



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO EXPERIMENTAL, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN  
DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y  
PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES”**

---

**AUTOR: JUAN CARLOS AIMACAÑA IZA**

**TUTOR: ING. MG. VÍCTOR HUGO PAREDES**

**AMBATO – ECUADOR**

**2017**

## **CERTIFICACIÓN DEL TUTOR**

Yo Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes, certifico que el presente proyecto de investigación realizado por Juan Carlos Aimacaña Iza, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi dirección, el cual es un **TRABAJO EXPERIMENTAL** previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, personal e inédito y ha sido concluido bajo el tema “**ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES**”

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

---

**Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes**  
**TUTOR**

## AUTORÍA

El contenido del presente trabajo de investigación, así como las ideas y opiniones son de exclusiva responsabilidad de su autor. Yo, Juan Carlos Aimacaña Iza, con C.I. 050306742-3, Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES”** es de mi completa autoría.

---

Egdo. Juan Carlos Aimacaña Iza  
C.I. 050306742-3  
Autor

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

---

Egdo. Juan Carlos Aimacaña Iza  
C.I. 050306742-3  
Autor

## **APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES**

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES”** del Egresado Juan Carlos Aimacaña Iza, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman,

---

Ing. Mg. Fricson Moreira

---

Ing. Mg. Alex Frías

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto de tesis a la Virgen de Guadalupe por haberme guiado por el camino de la felicidad, por estar conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.*

*A mis padres, Carlos y Blanca, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.*

*Dedico de manera muy especial a mi madre Blanca Iza, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti. Te amo.*

*A mis hermanos, Roberto Danilo, Sara Belén y Emilio Alexander, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho y todos aquellos que participaron en la elaboración de esta tesis.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser.*

*A mis padres quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades.*

*A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.*

*Un agradecimiento muy especial al Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes por brindarme su apoyo, conocimiento, tiempo y amistad, guiándome en el desarrollo de la presente investigación en calidad de tutor.*

*Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa Universidad la cual abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA O CARÁTULA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES.....	IV
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	VIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XIII

### B. CAPÍTULO I .....

1
---

#### ANTECEDENTES .....

1
---

1.1	TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL.....	1
-----	------------------------------------	---

1.2	ANTECEDENTES.....	1
-----	-------------------	---

1.3	JUSTIFICACIÓN .....	2
-----	---------------------	---

1.4	OBJETIVOS .....	3
-----	-----------------	---

1.4.1	Objetivo general.....	3
-------	-----------------------	---

1.4.2	Objetivos específicos .....	3
-------	-----------------------------	---

### CAPÍTULO II .....

4
---

#### FUNDAMENTACIÓN .....

4
---

2.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
-----	-----------------------------	---

2.1.1	Asfalto.....	4
-------	--------------	---

2.1.1.1	Cemento asfáltico.....	4
---------	------------------------	---

2.1.1.2	Composición química del asfalto.....	5
---------	--------------------------------------	---

2.1.1.3	Propiedades físicas del asfalto de pavimentación.....	6
---------	---	---

2.1.1.4	Clasificación de los asfaltos de pavimentación.....	8
---------	---	---

2.1.1.5	Tipos de asfaltos.....	10
---------	------------------------	----



2.1.2	Usos más comunes del asfalto en ingeniería.....	11
2.1.3	Asfaltos de producción nacional.....	12
2.1.4	Características de los materiales asfálticos.....	13
2.2	MATERIALES PÉTREOS.....	14
2.2.1	Caracterización de los agregados pétreos.....	16
2.3	CAPA DE RODADURA.....	20
2.4	TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	20
2.5	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	21
2.5.1	Método de diseño marshall ASTM D 1559.....	22
2.6	POLÍMERO DEFINICIÓN.....	24
2.6.1	Tipos de polímeros.....	24
2.6.2	Producción de los polímeros.....	25
2.6.3	Clasificación de los polímeros.....	26
2.6.4	Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos.....	28
2.7	MEZCLAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS.....	28
2.7.1	Aplicaciones de un asfalto modificado.....	29
2.8	HIPÓTESIS.....	30
2.9	SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS.....	30
2.9.1	Variable independiente.....	30
2.9.2	Variable dependiente.....	30
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>31</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....		<b>31</b>
3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	33
3.3.1	Variable independiente.....	33
3.3.2	Variable dependiente.....	34
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	35
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	35
3.5.1	Plan de procesamiento de la información.....	35
3.5.2	Plan de análisis.....	35

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	36
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	36
4.1 RECOLECCION DE DATOS .....	36
4.1.1 Ensayos realizados a los agregados .....	37
4.1.2 Obtención del polímero (P.E), reciclado y triturado.....	48
4.1.3 Diseño de mezcla asfáltica tradicional.....	49
4.1.4 Procedimiento de elaboración de las briquetas asfálticas Tradicionales.....	50
4.1.5 Ensayo de las briquetas asfálticas tradicionales.....	53
4.1.6 Procedimiento de Cálculo para el diseño de mezclas marshall. ....	57
4.1.7 Curvas de diseño de la mezcla asfáltica tradicional .....	62
4.1.8 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímero (P.E) .....	64
4.1.9 Procedimiento de elaboración de las briquetas asfálticas con polímero (P.E) .....	65
4.1.10 Ensayo de las briquetas asfálticas modificadas con polímero (PE).....	68
4.1.11 Curvas de diseño de la mezcla asfáltica modificadas con polímero (P.E).....	75
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....	80
4.2.1 Análisis de resultados para la mezcla asfáltica tradicional.....	80
4.2.2 Análisis de resultados para la mezcla asfáltica modificada con polímero.....	83
4.2.3 Interpretación de resultados. ....	85
4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	89
4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN PLANTA PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL Y LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO (P.E).....	90
 <b>CAPÍTULO V</b> .....	 95
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	95
5.1 CONCLUSIONES .....	95
5.2 RECOMENDACIONES .....	96

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

1.	BIBLIOGRAFÍA .	93
2.	ANEXOS.	100
2.1	ANEXO FOTOGRÁFICO.....	100
2.2	ANEXO TABLAS .....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.	Tamaño del agregado para ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los minerales.....	17
Tabla N° 2.	Tipos de abrasión.....	17
Tabla N° 3.	Cantidades mínimas para ensayo según el tamaño nominal. ....	18
Tabla N° 4.	Requisitos granulométricos para mezclas asfálticas en planta según especificaciones del MTOP.....	19
Tabla N° 5.	Criterio de diseño de mezclas marshall.....	23
Tabla N° 6.	Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA).....	23
Tabla N° 7.	Granulometría del agregado grueso y fino .....	38
Tabla N° 8.	Gravedad específica del agregado fino (arena) .....	41
Tabla N° 9.	Gravedad específica del agregado grueso (ripio) .....	43
Tabla N° 10.	Resistencia al desgaste por abrasión.....	46
Tabla N° 11.	Porcentaje de caras fracturadas .....	47
Tabla N° 12.	Análisis de densidad y vacíos.....	57
Tabla N° 13.	Valores rice para mezclas asfálticas tradicionales.....	57
Tabla N° 14.	Diseño de mezcla bituminosa por el método marshall para mezcla asfáltica tradicional. ....	61
Tabla N° 15.	Valores rice para las mezclas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E).....	70
Tabla N° 16.	Diseño de mezcla bituminosa por el método marshall para mezcla asfáltica modificada con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) .....	72
Tabla N° 17.	Comparación de resultados mezcla asfáltica tradicional.....	83

Tabla N° 18. Comparación de resultados de mezcla asfáltica con polímero.....	85
--	----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Comportamiento del asfalto (Consistencia vs. Temperatura) .....	7
Gráfico N° 2. Esquema de polimerización por adición .....	25
Gráfico N° 3. Esquema de polimerización por condensación .....	26
Gráfico N° 4. Planta de asfalto jeal construcciones .....	36
Gráfico N° 5. Curva granulométrica de agregado grueso y fino .....	39
Gráfico N° 6. Inspección de las partículas fracturadas y no fracturadas .....	47
Gráfico N° 7. Reciclaje de tapones platicos.....	48
Gráfico N° 8. Lavado de tapones plástico .....	48
Gráfico N° 9. Tapones triturados .....	48
Gráfico N° 10. Almacenamiento.....	48
Gráfico N° 11. Agregados en la bandeja de calentamiento .....	50
Gráfico N° 12. Cemento asfáltico .....	51
Gráfico N° 13. Agregados más cemento asfáltico .....	51
Gráfico N° 14. Mezclado de agregados y asfalto.....	51
Gráfico N° 15. Compactación de la mezcla asfáltica tradicional .....	52
Gráfico N° 16. Moldes con mezcla asfáltica y gato hidráulico para extracción.....	52
Gráfico N° 17. Briquetas de mezcla asfáltica tradicional .....	53
Gráfico N° 18. Peso en el aire de la briqueta .....	54
Gráfico N° 19. Recipiente de baño maría .....	54
Gráfico N° 20. Ensayo marshall para briquetas asfálticas tradicionales.....	55
Gráfico N° 21. Muestra disgregada.....	56
Gráfico N° 22. Maquina de vacíos.....	56
Gráfico N° 23. Peso del conjunto .....	56
Gráfico N° 24. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica tradicional .....	62
Gráfico N° 25. Cemento asfáltico y polímero (P.E) triturado .....	65
Gráfico N° 26. Agregados, asfalto y polímero (P.E) .....	66
Gráfico N° 27. Mezclado de agregados, asfalto y polímero (P.E).....	66
Gráfico N° 28. Compactación de la mezcla modificada con polímero (P.E) .....	67
Gráfico N° 29. Briquetas asfálticas modificadas con polímero (P.E).....	67
Gráfico N° 30. Briquetas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E).....	68
Gráfico N° 31. Peso en aire de la briqueta modificada.....	69
Gráfico N° 32. Ensayo marshall para briquetas modificadas con polímero (P.E).....	69
Gráfico N° 33. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) .....	75
Gráfico N° 34. Comparación de resultados de la estabilidad entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero. ....	86
Gráfico N° 35. Comparación de resultados del flujo entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero .....	87

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES”

**AUTOR:** Juan Carlos Aimacaña Iza

**TUTOR:** Ing. Mg. Víctor Hugo Paredes

**FECHA:** Octubre 2016

La investigación del presente trabajo busca realizar una mezcla asfáltica con polímero (polietileno P.E), utilizando en este caso tapones plásticos triturados, elaborando briquetas de asfalto mediante la normativa vigente para medir el desempeño de estos contra briquetas de asfaltos tradicional, logrando una reducción importante del impacto ambiental de estos residuos y al mismo tiempo manteniendo o mejorando la calidad del asfalto.

Con la finalidad de obtener los mejores resultados que aporten confiabilidad y basado en el Método Marshall para el Diseño de Mezclas Bituminosas Asfálticas basado en la Norma ASTM D 1559, se elaboran y ensayan a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y tres briquetas de asfalto modificado con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) triturado y adicionado a la mezcla asfáltica como reemplazo parcial del agregado fino, para cada porcentaje de cemento asfáltico; teniendo un total de 60 briquetas asfálticas.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos realizados para determinar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas tradicionales y las mezclas asfálticas modificadas con polímero (P.E) se realiza un análisis comparativo de los valores obtenidos entre las dos mezclas; como la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos. Para el análisis de estos resultados se realizaron tablas y gráficos que muestran sus respectivos valores.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

“ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES”

### **1.2 ANTECEDENTES**

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

La idea de utilizar los plásticos para crear mezclas asfálticas surge de la afinidad de ambos materiales, puesto que los residuos plásticos y el asfalto provienen de los derivados del petróleo. Lo que se pretende es aprovechar un residuo que como mínimo, no modifique las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas, pero si las modifica, tendrá que mejorarlas. Estas mezclas asfálticas modificadas con residuos plásticos, además de aportar beneficios ambientales, presentan mejores características técnicas que las tradicionales y son más duraderas, lo que permite minimizar las operaciones de un mantenimiento vial.

Las necesidades y exigencias de las ciudades modernas, han procurado que las técnicas actuales en la construcción de caminos cumplan con las demandas de los usuarios, hoy en día los productos asfálticos han tenido un gran desarrollo y se disponen de nuevas emulsiones asfálticas, producto del desarrollo obtenido de la realización de pruebas diversas en los distintos materiales que conforman un asfalto.

La utilización de polímeros en la preparación de mezclas asfálticas data desde más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico, desde entonces se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, a través de pruebas de laboratorio.

Las mezclas asfálticas modificadas han demostrado mejores resultados en cuanto a durabilidad en comparación con las mezclas asfálticas tradicionales, dando la oportunidad de adecuarlas a unas condiciones específicas de respuesta según las necesidades del proyecto. Con este proyecto se busca diseñar una mezcla asfáltica modificada con desperdicios plásticos, en este caso tapones de botellas reciclados y triturados, para que de esta manera se constituya en una aplicación para obras de pavimentación y dé respuesta a la problemática de la malla vial, y al mismo tiempo ofrezca una solución ambiental al manejo de los desperdicios como son los residuos plásticos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El asfalto a nivel Mundial es un producto derivado del petróleo, es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado, en la actualidad España, Argentina realiza estudios para crear nuevas mezcla asfálticas, una de estas nuevas mezclas es a base de polímeros (residuos plásticos), con este proyecto lo que se busca es crear un asfalto ecológico para así evitar el vertido de estos desechos y aprovecharlos para su incorporación al asfalto. [6]

En el Ecuador el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) investiga permanentemente con su equipo técnico sobre los nuevos materiales y tipos de revestimientos asfálticos, cada vez de mejor desempeño y ecológicos para garantizar la calidad y seguridad de las carreteras ecuatorianas. [7]

Ecuador utiliza el pavimento asfáltico, elaborado y producido en las plantas asfálticas, para así ejecutar la construcción de carretera y caminos, siendo la longitud y tipo de carreteras un tema de gran importancia nacional. [8]

En la Provincia de Tungurahua el asfalto es un material de vital importancia en la construcción de carreteras, la capacidad que tiene el asfalto para permitir una excelente unión y cohesión entre los agregados, su condición impermeabilizante que hace a la estructura del pavimento escasamente sensible a la humedad además es capaz de resistir la acción de presión y disgregación ocasionada por las cargas vehiculares. [9]

Por todo lo expuesto, la elaboración de una mezcla asfáltica ecológica a base de polímero será de gran beneficio, ya que de esta manera podremos reusar estos polímeros (residuos plásticos) y utilizar esta tecnología que pretende mejorar la vida útil del pavimento.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Estudiar el comportamiento de la estabilidad y flujo de las muestras compactadas, con mezcla asfáltica a base de polímero y mezcla asfáltica tradicional.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Elaborar una mezcla asfáltica ecológica a base de polímero (P.E), para mantener o mejorar sus propiedades físico – mecánicas.
- Determinar un porcentaje óptimo de polímero para el diseño de la nueva mezcla asfáltica.
- Ejecutar el ensayo Marshall en las briquetas con mezcla tradicional y mezcla modificado con polímero.
- Realizar un análisis de costos de producción en planta entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero.



## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La investigación del presente trabajo busca realizar una mezcla de asfalto con polímero (residuo plástico) como el polietileno P.E, elaborando briquetas de asfalto mediante la normativa vigente para medir el desempeño de estos contra briquetas de asfaltos tradicionales, logrando una reducción importante del impacto ambiental de estos residuos y al mismo tiempo mejorando la calidad del asfalto tradicional. Para el desarrollo del tema se requiere conocer conceptos sobre el asfalto, sus componentes y propiedades, el polímero P.E y sus diferentes características, diseño de mezclas método Marshall, entre otros aspectos descritos a continuación.

##### 2.1.1 Asfalto.

Son materiales aglomerados sólidos o semisólidos [10], de color que varía de negro a pardo oscuro, que se licuan gradualmente al calentarse. Sus constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida que se obtienen de la destilación del petróleo, o combinaciones de estos entre sí, o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

**Asfalto diluido:** Es aquel cuya consistencia suave o fluida excede el límite permitido de medida determinado por el ensayo nominal de penetración INEN 917, que es de 300.

##### 2.1.1.1 Cemento asfáltico.

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los asfáltenos que pueden ser naturales u obtenidos como residuos en la refinación del petróleo crudo.

El asfalto posee características tanto químicas como físicas, que son los elementos que le proveen todas sus particularidades y hacen de este el producto esencial que es hoy en la industria de la construcción.

Este cementante contiene tres importantes propiedades químicas: consistencia, pureza y seguridad, donde la primera se debe a su habilidad para fluir a diferentes temperaturas, esto en razón a que el asfalto es un material termoplástico, es decir, se fluidifica a altas temperaturas. La segunda define la composición química del asfalto, donde las impurezas de este, son prácticamente inertes. La tercera precisa el comportamiento de afinidad química con las diferentes cargas eléctricas. De la misma manera, dentro de su composición principalmente de asfáltenos y maltenos, que son los elementos que le proporcionan dichas particularidades; este último define la capacidad del asfalto para ser manejado a altas temperaturas con seguridad. [11]

#### **2.1.1.2 Composición química del asfalto.**

Básicamente el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos [12](combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunos residuos de azufre, oxígeno, nitrógeno, y otros elementos.

El asfalto cuando es disuelto con un heptano, puede separarse en dos partes principales, asfáltenos y maltenos.

Los asfáltenos no se disuelven en el heptano; los asfáltenos una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso del grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza.

Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son por lo general líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color claro.

Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfáltenos y las resinas.

La proporción de asfáltenos y maltenos en el asfalto pueden variar a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición de luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en la partícula de los agregados.

Las reacciones que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles de oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburos con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más para formar una sola molécula

más pesada) y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. [12]

### **2.1.1.3 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación.**

Las propiedades físicas del asfalto de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

- Durabilidad
- Adhesión y Cohesión
- Susceptibilidad a la temperatura
- Endurecimiento y Envejecimiento
- Pureza

**Durabilidad:** Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Es una propiedad juzgada principalmente por el 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.

**Adhesión y cohesión:** La adhesión se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Mientras que la cohesión se refiere a la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto las partículas de agregado en el pavimento terminado.

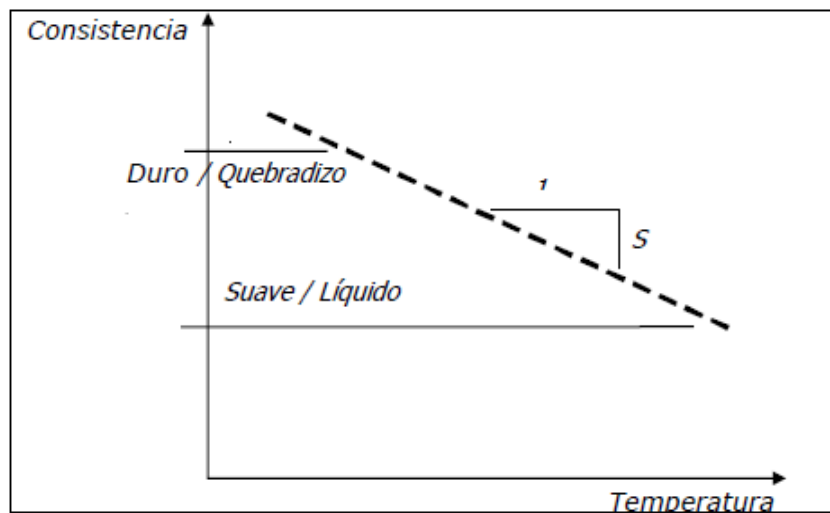
**Susceptibilidad a la temperatura:** Todos los asfaltos son termoplásticos, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto.

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, pero aun así los asfaltos 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 respecto a otras durante la compactación.

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

**Gráfico N° 1.** Comportamiento del asfalto (Consistencia vs. Temperatura)



**Fuente:** Principios de construcción de mezclas asfálticas en caliente. Asphalt Institute.

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

**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 que está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento sean más severos en la etapa de mezclado.

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 mantienen en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado. [12]

**Pureza:** El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue perdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores de 100°C. La pureza de un cemento asfáltico está definida por su carencia de humedad, así como de cualquier impureza. [13]

#### **2.1.1.4 Clasificación de los asfaltos de pavimentación.**

De acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos:

1. Cementos asfálticos
2. Asfaltos rebajados
3. Asfaltos emulsificados

**1. Cementos asfálticos:** Los cementos asfálticos se dividen en tres grupos, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

**A.- Caracterización por penetración:** Se aplica la norma ASTM D - 946 (clasificación estándar por grado de penetración para cementos asfálticos utilizados en pavimentación). Esta norma abarca los siguientes grados de penetración.

- 40 – 50
- 60 – 70
- 85 – 100
- 120 – 150
- 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en decimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200 – 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto BLANDO, un grado 40 – 50 es indicador de un asfalto DURO. [13]

**B.- Caracterización por viscosidad:** Se aplica la norma ASTM D - 3381 (Clasificación estándar por grado de viscosidad para cementos asfálticos utilizados en pavimentación), esta norma clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican de la siguiente manera:

- **AC- 5 (500 ± 100):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- **AC- 10(1000 ± 200):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frio.
- **AC- 20 (2000 ± 400):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezcla en frio.
- **AC- 30 (3000 ± 600):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frio.

**C.- Caracterización por comportamiento:** Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), además también está incluido en la norma ASTM D - 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento), incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer a corto o largo plazo y posteriormente se mide su viscosidad.

**2.- Asfaltos rebajados:** Conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres tipos:

**A.- Asfalto de curado rápido (RC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.

**B.- Asfalto de curado medio (MC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y disolvente como el queroseno de media volatilidad.

**C.- Asfaltos de curado lento (SC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

**3.- Asfaltos emulsificados:** Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

- **Emulsión aniónica:** Los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.
- **Emulsión catiónica:** Los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

[13]

#### **2.1.1.5 Tipos de asfaltos.**

##### **1.- Asfaltos oxidados o soplados.**

Estos son asfaltos que han sido sometidos [14] a un proceso de deshidrogenación y posteriormente a un proceso de proliferación. Este asfalto es expuesto a una elevada temperatura pasándole una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y ser empleados en aplicaciones más especializadas.

El proceso de oxidación en los asfaltos presentan las siguientes modificaciones físicas.

- Aumento del peso específico.
- Aumento de la viscosidad.
- Disminución de la susceptibilidad térmica.

## **2.- Asfaltos solidos o duros.**

Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10. Además de ser aglutinante e impermeabilizante, se caracteriza por su flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos y alcoholes.

## **3.- Asfaltos fillerizados.**

Asfaltos en cuya composición hay materiales finamente molidas que pasan por el tamiz # 200. [10]

## **4.- Asfaltos líquidos.**

Son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida, por ello no se incluye en el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300. También se los denomina asfaltos rebajados o cutbacks.

