



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO  
CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

CHAMBA GONZAGA FÁTIMA GEOMAYRA

BENAVIDES SUÁREZ JONATHAN FERNANDO

**TUTOR:**

ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR

La Libertad, Ecuador

2019



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**“DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO  
CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

**CHAMBA GONZAGA FÁTIMA GEOMAYRA  
BENAVIDES SUÁREZ JONATHAN FERNANDO**

**TUTOR:**

**ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR**

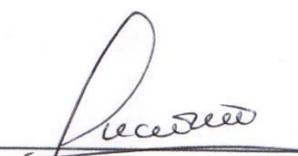
La Libertad, Ecuador

2019

## CERTIFICACIÓN

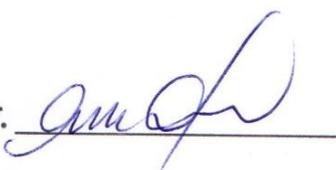
Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Fátima Geomayra Chamba Gonzaga** y **Benavides Suárez Jonathan Fernando** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

### TUTORA

f. 

**Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina**

### DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 

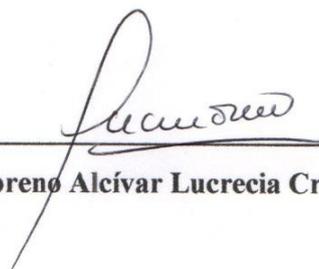
**Arq. Rubira Gómez Gilda, MSc.**

La Libertad, al quinto día del mes de Diciembre del año 2019

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación “DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO”, elaborado por los estudiantes CHAMBA GONZAGA FÁTIMA GEOMAYRA y BENAVIDES SUÁREZ JONATHAN FERNANDO , egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingenieros Civiles, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

**TUTOR**

f. 

**Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina**

La Libertad, al quinto día del mes de Diciembre del año 2019

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Chamba Gonzaga Fátima Geomayra y Benavides Suárez Jonathan Fernando.**

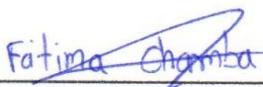
DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, “**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO**” previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, al quinto día del mes de Diciembre del año 2019

### LOS AUTORES

f.   
**Chamba Gonzaga Fátima Geomayra**

f.   
**Benavides Suárez Jonathan Fernando**

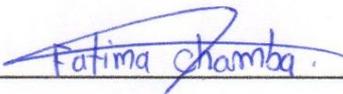
## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Chamba Gonzaga Fátima Geomayra y Benavides Suárez Jonathan Fernando.**

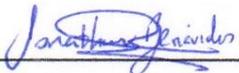
Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho triturado de neumático reciclado**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, al quinto día del mes de Diciembre del año 2019

### LOS AUTORES

f.  \_\_\_\_\_

**Chamba Gonzaga Fátima Geomayra**

f.  \_\_\_\_\_

**Benavides Suárez Jonathan Fernando**



Oficio, UPSE LAB-048-2019

La Libertad, 26 de septiembre de 2019

**CERTIFICADO ANTIPLAGIO**

**004-TUTOR LCMA LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR-2019**

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado **“Diseño de mezcla asfáltica en caliente incorporando caucho triturado de neumático reciclado.”**, elaborado por los estudiantes Benavides Suárez Jonathan Fernando con C.I. 0929018166 y Chamba Gonzaga Fátima Geomayra con C.I. 2450120148, egresados de la Carrera de Ingeniería civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de INGENIERO CIVIL, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 2 % de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.  
C.I.:0911164127  
DOCENTE TUTOR

Archivo. CC.

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro profundo agradecimiento A Dios por estar en cada momento de nuestra vida, por permitirnos concluir esta etapa y compartirla con las personas que queremos y apreciamos.

A los profesionales que contribuyeron con sus experiencias, para llevar a cabo el presente trabajo de titulación.

A nuestra tutora Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg. por su contribución y apoyo incondicional, por su tiempo, ayuda y orientación en el desarrollo y culminación de nuestra Tesis.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en especial a la Facultad Ciencias de la Ingeniería, a nuestros docentes quienes en su gran mayoría supieron transmitirnos sus conocimientos, muchas gracias los recordaremos siempre.

Al Laboratorio de Suelo, Hormigones y Asfaltos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena y al Laboratorio de Suelo, Hormigones, Pavimento “INGEOTOP S.A.”, por habernos prestado sus instalaciones, por su colaboración activa en el desarrollo de la presente investigación y la supervisión en los ensayos realizados, ya que sus comentarios y sugerencias contribuyeron a enriquecer y complementar este trabajo.

