



**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:**

---

**“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA,  
MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO  
(LÁTEX)”**

---

**AUTOR:**

SANTIAGO ANDRÉS ORTIZ MONTERO

**TUTOR:**

Ing. Mg. FRICSON MOREIRA

**AMBATO – ECUADOR**

**2016**

## CERTIFICACIÓN

Yo, Ing. Mg. Fricson Moreira certifico que el presente Informe Final del Trabajo Experimental **“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX)”** realizado por el señor Santiago Andrés Ortiz Montero Egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédito.

---

Ing. Mg. Fricson Moreira

TUTOR

## **AUTORÍA**

Yo, Santiago Andrés Ortiz Montero, con CI. 180466207-8 egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, certifico por medio de la presente que el Trabajo Experimental con el tema: **“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX)”** es de mi completa autoría.

---

Santiago Andrés Ortiz Montero

AUTOR

## **APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES**

Los suscritos profesores calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de investigación, sobre el tema: **“ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX)”** del Egresado Santiago Andrés Ortiz Montero, 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. Vinicio Almeida

---

Ing. M.Sc. Lorena Pérez

## **DERECHO DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación bajo la modalidad 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 de Titulación bajo la modalidad Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo de Titulación dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Autor

Santiago Andrés Ortiz Montero

## **DEDICATORIA**

A DIOS, por ser el pilar fundamental en mi vida, por darme las fuerzas para seguir adelante, por iluminar mis acciones, guiar mi camino y darme la sabiduría para cumplir con mis metas planteadas.

A mis padres, por estar siempre apoyándome incondicionalmente, que con su sacrificio y amor han sabido encaminarme por los valores de la perseverancia y esfuerzo e inculcarme el deseo de superación.

A mi hermana, por darme su cariño y por aquellos días que juntos superamos momentos difíciles y a la vez compartimos días de alegrías.

A toda mi familia, por la unidad, por el más sincero cariño y por los consejos que me han brindado para no darme por vencido fácilmente.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por mi familia la cual siempre ha estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional y por permitirme culminar la carrera.

A mis padres gracias, debido a que sin ustedes no sería la persona que cada día va sobresaliendo en su vida profesional.

A mis amigos, por estarnos ayudándonos y apoyándonos siempre y por ser parte de esta etapa de mi vida.

A mis docentes, por transmitirme sus conocimientos para ser de mi un profesional de excelencia.

A mi tutor, Ing. Fricson Moreira por su apoyo en el desarrollo de esta investigación, por su amabilidad y tiempo brindado.

# ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

## A. PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA .....	III
APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES.....	IV
DERECHO DE AUTOR .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIII
RESUMEN EJECUTIVO .....	XV

## B. TEXTO

### CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

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. FUNDAMENTACIÓN

2.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	4
2.1.1	Asfalto.....	4
2.1.1.1	Composición Química del Asfalto.....	4
2.1.1.2	Propiedades Físicas del Asfalto .....	6
2.1.1.3	Funciones del Asfalto. ....	7
2.1.1.4	Fallas en la mezcla asfáltica. ....	7
2.1.1.5	Producción del Asfalto AC-20 .....	9

2.1.2	Los Agregados.....	11
2.1.2.1	Propiedades Físicas de los agregados .....	12
2.1.2.2	Ensayos Realizados a los Agregados .....	12
2.1.2.2.1	Ensayo N° 1.- Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Fino. (INEN 696) .....	12
2.1.2.2.2	Ensayo N°2.- Resistencia al desgaste por abrasión (INEN 860) .....	13
2.1.2.2.3	Ensayo N°3.- Densidad Real del Agregado Fino. ....	15
2.1.2.2.4	Ensayo N°4.- Capacidad de Absorción del Agregado Fino. ....	16
2.1.2.2.5	Ensayo N°5.- Densidad Real del Agregado Grueso. ....	16
2.1.2.2.6	Ensayo N°6.- Capacidad de Absorción del Agregado Fino. ....	17
2.1.2.3	Ensayos Realizados a la Mezcla Asfáltica .....	17
2.1.2.3.1	Recubrimiento y peladura (ASTM D-3625).....	17
2.1.2.3.2	Ensayo N° 2.- Peso Específico del Asfalto .....	18
2.1.2.3.3	Ensayo N° 3.- Densidad Máxima Teórica del Asfalto y Asfalto + Látex .....	19
2.1.2.3.4	Ensayo N°4.- Mezcla de los agregados por la granulometría establecida según el porcentaje de asfalto y según el porcentaje de asfalto + látex. ....	20
2.1.2.3.5	Ensayo N°5.- Método Marshall. (Estabilidad y Flujo) con Asfalto.....	20
2.1.2.3.6	Ensayo N°6.- Método Marshall. (Estabilidad y Flujo) con Asfalto + Látex .....	23
2.1.2.3.7	Ensayo N° 7.- Ensayos a la probetas compactadas. Con asfalto y asfalto + látex ...	24
2.1.3	Asfaltos Modificados .....	26
2.1.3.1	Objetivo de la Modificación.....	26
2.1.3.2	Modificadores del Asfalto.....	27
2.1.4	Polímeros Elastoméricos de Butadieno (látex).....	28
2.1.4.1	Látex .....	28
2.1.5	Diseño de Mezclas Asfálticas.....	29
2.1.6	Método de Diseño Marshall .....	30
2.1.6.1	Ensayos de probetas compactadas .....	32
2.1.6.1.1	Determinación del Peso Específico “Bulk” .....	32
2.1.6.1.2	Ensayo de estabilidad de flujo .....	33
2.1.6.1.3	Análisis de densidad y vacíos.....	33
2.2	HIPÓTESIS .....	34
2.3	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	34
2.3.1	Variable Independiente .....	34
2.3.2	Variable Dependiente.....	34

### **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

3.1	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	35
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	35
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	36
3.3.1	Variable Independiente .....	36
3.3.2	Variable Dependiente .....	36
3.4	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	37
3.5	PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	38
3.5.1	Plan de Procesamientos de la Información .....	38
3.5.2	Plan de Análisis .....	38

### **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	RECOLECCIÓN DE DATOS .....	39
4.1.1	Ensayos Realizados a los Agregados .....	39
4.1.1.1.	Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Fino. (INEN 696) .....	39
4.1.1.2.	Resistencia al desgaste por abrasión (INEN 860).....	40
4.1.1.3.	Recubrimiento y Peladura .....	40
4.1.1.4.	Peso Específico del Asfalto.....	40
4.1.1.5.	Ensayo rice .....	40
4.1.1.6.	Ensayos a las probetas compactadas. Con asfalto y asfalto + látex .....	40
4.1.1.7.	Contenido Óptimo del Cemento Asfáltico.- .....	43
4.1.1.8.	Contenido Óptimo del Cemento Asfáltico + Látex.- .....	46
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
4.2.1	Análisis de la correlación.....	50
4.2.2	Interpretación de Resultados .....	52
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	53

### **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	CONCLUSIONES.....	55
5.2	RECOMENDACIONES.....	57
1.	BIBLIOGRAFÍA .....	58
2.	ANEXOS TABLAS .....	75
2.1.	ANEXOS FOTOGRÁFICOS.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Ficha técnica del Asfalto AC-20 .....	11
Tabla N° 2. Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada .....	13
Tabla N° 3. Especificaciones de la Carga .....	14
Tabla N° 4. Gradación de las muestras de ensayo .....	14
Tabla N° 5. Ficha técnica del Látex .....	29
Tabla N° 6. Porcentajes de Asfaltos .....	30
Tabla N° 7. Dosificación para briquetas .....	31
Tabla N° 8. Resultados Rice solo Asfalto .....	40
Tabla N° 9. Resultados Rice Asfalto + Látex .....	40
Tabla N° 10. Resultados del Ensayo Marshall (Asfalto).....	41
Tabla N° 11 Promedio del contenido óptimo de Asfalto .....	43
Tabla N° 12. Resultados del Ensayo Marshall (Asfalto + Látex) .....	44
Tabla N° 13. Promedio del contenido óptimo de Asfalto + Látex .....	46
Tabla N° 14. Identificación de la primera variable para la correlación .....	50
Tabla N° 15. Identificación de la segunda variable para la correlación .....	51
Tabla N° 16. Coeficiente de correlación de las variables del asfalto y asfalto + látex utilizando el método de Karl Pearson. ....	51
Tabla N° 17. Interpretación del Coeficiente de Correlación .....	52
Tabla N° 18. Granulometría del Agregado Fino .....	60
Tabla N° 19. Granulometría del Agregado Grueso .....	61
Tabla N° 20. Resistencia al Desgaste por Abrasión .....	62
Tabla N° 21. Densidad Real del Agregado Fino .....	62
Tabla N° 22. Capacidad de Absorción del Agregado Fino .....	63
Tabla N° 23. Densidad Real del Agregado Grueso .....	63
Tabla N° 24. Capacidad de Absorción del Agregado Grueso .....	64
Tabla N° 25. Recubrimiento y Peladura .....	64
Tabla N° 26. Peso Específico del Asfalto .....	65
Tabla N° 27. Ensayo Rice Asfalto 5% .....	65
Tabla N° 28. Ensayo Rice Asfalto 5,5% .....	66
Tabla N° 29. Ensayo Rice Asfalto 6% .....	66
Tabla N° 30. Ensayo Rice Asfalto 6,5% .....	67
Tabla N° 31. Ensayo Rice Asfalto 7% .....	67
Tabla N° 32. Ensayo Rice Asfalto 5% + 1% de látex .....	68
Tabla N° 33. Ensayo Rice Asfalto 5,5% + 1,5% de látex .....	68
Tabla N° 34. Ensayo Rice Asfalto 6% + 2% .....	69
Tabla N° 35. Ensayo Rice Asfalto 6,5% + 2,5% .....	69

Tabla N° 36. Ensayo Rice Asfalto 7% + 3% de látex .....	70
Tabla N° 37. Granulometría para la mezcla asfáltica (5% de Asfalto).....	70
Tabla N° 38. Granulometría para la mezcla asfáltica (5,5% de Asfalto).....	71
Tabla N° 39. Granulometría para la mezcla asfáltica (6% de Asfalto).....	71
Tabla N° 40. Granulometría para la mezcla asfáltica (6,5% de Asfalto).....	72
Tabla N° 41. Granulometría para la mezcla asfáltica (7% de Asfalto).....	72
Tabla N° 42. Granulometría para la mezcla asfáltica (5% Asfalto + 1% látex).....	73
Tabla N° 43. Granulometría para la mezcla asfáltica (5,5% Asfalto + 1,5% látex) .....	73
Tabla N° 44. Granulometría para la mezcla asfáltica (6% Asfalto + 2% látex).....	74
Tabla N° 45. Granulometría para la mezcla asfáltica (6,5% Asfalto + 2,5% látex) .....	74
Tabla N° 46. Granulometría para la mezcla asfáltica (7 % Asfalto + 3% látex).....	75
Tabla N°47. Factor de corrección para la estabilidad .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1. Estructura Química de los Asfaltenos .....	5
Figura N°2. Estructura Química de las Resinas .....	5
Figura N°3 Ahuellamiento .....	7
Figura N° 4. Desprendimiento de Partículas .....	8
Figura N° 5. Fisuras y Grietas Longitudinales .....	8
Figura N° 6. Falta de Adherencia .....	9
Figura N° 7. Proceso de refinación del petróleo para obtención de petróleo .....	10
Figura N° 8. Máquina de los Ángeles + muestra + 11 esferas .....	15
Figura N° 9. Masa del picnómetro + muestra + agua .....	15
Figura N° 10. Masa del picnómetro + muestra .....	15
Figura N° 11. Muestra para obtener el contenido de Absorción .....	16
Figura N° 12. Masa de la canastilla + muestra SSS .....	16
Figura N° 13. Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua .....	16
Figura N° 14. Muestra de agregado grueso seco .....	17
Figura N° 15. Mezcla Asfáltica fría .....	18
Figura N° 16. Estimación del porcentaje de asfalto que cubre al agregado.....	18
Figura N° 17. Máquina de Vacíos .....	19
Figura N° 18. Recipiente + Agregado + Agua .....	19
Figura N° 19. Proporciones de agregados para la elaboración de la mezcla asfáltica.....	20
Figura N° 20. Calentamiento de los agregados a 140 °C .....	21
Figura N° 21. Muestra preparada para la compactación .....	21
Figura N° 22. Colocación de la mezcla asfáltica en la máquina compactadora .....	22
Figura N° 23. Peso seco en aire .....	22
Figura N° 24. Peso sumergido en agua .....	22
Figura N° 25. Peso SSS .....	22
Figura N° 26. Baño María a 60 °C .....	23
Figura N° 27. Compactadora Marshall .....	23
Figura N° 28. Mezcla Asfáltica + Látex.....	23
Figura N° 29. Efecto de la incorporación de un polímero sobre susceptibilidad térmica del asfalto ..	27
Figura N° 30. Látex Líquido .....	27
Figura N° 31. Briquetas de Asfalto.....	32
Figura N° 32. Peso Específico “Bulk” VS. CA .....	42
Figura N° 33. Índice de Vacíos VS. CA.....	42
Figura N° 34. Estabilidad VS. CA .....	43
Figura N° 35. Peso Específico “Bulk” VS. CA .....	45

Figura N° 36. Vacíos con Aire VS. CA .....	45
Figura N° 37. Estabilidad VS. CA .....	46
Figura N° 38. Comparación de las curvas de Estabilidad del Asfalto y Asfalto + Látex .....	47
Figura N° 39. Comparación de las curvas de Flujo del Asfalto y Asfalto + Látex .....	48

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** “ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX)”.

**AUTOR:** Santiago Andrés Ortiz Montero

**TUTOR:** Ing. Mg. Fricson Moreira

**FECHA:** Octubre 2016

El informe elaborado como un trabajo experimental tiene como objetivo brindar los resultados de un estudio sobre el mejoramiento de la mezcla asfáltica con látex. Reduciendo así el porcentaje de asfalto y mejorando la resistencia de la misma.

En primera instancia se determinaron las propiedades de los áridos a emplear, provenientes de minas ubicadas en Ambato, provincia de Tungurahua, verificando de esta manera tanto el ripio como la arena cumplan con las normas respectivas a cada ensayo, una vez conseguido estos datos se procedió a la obtención del látex cuya características se especifica en la ficha técnica, se elaboró las briquetas cumpliendo con las normas AASHTO T 245, ASTM D 1559 y AASHTO T 225, consecutivamente se elaboraron 15 briquetas con solo asfalto y 15 briquetas con asfalto más látex, se realizó 3 briquetas con cada porcentaje de asfalto, los porcentajes usados de asfalto fueron 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7%, los porcentajes de látex fueron 1%, 1,5%, 2%, 2,5% y 3%, en reemplazo del asfalto.

Las briquetas fueron pesadas en seco, sumergidas y saturadas, antes de ser ensayadas fueron colocadas en baño de agua a una temperatura de 60 °C durante 35 min. Se procedió a ensayarlas permitiendo conseguir resultados de estabilidades altas al igual que el flujo, que al compararlas se deduce que al incrementar más asfalto y más látex la estabilidad se disminuye aumentando así el flujo.

El contenido óptimo de asfalto más látex resultó el 5,5 de asfalto y el 1,5% de látex reduciendo así al asfalto e incrementando su resistencia.

De esta manera se da veracidad y factibilidad al uso de látex en las mezclas asfálticas ofreciéndonos mayor capacidad de soporte y obteniendo menores posibilidades de fisuramiento por tener alta deformación gracias al flujo.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

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

ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).

### **1.2 ANTECEDENTES**

En nuestro país existe un gran deterioro de las principales vías de acceso y avenidas, debido a que en la construcción de las mismas se utiliza mezclas asfálticas convencionales, a falta de investigación para encontrar técnicas adecuadas que mejoren las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas.

Otro problema es que con el aumento poblacional se ha ido aumentando también el tipo de tráfico, la cantidad de tráfico así como también la carga del vehículo, es decir mayor exigencia al pavimento asfáltico por lo tanto los insumos que se tienen que utilizar en la construcción de estos pavimentos son también de mayor exigencia.

Si bien es cierto el cemento asfáltico ha sido el insumo principal en todas las tecnologías tales como son en caliente, en frío, en asfaltos emulsionados, es el elemento principal ante este panorama una de las técnicas actuales que se está utilizando en países como Chile, Argentina, Brasil, consiste en perfeccionar el cemento asfáltico con polímeros con la finalidad de mejorar ciertos aspectos tales como susceptibilidad térmica, comportamiento elástico resistencia a la fisuración por fatiga y resistencia al envejecimiento.