Se componen por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando residuos asfálticos el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado. [14]

### **2.1.2 Usos más comunes del asfalto en ingeniería.**

#### **El asfalto en pavimentos.**

Uno de los principales usos que se le da a los asfaltos es, entre otros, como material aglutinante en la elaboración de carpetas asfálticas para la construcción de pavimentos flexibles. [15]

**Tratamientos especiales:** Consiste en una delgada capa de desgaste, de espesor comúnmente menor de 2.50 cm, compuesta de dos o más aplicaciones de asfalto líquido cubierto de áridos.

El tratamiento superficial es un tipo de carpeta económica que da buenos resultados durante un periodo limitado de tiempo. Puede emplearse como un paso durante la construcción por etapas.



### **El asfalto como impermeabilizante.**

Los asfaltos soplados u oxidados se producen cuando se hace pasar aire a través de los asfaltos calentados, esto con el fin de darles las características necesarias para ciertos usos especiales.

Su uso en carreteras está limitado en gran medida a la impermeabilización de estructuras y al relleno de juntas de los pavimentos de concreto hidráulico. También es común utilizarlo como impermeabilizante en la construcción de cimientos en obras civiles.

En nuestro medio es muy utilizado como impermeabilizante de techos, desde pequeñas casas, habitaciones, hasta grandes obras de ingeniería y su aplicación es relativamente sencilla ya que solo se requiere de mínima experiencia en el trabajo de impermeabilizantes.

### **El asfalto en obras hidráulicas.**

El principal uso en obras hidráulicas es como relleno en las juntas y en la construcción de canales.

Los objetivos a cumplir en las estructuras hidráulicas son:

- Evitar la pérdida de agua.
- Proteger las laderas de la erosión.
- Disminuir el rozamiento.
- Reducir el servicio de conservación.
- Revestimientos asfálticos para instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Revestimiento de presas.
- Revestimiento de canales con membrana enterrada. [15]

### **2.1.3 Asfaltos de producción nacional.**

En el Ecuador se producen los siguientes asfaltos, obtenidos de las refinerías nacionales.

### **Asfalto de origen artificial.**

Es aquel obtenido por la destilación del petróleo. Esta actividad principalmente se realiza en refinerías. Según la forma como se presente el producto final, podemos tener asfaltos sólidos, semisólidos y líquidos.

- **Asfaltos sólidos:** Se obtiene con el enfriamiento del asfalto líquido obtenido en las plantas asfálticas.
- **Asfaltos semisólidos:** También conocido como asfalto soplado u oxidado, se lo obtiene cuando se incluye aire a través del residuo durante el último proceso del refinamiento. Este posee propiedades especiales tales como una rigidez muy alta y consistencia elevada ante las temperaturas que se lo expone. Los asfaltos semisólidos no se usan directamente como capa de rodadura, pero se los aplica para rellenar juntas de pavimento de hormigón y en pavimentos rígidos viejos para sellado inferior cuando se presentan huecos.
- **Asfaltos líquidos:** Denominado también cutback, en el MOP es conocido como asfalto rebajado, acerca de este, el libro de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP – 001 – F – 2002 determina que es un cemento asfáltico, líquido a la temperatura ambiente, que se obtiene durante el proceso de refinación del petróleo o calentado y diluyendo un cemento asfáltico, mediante la adición de un destilado volátil del mismo petróleo: nafta, gasolina, querosén, aceites combustibles, aceites diésel. [16]

#### **2.1.4 Características de los materiales asfálticos.**

Las propiedades y características de los materiales asfálticos [19] dependen de su estructura y composición química, pero dada su gran complejidad, estos materiales se caracterizan mediante ensayos empíricos para valorar las propiedades que tienen que poseer para emplearse como ligantes en obra de carreteras.

Las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

- **Carácter termoplástico:** por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de mojar y envolver los áridos, al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
- **Buen comportamiento mecánico y reológico:** para resistir las tensiones impuestas por el tránsito y poder mantener a las temperaturas de servicio, en la estructura de la mezcla asfáltica.
- **Resistir al envejecimiento:** frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

En conclusión las propiedades fundamentales que deben poseer los asfaltos para emplearse en carreteras son: adhesividad a los áridos, buen comportamiento reológico y resistencia al envejecimiento. [19]

## 2.2 MATERIALES PÉTREOS.

También conocidos como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier mineral duro e inerte usado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

Los agregados típicos incluyen grava, piedra triturada, arena y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90% y 95% en peso y entre el 75% y el 85% en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento.

El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante. [12]

### Áridos.

Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 696, para material determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, finos y gruesos, por tamizado. [17]

### Agregados pétreos.

Son materiales sólidos inertes que se emplean para la [18] construcción de carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas, se utilizan

para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o como ligantes asfálticos. (Smith M.R. and Collins 1994)

### **Tipos de agregados pétreos.**

- a) **Agregados naturales:** Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.
- b) **Agregados de trituración:** Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.
- c) **Agregados artificiales:** Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.
- d) **Agregados marginales:** Los agregados marginales engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

### **Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos.**

Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se debe considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del firme y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas.

#### **1.- Naturaleza e identificación.**

Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.

#### **2.- Propiedades geométricas.**

Principal y básicamente la forma y angulosidad de las partículas, con relación al conjunto del esqueleto mineral se estudia la distribución granulométrica.

#### **3.- Propiedades mecánicas.**

Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento.

#### **4.- Ausencia de impurezas.**

Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción del pavimento estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede ser una causa suficiente para provocar su degradación.

#### **5.- Inalterabilidad.**

Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los agregados pétreos que se van a utilizar en una obra; así, los materiales evolutivos han de ser empleados con especiales precauciones para evitar comportamientos anómalos que puedan afectar la vida útil de las capas.

#### **6.- Adhesividad.**

Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento, y en caso de problemas de afinidad, será necesario el uso de activantes, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas. [18]

### **2.2.1 Caracterización de los agregados pétreos.**

#### **Agregado grueso.**

- **Granulometría ASTM D 5821-95** [19] (Método estándar para análisis de porcentaje de caras fracturadas en los agregados). El propósito de este ensayo es de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado, y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentos.

La forma de las partículas de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

El peso total de la muestra dependerá del tamaño del agregado así:

**Tabla N° 1.** Tamaño del agregado para ensayo de porcentaje de caras fracturadas en los minerales.

TAMAÑO DEL AGREGADO	PESO EN (gr.)
37.5 a 25.0 mm (1 ½" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm (1" a ¾")	1500
19.0 a 12.5 mm (¾" a ½")	1200
12.5 a 9.5 mm (½" a ⅜")	300

- **Prueba de abrasión ASTM C - 131** (Método estándar para el análisis de abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles). El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de los Ángeles.

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

- **ASTM C-131 o AASHTO T-96 y ASTM C-535.** Mide la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o la abrasión.

El desgaste máximo permisible es de 35%. De acuerdo a la graduación del material existen 4 tipos de abrasión.

**Tabla N° 2.** Tipos de abrasión

TIPO	RETENIDO	PESO (gr)	No. DE ESFERAS	REVOLUCIONES	TIEMPO (min)
A	1", ¾", ½", Y ⅜"	1250 ± 10	12	500	17
B	½" Y ⅜"	1250 ± 10	11	500	17
C	¼" Y # 4	1250 ± 10	8	500	17
D	# 8	1250 ± 10	6	500	17

**Fuentes:** Adaptacion de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. VOL. 2

- **Gravedad específica ASTM C-127** (Método estándar para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso). El ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico “bulk”, lo mismo que la capacidad de agua que se absorbe en el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Las cantidades mínimas para ensayo se indican en la Tabla 2, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

**Tabla N° 3.** Cantidades mínimas para ensayo según el tamaño nominal.

Tamaño máximo nominal		Cantidad mínima de muestra
mm	(pulg)	Kg
Hasta 12.5	1 / 2	2
19.0	3 / 4	3
25.0	1	4
37.5	1 1 / 2	5
50.0	2	8
63.0	2 1 / 2	12
75.0	3	18
90.0	3 1 / 2	25

- **Partículas planas y alargadas ASTM D-4791.** (Partículas planas o alargadas en los agregados). Son definidas respectivamente, como aquellas partículas cuya dimensión ultima es menor que 0.6 veces su dimensión promedio y aquellas que son mayores 1.8 veces la dimensión promedio. Para el propósito de esta prueba, las dimensiones promedio se define como el tamaño medio entre las dos aberturas 1” a 3/4”, 3/4" a 1/2", 1/2" a 3/8”, etc. Entre los agregados al ser tamizados.

#### **Agregado fino.**

- **Equivalente de arena ASTM D-2419.** Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm). El término “Equivalente de Arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

- **Determinación del peso específico del agregado fino ASTM C-128.** Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.
- **Análisis granulométrico ASTM D-422.** El análisis granulométrico tiene como objeto, que las partículas de agregados estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas estén presentes en la mezcla de pavimentación en ciertos porcentajes.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. [19]

## SEGÚN MOP-001-F-2002. TOMO II. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES

Los agregados son de tipo A, los mismos que serán sometidos a las exigencias de calidad requeridas en las especificaciones del MTOP. La granulometría a utilizarse está expuesta de acuerdo a la Tabla 3. [20]

**Tabla N° 4.** Requisitos granulométricos para mezclas asfálticas en planta según especificaciones del MTOP

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3 / 4"	1 / 2"	3/8"	N ° 4
1" (25.4 mm)	100	----	----	----
¾" (19.0 mm)	90 – 100	100	----	----
½" (12.7 mm)	----	90 – 100	100	----
3/8 (9.50 mm)	56 – 80		90 – 100	100
N ° 4 (4.75 mm)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
N ° 8 (2.36 mm)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
N ° 16 ( 1.18 mm)	----	----	----	40 – 80
N ° 30 (0.60 mm)	----	----	----	25 – 65
N ° 50 (0.30 mm)	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
N ° 100 ( 0.15 mm)	----	----	----	3 – 20
N ° 200 (0.075 mm)	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10



### 2.3 CAPA DE RODADURA

**Ministerio de obras públicas y comunicación MOP-001-F2001.** Capa superior de la calzada, de material especificado, designada para dar comodidad al tránsito. Debe tener características antideslizantes, ser impermeable y resistir la abrasión que produce el tránsito y los efectos desintegrantes del clima. A veces se llama “Capa de Desgaste”. [20]

#### **Pavimento.**

Un pavimento [21] puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida entre el nivel superior de la subrasante y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a los cambios climatológicos y otros agentes perjudiciales, así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de modo que este no se deforme de manera perjudicial.

Los pavimentos se clasifican en Flexibles y Rígidos.

- **Pavimentos flexibles:** Consiste de una superficie de desgaste o carpeta relativamente delgada construida sobre unas capas (Base y Sub-base), apoyándose este conjunto sobre la subrasante compactada, de manera que la sub-base y superficie de desgaste o carpeta son las componentes estructurales de este tipo de pavimento.
- **Pavimentos rígidos:** Consisten en una losa de concreto hidráulico y pueden o no tener una capa sub-base entre la losa y la subrasante. [21]

### 2.4 TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

#### **Mezclas asfálticas en caliente.**

Constituyen el tipo más generalizado de mezclas asfálticas [22] y se define como mezcla asfáltica en caliente a la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y eventualmente aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los

agregados (excepto el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiental.

Se emplea tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes.

### **Mezclas asfálticas en frío.**

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío, se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado; el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante.

### **Mezcla porosa o drenante.**

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5% y 5% de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón.

Utilizada como mezclas en caliente para tráfico de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm, se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración. [22]

## **2.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

El 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 como son:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de transito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de 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.

El diseño de mezcla adecuado, es generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente. De acuerdo a la normativa AASHTO y ASTM existen dos tipos de diseños de mezclas asfálticas en caliente:

- Marshall: Utilizado en el diseño debido a que se encuentra dentro de las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y puentes” año 2001, sección 401 (Pavimentos)
- Hveem.

En el trabajo experimental se utilizara el Método Marshall siendo un diseño de mezcla adecuado, generalmente el más económico y que cumple satisfactoriamente los criterios mencionados anteriormente. [19]

### **2.5.1 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL ASTM D 1559.**

El concepto de este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero del estado de Mississippi. El método 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 debe utilizar probetas de 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. [19] Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son:

- Prueba de estabilidad y flujo de muestras compactadas.
- Análisis de la relación de vacíos – densidad

Las probetas compactadas mediante golpes de martillo dependerá del tráfico a diseñar, para esta investigación será de 75 golpes, ya que se trata de modificar una mezcla asfáltica para tráfico pesado.

**Tabla N° 5.** Criterio de diseño de mezclas marshall.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y Base		Carpeta y Base		Carpeta y Base	
Criterio de mezcla	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver tabla					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

**Tabla N° 6.** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	In	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 6	16.0	17.0	18.0
9.5	3 / 8	14.0	15.0	16.0
12.5	1 / 2	13.0	14.0	15.0
19	3 / 4	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

## 2.6 POLÍMERO DEFINICIÓN.

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadena en forma de escalera, cadenas largas y sueltas.

### Principales modificadores utilizados en el asfalto.

Existen varios modificadores poliméricos aprobados por las normas ASTM (American Society for Testing Materials) y son:

- **Tipo I:** Polímeros elastómeros a base de estireno, usados principalmente en carpetas delgadas, pavimentos con tránsito pesado y cualquier tipo de clima, ya que se busca mejorar el comportamiento de las mezclas a altas y bajas temperaturas.
- **Tipo II:** Polímeros elastoméricos con una configuración de caucho de estireno, butadieno látex o neopreno látex, mejora el comportamiento del asfalto a bajas temperaturas. Se usa para el mejoramiento del asfalto en climas fríos.
- **Tipo III:** Polímero tipo plastómero, mejora el comportamiento del asfalto a altas temperaturas, sirve para mejorar el ahuellamiento a altas temperaturas. Se usa para mejoramiento de asfaltos en climas calientes.

En el desarrollo de la investigación con pavimentos, se debe tener en cuenta que se rigen por parámetros ya establecidos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) o el American Society for Testing Materials (ASTM), en los cuales se reglamenta los parámetros que debe cumplir las mezclas modificadas con polímeros, para ser aprobada su respectiva aplicación. [23].

### 2.6.1 Tipos de polímeros.

#### Polímeros naturales.

Provenientes directamente del reino vegetal o animal. Ejemplo:

Proteínas, caucho natural, celulosa, almidón, ácidos nucleicos, etc.

### Polímeros artificiales.

Son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.

### Polímeros sintéticos.

Son los que se obtienen por proceso de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: polietileno, nylon, cloruro de polivinilo, polimetano, etc.

#### 2.6.2 Producción de los polímeros.

El proceso para producir un polímero es llamado [24] polimerización, los monómeros se unen entre sí para generar las gigantescas moléculas que constituyen el material.

La mayor parte de las materias primas necesarias para sintetizar polímeros derivan de productos del carbón y del petróleo, que suelen estar constituidos por moléculas de pequeño peso molecular.

Para formar un polímero existen dos formas que son:

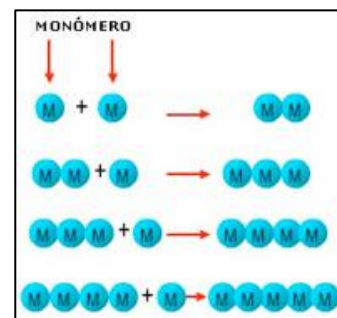
- 1.- Polimerización por adición, y
- 2.- Polimerización por condensación.

#### Polimerización por adición.

Los monómeros se adicionan unos contra otros, de tal manera que el producto polimérico contiene todos los átomos del monómero inicial.

Un ejemplo de esto es la polimerización del etileno (monómero) para formar el polietileno, en donde todos los átomos que componen el monómero forman parte del polímero.

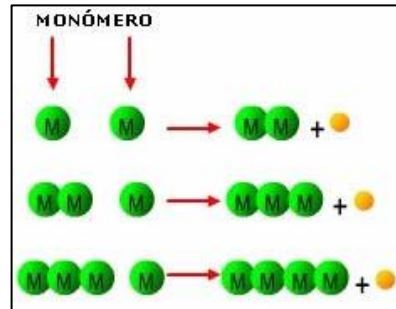
**Gráfico N° 2.** Esquema de polimerización por adición



### Polimerización por condensación.

En este caso, no todos los átomos del monómero forman parte del polímero, para que los monómeros se unan, una parte de este se pierde.

Gráfico N° 3. Esquema de polimerización por condensación



#### 2.6.3 Clasificación de los polímeros.

1. Según su composición
2. Según su estructura
3. Según la reacción de polimerización
4. Según su comportamiento frente al calor
5. Según su área de aplicación

##### 1.- Según su composición.

- **Homopolímeros:** Estos están formados por una única unidad repetitiva; Ejemplo: Polimetacrilato de metilo.
- **Copolímeros:** Estos están formados por más de una unidad respectiva; Ejemplo: monómeros.

##### 2.- Según su estructura.

- **Lineales:** Estos están formados por monómeros disfuncionales; Ejemplo: polietileno, poliestireno.
- **Ramificados:** Se requiere el agregado de monómeros trifuncionales; Ejemplo: glicerol.
- **Entrecruzados:** Se forma un material compuesto por una molécula tridimensional continua, toda ella unida por enlaces covalentes (resinas urea-formaldehído y fenol-formaldehído)

### 3.- Según la Reacción de polimerización.

- **Polimerización por reacción en cadena o adición:** Se genera una partícula reactiva (radical, anión o catión) a partir de una molécula de monómeros y esta se adiciona a otro monómero de manera repetitiva; Ejemplo: polimerización de monómeros vinílicos.
- **Polimerización por crecimiento en pasos o condensación:** Los monómeros que reaccionan tienen un grupo funcional reactivo en cada extremo de la molécula y la unión entre los monómeros requieren la pérdida de una molécula pequeña, normalmente  $H_2O$ ; Ejemplo: los polímeros de condensación son los poliésteres y las poliamidas.

### 4.- Según su comportamiento frente al calor.

- **Termoplásticos:** Son aquellos que tras ablandarse o fundirse por efecto del calor, recuperan sus propiedades originales luego de enfriarse.  
En general son polímeros lineales, con bajo PF y solubles en disolventes orgánicos; Ejemplo: derivados polietilénicos, poliamidas.
- **Termoestables:** Son aquellos que luego del calentamiento se convierten en sólidos más rígidos que los polímeros originales, esta característica se debe normalmente a una polimerización adicional o de entrecruzamiento. Suelen ser insolubles en disolventes orgánicos y se descomponen a altas temperaturas.
- **Elastómero:** Son plásticos con un comportamiento elástico que pueden ser deformados fácilmente sin que se rompan sus enlaces o modifiquen su estructura.

### 5.- Según su área de aplicación.

- **Elastómeros:** Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad, es decir se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.



- **Plásticos:** Son aquellos polímeros que ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.
- **Fibras:** Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.
- **Recubrimientos:** Son sustancias normales líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad; Ejemplo: resistencia a la abrasión.
- **Adhesivos:** Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

#### 2.6.4 Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos.

En la actualidad los cementos asfálticos son modificados comúnmente con:

- **Elastómeros:** Son polímeros de respuesta elástica y pueden ser: Látex, Hule natural, SBS, SBR.
- **Plastómeros:** Este polímero rigidizan el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente y pueden ser: Polietileno, PVC, EVA. [24]

### 2.7 MEZCLAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS.

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías.

Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos tradicionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos, se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y o química de los polímeros con un ligante asfáltico. Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos.

Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren, es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se determina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de carga, sean lo suficientemente flexibles para evitar el Fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de carga, sean resistentes a las deformaciones.

En general un agente modificador logra:

- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión y adhesión interna.
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento a fatiga.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento.
- Aumentar la adhesividad árido – ligante. [19]

**SEGÚN EL MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIÓN MOP-001-F2001. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES.** Los polímeros pueden ser agregados durante la preparación de la solución jabonosa o pueden ser mezclados con el cemento asfáltico en la planta de emulsión, antes del proceso de emulsificación. La cantidad mínima y el tipo de polímero modificador deberá ser determinada por el laboratorio responsable del diseño de mezcla [20]

### **2.7.1 Aplicaciones de un asfalto modificado.**

El asfalto modificado puede ser aplicado de diferentes maneras, dependiendo del uso y necesidades que se requieran cubrir. A continuación se describen algunas aplicaciones:

- **Concreto asfáltico:** Se caracteriza por reducir las deformaciones permanentes, mayor resistencia a la fatiga, uso de capas más delgadas y mejor resistencia a la post – compactación.

Se aplica en pavimentos de pistas de aeropuertos donde las exigencias son muy elevadas, también el “Rolled Asphalt” donde la reflexión de fisuras es muy usual (tránsitos muy intensivos, alta carga de tránsito y peso elevado).

- **Mezclas abiertas:** Se caracteriza por la menor post – compactación y retención de agua y mejor adhesividad del agregado. Se aplica en pavimentos de drenaje o donde las cargas de tránsito no sean elevadas.
- **Membrana absorbidora intercapa de esfuerzos:** Se caracteriza por la capacidad para absorber movimientos horizontales producidos por las grietas de varios milímetros, mantenimiento de las propiedades elásticas en un amplio rango de temperatura, buena adhesividad a la vieja y nueva capa de asfalto y se puede utilizar capas asfálticas más delgadas.
- **Tratamientos superficiales:** Se caracteriza por su mejor retención del agregado, su mayor rango de uso incluidos caminos con tránsito pesado, su mejor resistencia a la tracción y por su formulación de asfaltos diluidos y emulsiones se aplica en asfaltos diluidos modificados para ser usado en tratamientos superficiales o riegos de liga. [25]

## 2.8 HIPÓTESIS

El asfalto con polímero (P.E) reciclado y triturado en remplazo parcial del agregado fino, permite que esta mezcla modificada mantenga o mejore sus propiedades físico-mecánicas ante las deformaciones por factores climatológicos y de peso vehicular.

## 2.9 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

### 2.9.1 Variable independiente

El asfalto con polímero (P.E) reciclado y triturado en remplazo parcial del agregado fino.

### 2.9.2 Variable dependiente

Mantenga o mejore sus propiedades físico-mecánicas ante deformaciones por factores climatológicos y de peso vehicular.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **INVESTIGACIÓN APLICADA**

El presente estudio tiene como propósito determinar una característica importante en la elaboración de una mezcla asfáltica tradicional empleando un material de reciclaje en su composición, de tal manera que permita establecer la finalidad práctica y factible de su uso, considerándolo como un material alternativo en la elaboración de futuras obras de pavimentación.

##### **INVESTIGACIÓN DE LABORATORIO**

Para el desarrollo de la investigación y la obtención de resultados se requiere elaborar briquetas de asfalto tradicional y briquetas con adición de polímero (P.E) reciclado y triturado en remplazo parcial del agregado fino, dosificadas y ensayadas en un laboratorio que preste las facilidades y equipos necesarios para este fin.

##### **INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL**

La investigación es experimental debido a que se necesita ejecutar Ensayos Marshall de estabilidad y flujo de las muestras compactadas en diversas briquetas de asfalto dosificadas cuidadosamente en el laboratorio, añadiendo el 1%, 2% y 3% de polímero reciclado y triturado en reemplazo parcial del agregado fino. Estos son estudios poco analizados en el medio actual y con este estudio se da paso a posibles perfeccionamientos y aplicaciones futuras.

### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.**

En la presente investigación el objeto de estudio son briquetas cilíndricas de asfalto, por lo cual no se puede cuantificar el universo. Con la finalidad de obtener los mejores resultados que aporten confiabilidad y basado en el Método Marshall para el Diseño de Mezclas Bituminosas, basado en la Norma AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225, se elaboran y ensayan a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y tres briquetas de asfalto modificado con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) triturado y adicionado a la mezcla asfáltica como reemplazo parcial del agregado fino, por cada porcentaje de cemento asfáltico; teniendo un total de 60 briquetas asfálticas. Esto permitirá determinar la influencia de este porcentaje de polímero en la estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 Variable independiente

El asfalto con polímero reciclado y triturado en reemplazo parcial del agregado fino.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El asfalto con adición de polímero (P.E) reciclado y triturado es una mezcla de cemento asfáltico, áridos, y un porcentaje de polímero triturado en reemplazo parcial de la arena, con el objeto de analizar su influencia en la estabilidad y flujo de las muestras compactadas.	Asfalto	Estabilidad y Flujo de las muestras	¿Qué porcentaje de cemento asfáltico nos garantiza una adecuada mezcla asfáltica?	Ensayos de laboratorio.  Normas AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225
	Polímero	Calidad	¿Cuáles son las características del polímero para ser empleado en las mezclas de asfalto?	Investigación web y experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje óptimo para elaborar la mezcla asfáltica?	Ensayos de laboratorio. Análisis y comparación de resultados.

**Cuadro 1.-** Operacionalización de la variable independiente.

### 3.3.2 Variable dependiente.

Mantenga o mejore sus propiedades físico-mecánicas ante deformaciones por factores climatológicos y de peso vehicular.

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e instrumentos
La estabilidad y flujo que ofrecerá la mezcla modificada cuando esté sujeta a las deformaciones por factores climatológicos y de peso vehicular.	Calidad del Asfalto	Calidad	¿Cuál será la calidad de la briqueta de asfalto?	Norma AASHTO ASTM
		Muestreo	¿Cuáles son los requisitos de calidad para los agregados a utilizarse?	MOP - 001-F 2002 Tabla 405-5.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes
	Ensayo de deformación	Volumen peso	¿Cuál es el tamaño nominal de la briqueta asfáltica?	Norma AASHTO ASTM
		Equipos y Materiales	¿Qué equipos y materiales se debe usar para elaborar la briqueta de asfalto?	ASTM D 1559 AASHTO T 225 AASHTO T 245

**Cuadro 2.-** Operacionalización de la variable dependiente

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
1. ¿Para qué?	Analizar la estabilidad y flujo de las muestras compactadas al emplear polímero (P.E) reciclado y triturado en remplazo parcial del agregado fino.
2. ¿De qué persona u objeto?	De briquetas de asfalto elaboradas con el 1%, 2% y 3% de polímero P.E reciclado y triturado.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Influencia en la estabilidad y flujo de las muestras compactadas, de las briquetas de asfalto.
4. ¿Quién?	Juan Carlos Aimacaña Iza.
5. ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato y Laboratorio de Mecánica de suelos y Ensayo de Materiales del GAD Municipal de Ambato.
6. ¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio.

**Cuadro 3.-** Recolección de información

### 3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

#### 3.5.1 Plan de procesamiento de la información

- Revisión crítica, técnica y detallada de la información recolectada.
- Tabulación de datos acorde a las variables de la hipótesis, manejo de la información.
- Representación gráfica de los resultados.

#### 3.5.2 Plan de análisis

- Analizar e interpretar los resultados obtenidos, haciendo referencia a los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis, determinación de conclusiones y recomendaciones.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RECOLECCION DE DATOS

Previa a la elaboración y dosificación de las briquetas de asfalto que permita obtener una adecuada estabilidad y flujo de las muestras compactadas respectivamente, se procede a realizar ensayos a los agregados procedentes de la Provincia de Tungurahua, se realizara cada ensayo siguiendo la respectiva Norma Inen, para obtener resultados idóneos.

#### UBICACIÓN DE LA FUENTE DE AGREGADOS MINERALES A UTILIZARSE.

Los agregados minerales a utilizarse en el diseño de la mezcla asfáltica proviene de la Planta Asfáltica Jeal Construcciones ubicada en el sector de las Viñas, en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua; la misma que provee agregado triturado de diferentes tamaños, para la fabricación de hormigones y asfaltos.

**Gráfico N° 4.** Planta de Asfalto JEAL CONSTRUCCIONES



#### **4.1.1 Ensayos realizados a los agregados.**

Los ensayos realizados a los agregados para ser empleados en la elaboración de las briquetas de asfalto, son ejecutados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, de la Universidad Técnica de Ambato.

Estos ensayos son:

- Análisis granulométrico ASTM D 422
- Gravedad específica y absorción del agregado fino ASTM C 128
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso ASTM C 127
- Resistencia al desgaste por abrasión (máquina de los ángeles) ASTM C 131
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados ASTM D 5821 - 95

Se procederá a ensayar tanto en agregado grueso como el agregado fino, haciéndolos pasar por los tamices que determina la norma INEN, con el objeto de verificar si son aptos para la elaboración de asfalto.

**Ensayo N.- 1: Análisis granulométrico, se empleara la norma Inen 696.**

#### **Propósito.**

Esta norma cubre el muestreo de agregados gruesos y finos.

#### **Procedimiento.**

Primeramente se debe realizar un cuarteo de la muestra total a ensayar, la muestra escogida para el ensayo, se coloca sobre la torre de tamices que están conformados de la siguiente manera: 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 que corresponde a la faja de 3/4" para mezclas asfálticas en planta según especificaciones del MTOP, luego colocamos la torre de tamices sobre el pedestal vibratorio para que las partículas puedan retenerse o pasar por cada uno de los tamices.

Tamiz	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3 / 4"	1 / 2"	3/8"	N ° 4
1" (25.4 mm)	100	----	----	----
¾" (19.0 mm)	90 – 100	100	----	----
½" (12.7 mm)	----	90 – 100	100	----
3/8 (9.50 mm)	56 – 80		90 – 100	100
N ° 4 (4.75 mm)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
N ° 8 (2.36 mm)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
N ° 16 ( 1.18 mm)	----	----	----	40 – 80
N ° 30 (0.60 mm)	----	----	----	25 – 65
N ° 50 (0.30 mm)	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
N ° 100 ( 0.15 mm)	----	----	----	3 – 20
N ° 200 (0.075 mm)	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10

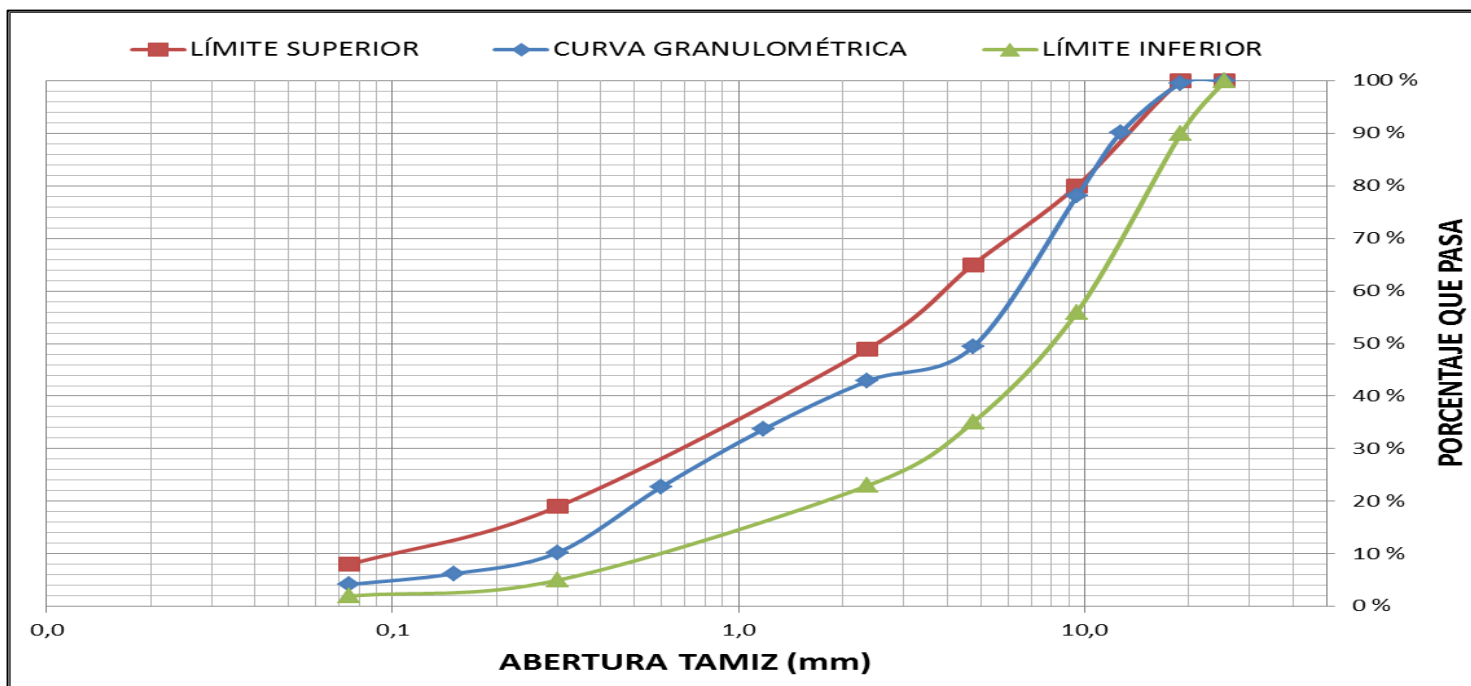
Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del material ensayado que retiene cada tamiz, por lo cual se pesan las cantidades retenidas y se suman en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor. (Ver Tabla N° 7)

**Tabla N° 7.** Granulometría del agregado grueso y fino.

TAMIZ		PESO RETENIDO EN (gr)		% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA 3/4	
PULGADAS	mm	gr	ACUMULADO				
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	6,23	0,52	0,52	99,48	90	100
1/2"	12,7	112,84	9,40	9,92	90,08		
3/8"	9,5	143,91	11,99	21,92	78,08	56	80
# 4	4,8	344,75	28,73	50,65	49,35	35	65
#8	2,36	77,23	6,44	57,08	42,92	23	49
#16	1,180	110,68	9,22	66,31	33,69		
#30	0,60	130,64	10,89	77,20	22,80		
#50	0,30	150,6	12,55	89,75	10,25	5	19
#100	0,15	48,44	4,04	93,78	6,22		
#200	0,075	24,3	2,03	95,81	4,19	2	8
Pasa #200	0,010	50,29	4,19	100,00	0,00		
	Σ=	1200	100				

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza**

**Gráfico N° 5.** Curva granulométrica de agregado grueso y fino



**Fuente:** Juan Carlos Aimacaña Iza.

**INTERPRETACIÓN:** Realizando el ensayo de granulometría de los agregados tanto de la arena como de ripio, obtenidos en la Planta Asfáltica JEAL CONSTRUCCIONES del cantón Ambato, podemos observar en la gráfica que la curva granulométrica se encuentra dentro de los requisitos de graduación que establece MTOP en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, por lo tanto es un material apto para la elaboración de la mezcla asfáltica.

**Ensayo N.- 2: Gravedad específica y absorción de los agregados finos, se empleara la norma ASTM C 128.**

**Propósito.**

Este ensayo se emplea para la determinación de la gravedad específica y absorción de agua del agregado fino cuando este ha sido sumergido por un periodo de 24 horas, se lo realiza en estado saturada superficialmente seca (SSS) y usaremos el método del picnómetro.

**Procedimiento.**

La muestra para el ensayo debe ser cubierta totalmente por agua y se la deja sumergida por  $24 \pm 4$  horas, luego de haber pasado el tiempo requerido se retira la muestra del agua y se extiende sobre una superficie lisa y se somete a una corriente de aire caliente para secar la superficie de las partículas mientras se frota con las manos para que el secado sea uniforme.


Luego de un tiempo se vierte la muestra en el molde cónico, colocando en su interior a través de un embudo una cantidad suficiente de muestra, y se compacta con la varilla dando 25 golpes en forma uniforme; se retira el molde verticalmente y se le da un golpe a la arena compactada, y si se derrumba quiere decir que la muestra está saturada superficialmente seca SSS.

A continuación se pesa el picnómetro vacío, se pesa 50 gr de muestra en el picnómetro y se vierte agua hasta la marca de aforo y se pesa el conjunto.

Se da vueltas al picnómetro con la muestra y el agua, con el fin de liberar posibles burbujas atrapadas en la muestra, se toma la temperatura del conjunto, se vierte el contenido en un recipiente, se deja reposar unos minutos y se separa la muestra del agua.

Luego de haber tomado los respectivos pesos, se introduce la muestra en el horno durante  $24 \pm 4$  horas, y finalmente se saca la muestra de horno y se pesa.

**Tabla N° 8.** Gravedad específica del agregado fino (Arena).

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES		
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO</b>		
<b>Origen:</b>	Mina JEAL - Sector las Viñas - Provincia de Tungurahua	
<b>Ensayado por:</b>	Juan Carlos Aimacaña Iza	
<b>Fecha:</b>	Miercoles , 04 de Agosto de 2016	
<b>Norma:</b>	INEN 856	
DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Temperatura del agua y suelo en °C	21	°C
Recipiente + agregado seco	165	gr
Peso del recipiente	115	gr
Peso del agregado SSS al aire	50	gr
Peso del suelo seco al horno	Ws	48,1 gr
Peso Picnómetro + agua	Wbw	647 gr
Peso suelo seco + peso Pic + agua	Ws + Wbw	695,1 gr
Pic + agua + suelo (sumergido)	Wbws	675 gr
Desplazamiento del agua	Ws+Wbw-Wbws	20,1 gr
Factor de correccion por temperatura	T= K	0,9980
Gravedad Especifica GS	Gs=((Ws*K)/(Ws+Wbw-Wbws))	2,388 gr/cm3

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

**Cálculos:**

Para el cálculo de la gravedad específica, se utilizara la siguiente formula:

$$G_s = \frac{B * K}{A + C - D}$$

$$G_s = \frac{48,1 * 0,9980}{50 + 647 - 675}$$

$$G_s = 2,182 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS), se utilizara la siguiente formula:

$$SSS = \frac{A * K}{A + C - D}$$

$$SSS = \frac{50 * 0,9980}{50 + 647 - 675}$$

$$\mathbf{SSS = 2,268 \text{ gr/cm}^3}$$

Para el cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas, se utilizara la siguiente formula:

$$GsA = \frac{B * K}{B + C - D}$$

$$GsA = \frac{48,1 * 0,9980}{48,1 + 647 - 675}$$

$$\mathbf{GsA = 2,388 \text{ gr/cm}^3}$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción, se utilizara la siguiente formula:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{A - B}{A} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{50 - 48,1}{48,1} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = \mathbf{3,9\%}$$

**Ensayo N.- 3: Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos, se empleara la norma ASTM C 127.**

### **Propósito.**

Este ensayo se emplea para la determinación de la gravedad específica y absorción de agua del agregado grueso cuando este ha sido sumergido por un periodo de 24 horas, se lo realiza en estado saturada superficialmente seca (SSS) y usaremos el método de la canastilla.

### **Procedimiento.**


La muestra para el ensayo debe ser cubierta totalmente por agua y se la deja sumergida por  $24 \pm 4$  horas, luego de haber pasado el tiempo requerido se retira la

muestra del agua y se la coloca sobre un paño absorbente y se frota hasta que sea eliminada toda lámina visible de agua.

Pesamos en la balanza la cantidad deseada de muestra en condición saturada superficialmente seca, luego colocamos la muestra (SSS) en la canastilla y pesamos su masa aparente en agua a  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , agitamos el recipiente para remover todo el aire atrapado mientras se lo sumerge en el tanque de agua.

Después secamos la muestra en el horno a una temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante un periodo de  $24 \pm 4$  horas, finalmente se saca la muestra del horno y se pesa.

**Tabla N° 9.** Gravedad específica del agregado grueso (ripio).

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES				
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO				
<b>Origen:</b>	Mina JEAL - Sector las Viñas - Provincia de Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Juan Carlos Aimacaña Iza			
<b>Fecha:</b>	Miércoles , 04 de Agosto de 2016			
<b>Norma:</b>	INEN 857			
DESCRIPCIÓN		VALOR	UNIDAD	
Peso de la canastilla + agregado SSS en el aire		3010	gr	
Peso de la canastilla al aire		1245	gr	
Peso del agregado SSS en el aire	B	1765	gr	
Peso de la canastilla + agregado SSS en agua		2080	gr	
Peso de la canastilla sumergida		1114	gr	
Peso del agregado en agua	C	966	gr	
Peso del recipiente + suelo seco		1943	gr	
Peso del recipiente vacío		261	gr	
Peso del suelo seco	A	1682	gr	
Temperatura del agua y suelo en $^{\circ}\text{C}$		20	$^{\circ}\text{C}$	
Factor de corrección por temperatura	K	0,9982	gr/cm <sup>3</sup>	
Densidad aparente de sólidos	$(A*K) / (B-C)$	2,101	gr/cm <sup>3</sup>	
Gravedad específica GS =	$(A*K) / (A-C)$	2,345	gr/cm <sup>3</sup>	2,345

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza**



### Cálculos:

Para el cálculo de la gravedad específica, se utilizara la siguiente formula:

$$G_s = \frac{A * K}{B - C}$$

$$G_s = \frac{1682 * 0.9982}{1682 - 966}$$

$$\mathbf{G_s = 2,345 \text{ gr/cm}^3}$$

Para el cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS), se utilizara la siguiente formula:

$$SSS = \frac{B * K}{B - C}$$

$$SSS = \frac{1765 * 0,9982}{1765 - 966}$$

$$\mathbf{SSS = 2,205 \text{ gr/cm}^3}$$

Para el cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas, se utilizara la siguiente formula:

$$G_{sA} = \frac{A * K}{A - C}$$

$$G_{sA} = \frac{1682 * 0,9982}{1682 - 966}$$

$$\mathbf{G_{sA} = 2,345 \text{ gr/cm}^3}$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción, se utilizara la siguiente formula:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{1765 - 1682}{1682} * 100$$

$$\% \text{ de Absorción} = \mathbf{4,93\%}$$

**Ensayo N.- 4: Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso, se empleara norma AASHTO T 96 (ASTM C 131).**

**Propósito.**

Este ensayo se emplea para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión de agregados naturales o triturados, utilizando la máquina de los ángeles con una carga abrasiva.

El material pétreo para el desarrollo de este ensayo fue obtenido en la planta asfáltica Jeal Construcciones de la ciudad de Ambato.

**Procedimiento.**

La muestra para el ensayo debe ser previamente lavada y secada en horno a una temperatura constante de 110 °C, debe ser separada por fracciones de cada tamaño para posteriormente ser mezcladas con una de las granulometrías indicadas en la (Tabla N.- 2).

El tipo de abrasión que se realizara en este ensayo será de tipo A, esta muestra será pesada con una aproximación de  $\pm 10$  gr.


La muestra y la carga abrasiva correspondiente, serán colocadas en la Maquina de los Ángeles, y se hace girar al cilindro de la maquina a una velocidad comprendida entre 30 a 33 r.p.m.

El número total de vueltas serán 500, la maquina debe girar de manera uniforme para mantener una velocidad constante, una vez cumplido el número de vueltas establecido, se procede a retirar el material del cilindro y las esferas.

El material más grueso será separado y pesado; el porcentaje fino será tamizado empleando el tamiz de 1.70 mm (N.- 12) para luego ser pesado y utilizado en los respectivos cálculos.

La norma mide la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o la abrasión. El desgaste máximo permisible es de 35%.

**Tabla N° 10.** Resistencia al desgaste por abrasión.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b>  <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b>		
ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES			
<b>RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN</b>			
<b>Origen:</b>	Mina JEAL - Sector las Viñas - Provincia de Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>	Juan Carlos Aimacaña Iza		
<b>Fecha:</b>	Miércoles , 24 de Agosto de 2016		
<b>Norma:</b>	INEN 0860		
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
A	Peso del agregado antes del ensayo	gr	5006
B	Peso del agregado no desgastado despues del ensayo	gr	3555
C = A - B	Pérdida por desgaste	gr	1451
$D = (C / A) * 100$	Desgaste del agregado	(%)	29,0

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

**Ensayo N.- 5: Porcentaje de caras fracturadas en los agregados, se empleara la norma ASTM D 5821-95**

**Propósito.**

Este ensayo se emplea para determinar el porcentaje de caras fracturadas existentes en la muestra del agregado grueso.

**Procedimiento.**

Separar por tamizado la muestra comprendida entre los tamaños 25,4 mm y 19,0 mm (1” y 3/4”), extienda la muestra en una superficie lisa para inspeccionar cada partícula del agregado, separe las partículas que tengan una o más caras fracturadas (Gráfico N° 6).


Si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no será considerada como partícula fracturada. Una partícula será considerada como fracturada cuando el 25% o más de su superficie aparezca fracturada.

Las fracturas deberán ser recientes y por procedimientos mecánicos (trituración).

**Gráfico N° 6.** Inspección de las partículas fracturadas y no fracturadas



**Tabla N° 11.** Porcentaje de caras fracturadas.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
<b>ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES</b>				
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS</b>				
<b>Origen:</b>	Mina JEAL - Sector las Viñas - Provincia de Tungurahua			
<b>Ensayado por:</b>	Juan Carlos Aimacaña Iza			
<b>Fecha:</b>	Miercoles , 19 de Agosto de 2016			
<b>Norma:</b>	ASTM D 5821 - 95			
<b>Peso de la muestra</b>	1500 gr			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>		
Peso de partículas fracturadas	F	983	gr	
Peso de partículas cuestionables	Q	510	gr	
Peso partículas no fracturadas	N	7	gr	
% de caras fracturadas	$P = \frac{F + (\frac{Q}{2})}{F + Q + N} * 100$		82,5	%

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

#### 4.1.2 Obtención del polímero (P.E), reciclado y triturado.

Para la obtención del polímero (polietileno P.E), en este caso tapones plásticos triturados que reemplazará parcialmente al agregado fino en la fabricación de las briquetas de asfalto, se iniciara con la recolección de este material, el mismo que será lavado con detergente y agua con el propósito de remover impurezas y residuos no aptos en la elaboración de las briquetas asfálticas.

Luego de haber lavado los tapones plásticos se los esparce en una superficie lisa con suficiente aireación para así facilitar su secado, y finalmente el material reciclado será llevado a la máquina trituradora, para obtener un material de tamaño adecuado que sirva de reemplazo parcial del agregado fino.

Una vez triturado los tapones de polietileno (P.E), es almacenado para luego ser empleado en la elaboración de las briquetas asfálticas.

