo – beneficio de este, además de evitar incorporar un costo extra al valor del cemento asfáltico.

El proceso de elaboración del asfalto modificado depende principalmente del tipo de modificante que se vaya a ocupar, dependiendo así si se trata de un polímero; plastómero o de un elastómero.

### 2.11.3.- Asfaltos modificados con polímeros tipo elastómeros.

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos.

Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto).

En general su resistencia al envejecimiento (oxidación) es excelente, debido a que la mayoría de los polímeros que se utilizan para modificar el asfalto no son biodegradables. Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrape.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.

### 2.11.4.- Asfaltos modificados con polímeros tipo plastómeros.

Debido a la forma en que estos polímeros se incorporan al asfalto aumentan de forma considerable su viscosidad, incluso en bajas dosificaciones.

Si se aumenta la concentración del polímero, se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto.

*“Esto sucede cuando el contenido del polímero va de 8 – 10%, en este punto, el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación además de su recuperación elástica.” (Vásquez, Ruiz, Idilat. 2010)*

## 2.12.- Estructura de los asfaltos modificados.

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micromorfología compuesta y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas) permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas. (Figueroa, Fonseca, Reyes. 2008)

## 2.13.- Compatibilidad de los polímeros.

Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta, el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.) y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

*“Al mezclar un polímero con un asfalto en caliente sin precauciones especiales ocurre uno de los siguientes tres casos:*

1. *Mezcla heterogénea. Ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles. Los componentes de la mezcla se separan y el conjunto presenta las mismas características que el ligante original.*
2. *Mezcla totalmente homogénea. Incluso molecularmente es el caso menos frecuente de compatibilidad perfecta. En este caso, el ligante es extremadamente estable, pero la modificación de sus propiedades de uso es muy débil respecto al asfalto original y sólo aumenta su viscosidad. Este no es el resultado deseado.*
3. *Mezcla micro-heterogénea. Constituida por dos fases finamente enlazadas. Esta es la compatibilidad deseada, que permite realmente modificar el ligante. En un sistema de estas características, el polímero compatible se hincha luego de absorber una parte*

*de las fracciones aceitosas ligeras del asfalto para formar una fase polimérica diferente de la fase asfáltica residual, constituida por las fracciones deseadas del ligante, los aceites restantes, las resinas y los asfaltenos”*

*(Montejo, 2006).*

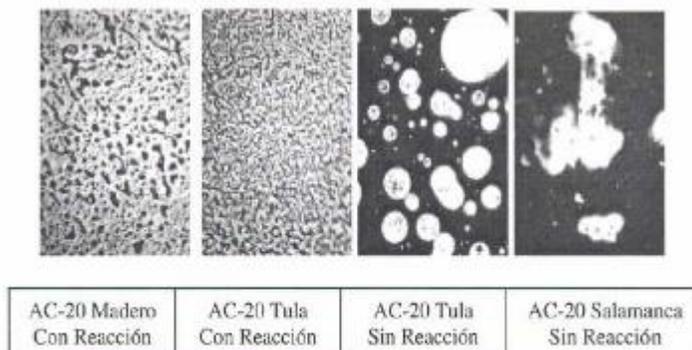
A este último comportamiento en el que el polímero se hincha para luego absorber parte de las fracciones aceitosas se le denomina **proceso de digestión**.

Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En las microfotografías mostradas en la Figura 2.1.6. nos muestran polímeros tipo SB (estireno-butadieno) o SBS (estireno-butadieno-estireno) en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto). Las dos primeras presentan una red continua de polímero, teniendo una estructura estable que no se separa, tomando ventaja de las propiedades elásticas del polímero. Las dos siguientes no están en red, separadas durante el almacenaje, y por tanto, no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades.

**Figura 2.7: Microfotografía.**



**Fig. 1.** Microfotografías (Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E).

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

Algunos productores de asfalto modificados con polímeros utilizan procesos especiales para lograr compatibilidad entre el polímero y el asfalto.

Cuando la tecnología es apropiada, las propiedades del ligante pueden reducir el efecto de rodado, el desprendimiento de pétreos el agrietamiento térmico o fluencia de la mezcla, así como el incremento en la vida útil del pavimento, debido a una mayor estabilidad y resistencia a la fatiga.

## 2.14.- Antecedentes específicos.

Dentro de los antecedentes que se manejarán para poder realizar la experiencia del asfalto modificado se debe tener en consideración estudios, que avalen la necesidad de realizar dicha experiencia, para crear así un trabajo innovador y renovador con la posibilidad de encontrar resultados positivos.

De los estudios investigados, en lo que respecta a la utilización de materiales de desecho en la modificación del asfalto, se tiene:

*“De los distintos tipos de asfaltos modificados predominan los asfaltos modificados con materiales de desecho tales como: bolsas de polietileno, caucho de neumáticos en desuso y poliestireno expandido, correspondiente a los vasos plásticos de café, los cuales no influyen de forma significativa en el aumento de costo directo de este, sino más bien ayudan a reciclar dichos materiales.”* (Heshmat, 1995).

Con respecto a las mejoras producidas, debido a la incorporación de polímeros del asfalto modificado, se tiene un conocimiento general, que se referencia de la siguiente forma:

*“Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica.*

*Todo esto dependiendo del tipo de agregado al modificarlo.”* (Vásquez, Ruiz, Idilat)

Un estudio medianamente reciente, realizado el 2007 por Rondón, Rodríguez, Moreno, correspondiente a un artículo de la revista “Ingenierías” de la universidad de Medellín, Colombia expuso una serie de ensayos y conclusiones respecto a la modificación del asfalto vía polímero en caliente el cual se titula “Resistencia mecánica evaluada en el ensayo marshall de mezclas densas en caliente elaboradas con asfaltos modificados con desechos de policloruro de vinilo (pvc), polietileno de alta densidad (pead) y poliestireno (PS)” del cual se puede extraer a grandes rasgos lo siguiente:

*“En términos generales, los asfaltos modificados con polímeros mejoran sus propiedades, como menor susceptibilidad a la temperatura, mayor intervalo de plasticidad,*

*mayor cohesión, mejor respuesta elástica, al igual que mayor resistencia al agua y al envejecimiento”*

*“Las mezclas asfálticas modificadas con PVC, PEAD y PS, presentan un incremento notable de la rigidez y presentan una resistencia mayor a la penetración que el asfalto convencional.”*

*“La mezcla modificada presenta un mejor comportamiento frente a la convencional. En comparación con la mezcla asfáltica convencional, la modificada con 6.0% de cemento asfáltico:*

*Presenta valores superiores de peso unitario cuando se adiciona entre 0.7 y 1.5% de PEAD”*

(Rondón, Rodríguez, Moreno 2007).

También en una comparativa de los asfaltos modificados en caliente y las nuevas tendencias de los micro-pavimentos en base a emulsiones asfálticas, King concluye:

*“En general, la adición de polímeros al asfalto le ha mejorado sus propiedades obteniendo óptimos rendimientos en sus aplicaciones. Asfaltos modificados con polímeros han sido utilizados con éxito en aplicaciones que requieren altas sollicitaciones mecánicas como: aeropuertos, estaciones de vehículos pesados y pistas de carreras” (King, 1999).*

Como tendencia hacia las mejoras producidas mediante la adición de polímeros por vía húmeda a los asfaltos convencionales, existe un censo de las propiedades ganadas con dicho método:

*“Los asfaltos modificados con la adición de polímeros presentan una mayor resistencia al agrietamiento térmico, aumentan la resistencia a la fatiga y la resistencia a deformarse permanentemente debido a que logran disminuir la susceptibilidad térmica del material.” (Li, 2008).*

*“Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente y son empleados para casos específicos como:*

- *Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrape.*
- *Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.*
- *Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.*

*Los asfaltos modificados con polietileno de baja densidad (polímero termoplástico) cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:*

- Buena resistencia al calor.
- Buena resistencia al envejecimiento.
- Baja viscosidad.

*En el plano mecánico:*

- Buena flexibilidad a baja temperatura.
- Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a deformaciones permanentes” (Vásquez Ruiz Idalit 2010).

---

**CAPÍTULO 3**  
**MARCO METODOLÓGICO.**

---

### **3.- Marco Metodológico.**

A continuación se describen los distintos métodos para modificar el cemento asfáltico, además del diseño de investigación.

#### **3.1.- Técnicas para modificar asfaltos.**

Cuando se añaden polímeros al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de los siguientes parámetros:

1. Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plastómeros.
2. Su forma física.
3. Naturaleza y grado de asfalto.
4. Tiempo y temperatura durante el mezclado.
5. La compatibilidad Asfalto - Polímero.

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero, polímeros del tipo SBS (estireno-butadieno-estireno) requieren etapas de molienda y otros como el tipo EVA requieren solamente proceso de agitación, al igual que en nuestro caso (UHMWPE).

Se mencionan de manera general las etapas importantes del proceso de modificación.

Para el polietileno, puede o no requerirse un molino, solamente es con agitación y temperatura, en un tiempo corto el polímero se funde y se incorpora al asfalto. Por lo regular son 2 horas a 160° C, el control de calidad se observa mediante la prueba visual.