Actualmente en la localidad se están realizando investigaciones para el mejoramiento del asfalto y así conseguir aplicar este tipo de técnicas ya que se dispone de todos los recursos necesarios para su obtención e implementación en los proyectos viales de nuestro país.

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

El propósito de esta investigación es contribuir al mejoramiento de las mezclas asfálticas con la adición del polímero látex, que ayude a optimizar la calidad de la capa de rodadura. El principal resultado a obtenerse es un diseño óptimo de una mezcla asfáltica con adición del polímero látex con la utilización de agregados y asfaltos de buena calidad y una dosificación adecuada en el laboratorio.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

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

En la actualidad, el incremento de las cargas, el volumen de tráfico, la presión de inflado de las llantas y las condiciones climáticas, hacen que se reduzca la vida útil de los pavimentos, reflejándose en deformaciones y fisuras dentro de la carpeta asfáltica. En otros países como en Colombia los polímeros son los principales materiales empleados para modificar el asfalto a meso escala. Su origen puede ser por producto del reciclaje, del desecho industrial o por fabricación de materiales naturales como la asfaltita (mezcla natural de betún y materias orgánicas) y el látex (emulsión de micropartículas poliméricas en un medio acuoso) [1].

En la ciudad de Ambato existe un gran deterioro de las principales vías de acceso y avenidas, debido a que en la construcción de las mismas se utilizan mezclas asfálticas convencionales

A nivel nacional las lluvias permanentes han generado inundaciones y deslaves, provocando además un pésimo estado de las vías, esto se debe a que no existe un plan de mantenimiento vial o no se lo aplica, impidiendo resolver el problema mediante la recuperación de la red vial. [2].

En el presente trabajo se busca reutilizar polímeros de desechos generados por empresas y mejorar las condiciones del asfalto, incorporando polímero elastomérico de butadieno látex ya que en investigaciones se observa una mejoría en sus propiedades mecánicas. [4]

Esta investigación es importante, en razón de que es necesario estudiar y mejorar la preparación, cuanto también el uso y la durabilidad de los pavimentos, obteniendo mezclas resistentes a las deformaciones permanentes y fisuramientos, para lo cual se requiere la modificación de éstas con la adición de elementos, como el polímero látex que mediante una correcta dosificación podrá o no presentar mayores ventajas que los asfaltos convencionales de uso común en nuestro medio y en las carreteras y caminos a nivel nacional.

#### **1.4 OBJETIVOS:**

##### **1.4.1 Objetivo General:**

- Analizar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con polímero elastomérico de butadieno látex.

##### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Elaborar mezclas de asfalto con la adición de residuos de polímero elastomérico de butadieno látex.
- Comparar el desempeño de las mezclas con el aditivo de látex con el asfalto tradicional
- Identificar las propiedades mecánicas de la mezcla mediante los ensayos de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

##### 2.1.1 Asfalto

El asfalto es un material cementante de color negro que se lo puede encontrar en yacimientos naturales o a través de subproductos de la destilación del petróleo, posee una consistencia sólida pero al calentarlo se ablanda volviéndose líquido para que de esta manera recubra las partículas de agregado durante la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente que será utilizada en esta investigación.

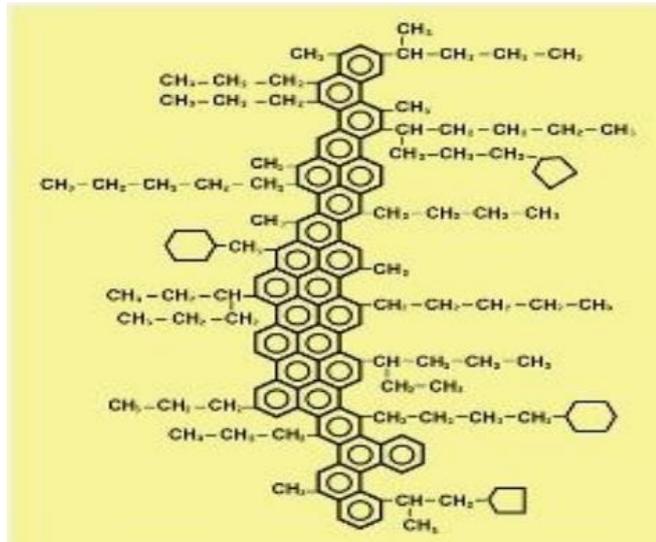
Si una mezcla asfáltica es elaborada adecuadamente es capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, el concreto asfáltico es impermeable, adherente y cohesivo. [6]

##### 2.1.1.1 Composición Química del Asfalto

Su composición química al asfalto lo hace muy versátil como material de construcción de carreteras, básicamente está compuesta mayoritariamente de carbono (80-88%) e hidrógeno (8-12%) en representación de hidrocarburos junto a sulfuros, oxígeno (0-2%), azufre (0-9%) nitrógeno (0-2%) y metales como níquel, vanadio, calcio y magnesio. Estructuralmente el cemento asfáltico está constituido por asfaltenos y maltenos. [7]

**Asfaltenos.-** Es un compuesto insoluble, sólido parecido al polvo de granito de color negro o pardo oscuro de alto peso molecular, está conformado por un sistema de anillos polinucleares, lo cual le da la dureza y color al cemento asfáltico, el contenido de asfaltenos en el asfalto varía entre un 15% y 20%. Al aumentar la proporción de asfaltenos se obtiene una mezcla más dura, de menor penetración y mayor punto de ablandamiento. [7]

Figura 1. Estructura Química de los Asfaltenos

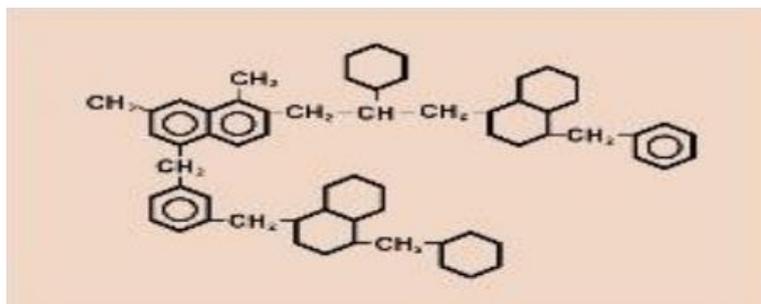


Fuente: Repsol Perú. Físicoquímica del Asfalto.

**Maltenos.-** Es una fracción de hidrocarburos saturados, existe una mayor proporción de maltenos que constituye entre el 40% y 65% de la composición total del asfalto lo cual le da la calidad al asfalto.

Esta sustancia soluble está constituida por resinas, saturados y aromáticos. Las resinas son de color ámbar o pardo compuestos de carbón, hidrógeno y cantidades menores de nitrógeno, oxígeno y azufre. Poseen propiedades cementantes o aglutinantes. Los aceites son de color claro, pocos viscosos, no adherentes y muy estables; específicamente actúa como un medio de transporte de los asfaltenos y resinas. [7]

Figura 2. Estructura Química de las Resinas



Fuente: Repsol Perú. Físicoquímica del Asfalto.

### 2.1.1.2 Propiedades Físicas del Asfalto

Entre las propiedades físicas más importantes para su construcción, mantenimiento y diseño de vías son:

- Cohesión
- Adhesión
- Endurecimiento
- Durabilidad
- Susceptibilidad a la temperatura

**Cohesión.-** Esta propiedad mantiene firmemente en su puesto las partículas de agregado en el pavimento terminado.

**Adhesión.-** Adhiere el asfalto al agregado en la mezcla de pavimentación.

**Endurecimiento.-** Durante la construcción el asfalto tiende a endurecerse en el pavimento terminado. Este endurecimiento se debe por la combinación del asfalto con el oxígeno (oxidación). El endurecimiento más severo y la oxidación ocurren a altas temperaturas y en películas delgadas mientras se está revistiendo las partículas de agregado con el asfalto durante el proceso de mezclado.

**Durabilidad.-** Esta propiedad ayuda a ver que tanto puede soportar un asfalto a sus características originales una vez expuesto a procesos de degradación y envejecimiento.

**Susceptibilidad a la temperatura.-** Esta propiedad es una de las más importantes debido a que todos los asfaltos son termoplásticos esto quiere decir se vuelven más viscosos o más duros a medida que su temperatura disminuye, y más viscosos o blandos cuando la temperatura aumenta. El asfalto debe poseer la fluidez necesaria a altas temperaturas para recubrir las partículas de agregado durante la mezcla. Luego a temperatura ambiente debe estar lo suficiente viscoso para mantener las partículas unidas. [8]

### 2.1.1.3 Funciones del Asfalto.

Por las propiedades físicas, el asfalto es un material impermeable, adherente y cohesivo que es capaz de soportar altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo acción de cargas permanentes. Gracias a la cohesión entre los agregados tiene la capacidad de resistir la acción mecánica de disgregación producida por los vehículos. Es impermeable haciéndolo poco sensible a la humedad. [8]

### 2.1.1.4 Fallas en la mezcla asfáltica.

Algunos tipos de fallas en la mezcla asfáltica están ligadas con las características reológicas utilizado como ligante, entre las fallas se tiene:

**Ahuellamiento.-** Esto se debe por un movimiento progresivo de los materiales de las capas asfálticas bajo cargas repetidas. Esto produce una depresión longitudinal de la superficie por las ruedas. Debido a la mala compactación, los vehículos inducen a las partículas a desplazarse entre sí bajo las llantas originando ahuellamientos por haber cumplido con el porcentaje de vacíos diseñado. Por el uso de alto porcentaje de asfalto puede provocar una deformación permanente por flujo lateral plástico de la mezcla asfáltica ocasionando la pérdida de fricción interna entre las partículas de agregado. Los ahuellamientos no tan severos se observan durante una lluvia donde las hendiduras son remplazadas por el agua. Si es significativo el ahuellamiento puede provocar mayores fallas estructurales hasta hidropneumático de los autos. [6]

Figura 3. Ahuellamiento



Fuente: MIRANDA Javier, Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos

**2.1.1.4.2 Desprendimiento de Partículas.-** Esta falla se encuentra relacionada a un deficiente contenido de ligante o muy poco contenido de agregado fino esto se produce por una compactación deficiente o por el envejecimiento del asfalto. [6]

Figura 4. Desprendimiento de partículas



Fuente: MIRANDA Javier, Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos

**2.1.1.4.3 Fisuras y grietas longitudinales.-** Esto se presenta por las cargas del tráfico, en este caso el fisuramiento se produce por fatiga conocido también como piel de cocodrilo, las fisuras se conectan formando polígonos, producidos únicamente por cargas repetidas de tránsito tales como las que están bajo las huellas de los neumáticos. El fisuramiento también es producido por altas temperaturas o sino por la capa de rodadura muy rígida que son las más propensas a presentar fisuras transversales. [8]

Figura 5. Fisuras y grietas longitudinales



Fuente: MIRANDA Javier, Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos

**2.1.1.4.4 Falta de adherencia.-** Se presenta cuando la cantidad ligante es pobre entre el asfalto y el agregado en presencia de humedad, lo cual presenta una falla prematura en la mezcla. Las mezclas elaboradas con asfaltos de alta viscosidad poseen mejor estabilidad que las elaboradas con ligante de baja viscosidad. La pérdida de adherencia se produce debido a: las características del ligante, las características del agregado, el clima, el tránsito y la presencia de agua. [8]

Figura 6. Falta de adherencia



Fuente: MIRANDA Javier, Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos

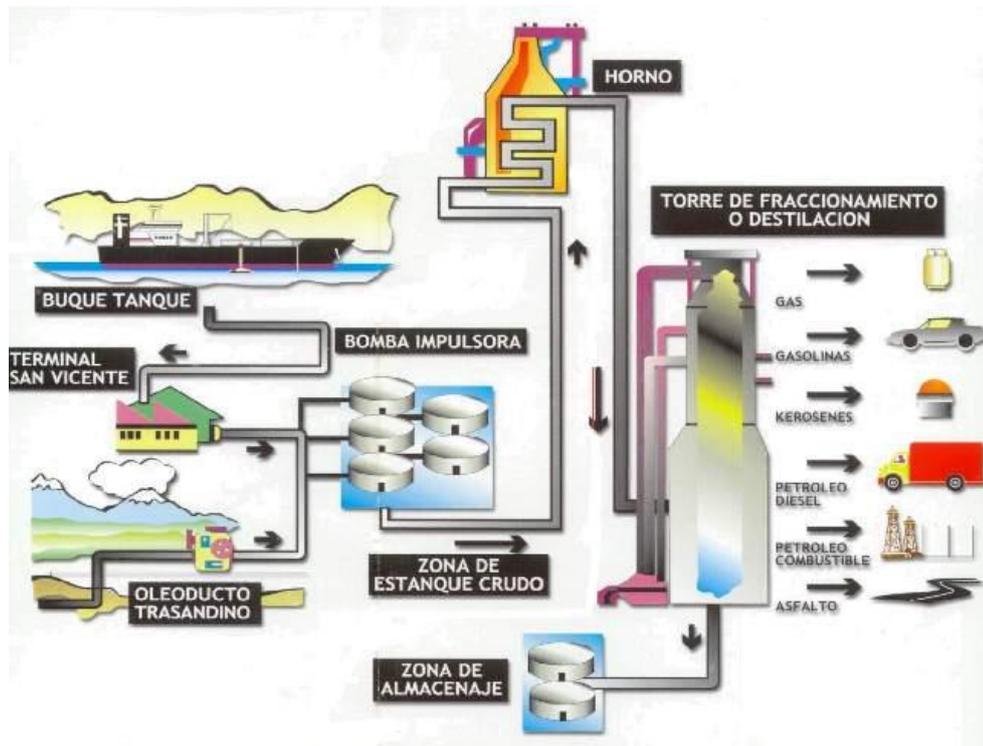
#### **2.1.1.5 Producción del Asfalto AC-20**

El asfalto es obtenido de la refinación por destilación del crudo de petróleo (ver Figura 3). Este es un proceso por el cual los diferentes productos son separados fuera del crudo, sometidas a diferentes etapas de temperaturas.

Los tipos de destilación son: destilación por vacíos y extracción con solventes.

Los destilados más pesados conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacíos a una temperatura aproximada de 480 °C, esto puede variar dependiendo el crudo de petróleo o del grado de asfalto que se esté produciendo. [12]

Figura 7. Proceso de refinación del petróleo para obtención de petróleo



Fuente: MONTEJO Alfonso. Ingeniería de pavimento en carreteras.

Para saber cuál es el comportamiento de un asfalto, es necesario conocer sus propiedades en forma natural, entre estas características se encuentra la ductilidad, el punto de llama, la penetración, el peso específico, etc.

En Ecuador, en la Refinería de Esmeraldas se produce asfaltos que se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia como por ejemplo: AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-30, AC-40. Dependiendo del uso, es el tipo de asfalto. [12]

La refinería tiene la manera de controlar las propiedades de cada asfalto para cumplir con ciertos requisitos.

El asfalto utilizado en este proyecto es el AC-20 ya que es uno de los asfaltos actualmente utilizados en las carreteras Ecuatorianas el cual posee los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 1. Ficha técnica del Asfalto AC-20

<b>CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO AC-20</b>	<b>NORMA</b>
<b>DEL CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL</b>	
Viscosidad rotacional a 60 °C. máximo, Pa.S <sup>(1)</sup>	200 ± 40
Viscosidad Cinemática a 135 °C; mm <sup>2</sup> /s, mínimo (1 mm <sup>2</sup> /s = 1 centistoke)	300
Viscosidad Saybolt Furol a 135 °C, s. mínimo.	120
Penetración a 25 °C, 100 gr. 5 s, 10 <sup>1</sup> mm, mínimo.	60
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo.	232
Solubilidad, %, mínimo.	99
Punto de Reblandecimiento, °C	48 – 56
<b>DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA</b>	
Pérdida por calentamiento; %, máximo.	0,5
Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa.S <sup>(1)</sup> , máximo.	800
Ductilidad a 25 °C y 5 cm/min, cm, mínimo.	50
Penetración retenida a 25 °C, %, mínimo.	54

Fuente: SCT N-CMT-4-05-001/06 (NTE INEN 2515), [14]

### 2.1.2 Los Agregados

Es conocido como roca, material granular o agregado mineral usado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

Los agregados usados son arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo en roca. En la mezcla asfáltica el agregado corresponde entre un 90 y el 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen. El comportamiento de la mezcla asfáltica se ve influenciada por la selección apropiada de los agregados debido a que los mismos proporcionan la mayoría de las características de capacidad portante. [9]

Para la elaboración de las mezclas asfálticas se trabajó con agregados provenientes de las canteras de la empresa JEAL Construcciones ubicada en Las Viñas del sector de Tungurahua.