**Gráfico N° 7.** Reciclaje de tapones platicos



**Gráfico N° 8.** Lavado de tapones plástico



**Gráfico N° 9.** Tapones triturados



**Gráfico N° 10.** Almacenamiento



### **4.1.3 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.**

#### **Diseño de la mezcla asfáltica.**

En la presente investigación se realizara la mezcla de agregados con dos tipos de materiales, agregado fino y agregado grueso ambos provenientes de la Planta Asfáltica Jeal Construcciones del Cantón Ambato, para la cual se ha determinado que la faja granulométrica para la realización de la mezcla asfáltica es la de 3/4", esta faja es elegida en consideración de que los materiales que se dispone se ajusta a las exigencias del MTOP mostrada en la (Tabla N° 4).

#### **Método marshall de diseño para mezcla asfáltica, se empleara la norma ASTM 1559**

Este método consiste en la elaboración de briquetas con la mezcla de agregados y asfalto en caliente, cada grupo de briquetas serán elaboradas con diferente porcentaje de asfalto, el procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

#### **Preparación de las briquetas.**

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se elaboraran 5 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de manera que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Se acostumbra a comenzar desde el 4,5% o el 5% de cemento asfáltico con respecto a la mezcla de total elaborándose grupos de probetas con incrementos en dichos porcentajes del 0.5%.

Los porcentajes de cemento asfáltico con los que se trabajara para los diferentes grupos de briquetas son: 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.

Para la obtención de buenos resultados se realizaran tres briquetas para cada contenido de cemento asfáltico.

#### **Equipo.**

- Maquina marshall
- Balanza con precisión de 0.1 gr de sensibilidad.

- Martillo de compactación con una zapata circular de 3 7/8" - (10 libras de peso y 18" de altura de caída)
- Pedestal de compactación.
- Moldes de compactación especial de 4" de diámetro y 3" de altura con su collar.
- Extractor de probetas.
- Equipo para baño María.
- Recipientes metálicos.
- Bandeja para calentamiento.
- Horno que mantenga una temperatura constante de  $110 \pm 5$  °C.
- Cucharón de tamaño conveniente para llenar el molde de medida.
- Termómetro digital.
- Espátula y guantes de cuero
- Soplador y gas
- Mezcla de agregados
- Asfalto

#### **4.1.4 Procedimiento de elaboración de las briquetas asfálticas tradicionales.**

Primero debemos calentar los moldes en el horno a una temperatura entre 120 y 150 °C y luego limpiar muy bien la base de compactación.

Previamente se pesan en los recipientes diversas fracciones de agregado, calculando para un grupo de briquetas, después cada porcentaje es colocado en la bandeja de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 140 a 180 °C.

**Gráfico N° 11.** Agregados en la bandeja de calentamiento



Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 150 °C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben ser medidos para evitar sobrecalentamientos locales.

**Gráfico N° 12. Cemento asfáltico**



Se coloca la bandeja sobre la balanza con las diversas fracciones de agregado caliente, de acuerdo con los pesos acumulativos, se mezclan perfectamente los agregados y con la espátula formar un cráter en la mezcla para verter sobre los agregados el asfalto caliente hasta completar el peso total de agregados más asfalto.

**Gráfico N° 13. Agregados más cemento asfáltico**



El tiempo de mezclado del asfalto con los agregados debe ser lo más breve posible, para conseguir una completa y homogénea cobertura de todas las partículas, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 120 °C; ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

**Gráfico N° 14. Mezclado de agregados y asfalto**





Posteriormente se introduce la mezcla asfáltica en caliente en el interior del molde y aplicamos 25 pinchazos con una espátula redondeada (15 alrededor y 10 al azar), para así obtener un compactado lo más homogéneo posible y eliminar la posibilidad de huecos.

A continuación, el molde se coloca en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata del pistón y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del pistón se mantenga siempre vertical.

**Gráfico N° 15.** Compactación de la mezcla asfáltica tradicional



Se retira el molde del pedestal, se quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 2 horas, para luego extraer la briqueta del molde con la ayuda de un gato hidráulico.

**Gráfico N° 16.** Moldes con mezcla asfáltica y gato hidráulico para extracción



Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes en caída libre por cada cara de compactación de la briqueta, proyectadas para vías de tráfico pesado y se elaboraron 15 briquetas.

**Gráfico N° 17. Briquetas de Mezcla Asfáltica Tradicional**



Luego de extraer las briquetas de los moldes; cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado:

- Determinación del peso específico “Bulk”.
- Ensayos de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

#### **4.1.5 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS ASFÁLTICAS TRADICIONALES.**

##### **Ensayo de estabilidad y flujo.**

De las briquetas con distintos porcentajes de asfalto se debe tomar 3 pesos distintos que son:

- **Peso en el aire:** pesar las briquetas apenas se las desmolda y anotar su respectivo peso.
- **Peso saturado superficie seca:** sumergir en agua las briquetas durante un periodo de 10 minutos, sacarlas del agua, secarlas con un paño absorbente, y tomar su peso.
- **Peso sumergido:** tomar el peso de las briquetas sumergidas en agua, dejar que se estabilice la lectura y anotarlo.

**Gráfico N° 18.** Peso en el aire de la briqueta



Previo al ensayo, se sumergen las briquetas a baño maría a una temperatura de  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo de 30 a 40 minutos.

**Gráfico N° 19.** Recipiente de Baño María



Limpie y lubrique con aceite las superficies internas de las mordazas, se debe verificar previamente a la aplicación de carga que el indicador del dial de carga se encuentre en cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y se aplica la carga, a una velocidad de deformación constante hasta que se produce la rotura, el punto de rotura se define por la carga máxima obtenida y el número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL; al mismo tiempo que se lee y anota la lectura de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

**Gráfico N° 20.** Ensayo marshall para briquetas asfálticas tradicionales.



## **ANÁLISIS DE LA DENSIDAD Y VACÍOS DE LAS BRIQUETAS ASFÁLTICAS TRADICIONALES.**

Para determinar la densidad y vacíos en las briquetas se utilizara el Ensayo Rice

### **ENSAYO RICE ASTM D 2041**

Este ensayo sirve para determinar el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos en las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25 °C.

#### **Equipos.**

- Máquina de extracción de vacíos.
- Termómetro.
- Muestra para el ensayo.

#### **Procedimiento.**

Para este ensayo primero se debe calibrar el frasco para determinar exactamente el peso del frasco más el peso del agua a 25°C.

Las muestras elaboradas con diferentes porcentajes de asfalto son disgregadas y enfriadas a temperatura ambiente para luego ser pesadas y colocada en el frasco;

agregamos agua suficiente aproximadamente a 25°C para cubrir en su totalidad la muestra.

**Gráfico N° 21. Muestra Disgregada**



Colocar el frasco con la muestra disgregada y agua en el dispositivo agitador y encienda la bomba, mantenga el equipo funcionando por un periodo de 15 minutos, luego del tiempo transcurrido libere lentamente la presión del frasco, retire el conjunto del dispositivo agitador e inmediatamente proceda a llenar el frasco con agua, una vez que se ha removido el aire atrapado pese el recipiente y los contenidos completamente llenos.



**Gráfico N° 22. Máquina de vacíos**



**Gráfico N° 23. Peso del conjunto**



**Tabla N° 12.** Análisis de densidad y vacíos.

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
<b>ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS A BASE DE POLÍMEROS Y PAVIMENTOS FLEXIBLES TRADICIONALES</b>			
<b>ANÁLISIS DE DENSIDAD Y VACÍOS</b>			
<b>Origen:</b>	Mina JEAL - Sector las Viñas - Provincia de Tungurahua		
<b>Ensayado por:</b>	Juan Carlos Aimacaña Iza		
<b>Fecha:</b>	Jueves , 1 de Septiembre de 2016		
<b>Norma:</b>	ASTM D 2041		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>	
Peso frasco+agua a 25°C	D	7406,5	gr
Peso frasco		2903,2	gr
Peso muestra + frasco		4016,6	gr
Peso muestra	A	1113,4	gr
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	8041,4	gr
Gmm = A/A-(E-D)		2,327	

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

**Tabla N° 13.** Valores rice para mezclas asfálticas tradicionales.

Porcentaje de Asfalto	Valor Rice
5%	2,327
5,5%	2,313
6%	2,303
6,5%	2,291
7%	2,290

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

#### **4.1.6 Procedimiento de Cálculo para el Diseño de Mezclas Marshall.**

Los cálculos se realizarán con ayuda del formulario indicado, cuyo detalle de propiedades se describe a continuación.

**A:** Identificación del número de muestras.

**B:** Porcentaje de cemento asfáltico para un grupo de tres briquetas, empezando desde el 5% hasta llegar al 7% con incrementos de 0,5%.

**C:** Espesor de cada biqueta medido en centímetros.

**D:** Peso en el aire de la probeta en gramos.

**E:** Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca en gramos.

**F:** Peso en gramos de la probeta en el agua.

**G: Determinación del peso específico Bulk (densidad aparente).** Este valor se determina en las probetas compactadas, es la relación entre su peso en el aire y el peso en agua incluyendo los vacíos permeables. Si la probeta tiene una textura superficial densa e impermeable, su peso específico Bulk se determinara mediante la siguiente formula:

$$G = \frac{D}{E - F}$$

**H: Se calcula el peso específico máximo teórico** de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire, se determina mediante la siguiente formula:

$$H = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agreg}}{G_{agr}} + \frac{\% \text{ CA}}{G_{aSF}}}$$

**I: El peso específico máximo medido de una mezcla asfáltica** sin vacíos con aire (no compactada), se determina por medio del método desarrollado por James Rice y su valor es necesario para conocer porcentajes de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada.

**J:** Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizando la siguiente formula:

$$J = \frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \% \text{ Agreg}}$$

**K:** Calculamos el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta utilizando la siguiente formula:

$$K = \frac{\%Agreg * G}{Gagr}$$

**L:** Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta utilizando la siguiente formula:

$$L = \left( 1 - \frac{G}{I} \right) * 100$$

**M:** Calculamos el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta utilizando la siguiente formula:

$$M = 100 - K - L$$

**N:** Determinamos el porcentaje de vacíos que contiene los agregados minerales en la mezcla compactada utilizando la siguiente formula:

$$N = 100 - K$$

**O:** Determinamos el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla utilizando la siguiente formula:

$$O = \left( \% CA - \frac{J * \%Agreg}{100} \right)$$

**P:** Calculamos el porcentaje de vacíos llenos de asfalto utilizando la siguiente formula:

$$P = \left( \frac{N - L}{N} \right) * 100$$

**Q:** Colocamos la lectura que marca el dial de la Estabilidad Marshall al realizar el ensayo de la probeta de acuerdo al procedimiento indicado. El valor de la estabilidad se registra en libras.

**R:** Registramos el factor de corrección que depende del espesor de las briquetas, de acuerdo a la tabla correspondiente.



**S:** Con los factores de corrección, rectificamos los valores de la estabilidad de cada probeta utilizando la siguiente fórmula:

$$S = Q * R$$

La estabilidad se corrige en función de la altura de la briqueta tomada de las Tablas del ANEXO 2.2.

**T:** Representa el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briqueta desde el inicio de la carga, hasta que se consigue la máxima, viene expresado en centésimas de pulgada.

Obtenidos todos los valores como se indica en la (Tabla N° 14) se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las **Mezclas Asfálticas Tradicionales**; para las siguientes relaciones:

- Peso específico Bulk (G) vs. Contenido de asfalto (B).
- Índice de vacíos con aire (L) vs. Contenido de asfalto (B).
- Vacíos en agregados minerales (N) vs. Contenido de asfalto (B).
- Estabilidad (S) vs. Contenido de asfalto (B).
- Flujo o deformación (T) vs. Contenido de asfalto (B).
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (P) vs. Contenido de asfalto (B).

**TABLA N° 14. DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL PARA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.**

MUESTRA N°:	CEMENTO ASFÁLTICO (%)	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr / cm <sup>3</sup> )			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pul / 100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagreg} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagreg}$	$(1 - \frac{G}{I}) * 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			Q * R	
1,1		6,42	1110,6	1118,7	593,5	2,115										5004	0,983	4918,932	6
1,2	5	6,45	1020,8	1029,7	529,8	2,042										3506	0,975	3418,35	12
1,3		7,21	1197,6	1203,9	639,2	2,121										5226	0,823	4300,998	13
<b>PROMEDIO</b>						2,092	2,113	2,328	4,607	88,82	10,117	1,06	11,18	0,623	9,486			3859,67	12,50
2,1		6,48	1193,6	1196,3	645,4	2,167										5940	0,888	5274,72	12
2,2	5,5	7,15	1175,7	1180,2	633,2	2,149										4602	0,83	3819,66	11
2,3		6,53	1067,6	1071,6	564,2	2,104										4370	0,956	4177,72	8
<b>PROMEDIO</b>						2,140	2,101	2,313	4,617	87,55	7,479	4,98	12,45	1,137	39,949			3998,69	10,21
3,1		7,03	1257,4	1258,4	641,2	2,037										7839	0,853	6686,667	10,54
3,2	6	6,57	1148,9	1149,3	607,9	2,122										6687	0,949	6345,963	7
3,3		6,77	1137,9	1140,1	657,9	2,360										6039	0,905	5465,295	7
<b>PROMEDIO</b>						2,173	2,089	2,303	4,724	88,43	5,642	5,93	11,57	1,560	51,243			5905,63	10,54
4,1		6,44	1174,8	1175,6	633,4	2,167										7145	0,978	6987,81	10,60
4,2	6,5	6,72	1086,6	1087,6	602,3	2,239										5887	0,918	5404,266	5
4,3		6,55	1155,9	1156,7	625,9	2,178										5843	0,953	5568,379	5
<b>PROMEDIO</b>						2,194	2,078	2,291	4,789	88,82	4,213	6,96	11,18	2,0224	62,300			5486,32	10,60
5,1		6,84	1234,9	1235,7	656,8	2,133										6415	0,884	5670,86	13
5,2	7	6,45	1136,8	1137,9	641,8	2,291										6212	0,975	6056,7	8
5,3		6,92	1216,1	1217,4	680,2	2,264										6278	0,873	5480,694	12
<b>PROMEDIO</b>						2,229	2,066	2,290	5,079	89,76	2,643	7,60	10,24	2,277	74,195			5575,78	10,91

Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza

## 4.1.7 CURVAS DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.

### Carpeta para Faja 3/4”

#### Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.

Para realizar esta determinación, se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, a partir de los cuales se obtiene los contenidos de asfalto de acuerdo al siguiente detalle:

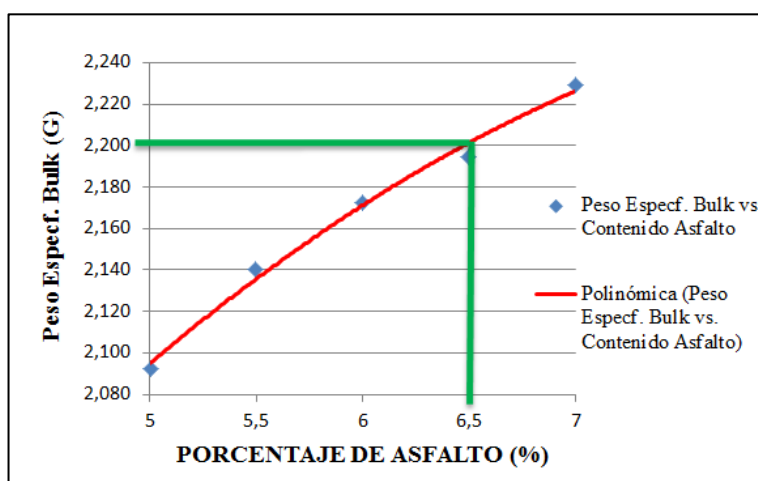
- **El porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico:** que nos da un valor en la gráfica de 6,6 %
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% del índice de vacíos:** que nos da un valor en la gráfica de 6.5 %
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad:** que nos da un valor en la gráfica de 6,5 %

El promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

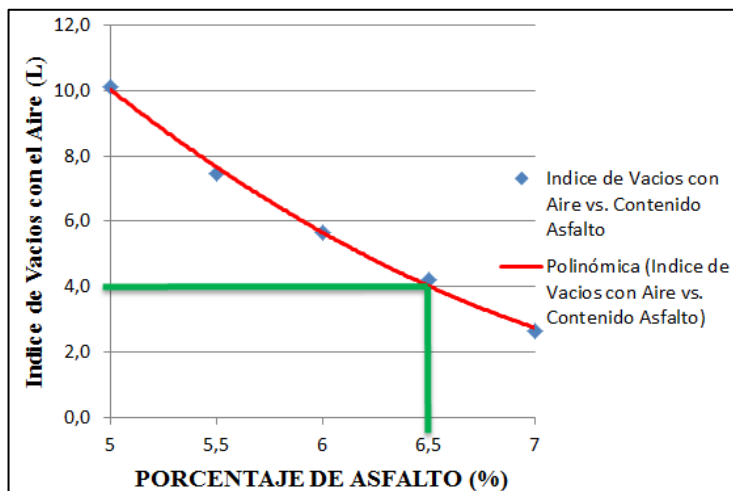
Para este análisis el porcentaje de asfalto óptimo para el agregado de la Planta Asfáltica JEAL CONSTRUCCIONES es de **6,5 %** que equivale a un porcentaje de 78 gr de asfalto.

#### Gráfico N° 24. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica tradicional.

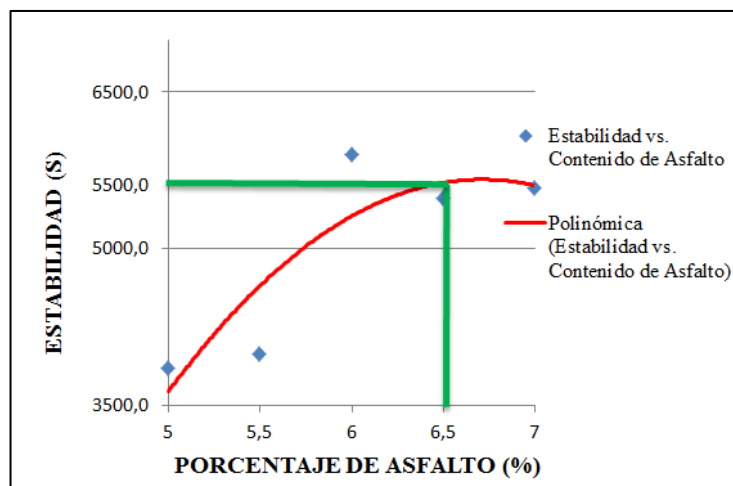
Gráfico.- Densidad bulk vs. porcentaje de asfalto



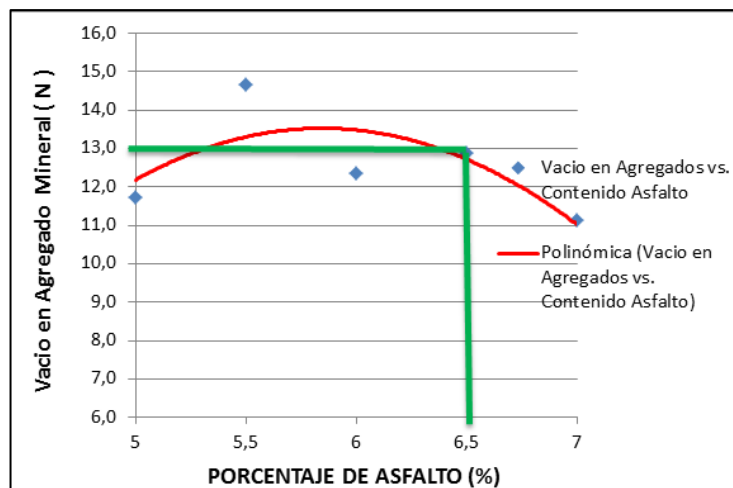
**Gráfico.- Índice de vacíos con aire vs. porcentaje de asfalto**



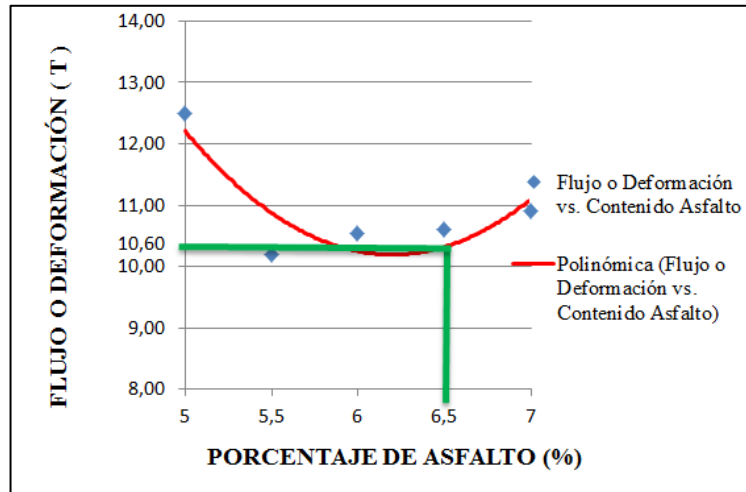
**Gráfico.- Estabilidad vs. porcentaje de asfalto**



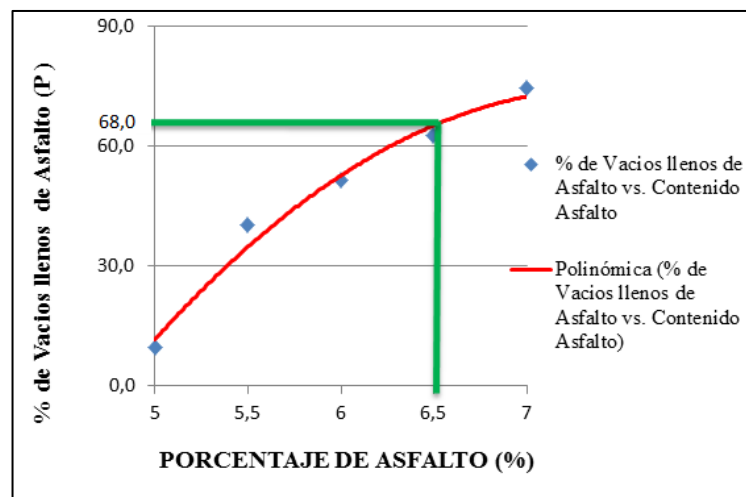
**Gráfico.- Vacíos en agregado mineral vs. porcentaje de asfalto**



**Gráfico.-** Flujo o deformación vs. porcentaje de asfalto



**Gráfico.-** Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. porcentaje de asfalto



#### 4.1.8 Diseño de la Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero (P.E)

Método marshall de diseño para mezcla asfáltica, se empleara la norma ASTM 1559.

Este método experimental consiste en la elaboración de briquetas asfálticas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E); el polietileno en este caso proveniente de tapones plásticos triturados será usado en reemplazo parcial del agregado fino para la fabricación de dichas briquetas.

Los porcentajes de cemento asfáltico con los que se trabajara para los diferentes grupos de briquetas modificadas con polímero son: 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.