(Martha Dina Avellán Cruz 2007)

### **3.2.- Diseño mezclas asfálticas.**

El diseño de mezcla asfáltica tiene por objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de la colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

### **3.3.- Método de diseño marshall.**

El concepto de este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del estado de Mississippi. En su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Su propósito es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos. Se deben utilizar probetas 64 x 102 mm de diámetro. Una serie de muestras, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, son preparadas de acuerdo a procedimientos específicos. De acuerdo al M.C.V. 8.302.47.

---

**CAPÍTULO 4**  
**METODOLOGÍA**

---

## 4.-Metodología.

### 4.1.- Materiales y maquinaria.

Materiales.

- Los polímeros utilizados como modificadores en este trabajo son: polietileno UHMW, tanto en escamas como en polvo virgen.
- Cera de polietileno de baja densidad.
- Áridos, está dado por la planta abastecedora del asfalto para la dirección de vialidad de la v región (MOP). La cual trabaja con la planta de asfaltos Bitumix.
- El cemento asfalto C.A. - 24 será proporcionado también por la dirección de vialidad del MOP V región. El cual también trabaja con la planta Concón de Bitumix.

Equipos y Maquinaria:

- Molde, base Marshall.
- Martillo Marshall de compactación mecánica.
- Mordaza Marshall.
- Desmoldador mecánico.
- Prensa Marshall.
- Baño termostático para ensayo Marshall.
- Balanza digital.
- Pie de metro.
- Taladro de pedestal.
- Horno de convección.
- Quemadores de gas licuado.
- Bowl enlosado.
- Termómetro.
- Espátulas.

### 4.2.- Procedimiento.

Antes de dar comienzo a la modificación del asfalto se debe tener en cuenta un protocolo de acción, y es porque, no existe un manual en que se mencione o direcciona el actuar de la modificación de un cemento asfáltico, que se procederá a crear uno en base a la experiencia empírica a la cual se refiere una revisión bibliográfica específica.

En este punto se procederá con el actuar normal del laboratorio de asfaltos en el cual se realiza una reconstitución de mezcla asfáltica para poder desde este punto controlar avances futuros, siendo así el siguiente protocolo.

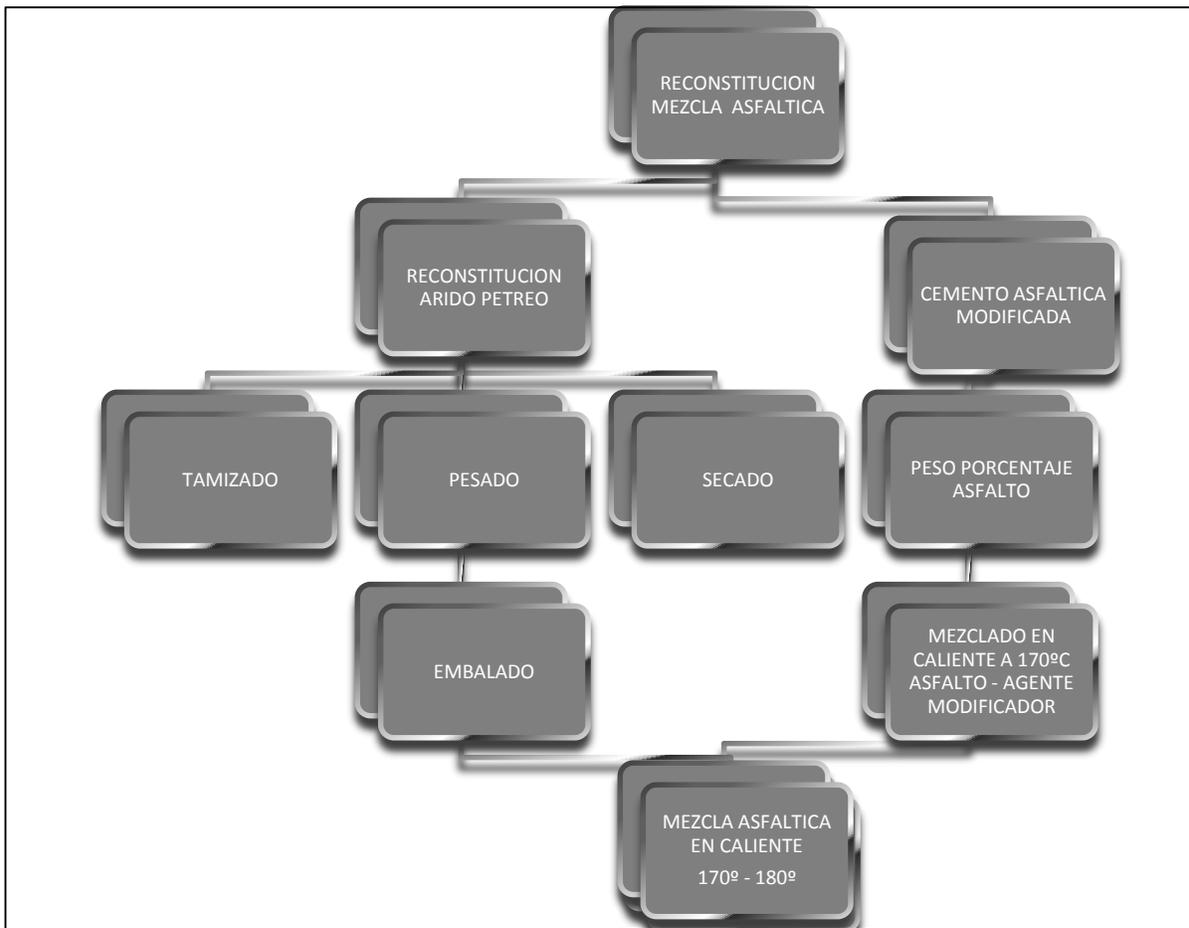
En primera instancia se deberá realizar una reconstitución de mezcla asfáltica, para poder comparar las probetas.

En estos momentos el laboratorio de vialidad MOP V región está trabajando conjuntamente con la empresa Bitumix en el proyecto “Plaza pesaje ruta 60 camino Concón-Quillota ”Por lo que se realizará la reconstitución de mezcla de agregados pétreos con los requisitos de esta obra, debido a que en el laboratorio de vialidad, existen numerosos ensayos y estudios tanto granulométricos como asfálticos, con lo que se conseguirá un amplio registro de datos para comparar y obtener los resultados de la muestra de control.

Con los datos obtenidos se reconstituirá el árido necesario para realizar nuestras probetas, para ello se realizará el siguiente protocolo.

Esto se realizará de acuerdo el siguiente diagrama:

**Figura 4.1: Diagrama reconstitución mezcla asfáltica.**



Fuente: Experiencia Realizada.

Según análisis Para bolsa de 1100gr tenemos:

**Tabla 4.1: Granulometría reconstitución de mezcla asfáltica.**

Gravilla 13 – 17		Gravilla 6 – 13		Polvo Roca 0 -6	
Ret 1"	0	Ret 1"	0	Ret 1"	0
Ret 3/4"	0	Ret 3/4"	0	Ret 3/4"	0
Ret 1/2"	160,6gr	Ret 1/2"	0	Ret 1/2"	0
Ret 3/8"	57,2gr	Ret 3/8"	62,9gr	Ret 3/8"	0
Ret 4	0	Ret 4	208,8gr	Ret 4	47,5gr
Ret 8	0	Ret 8	8,6gr	Ret 8	172,3gr
Bajo 8	2,2gr	Bajo 8	5,7gr	Bajo 8	374,2gr
<b>220gr</b>		<b>286gr</b>		<b>594gr</b>	

Fuente: Elaboración propia

- Con estos datos se reconstituirán bolsas con el agregado pétreo, para una probeta de 1100gr.

**Figura 4.2: Balanza digital**



Fuente: Elaboración propia

- Se debe, realizar una granulometría para las 3 bandas de trabajo de acuerdo Manual de Carreteras V8 8.3.0.2.47.
- Luego del tamizado se secan a fuego directo, para eliminar el porcentaje de humedad, no hay consideraciones con el hecho de que se haga a fuego directo debido 0% de material orgánico.

**Figura 4.3: Tamizado y secado**



Fuente: Elaboración propia

- Ya que se utilizaran 3 probetas (de acuerdo Manual de Carreteras V8 8.3.0.2.47.) por cada porcentaje de adición de polímero, se apartaran en total 27 bolsas de agregado pétreo, correspondientes a las 9 dosificaciones que se utilizaran.
- Luego el cemento asfáltico se calentara en horno de convección, para ser utilizadas en las mezclas asfálticas.