### **2.1.2.1 Propiedades Físicas de los agregados**

Para la mezcla asfáltica en caliente se usan agregados usualmente clasificados en agregados gruesos, finos o filler. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en el tamiz N°4 (4,75 mm); agregado fino la porción del material que pasa el tamiz N°4 y es retenida en el tamiz N° 200 y relleno o filler como material que pasa el tamiz N° 200 (75µm) en un porcentaje mínimo de 70%. Los agregados adecuados para su uso en mezcla asfáltica en caliente se determinan evaluándolos para las siguientes características mecánicas [9]:

- Tamaño y gradación
- Limpieza
- Absorción
- Afinidad por el asfalto
- Tenacidad
- Durabilidad
- Forma de partículas

### **2.1.2.2 Ensayos Realizados a los Agregados**

Los ensayos realizados a los agregados para la elaboración de las briquetas son realizados en el laboratorio de Ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

#### **2.1.2.2.1 Ensayo N° 1.- Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Fino. (INEN 696)**

El análisis granulométrico tiene como objeto, que el agregado esté dentro de un cierto tamaño y que cada tamaño esté presente en la mezcla asfáltica en ciertos porcentajes.

La distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es llamado graduación del agregado o graduación de la mezcla

Se procede a ensayar tanto el agregado grueso como el fino haciéndolo pasar por los tamices establecidos en la Norma ASTM E11, los tamices para el agregado grueso son

2", 1½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4 y para los agregados finos la serie de tamices son 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100. [17]

### Granulometría (ASTM D-422)

La granulometría estará compuesto de piedra triturada, grava triturada o piedra natural, arena, etc. Lo cual debe cumplir con los requisitos especificados en la Tabla 4.

Para éste caso se utilizará la graduación del tamiz ½". [19]

Tabla 2: Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	N°4
25,4 mm (1")	100	--	--	--
19,0 mm (3/4")	90 – 100	100	--	--
12,7 mm (1/2")	--	90 – 100	100	--
9,5 mm (3/8")	56 – 80	--	90 – 100	100
4,75 mm (N°4)	35 – 65	44 – 74	55 – 85	80 – 100
2,36 mm (N°8)	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100
1,18 mm (N°16)	--	--	--	40 – 80
0,60 mm (N°30)	--	--	--	25 – 65
0,30 mm (N°50)	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40
0,15 mm (N°100)	--	--	--	3 – 20
0,075 mm (N°200)	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10

Fuete: Tabla 405-5.1 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes.

#### 2.1.2.2.2 Ensayo N°2.- Resistencia al desgaste por abrasión (INEN 860)

La norma INEN 860 establece que el valor es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos que tienen composiciones mineralógicas similares. Con este ensayo se determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada combinado por el impacto y la molienda de un tambor giratorio de acero con un determinado número de esferas que está especificado en la Tabla 2 y la gradación de la muestra será determinado según las especificaciones de la Tabla 3. [20]

Tabla 3: Especificaciones de la Carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: INEN 860

Tabla 4: Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	---	---	---
25,0	19,0	1 250 ± 25	---	---	---
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---
9,5	6,3	---	---	2 500 ± 10	---
6,3	4,75	---	---	2 500 ± 10	---
4,75	2,36	---	---	---	5 000 ± 10
<b>Total</b>		<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>	<b>5 000 ± 10</b>

Fuente: INEN 860

Para el ensayo, la máquina gira 500 revoluciones a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min. Luego se procede a tamizar la muestras por el tamiz de 1,70 mm (N° 12) dando así el resultado de la degradación que es la pérdida de la masa expresada en porcentaje. [20]

$$D = \frac{B - C}{B} * 100$$

D = valor de la degradación, en porcentaje

B = masa inicial de la muestra de ensayo

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm (N° 12), después del ensayo

Este ensayo permite determinar la resistencia al desgaste de los agregados empleando la máquina de los ángeles. La muestra debe de estar lavada y secada en el horno a una temperatura constante, separadas por fracciones de cada tamaño y combinadas con una de las granulometrías especificadas en la Tabla N° 3. El tipo de abrasión a realizar es el de tipo B.

Tanto las esferas como la muestra es colocada en la Máquina de los Ángeles, y se la procede hacerle girar a una velocidad comprendida entre 188 y 208 rad/minuto (30 y 33 r.p.m); con un total de 500 vueltas. La máquina deberá girar de manera uniforme y a una velocidad constante. Una vez finalizado el número de vueltas se descarga el material y se procede a tamizar por el tamiz N°12 (1,70 mm) dando así el peso final para realizar el cálculo respectivo. El desgaste máximo permisible es del 35%. Entre menor sea el porcentaje de desgaste obtenido, mayor será la resistencia de los materiales para soportar la abrasión producida por efecto de las cargas del tránsito vehicular. [20]

Figura 8: Máquina de los Ángeles + muestra + 11 esferas



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

### 2.1.2.2.3 Ensayo N°3.- Densidad Real del Agregado Fino.

Este ensayo tiene como fin determinar el peso específico aparente al igual que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por 24 horas. Para el cálculo correspondiente se utilizará el método del picnómetro. [18]

Figura 9: Masa del picnómetro + muestra + agua



Fuente: Santiago Ortiz

Figura 10: Masa del picnómetro + muestra



Fuente: Santiago Ortiz

#### 2.1.2.2.4 Ensayo N°4.- Capacidad de Absorción del Agregado Fino.

Este ensayo se determina con los agregados en estado SSS en donde la arena no puede absorber más agua ni liberarla, para proceder con el cálculo se necesita pesar la muestra en estado SSS y luego meter en el horno por 24 horas para tomar su peso en estado seco. [18]

Figura 11: Muestra para obtener el contenido de Absorción



Fuente: Santiago Ortiz

#### 2.1.2.2.5 Ensayo N°5.- Densidad Real del Agregado Grueso.

Este ensayo permite determinar el peso específico de los agregados con tamaño igual o mayor a 4,75 mm. Para el cálculo correspondiente se utilizará el método de la canastilla. [18]

Figura 12: Masa de la canastilla + muestra SSS



Fuente: Santiago Ortiz

Figura 13: Masa de la canastilla + muestra SSS en *el agua*



Fuente: Santiago Ortiz

#### **2.1.2.2.6 Ensayo N°6.- Capacidad de Absorción del Agregado Fino.**

Este ensayo se determina de igual forma como el de la arena, se necesita pesar la muestra (agregado grueso) en estado SSS y luego meter en el horno por 24 horas para tomar su peso en estado seco y proceder a su cálculo. [18]

Figura 14: Muestra de agregado grueso seco



Fuente: Santiago Ortiz

#### **2.1.2.3 Ensayos Realizados a la Mezcla Asfáltica**

##### **2.1.2.3.1 Recubrimiento y peladura (ASTM D-3625)**

Este ensayo describe los procedimientos de revestimientos e inmersión para determinar la capacidad de retención de una capa de asfalto sobre una superficie de agregado sometida en el agua.

Los resultados de los ensayos son subjetivos esto limita el alcance que tiene a porcentajes mayores al 95%. [22]

Este ensayo permite observar el efecto de la acción del agua sobre la película asfáltica que recubre el agregado. Esto se basa en realizar una mezcla con 100gr de agregado seco con un tamaño de 3/8 de plg y 5 gr de asfalto, se procede a mezclar el asfalto con los agregados hasta que se quede completamente recubierto, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 o 2 horas aproximadamente.

La mezcla asfáltica fría se la coloca en un recipiente de vidrio de capacidad de 500 cm<sup>3</sup>, se calienta el agua con la mezcla con un incremento de temperatura de 5 °C por minuto, una vez que ya haya hervido la mezcla con el agua se deja que se enfríe durante 10 minutos. [22]

Figura 15: Mezcla Asfáltica fría.



Fuente: Santiago Ortiz

Para obtener los resultados de este ensayo se los realiza visualmente de acuerdo a la cantidad de asfalto desprendido de las partículas de agregados. Este ensayo se lo realizado rigiéndonos a la norma ASTM-3625. [22]

Figura 16: Estimación del porcentaje de asfalto que cubre al agregado.



Fuente: Santiago Ortiz

#### **2.1.2.3.2 Ensayo N° 2.- Peso Específico del Asfalto**

El peso específico del asfalto es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua.

Calentar la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que llegue a ser suficientemente fluida, verter una cantidad suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, dejar enfriar el picnómetro durante un periodo de 40 minutos y pesar con el tapón.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro, colocar el picnómetro en el baño de agua a 25 °C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un periodo no menor de 30 minutos. Sacar y pesar. [21]

### 2.1.2.3.3 Ensayo N° 3.- Densidad Máxima Teórica del Asfalto y Asfalto + Látex

Este ensayo permite determinar las densidades máximas teóricas de las mezclas asfálticas, esto se realiza para cada porcentaje de asfalto. [23]

Lo primero para este ensayo se debe de preparar la mezcla asfáltica y dejarla secar a temperatura ambiente se debe de tratar en lo posible de que la mezcla esté totalmente suelta. Se procede a secar el recipiente y se le pesa, luego al colocar el cemento asfáltico de igual forma se toma el peso, se lo llena con agua y se coloca en la máquina de vacíos para extraer el aire, este proceso se lo realiza durante 15 minutos. Al finalizar este proceso se toma el peso y se procede al cálculo para obtener la densidad máxima teórica. [23]

Figura 17: Máquina de Vacíos



Fuente: Santiago Ortiz

Figura 18: Recipiente + Agregado + Agua



Fuente: Santiago Ortiz

#### 2.1.2.3.4 Ensayo N°4.- Mezcla de los agregados por la granulometría establecida según el porcentaje de asfalto y según el porcentaje de asfalto + látex.

Este ensayo se realiza para preparar la mezcla asfáltica, esto se realiza a través de la norma ASTM D-422 con el fin de que todas las partículas estén dentro de un cierto margen de tamaño y que todo el agregado esté presente en la mezcla asfáltica en los porcentajes respectivos de asfalto. La distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es llamado graduación del agregado o graduación de la mezcla

En la tabla 4 se observa el porcentaje en peso que pasa a través de los tamices  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N°4. Para esta investigación se procederá a utilizar el tamiz de  $\frac{1}{2}$ " y con los agregados proporcionados por la constructora JEAL.

El proceso a seguir de este ensayo es tamizar tanto el material fino como el material grueso por los tamices:  $\frac{1}{2}$ ", N°4, N°8, N°50, N°200 y pesar lo que pasa por cada tamiz según el porcentaje requerido para realizar la mezcla asfáltica según el porcentaje de asfalto requerido. Obteniendo así las siguientes dosificaciones. [19]

#### 2.1.2.3.5 Ensayo N°5.- Método Marshall. (Estabilidad y Flujo) con Asfalto

Se pesa en un recipiente las cantidades de agregado en las proporciones indicadas anteriormente para cada briqueta y por cada porcentaje de asfalto. [14]



Figura 19: Proporciones de agregados para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Se mezcla en un recipiente los agregados hasta obtener una mezcla homogénea y se calienta a una temperatura entre 160 °C a 180 °C. Paralelamente se va calentando el asfalto hasta que alcance la temperatura necesaria, la temperatura se lo puede ir controlando con un termómetro. [14]

Figura 20: Calentamiento de los agregados a 180 °C



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Se procede al mezclado de los áridos más el asfalto a dicha temperatura, el tiempo de mezclado debe de ser lo más pronto posible para cubrir completamente los agregados, previamente a la preparación de la mezcla se calienta el conjunto de la bandeja el collar, el molde, la placa de base y espátulas a una temperatura entre 160 °C y 180 °C. [14]

Figura 21: Muestra preparada para la compactación



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Se coloca el molde en el pedestal, se coloca la muestra caliente en el molde y se aplica 75 golpes a caída libre a ambos lados de la briqueta, una vez finalizada este proceso se retira el molde de la máquina y se le deja enfriar durante dos horas. [14]

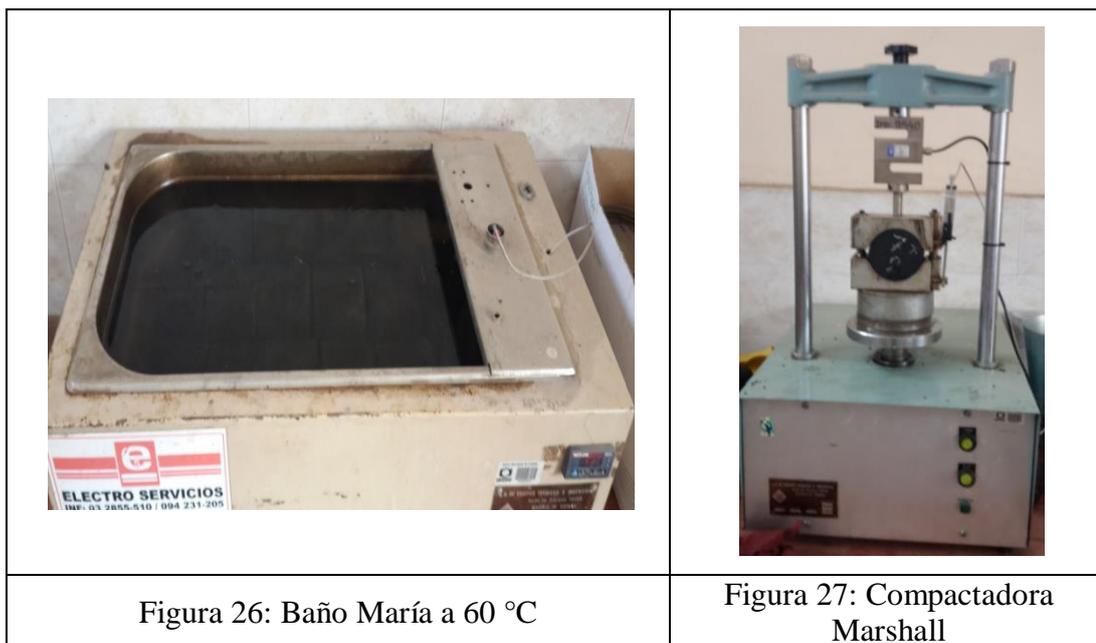
Figura 22: Colocación de la mezcla asfáltica en la máquina compactadora



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Una vez fría la briqueta se desmolda y al día siguiente se pesa seca en el aire, sumergida en agua y saturada en el aire, se la coloca en agua caliente a una temperatura de 60 °C durante 30 minutos para poderla ensayar en la máquina compactadora y obtener la estabilidad y el flujo.

A photograph of a dark, cylindrical asphalt briquette resting on a white surface. The briquette has a rough, porous texture.	A photograph showing a dark, cylindrical asphalt briquette submerged in a tank of water. The water is clear, and the briquette is positioned in the center of the tank.	A photograph of a person's hands holding a dark, cylindrical asphalt briquette over a red cloth. The person is wearing a silver bracelet on their left wrist.
<p>Figura 23: Peso seco en aire</p>	<p>Figura 24: Peso sumergido en agua</p>	<p>Figura 25: Peso SSS</p>



### 2.1.2.3.6 Ensayo N°6.- Método Marshall. (Estabilidad y Flujo) con Asfalto + Látex

Este ensayo se lo realiza de la misma forma que con el asfalto, el látex se lo añade una vez preparada la mezcla asfáltica.

El látex se añadió en proporciones del 1% al 3% según corresponda a cada porcentaje de asfalto. [14]

Figura 28: Mezcla Asfáltica + Látex.



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

### 2.1.2.3.7 Ensayo N° 7.- Ensayos a la probetas compactadas. Con asfalto y asfalto + látex

Por el método Marshall, cada muestra compactada se somete a los siguientes ensayos en el orden indicado:

- a) Determinación del peso específico “Bulk”.
- b) Estabilidad y flujo (tabla 38 y 39).
- c) Análisis de la densidad y vacíos.

Para determinar el peso específico “bulk” de las probetas compactadas se lo realiza con la siguiente fórmula:

$$\frac{P. \text{seca en aire}}{P. \text{SSS en aire} - P. \text{en agua}}$$

Para el cálculo del peso específico máximo teórico de la muestra se lo realiza mediante la fórmula:

$$\frac{100}{\frac{\% \text{ Agreg}}{G_{agr}} * \frac{\% \text{ CA}}{G_{asf}}}$$

El peso específico máximo medido de una mezcla asfáltica sin vacíos con aire, se realiza por medio del Ensayo Rice para cada porcentaje de asfalto (tablas de la 29 a la 38) cuyo valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire.

Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Asf absor} = \frac{\gamma_{\text{máximo medido}} - \gamma_{\text{máximo teórico}} * 10^4}{\gamma_{\text{máximo medido}} * \gamma_{\text{máximo teórico}} * \% \text{ Agregado}}$$

Se calcula el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta.

$$\% \text{ volumen agregado} = \frac{\% \text{ Agregado} * \gamma_{bulk}}{G_{agr}}$$

Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta:

$$\% \text{ Vacíos con aire} = 1 - \frac{\gamma_{bulk}}{\gamma_{\text{máximo medido}}} * 100$$

Se procede a calcular el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta:

$$\text{Asf. Efect} = 100 - \% \text{ volumen agregado} - \% \text{ Vacíos con aire}$$

Se calcula el porcentaje de vacíos que contiene los agregados minerales en la mezcla compactada:

$$\% \text{ Vacíos Agre} = 100 - \% \text{ Volumen agregado}$$

Se determina el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla.

$$\text{Asf. Efec.} = \% \text{ CA} - \frac{\% \text{ de Asf absor} * \% \text{ Agreg}}{100}$$

Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto.

$$\% \text{ Va Llenos Asf.} = \frac{\% \text{ Vacíos Agre} - \% \text{ Vacíos con aire}}{\% \text{ Vacíos Agre}} * 100$$

Para la estabilidad se procede a corregir el valor con un factor de corrección según el espesor de la briqueta, en la tabla 40 se especifica el espesor y el factor de corrección para cada briqueta. Con los factores de corrección, se rectifican los valores de la

estabilidad de cada probeta y por último obtenemos el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briqueta desde el inicio de la carga hasta que consigue la máxima, esto viene expresado en centésimas de pulgada. [14]

### **2.1.3 Asfaltos Modificados**

Los asfaltos modificados se utilizaron primero en emulsiones para impermeabilizantes y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para mejorar su calidad y obtener mayor resistencia. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa adherencia entre el material pétreo y el material asfáltico, además aumenta la resistencia a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetitivos.

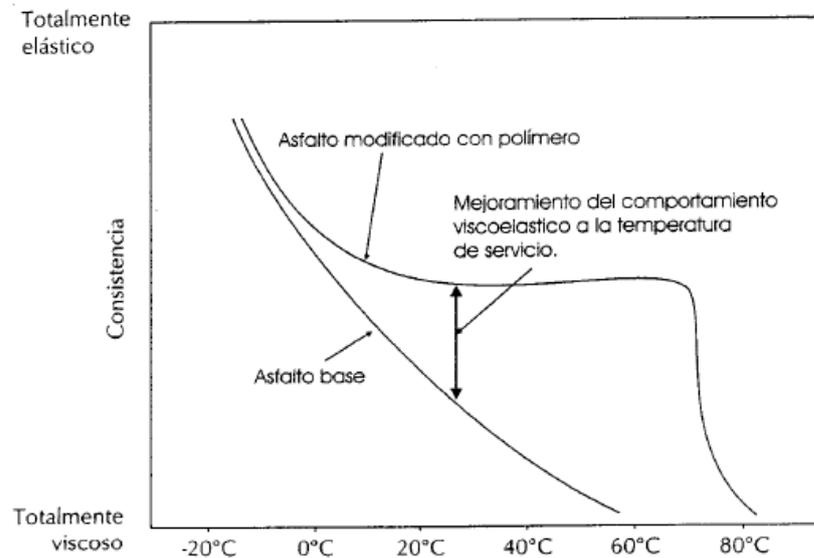
La norma N-CMT-4-05-002/01 define a los asfaltos modificados como el producto de incorporación en el asfalto de un polímero o de hule molido de neumático, modificando sus propiedades físicas y reológicas disminuyendo su susceptibilidad a la temperatura. [13]

#### **2.1.3.1 Objetivo de la Modificación**

Las modificaciones realizadas a las mezclas asfálticas permiten intervenir sobre las características mecánicas del asfalto. Para las modificaciones asfálticas se implica disminuir la deformación plástica a alta temperatura, como la rigidez a baja temperatura, brindando un mejor comportamiento en servicio ante la acción de las cargas circulantes más pesadas del tránsito.

La adición de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto, que se obtiene gracias a una mejora en el comportamiento visco-elástico a las temperaturas de servicio de un asfalto adecuado. [13]

Figura 29: Efecto de la incorporación de un polímero sobre susceptibilidad térmica del asfalto.



Fuente: MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras.

### 2.1.3.2 Modificadores del Asfalto

El mejoramiento del asfalto es una técnica usada para el aprovechamiento efectivo del asfalto. Esto tiene como fin mejorar sus características mecánicas. Uno de los principales objetivos es disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando así su elasticidad. La Norma N-CMT-4-05-002/01 establece cuatro tipos de modificadores:

- **Polímero Tipo I**

Mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB). Se utiliza en climas fríos y cálidos, para carpetas asfálticas delgadas y en carreteras con altos índices de tránsito. [11]

- **Polímero Tipo II**

Es un modificador de asfalto que mejora la mezcla asfáltica a bajas temperaturas. Es fabricado con polímeros elastoméricos lineales como caucho de Estireno o Butadieno-

Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos que se requiera mejorar su comportamiento en climas fríos y templados. [11]

- **Polímero Tipo III**

Mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base de un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como ETIL-VINIL-ACETATO (EVA). Se utiliza en elevados índices de tránsito y en climas calientes. [11]

- **Hule Molido de Neumático**

Mejora la flexibilidad y resistencia de la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Se usa en carpetas delgadas de granulometría abierta. [11]

#### **2.1.4 Polímeros Elastoméricos de Butadieno (látex).**

##### **2.1.4.1 Látex**

Es un elemento que se encuentra en estado líquido, tiene una mayor resistencia al rasgado, posee copolímero carboxilado estireno-butadieno diseñado como un adhesivo integral para adherencia. [11]

Figura 30: Látex líquido



Fuente: Santiago Ortiz M.

El látex se utiliza en un sin número de aplicaciones como por ejemplo: adhesivos, pinturas, productos de caucho, etc.

Cuando se tiene que la dispersión es de un polímero hidrófilo en un medio orgánico se les conoce como látex inversos que luego de la polimerización se coagula para ser usado como recuperación mejorada del petróleo. [11]

Tabla 5. Ficha técnica del Látex.

<b>Producto:</b>	<b>Látex</b>	
<b>Descripción:</b>	<b>Estireno/butadieno</b>	
<b>PROPIEDAD</b>	<b>LÍMITE</b>	<b>UNIDAD</b>
Sólidos	46.0 – 48.0	%
PH	9.0 – 10.0	
Viscosidad	300 máx	cps

Fuente: Empresa Halley

### 2.1.5 Diseño de Mezclas Asfálticas

Para obtener un diseño óptimo de una mezcla asfáltica se determinará una combinación y graduación económica de asfalto cumpliendo con los siguientes parámetros:

- Estabilidad, para satisfacer las demandas de tránsito
- Suficiente asfalto para brindar un pavimento durable
- Contenido de vacíos necesarios para permitir una ligera cantidad de compactación.

Se han desarrollado algunos métodos para una mezcla asfáltica en caliente, siendo los más conocidos los siguientes: Marshall, Hveem, Hubbard-Field y Triaxial de Smith. En este proyecto se utilizará el método Marshall. [9]

### 2.1.6 Método de Diseño Marshall

Se rige a través de las Normas AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225. Este método fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-ingeniero del departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. [9]

Se emplea para dosificar mezclas en caliente de agregados pétreos y cemento asfáltico, se puede utilizar ya sea para diseños en laboratorio como para controles de campo. Este método tiene como fin determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados para garantizar la suficiente estabilidad y satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamiento. [9]

Además busca que la mezcla tenga una trabajabilidad que permita una eficiente colocación de la mezcla con que se pavimentará, conteniendo los suficientes vacíos con aire en la mezcla compactada para así se impida exudaciones y pérdidas de estabilidad. [9]

Contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm o menos, el método Marshall usa probetas normalizadas cada una preparada con la misma combinación de agregados pero con distintos porcentajes de asfalto. El diseño se elabora con cinco porcentajes de cemento asfáltico por lo cual se obtiene 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto teniendo como resultado un total de 15 briquetas. Por lo general se empieza desde el 4.5% o del 5% con incrementos en dicho porcentaje del 0.5%, los porcentajes a utilizar serán los siguientes:

Tabla 6: Porcentajes de Asfaltos

<b>N° DE PROBETAS</b>	<b>PORCENTAJE DE ASFALTO</b>
3	5%
3	5,5%
3	6%
3	6,5%
3	7%
15	= Total

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Según la norma I.N.V.E-748-07 las briquetas se compactarán a 75 golpes por cada cara debido a que la mezcla se hizo para la solicitud de una vía de tráfico pesado.

Las probetas tendrán dimensiones de 101,6 mm (4") de diámetro y 76,20 mm (3") de altura. Para cada briqueta se necesitará aproximadamente 1200 gr de mezcla, para lo cual se determinó los pesos necesarios retenidos en cada tamiz.

Los pesos respectivos para cada porcentaje de asfalto se puede observar en la tabla 7. [14]

Tabla 7: Dosificación para briquetas

% de Asfalto Aplicado en la Mezcla				5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
Tamiz (Plg)	% pasa (Especificación)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)				
3/4"	100	100%	0	0	0	0	0	0
1/2"	90 - 100	94%	6%	68,4	68,0	67,7	67,3	67,0
#4	44 - 74	49%	45%	513,0	510,3	507,6	504,9	502,2
#8	28 - 58	14%	35%	399,0	396,9	394,8	392,7	390,6
#50	5 - 21	4%	10%	114,0	113,4	112,8	112,2	111,6
#200	2 - 10		4%	45,6	45,4	45,1	44,9	44,6
Asfalto				60,0	66,0	72,0	78,0	84,0
<b>Total</b>				1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

La temperatura de los agregados deberá superar en 20°C a la del cemento asfáltico durante la mezcla, el asfalto y los agregados se calientan y se mezclan hasta que todas las partículas estén completamente revestidas de asfalto, la temperatura de la mezcla asfáltica preparada para la compactación no debe ser menor a 135°C. [14]

Luego de haber mezclado, es colocada en los moldes para su respectiva compactación, que para este caso son de 75 golpes para tráfico pesado luego se procede a dejarlas enfriar para así determinar el peso específico total, medir la estabilidad y la fluencia Marshall. [14]

Figura 31: Briquetas de Asfalto



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

### 2.1.6.1 Ensayos de probetas compactadas

Con este método se determinará los siguientes ensayos:

- Determinación del peso específico “bulk”
- Ensayo de estabilidad y flujo
- Análisis de la densidad y vacíos

#### 2.1.6.1.1 Determinación del Peso Específico “Bulk”

Es la relación que tiene entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Se determina mediante la ecuación:

$$G_b = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

**Donde:**

$W_a$  = Peso de la briqueta seca en el aire

$W_w$  = Peso de la briqueta en el agua

$W_{sss}$  = Peso en el aire de la briqueta saturada y superficialmente seca

### **2.1.6.1.2 Ensayo de estabilidad de flujo**

Este procedimiento se hace según la norma I.N.V. – E 748 - 07, este procedimiento es aplicable en todas las briquetas. [14]

### **2.1.6.1.3 Análisis de densidad y vacíos**

Una vez concluido con el ensayo de estabilidad y flujo se debe realizar un análisis de la densidad y vacíos para cada briqueta promediando los pesos específicos “bulk” de todas las briquetas elaboradas con el mismo porcentaje descartando las que se alejen demasiado del promedio.

## **2.2 HIPÓTESIS**

Mediante el uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex se mejorará las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

## **2.3 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1 Variable Independiente**

Uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex

### **2.3.2 Variable Dependiente**

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

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

El tipo de investigación a ser utilizado en el presente proyecto es: descriptivo, exploratorio y experimental.

Descriptivo debido a que el presente proyecto proporcionará datos experimentales para ver la conveniencia de aplicarlo o no de una manera confiable y segura.

Exploratorio debido a que la mezcla asfáltica preparada a partir de polímeros no se usa en nuestro medio, el propósito es analizar la resistencia y el flujo obtenida con este material.

Experimental ya que se van a realizar probetas con distintos porcentajes de asfalto y látex, además con distintos porcentajes de agregados para de esta manera obtener la resistencia y el flujo adecuado optimizando materiales.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

El objeto de estudio de esta investigación es la elaboración de briquetas de asfalto, por lo cual no se puede cuantificar. Para la obtención de mejores resultados y que nos aporten mayor confiabilidad, basados en la norma AASHTO T 245, ASTM D 1559 se elaborará y ensayará tres briquetas por cada porcentaje de asfalto sin látex, y tres briquetas por cada porcentaje de asfalto con látex obteniendo así un total de 30 muestras.

Esto permitirá determinar un cemento asfáltico óptimo para la fabricación de pavimentos.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 Variable Independiente

Uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p><b>Látex:</b> Emulsión de micropartículas poliméricas en un medio acuoso.</p> <p><b>- Polímero:</b> Sustancia química que resulta de un proceso de polimerización.</p> <p><b>- Elastomérico:</b> Polímero elástico sólido</p>	Polímero	Tipos de polímeros	¿Qué tan factible es la utilización de polímeros para el mejoramiento del asfalto?	Ensayos de Laboratorio.
	Látex	Calidad	¿Cuáles son las características del látex para ser empleado en mezclas asfálticas?	Investigación bibliográfica y experimental.
		Cantidad	¿Cuál es el porcentaje óptimo y adecuado para elaborar mezclas asfálticas?	Ensayos de laboratorio.  Análisis y comparación de resultados.

**Cuadro 1:** Operacionalización de la variable Independiente.

#### 3.3.2 Variable Dependiente

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

Concepto	Categoría	Indicador	Ítems	Técnicas e Instrumentos
<p><b>Mezcla asfáltica:</b> Formados por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato.</p> <p><b>Propiedades mecánicas:</b></p> <p>- <b>Estabilidad:</b> Resistencia que ofrecerá la mezcla a la deformación, cuando este sujeto a los esfuerzos aplicados.</p> <p>- <b>Flujo:</b> Capacidad de deformación del asfalto.</p>	Asfalto	Contenido óptimo del asfalto	¿Qué porcentaje de asfalto es necesario para que garantice una estabilidad y flujo adecuado?	Ensayos de Laboratorio.  Normas: AASSHTO INEN ASTM
		Muestreo	¿Cuál es el flujo máximo y mínimo permitido?	Norma AASSHTO
	Ensayo de Estabilidad y Flujo	Volumen Peso	¿Cuál es el tamaño nominal de la probeta?	Norma INV-E-748
		Equipo Materiales	¿Qué materiales y equipo se necesita para elaborar y ensayar las briquetas de asfalto?	Norma INV-E-748

**Cuadro 2:** Operacionalización de la Variable Dependiente.

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Preguntas Básicas	Explicación
a) ¿Para qué?	Analizar la estabilidad y flujo del asfalto con la incorporación de látex en el adecuado porcentaje.

b) ¿De qué personas u objetos?	De briquetas de asfalto elaboradas con diversos porcentajes de látex.
c) ¿Sobre qué aspectos?	La influencia sobre la estabilidad y el flujo de las briquetas de asfalto modificado.
d) ¿Quién?	Santiago Andrés Ortiz Montero
e) ¿Dónde?	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Ambato. Laboratorio de suelos del GADMA.
f) ¿Cómo?	Mediante ensayos de laboratorios e investigaciones bibliográficas en normas y códigos.

**Cuadro 3:** Recolección de Información

### **3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

#### **3.5.1 Plan de Procesamientos de la Información**

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

#### **3.5.2 Plan de Análisis**

- Interpretación de los resultados obtenidos en la investigación, tomando como referencia los objetivos e hipótesis.
- Verificación de la hipótesis formulada
- Determinación de conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS**

Previa elaboración de las briquetas de asfalto se procederá a realizar ensayos a los agregados procedentes de la provincia de Tungurahua, tales como granulometría, densidad real de los agregados, resistencia al desgaste por abrasión, recubrimiento y peladura, índice plástico e hinchamiento.

Se procedió a realizar cada ensayo siguiendo las respectivas normas INEN, para obtener los resultados idóneos.