### **Preparación de las briquetas.**

El asfalto con adición de polímero (P.E) reciclado y triturado es una mezcla de cemento asfáltico, áridos, y un porcentaje de polietileno triturado en reemplazo parcial de la arena, con el objeto de analizar su influencia en la estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

#### **4.1.9 Procedimiento de elaboración de las briquetas asfálticas con polímero (P.E)**

Primero debemos calentar los moldes en el horno a una temperatura entre 120 y 150 °C y luego limpiar muy bien la base de compactación.

Previamente se pesan en los recipientes las fracciones de agregado grueso y fino; del peso total del agregado fino reemplazaremos un porcentaje del 1%, 2% y 3% del peso total, el cual será reemplazado por el polímero (P.E) triturado, después cada porcentaje es colocado en la bandeja de calentamiento, para calentar su contenido a una temperatura de 140 a 180 °C.

Por otro lado se calienta el cemento asfáltico y se añade el porcentaje de polímero (P.E) triturado en reemplazo parcial del agregado fino a una temperatura de 120 a 150 °C.

**Gráfico N° 25.** Cemento asfáltico y polímero (P.E) triturado



Se coloca la bandeja sobre la balanza con las diversas fracciones de agregado caliente, de acuerdo con los pesos acumulativos, se mezclan perfectamente los

agregados y con la espátula formar un cráter en la mezcla para vertir sobre los agregados el asfalto caliente más el porcentaje de polímero (P.E) triturado en reemplazo parcial del agregado fino.

**Gráfico N° 26.** Agregados, asfalto y polímero (P.E)



El tiempo de mezclado del asfalto con los agregados y un porcentaje de polímero (P.E) triturado en reemplazo parcial del agregado fino debe ser lo más breve posible, para conseguir una completa y homogénea cubrición de todas las partículas, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 120 °C; ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

**Gráfico N° 27.** Mezclado de agregados, asfalto y polímero (P.E)



Posteriormente se introduce la mezcla asfáltica en caliente en el interior del molde y aplicamos 25 pinchazos con una espátula redondeada (15 alrededor y 10 al azar),

para así obtener un compactado lo más homogéneo posible y eliminar la posibilidad de huecos.

A continuación, el molde se coloca en el pedestal de compactación, se apoya sobre la mezcla la zapata del pistón y se aplican 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del pistón se mantenga siempre vertical.

**Gráfico N° 28.** Compactación de la mezcla modificada con polímero (P.E)



Se retira el molde del pedestal, se quita el collar y la base y se deja enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 2 horas, para luego extraer la briqueta modificada del molde con la ayuda de un gato hidráulico.

**Gráfico N° 29.** Briquetas asfálticas modificadas con polímero (P.E)



Para el diseño de esta mezcla modificada con polímero (P.E) se aplicaron 75 golpes en caída libre por cada cara de compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se elaboraron 45 briquetas.



**Gráfico N° 30.** Briquetas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E)



Luego de extraer las briquetas con polímero (P.E) de los moldes; cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado:

- Determinación del peso específico “Bulk”.
- Ensayos de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

#### **4.1.10 ENSAYO DE LAS BRIQUETAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMERO (PE).**

##### **Ensayo de la estabilidad y flujo.**

De las briquetas con distintos porcentajes de asfalto y polímero (P.E), se debe tomar 3 pesos distintos que son:

- **Peso en el aire:** pesar las briquetas modificadas apenas se las desmolda y anotar su respectivo peso.
- **Peso saturado superficie seca:** sumergir en agua las briquetas modificadas durante un periodo de 10 minutos, sacarlas del agua, secarlas con un paño absorbente, y tomar su peso.
- **Peso sumergido:** tomar el peso de las briquetas modificadas sumergidas en agua, dejar que se estabilice la lectura y anotarlas.

Previo al ensayo, se sumerge las briquetas modificadas con polímero (PE) a baño maría a una temperatura de 60 °C durante un tiempo de 30 a 40 minutos.

Limpie y lubrique con aceite las superficies internas de las mordazas, se debe verificar previamente a la aplicación de carga que el indicador del dial de carga se encuentre en cero.

Se coloca la briqueta modificada con polímero (P.E) en las mordazas y se aplica la carga, a una velocidad de deformación constante hasta que se produce la rotura, el punto de rotura se define por la carga máxima obtenida y el número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a 60 °C se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL; al mismo tiempo que se lee y anota la lectura de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

**Gráfico N° 31.** Peso en aire de la briqueta modificada.



**Gráfico N° 32.** Ensayo marshall para briquetas modificadas con polímero (P.E)



## **ANÁLISIS DE LA DENSIDAD Y VACÍOS DE LAS BRIQUETAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMERO (PE).**

Para determinar la densidad y vacíos en las briquetas modificadas con polímero (P.E) se utilizara el Ensayo Rice

### **ENSAYO RICE ASTM D 2041**

Este ensayo sirve para determinar el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos en las mezclas asfálticas modificadas con polímero (P.E) no compactadas a una temperatura de 25 °C.

### **Equipos.**

- Máquina de extracción de vacíos.
- Termómetro.
- Muestra para el ensayo.

### **Procedimiento.**

Para este ensayo primero se debe calibrar el frasco para determinar exactamente el peso del frasco más el peso del agua a 25°C.

Las muestras elaboradas con polímero (P.E) y con diferentes porcentajes de asfalto son disgregadas y enfriadas a temperatura ambiente para luego ser pesadas y colocada en el frasco; agregamos agua suficiente aproximadamente a 25°C para cubrir en su totalidad la muestra.

Colocar el frasco con la muestra disgregada con polímero (P.E) y agua en el dispositivo agitador y encienda la bomba, mantenga el equipo funcionando por un periodo de 15 minutos, luego del tiempo transcurrido libere lentamente la presión del frasco, retire el conjunto del dispositivo agitador e inmediatamente proceda a llenar el frasco con agua, una vez que se ha removido el aire atrapado pese el recipiente y los contenidos completamente llenos.

**Tabla N° 15.** Valores rice para las mezcla modificadas con el 1% de polímero (P.E)

<b>Porcentaje de Asfalto</b>	<b>Valor Rice</b>
5%	2,259
5,5%	2,212
6%	2,215
6,5%	2,231
7%	2,245

**Fuente.- Juan Carlos Aimacaña Iza.**

Valores rice para las mezcla modificadas con el 2% de polímero (P.E)

Porcentaje de Asfalto	Valor Rice
5%	2,245
5,5%	2,231
6%	2,227
6,5%	2,224
7%	2,207

**Fuente.- Juan Carlos Aimacaña Iza.**

Valores rice para las mezcla modificadas con el 3% de polímero (P.E)

Porcentaje de Asfalto	Valor Rice
5%	2,203
5,5%	2,131
6%	2,168
6,5%	2,169
7%	2,158

**Fuente.- Juan Carlos Aimacaña Iza.**

Obtenidos todos los valores como se indica en la Tabla N<sup>o</sup> 16 se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las **mezclas asfálticas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E)**; para las siguientes relaciones:

- Peso específico Bulk (G) vs. Contenido de asfalto (B).
- Índice de vacíos con aire (L) vs. Contenido de asfalto (B).
- Vacíos en agregados minerales (N) vs. Contenido de asfalto (B).
- Estabilidad (S) vs. Contenido de asfalto (B).
- Flujo o deformación (T) vs. Contenido de asfalto (B).
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (P) vs. Contenido de asfalto (B).

**TABLA N° 16. DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON EL 1% DE POLÍMERO (P.E)**

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO (%)	POLIMERO (PE) (%)	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr / cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pul / 100
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagreg} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagreg}$	$(1 - \frac{G}{I}) * 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{I * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			Q * R	
1,1			6,53	1071,2	1072,8	570,2	2,131										4076	0,956	3896,656	7
1,2	5	1	6,52	1086,7	1090,3	577,2	2,118										4324	0,958	4142,392	8
1,3			6,87	1159,2	1161,7	601,7	2,070										4063	0,883	3587,629	10
<b>PROMEDIO</b>							2,106	2,113	2,259	3,226	89,41	6,755	3,83	10,59	1,935	36,190			3742,14	8,97
2,1			6,54	1125,4	1127,3	600,2	2,135										4848	0,954	4624,992	8
2,2	5,5	1	6,65	1137,2	1140,5	605,2	2,124										4301	0,934	4017,134	10
2,3			6,47	1019,9	1021,3	537,2	2,107										3891	0,97	3774,27	8
<b>PROMEDIO</b>							2,122	2,101	2,212	2,528	86,81	4,064	9,12	13,19	3,111	69,179			3895,70	8,74
3,1			6,58	1123,1	1125,4	610,8	2,182										5332	0,947	5049,404	5
3,2	6	1	6,46	1102,2	1104,3	592,8	2,155										5194	0,973	5053,762	9
3,3			6,71	979,9	982,2	517,8	2,110										3137	0,920	2886,04	8
<b>PROMEDIO</b>							2,149	2,089	2,215	2,888	87,45	2,974	9,57	12,55	3,285	76,293			5051,58	8,39
4,1			6,51	1032,3	1033,6	558,2	2,171										4181	0,960	4013,76	10
4,2	6,5	1	6,69	1042,3	1044,9	560,8	2,153										3867	0,925	3576,975	9
4,3			6,45	1100,8	1104,1	597,2	2,172										4451	0,975	4339,725	12
<b>PROMEDIO</b>							2,165	2,078	2,221	3,318	87,65	2,504	9,85	12,35	3,3981	79,728			4176,74	10,18
5,1			6,49	1132,2	1133,0	617,5	2,196										5024	0,965	4848,16	15
5,2	7	1	6,72	1058,1	1059,6	572,9	2,174										4034	0,918	3703,212	10
5,3			6,67	996,6	997,1	543,2	2,196										3950	0,930	3673,5	13
<b>PROMEDIO</b>							2,189	2,066	2,245	4,138	88,11	2,510	9,38	11,89	3,152	78,885			3688,36	12,39

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.**

**TABLA. DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON EL 2% DE POLÍMERO (P.E)**

MUESTRA N°-	CEMENTO ASFÁLTICO (%)	POLÍMERO (PE) (%)	ESPOSOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr / cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pul / 100
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
							$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\% \text{ Agreg} + \frac{\% \text{ CA}}{G_{\text{agreg}}} + \frac{\% \text{ Gasf}}{G_{\text{asf}}}}$	METODO RICE	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \% \text{ Agreg}}$	$\frac{\% \text{ Agreg} * G}{G_{\text{agreg}}}$	$(1 - \frac{C}{I}) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\% \text{ CA} - \frac{J * \% \text{ Agreg}}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			Q * R	
1,1			6,33	893,7	895,6	491,5	2,212										4189	1,005	4209,945	4
1,2	5	2	6,48	898,3	901,2	490,9	2,189										4358	0,968	4218,544	6
1,3			6,42	1011,1	1018,6	545,2	2,136										3956	0,983	3888,748	6
<b>PROMEDIO</b>							2,179	2,113	2,245	2,935	92,49	2,943	4,56	7,51	2,212	60,798			4105,75	5,35
2,1			6,54	973,9	974,5	539,5	2,239										5141	0,954	4904,514	6
2,2	5,5	2	6,61	975,2	976,00	539,7	2,235										4802	0,941	4518,682	6
2,3			6,44	1069,4	1070,8	581,8	2,187										4787	0,978	4681,686	9
<b>PROMEDIO</b>							2,220	2,101	2,231	2,935	90,83	0,479	8,69	9,17	2,726	94,773			4600,18	6,87
3,1			6,96	1019,3	1020,9	563,2	2,227										4939	0,866	4277,174	6
3,2	6	2	6,83	1031,3	1032,6	564,8	2,205										5200	0,890	4628	7
3,3			6,58	1079,3	1085,6	578,2	2,127										3839	0,947	3635,533	10
<b>PROMEDIO</b>							2,186	2,089	2,227	3,147	88,96	1,831	9,21	11,04	3,042	83,413			4452,59	7,27
4,1			6,66	1067,2	1074,5	567,5	2,105										3436	0,932	3202,352	10
4,2	6,5	2	6,45	933,7	934,7	510,2	2,200										4041	0,975	3939,975	7
4,3			6,77	1035,3	1038,6	563,7	2,180										4079	0,905	3691,495	6
<b>PROMEDIO</b>							2,161	2,078	2,224	3,382	87,49	2,810	9,70	12,51	3,3374	77,537			3446,92	7,66
5,1			6,37	1103,8	1105,7	600,6	2,185										3998	0,995	3978,01	14
5,2	7	2	6,38	1080,8	1082,6	592,7	2,206										4410	0,993	4379,13	15
5,3			6,34	1071,4	1072,8	590,5	2,221										4379	1,003	4392,137	14
<b>PROMEDIO</b>							2,204	2,066	2,207	3,313	88,74	0,122	11,13	11,26	3,919	98,915			4249,76	14,24

Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.

**TABLA. DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL MÉTODO MARSHALL PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON EL 3% DE POLÍMERO (P.E)**

MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO (%)	POLÍMERO (PE) (%)	ESPESOR PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr / cm3)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pul / 100
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIO		AGREGADO	VACIOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B		C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagreg} + \frac{\%CA}{Gasf}}$	METODO RICE	$\frac{(I-H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagreg}$	$(1 - \frac{C}{I}) * 100$	100 - K - L	100 - K	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} * 100$			Q * R	
1,1			6,84	999,3	1000,5	542,8	2,183										4383	0,888	3892,104	7
1,2	5	3	6,35	1010,8	1014,5	545,8	2,157										4234	1,000	4234	7
1,3			6,86	1147,4	1149,4	612,5	2,137										5202	0,884	4598,568	15
<b>PROMEDIO</b>							2,159	2,113	2,203	2,041	91,65	1,997	6,36	8,35	3,061	76,090			4063,05	9,60
2,1			6,43	1049,5	1050,7	557,5	2,128										3763	0,980	3687,74	21
2,2	5,5	3	6,85	1032,9	1034,20	551,3	2,139										3823	0,886	3387,178	13
2,3			6,45	1090,9	1094,6	578,7	2,115										3987	0,975	3887,325	22
<b>PROMEDIO</b>							2,127	2,101	2,131	0,710	87,02	0,181	12,80	12,98	4,830	98,608			3654,08	18,88
3,1			6,61	1032,4	1033,7	554,8	2,156										3654	0,941	3438,414	13
3,2	6	3	6,88	1000,7	1002,3	543,3	2,180										3303	0,881	2909,943	7
3,3			6,35	1066,5	1073,1	578,4	2,156										3214	1,000	3214	15
<b>PROMEDIO</b>							2,164	2,089	2,168	1,847	88,06	0,188	11,76	11,94	4,264	98,430			3187,45	11,78
4,1			6,83	994,8	996,2	541,4	2,187										3329	0,890	2962,81	10
4,2	6,5	3	6,42	1081,8	1083,4	584,8	2,170										3987	0,983	3919,221	14
4,3			6,62	1135,7	1141,2	611,8	2,145										3822	0,939	3588,858	12
<b>PROMEDIO</b>							2,167	2,078	2,169	2,163	87,73	0,073	12,20	12,27	4,4775	99,407			3490,30	11,96
5,1			6,38	1110,1	1114,4	598,5	2,152										3545	0,993	3520,185	18
5,2	7	3	6,81	1015,1	1015,5	546,2	2,163										3243	0,895	2902,485	10
5,3			6,36	1058,3	1061,6	570,6	2,155										3646	0,998	3638,708	14
<b>PROMEDIO</b>							2,157	2,066	2,158	2,207	86,83	0,059	13,11	13,17	4,948	99,552			3353,79	14,02

Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza.

#### 4.1.11 CURVAS DE DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADAS CON EL 1%, 2% Y 3% DE POLÍMERO (P.E)

Carpeta para faja 3/4"

##### Determinación del Contenido Óptimo de Cemento Asfáltico.

Para realizar esta determinación, se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, a partir de los cuales se obtiene los contenidos de asfalto de acuerdo al siguiente detalle:

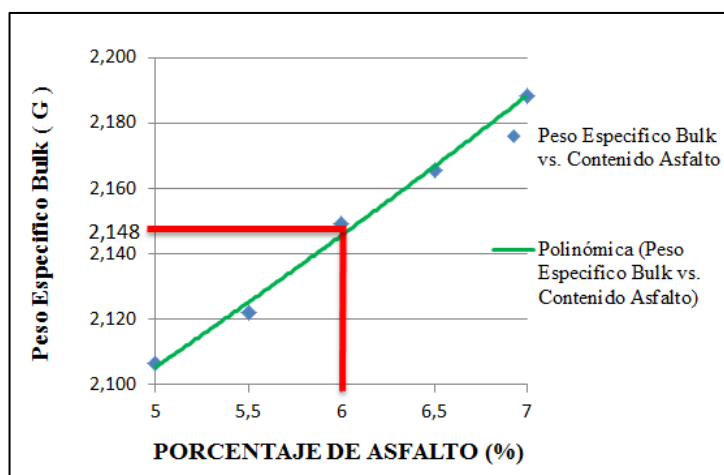
- **El porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico:** que nos da un valor en la gráfica de 6,5 %
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% del índice de vacíos:** que nos da un valor en la gráfica de 5,5 %
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad:** que nos da un valor en la gráfica de 6 %

El promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto.

Para este análisis el porcentaje de asfalto óptimo para el agregado de la Planta Asfáltica JEAL CONSTRUCCIONES es de **6 %** que equivale a un porcentaje de 72 gr de asfalto.

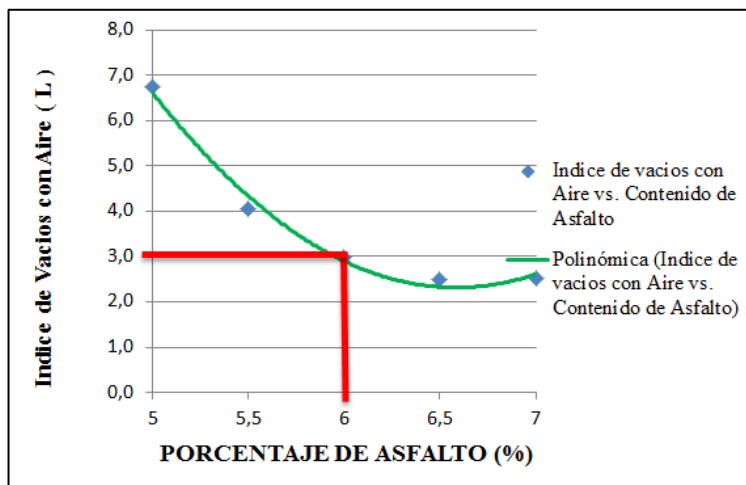
**Gráfico N° 33. Curvas de diseño de la mezcla asfáltica modificadas con el 1% de polímero (P.E)**

**Gráfico.- Densidad bulk vs. porcentaje de asfalto**

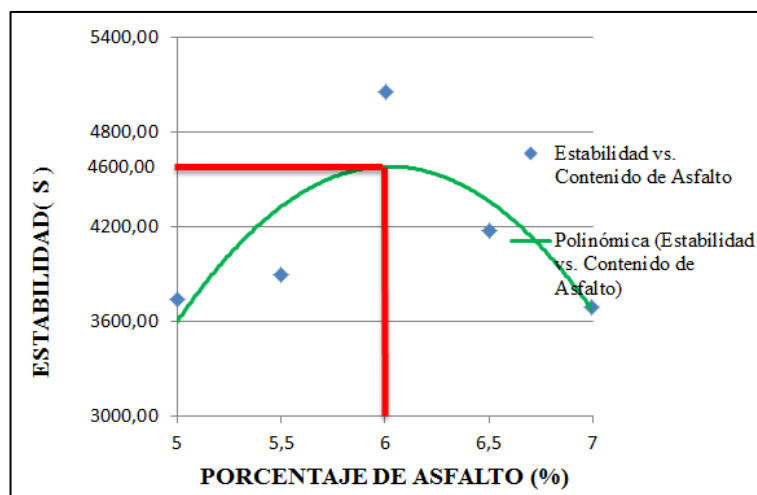




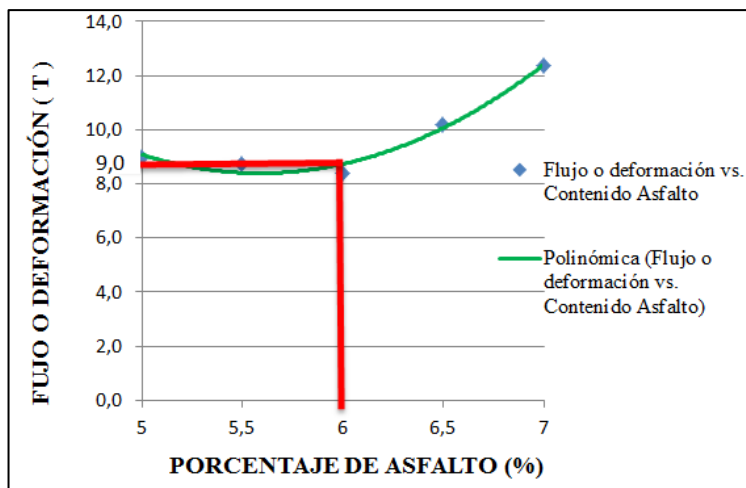
**Gráfico.- Índice de vacíos con el aire vs. porcentaje de asfalto**



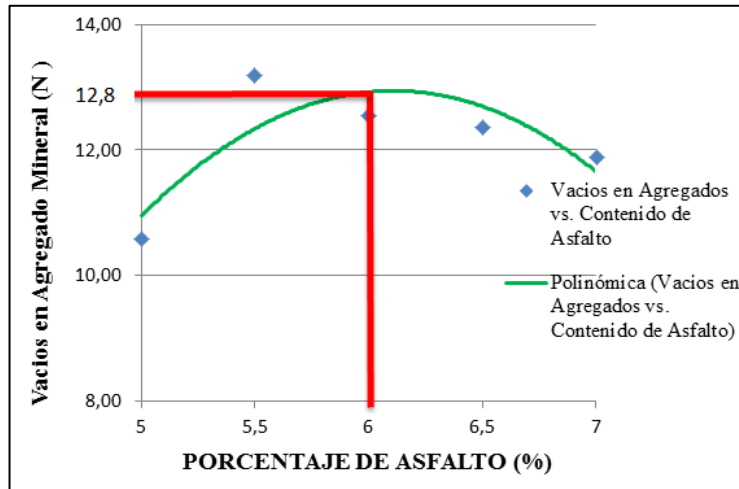
**Gráfico.- Estabilidad vs. porcentaje de asfalto**