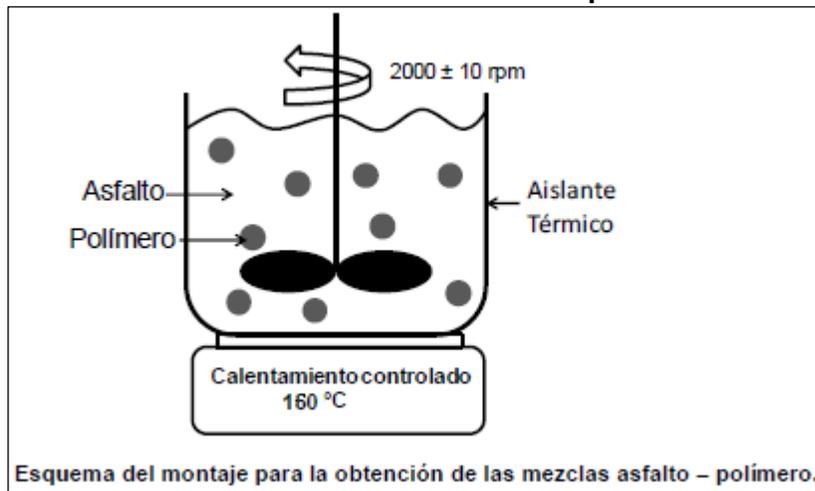
**Figura 4.4: Horno de convección**



Fuente: Experiencia realizada

- El cemento asfáltico con polímeros serán preparadas utilizando un mezclador mecánico convencional.
- Luego se hará un control mediante inspección visual para verificar su completa uniformidad.
- Para el caso de parámetros de velocidad y tiempo se encuentra que no han sido estandarizados y existen investigaciones con marcadas diferencias en éstas condiciones de mezcla. Para el caso de la temperatura, se utilizara 170°C debido a la temperatura de transformación del UHMW que es de 170° - 180°C.
- En principio, una cantidad definida de asfalto crudo se calentará a una temperatura de 170°C obteniendo un asfalto lo suficientemente fluido para ser vaciado en corto tiempo en un recipiente de mezcla. Cada uno de estos recipientes se sitúa sobre una balanza digital y se vacía asfalto hasta depositar cantidades cercanas a las obtenidas en el análisis Marshall que es la base para los porcentajes óptimos de mezclas.
- Obtenido lo anterior, el recipiente se calienta con el cemento asfalto. Previamente se calculó según el peso de asfalto crudo en cada recipiente, una cantidad exacta de polímero, logrando finalmente mezclas en porcentajes peso a peso de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0; 7,0; 10,0% para cada mezcla, siendo así:
- En total 9 dosificaciones distintas, para un total de 27 briquetas de A.M.

**Figura 4.5: Mezcla cemento asfáltico modificado por vía húmeda.**



Fuente: AMOROS HECK 2009.

- El asfalto se debe controlar a una temperatura de 170° C por una hora, antes de pasar al proceso de emulsificación.
- Por cada porcentaje de aditivo se fabricarán 3 briquetas para ensayarlas en el aparato Marshall.
- De acuerdo a los parámetros de control entregados por el laboratorio, se comenzará a realizar la mezcla en caliente, con los parámetros previamente estudiados.

---

**CAPÍTULO 5**  
**DESARROLLO EXPERIMENTAL**

---

## 5.-Desarrollo Experimental.

En este capítulo se describirán los distintos problemas iniciales en la experiencia proyectada además de la resolución de estos.

### 5.1.-Primera experiencia.

Gracias a que se trabajó con parámetros conocidos de los áridos y del cemento asfáltico se tiene determinado, las muestras de control en una amplia experiencia empírica, siendo así la primera tarea, de crear la modificación del cemento asfáltico, para ello se empezó utilizando el porcentaje de menor incidencia para luego ir aumentando la dosificación, con esto nuestra primera ejecución utilizar los parámetros óptimos de ejecución mezclas asfálticas en caliente, para “carpeta asfáltica proyecto Plaza pesaje ruta 60 camino Concón – Quillota” teniendo así, los siguientes parámetros de trabajo tanto de temperatura y porcentaje de asfalto optimo, para aislar así solo los parámetros de agente modificador.

### 5.2.- Informe dosificación para mezcla asfáltica en caliente.

De acuerdo a la información del fabricante, el cemento asfáltico entrega parámetros para identificar el tipo de producto, calidad y recomendaciones de uso para los cuales, el cemento asfáltico trabaje en óptimas condiciones.

**Figura 5.1: Cemento asfáltico probisa CA-24.**

Identificación	CA-24
Procedencia	Probisa. Productos Bituminosos.
Temperatura de Mezclado (C°)	170+ 3
Temperatura de compactación (C°)	150±3

Fuente: Centro de Desarrollo e Investigación Probisa.

**Tabla 5.1: Determinación porcentaje de asfalto óptimo.**

Óptimo por Densidad (%)	5,5
Óptimo por Estabilidad (%)	4,5
Óptimo para 5,0% de huecos	5,0
Contenido de Asfalto (%)	5,0 $\pm$ 0,3
Densidad Marshall (Kg/M <sup>3</sup> )	2.345
Temperatura de mezclado °C	145 - 170
Temperatura Compactación °C	150 -160

Fuente: Centro de Desarrollo e Investigación Probisa.

Como el porcentaje óptimo Marshall de cemento asfáltico es de 5% y nuestras probetas son 3 a realizar mezclaremos una cantidad sobre estimada para evitar cualquier inconveniente, como derrames o perdidas del cemento asfáltico.

Teniendo así:

5% de cemento asfáltico por probeta de 1100gr eso es 55gr por probeta

Por 3 probetas es 165 gr

Sobre estimaremos un 20% para trabajabilidad de la manipulación en la fabricación de probetas, teniendo así en margen de tolerancia en caso de pérdidas de material u/o derrames, propios del procedimiento.

Aproximando así a un total de 200gr por cada mezcla de cemento asfáltico con agente modificador.

Teniendo así la siguiente tabla porcentajes de agente modificador, respaldado por la revisión bibliográfica específica.

**Tabla 5.2: % Agente Modificador para 200gr.**

Porcentaje de modificador U.H.M.W.		CA -24
0,5%	1gr	199gr
1,0%	2gr	198gr
1,5%	3gr	197gr
2,0%	4gr	196gr
2,5%	5gr	195gr
3,0%	6gr	194gr
5,0%	10gr	190gr
7,0%	14gr	186gr
10%	20gr	180gr

Fuente: Experiencia Realizada.

La modificación del cemento asfáltico en primera instancia se realizará con material de desecho de la maquinación de U.H.M.W. por lo que el formato con el que se trabajó no siempre es uniforme, es por eso que se recurrirá a distintos formatos de presentación del mismo, en este caso se realizó una prueba con escamas de polietileno.

**Figura 5.2: Escamas de Polietileno**



Fuente: Elaboración propia.

Este tuvo un comportamiento termo-plástico más viscoso por lo que después de la incorporación de CA – 24 se crearon grumos y su proceso de mezclado se hizo muy difícil por lo que se decidió por utilizar un formato aún más pequeño para ayudar a la tarea de mezclado. Es por esto que utilizamos el polvo de U.H.M.W.

**Figura 5.3: Polvo Polietileno.**



Fuente: Elaboración propia.

Este se puede conseguir tanto virgen como reciclado, y solo ayuda al tiempo de mezclado y no se descartan los otros formatos, ya que, en planta el proceso se puede programar el tiempo e intensidad de mezclado en tanques de mezclado.

### 5.3.- Confección cemento asfáltico modificado.

De acuerdo a la revisión bibliográfica específica, enfocada a la fabricación de cementos asfáltico, no existen protocolos de acción sino, que se buscan solución a la medida que se dificultan los **procesos de digestión**.

#### 5.3.1.- Temperatura de digestión.

En la mayor parte de los cementos asfálticos modificados se muestra una tendencia a coincidir la temperatura de fusión entre el cemento asfáltico y el agente modificador. A lo que se le llama temperatura de digestión.

En este caso el polímero a utilizar tiene características bastantes disimiles a los polímeros comúnmente utilizados para este fin, como el poliestireno expandido o el hule en desuso de neumáticos. El U.H.M.W. tiene la capacidad de encontrar un punto de reblandecimiento y una zona de fusión de las cristalitas así como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 5.3: Propiedades Térmicas UHMW.**

Propiedad	Unidad	Método de prueba	probetas	Hostalen GUR.
Indeformbilidad al calor	C°	DIN 53461; ISO/R 75 método B	Probeta pequeña	95
Punto de reblandecimiento	C°	VDE 0302 parte 3 (en aire)	20mm x 20mm x 4mm	74
Zona de fusión de las cristalitas (óptica)	C°	Microscopio de polarización	Corte microtomico, 20µm	135 hasta 138
Coef. De dilatación lineal	Grd <sup>-1</sup>	DIN 52328	50mm x 4mm x 4mm	Aprox. 2*10 <sup>-4</sup>
Conductibilidad térmica	Kcal/m*h*grd	DIN 52612 procedimiento de 2 placas	80mm x 80mm x 10mm	0,36
Calor específico	Kcal/Kg*grd	Calorímetro	polvo	0,44

Fuente: Plásticos Hoechst Hostalen GUR. (2013).