##### **4.1.1 Ensayos Realizados a los Agregados**

Los ensayos realizados a los agregados para la elaboración de las briquetas son realizados en el laboratorio de Ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

###### **4.1.1.1. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso y Fino. (INEN 696)**

Ejecutando el ensayo de granulometría a los agregados procedentes de la mina de la constructora JEAL de la mina Las Viñas se observa en las gráficas que la curva granulométrica se encuentra dentro de los límites permisibles por la norma, el ensayo da como resultado una arena con módulo de finura igual a 3,02 constituyéndose apta para la elaboración de asfalto.

El ensayo de granulometría para el agregado grueso presenta una curva dentro de los límites dados por la norma ASTM-C33, cuyo tamaño nominal máximo corresponde a 1” estando dentro del rango permisible.

#### 4.1.1.2. Resistencia al desgaste por abrasión (INEN 860)

El ensayo al desgaste por abrasión realizado al agregado grueso presenta resultados favorables teniendo como resultado un desgaste del 23,52 % estando dentro del desgaste permitido por la norma INEN 860.

#### 4.1.1.3. Recubrimiento y Peladura

El resulta luego de los 10 minutos se estimó que el porcentaje del área visible total del agregado que retiene su recubrimiento con asfalto es superior al 95% por lo cual el asfalto tiene una buena adherencia con el agregado.

#### 4.1.1.4. Peso Específico del Asfalto

El peso específico del asfalto es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua obteniendo como resultado el 0,996 estando dentro del límite permitido según la norma ASTM D-70.

#### 4.1.1.5. Ensayo rice

El ensayo rice realizado a la mezcla asfáltica presentan los siguientes resultados.

Tabla 8: Resultados Rice solo Asfalto

% ASFALTO	% LÁTEX	RESULTADO RICE
5,00%	1,00%	2,389
5,50%	1,50%	2,374
6,00%	2,00%	2,359
6,50%	2,50%	2,340
7,00%	3,00%	2,323

Tabla 9: Resultados Rice  
Asfalto + Látex

% ASFALTO	RESULTADO RICE
5,00%	2,392
5,50%	2,375
6,00%	2,357
6,50%	2,342
7,00%	2,324

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

#### 4.1.1.6. Ensayos a las probetas compactadas. Con asfalto y asfalto + látex

Para el ensayo de las probetas se tomó sus pesos respectivos seca en aire, totalmente sumergidas, saturadas y se procedió al cálculo respectivo obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 10: Resultados del Ensayo Marshall (Asfalto)**

**N° Golpes: 75**

**Gagr: 2,572**

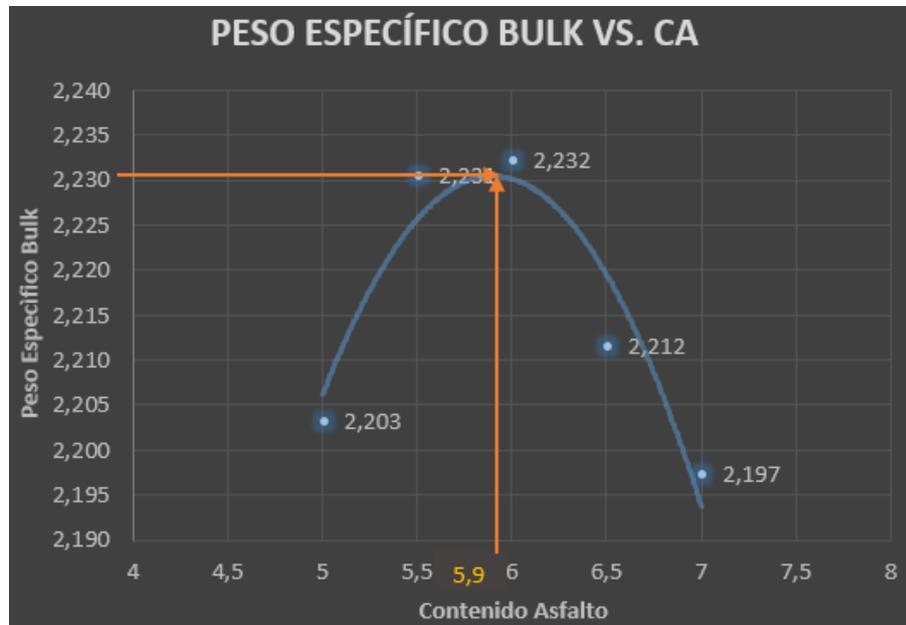
**Gasf: 0,996**

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN ASFALTO AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACIOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1,1	5	6,1	948,6	956,5	526,7	2,207										1287	1,071	1378,377	12
1,2		5,9	930,7	938,7	530,9	2,282										1378	1,134	1562,652	10
1,3		6	945,7	967,3	521,5	2,121										1204	1,103	1328,012	8
PROMEDIO						2,203	2,383	2,392	0,166	81,393	7,887	10,72	18,607	4,842	57,613			1423,01	10
2,1	5,5	6,77	1101,1	1106,3	585,6	2,115										1514	0,905	1370,17	14
2,2		6,3	997,4	999,8	547,2	2,204										1725	1,013	1747,425	12
2,3		6,23	985,8	991,3	575,8	2,373										1845	1,032	1904,04	12
PROMEDIO						2,231	2,366	2,375	0,169	81,969	6,077	11,954	18,031	5,340	66,297			1673,88	13
3,1	6	6,56	1014,67	1017,6	549,1	2,166										1882	0,951	1789,782	11
3,2		6,47	1005,35	1012,2	559,7	2,222										1965	0,97	1906,05	14
3,3		6,18	987,21	996,4	568,8	2,309										1866	1,046	1951,836	13
PROMEDIO						2,232	2,349	2,357	0,154	81,596	5,289	13,115	18,404	5,855	71,262			1882,56	13
4,1	6,5	6,61	1025,37	1031,9	582,9	2,284										1889	0,941	1777,549	12
4,2		6,81	1178,97	1187,2	572,1	1,917										1981	0,895	1772,995	14
4,3		6,9	1034,12	1042,3	617,4	2,434										1893	0,877	1660,161	15
PROMEDIO						2,212	2,332	2,342	0,196	80,411	5,565	14,024	19,589	6,317	71,591			1736,9	14
5,1	7	6,36	1167,89	1173,2	622,1	2,119										1851	0,998	1847,298	16
5,2		6,76	1198,76	1202,3	665,1	2,231										1750	0,908	1589	15
5,3		6,82	1015,67	1023,4	570,4	2,242										1653	0,893	1476,129	15
PROMEDIO						2,197	2,315	2,324	0,18	79,462	5,45	15,088	20,538	6,833	73,464			1637,48	15

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

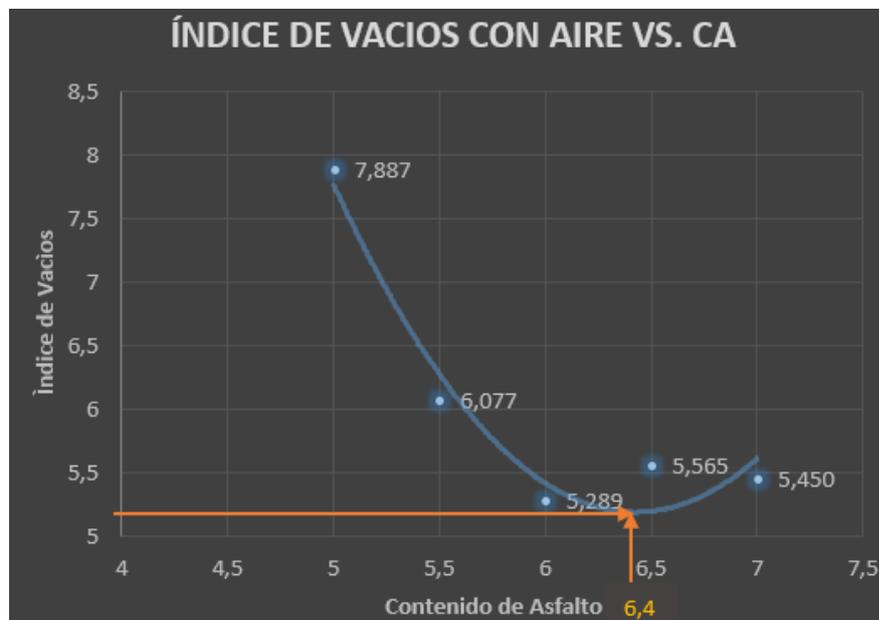
- **Curvas de Diseño de la Mezcla Asfáltica**

Figura 32: Peso Específico “Bulk” VS. CA



<b>Contenido de Asfalto</b>	5,9
-----------------------------	-----

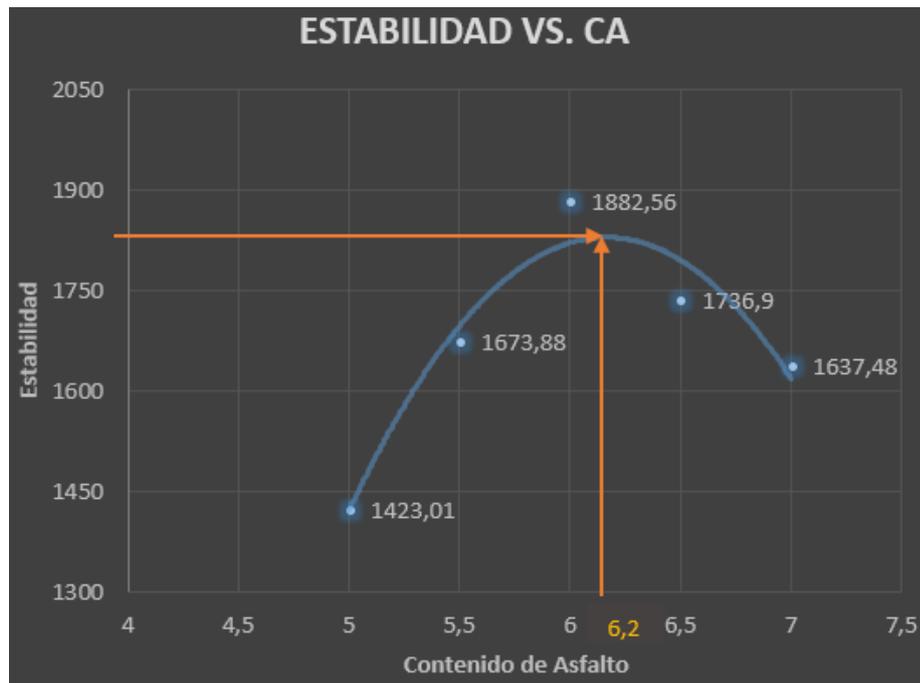
Figura 33: Índice de Vacíos VS. CA.



<b>Contenido de Asfalto</b>	6,4
-----------------------------	-----

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Figura 34: Estabilidad VS. CA.



<b>Contenido de Asfalto</b>	6,2
-----------------------------	-----

#### 4.1.1.7. Contenido Óptimo del Cemento Asfáltico.-

El promedio de los tres valores equivale al porcentaje óptimo, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 11: Promedio del contenido óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	5,9%
Índice de Vacíos	6,4%
Estabilidad	6,2%
<b>Contenido Óptimo de Asfalto</b>	<b>6,2%</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

**Tabla 12: Resultados del Ensayo Marshall (Asfalto + Látex)**

**N° Golpes: 75**

**Gagr: 2,572**

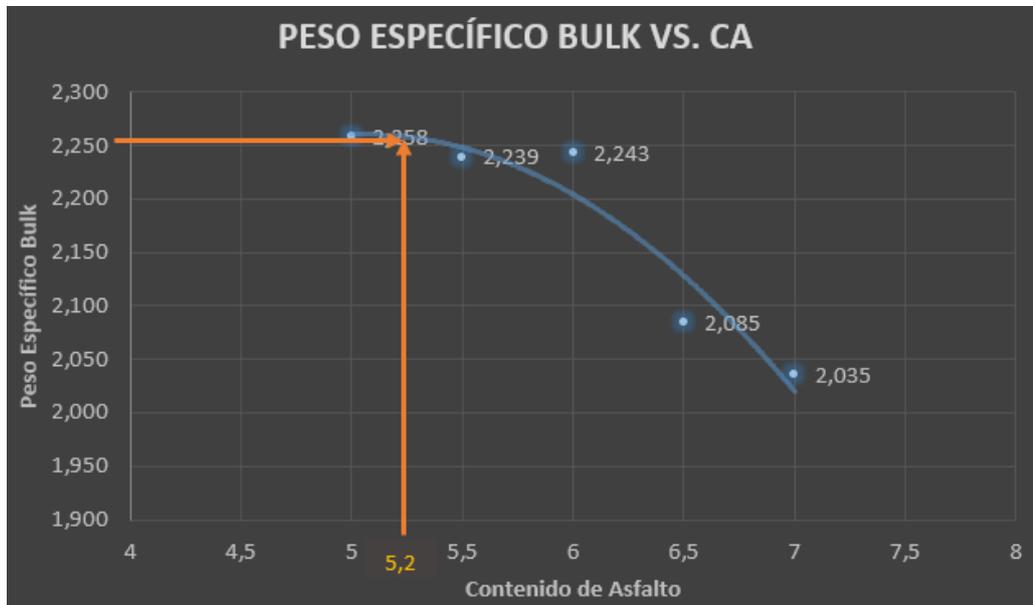
**Gasf: 0,996**

DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA POR EL METODO MARSHALL																					
MUESTRA N°	ASFALTO %	LÁTEX %	ESPESOR DE PROBETA (cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECIFICO (gr/cm <sup>3</sup> )			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100	
				SECA EN AIRE	SSS EN AIRE	EN AGUA	BULK (Gb)	MÁXIMO TEORICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTORES CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A	B	B1	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1,1	5	1	6,45	1026,2	1028,4	569,8	2,238										2636	0,975	2570,1	13	
1,2			6,59	1022,2	1025,7	576,5	2,276											2196	0,945	2075,22	12
1,3			6,57	1040,3	1044,1	583,7	2,26												2394	0,949	2271,906
PROMEDIO							2,258	2,383	2,389	0,111	83,412	5,483	11,105	16,588	4,89	66,946			2305,74	13	
2,1	5,5	1,5	7,22	1150,9	1152,2	592,8	2,057										2236	0,821	1835,756	13	
2,2			7,16	1129,3	1132,4	630,7	2,251											2955	0,829	2449,695	14
2,3			7,15	1040,1	1045,7	614,2	2,410												2759	0,83	2289,97
PROMEDIO							2,239	2,366	2,374	0,151	82,287	5,673	12,04	17,713	5,36	67,973			2191,81	14	
3,1	6	2	6,86	1039,7	1051,5	595,5	2,28										2134	0,884	1886,456	16	
3,2			7,14	1071,7	1079,7	609,6	2,280											1980	0,832	1647,36	15
3,3			7,22	1133,7	1140	617,5	2,17												2175	0,821	1785,675
PROMEDIO							2,243	2,349	2,359	0,192	81,998	4,903	13,099	18,002	5,82	72,764			1773,16	15	
4,1	6,5	2,5	7,15	1023,3	1041,8	584,6	2,238										1915	0,83	1589,45	15	
4,2			7,39	1058,1	1070,3	529,8	1,958											1921	0,794	1525,274	16
4,3			7,46	1103,9	1113,5	577,4	2,059												1737	0,78	1354,86
PROMEDIO							2,085	2,332	2,34	0,157	75,805	10,897	13,298	24,195	6,35	54,962			1489,86	16	
5,1	7	3	6,33	925,8	939,1	487,6	2,05										1698	1,005	1706,49	16	
5,2			7,16	983	996,2	491,0	1,946											1487	0,829	1232,723	12
5,3			6,27	921,2	935,4	498,8	2,11												1549	1,021	1581,529
PROMEDIO							2,035	2,315	2,323	0,16	73,604	12,383	14,013	26,396	6,85	53,088			1506,91	14	

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Curvas de Diseño de la Mezcla Asfáltica**