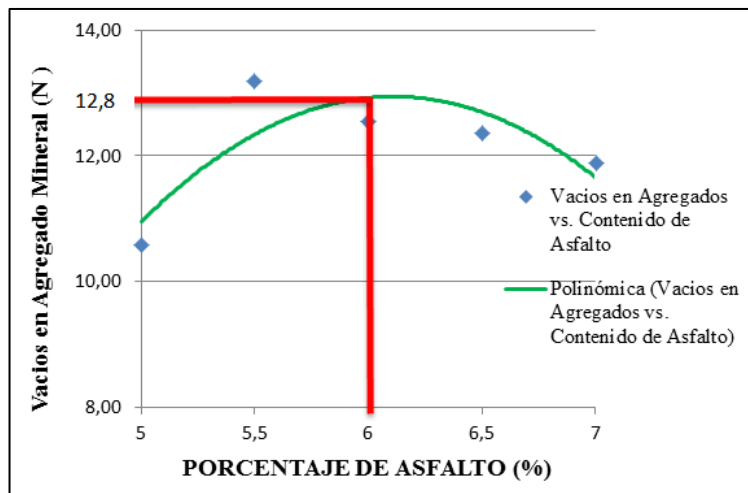
**Gráfico.- Flujo o deformación vs. porcentaje de asfalto**



**Gráfico.-** Vacíos en agregados minerales vs. porcentaje de asfalto

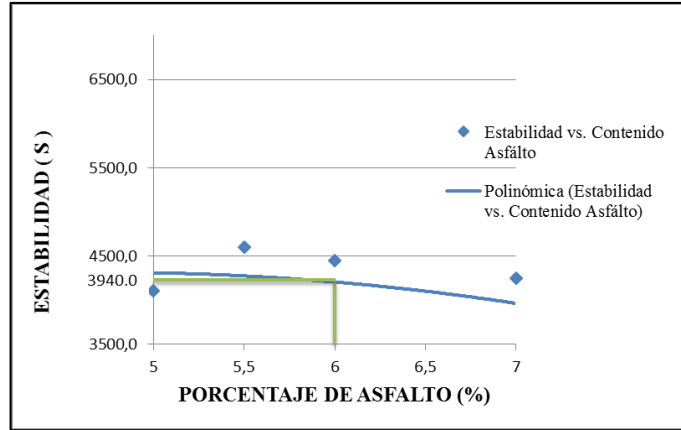


**Gráfico.-** Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. porcentaje de asfalto

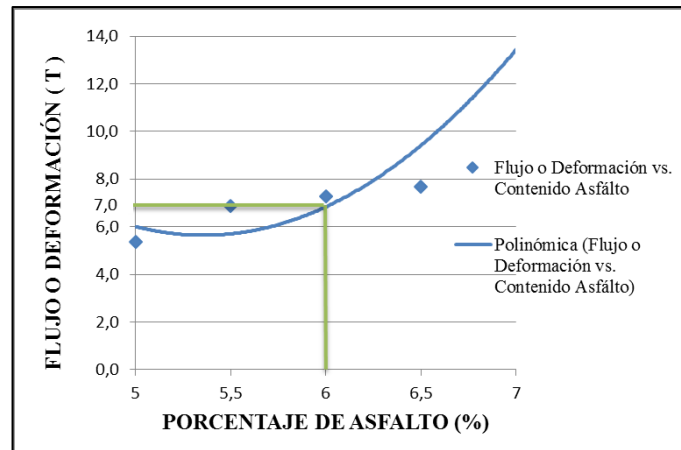


**Gráficos.- Curvas de diseño de la mezcla asfáltica modificadas con el 2% de polímero (P.E)**

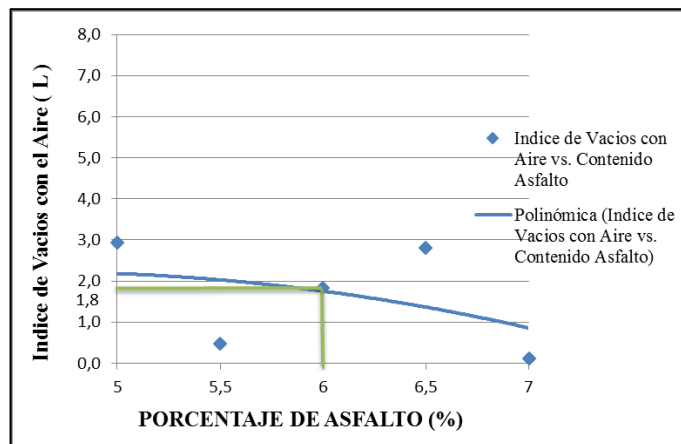
**Gráfico.- Estabilidad vs. porcentaje de asfalto**



**Gráfico.- Flujo o deformación vs. porcentaje de asfalto**

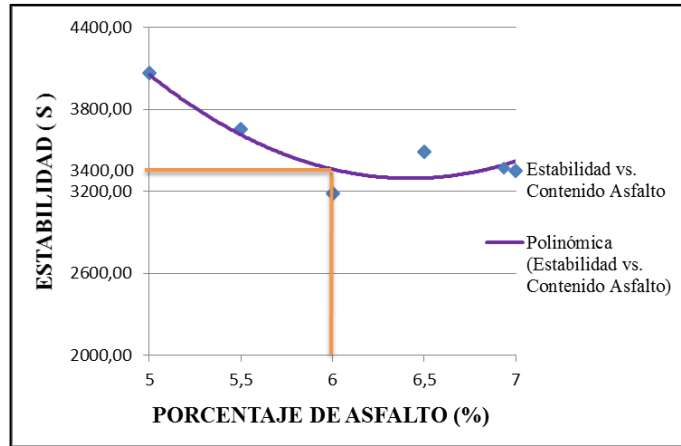


**Gráfico.- Índice de vacíos con el aire vs. porcentaje de asfalto**

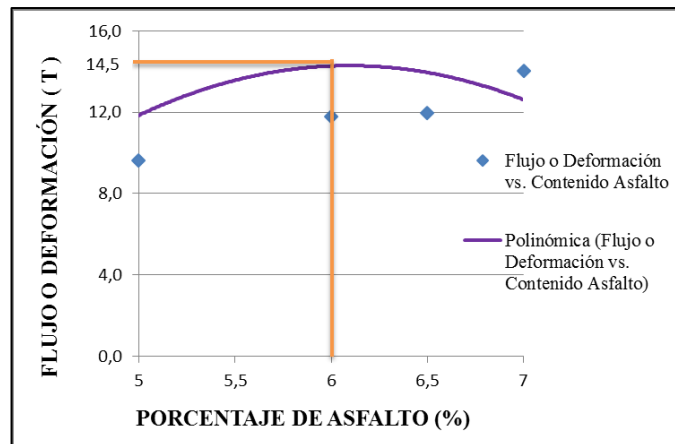


**Gráficos.- Curvas de diseño de la mezcla asfáltica modificadas con el 3% de Polímero (P.E)**

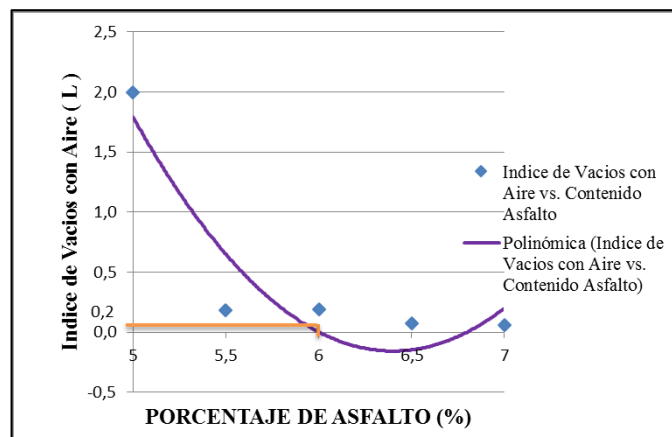
**Gráfico.- Estabilidad vs. porcentaje de asfalto**



**Gráfico.- Flujo o deformación vs. porcentaje de asfalto**



**Gráfico.- Índice de vacíos con el aire vs. porcentaje de asfalto**



## **4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos realizados para determinar las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas tradicionales y las mezclas asfálticas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) se realiza un análisis comparativo de resultados.

Para el análisis de resultados se realizaron tablas y gráficos que muestran los distintos valores obtenidos entre las dos mezclas.

Se determinó que la mezcla asfáltica tradicional como la mezcla asfáltica modificada con el 1% de polímero; superan los valores o requerimientos mínimos especificados en los criterios de diseño para mezclas marshall.

Con el propósito de obtener un análisis de resultados confiable se fabricaron 15 briquetas Marshall con mezcla asfáltica tradicional y 45 briquetas Marshall con mezcla asfáltica modificada con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E), las mismas que fueron sometidas a cada uno de los ensayos como se describe en el capítulo VI.

Los resultados del ENSAYO MARSHALL se los represento en gráficos, para poder interpretar cada una de las características individuales que poseen los grupos de briquetas asfálticas tradicionales y modificadas con polímero; usadas en el ensayo. Mediante el estudio de los gráficos se puede determinar cuál grupo de briquetas cumple los criterios establecidos para el diseño de la mezcla asfáltica.

### **4.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.**

La tabla N° 14 y los gráficos N° 30 muestran los resultados obtenidos en el Ensayo Marshall, estos resultados se encuentran representados por puntos en las gráficas en el siguiente orden:

- 1.- Densidad o Peso específico Bulk.
- 2.- Índice de vacíos con el aire.
- 3.- Estabilidad.
- 4.- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M).
- 5.- Flujo o deformación.
- 6.- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A).

Estos puntos que representan los valores de cada grupo de briquetas asfálticas, se unen con una curva uniforme que se ajuste en lo posible a los valores calculados. En los gráficos se pueden observar ciertas tendencias en las relaciones entre el cemento asfáltico y las propiedades de la mezcla.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico en el diseño de la mezcla final, se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos descritos anteriormente, a partir de los cuales se obtiene los contenidos de asfalto de acuerdo al siguiente detalle:

- **El porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico bulk:** que nos da un valor en la gráfica de 6.6 % de asfalto.
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% del índice de vacíos:** que nos da un valor en la gráfica de 6.5 % de asfalto.
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad:** que nos da un valor en la gráfica de 6.5 % de asfalto.

El promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto en el diseño que es de 6.5% de asfalto.

De los gráficos establecidos se determinó que para un contenido de asfalto de 6.5% los valores de las propiedades son:

- Densidad o Peso específico bulk =  $2,200 \text{ gr/cm}^3$ .
- Índice de vacíos con aire = 4 %
- Estabilidad = 5500 lbs
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) = 13,0 %
- Flujo = 10.60 (1/100 pulg)
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A) = 68%

Estos valores serán comparados con los recomendados en el Diseño de Mezclas Marshall, para una mezcla superficial con tránsito pesado. (Tabla N<sup>o</sup> 5 y 6)

**Tabla N° 17.** Criterio de diseño de mezclas marshall.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y Base		Carpeta y Base		Carpeta y Base	
Criterio de mezcla	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver tabla					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

**Tabla N° 18.** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	In	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 6	16.0	17.0	18.0
9.5	3 / 8	14.0	15.0	16.0
12.5	1 / 2	13.0	14.0	15.0
19	3 / 4	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

El valor de estabilidad 5500 lbs es mayor al criterio mínimo establecido de 1800 lbs.

El valor del Flujo 10.60 (1/100 pulg), cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 8 a 14.

El valor de índice de vacíos con aire 4%, cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 3 a 5.

El valor de Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A) 68%. cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 65 a 75.

El valor de Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) es revisado en la tabla donde usando el tamaño de partícula nominal de 3/4 de pulgada se puede observar que el valor de V.M.A es de 13.0%, y está dentro de los criterios de diseño.

**Tabla N° 19.** Comparación de resultados mezcla asfáltica tradicional.

Criterios para Mezcla del Método Marshall	Especificación		Resultado Obtenido Mezcla Asfáltica Tradicional	
	Tráfico Pesado		Tráfico Pesado	
Criterio de Mezcla	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Numero de golpes en cada probeta	75		<b>75</b>	
Estabilidad en libras	1800	-----	<b>5500</b>	
Flujo en centésimas de pulgada	8	14	<b>10.60</b>	
Porcentaje de Vacíos	3	5	<b>4</b>	
Porcentaje de Vacíos Rellenos de Asfalto	65	75	<b>68</b>	
Porcentaje de Vacíos en Agregados Minerales	Según tabla para granulometría de 3/4" el V.M.A Mínimo es 13%		<b>13.0</b>	

**Finalmente la mezcla asfáltica tradicional quedó definida por 60% de agregado grueso, 40% de agregado fino y 6.5% de asfalto.**

#### **4.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO.**

Con el criterio de que el polímero (P.E) se incorpore a la mezcla asfáltica, se decidió fabricar 45 briquetas modificadas con el 1%, 2% y 3% de polímero y someterlas a Ensayo Marshall. La tabla N°16 y los gráficos N°33 muestran los resultados obtenidos.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico en el diseño de la mezcla modificada con polímero, se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos descritos anteriormente, a partir de los cuales se obtiene los contenidos de asfalto de acuerdo al siguiente detalle:

- **El porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico:** que nos da un valor en la gráfica de 6.5 % de asfalto.
- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% del índice de vacíos:** que nos da un valor en la gráfica de 5.5 % de asfalto.



- **El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad:** que nos da un valor en la gráfica de 6 % de asfalto.

El promedio de estos tres valores equivale al porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de la mezcla modificada con polímero P.E que es de 6.0% de asfalto.

De los gráficos establecidos se determinó que para un contenido de asfalto de 6.0% los valores de las propiedades son:

- Densidad o Peso específico bulk = 2,148 gr/cm<sup>3</sup>.
- Índice de vacíos con aire = 3 %
- Estabilidad = 4600 lbs
- Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) = 12,8 %
- Flujo = 9 (1/100 pulg)
- Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A) = 75%

Estos valores serán comparados con los recomendados en le Diseño de Mezclas Marshall, para una mezcla superficial con tránsito pesado. (Tabla N<sup>o</sup> 5 y 6).

El valor de estabilidad 4600 lbs es mayor al criterio mínimo establecido de 1800 lbs.

El valor del Flujo 9 (1/100 pulg), cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 8 a 14.

El valor de índice de vacíos con aire 3%, cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 3 a 5.

El valor de Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A) 75%, cae dentro del margen establecido por los criterios el cual es de 65 a 75.

El valor de Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) es revisado en la tabla donde usando el tamaño de partícula nominal de 3/4 de pulgada se puede observar que el valor de V.M.A de 12,8 % sobrepasa al mínimo requerido de 12%.

**Tabla N° 20.** Comparación de resultados de mezcla asfáltica con polímero

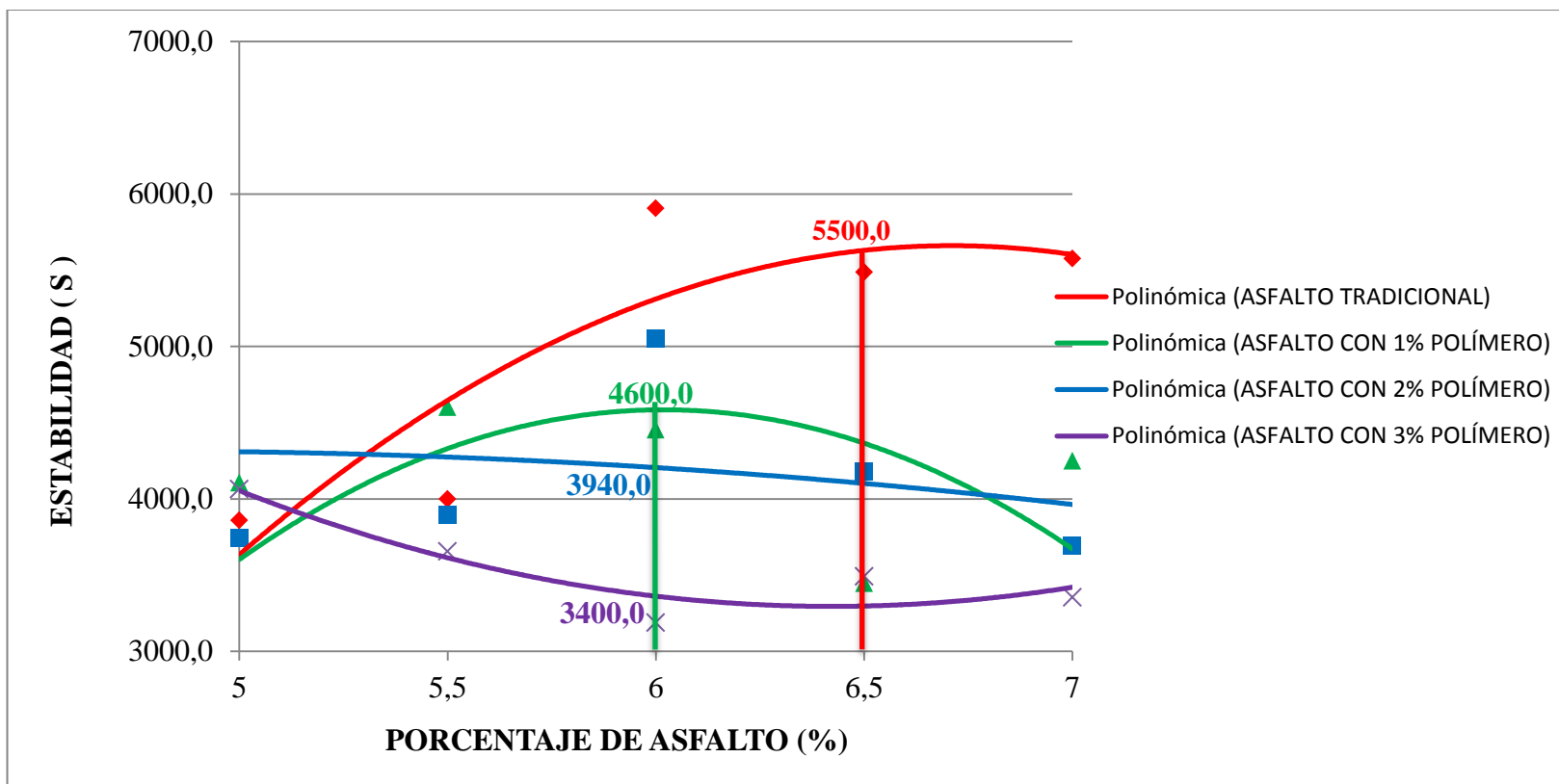
Criterios para Mezcla del Método Marshall	Especificación.		Resultado Obtenido Mezcla Asfáltica con Polímero	
	Tráfico Pesado		Tráfico Pesado	
Criterio de Mezcla	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Numero de golpes en cada probeta	75		<b>75</b>	
Estabilidad en libras	1800	----	<b>4600</b>	
Flujo en centésimas de pulgada	8	14	<b>9</b>	
Porcentaje de Vacíos	3	5	<b>3</b>	
Porcentaje de Vacíos Rellenos de Asfalto	65	75	<b>75</b>	
Porcentaje de Vacíos en Agregados Minerales	Según tabla para granulometría de 3/4" el V.M.A Mínimo es 12%		<b>12,8</b>	

**Finalmente la mezcla asfáltica modificada con polímero quedó definida por: 60% de agregado grueso, 39% de agregado fino, 1% de polímero (P.E) y 6.0% de asfalto.**

#### **4.2.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

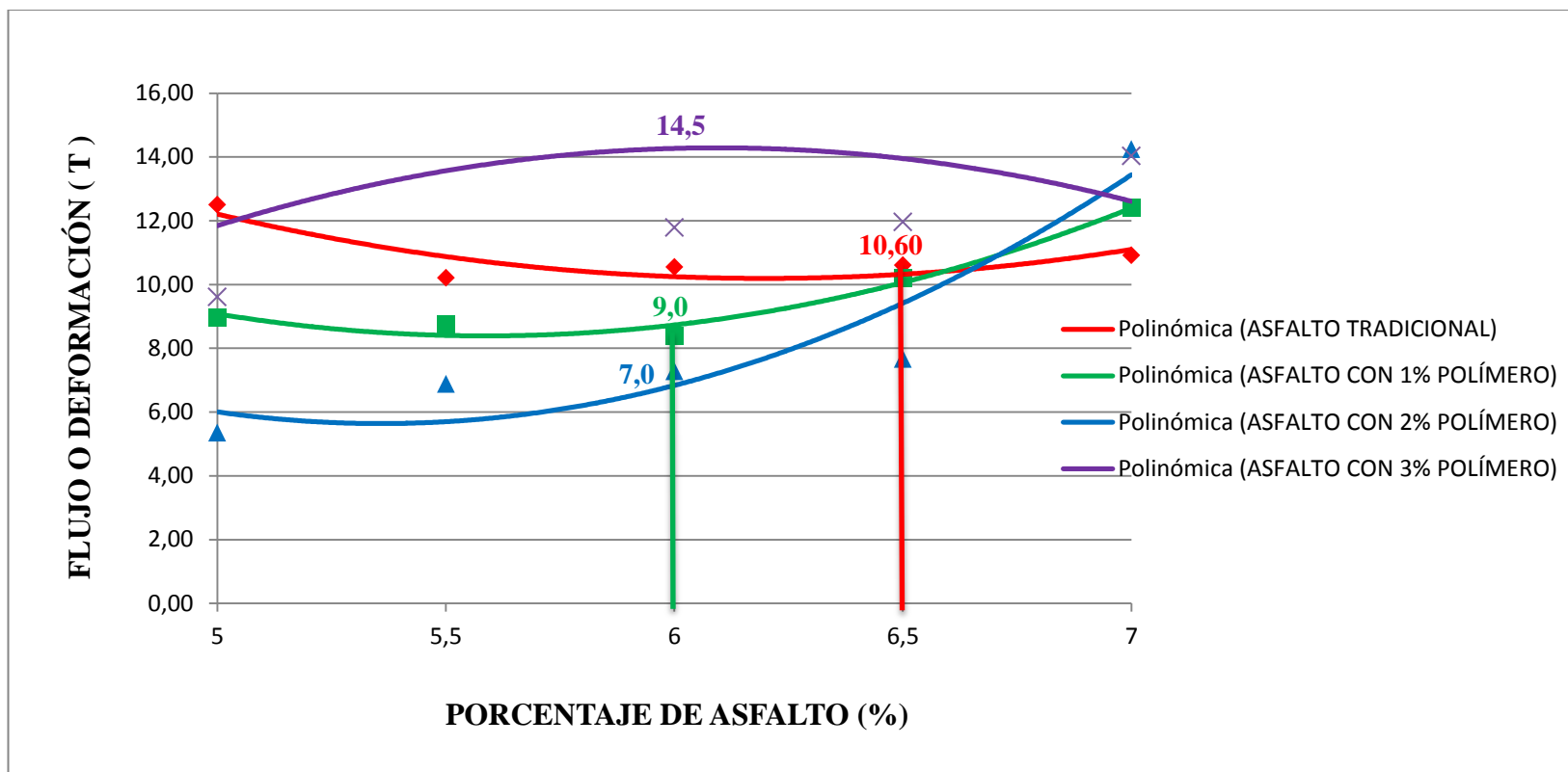
Con los resultados obtenidos en el Ensayo Marshall tanto para la mezcla asfáltica tradicional como para la mezcla asfáltica modificada con polímero, se procederá a realizar los gráficos de Estabilidad, Flujo e índice de vacíos, con el propósito de realizar un análisis comparativo de los valores, los mismos que son importantes para determinar si la mezcla asfáltica modificada mantiene o mejora estas propiedades con respecto a la mezcla asfáltica tradicional.