Si bien esta zona de fusión, muestra un determinado rango de temperaturas, estas no son prácticas a la hora de realizar la modificación del asfalto, ya que, la muestra es a nivel microscópico. Por lo que el enfoque de la ductilidad de este material se debe enfocar al proceso de extracción Ram.

Siendo así las especificaciones del fabricante del agente modificador, se extrae el siguiente texto.

### 5.3.2.- Extrusión RAM.

Además de la extrusión corriente en máquinas de doble husillo, es también posible producir perfiles macizos en prensa de extrusión con embolo hidráulico de forma similar a como se hace con el PTFE estas denominadas así mismo extrusoras RAM, trabajan mediante el siguiente principio:

El polvo se dosifica en porciones, por un canal vibrador, en el cilindro de la extrusora RAM y se comprime por medio de un émbolo. La barra compacta es plastificada al pasar por la zona calentada siguiente de ese cilindro y sale firmemente por el extremo del mismo, no calentado, que actúa de calibrador.

El recorrido del flujo debe estar también dispuesto de tal forma, que por una parte no se produzcan acumulaciones, pero, por otra parte se forme una presión.

La longitud de la zona calentada depende de la dimensión del perfil, debiendo ser lo suficientemente larga para que el polvo sea completamente plastificado en toda la zona.

Las líneas de unión que se forman en cada carrera del embolo se sueldan completamente, formándose una barra maciza homogénea. Las temperaturas de transformación oscilan entre 170 y 180°C.

### 5.3.3.- Proceso de digestión.

La temperatura de digestión, en este punto es algo irrelevante, debido al proceso que implica el moldeo del UHMW por lo que el enfoque de desarrolla en el proceso de digestión el cual viene dado de una zona de digestión la cual oscilará entre los 170° y 180°C.

Además del proceso de mezclado el cual se verá adecuado a las circunstancias del laboratorio de asfalto, para esto se dispondrá del taladro de pedestal el cual se regulara sus RPM para evitar salpicaduras.

**Figura 5.4: Taladro pedestal.**



Fuente: Elaboración propia.

Se realiza con los siguientes pasos:

- 1) Primero, de acuerdo al análisis Marshall sabremos el porcentaje en peso óptimo de cemento asfáltico a modificar.
- 2) Se transfiere asfalto al tanque de modificado.
- 3) Se somete el asfalto a calentamiento a una temperatura controlada entre 170° y 180° C, rango de tolerancia para evitar pérdidas de propiedades del asfalto y dimensionar de mejor manera la temperatura de mezclado.
- 4) Se inicia la agitación.
- 5) Se dosifica el polímero dependiendo del volumen a preparar, un concentrado no superior al 8-10% de polímero. (Vásquez, Ruíz, Idalit 2010), en este caso 0,5 – 10%.
- 6) El polímero se agrega al mezclador a una velocidad de agitación intensa 120-150-rpm
- 7) El asfalto debe mantenerse en un rango de temperatura de 170° C a 180° C, y así encontrar una adecuada temperatura de incorporación del agente modificador.
- 8) Al mismo tiempo es agitado por aproximadamente de 45 minutos hasta 4 horas dependiendo del material a adicionar, en condiciones de agitación constante y RPM controladas para evitar salpicaduras, en rango de temperatura antes mencionado.
- 9) Después de que el periodo de dispersión ha transcurrido, se debe observar que el polímero esté incorporado completamente al asfalto.

Luego calentar los 200gr de CA – 24 a unos 170°c se procedió a incorporar el U.H.M.W. en polvo, en este caso se incorporó bastante bien en primera instancia, por lo que la etapa de inspección visual fue clave para determinar su real incorporación al cemento asfáltico. Si bien la mezcla se ve a simple vista uniforme una segunda observación pudo determinar que se crean micro grumos en el cemento asfáltico aunque en forma uniforme. Por esto último se debió incorporar un porcentaje de emulsificador y se mejoró la forma de mezclado con la incorporación de una malla de revolvedora.

**Figura 5.5: Malla revolvedora.**



Fuente: Elaboración propia.

#### 5.4.- Asfáltico Modificado.

- Una vez ya preparada la mezcla del cemento asfáltico, se procede a realizar la mezcla asfáltica en caliente.
- Lo primero es tener los 1100gr de árido en horno a una temperatura de 145°C, luego en una bandeja con arena se calienta a fuego directo con los quemadores de gas licuado y se mantiene el CA – 24 modificado a unos 160°C.
- Segundo se tara un Bowl enlosado y también previamente calentado a 145°C y seguido se pesa el material pétreo, variando entre 1096,5 y 1105gr. Para luego calcular el 5% de asfalto siendo generalmente de 54,9gr.
- Se vierte el asfalto dentro del Bowl en el centro de este, en el cual previamente se hace un hueco como volcán para poder regular excesos de cemento en el momento de vertido.
- Se mezcla enérgicamente por alrededor de unos 15 min. hasta que cada partícula de árido quede embebida en asfalto.
- Todo este proceso se mantiene monitoreado por un termómetro y calentado sobre quemadores de gas licuado.
- Se eleva la temperatura de la mezcla hasta los 160°C para traspasar a los moldes previamente calentados en horno, ya que, es en este último proceso, donde más temperatura se pierde.
- Se vierte rápidamente la mezcla a los moldes, y se penetra 15 veces por alrededor y 10 veces al centro con la espátula para acomodar el árido.
- Posteriormente se apisona con el pisón mecánico con 75 golpes por lado.

**Figura 5.4: Prensa Marshall.**



Fuente: Experiencia Realizada.

- Luego se extraen las probetas de los moldes.

**Figura 5.5: Desmoldador hidráulico.**



Fuente: Experiencia Realizada.

- Finalmente se dejan enfriar y se controlan sus dimensiones, masa seca, masa sumergida y saturada superficialmente seca.

---

**CAPÍTULO 6**  
**REGISTRO DE DATOS**

---

## 6.- Registro de Datos.

De acuerdo a la unidad de control de calidad y laboratorio del MOP V región, las muestras asfálticas para briquetas Marshall, mediante el siguiente ejemplo de Visación Marshall.

**Tabla 6.1: Ej. Visación Marshall.**

	Muestra de control	Mezcla asfáltica caliente	Nº ingreso 0038
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
Tº Mezclado (ºc)	160 - 170		
Tº compactación (ºc)	150 - 160		
Peso Material (gr)	1098	1098	1097,4
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,9

Determinación alturas de briquetas					
Nº Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	62	62	61	63	62
2	62	62	62	63	63
3	63	63	63	63	63

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
Nº probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1145,5	653,4	1146,5	0,202	2323,1	2376,4
2	1146,8	657,9	1148,5	0,347	2337,6	
3	1143,9	681,2	1144,6	0,151	2468,5	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
Nº Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez Promedio (mm)	Estabilidad Promedio (N)
1	4	11890	3,88	12213
2	3,92	12860		
3	3,72	11890		

Fuente: Experiencia Propia.

Determinando así los datos de altura promedio de briquetas, % absorción de agua, densidad de briquetas, fluidez y estabilidad Marshall, de acuerdo M.C.V. 8.302.37. y M.C.V. 8.302.38. para las 3 briquetas de control de cada % de agente modificador.

A continuación se entregará los datos más relevantes de las visaciones Marshall. Las visaciones completas de las distintas dosificaciones se encuentran en el anexo de tablas y manuales.

**Tabla 6.2: Resumen Marshall.**

Nº Briquetas	% UHMW	Altura promedio	% Absorción	Densidad Kg/M3	Fluidez mm	Estabilidad N
1	0,50%	62	0,202	2323,1	4	11890
2	0,50%	63	0,347	2337,6	3,92	12860
3	0,50%	63	0,151	2468,5	3,72	11890
1	1,00%	63	0,365	2265,9	3,4	10250
2	1,00%	62	0,186	2368,2	2,96	12500
3	1,00%	64	1,527	2327,4	4,11	12910
1	1,50%	63	0,73	2323,3	3,35	11720
2	1,50%	63	0,78	2357,8	3,06	11310
3	1,50%	64	0,45	2345,2	3,84	11333
1	2,00%	63	0,73	2322,4	2,88	16080
2	2,00%	64	0,94	2296,3	3,21	11350
3	2,00%	62	0,59	2322,4	3,32	14010
1	2,50%	63	0,67	2334,9	3,95	12710
2	2,50%	63	0,7	2361,5	3,75	14280
3	2,50%	61	0,73	2339,7	4,01	14270
1	3,00%	63	0,97	2315,3	3,65	13780
2	3,00%	63	0,7	2380,5	3,82	15050
3	3,00%	64	1,07	2301,8	3,34	14140
1	5,00%	64	1,16	2288,7	3,54	17820
2	5,00%	63	0,77	2315,6	3,94	16610
3	5,00%	63	0,85	2307,7	2,84	16580
1	7,00%	63	1,34	2258,9	3,84	16410
2	7,00%	64	0,77	2310,8	3,23	15580
3	7,00%	63	1,38	2291,8	3,4	15945
1	10,00%	62	1,31	2268,9	3,74	16380
2	10,00%	64	0,67	2302,8	3,73	15483
3	10,00%	63	1,28	2391,8	3,51	12774

Fuente: Experiencia Realizada.