Figura 35: Peso Específico “Bulk” VS. CA



Contenido de Asfalto	5,2
----------------------	-----

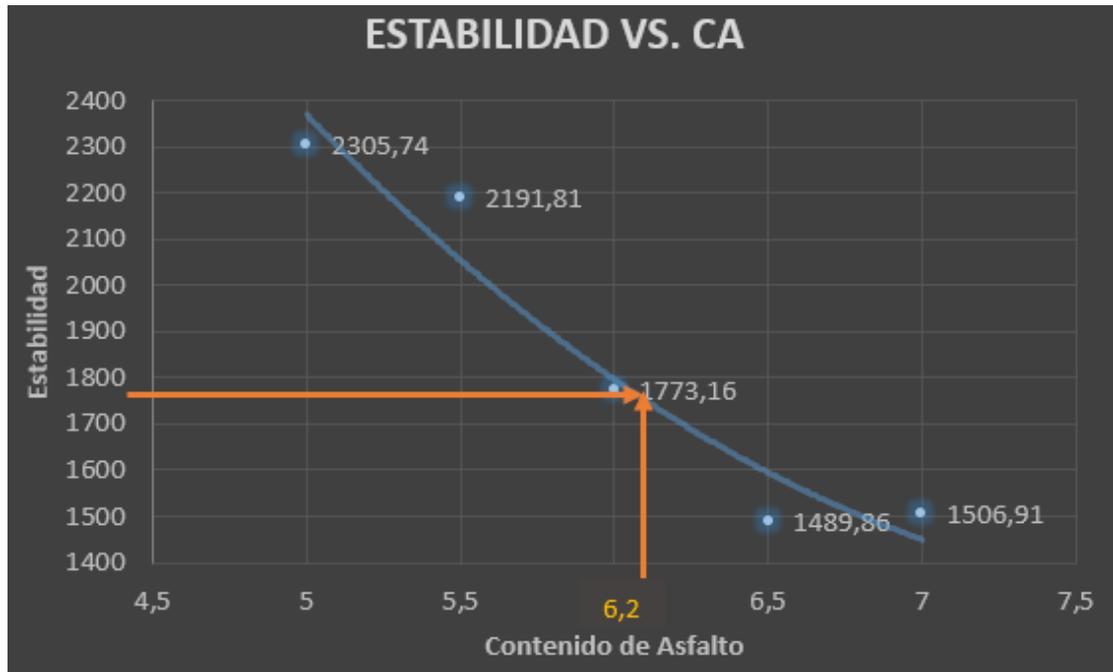
Figura 36: Vacíos con Aire VS. CA



Contenido de Asfalto	5,2
----------------------	-----

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Figura 37: Estabilidad VS. CA



Contenido de Asfalto	6,2
----------------------	-----

#### 4.1.1.8. Contenido Óptimo del Cemento Asfáltico + Látex.-

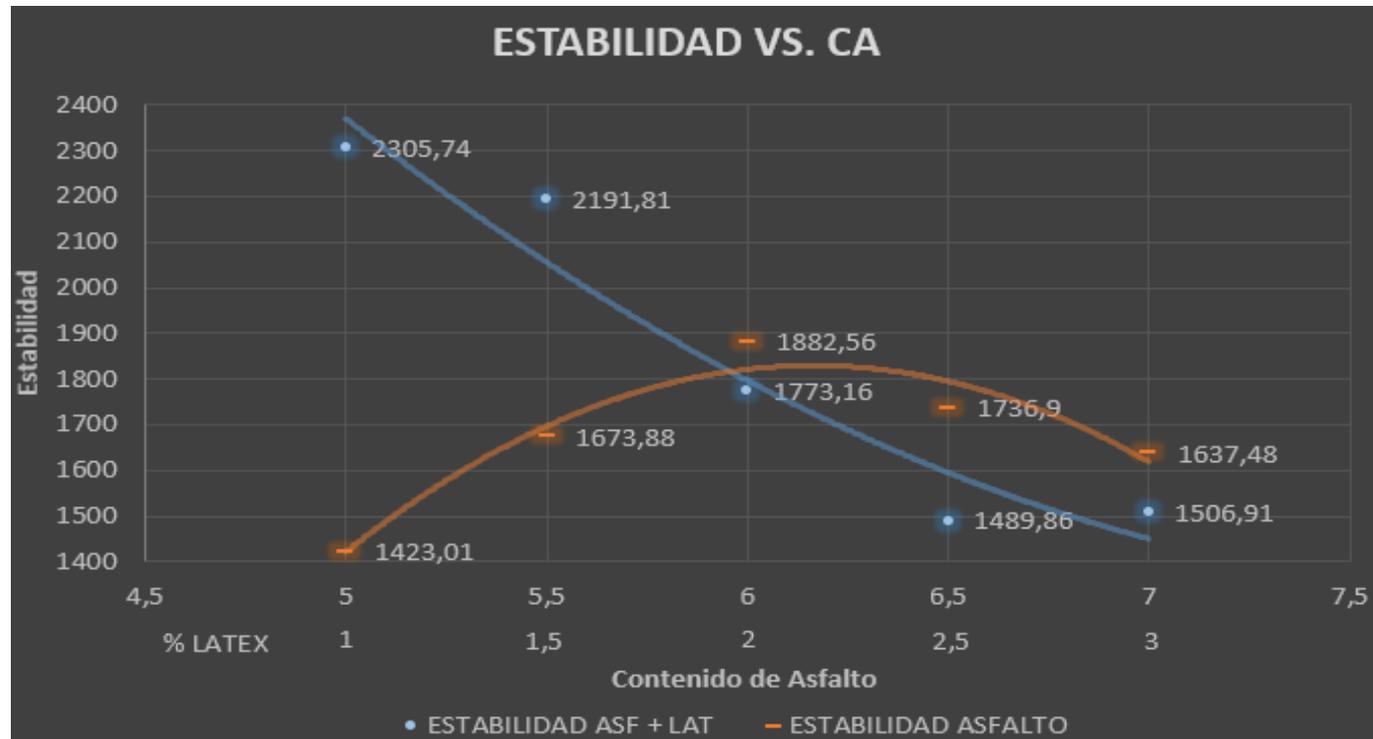
Tabla 13: Promedio del contenido óptimo de Asfalto + Látex

Peso Específico Bulk	5,2%	1,2%
Índice de Vacíos	5,2%	1,2%
Estabilidad	6,2%	2,2%
<b>Contenido Óp. Asfalto + Látex</b>	<b>5,53%</b>	<b>1,53%</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

#### 4.1.1.9. Comparación entre la estabilidad y el flujo del asfalto con el asfalto + látex

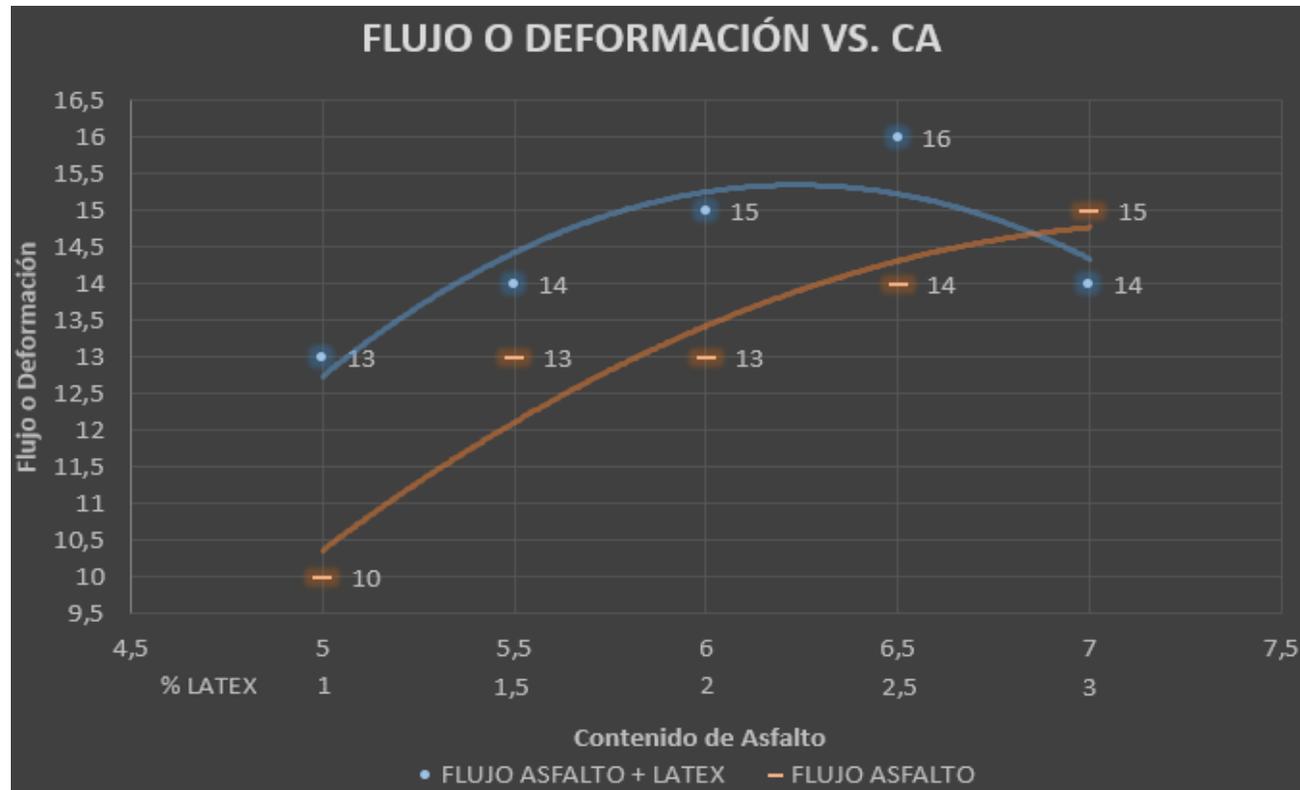
Figura N° 38: Comparación de las curvas de Estabilidad del Asfalto y Asfalto + Látex



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

**Interpretación.-** Se observa el comportamiento que tuvo las mezclas asfálticas con los diferentes porcentajes de asfalto y asfalto + látex, como se puede observar con el 5% de asfalto y el 1% de látex se obtiene una mayor estabilidad, superando así a las briquetas de asfalto sin polímero, pero mientras se añade más asfalto y más látex la estabilidad se reduce considerablemente.

Figura N° 39: Comparación de las curvas de Flujo del Asfalto y Asfalto + Látex



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

**Interpretación.-** Se observa el comportamiento que tuvo las mezclas asfálticas con los diferentes porcentajes de asfalto y asfalto + látex, como se puede observar con el 5% de asfalto y el 1% de látex se obtiene un mayor flujo, superando así a las briquetas de asfalto sin polímero.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.2.1 Análisis de la correlación

Para el análisis de los resultados de la estabilidad y el flujo del asfalto, es necesario analizar cada uno de los resultados expresados en libras, la covarianza indicará el signo de la correlación, de esta dependerá si la correlación es positiva o negativa.

Para este proyecto se utilizará el método de Karl Pearson.

#### 4.2.1.1 Análisis de las variables.

##### Análisis de la estabilidad del asfalto

Los resultados de la estabilidad del asfalto son expresados en libras, los cuales representan la resistencia de la mezcla asfáltica. Los resultados se obtuvieron mediante una serie de ensayos que fueron realizados en el laboratorio.

Tabla 14: Identificación de la primera variable para la correlación. (Asfalto)

% DE ASFALTO	% DE LÁTEX	ESTABILIDAD (lb)
5	0	1423,01
5,5	0	1673,88
6	0	1882,56
6,5	0	1736,9
7	0	1637,48

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

##### Análisis de la estabilidad del asfalto + látex.

Los resultados de la estabilidad del asfalto + látex son expresados en libras, los cuales representan la resistencia que tiene la mezcla asfáltica mejorada con el polímero látex. Los resultados se obtuvieron mediante una serie de ensayos que fueron realizados en el laboratorio.

Tabla 15: Identificación de la segunda variable para la correlación. (Asfalto + Látex)

% DE ASFALTO	% DE LÁTEX	ESTABILIDAD (lb)
5	1	2305,74
5,5	1,5	2191,81
6	2	1773,16
6,5	2,5	1489,86
7	3	1506,91

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

#### 4.2.1.2 Coeficiente de Correlación Método de Karl Pearson.

##### Determinación del factor de Correlación (r)

Tabla 16: Coeficiente de correlación de las variables del asfalto y asfalto + látex utilizando el método de Karl Person.

N	X	Y	x	y	xy	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>
1	2305,74	1423,01	452,24	-247,756	-112046,16	204524,64	61383,0355
2	2191,81	1673,88	338,31	3,114	1053,51	114456,36	9,6969
3	1773,16	1882,56	-80,34	211,794	-17014,68	6453,87	44856,69
4	1489,86	1736,9	-363,64	66,134	-24048,70	132231,14	4373,705
5	1506,91	1637,48	-346,59	-33,286	11536,46	120121,86	1107,9578
	$\bar{x}$ 1853,496	$\bar{y}$ 1670,766			$\sum xy$ -140519,58	$\sum x^2$ 577787,867	$\sum y^2$ 111731,095

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

##### Coeficiente de Correlación

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

$$r = \frac{-140519,58}{\sqrt{(17757025)(14069026,2)}}$$

$$r = -0,553$$

#### 4.2.1.3 Interpretación del Coeficiente de la Correlación

El valor del Coeficiente de Correlación aplicando el método de Karl Pearson es de  $r = -0,55$  el coeficiente de correlación se encuentra dentro del rango (-0,4 a 0,69), por lo tanto la correlación es negativa moderada.

Tabla 17: Interpretación del Coeficiente de Correlación

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a 0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a 0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a 0,69	Correlación negativa moderada
-0,3 a 0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a 0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,1 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Fuente: M. Suarez, Correlación y Regresión Empleando Excel y Graph. Ibarra – Ecuador, 2014.

#### 4.2.2 Análisis de Costos

Para el análisis de costo se realizó por m<sup>3</sup> para obtener un valor aproximado en obra.

- Costo en m<sup>3</sup> de la Mezcla Asfáltica

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Asfalto Líquido	m3	1,25	62,29	77,86
Agregado Grueso	m3	1	20,82	20,82
Agregado Fino	m3	1	31,59	31,59
<b>TOTAL:</b>				130,27

- Costo en m<sup>3</sup> de la Mezcla Asfáltica + Látex

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Asfalto Líquido	m3	1,11	62,29	69,142
Agregado Grueso	m3	1	20,82	20,82
Agregado Fino	m3	1	31,59	31,59
Látex	m3	0,2	72,2	14,44
<b>TOTAL:</b>				135,99

#### 4.2.3 Interpretación de Resultados

- Ensayos realizados a los agregados.-

Los ensayos realizados a los agregados tanto grueso como fino, se verificó que estos son aptos para la elaboración de las briquetas de cemento asfáltico ya que se encuentra dentro de los límites permisibles y establecidos según las normas INEN correspondientes.

- **Ensayo realizado al Asfalto.-**

El ensayo que se realizó al Asfalto AC-20 permite obtener el valor real y necesario de la densidad para emplear en los cálculos correspondientes.

- **Ensayo Marshall.-**

Las muestras elaboradas con Asfalto y Látex alcanzaron y superaron la estabilidad y el flujo de las briquetas elaboradas solo con asfalto, dando mejores resultados y optimizando el asfalto, con la consecuencia de que a más proporciones de asfalto y látex se reduce significativamente la estabilidad y aumenta el flujo.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

Determinado el coeficiente de correlación de las variables de asfalto y asfalto + látex, utilizando el método de Karl Pearson se propone las siguientes hipótesis:

**Ho:** Mediante el uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex no se mejorará las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

**Hi** Mediante el uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex se mejorará las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

Para plantear resultados en la hipótesis se utilizará la Tabla 17, de tal manera obtenemos valores aceptables para la correlación:

**Hipótesis Nula:**

Si el coeficiente de Correlación es Positivo

$$H_0: r \leq 0,39$$

Si el coeficiente de Correlación es Negativo

$$H_0: r \geq -0,39$$

**Hipótesis Alternativa:**

Si el coeficiente de Correlación es Positivo

$$H_1: r \geq 0,39$$

Si el coeficiente de Correlación es Negativo

$$H_1: r \leq -0,39$$

### **Coefficiente de Correlación Negativo**

$$r = -0,553$$

$$H_0: r \geq -0,39$$

$$H_0: -0,553 \leq -0,39$$

Se comprueba que el coeficiente de correlación no es menor al establecido, de esta manera se rechaza la Hipótesis Nula.

### **Hipótesis Alternativa:**

$$H_i: r \leq -0,39$$

$$H_i: -0,553 \leq -0,39$$

Se comprueba que el Coeficiente de Correlación es menor al establecido, de esta manera se acepta la Hipótesis alternativa (Hi). Mediante el uso de polímeros elastoméricos de butadieno - látex se mejorará las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

El análisis de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos ejecutados nos permite dar veracidad a la hipótesis planteada. Comprobando que el empleo de látex en reemplazo de Asfalto nos proporciona mayor estabilidad y flujo mejorando así a la mezcla asfáltica al reducir asfalto.