A nuestros amigos y compañeros que nos brindaron su amistad sincera, en especial a Alberto Del Pezo Pozo, quien desinteresadamente nos contribuyó con su conocimiento en los buenos y malos momentos durante gran parte de nuestra etapa académica universitaria.

*Fátima Geomayra Chamba Gonzaga*

*Jonathan Fernando Benavides Suárez*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a Dios por haberme dado la sabiduría y la constancia para alcanzar una meta más, de las muchas que aún me quedan por cumplir.

A mi familia, especialmente a mis padres por haberme dado la vida, su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años, gracias a ello he logrado llegar a esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Mesías, Holger, Luis Chamba que siempre estuvieron junto a mí brindándome su apoyo y cariño, por haberme demostrado su apoyo de manera incondicional, a pesar de los obstáculos, siempre estuvieron alentándome para culminar mi carrera universitaria.

A mis amados sobrinos Steven, Edwards, Roosevelt, fuente de inspiración y motivación a ser un gran ejemplo para ellos, demostrándole que a pesar de los obstáculos podemos superarnos con esfuerzo y dedicación haciendo de nuestros sueños una realidad.

A mi compañero de tesis, por la paciencia, tiempo, dedicación y esfuerzo que ha dedicado para la elaboración de la presente Tesis.

***Fátima Geomayra Chamba Gonzaga***

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a Dios por día a día darme esas fuerzas y salud para poder seguir adelante, a mis padres Luis Benavides y María Suárez por darme la oportunidad de brindarme los estudios para así llegar de a poco a una carrera universitaria y que gracias a sus consejos, cariño, esfuerzo y sobre todo ese apoyo incondicional que sé que me siguen brindando hicieron posible que culmine con éxito ésta etapa más de mi vida.

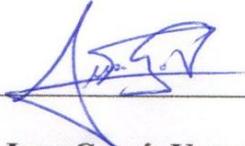
A mis hermanos, Jordán y Sebastián que han depositado en mí esa confianza y que saben que como hermano mayor puedo ayudarlos, tratando siempre de dar lo mejor de mí para el bienestar de ellos.

A mis abuelos por su cariño, constancia y motivación, han sido también como unos padres para mí, en especial le dedico a mi abuelita Francisca Barahona que desde pequeño siempre estuvo dispuesta a cuidarme y apoyarme en lo que más podía y no tengo duda que desde el cielo lo sigue haciendo.

A mi familia en general, que se mantiene unida y celebran de alguna forma cada triunfo o fecha especial de quienes conformamos la familia.

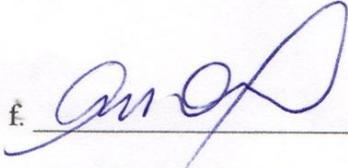
*Jonathan Fernando Benavides Suárez*

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

**Ing. Juan Garcés Vargas, Mgp.**

DECANO DE LA FACULTAD

f. 

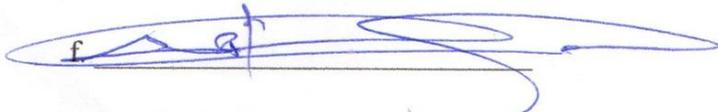
**Arq. Gilda Rubira Gómez, MSc.**

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

**Ing. Daniel Campoverde Campoverde.**

COORDINADOR O DOCENTE DEL ÁREA

f. 

**Ab. Víctor Manuel Coronel Ortiz.**

SECRETARIO GENERAL

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	VII
DEDICATORIA .....	VIII
DEDICATORIA .....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1.    Antecedentes.....	2
1.2.    Planteamiento del problema .....	4
1.3.    Justificación .....	5
1.4.    Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos .....	6
1.5.    Hipótesis.....	7
1.6.    Variables .....	7
1.6.1 Variable Independiente .....	7
1.6.2 Variable Dependiente .....	7
1.7.    Alcance .....	7
1.8.    Metodología.....	8