---

**CAPÍTULO 7**  
**ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DE RESULTADOS**

---

## 7.- Análisis y Comprobación de Resultados.

Análisis de los datos obtenidos de Estabilidad y fluidez con los siguientes gráficos.

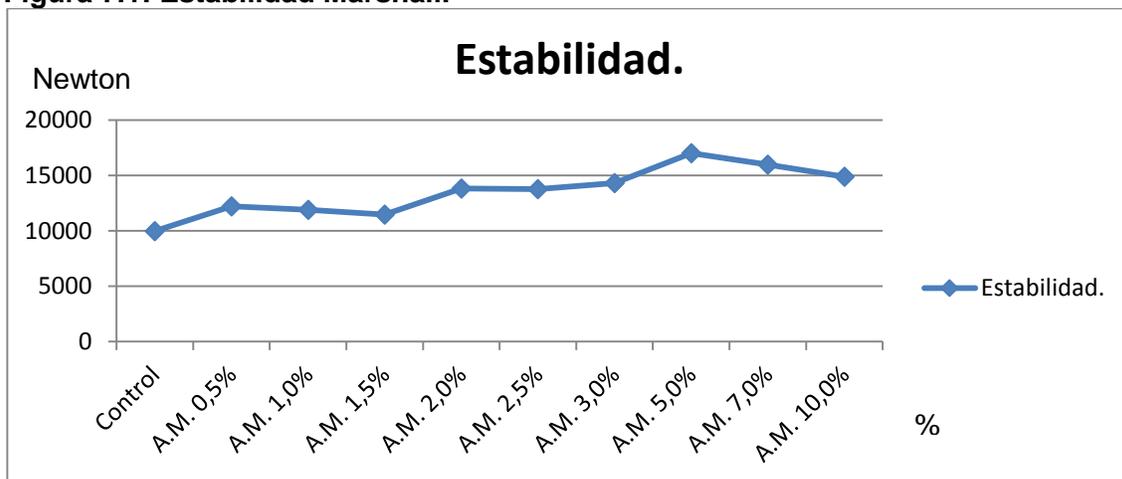
Para así comprender los aciertos y errores cometidos dentro de la experiencia, ya que, la veracidad de estos depende del método utilizado.

Para ello contemplaran estos datos como una tendencia hacia donde apuntar con la dosificación óptima de agente modificador.

### 7.1.- Presentación de Datos relevantes y Expresiones Graficas

Ya que el reciente estudio se refiere a las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica es que se enfocara en los resultados de estabilidad y fluidez, ya que los parámetros de densidad y volumen propios para determinar el porcentaje de asfalto óptimo en el ensaye Marshall, no son relevantes desde el punto de vista ingenieril al cual se enfoca el estudio de las propiedades mecánicas de la nueva mezcla, teniendo así:

**Figura 7.1: Estabilidad Marshall.**



Fuente: Experiencia Realizada.

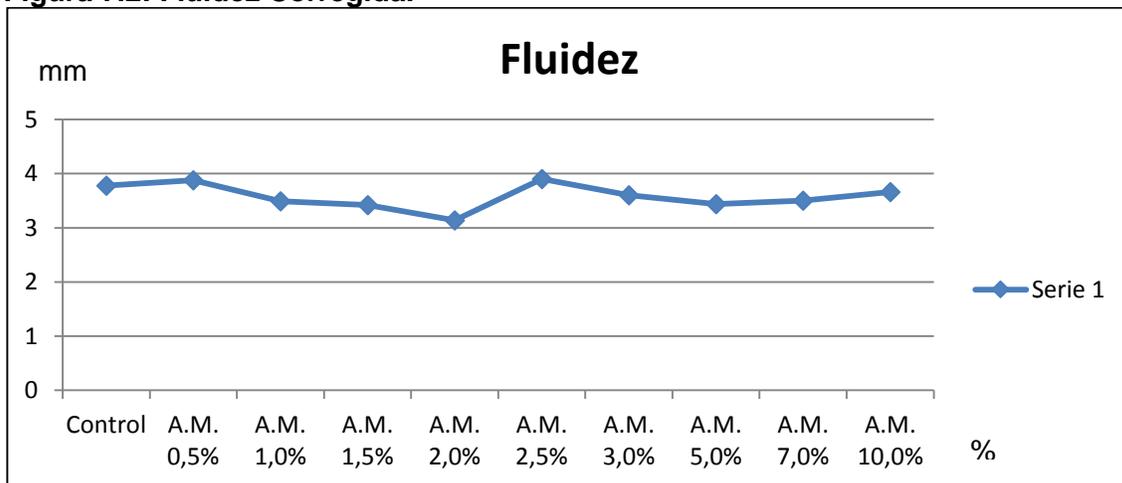
Como se muestra en el gráfico, las diferentes estabilidades de las probetas, testeadas en el aparato Marshall, mostrando una diferencia en las estabilidades sin cambiar el porcentaje de asfalto, sino, solo el porcentaje de adición de agente modificador UHMW.

**Tabla: 7.1: Estabilidad v/s Fluidez.**

% U.H.M.W.	Estabilidad New.	Fluidez mm
Control	9975	3,78
A.M. 0,5%	12213	3,88
A.M. 1,0%	11887	3,49
A.M. 1,5%	11454	3,42
A.M. 2,0%	13813	3,14
A.M. 2,5%	13753	3,9
A.M. 3,0%	14323	3,6
A.M. 5,0%	17003	3,44
A.M. 7,0%	15978	3,5
A.M. 10,0%	14879	3,66

Fuente: Experiencia Realizada.

**Figura 7.2: Fluidez Corregida.**



Fuente: Experiencia Realizada.

Cuando se trata de la fluidez, se necesita que se enmarque dentro de los parámetros en los cuales trabaja, en este caso se trata de los parámetros de la muestra de control la cual exige, fluctuaciones de entre 2 y 4 mm.

Esto es para evitar deformaciones mayores las cuales tienden a acentuarse en el tiempo y posteriormente se hacen permanentes.

## 7.2.-Interpretacion de los Resultados.

Como podemos ver en la figura 7.1. de estabilidad Marshall se nota un incremento, en comparación a la muestra de control, si bien no se encontró el mayor incremento entre en 1,0 y el 2,0% como avalaba la revisión bibliográfica, sino que en el 5,0%, esto nos da una tendencia de que nuestra modificación con U.H.M.W. difiere de los estudios anteriores de H.D.P.E. (polietileno alta densidad tradicional) por consiguiente se obtuvo la dosificación optima con un porcentaje distinto al cual se tenía estimado, lo que sugiere que para experiencias posteriores se pueda ajustar de mejor manera el porcentaje de agente modificador en torno al 5%.

La fluidez que vemos en la figura 16, muestra una estabilidad, más bien constante por lo que es bastante estable a través de las distintas dosificaciones, por lo que no produce un inconveniente mayor la adición de agente modificador.

## 7.3.- Análisis de Resultados.

### ¿El experimento Confirma o Rechaza la Hipótesis?

Bueno con seguridad se puede atestiguar que se confirma un incremento de las capacidades físicas resistentes de la mezcla asfáltica en caliente.

Lo cuestionable en este punto, va más de la mano de la cantidad de incremento producido por la incorporación de polímero al cemento asfáltico.

Originalmente a través de papers revisados los asfaltos modificados, mostraban un incremento de 2,5 a 3 veces la estabilidad Marshall, la experiencia realizada obtuvo un incremento de un 70% por ciento, lo que a pesar de no producirse un incremento de esas características, esto no quiere decir que la modificación de asfalto con U.H.M.W. no sea favorable sino más bien mejorable debido a los resultados preliminares que muestran estos resultados.

La segunda lectura que podemos ver de esta experiencia, es que en realidad se produce una mejora de la estabilidad Marshall, a pesar de la formación de micro grumos, lo que sugiere que en realidad se produjo una modificación parcial entre polímero y el cemento asfáltico, por lo que existe una afinidad, entre los materiales y la falencia principal se ubica en el proceso de digestión de la mezcla, descartando así el fenómeno de incompatibilidad, lo que hace aún más factible la realización de este tipo de asfalto modificado.

Afortunadamente esta última inspección visual, depende principalmente del tiempo de agitación y de su intensidad, lo cual será la principal tarea para producir un cemento asfáltico modificado competente.