El resultado de los análisis de costos para la elaboración de la mezcla asfáltica sin polímero da un valor de \$130,27 por m<sup>3</sup> y de la mezcla asfáltica + látex da un valor de \$135,99 por m<sup>3</sup>, obteniendo como resultado un valor económico superior a la del asfalto tradicional.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

1. Los ensayos realizados a los agregados tanto gruesos como finos se las realizó bajo las especificaciones de la norma INEN 696 y los límites que indica la norma ASTM C33, la cual indica la calidad de los agregados para ser usados en la mezcla asfáltica. Se demostró que los agregados tanto grueso como fino están dentro de los límites según la norma ASTM C33, por lo que se pudo elaborar la briqueta en condiciones favorables.
2. El ensayo para determinar la densidad real del agregado grueso y fino según las especificaciones de la norma NTE INEN 856 cumple con las especificaciones para el cálculo de las briquetas obteniendo así un diseño óptimo según las normas establecidas.
3. El ensayo de resistencia al desgaste por abrasión realizada a los agregados según las especificaciones de la Norma INEN 860 debe de cumplir con un máximo permisible de un 40% de desgaste, cumpliendo así con un 23,52% de desgaste.
4. De acuerdo a los ensayos realizados en los laboratorios se determinó que se tiene una notable mejora en las propiedades mecánicas como en la estabilidad y en el flujo, por lo que se podría asegurar que los daños viales van a disminuir con la utilización de esta mezcla asfáltica más látex, debido a que se obtuvo una mayor estabilidad (mayor capacidad de soporte) y un flujo mayor (mayor deformación), esto permite a que no se fisure la vía ya que se posee altas deformaciones por el flujo alto.

5. La mezcla modificada óptima de esta investigación experimental quedó constituida en un 55% de agregado grueso, 45% de agregado fino, 5,5% de asfalto y 1,5% de látex.
6. Se determinó que porcentajes de adición de polímeros mayores al 2% no muestran resultados favorables, ya que disminuye considerablemente la estabilidad y aumenta notablemente el flujo.
7. De acuerdo al ensayo rice se determinó la gravedad específica teórica máxima de cada porcentaje de asfalto y de asfalto + látex obteniendo resultados favorables y casi similares para el cálculo respectivo.
8. Mediante el análisis de costos se determinó que el asfalto modificado con látex supera el precio del asfalto tradicional. El valor del asfalto tradicional es de \$130,27 por m<sup>3</sup> y el costo del asfalto modificado con polímero es de \$135,99 por m<sup>3</sup> resultando una diferencia de \$5,72. Pero gracias a la utilización de asfalto + látex nos garantiza un beneficio mayor en la vida útil de la vía debido a que nos proporciona mayor estabilidad y mayor flujo, esto permite que al deformarse la vía se reducen las fisuras garantizando una vía en excelentes condiciones por el valor a pagar.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar los respectivos ensayos a los agregados tanto grueso como fino los cuales se va a proceder a realizar las briquetas, ya que estas propiedades varían dependiendo de su origen, y permitirá obtener valores reales de los materiales a utilizar.
2. Verificar que los ensayos realizados a los diferentes agregados cumplan según las normas INEN, ASTM Y AASHTO, controlando los resultados estén dentro de los límites respectivos.
3. Durante la preparación de la muestra controlar la temperatura tanto de los agregados, como del asfalto ya que debe de estar a una temperatura de 160 a 180 °C si se deja enfriar la mezcla asfáltica se debe rechazar y elaborar una nueva muestra a la temperatura adecuada.
4. Durante la preparación de las briquetas compactar adecuadamente, dando los golpes indicados según el tráfico requerido. Dar el mismo número de golpes a ambas caras de la briketa. Mientras mayor sea el número, más altas serán las densidades obtenidas y menor el contenido de asfalto requerido.
5. Desmoldar las briquetas al haber transcurrido por lo menos cuatro horas, para evitar que las briquetas se disgreguen. El baño de agua debe estar a una temperatura de 60 °C.
6. El látex es un derivado del caucho por lo cual este polímero se lo puede adquirir por m<sup>3</sup> en diferentes industrias de caucho ya que es un material reciclado.
7. Al ensayar las briquetas tener calibrado adecuadamente los equipos Marshall para obtener los resultados adecuados. Y colocar la carga a la velocidad normalizada.
8. En el caso de asfalto más látex se recomienda no usar un porcentaje mayor que el 2% de látex, ni asfalto mayor que 6% debido a que disminuye la estabilidad considerablemente.

## C. MATERIALES DE REFERENCIA

### 1. BIBLIOGRAFÍA

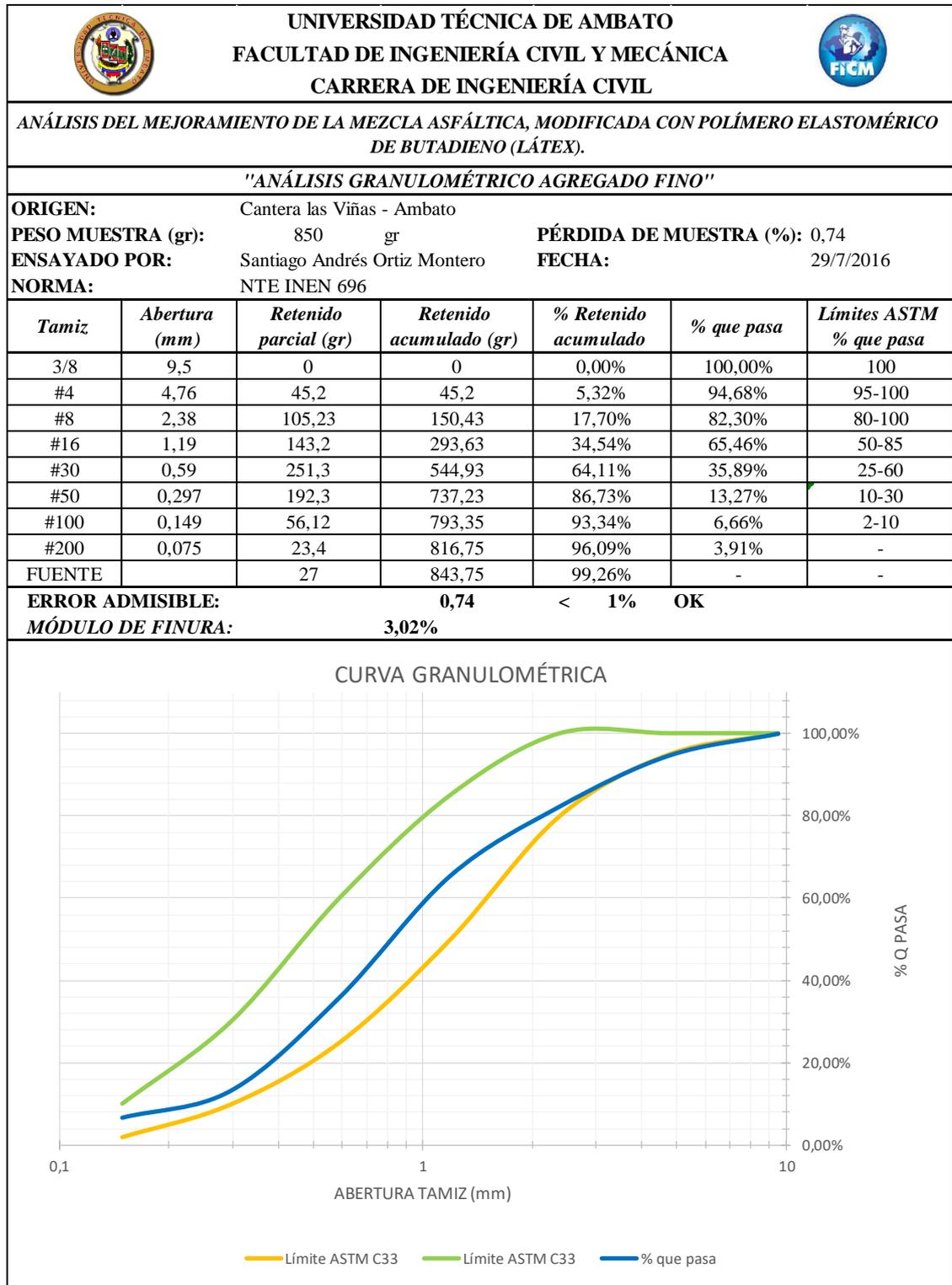
- [1] M. Alfonso, *Diseño de pavimento asfáltico, Ingeniería de pavimentos*, Universidad Católica de Colombia, Edición N° 3.
- [2] R. Marcela, “*Tipos de Polímeros*”, *Pavimentos con Polímeros reciclado*, Ingeniería de Antioquia, 2011.
- [3] J. Jiménez, *Mejoramiento de Asfalto y la mezcla Asfáltica con Nanotubos de Carbono*, Bogotá D.C., 2012
- [4] L. Martínez, “*Ensayo Marshall*”, *Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y caucho que son utilizados en la elaboración del calzado*, N°1, 2014
- [5] C. Álvarez, *Avances en pavimentos, Ciencia e ingeniería de los materiales*, 2010.
- [6] F. Sánchez, “Manual de laboratorios de pavimentos”, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 1988.
- [7] J. P. Wauquier, “*El Refino del Petróleo, Petróleo crudo, Productos Petrolíferos*”, *Esquemas de Fabricación Vol. 1*, Editorial S.A. Madrid. 2004.
- [8] L. Calle, “*Análisis Cromatográfico del Asfalto producido en la Refinería Estatal de Esmeraldas*”, Trabajo de Grado Ingeniero Químico, Quito, 2012.
- [9] C. Montesino, P. Reyes, “*Comparación de módulos de rigidez por tensión indirecta utilizando método de compactación Marshall y Superpave para el diseño de mezclas asfálticas*”, Trabajo de grado Ingeniero Civil, Quito, 2010.
- [10] G. Krauss, “Modification of Asphalt Block Polymer of Butadiene and Styrene”, *Rubber Chem. Tech*, 1982.
- [11] P. Garnica, H. Delgado, “*Comportamiento de Mezclas Asfálticas Modificadas con SBR*”, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano, Documento Técnico, 2004.

- [12] J. Ruiz, L. Moreno, “*Estudio del comportamiento de asfaltos naturales en mezclas asfálticas fabricadas con asfalto AC-20 y granulometría MD-12.*”, Documento Técnico, 2014
- [13] E. Gómez, “*Asfaltos Modificados*”, Ingeniería de Pavimentos para Carretera, Bogotá, Colombia, Ágora Editores, 2002.
- [14] Norma INV E-748-07 Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.
- [15] N-CMT-4-05-001/06, “*Calidad de Materiales Asfálticos*”, Características de los materiales, Parte 4, 2006
- [16] INEN 1981, Productos derivados del petróleo Determinación Sayvol, Instituto Ecuatoriano de Normalización. Quito 1982.
- [17] ASTM C 136 (2001) Análisis Granulométricos de los agregados.
- [18] ASTM 128 (2004), Ensayo de Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica)
- [19] ASTM D-422-63 (R1998), Método de Análisis del Tamaño de las Partículas de Suelo.
- [20] INEN 860 (2010), Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.
- [21] INEN 856 (2010), Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.
- [22] ASTM 3625 (2001), Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water.
- [23] ASTM D-70, Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method)
- [24] ASTM D-2041, Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures.

## 2. ANEXOS

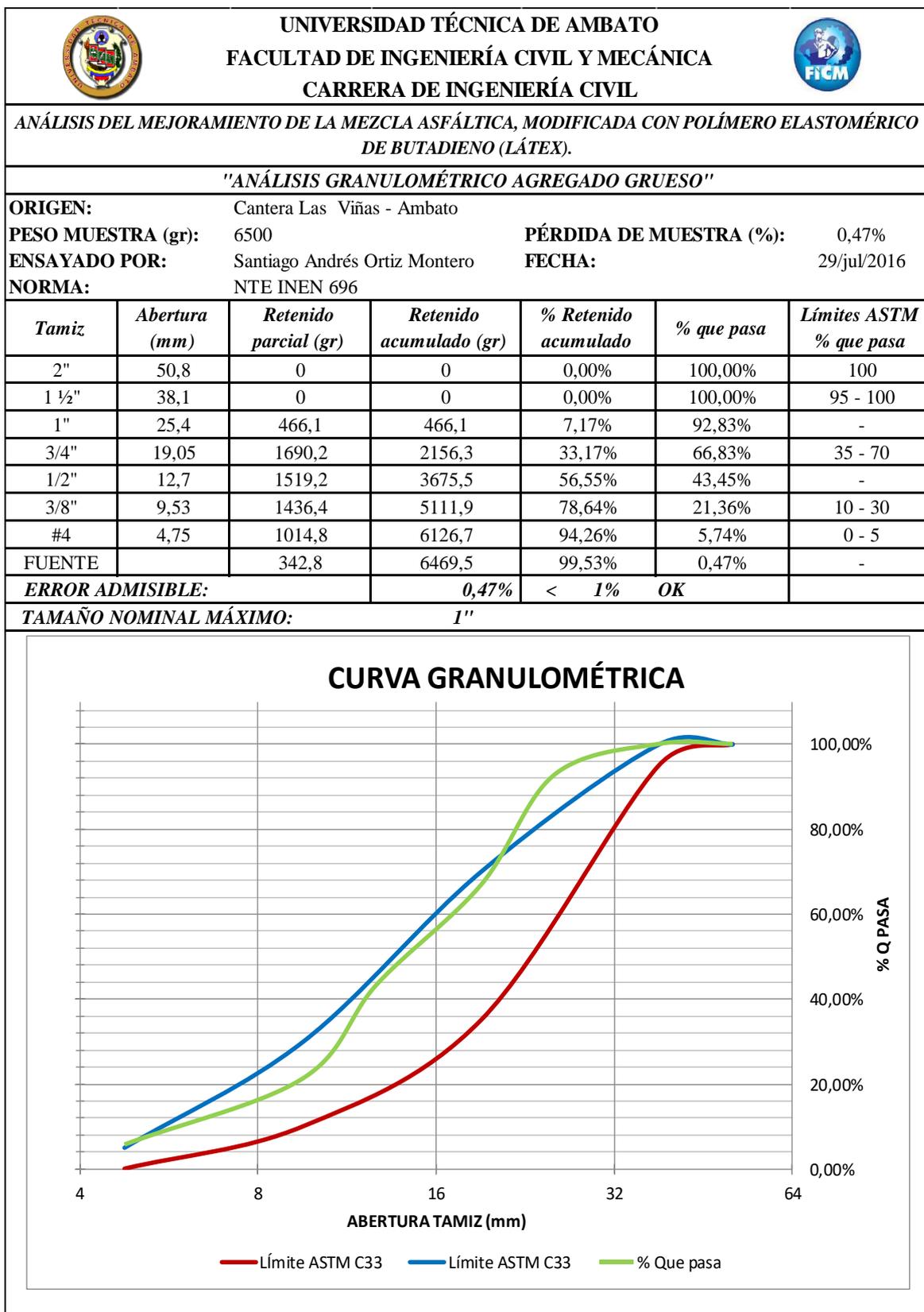
### 2.1 Tablas de los Ensayos Realizados al Asfalto y a los Agregados

Tabla 18: Granulometría del Agregado Fino



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 19: Granulometría del Agregado Grueso



Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 20: 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> 		
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).		
<i>"Resistencia al Desgaste por Abrasión"</i>		
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero	
<b>FECHA:</b>	05/jul/2016	
<b>MUESTRA:</b>	5000	gr
<b>NORMA:</b>	INEN 860	
Descripción	U	VALOR
Masa de la Muestra	gr	5000
Masa Retenida en el Tamiz N° 12 Después de 500 Revoluciones	gr	3824
Masa que Pasa el Tamiz N° 12	gr	1176
Porcentaje de Desgaste	%	23,52

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 21: Densidad Real del Agregado Fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Densidad Real del Agregado Fino"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	05/jul/2016		
<b>NORMA:</b>	INEN 856		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Masa del frasco (picnómetro)	m1	gr	152,80
Masa del frasco + agregado sss	m2	gr	202,60
Masa del frasco + agregado sss + agua	m3	gr	679,80
Masa del agua añadida (m3 - m2)	m4	gr	477,20
Masa del frasco + 500 cc de agua	m5	gr	649,60
Masa de 500cc de agua (m5 - m1)	m6	gr	496,80
Densidad del Agua (m6/500cc)	da	gr/cc	0,99
Masa del agua desalojada por el agregado (m6 - m4)	m7	gr	19,60
Masa del agregado (m2 - m1)	Msss	gr	49,80
Volumen de agua desalojada = Volumen de agregado añadido (m7/da)	Vsss	cc	19,73
<b>DENSIDAD REAL DE LA ARENA EN (Msss/Vsss)</b>	<b>DRA</b>	<b>gr/cc</b>	<b>2,525</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 22: Capacidad de Absorción del Agregado Fino