CAPÍTULO II .....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1.    Definición y Características de los Agregados.....	10
2.1.1 Tipos de Agregados Pétreos .....	10
2.1.2 Clasificación de agregados pétreos.....	11
2.1.3 Propiedades de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica .....	12
2.1.4 Ensayos Físicos y Mecánicos de los agregados pétreos que conforman una mezcla asfáltica. ....	17
2.2.    Resultados Obtenidos de los Ensayos Realizados a los Agregados.....	39
2.3.    Cemento Asfáltico .....	42
2.3.1 Definición .....	42
2.3.2 Técnicas de producción de asfalto.....	43
2.3.3 Propiedades del asfalto .....	44
2.3.4 Tipos de Asfalto.....	46
2.3.5 Ensayos Empíricos de Consistencia del Cemento Asfáltico. ....	47
2.4.    Análisis y Características del Caucho de Neumático. ....	54
2.4.1 Antecedentes.....	54
2.4.2 Definición. ....	55
2.4.3 Composición de los Neumáticos.....	56
2.4.4 Propiedades de los Neumáticos. ....	58
2.4.5 Afectaciones causadas por los Neumáticos Desechados. ....	59
2.4.6 Afectaciones Ambientales. ....	60
CAPÍTULO III.....	70
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA (ADICIONANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO). ....	70

3.1.	Mezcla Asfáltica.....	70
3.2.	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas. ...	71
3.2.1	Estabilidad.....	71
3.2.2	Durabilidad.....	72
3.2.3	Impermeabilidad.....	73
3.2.4	Trabajabilidad.....	74
3.2.5	Flexibilidad.....	75
3.2.6	Resistencia a la fatiga.....	75
3.2.7	Resistencia al Deslizamiento.....	76
3.3.	Método de Diseño.....	77
3.3.1	Diseño Hveen.....	78
3.3.2	Diseño Superpave.....	78
3.3.3	Diseño Marshall.....	78
3.4.	Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional utilizando el Método Marshall.....	79
3.4.1	Características y Propiedades volumétricas en una Mezcla Asfáltica en Caliente.....	80
3.5.	Especificaciones del Método de Diseño.....	88
3.5.1	Preparación de los agregados.....	89
3.5.2	Preparación de las probetas Marshall.....	89
3.6.	Diseño de la Mezcla Asfáltica Modificada con granos de caucho mediante el proceso de vía seca.....	93
3.7.	Análisis Comparativo entre la Mezcla Convencional y la Mezcla Modificada.....	97
3.8.	Análisis de Precios Unitarios (APU).....	102
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	108
	ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de los agregados para una mezcla asfáltica.....	18
Tabla 2. Cantidad de Material a Usar para el Ensayo Abrasión por Medio de la Máquina de los Ángeles.....	20
<i>Tabla 3. Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo Partículas Planas y Alargadas en Agregados Gruesos .....</i>	<i>21</i>
Tabla 4. Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo de Porcentajes de Caras Fracturadas.....	24
Tabla 5. Abertura de Tamices a Utilizar para el ensayo de Durabilidad de los Agregados .....	27
Tabla 6. Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo Durabilidad de los Agregados según su Fracción. ....	27
Tabla 7. Abertura de Tamices para determinar pérdida del material .....	28
Tabla 8. Masa mínima a utilizar para el Ensayo de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados .....	29
Tabla 9. Tamices de Control-Después del Ensayo de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados. ....	29
Tabla 10. Cantidad de Material a utilizar para el Ensayo Angularidad del Agregado Fino -Método A.....	36
Tabla 11. Cantidad de Material a utilizar para el Ensayo Angularidad del Agregado Fino -Método B.....	36
Tabla 12. Ensayos Realizados al Agregado Grueso (Piedra 3/4") con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.....	39
Tabla 13. Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.....	40
Tabla 14. Ensayos Realizados al Agregado Grueso (Piedra 3/8"- Cisco) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.....	41
Tabla 15. Ensayos al Cemento Asfáltico.....	43