---

**CAPITULO 8**  
**CONCLUSIONES**

---

## 8.- Conclusiones.

1. Como primer punto se puede afirmar que las mezclas asfálticas producidas en esta experiencia cumplen con las exigencias, pertinentes a la AASHTO, ASTM y al M.C.V.8.302.38.
2. La mezcla asfáltica por vía húmeda con agente modificador U.H.M.W. y el cemento asfáltico AC-24 Probesa vio aumentada sus propiedades físico-mecánicas, respondiendo así, positivamente a la hipótesis antes propuesta.
3. El incremento de la estabilidad Marshall en comparación con la muestra de control, en su dosificación óptima, fue de un 70% con el agregado de un material virgen.
4. Dentro de las dificultades que se pudieron apreciar en el transcurso de la experiencia, fueron los distintos obstáculos que se tuvieron que sobre llevar y solucionar para producir un cemento asfáltico homogéneo y óptimo para su utilización propia para la experiencia. Teniendo que realizar modificaciones en el proceso, como la incorporación de un agente lubricante y de la utilización de una malla de mezclado.
5. A pesar que la capacidad resistente y vida útil de estos cementos asfálticos modificados que utilizan material reciclado, el costo del mismo se eleva, no tanto por el producto adicionado, sino que el proceso de incorporación del agente modificador, y el proceso necesario para crear la digestión del mismo, llevando a la balanza el real beneficio de este, como inversión inicial, ya que, como parámetros conocidos, los valores no debieran elevarse más allá de un 25% en comparación al asfalto convencional. Lo que en esta experiencia se mantuvo dentro de los márgenes asociados a la preparación propia de la mezcla asfáltica, elevando solo el costo del valor del material a utilizar como modificador.
6. La adición del polímero produjo un aumento en la viscosidad, lo que refleja las características propias del polímero aumentado así su resistencia y disminuyendo la capacidad de fluir a altas temperaturas.
7. El uso del asfalto modificado creado en esta experiencia no altera los procedimientos utilizados normalmente para pavimentar.

## **8.1.- Recomendaciones.**

1. Apuntar una dosificación más ajustada entre los porcentajes 4 y 6, para futuras experiencias.
2. Experimentar con los beneficios a largo plazo comparando el asfalto modificado con U.H.M.W. y el asfalto tradicional.
3. Explorar las características térmicas extremas del agente modificador, aplicadas a la mezcla asfáltica, tanto en baja como en altas temperaturas
4. Experimentar las mezclas asfálticas con U.H.M.W. de diferentes procedencias.
5. Se puede aplicar un protocolo de disminución de espesores de capa de rodado debido a su mayor capacidad de estructural y disminuir costos asociados a su volumen.
6. Se pueden realizar estudios posteriores para probar las propiedades de cohesión como es el ensaye de Cántabro y el ITS (índice de tracción indirecta)

---

**CAPÍTULO 9**  
**BIBLIOGRAFÍA**

---

## 9. Bibliografía.

1. 4to congreso venezolano del asfalto."Asfalto venezolano modificado con polímero SBS" (Autores: Lourdes Arias, Pablo Joskowicz, Ingrid Rojas, Carlos Villegas, José M. Escobar y Eleazar Colina, 2012).
2. Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado (Ana Sofía Figueroa-Infante, Elsa Beatriz Fonseca-Santanilla, Fredy Alberto Reyes-Lizcano, 2008).
3. Desarrollo industrial en polímeros S.A.C. POLIETILENO UHMW-PE (ULTRA ALTO PESO MOLECULAR).
4. <http://www.goodfellowusa.com/A/Polyethylene-UHMW.html>
5. MC-V8 "Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control", edición 2010.
6. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, RESISTENCIA MECÁNICA EVALUADA EN EL ENSAYO MARSHALL DE MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE ELABORADAS CON ASFALTOS MODIFICADOS CON DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC), POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) Y POLIESTIRENO (PS)( Hugo Alexander Rondón Quintana, Edgar Rodríguez Rincón, Luis Ángel Moreno Anselmi, 2007).
7. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE POLÍMEROS EN LOS ASFALTOS MONOGRAFÍA (VÁZQUEZ RUIZ IDALIT, 2010).
8. [www.asphaltinstitute.org](http://www.asphaltinstitute.org)

---

**CAPÍTULO 10**  
**Anexo Tablas y Manuales.**

---

## 10.-Anexo Tablas y Manuales.

### 10.1.- Visación Marshall.

**Tabla A.1: Modificación U.H.M.W. 0,5%**

	Confección briqueta		U.H.M.W. 0,5%	
	1		2	3
% optimo asfalto	5%+0,3			
Tº Mezclado (ºc)	160 - 170			
Tº compactación (ºc)	150 - 160			
Peso Material (gr)	1098		1098	1097,4
Peso Asfalto (gr)	54,9		54,9	54,9

Determinación alturas de briquetas					
Nº Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	62	62	61	63	62
2	62	62	62	63	63
3	63	63	63	63	63

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
Nº probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1145,5	653,4	1146,5	0,202	2323,1	2376,4
2	1146,8	657,9	1148,5	0,347	2337,6	
3	1143,9	681,2	1144,6	0,151	2468,5	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
Nº Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez Promedio (mm)	Estabilidad Promedio (N)
1	4	11890	3,88	12213
2	3,92	12860		
3	3,72	11890		

**Tabla A2: Modificación U.H.M.W. 1,0%**

Confección Briquetas		U.H.M.W. 1,0%	
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 - 170		
T° compactación (°c)	150 - 160		
Peso Material (gr)	1098,5	1097	1097
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,9

Determinación alturas de briquetas					
Nº Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	63	63	62	63	63
2	62	62	62	62	62
3	64	64	64	65	64

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
Nº probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1147,4	656,2	1149,2	0,365	2265,9	2320,4
2	1142,9	661,2	1143,8	0,186	2368,2	
3	1142,7	646,1	1150,4	1,527	2327,4	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
Nº Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,4	10250	3,49	11887
2	2,96	12500		
3	4,11	12910		

**Tabla A3: Modificación U.H.M.W. 1,5%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 1,5%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 - 170		
T° compactación (°c)	150 - 160		
Peso Material (gr)	1098,8	1099,3	1096,7
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,8

Determinación alturas de briquetas					
Nº Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	63	64	63	63	63
2	63	63	63	62	63
3	60	61	60	61	61

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
Nº probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1146,1	656,4	1149,7	0,73	2323,3	2342,1
2	1145,9	663,7	1149,7	0,78	2357,8	
3	1137,9	654,9	1140,1	0,45	2345,2	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
Nº Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,35	11720	3,49	11887
2	3,06	11310		
3	3,84	11333		

**Tabla A4: Modificación U.H.M.W. 2,0%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 2,0%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1098,8	1098,4	1097,3
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,8

Determinación alturas de briquetas					
N° Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	62	63	63	62	63
2	64	63	64	64	64
3	62	63	62	62	62

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
N° probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1143,3	654,6	1146,9	0,73	2322,4	2313,7
2	1144,5	650,8	1149,2	0,94	2296,3	
3	1143,1	653,8	1146,0	0,59	2322,4	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
N° Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	2,88	16080	3,14	13813
2	3,21	11350		
3	3,32	14010		

**Tabla A5: Modificación U.H.M.W. 2,5%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 2,5%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1098,2	1098,3	1097,6
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,8

Determinación alturas de briquetas					
N° Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	62	62	63	63	63
2	63	63	63	63	63
3	61	61	61	61	61

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
N° probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1145,3	658,1	1148,6	0,67	2334,9	2345,4
2	1147,7	665,1	1151,1	0,7	2361,5	
3	1146	659,8	1149,6	0,73	2339,7	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
N° Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,95	12710	3,9	13753
2	3,75	14280		
3	4,01	14270		

**Tabla A6: Modificación U.H.M.W. 3,0%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 3,0%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1097,5	1098,1	1098,1
Peso Asfalto (gr)	54,9	54,9	54,9

Determinación alturas de briquetas					
N° Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	62	63	63	63	63
2	62	63	63	63	63
3	64	64	63	64	64

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
N° probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1147	656,4	1151,8	0,97	2315,3	2332,6
2	1145,5	667,7	1148,9	0,7	2380,5	
3	1145,4	653,1	1150,7	1,07	2301,8	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
N° Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,65	13780	3,6	14323
2	3,82	15050		
3	3,34	14140		

**Tabla A7: Modificación U.H.M.W. 5,0%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 5,0%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1100,5	1099,6	1098,1
Peso Asfalto (gr)	55	54,9	54,9

Determinación alturas de briquetas					
Nº Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	64	64	64	64	64
2	63	63	62	62	63
3	63	63	63	63	63

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
Nº probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1146,2	651,2	1152	1,16	2288,7	2304
2	1144,6	654,1	1148,4	0,77	2315,6	
3	1145,4	653,2	1149,5	0,85	2307,7	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
Nº Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,54	17820	3,44	17003
2	3,94	16610		
3	2,84	16580		

**Tabla A8: Modificación U.H.M.W. 7,0%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 7,0%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1101,7	1101	1101,2
Peso Asfalto (gr)	55	55	55

Determinación alturas de briquetas					
N° Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	63	63	63	63	63
2	63	63	64	64	64
3	63	63	63	63	63

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
N° probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1146,6	645,8	1153,4	1,34	2258,9	2287,2
2	1145,8	653,6	1149,6	0,77	2310,8	
3	1148,2	654,1	1155,1	1,38	2291,8	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
N° Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,84	16410	3,5	15978
2	3,23	15580		
3	3,4	15945		