**Gráfico N° 34.** Comparación de resultados de la estabilidad entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero.



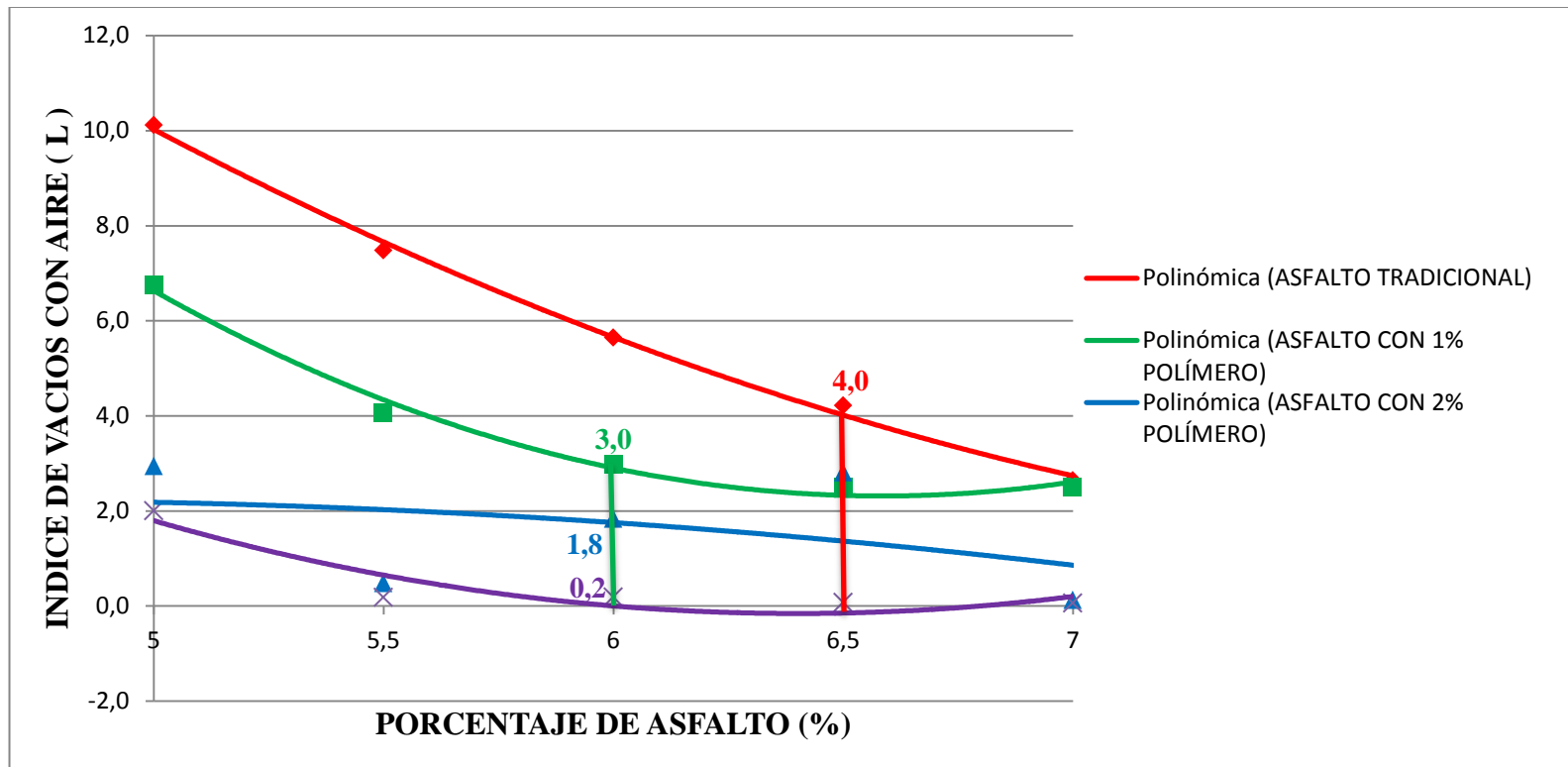
**Interpretación:** La Estabilidad obtenida con la mezcla tradicional es de 5500, con un contenido de 6.5% de cemento asfáltico y de la mezcla modificada con el 1% de polímetro P.E triturado es de 4600, con un contenido de 6.0% de cemento asfáltico y es la que representa un mejor resultado.

**Gráfico N° 35.** Comparación de resultados del flujo entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero



**Interpretación:** Estudiando los valores de flujo para la mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica con el 1% de polímero P.E se puede observar que caen dentro del margen establecido por los criterios de diseño Marshall el cual es de 8 a 14; pero los valores de flujo para el 2% y 3% de polímero con asfalto son erróneos.

**Gráfico N° 36.** Comparación de resultados de vacíos con aire entre la mezcla tradicional y la mezcla modificada con polímero



**Interpretación:** El índice de vacíos con aire para la mezcla asfáltica tradicional es de 4.0 y para la mezcla asfáltica con el 1% de polímero es de 3.0; los cuales son valores aceptables que cae dentro del margen establecido por los criterios de diseño marshall el cual es de 3 a 5, pero los valores de índice de vacíos con aire para el 2% y 3% de polímero con asfalto son muy bajos.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

Al haber analizado los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados, nos permite dar veracidad a la hipótesis planteada. Comprobando que la utilización del polímero (P.E) triturado proveniente del reciclaje de tapones de botellas y utilizado en reemplazo parcial del agregado fino, permite mantener las propiedades físico-mecánicas planteadas por los criterios de diseño Marshall.

#### **4.4 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN PLANTA PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL Y LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO (P.E)**

Los costos de producción son uno de los indicadores más importantes a considerar en los proyectos de pavimentación e igualmente en los proyectos de ingeniería; de esta forma mientras más eficiente sea la labor de estos, menos recursos se invertirán en la producción.

##### **Recursos y componentes.**

Los porcentajes y rendimientos que se presentan en el análisis de costos para cada mezcla asfáltica son determinadas para un metro cubico de producción en planta.

##### **Determinación del rendimiento.**

El rendimiento es el tiempo necesario para realizar una cantidad determinada de trabajo, interviene directamente en la productividad factores como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tiempo de transmisión, las velocidades y los costos de operación.

En la planta asfáltica un factor muy importante a considerar es la humedad de los agregados, debido que a mayor contenido de humedad menor rendimiento de la planta.

En la presente investigación y de acuerdo a la información obtenida, la producción diaria de asfalto es de 160 m<sup>3</sup>/día por lo que el rendimiento se determina con la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (m}^3\text{/hora)} = \frac{160 \text{ m}^3}{8 \text{ h}} = 20 \text{ m}^3\text{/h}$$

$$\text{Rendimiento (hora/m}^3\text{)} = \frac{1 \text{ h}}{20 \text{ m}^3\text{/h}} = 0.05 \text{ h/m}^3$$

El rendimiento calculado de 0.05 h/m<sup>3</sup> es el determinado para la planta asfáltica, y será el mismo para el rendimiento de la mano de obra, maquinaria y equipos debido a que trabajan en función de la producción de asfalto.

## CALCULO DE LA DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL.

### Materiales:

- Agregado Grueso = 60 %
- Agregado Fino = 40 %
- Cemento Asfaltico = 6,5 %

### Composición de la Mezcla Asfáltica Tradicional.

Agregados = 93,5 %

Cemento Asfaltico = 6,5 %

### Composición en peso de los Agregados.

Materiales	Humedad (%)	Peso Real (%)
Agregado Grueso	0	56,10
Agregado Fino	0	37,40
<b>Total</b>		93,5

### Peso Unitario Estandarizado para Cálculo de Dosificaciones 2250 kg/m<sup>3</sup>

### Dosificación para un Metro Cubico (m<sup>3</sup>)

Material	Peso (kg)	P. Especifico (Kg/m3)	Volumen	Unidad
Agregado Grueso	1262,25	2345	0,54	m <sup>3</sup>
Agregado Fino	841,50	2388	0,35	m <sup>3</sup>
Cemento Asfaltico	146,25	1023,9	37,73	gal



**CALCULO DE LA DOSIFICACIÓN PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA  
MODIFICADA CON POLÍMERO (P.E)**

**Materiales:**

- Agregado Grueso = 60 %
- Agregado Fino = 39 %
- Cemento Asfaltico = 6 %
- Polímero = 1 %

**Composición de la Mezcla Asfáltica Modificada.**

Agregados = 94 %

Cemento Asfaltico = 6,0 %

**Composición en peso de los Agregados.**

<b>Materiales</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Peso Real (%)</b>
Agregado Grueso	0	56,40
Agregado Fino	0	37,60
<b>Total</b>		94

**Peso Unitario Estandarizado para Cálculo de Dosificaciones 2250 kg/m<sup>3</sup>**

**Dosificación para un Metro Cubico (m<sup>3</sup>)**



<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>P. Especifico (Kg/m3)</b>	<b>Volumen</b>	<b>Unidad</b>
Agregado Grueso	1269	2345	0,54	m <sup>3</sup>
Agregado Fino	846	2388	0,35	m <sup>3</sup>
Cemento Asfaltico	135	1023,9	34,83	gal

El 1% de polímero triturado para un m<sup>3</sup> será:

100% ----- 846

1% ----- X = 8.46 kg de Polímero adicionado a la mezcla.



## ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA TRADICIONAL

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>				
<b>Rubro:</b> Mezcla Asfáltica Tradicional (en caliente)	<b>Hoja:</b> 1 de 1	<b>Unidad:</b> m <sup>3</sup>			
<b>Detalle:</b>		<b>Rendimiento:</b> 0,0500			
<b>Fecha:</b> 06/10/2016					
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A * B</b>	<b>R</b>	<b>D = C * R</b>
Herramientas Manuales (5% MO)	1,00				0,0500
Planata Asfáltica Estacionaria	1,00	120,00	120,00	0,0500	6,0000
Cargadora Frontal	0,50	30,00	15,00	0,0500	0,7500
<b>SubTotal M =</b>					<b>6,8000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Jornal/hora</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A * B</b>	<b>R</b>	<b>D = C * R</b>
Operador encargado de la palnta (OEP)	1,00	3,86	3,86	0,0500	0,1930
Operador de cargadora frontal	1,00	4,03	4,03	0,0500	0,2015
Peón	3,00	3,65	10,95	0,0500	0,5475
Ayudante de maquinaria	1,00	3,86	3,86	0,0500	0,1930
Chofer de Volqueta	0,25	5,03	1,26	0,05	0,0629
<b>SubTotal N =</b>					<b>1,1979</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>Descripción</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D = A * B</b>	
Asfalto AC-20	kg	146,250	0,3210	46,94625	
Ripio Triturado	m <sup>3</sup>	0,5400	12,0000	6,48	
Arena	m <sup>3</sup>	0,3500	12,0000	4,20	
Diesel	gl	12,975	1,68	21,798	
<b>SubTotal O =</b>					<b>79,4243</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>Descripción</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D = A * B</b>	
<b>SubTotal P =</b>					
<b>Total Costo Directo (M+N+O+P)</b>					<b>87,4221</b>
<b>Indirectos y Utilidades %</b>					<b>18,00% 15,7360</b>
<b>Otros Indirectos %</b>					<b>0,00% 0,0000</b>
<b>Costo total del Rubro</b>					<b>103,1581</b>
<b>Valor Presupuestado</b>					<b>103,2</b>

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza**

**El Costo de Producción en Planta para 1m<sup>3</sup> de Mezcla Asfáltica Tradicional es de 103,20 dólares.**

## ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>				
<b>FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA</b>					
<b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>					
<b>Rubro:</b> Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero (en caliente)	<b>Hoja:</b> 1 de 2				
<b>Detalle:</b>	<b>Unidad:</b> m <sup>3</sup>				
<b>Fecha:</b> 06/10/2016	<b>Rendimiento:</b> 0,0500				
<b>EQUIPOS</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A * B</b>	<b>R</b>	<b>D = C * R</b>
Herramientas Manuales (5% MO)	1,00				0,0500
Planata Asfáltica Estacionaria	1,00	120,00	120,00	0,0500	6,0000
Cargadora Frontal	0,50	30,00	15,00	0,0500	0,7500
<b>SubTotal M =</b>					<b>6,8000</b>
<b>MANO DE OBRA</b>					
<b>Descripción</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Jornal/hora</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>COSTO</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C = A * B</b>	<b>R</b>	<b>D = C * R</b>
Operador encargado de la palta (OEP)	1,00	3,86	3,86	0,0500	0,1930
Operador de cargadora frontal	1,00	4,03	4,03	0,0500	0,2015
Peón	3,00	3,65	10,95	0,0500	0,5475
Ayudante de maquinaria	1,00	3,86	3,86	0,0500	0,1930
Chofer de Volqueta	0,25	5,03	1,26	0,05	0,0629
<b>SubTotal N =</b>					<b>1,1979</b>
<b>MATERIALES</b>					
<b>Descripción</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D = A * B</b>	
Asfalto AC-20	kg	135,000	0,3210	43,335	
Ripio Triturado	m <sup>3</sup>	0,5400	12,0000	6,48	
Arena	m <sup>3</sup>	0,3500	12,0000	4,20	
Polímero (P.E) Triturado	kg	8,4600	0,5000	4,23	
Diesel	gl	12,975	1,68	21,798	
<b>SubTotal O =</b>					<b>80,0430</b>
<b>TRANSPORTE</b>					
<b>Descripción</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>	
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>D = A * B</b>	
<b>SubTotal P =</b>					
<b>Total Costo Directo (M+N+O+P)</b>					<b>88,0409</b>
<b>Indirectos y Utilidades %</b>					<b>18,00% 15,8474</b>
<b>Otros Indirectos %</b>					<b>0,00% 0,0000</b>
<b>Costo total del Rubro</b>					<b>103,8882</b>
<b>Valor Presupuestado</b>					<b>103,9</b>

**Fuente: Juan Carlos Aimacaña Iza**

**El Costo de Producción en Planta para 1m<sup>3</sup> de Mezcla Asfáltica con Polímero es de 103,90 dólares.**

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

**1.-** Al procesar el polímero (polietileno P.E) que son tapones reciclados y triturados, mediante una máquina trituradora de mandíbula, se pudo obtener un material de tamaño adecuado de 0.6 mm a 15 mm, para ser utilizado en la mezcla asfáltica como reemplazo de un porcentaje parcial del agregado fino.

**2.-** La Estabilidad obtenida con la mezcla tradicional es de 5500, con un contenido de 6.5% de cemento asfáltico y de la mezcla modificada con el 1% de polímetro P.E triturado es de 4600, con un contenido de 6.0% de cemento asfáltico y es la que representa un mejor resultado.

**3.-** La mezcla asfáltica óptima modificada con el 1% de polímero de la investigación quedó definida por 60% de agregado grueso, 39% de agregado fino, 1% de polímero (P.E) y 6.0% de asfalto.

**4.-** Se ensayaron a compresión tres briquetas de asfalto tradicional por cada porcentaje de cemento asfáltico y tres briquetas de asfalto modificado con el 1%, 2% y 3% de polímero (P.E) triturado y adicionado a la mezcla asfáltica como reemplazo parcial del agregado fino, por cada porcentaje de cemento asfáltico; teniendo un total de 60 briquetas tipo Marshall para toda la investigación.

**5.-** Para llegar a determinar todos los resultados que nos permita establecer conclusiones reales se utilizó el Ensayo Marshall, fabricando briquetas con materiales procedentes de la planta asfáltica Jeal Construcciones, esto con la finalidad de obtener un resultado promedio correcto y descartando los valores evidentemente erróneos.

**7.-** El costo de producción de un metro cúbico para la mezcla asfáltica tradicional en caliente es de 103,20 dólares, mientras que para la mezcla modificada con polímero

es de 103,90 dólares, siendo este un factor que se debe considerar al tomar esta alternativa en el diseño de la carpeta asfáltica.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

1.- La elaboración de un pavimento ecológico a base de polímero será de gran beneficio en la preservación del medio ambiente, ya que de esta manera podremos reusar estos polímeros (residuos plásticos) y reutilizarlos en una nueva mezcla asfáltica que pretende mejorar la vida útil del pavimento.

2.- Esta investigación debe ser complementada realizando un tramo de prueba que nos permita comprobar los resultados obtenidos en el laboratorio y así analizar el funcionamiento de la nueva mezcla asfáltica.

3.- Al instante de elaborar las briquetas asfálticas tradicionales y modificadas con polímero P.E es recomendable controlar la temperatura de la mezcla, se debe evitar temperaturas menores a los 120 °C ya que de esta manera se obtendrá resultados confiables.

## 1. BIBLIOGRAFÍA

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cantarina.udlap, «Asfaltos Modificados con Polimeros,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/maxil\\_c\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf). [Último acceso: 4 mayo 2016].
- [2] Residuos Profesional, «Investigadores Argentinos Utilizan Residuos Plasticos para crear Nuevas Mezclas Asfálticas,» [En línea]. Available: <http://www.residuosprofesional.com/investigadores-argentinos-utilizan-residuos-plasticos-para-crear-nuevas-mezclas-asfalticas/>. [Último acceso: 11 Mayo 2016].
- [3] Workshop Polymix, «Desarrollo de Asfalto con Residuos Plásticos,» [En línea]. Available: [http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=POLYMIX\\_2014-workshop.pdf](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=POLYMIX_2014-workshop.pdf). [Último acceso: 12 Mayo 2016].
- [4] F. A. W. Rodríguez, «Análisis de Pavimento Asfáltico Modificado con Polímeros,» [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf>. [Último acceso: 16 Junio 2016].
- [5] J. E. F. Orjuela, «Diseño de Mezclas Asfálticas Modificadas Mediante la Adición de Desperdicios Plásticos,» [En línea]. Available: <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2575/1/Dise%C3%B1o-mezclas-asf%C3%A1lticas-modificadas-adici%C3%B3n-desperdicios-pl%C3%A1sticos.pdf>. [Último acceso: 16 Junio 2016].
- [6] I. J. I. A. Velázquez, «Pasado, Presente y futuro del uso de los asfaltos en México,» [En línea]. Available: <http://asfaltosmex.jimdo.com/pasado-presente-y-futuro-del-uso-de-los-asfaltos-en-m%C3%A9xico/>. [Último acceso: 13 Abril 2016].
- [7] M. d. T. y. O. Publicas, «MTOPE promueve desarrollo en la calidad de asfalto,» [En línea]. Available: <http://www.obraspublicas.gob.ec/mtop-promueve-desarrollo-en-la-calidad-de-asfalto/>. [Último acceso: 14 Abril 2016].
- [8] G. B. R. Herrera, «Caracterización de los asfaltos utilizados en las obras viales del Ecuador,» [En línea]. Available: [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006\\_Caracterizacion-Asfaltos-Obras-Viales-del-](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006_Caracterizacion-Asfaltos-Obras-Viales-del-)

Ecuador\_II-Simposio-Iberoamericano-y-Ecuatoriano-Ing-de-Pavim.pdf.  
[Último acceso: 14 Abril 2016].

- [9] Haccolocaciones.srl, «Historia del asfalto,» [En línea]. Available: <http://www.haccolocaciones.com/?pag=historia-asfalto>. [Último acceso: 18 Abril 2016].
- [10 ] I. E. d. N. (INEN), «Productos Derivados del Petróleo. Asfaltos Diluidos,» 1996. [En línea]. [Último acceso: 23 Junio 2016].
- [11] Catarina, «El Asfalto,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/de\\_1\\_a/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/de_1_a/capitulo1.pdf). [Último acceso: 18 Junio 2016].
- [12] «Propiedades y Estudios de los Materiales Asfálticos y Pétreos,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>. [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [13] M. D. A. Cruz, «Asfaltos Modificados con Polímeros,» [En línea]. Available: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2705\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf). [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [14] Construmática, «Tipos de Asfalto,» [En línea]. Available: [http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos\\_de\\_Asfalto](http://www.construmatica.com/construpedia/Tipos_de_Asfalto). [Último acceso: 20 Junio 2016].
- [15] «Usos mas Comunes del Asfalto en Ingenieria Civil,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/158116248/6-4-USOS-MAS-COMUNES-DEL-ASFALTO-EN-INGENIERIA>. [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [16] G. B. R. Herrera, «Caracterización de los asfaltos Utilizados en las Obras Viales del Ecuador,» [En línea]. Available: [http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006\\_Caracterizacion-Asfaltos-Obras-Viales-del-Ecuador\\_II-Simposio-Iberoamericano-y-Ecuatoriano-Ing-de-Pavim.pdf](http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006_Caracterizacion-Asfaltos-Obras-Viales-del-Ecuador_II-Simposio-Iberoamericano-y-Ecuatoriano-Ing-de-Pavim.pdf). [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [17] I. E. Normalizacion, «Áridos. Análisis Granulométrico en los áridos Fino y Grueso,» [En línea]. Available: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0696.2011.pdf>. [Último acceso: 21 Junio 2016].
- [18] A. P. Rodríguez, «Materiales Básicos,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065->

13.pdf?sequence=13. [Último acceso: 21 Junio 2016].

- [19] M. P. M. Elias, «Comportamiento de una Mezcla Asfáltica Modificada con Polímero Etileno Vinil Acetato,» [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>. [Último acceso: 17 Junio 2016].
- [20] R. d. E. M. d. O. P. y. c. MOP-001-F2002, «Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y puentes,» [En línea]. Available: [http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf). [Último acceso: 23 Junio 2016].
- [21] «Generalidades y definiciones sobre los Pavimentos,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2.pdf>. [Último acceso: 23 Junio 2016].
- [22] A. P. Rodríguez, «Mezclas Asfálticas,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14>. [Último acceso: 7 Julio 2016].
- [23] L. M. R. Jiménez, «Pavimentos con Polímeros Reciclados,» 2011. [En línea]. Available: <http://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/264/1/CIVIO401.pdf>. [Último acceso: 18 Junio 2016].
- [24] S. W. L. Jácome, «Análisis comparativo de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímero SBR Y SBS,» Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6533>. [Último acceso: 25 Agosto 2016].
- [25] Cantarina.udlap, «Asfaltos Modificados con Polímeros,» [En línea]. Available: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/maxil\\_c\\_r/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf) . [Último acceso: 23 Junio 2016].



**2. ANEXOS.**

**2.1 ANEXO FOTOGRÁFICO.**

**PLANTA ASFÁLTICA Y MATERIAL PÉTREO**



Planta Asfáltica JEAL Construcciones.



Agregado Fino - Arena



Agregado Grueso - Ripio



Producción de Asfalto

**ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**



Tamices en Pedestal Vibratorio.



Porcentaje Retenido en el Tamiz.

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGUA DEL  
AGREGADO GRUESO Y FINO.**



Muestra Saturada de Agregado Fino –  
Arena por 24h.