Tabla 16. Clasificación de asfalto según dureza.....	48
Tabla 17. Ensayos Realizados al Cemento Asfaltico con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.....	53
Tabla 18. Propiedades del Caucho.....	55
Tabla 19. Componentes de una llanta.....	57
Tabla 20. Características del Granulo de Caucho.....	63
Tabla 21. Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento.....	72
Tabla 22. Causas y Efectos de baja Durabilidad .....	73
Tabla 23. Causa y Efectos de Mezclas Permeables .....	74
Tabla 24. Causa y Efecto de Mezclas con Mala Trabajabilidad.....	75
Tabla 25. Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga. ....	76
Tabla 26. Causas y Efectos de poca Resistencia al Deslizamiento .....	77
Tabla 27. Cantidad de Material para el Ensayo Rice.....	82
Tabla 28. Criterios Marshall para VMA.....	85
Tabla 29. Criterio de diseño de mezclas Marshall.....	88
Tabla 30. Dosificación de la mezcla.....	89
Tabla 31. Factor de corrección por altura de briqueta .....	92
Tabla 32. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto. ....	93
Tabla 33. Distribución Granulométrica del Caucho. ....	94
Tabla 34. Dosificaciones para los diferentes porcentajes de caucho.....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las partículas .....	22
Figura 2. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada. ....	25
Figura 3 . Dimensiones y Ubicación del Medidor Cilíndrico con el Embudo. 37	
Figura 4. Esquema de la Copa de Casagrande y Acanalador. ....	38
Figura 5. Ensayo de Penetración. ....	48
Figura 6. Ensayo de Punto de Ablandamiento del Asfalto.....	49
Figura 7. Ductilidad de una mezcla asfáltica.....	51
Figura 8. Ensayo para determinar el Punto de Inflamación.....	52
Figura 9. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Húmeda.....	65
Figura 10. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Seca.....	68
Figura 11. Esquema de Planta de trituración Mecánica de Neumáticos.....	69
Figura 12. Esquema de Planta de trituración Criogénica de Neumáticos.....	69
Figura 13. Sección Típica de una mezcla Asfáltica.....	70
Figura 14. Ilustración de los parámetros de diseño volumétricos. ....	87
Figura 15. Representación Gráfica de la Granulometría del Caucho. ....	94
Figura 16. Variación de la Estabilidad en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho. ....	98
Figura 17. Variación de los vacíos de aire en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho. ....	98
Figura 18. Variación de la gravedad Bulk en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho. ....	99
Figura 19. Variación del VMA en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.....	100
Figura 20. Variación del VFA en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.....	100
Figura 21. Variación del flujo en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.....	101

# **“DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO”.**

**Autores:** Chamba Gonzaga Fátima Geomayra

Benavides Suarez Jonathan Fernando

**Tutor:** Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina

## **RESUMEN**

Este trabajo de investigación describe el proceso seco empleado para obtener el asfalto modificado con granos de caucho proveniente de llantas de neumático reciclado. Para el diseño de las mezclas se utilizó el método Marshall, con el cual se podrá denotar los beneficios originados.

El caucho es obtenido de forma económica viable usando llantas desechadas, las cuales deben ser molidas hasta obtener tamaños apropiados, resolviendo de paso el problema ambiental que estas generan al finalizar su vida útil; este caucho recibe el nombre de grano de caucho reciclado o GCR. Este caucho reciclado puede ser adicionado a las mezclas asfálticas mediante dos procesos, mezclándolos con el ligante o proceso húmedo, y mezclándolo con los agregados o proceso seco en la que para fines de estudios se realizó este proceso.

Este diseño se lo realizó mediante proceso seco donde el GCR se adiciona directamente a la mezcla asfáltica, para este proceso se añadió el 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% de GCR en referencia al peso de los agregados, para evaluar las mezclas asfálticas que se efectuaron se realizaron pruebas de laboratorio como: gravedad específica máxima teórica (método RICE), densidad Bulk (peso unitario), Rotura Marshall y para evaluar el desempeño se realizó un análisis comparativo de la Estabilidad y el Flujo de la mezcla patrón con la modificada con los diferentes porcentajes de caucho, obteniendo parámetros aceptables para tráfico pesado con el 0,5% y el 1% de GCR.

**Palabras Claves:** Estabilidad, Análisis del Impacto Ambiental, Reciclado, Método Marshall.

# **“DESING ASPHALT HOT MIX INCORPORATING CRUSHED RUBBER OF RECYCLED TIRES”**

**Authors:** Chamba Gonzaga Fátima Geomayra

Benavides Suarez Jonathan Fernando

**Tutor:** Ing. Moreno Alcívar Lucrecia Cristina Mg.

## **ABSTRACT**

This research paper describes the dry process used to obtain the modified asphalt with rubber grains from recycled tire tires. The marshall method was used to design the mixtures, with which the benefits originated can be denoted.

The rubber is obtained economically viable using discarded tires, which must be ground to small dimensions, solving the environmental problem created at the end of its useful life; this rubber is called recycled rubber grain or GCR. This recycled rubber can be added to asphalt mixtures by two processes, mixing them with the aggregates or dry process in which for the purpose of study the process was performed.

This design is carried out by dry process where the GCR is added directly to the asphalt mixture, for this process 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% of GCR , are selected in reference to the weight of the aggregates, to evaluate the asphalt mixtures that will be evaluated in laboratory tests such as: theoretical maximum specific gravity (Rice Method), bulk density (unit weight), marshall breakage and to evaluate the performance a comparative analysis of the stability and flow of the standard mixture with the modification with the different percentages of rubber, obtaining acceptable parameters for heavy traffic with 0.5% and 1% of GCR.