**Tabla A9: Modificación U.H.M.W. 10.0%**

Confección Briquetas U.H.M.W. 7,0%			
	1	2	3
% optimo asfalto	5%+0,3		
T° Mezclado (°c)	160 – 170		
T° compactación (°c)	150 – 160		
Peso Material (gr)	1101,7	1101	1101,2
Peso Asfalto (gr)	55	55	55

Determinación alturas de briquetas					
N° Probetas	Altura (mm)				Promedio
1	63	63	63	63	63
2	63	63	64	64	64
3	63	63	63	63	63

Determinación de la absorción de agua y densidad de las briquetas						
N° probeta	Pesos (gr)			Absorción Agua (%)	Densidad (Kg/M3)	Promedio Densidad
	Seco	Bajo agua	S.S.S.			
1	1146,6	645,8	1153,4	1,34	2258,9	2287,2
2	1145,8	653,6	1149,6	0,77	2310,8	
3	1148,2	654,1	1155,1	1,38	2291,8	

Determinación fluidez y estabilidad de las briquetas				
N° Probeta	Fluidez (mm)	Estabilidad (N)	Fluidez	Estabilidad
			Promedio	Promedio
1	3,84	16410	3,5	15978
2	3,23	15580		
3	3,4	15945		

## 10.2.- Manual de Carreteras Volumen 8.302.38.

### 8.302.38 ASFALTOS: METODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS (LNV 13)

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este método establece procedimientos para determinar la densidad real de mezclas asfálticas compactadas.

#### 2.- Terminología.

2.1 **Densidad ( $\rho$ ).** De acuerdo con NCh 22, es el cociente entre la masa ( $m$ ) de una sustancia y su volumen ( $v$ ) a una temperatura especificada. Se expresa en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

2.2 **Densidad Real (G).** Densidad en que se considera el volumen macizo de la probeta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles.

2.3 **Secado hasta Masa Constante.** Límite de secado a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$ , en que dos pesadas sucesivas difieren en un porcentaje igual o inferior al 0,1% de la menor masa determinada. La muestra debe dejarse en horno a  $50 \pm 5^\circ \text{C}$  durante 12 h y luego pesarse cada 2 h.

3.- **Resumen del Procedimiento.** Se determina la masa de la probeta por pesada al aire ambiente en condiciones seca y saturada superficialmente seca. Se determina el volumen por diferencia entre pesadas al aire ambiente y sumergida en agua.

Se calcula la densidad real de la probeta de acuerdo a los valores obtenidos.

#### 4.- Aparatos.

4.1 **Balanza.** De 2.000 g de capacidad mínima, sensibilidad 0,1 g y una precisión de 0,2 g. (Los términos capacidad y precisión de una balanza están definidos en NCh 1075). Debe estar equipada con un aparato de suspensión adecuado que permita pesar la probeta mientras está suspendida del centro de la balanza.

4.2 **Baño de Agua.** Que permita sumergir la muestra mientras está suspendida bajo la balanza, equipado con una válvula de desborde que mantenga constante el nivel de agua.

#### 5.- Muestras de Ensaye.

5.1 Las muestras de ensaye pueden ser mezclas asfálticas moldeadas en el laboratorio o cortadas directamente del pavimento.

5.2 Para el tamaño de la probeta se recomienda lo siguiente:

- a) Que el diámetro de las probetas cilíndricas o la longitud de las probetas aserradas sea a lo menos cuatro veces el tamaño máximo del agregado.
- b) Que el espesor o largo de la probeta sea a lo menos una y media veces el tamaño máximo del agregado.

5.3 Tome las muestras de pavimentos con brocas o sierras diamantadas o cualquier otro medio adecuado.

5.4 Separe las distintas capas mediante aserrado u otro medio adecuado.

**Método A: Probetas Cubiertas con Parafina.****6.- Procedimiento de Ensaye.**

**6.1 Masa de la Probeta sin Parafina.** Pese la probeta en aire después de secarla hasta masa constante. Designe esta masa como A.

**6.2 Masa de la Probeta en Aire con Parafina.** Cubra la probeta de ensaye, en toda su superficie, con parafina derretida con un espesor suficiente para sellar todos los huecos superficiales. Deje que el recubrimiento se enfríe al aire a temperatura ambiente durante 30 min y luego pese la probeta. Designe esta masa como D.

**Nota 1:** La aplicación de la parafina se puede lograr mejor enfriando la probeta en un refrigerador hasta una temperatura de aproximadamente 4,5°C por 30 min y luego sumergiéndola en parafina tibia ( 5,5° C sobre el punto de fusión). Puede ser necesario repasar la superficie con una brocha con parafina caliente para llenar los vacíos más pequeños. Si se desea usar la probeta en otros ensayos que requieran el desprendimiento del cubrimiento de parafina, puede cubrirse la muestra con talco en polvo antes de colocarle la parafina.

**6.3 Masa de la Probeta con Parafina en Agua.** Pese la probeta con parafina en un baño de agua a 25 ± 1°C. Designe esta masa como E.

**6.4 Densidad de la Parafina.** Determine la densidad de la parafina a 25° C y désignela como  $\rho_p$ . Al adoptar un valor típico de 0,91 g/cm<sup>3</sup> el error es prácticamente despreciable.

**7.- Cálculos.** Calcule la densidad de la probeta con la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{(D-E)}{\rho_w} - \frac{(D-A)}{\rho_p}} \times 1.000 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

donde:

- A : Masa de la probeta seca en aire (g)
- D : Masa de la probeta seca más parafina en aire (g)
- E : Masa de la probeta seca más parafina en agua (g)
- $\rho_p$  : Densidad de la parafina (25°C) ± 1 g/cm<sup>3</sup>
- $\rho_w$  : Densidad del agua (1,0 g/cm<sup>3</sup>)

**Método B: Probetas con Superficie Saturada Seca.****8.- Procedimiento de Ensaye.**

**8.1** Seque la probeta hasta masa constante. Enfríela hasta temperatura ambiente (25 ± 1°C) y registre la masa seca como A.

**8.2** Sumerja en un baño de agua a 25 ± 1° C por 3 a 5 min, y registre esta masa como C.

**8.3** Saque la probeta del agua y séquela con una toalla húmeda. Designe esta masa como B.

**8.4** Determine el porcentaje de agua absorbida con la siguiente expresión:

$$A_{90} = \frac{B - A}{B - C} \times 100$$

Si  $A_{90}$  es mayor que 2, emplee el método A.

9.- **Cálculos.** Calcule la densidad de acuerdo a la fórmula:

$$G = \frac{A}{\frac{B-C}{P_w}} \times 1.000 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

donde:

- A : Masa de la probeta en aire (g).
- B : Masa de la probeta en aire con superficie seca (g).
- C : Masa de la probeta en agua (g)

**Método C : Geométrico (sólo para mezclas de graduación abierta; porcentaje de huecos superior a 15)**

10.- **Procedimiento de Ensaye.**

10.1 Determine la densidad de una muestra de formas regulares en base a su masa (Kg) y su volumen medio en forma geométrica (m<sup>3</sup>).

10.2 Determine las dimensiones de la probeta basado en el promedio de cuatro medidas, como mínimo, por dimensión.

## 10.3. Manual de Carreteras Volumen 8.302.47.

### 8.302.47 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO MARSHALL (LNV 47)

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este procedimiento es aplicable a mezclas en caliente con cementos asfálticos que contengan agregados con tamaño máximo absoluto igual o inferior a 25 mm. Se puede usar tanto para el diseño en laboratorio como en el control de terreno, y describe una metodología para determinar el óptimo de asfalto en las mezclas.

#### 2.- Referencias.

- Método 8.302.37 Asfaltos: método para determinar la densidad máxima de mezclas bituminosas sin compactar.
- Método 8.302.38 Asfaltos: método para determinar la densidad real de mezclas bituminosas compactadas.
- Método 8.302.2 Asfaltos: método para determinar la densidad del asfalto.
- Método 8.302.40 Asfaltos: método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas utilizando el aparato Marshall
- Método 8.202.20 Agregados pétreos: método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos gruesos.
- Método 8.202.21 Agregados pétreos: método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los pétreos finos.
- Método 8.402.1 Hormigón: método para determinar la densidad del cemento hidráulico.

#### 3.- Determinaciones Previas.

3.1 Determine la densidad real seca de cada agregado que participa en la mezcla y la del filler, si lo hubiere, de acuerdo a los métodos 8.202.20, 8.202.21 o 8.402.1, según corresponda.

3.2 Determine la densidad del cemento asfáltico a 25 ° C según Método 8.302.2.

3.3 Determine la densidad máxima de la mezcla suelta según Método 8.302.37, para un contenido de asfalto próximo al óptimo previsto.