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).				
<i>"Capacidad de Absorción del Agregado Fino"</i>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero			
<b>FECHA:</b>	06/jul/2016			
<b>NORMA:</b>	INEN 856			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR	
Masa del recipiente (gr)	m1	gr	23,80	24,30
Masa del recipiente + muestra sss	m2	gr	149,55	143,80
Masa de la muestra sss	m3	gr	125,75	119,50
Masa del recipiente + muestra seca	m4	gr	147,40	141,30
Masa de la muestra seca	m5	gr	123,60	117,00
Capacidad de absorción	m6	gr	1,74	2,14
Capacidad de absorción promedio	da	gr/cc	1,938	

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 23: Densidad Real del Agregado Grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).				
<i>"Densidad Real del Agregado Grueso"</i>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero			
<b>FECHA:</b>	06/jul/2016			
<b>NORMA:</b>	INEN 857			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR	
Masa de la canastilla en el aire	m1	gr	1256,00	
Masa de la canastilla en el agua	m2	gr	1076,00	
Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	m3	gr	4722,00	
Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	m4	gr	3225,00	
Densidad real del agua	da	gr/cc	1,00	
Masa de la muestra SSS en el aire (m3 - m1)	m5	gr	3466,00	
Masa de la muestra SSS en el agua (m4 - m2)	m6	gr	2149,00	
Volumen real de la muestra (m5 - m6)/da	Vr	cc	1317,00	
Densidad real m5/vr	DR	gr/cc	2,632	

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 24: Capacidad de Absorción del Agregado Grueso

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 				
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).				
<i>"Capacidad de Absorción del Agregado Grueso"</i>				
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato			
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero			
<b>FECHA:</b>	06/jul/2016			
<b>NORMA:</b>	INEN 857			
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR	
Masa del recipiente (gr)	m1	gr	25,60	26,40
Masa del recipiente + muestra sss	m2	gr	153,40	155,60
Masa de la muestra sss	m3	gr	127,80	129,20
Masa del recipiente + muestra seca	m4	gr	151,10	153,2
Masa de la muestra seca	m5	gr	125,50	126,80
Capacidad de absorción	m6	gr	1,83	1,89
Capacidad de absorción promedio	da	gr/cc	1,863	

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero.

Tabla 25: Recubrimiento y Peladura

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).		
<i>"Recubrimiento y Peladura"</i>		
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero	
<b>FECHA:</b>	15/ago/2016	
<b>NORMA:</b>	ASTM-3625	
<b>Mezcla Asfáltica con el 5%, 5,5%, 6%, 6,5% y 7%</b>		
Descripción	U	VALOR
Recubrimiento	%	95
Peladura	%	5

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Tabla 26: Peso Específico del Asfalto

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).		
<i>"Peso Especifico del Asfalto"</i>		
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato	
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero	
<b>FECHA:</b>	17/ago/2016	
<b>NORMA:</b>	ASTM D-70	
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	VALOR
Masa del frasco (picnómetro) + agua	m1	68,93
Masa del frasco (picnómetro)	m2	37,76
(m1-m2)	m3	31,17
Peso del picnómetro + Cemento Asfáltico	m4	49,01
Masa del frasco (picnómetro)	m5	26,74
(m4-m5)	m6	22,27
Peso del picnómetro + Asfalto + Agua para llenar el picnómetro	m7	75,98
Peso del picnómetro + Cemento Asfáltico	m8	67,18
(m7-m8)	m9	8,80
(m3-m9)	m10	22,37
<b>Gravedad específica</b>	<b>m6/m10</b>	<b>0,996</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Tabla 27: Ensayo Rice Asfalto 5%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice)"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7407,80
Peso Frasco	m2	gr	2905,30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4108,80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1203,50
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8108,20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,392

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 5,5% de Asfalto:**

Tabla 28: Ensayo Rice Asfalto 5,5%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice)"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	5,5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406,30
Peso Frasco	m2	gr	2901,20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4098,30
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1197,10
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8099,30
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,375

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 6% de Asfalto:**

Tabla 29: Ensayo Rice Asfalto 6%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice)"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	6%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406,40
Peso Frasco	m2	gr	2906,10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4091,80
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1185,70
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8089,10
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,357

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 6,5% de Asfalto:**

Tabla 30: Ensayo Rice Asfalto 6,5%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice)"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	6,5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7408,10
Peso Frasco	m2	gr	2906,10
Peso muestra + frasco	m3	gr	4105,10
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1199,00
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8095,10
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,342

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 7% de Asfalto:**

Tabla 31: Ensayo Rice Asfalto 7%

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice)"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	7%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406,30
Peso Frasco	m2	gr	2904,30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4076,50
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1172,20
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8074,15
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,324

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 5% de Asfalto más 1% de Látex**

Tabla 32: Ensayo Rice Asfalto 5% + 1% de látex

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice) con Látex"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	26/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	5%		
<b>PORCENTAJE LÁTEX:</b>	1%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7407,80
Peso Frasco	m2	gr	2897,30
Peso muestra + frasco	m3	gr	4108,87
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1211,57
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8112,20
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,389

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 5,5% de Asfalto más 1,5% de Látex**

Tabla 33: Ensayo Rice Asfalto 5,5% + 1,5% de látex

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice) con Látex"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	26/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	5,5%		
<b>PORCENTAJE LÁTEX:</b>	1,5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7408,30
Peso Frasco	m2	gr	2905,90
Peso muestra + frasco	m3	gr	4075,11
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1169,21
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8084,97
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,374

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 6% de Asfalto más 2% de Látex**

Tabla 34: Ensayo Rice Asfalto 6% + 2% de látex

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice) con Látex"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	26/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	6%		
<b>PORCENTAJE LÁTEX:</b>	2%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7406,41
Peso Frasco	m2	gr	2917,20
Peso muestra + frasco	m3	gr	4098,84
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1181,64
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8087,11
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,359

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 6,5% de Asfalto más 2,5% de Látex**

Tabla 35: Ensayo Rice Asfalto 6,5% + 2,5% de látex

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice) con Látex"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	26/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	6,5%		
<b>PORCENTAJE LÁTEX:</b>	2,5%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7409,11
Peso Frasco	m2	gr	2909,16
Peso muestra + frasco	m3	gr	4115,12
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1205,96
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8099,62
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,340

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Resultados del Ensayo Rice con el 7% de Asfalto más 3% de Látex**

Tabla 36: Ensayo Rice Asfalto 7% + 3% de látex

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 			
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).			
<i>"Gravedad específica teórica máxima (Rice) con Látex"</i>			
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato		
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero		
<b>FECHA:</b>	26/ago/2016		
<b>NORMA:</b>	ASTM D-2041		
<b>PORCENTAJE ASF:</b>	7%		
<b>PORCENTAJE LÁTEX:</b>	3%		
DESCRIPCIÓN	NOMENC.	U	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	m1	gr	7407,81
Peso Frasco	m2	gr	2903,39
Peso muestra + frasco	m3	gr	4076,51
Peso muestra (m3-m2)	m4	gr	1173,12
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	gr	8075,89
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4-(m5-m1))	Gmm	gr	2,323

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- **Mezcla de Agregados con el 5% de Asfalto**

Tabla 37: Granulometría para la mezcla asfáltica (5% de Asfalto)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON EL 5% DE ASFALTO"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	22/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>5,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	68,4
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	513,0
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	399,0
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	114,0
#200	0,075	2 - 10		4%	45,6
Asfalto					60,0
<b>Total</b>					1200,0

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 5,5% de Asfalto

Tabla 38: Granulometría para la mezcla asfáltica (5,5% de Asfalto)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON EL 5,5% DE ASFALTO"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	22/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>5,5%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	68,0
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	510,3
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	396,9
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	113,4
#200	0,075	2 - 10		4%	45,4
Asfalto					66,0
<b>Total</b>					1200,0

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 6% de Asfalto

Tabla 39: Granulometría para la mezcla asfáltica (6% de Asfalto)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON EL 6% DE ASFALTO"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	22/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>6,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	67,7
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	507,6
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	394,8
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	112,8
#200	0,075	2 - 10		4%	45,1
Asfalto					72,0
<b>Total</b>					1200,0

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 6,5% de Asfalto

Tabla 40: Granulometría para la mezcla asfáltica (6,5% de Asfalto)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX). 					
<b>"GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON EL 6,5% DE ASFALTO"</b>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	22/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>6,5%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	67,3
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	504,9
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	392,7
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	112,2
#200	0,075	2 - 10		4%	44,9
Asfalto					78,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 7% de Asfalto

Tabla 41: Granulometría para la mezcla asfáltica (7% de Asfalto)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX). 					
<b>"GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS CON EL 7% DE ASFALTO"</b>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	22/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>7,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	67,0
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	502,2
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	390,6
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	111,6
#200	0,075	2 - 10		4%	44,6
Asfalto					84,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 5% de Asfalto + el 1% de Látex

Tabla 42: Granulometría para la mezcla asfáltica (5% Asfalto + 1% látex)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"Granulometría de los agregados con el 5% de asfalto y 1% de látex"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>5,0%</b>
<b>% de Látex Aplicado en la Mezcla</b>					<b>1,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	67,7
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	507,6
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	394,8
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	112,8
#200	0,075	2 - 10		4%	45,1
Asfalto					60,0
Látex					12,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 5,5% de Asfalto + el 1,5% de Látex

Tabla 43: Granulometría para la mezcla asfáltica (5,5% Asfalto + 1,5% látex)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"Granulometría de los agregados con el 5,5% de asfalto y 1,5% de látex"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>5,5%</b>
<b>% de Látex Aplicado en la Mezcla</b>					<b>1,5%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	67,0
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	502,2
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	390,6
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	111,6
#200	0,075	2 - 10		4%	44,6
Asfalto					66,0
Látex					18,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 6% de Asfalto + el 2% de Látex.

Tabla 44: Granulometría para la mezcla asfáltica (6% Asfalto + 2% látex)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"Granulometría de los agregados con el 6% de asfalto y 2% de látex"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>6,0%</b>
<b>% de Látex Aplicado en la Mezcla</b>					<b>2,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	66,2
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	496,8
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	386,4
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	110,4
#200	0,075	2 - 10		4%	44,2
Asfalto					72,0
Látex					24,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 6,5% de Asfalto + el 2,5% de Látex.

Tabla 45: Granulometría para la mezcla asfáltica (6,5% Asfalto + 2,5% látex)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"Granulometría de los agregados con el 6,5% de asfalto y 2,5% de látex"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>6,5%</b>
<b>% de Látex Aplicado en la Mezcla</b>					<b>2,5%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	65,5
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	491,4
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	382,2
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	109,2
#200	0,075	2 - 10		4%	43,7
Asfalto					78,0
Látex					30,0
<b>Total</b>					<b>1200,0</b>

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

- Mezcla de Agregados con el 7% de Asfalto + el 3% de Látex.

Tabla 46: Granulometría para la mezcla asfáltica (7 % Asfalto + 3% látex)

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</b> 					
ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX).					
<i>"Granulometría de los agregados con el 7% de asfalto y 3% de látex"</i>					
<b>ORIGEN:</b>	Cantera las Viñas - Ambato				
<b>ENSAYADO POR:</b>	Santiago Andrés Ortiz Montero				
<b>FECHA:</b>	24/ago/2016				
<b>MUESTRA:</b>	1200 gr				
<b>NORMA:</b>	ASTM - 422				
<b>% de Asfalto Aplicado en la Mezcla</b>					<b>7,0%</b>
<b>% de Látex Aplicado en la Mezcla</b>					<b>3,0%</b>
Tamiz (Plg)	Abertura (mm)	% pasa (Especificado)	Granulometría de diseño	% retenido	Peso del Material (gr)
3/4"	19,00	100	100%	0	0
1/2"	12,70	90 - 100	94%	6%	64,8
#4	4,75	44 - 74	49%	45%	486,0
#8	2,38	28 - 58	14%	35%	378,0
#50	0,30	5 - 21	4%	10%	108,0
#200	0,075	2 -10		4%	43,2
<b>Asfalto</b>					84,0
<b>Látex</b>					36,0
<b>Total</b>					1200,0

Fuente: Santiago Andrés Ortiz Montero

Tabla 47: Factor de corrección para la estabilidad

ESPESOR ( mm )	FACTOR	ESPESOR ( mm )	FACTOR	ESPESOR ( mm )	FACTOR
61,5	1.056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1.053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1.049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1.046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1.043	66,8	0,928	71,7	0,828
62,0	1.040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1.037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1.035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1.032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1.029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1.027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1.024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1.021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1.019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1.016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1.013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1.011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1.008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1.005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1.003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1.000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,1	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761

Fuente: Norma INV E-748-07

## 2.2 ANEXOS FOTOGRÁFICOS



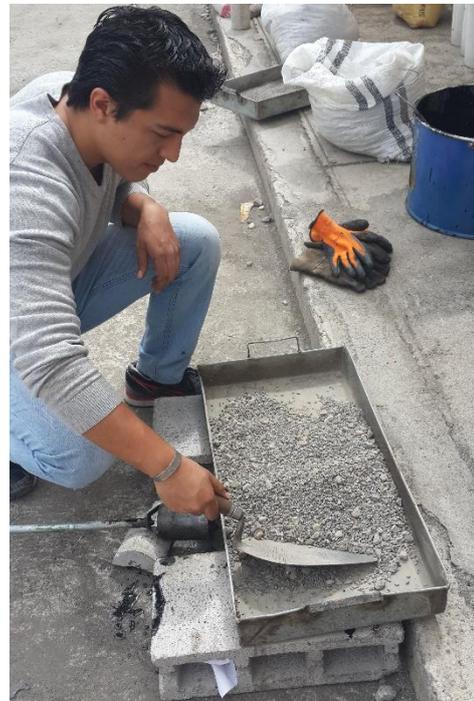
Granulometría del agregado - Tamizado



Porcentaje de los agregados



Agregado Fino Calentado – 180 °C



Agregado Grueso Calentado – 180 °C



Preparación de las briquetas de asfalto



Materiales para las briquetas de asfalto y látex



Mezclas asfáltica



Mezcla asfáltica más látex



Temperatura de la mezcla asfáltica 180 °C



Martillo para la compactación de las briquetas



Preparación del martillo para la compactación



Briquetas de asfalto más látex



Diámetro de la briqueta



Peso seco en aire de la briqueta



Peso sumergido de la briqueta



Peso saturado de la briqueta



Equipo Marshall



Briqueta ensayada en el equipo Marshall



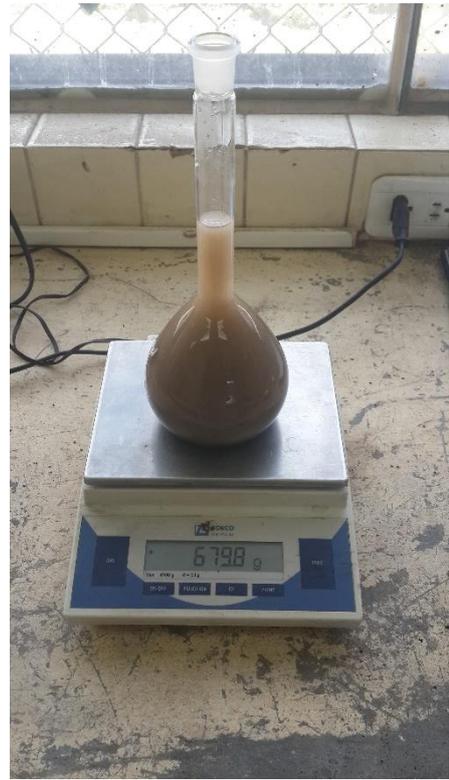
Peso de la canastilla – Densidades del agregado grueso



Peso de la canastilla más agregado grueso.



Peso del picnómetro más agregado fino  
– Densidades del agregado fino



Peso del picnómetro más agregado fino  
más agua



Preparación de la máquina de vacíos –  
Ensayo RICE



Peso del recipiente más agregado más  
agua