**Keywords:** Stability, Environmental Impact Analysis, Recycling, Marshall Method.

# INTRODUCCIÓN

En el Ecuador los neumáticos desechados constituyen un grave problema medioambiental donde los principales inconvenientes ocasionados por éstos son su disposición final, la mayoría de los neumáticos fuera de uso se encuentran tirados en veredas, terrenos abandonados, vertederos clandestinos, etc. ocupando gran espacio en dichas áreas.

Esta acumulación de los neumáticos incrementa la posibilidad de incendios y la posible emanación de gases tóxicos estando expuestos al medio ambiente, además de contribuir a la propagación de roedores, insectos y otros posibles incrementos de infecciones.

Tomando en consideración todos estos problemas, una de las soluciones que se presentan para los neumáticos fuera de uso pasa necesariamente por la reutilización de su materia prima (caucho natural o sintético en un 60%) de una forma triturada incorporándola en la mezcla asfáltica en cantidades óptimas y bajo condiciones económicas aceptables, todo esto para evitar el elevado número de toneladas de neumáticos que se desechan anualmente.

La incorporación de caucho de neumáticos reciclados dentro de las mezclas asfálticas se los realiza mediante los procesos por vía húmeda que es cuando el caucho es mezclado directamente con el ligante o betún para luego añadir los agregados y por vía seca, cuando los granos de caucho se añaden como una parte de los áridos, reemplazando parte del agregado fino de la mezcla antes de la incorporación del ligante.

La presente investigación pretende estudiar el resultado de la incorporación de caucho de neumáticos desechados dentro de mezclas asfálticas en caliente utilizando la vía seca a través de ensayos en laboratorio y compararlas con una mezcla asfáltica convencional, pero sobre todo se busca la manera de reducir el impacto ambiental que los neumáticos producen una vez que dejan de utilizars

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Antecedentes

Es considerable la diferencia de la circulación vehicular en tiempos anteriores con la que podemos observar actualmente; se puede constatar que el movimiento vehicular ha venido ascendiendo notablemente y con ello de igual manera la generación y fabricación de llantas para estos medios de transporte también incrementan, provocando así que al final de su uso las llantas sean desechadas en sitios diferentes y al aire libre ocasionando a futuro un gran problema medioambiental debido a que éstas no pueden ser recicladas fácilmente siendo en la mayoría de los casos incineradas lo que aumentaría la contaminación atmosférica.

Al caucho reciclado se le denomina generalmente, grano de caucho reciclado (GCR) en la mayoría de los países latinoamericanos en donde se los ha utilizado. El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes; siendo uno de los principales la trituración a temperatura ambiente el cual consiste en una trituración mecánica, en los que diversos tamaños de granos de caucho van a depender de las etapas a las que se haya sometido y así cumplir con los estándares de calidad requeridos. (Fajardo Cachay & Vergaray Huamán, 2014, pág. xii)

Mediante este proceso se busca de esta forma incorporar una solución al problema ambiental que estos generan al cumplir su vida útil y evitar darle el uso inadecuado a este tipo de caucho. Los GCR pueden ser adicionados a las mezclas asfálticas mediante dos procesos, mezclándolo con el ligante o proceso húmedo, y mezclándolo con los agregados o proceso seco, estas maneras de incorporar caucho de llantas desechadas en las mezclas asfálticas sobre todo ayudarían a reciclar tales desechos, hasta permitiría mejorar las propiedades del pavimento de tal manera que se pueda aumentar su vida útil y reducir los costos de su mantenimiento.

Las diferentes investigaciones a nivel internacional demuestran que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos y mitigar impactos ambientales que genera el mal manejo de las llantas deshechas una vez que ya hayan cumplido su etapa de funcionamiento.