Muestra de Arena lista para Ensayar



Arena Saturada Superficialmente Seca



Gravedad Especifica de la Arena



Agregado Grueso en Condicion S.S.S.



Peso de la Muestra a ser Ensayada.



Peso de la Canastilla



Muestra de agregado grueso colocada en  
el horno

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN.**



Maquina de los Angeles.



Agregado y Carga Abrasiva.



Separando el material Grueso.



Tamizando el Agregado Fino.

**ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS**



Tamizado de Agregado Grueso




Inspección de las partículas fracturadas y no fracturadas.

## 2.2 ANEXO TABLAS

# INFORME DE LABORATORIO DEL CEMENTO ASFALTICO AC-20 PROPORCIONADO POR LA PLANTA ASFÁLTICA JEAL CONSTRUCCIONES

**EP - PETROECUADOR**  
**INFORME DE RESULTADOS**



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con  
ACREDITACIÓN No. OAE I.E.C13-002 2013.66-01

GERENCIA:	GERENCIA DE REFINACION	REFERENCIA:	PROGRAMA DE TRANSFERENCIA H.240
ORGANIZACIÓN:	M01_REFINERIA_ESMERALDAS	PRODUCTO ANALIZADO:	0280 ASFA LTJ AC-20
INFORME NO.:	M01-795-2019	CODIGO MUESTRA:	ECC-16-2434

DATOS CLIENTE			
NOMBRE	INTENDENTE DE OPERACIONES ESMERALDAS (ING. ANTONIO MORALES)		
DIRECCION	Km 7 1/2 Antigua Via Atacames		
TELEFONO	062994000 (80004)		
SOLICITADO POR	ING. REMIGIO PACHICO JEFE DE CONTROL Y PROGRAMACION DE LA PRODUCCION		

DATOS DE LA MUESTRA			
ORIGEN DE LA MUESTRA	AO-V13	HORA TOMA DE MUESTRA	20:45:00
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	2016/08/27	FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	20:50:00
CANTIDAD DE MUESTRA	1500 ml	PUNTO DE MUESTREO	A-FORO DEL TANQUE
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA	2016/08/27		
LUGAR TOMA DE MUESTRA	SETRIA		

DATOS DE ANALISIS			
TEMPERATURA AMBIENTE	-24.2 °C	PRESION BAROMETRICA	100.7 kPa
HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE	67.7 %HR	FECHA FINALIZACION DE LOS ENSAYOS	2016/08/28 03:15:00
FECHA DE INICIO DE LOS ENSAYOS	2016/08/27 20:55:00		
FECHA DE EMISION DEL INFORME	2016/08/29		

RESULTADOS							
PARAMETRO	METODO		ESPECIFICACION		RESULTADO	UNIDAD DE MEDIDA	UP
	(ASTM_INEN)	INTERNO	MIN.	MAX.			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 140 °F (60 °C)	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-1-23	150	240	199,0	Po.s	240
VISCOSIDAD CINEMATICA 275 °F (135 °C)	ASTM D2170_NTE INEN 810/1981	V03.06.01.03-1-23	200		332,0	mm <sup>2</sup> /s	210
PENETRACION 77 °F (25 °C, 100 G, 5s)	ASTM D5_NTE INEN 918	V03.06.01.03-1-20	60		73	mm	74
PUNTO DE INFLAMACION COPA ABIERTA CLEVELAND	ASTM D92_NTE INEN 808	V03.06.01.03-1-21	230		296	°C	247
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO*	ASTM D2042_NTE INEN 915	V03.06.01.03-1-31	99		99.9	%P	-
RESIDUO DE ENSAYOS DE PELICULA FINA EN HORNO ROTATORIO*	N/A		N/A	N	-	-	-
VISCOSIDAD 60°C*	ASTM D2171_NTE INEN 810	V03.06.01.03-1-23		800	639,0	Po.s	240
DUCTILIDAD 77 °F (25 °C) 5cm/min*	ASTM D113_NTE INEN 916	V03.06.01.03-1-24	50		60,0	cm	240
GRAVEDAD API A 60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2310		REPORTE	REPORTE	5,7	%PI	240
GRAVEDAD ESPECIFICA 60/60 °F (15.6 °C)	ASTM D1298_NTE INEN 2310		REPORTE	REPORTE	1,0239		-
GRAVEDAD ESPECIFICA 25/25 °C*	ASTM 70		REPORTE	REPORTE	-		-
PUNTO DE ABLANDAMIENTO*	ASTM D36				-8,0	°C	-
INDICE DE PENETRACION*	ASTM D5				-0,8		-
CAMBIO DE MASA*	ASTM D2872	V03.06.01.03-1-30			-0,1	%P	-
*API OBSERVADO: 14.505							
TEMPERATURA OBSERVADA: 59.6°C							
OBSERVACIONES:							

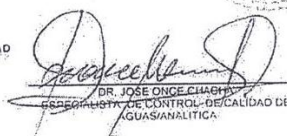
REFINERIA - ESMERALDAS

**CERTIFICO** que es copia del documento que reposa en el Archivo de la Coordinación General Control de Calidad


Esmeraldas, 2016-08-29

*Juan Carlos Pachico*

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD



DR. JOSÉ ONCE CHAGNON  
ESPECIALISTA DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS ANALITICA



JUAN CARLOS PACHICO  
ENCARGADO/INCHIE

NOTAS:

Los resultados se refieren únicamente a los objetos sometidos a ensayos  
Este informe no deberá reproducirse más que en su totalidad, previa autorización escrita del LCC-M01  
Los ensayos marcados con (\*) NO están dentro del alcance de la acreditación del SAE  
(1) Referido a la Norma INEN NTE 2618:2014 Enmienda 1  
(2) La U es estimada Multiplicando la U típica por el factor de cobertura K=2 (85% nivel de confianza)

Dirección Organización: Km 7: 1/2 ANTIGUA VIA ATACAMES

Formato: V03.06.01.03-FO-310 (V16:2012-01-25)

Página 1 de 1

# Tablas de la Contraloría General del Estado.

## Salarios Mínimos por Ley Año 2016

CONTRALORIA GENERAL DEL ESTADO  
DIRECCION DE AUDITORIA DE PROYECTOS Y AMBIENTAL  
REAJUSTE DE PRECIOS  
SALARIOS MINIMOS POR LEY

ENERO A -----> DE 2 016  
(SALARIOS EN DÓLARES)

CATEGORIAS OCUPACIONALES	SUELDO UNIFICADO	DECIMO TERCERO	DECIMO CUARTO	TRANS- PORTE	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	JORNAL REAL	COSTO HORARIO
REMUNERACION BASICA UNIFICADA MINIMA	366,00								
<b>CONSTRUCCION Y SERVICIOS TECNICOS Y ARQUITECTONICOS</b>									
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2</b>									
Peon	376,07	376,07	366,00		548,31	376,07	6 179,29	26,07	3,26
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2</b>									
Albanil	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Operador de equipo liviano	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Pintor	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Pintor de exteriores	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Pintor empapelador	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Fierrero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Carpintero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Encofrador	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Carpintero de ribera	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Piomero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Electricista	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Instalador de revestimiento en general	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Ayudante de perforador	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Cadenero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Mampostero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Enlucidor	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Hojalatero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Tecnico limero electrico	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Tecnico en montaje de subestaciones	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Tecnico electromecanico de construccion	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Obrero especializado en la elaboracion de prefabricados de hormigon	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Parqueteros y colocadores de pisos	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1</b>									
Maestro electrico/limero/subestacion	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Maestro mayor en ejecucion de obras civiles	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2</b>									
Operador de planta de hormigon	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Perforador	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Perfilero	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Tecnico albañileria	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Tecnico obras civiles	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2</b>									
Piomero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL B3</b>									
Inspector de obra	425,48	425,48	366,00		620,35	425,48	6 943,07	29,30	3,66
Supervisor electrico / sanitario general	425,48	425,48	366,00		620,35	425,48	6 943,07	29,30	3,66
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL B1</b>									
Ingeniero Electrico / Sanitario	426,58	426,58	366,00		621,95	426,58	6 960,07	29,37	3,67
Residente de Obra	426,58	426,58	366,00		621,95	426,58	6 960,07	29,37	3,67
<b>LABORATORIO</b>									
Laboratorista 2 experiencia mayor de 7 años(Estr. Oc. C1)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
<b>TOPOGRAFIA</b>									
Topografo 2 titulo exper. mayor a 5 años(Estr. Oc. C1)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
<b>DIBUJANTES</b>									
Dibujante (Estr.Oc.C2)	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
<b>OPERADORES Y MECANICOS DE EQUIPO PESADO Y CAMINERO DE EXCAVACION, CONSTRUCCION, INDUSTRIA Y OTRAS SIMILARES</b>									
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 (GRUPO I)</b>									
Motoniveladora	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Excavadora	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Grúa puente de elevacion	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Pala de castillo	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Grúa estacionaria	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Draga/Dráguine	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Tractor carriles o ruedas (bulldozer, topador, roturador, malacate, trailta)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Tractor tiende tubos (side bone)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Mototrailta	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Cargadora frontal (Payloader sobre ruedas u orugas)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Retroexcavadora	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Auto-tren cama baja (trayler)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Fresadora de pavimento asfaltico / Rotomil	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Recicladora de pavimento asfaltico / Rotomil	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Planta de emulsion asfaltica	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Maquina para sellos asfalticos	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Squider	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de Camion articulado con volteo	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de Camion mezclador para micropavimentos	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de camion cisterna para cemento y asfalto	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de perforadora de brazos multiples (jumbo)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador maquina tuneladora (topo)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de concretora rodante	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de maquina extendedora de adoquin	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Operador de maquina zanjadora	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66

Nota: El listado corresponde exclusivamente a las estructuras ocupacionales que constan en la publicación de los salarios de las Comisiones Sectoriales del Ministerio del Trabajo, en los Acuerdos MDT-2015 - 0291 y 0292, de 21 y 23 de diciembre de 2015, respectivamente, que están en vigencia a partir del 1 de enero de 2016.

## Salarios Mínimos por Ley Año 2016

CONTRALORIA GENERAL DEL ESTADO  
DIRECCION DE AUDITORIA DE PROYECTOS Y AMBIENTAL  
REAJUSTE DE PRECIOS  
SALARIOS MINIMOS POR LEY

ENERO A -----> DE 2 016  
(SALARIOS EN DÓLARES)

CATEGORIAS OCUPACIONALES	SUELDO UNIFICADO	DÉCIMO TERCER	DÉCIMO CUARTO	TRANS- PORTE	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	JORNAL REAL	COSTO HORARIO
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2 (GRUPO II)</b>									
Operador responsable de la planta hormigonera	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador responsable de la planta trituradora	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador responsable de la planta asfáltica	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador de track drill	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Rodillo autopropulsado	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Distribuidor de asfalto	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Distribuidor de agregados	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Acabadora de pavimento de hormigon	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Acabadora de pavimento asfáltico	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Grada elevadora	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Canastilla elevadora	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Bomba lanzadora de concreto	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Tractor de ruedas (barridora, cegadora, rodillo remolcado, franjeadora)	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Caldero planta asfáltica	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Barridora autopropulsada	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Martillo punzon neumático	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Compresor	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Camion de carga frontal	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador canguro	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador de camion de volteo con o sin articulacion / Rotomul	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador minicavadora/minicargadora con sus aditamentos	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Operador termo formado	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Tecnico en carpinteria	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Tecnico en mantenimiento de viviendas y edificios	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C3</b>									
Operador maquina estacionaria clasificadora de material	386,97	386,97	366,00		564,20	386,97	6 347,78	26,78	3,35
<b>MECANICOS</b>									
Mecanico de equipo pesado cominero (Estr.0c.C1)	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Mecanico de equipo liviano (Estr.0c.C3)	386,97	386,97	366,00		564,20	386,97	6 347,78	26,78	3,35
<b>SIN TITULO</b>									
Engrasador o abastecedor responsable (Estr.0c.D2)	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
<b>CHOFERES PROFESIONALES</b>									
CHOFER: De vehiculos de emergencia (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Para camiones pesados y extra pesados con o sin remolque de mas de 4 toneladas (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Trailer (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Volquetas (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Tanqueros (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Plataformas (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Otros camiones (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Para ferrocarriles (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Para auto ferros (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Camiones para transportar mercancías o sustancias peligrosas y otros vehiculos especiales (Estr.0c.C1)	563,41	563,41	366,00		821,45	563,41	9 075,19	38,29	4,79
CHOFER: Para transporte Escolares-Personal y turismo, hasta 45 pasajeros (Estr.0c.C2)	557,50	557,50	366,00		812,84	557,50	8 983,84	37,91	4,74
CHOFER: Para camiones sin acoplados (Estr.0c.C3)	544,37	544,37	366,00		793,69	544,37	8 780,87	37,05	4,63
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 OPERADORES</b>									
Operador de bomba	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Equipo en general	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Equipos móviles	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Maquinaria	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Molino de amianto	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
Planta dosificadora	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
De productos terminados	424,75	424,75	366,00		619,29	424,75	6 931,79	29,25	3,66
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2</b>									
Operador de bomba impulsadora de hormigon	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Equipos móviles de planta	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Molino de amianto	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Planta dosificadora de hormigon	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
Productos terminados	403,15	403,15	366,00		587,79	403,15	6 597,89	27,84	3,48
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL D2</b>									
Preparador de mezcla de materias primas	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
Tubero	380,97	380,97	366,00		555,45	380,97	6 255,03	26,39	3,30
<b>ESTRUCTURA OCUPACIONAL E2</b>									
Resanador en general	376,07	376,07	366,00		548,31	376,07	6 179,29	26,07	3,26
Tinero de pasta de amianto	376,07	376,07	366,00		548,31	376,07	6 179,29	26,07	3,26

Nota: El listado corresponde exclusivamente a las estructuras ocupacionales que constan en la publicación de los salarios de las Comisiones Sectoriales del Ministerio del Trabajo, en los Acuerdos MDT-2015 - 0291 y 0292, de 21 y 23 de diciembre de 2015, respectivamente, que están en vigencia a partir del 1 de enero de 2016.

**Tablas: Factor de corrección para la estabilidad, por altura de briqueta.**

<b>Factor de Corrección para la Estabilidad</b>							
<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>
31,5	3,902	36,0	3,124	40,5	2,385	45,0	1,879
31,6	3,884	36,1	3,105	40,6	2,371	45,1	1,871
31,7	3,867	36,2	3,086	40,7	2,356	45,2	1,863
31,8	3,850	36,3	3,068	40,8	2,342	45,3	1,855
31,9	3,833	36,4	3,049	40,9	2,328	45,4	1,847
32,0	3,815	36,5	3,030	41,0	2,313	45,5	1,839
32,1	3,798	36,6	3,014	41,1	2,299	45,6	1,831
32,2	3,780	36,7	2,999	41,2	2,284	45,7	1,823
32,3	3,763	36,8	2,983	41,3	2,270	45,8	1,814
32,4	3,745	36,9	2,968	41,4	2,258	45,9	1,806
32,5	3,728	37,0	2,952	41,5	2,246	46,0	1,798
32,6	3,710	37,1	2,936	41,6	2,234	46,1	1,790
32,7	3,693	37,2	2,921	41,7	2,223	46,2	1,782
32,8	3,675	37,3	2,905	41,8	2,211	46,3	1,774
32,9	3,658	37,4	2,889	41,9	2,199	46,4	1,766
33,0	3,640	37,5	2,874	42,0	2,187	46,5	1,758
33,1	3,623	37,6	2,858	42,1	2,175	46,6	1,750
33,2	3,605	37,7	2,843	42,2	2,163	46,7	1,742
33,3	3,588	37,8	2,827	42,3	2,151	46,8	1,734
33,4	3,570	37,9	2,811	42,4	2,139	46,9	1,726
33,5	3,554	38,0	2,796	42,5	2,128	47,0	1,718
33,6	3,538	38,1	2,780	42,6	2,116	47,1	1,710
33,7	3,522	38,2	2,763	42,7	2,104	47,2	1,702
33,8	3,506	38,3	2,745	42,8	2,092	47,3	1,694
33,9	3,490	38,4	2,728	42,9	2,080	47,4	1,686
34,0	3,474	38,5	2,710	43,0	2,070	47,5	1,678
34,1	3,458	38,6	2,693	43,1	2,060	47,6	1,670
34,2	3,442	38,7	2,675	43,2	2,050	47,7	1,663
34,3	3,426	38,8	2,658	43,3	2,040	47,8	1,656
34,4	3,410	38,9	2,640	43,4	2,030	47,9	1,649
34,5	3,394	39,0	2,623	43,5	2,020	48,0	1,643
34,6	3,378	39,1	2,605	43,6	2,010	48,1	1,636
34,7	3,362	39,2	2,588	43,7	2,000	48,2	1,629
34,8	3,346	39,3	2,570	43,8	1,990	48,3	1,622
34,9	3,330	39,4	2,553	43,9	1,980	48,4	1,615
35,0	3,311	39,5	2,535	44,0	1,970	48,5	1,608
35,1	3,293	39,6	2,517	44,1	1,960	48,6	1,601
35,2	3,274	39,7	2,500	44,2	1,950	48,7	1,594
35,3	3,255	39,8	2,486	44,3	1,940	48,8	1,588
35,4	3,236	39,9	2,471	44,4	1,930	48,9	1,581
35,5	3,218	40,0	2,457	44,5	1,920	49,0	1,574
35,6	3,199	40,1	2,443	44,6	1,912	49,1	1,567
35,7	3,180	40,2	2,428	44,7	1,904	49,2	1,560
35,8	3,161	40,3	2,414	44,8	1,896	49,3	1,554
35,9	3,143	40,4	2,399	44,9	1,888	49,4	1,549

Factor de Corrección para la Estabilidad							
Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.
49,5	1,543	54,0	1,320	58,5	1,149	63,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	58,6	1,146	63,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	58,7	1,143	63,2	1,008
49,8	1,526	54,3	1,307	58,8	1,140	63,3	1,005
49,9	1,521	54,4	1,303	58,9	1,137	63,4	1,003
50,0	1,515	54,5	1,298	59,0	1,134	63,5	1,000
50,1	1,509	54,6	1,294	59,1	1,131	63,6	0,998
50,2	1,504	54,7	1,289	59,2	1,128	63,7	0,995
50,3	1,498	54,8	1,285	59,3	1,124	63,8	0,993
50,4	1,493	54,9	1,281	59,4	1,121	63,9	0,990
50,5	1,487	55,0	1,276	59,5	1,118	64,0	0,988
50,6	1,481	55,1	1,272	59,6	1,115	64,1	0,985
50,7	1,476	55,2	1,268	59,7	1,112	64,2	0,983
50,8	1,470	55,3	1,263	59,8	1,109	64,3	0,980
50,9	1,465	55,4	1,259	59,9	1,106	64,4	0,978
51,0	1,460	55,5	1,254	60,0	1,103	64,5	0,975
51,1	1,455	55,6	1,250	60,1	1,099	64,6	0,973
51,2	1,450	55,7	1,246	60,2	1,096	64,7	0,970
51,3	1,445	55,8	1,243	60,3	1,093	64,8	0,968
51,4	1,440	55,9	1,249	60,4	1,090	64,9	0,965
51,5	1,435	56,0	1,235	60,5	1,087	65,0	0,963
51,6	1,430	56,1	1,231	60,6	1,084	65,1	0,960
51,7	1,425	56,2	1,228	60,7	1,081	65,2	0,958
51,8	1,420	56,3	1,224	60,8	1,078	65,3	0,956
51,9	1,415	56,4	1,220	60,9	1,074	65,4	0,954
52,0	1,410	56,5	1,218	61,0	1,071	65,5	0,953
52,1	1,405	56,6	1,213	61,1	1,068	65,6	0,951
52,2	1,400	56,7	1,209	61,2	1,065	65,7	0,949
52,3	1,395	56,8	1,205	61,3	1,062	65,8	0,947
52,4	1,390	56,9	1,201	61,4	1,059	65,9	0,945
52,5	1,386	57,0	1,198	61,5	1,056	66,0	0,943
52,6	1,381	57,1	1,194	61,6	1,053	66,1	0,941
52,7	1,377	57,2	1,190	61,7	1,049	66,2	0,939
52,8	1,373	57,3	1,187	61,8	1,046	66,3	0,938
52,9	1,368	57,4	2,184	61,9	1,043	66,4	0,936
53,0	1,364	57,5	2,181	62,0	1,040	66,5	0,934
53,1	1,359	57,6	2,178	62,1	1,037	66,6	0,932
53,2	1,355	57,7	2,174	62,2	1,035	66,7	0,930
53,3	1,351	57,8	2,171	62,3	1,032	66,8	0,928
53,4	1,346	57,9	2,168	62,4	1,029	66,9	0,925
53,5	1,342	58,0	2,165	62,5	1,027	67,0	0,923
53,6	1,338	58,1	1,162	62,6	1,024	67,1	0,920
53,7	1,333	58,2	1,159	62,7	1,021	67,2	0,918
53,8	1,329	58,3	1,156	62,8	1,019	67,3	0,915
53,9	1,324	58,4	1,153	62,9	1,016	67,4	0,913



<b>Factor de Corrección para la Estabilidad</b>							
<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>	<b>Espesor (mm)</b>	<b>Factor Correcc.</b>
67,5	0,910	69,7	0,864	71,9	0,825	74,1	0,790
67,6	0,908	69,8	0,862	72,0	0,824	74,2	0,788
67,7	0,905	69,9	0,860	72,1	0,823	74,3	0,786
67,8	0,903	70,0	0,858	72,2	0,821	74,4	0,784
67,9	0,900	70,1	0,856	72,3	0,820	74,5	0,782
68,0	0,898	70,2	0,854	72,4	0,819	74,6	0,780
68,1	0,895	70,3	0,853	72,5	0,818	74,7	0,779
68,2	0,893	70,4	0,851	72,6	0,816	74,8	0,778
68,3	0,890	70,5	0,849	72,7	0,815	74,9	0,776
68,4	0,888	70,6	0,847	72,8	0,814	75,0	0,775
68,5	0,886	70,7	0,845	72,9	0,813	75,1	0,774
68,6	0,884	70,8	0,843	73,0	0,811	75,2	0,773
68,7	0,883	70,9	0,841	73,1	0,810	75,3	0,771
68,8	0,881	71,0	0,839	73,2	0,808	75,4	0,770
68,9	0,879	71,1	0,838	73,3	0,806	75,5	0,769
69,0	0,877	71,2	0,836	73,4	0,804	75,6	0,768
69,1	0,875	71,3	0,834	73,5	0,802	75,7	0,766
69,2	0,873	71,4	0,832	73,6	0,800	75,8	0,765
69,3	0,871	71,5	0,830	73,7	0,798	75,9	0,764
69,4	0,869	71,6	0,829	73,8	0,796	76,0	0,763
69,5	0,868	71,7	0,828	73,9	0,794	76,1	0,761
69,6	0,866	71,8	0,826	74,0	0,792		