3.4 Prepare las probetas según Método 8.302.40.

3.5 Determine las densidades de las probetas compactadas, según Método 8.302.38.

3.6 Mida la Estabilidad y la Fluencia de las mezclas usando el equipo Marshall, según Método 8.302.40.

**Nota 1:** Dado que la densidad real seca del filler mineral es difícil de determinar en forma precisa, se recomienda utilizar el método de Le Chatelier (Método 8.402.1).

#### 4.- Cálculos.

4.1 **Cálculo de la Densidad Real Seca Ponderada de la Mezcla de Agregados.** Cuando la mezcla está compuesta por dos o más agregados, todos con diferentes densidades reales, calcule la densidad real seca de la mezcla de agregados de acuerdo a la expresión:

$$\rho_{RS} = P_1 \cdot \rho_{RS1} + P_2 \cdot \rho_{RS2} + \dots + P_n \cdot \rho_{RSn}$$

donde:

- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca de la mezcla de agregados.
- $P_1, P_2, \dots, P_n$  : Porcentajes en peso de los agregados 1, 2, ..., n, expresados en forma decimal.
- $\rho_{RS1}, \rho_{RS2}, \dots, \rho_{RSn}$  : Densidades reales secas de los agregados 1, 2, ..., n.

**4.2 Cálculo de la Densidad Efectiva del Agregado.** Calcule la densidad efectiva del agregado mediante la expresión:

$$\rho_E = \frac{100}{\frac{100 + P_b}{D_{mm}} - \frac{P_b}{\rho_b}}$$

donde:

- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla suelta ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**Cálculo del Porcentaje de Asfalto Absorbido.** El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje referido al agregado y se calcula con la fórmula siguiente:

$$P_{ba} = \left( \frac{1}{\rho_{RS}} - \frac{1}{\rho_E} \right) \times \rho_b \times 100$$

donde:

- $P_{ba}$  : Porcentaje de asfalto absorbido, referido al agregado (%).
- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.4 Cálculo de la Densidad Máxima de la Mezcla para Distintos Contenidos de Asfalto.** Al calcular el porcentaje de huecos de aire en la mezcla, es necesario conocer  $D_{mm}$  para cada porcentaje de asfalto considerado. Si bien esto se puede hacer a través del Método 8.302.37 para cada contenido de asfalto, la precisión del ensaye es mejor cuando se aproxima al contenido de asfalto óptimo.

Una vez obtenida la  $D_{mm}$  para un determinado contenido de asfalto y calculada la densidad efectiva del agregado, calcule la  $D_{mm}$  de la mezcla para cualquier otro porcentaje de asfalto, de acuerdo a la fórmula:

$$D_{mm} = \frac{100 + P_b}{\frac{100}{\rho_E} + \frac{P_b}{\rho_b}}$$

donde:

- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $\rho_E$  : Densidad efectiva del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo a 4.2.
- $\rho_b$  : Densidad del asfalto ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.5 Contenido de Asfalto Útil.** El contenido de asfalto útil ( $P_{bu}$ ) de una mezcla, corresponde al contenido de asfalto total menos el contenido de asfalto absorbido por el agregado. Se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$P_{bu} = P_b - P_{ba}$$

donde:

- $P_{bu}$  : Porcentaje de asfalto útil referido al agregado (%).
- $P_b$  : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).
- $P_{ba}$  : Porcentaje de asfalto absorbido referido al agregado (%).

**4.6 Cálculo de los Vacíos en el Agregado Mineral.** El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$VAM = 100 \times \left( 1 - \frac{G}{\rho_{RS}} \times \frac{100}{100 + Pb} \right)$$

donde:

- VAM : Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).
- G : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_{RS}$  : Densidad real seca del agregado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- Pb : Porcentaje de asfalto referido al agregado (%).

**4.7 Cálculo del Porcentaje de Huecos de Aire en la Mezcla.** El porcentaje de huecos de aire en la mezcla (Va), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$Va = 100 \times \frac{D_{mm} - G}{D_{mm}}$$

donde:

- Va : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).
- $D_{mm}$  : Densidad máxima de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ ), de acuerdo a 4.4.
- G : Densidad de la mezcla compactada ( $\text{kg/m}^3$ ).

**4.8 Cálculo del Porcentaje de Huecos Llenos con Asfalto.** El porcentaje de huecos llenos con asfalto ( $V_{LL}$ ), se calcula de acuerdo a la fórmula:

$$V_{LL} = 100 \times \left( 1 - \frac{V_a}{VAM} \right)$$

donde:

- $V_{LL}$  : Porcentaje de huecos llenos con asfalto (%).
- Va : Porcentaje de huecos de aire en la mezcla (%).
- VAM : Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%).

## 5.- Acondicionamiento de los Datos.

**5.1** Los valores de estabilidad obtenidos para probetas de espesores distintos a 63,5 mm deben corregirse, convirtiendo éstos a un valor equivalente a 63,5 mm, utilizando para ello los factores de corrección indicados en Tabla 8.302.40.A del Método 8.302.40.

**5.2** Calcule el valor promedio de la densidad, fluencia y estabilidad corregida, para todas las probetas con un mismo contenido de asfalto.

**5.3** Confeccione los siguientes gráficos, uniendo mediante una curva suave todos los puntos obtenidos:

- a) Estabilidad v/s porcentaje de asfalto.
- b) Fluencia v/s porcentaje de asfalto.
- c) Densidad v/s porcentaje de asfalto.
- d) Huecos en la mezcla v/s porcentaje de asfalto.
- e) VAM v/s porcentaje de asfalto.

**6.- Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.****6.1 Capa de Rodadura.**

- a) Determine el contenido óptimo de asfalto de la mezcla considerando las curvas de densidad, estabilidad y huecos en la mezcla. De dichas curvas se determinan los porcentajes de asfalto ( Pb ) que entreguen:
- Máxima estabilidad (Pb<sub>1</sub>).
  - Máxima densidad (Pb<sub>2</sub>).
  - Contenido de asfalto para un 5% de huecos ( Pb<sub>3</sub>).

El contenido óptimo de asfalto se calcula como la media aritmética de los tres valores obtenidos, es decir:

$$Pb \text{ óptimo} = \frac{Pb_1 + Pb_2 + Pb_3}{3}$$

- b) Verifique que el contenido óptimo de asfalto, con una tolerancia de  $\pm 0,3$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla. En caso contrario, confeccione una nueva serie de muestras.

**6.2 Capa de Base y Capa Intermedia (Binder).** Seleccione como contenido óptimo de asfalto el porcentaje de ligante que, con una tolerancia de  $\pm 0,5$  puntos porcentuales, cumpla con todos los requisitos de calidad exigidos a la mezcla.

**7.- Informe.** El informe debe incluir lo siguiente:

**7.1 Identificación de los Materiales.** Indique procedencia, lugar y fecha de muestreo, tanto del asfalto como del agregado.

**7.2 Agregados.** Indique los siguientes análisis para cada agregado:

- a) Granulometría.
- b) Densidad Aparente Suelta.
- c) Densidad Real Seca.
- d) Densidad Neta.
- e) Desgaste de Los Angeles.
- f) Índice de Plasticidad.
- g) Equivalente de Arena.
- h) Cubicidad de Partículas.
- i) Dosificación de Agregados.
- j) Granulometría de la Mezcla de Agregados.

### 7.3 Asfalto.

- a) Certificados de Control de Calidad.
- b) Densidad.

### 7.4 Mezcla Agregado Pétreo – Asfalto.

- a) Densidad Máxima de la Mezcla.
- b) Adherencia.
- c) Porcentaje de Asfalto Absorbido Referido al Agregado.
- d) Temperatura de Mezclado.
- e) Temperatura de Compactación de las Probetas.

### 7.5 Análisis Marshall.

- a) Para cada contenido de asfalto considerado se debe incluir:
  - Densidad.
  - Huecos en la Mezcla.
  - Vacíos en el Agregado Mineral (VAM).
  - Estabilidad.
  - Fluencia.
- b) Gráficos de Densidad, Huecos, VAM, Estabilidad y Fluencia con respecto a cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.
- c) Fórmula de Trabajo. Esta comprende:
  - Banda de Trabajo, con las siguientes tolerancias:
 

Tamiz 5 mm (Nº 4) y superiores.	: ± 5 puntos porcentuales.
Tamices 2,5 mm (Nº 8) y 1,25 mm (Nº 16).	: ± 4 puntos porcentuales.
Tamices 0,83 mm (Nº 30) y 0,315 mm (Nº 50).	: ± 3 puntos porcentuales.
Tamiz 0,16 mm (Nº 100).	: ± 2 puntos porcentuales.
Tamiz 0,08 mm (Nº 200).	: ± 1,5 puntos porcentuales.
  - Contenido Optimo de Asfalto para Capas de Rodadura. : ± 0,3 puntos porcentuales.
  - Contenido Optimo de Asfalto para Capas de Base o Intermedia : ± 0,5 puntos porcentuales.
  - Densidad de Diseño.
  - Temperatura de Mezclado.
  - Temperatura de Inicio de Compactación.

**Nota 2:** La banda de trabajo podrá salirse de la especificada siempre que la curva granulométrica de diseño quede totalmente comprendida en la banda especificada.