La adición de GCR para la modificación de las mezclas asfálticas, se traduce en una gran cantidad de beneficios, debido a las investigaciones que se han avanzado en los últimos años, han demostrado que este tipo de modificaciones son más durables con respecto a las convencionales, económicas a largo plazo pues se disminuyen los mantenimientos y aumenta su durabilidad, además contribuyen a la reducción de impactos negativos para el medio ambiente como lo son, la quema indiscriminada de las llantas desechadas dando paso a las emisiones de CO<sub>2</sub>, uno de los gases tóxicos más contaminantes del mundo causantes del calentamiento global, entre otros. (Díaz Claros & Castro Celis, 2017, pág. 8)

La utilización de caucho en mezclas asfálticas no es reciente, varios países como USA, Canadá, Brasil y España entre otros, han incorporado este tipo de mezclas en tareas de conservación y construcción de pavimentos. En Chile, el estudio de las mezclas asfalto caucho se ha venido investigando desde el año 1999 con el apoyo del MOP y del Instituto Chileno del Asfalto. (Ramírez Palma, 2006, pág. 2)

En España a partir del 2007 ya cuenta con el Plan Nacional de neumáticos reciclados, que prohíbe la admisión en vertedero de neumáticos y por su parte la Unión Europea ha publicado recientemente una legislación que impulsa al reciclado de los neumáticos. En el Perú, se manejan congresos donde se fomenta a investigar con productos reciclados para la mejora de mezclas asfálticas. Se escuchan pocos casos donde se hayan realizado estudios de mejoras en mezclas asfálticas, al utilizar neumáticos reciclados. (Fajardo Cachay & Vergaray Huamán, 2014, pág. xiii)

La incorporación de granos de caucho influye en la mejora significativa del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica respecto a la convencional; por lo que a partir de la evaluación de los ensayos realizados, el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada tiene los siguientes beneficios: presenta menor pérdida de resistencia por efecto del agua (Inmersión - Compresión y Tracción Indirecta), mayor resistencia a la deformación con valores de deformación permisibles (Marshall), mayor cohesión y resistencia al esfuerzo cortante (Compresión Diametral), mayor resistencia al ahuellamiento y menor daño por humedad (Rueda de Hamburgo), mejora el comportamiento elástico (Módulo Resilente), así como presenta similar comportamiento en la resistencia a la disgregación de la mezcla (Cántabro). Los cuales se traduce en mayor durabilidad ante agentes agresores e incrementa de la vida útil del pavimento. (Granados, 2017, pág. 176)

## **1.2. Planteamiento del problema**

En el mundo las llantas son parte principal para un medio de transporte permitiendo mediante autos, motos, buses, entre otros la movilización de muchos de nosotros a diferentes lugares o sitios, así mismo es oportuno mencionar que las llantas que se encuentran fuera de uso crean un problema medioambiental ya que son uno de los elementos que más se desechan en el mundo donde muchos de ellos terminan en los bordes de las carreteras, terrenos baldíos o cuerpos de agua lo que representa impactos negativos ya que un neumático al aire libre va liberando muy lentamente contaminantes tóxicos muy peligrosos. (Diaz Claros & Castro Celis, 2017, pág. 12)

Las dificultades que se presentan al gestionar el destino de donde irán todas las llantas contribuyen considerablemente en los problemas del medio ambiente ya que éstas no son biodegradables; es decir, que no se pueden descomponer y “tardarían 500 años en degradarse” (El Universo, 2018) y que debido a que están compuestos de varios elementos químicos como azufre, selenios, cloruros, zinc, óxidos de magnesio, arcillas, sílices, alquitrán, resinas, entre otros producen en la combustión gases como monóxidos de carbono y dióxidos de carbono este último se queda en la

atmosfera y no permite la salida del calor al espacio la cual hace que la temperatura de la tierra aumente, por su parte el monóxido de carbono disminuye la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre.

En los últimos años el estado de las vías del Ecuador se encuentra en un alto índice comprendido por pavimentos flexibles donde muchas de ellas ya presentan defectos dados por su vida útil reducida, en el mayor de los casos esta vida útil reducida es causada por unos bajos estándares de calidad desde la producción del cemento asfáltico, el espesor de su carpeta asfáltica, el envejecimiento prematuro y hasta la construcción total como tal del pavimento.

Sin embargo, al presentar altos flujos vehiculares y tengamos distintas condiciones de construcción en los diferentes puntos del Ecuador, esto hace que los pavimentos tengan especificaciones de diseño mucho más altas en cuanto a su capacidad de carga y que requieran materiales de mayor calidad que aumenten las capacidades de carga de los pavimentos.

En el país existen empresas que tratan este producto triturado y de separar sus componentes para poder darles usos alternativos para otros tipos de productos, pero son pocas las que hacen la labor tanto para la trituración como para su posterior adición en los agregados en el diseño de una mezcla asfáltica debido a la falta de gestión e interacción entre el estado y las grandes industrias.

### **1.3. Justificación**

En Ecuador anualmente se desechan 2'400.000 neumáticos, de las cuales pocas sirven para reencauche, la mayoría se destinan a botaderos, rellenos sanitarios y en el peor de los casos proceden a quemarlas, contribuyendo así al deterioro del medio ambiente.

Al existir pocas entidades que realicen el reciclado de las llantas y su posterior proceso de reutilización, una de las principales ideas para poder darle un nuevo uso a estos materiales es poder incorporarlo en partículas trituradas al diseño de una

mezcla asfáltica en caliente, el cual no solo evitará considerablemente la contaminación del medio ambiente sino también se le dará a la mezcla una propiedad diferente a la convencional.

Con el objetivo de comprobar las propiedades de durabilidad que previene el agrietamiento del cemento asfáltico, mejora de la adherencia en superficies mojadas para disminuir su incidencia en accidentes de tránsito, pero principalmente beneficiar al cuidado ambiental con la aplicación del caucho triturado de las llantas que han sido desechadas al final de su vida útil. Para ello es primordial realizar el análisis de la aplicación de la mezcla del caucho obtenido de llantas recicladas con el asfalto que nos ayuden a que se construyan pavimentos asfálticos con mayor durabilidad y por ende reduciendo los costos en su mantenimiento. (Vega, 2016, pág. 4)

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar una mezcla asfáltica incorporando caucho de neumáticos reciclados como agregado, analizando el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica mediante ensayos comparativos de la mezcla convencional con la mezcla modificada y así poder determinar el porcentaje adecuado para el diseño de la misma.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Obtener el porcentaje óptimo del asfalto y del grano de caucho triturado para el diseño de la mezcla.
- Preparar la mezcla asfáltica patrón y la mezcla adicionando llanta triturada para establecer la Estabilidad y Flujo Marshall.
- Realizar un estudio comparativo entre la mezcla convencional y la mezcla modificada con agregado de caucho de llanta reciclada.
- Proporcionar una alternativa para la disminución del impacto ambiental presentando otra forma de reciclaje de los neumáticos desechados.

## **1.5. Hipótesis.**

La ejecución en pavimentos flexibles de mezclas asfálticas modificadas con caucho de llanta triturada como agregado desarrollará una mejor vida útil a la mezcla en comparación con un diseño de mezcla asfáltica tradicional y también esta metodología contribuirá como una solución para el problema de contaminación ambiental que las llantas generan al finalizar su vida de uso.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1 Variable Independiente**

Adición de caucho de llantas trituradas variando su porcentaje en reemplazo parcial de los agregados para producir una mezcla asfáltica modificada.

### **1.6.2 Variable Dependiente**

Comportamiento de la mezcla asfáltica resultante de la incorporación del caucho triturado como agregado, comprobando con los parámetros de control del Método Marshall.

## **1.7. Alcance**

Este proyecto de investigación tiene como alcance determinar el porcentaje óptimo a utilizarse en el diseño de una mezcla asfáltica en combinación con llanta triturada provenientes de neumáticos, realizando ensayos descritos en las normas ASTM Y ASSTHO que deben cumplir los agregados pétreos a utilizarse.

El diseño de mezclas asfálticas en pavimentos flexibles en la Provincia de Santa Elena, está estrictamente ligada al uso de materiales pétreos como materia prima, ignorando la posibilidad de usar otros componentes que puedan ayudar a mejorar la calidad y reducir los costos de producción.

La innovación en materiales para carreteras a partir de los desechos no biodegradables es una preocupación mundial. Países como Estados Unidos, España y Francia han realizado trabajos con la utilización de llanta, vidrio y polietileno, incluso ahora se tiene normativa sobre su empleo, las cuales se han obtenido a partir de los resultados de investigación.

Nos enfocamos en este tema de investigación con el propósito de proporcionar un método ecológico ante la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales.

### **1.8. Metodología**

La presente investigación dispondrá del diseño de mezcla asfáltica que pone en práctica la mezcla convencional y la mezcla modificada con caucho, su aplicación es necesaria para realizar briquetas de asfalto común y briquetas de asfalto con adición de agregado de caucho en distintos porcentajes. Para este proceso:

“Los agregados deberán cumplir con los requisitos de calidad, cuyas pruebas están indicadas en la subsección 811-3 (MOP - 001-F, 2002). La granulometría será comprobada mediante los ensayos INEN 696, que se efectuarán sobre muestras tomadas en sitio de los agregados debidamente mezclados antes de añadir el asfalto y la mezcla asfáltica deberá cumplir con la formula maestra de obra indicada en el numeral 405-4.05.1”. (MOP - 001-F, 2002, págs. IV-89 ).

Para la elaboración de la mezcla con caucho en laboratorio, no difiere en gran medida del método empleado para una mezcla convencional sin caucho y son las siguientes:

- Determinar el lugar para la obtención de los materiales y su posterior empleo para el diseño de la mezcla asfáltica.
- Preparar la granulometría de los agregados pétreos.
- Establecer las proporciones de caucho triturado a utilizar en la mezcla de diseño.
- Mezclar los materiales con la cantidad de caucho que corresponda.
- Agregar el asfalto previamente calentado a la temperatura de mezclado, a la mezcla de los materiales con caucho y mezclarlos.

- Colocar la mezcla asfáltica por un periodo de tiempo en horno, cuyo tiempo y temperatura serán definidos con anterioridad.
  
- Retirar la mezcla del horno y remover el material.
  
- Compactar la mezcla caliente en moldes Marshall y la compactación se llevará a cabo con 75 golpes del martillo Marshall, por ambos lados de la probeta.
  
- Dejar reposar por 24 horas antes de extraer las probetas del molde tanto para las muestras del diseño convencional como también para las muestras modificadas con el caucho triturado.
  
- Análisis e interpretación de los resultados que se obtengan de las pruebas y así determinar las propiedades Marshall de la mezcla asfáltica con caucho triturado para su posterior comparación con la mezcla convencional.

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Definición y Características de los Agregados

Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los firmes de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos. (Alejandro, 2004)

#### 2.1.1 Tipos de Agregados Pétreos

Los diferentes tipos de agregados pétreos se lo determinan de acuerdo a su procedencia y a las técnicas que se emplean para su explotación, y estos se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Agregados Naturales**

Son aquellos agregados que generalmente son empleados en su forma natural, es decir con muy poco o ningún proceso de explotación.

- **Agregados Triturados**

Son agregados que se adquieren mediante un proceso de trituración de distintas rocas de cantera, dentro de estos también incluyen todos los materiales de cantera que tengan propiedades físicas apropiadas (Alejandro, 2004).

- **Agregados Artificiales**

Son agregados considerados como subproductos que se obtienen mediante procesos industriales como las escorias o ciertos materiales provenientes de demoliciones y de reciclajes.

- **Agregados Marginales**

Son aquellos agregados que generalizan a todos los materiales que no cumplen las especificaciones estipuladas vigentes

### **2.1.2 Clasificación de agregados pétreos**

Los agregados pétreos que se encuentran inmersos en una mezcla asfáltica en caliente generalmente se clasifican de acuerdo a su origen siendo estos: agregados naturales, agregados procesados, agregados sintéticos.

- **Agregados Naturales**

Son aquellos agregados que regularmente son utilizados en su forma natural, es decir con poco o ningún tipo de procesamiento. Estos están compuestos por partículas originarias de procesos naturales de erosión y degradación siendo estos la acción del viento, el agua y los químicos. La grava y la arena son agregados naturales que mayormente son utilizados en una mezcla asfáltica. (Alejandro, 2004)

La clasificación de las gravas y arenas generalmente son de acuerdo a su origen. Los materiales provenientes de canteras a cielo abierto y utilizado sin que hayan sufrido alguna alteración en su proceso de explotación se los conoce como materiales en bruto, los agregados pétreos procedentes de las orillas de los afluentes se los cataloga como materiales de canteras de ríos. (Alejandro, 2004)

- **Agregados Procesados**

Son agregados que para ser usados han tenido que pasar por un proceso de trituración y tamizado. A los agregados procesados se los puede determinar de dos maneras: como gravas naturales que al someterse a trituración son adecuadas para estar inmersas en una mezcla asfáltica, y fragmentos de rocas explotadas de canteras que para reducir su tamaño y poder ser usadas en una carpeta de rodadura deber ser transportadas por plantas trituradoras. De la calidad de roca que será extraída de cantera se determinará la calidad del agregado procesado que será utilizado en mezclas asfálticas en caliente.

- **Agregados Sintéticos**

Los agregados sintéticos son aquellos que resultan de procesos físicos o químicos de los materiales, estos agregados no existen en la naturaleza. Algunos resultan como subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales y de fragmentos de roca caliza a altas temperaturas, otros se obtienen mediante el procesamiento de materias primas.

### **2.1.3 Propiedades de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica**

En una carpeta asfáltica densamente graduada de una mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 y 95 por ciento en peso, de la mezcla asfáltica. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además, de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para ser considerado apropiada para un pavimento asfáltico de buena calidad. (Alejandro, 2004) Estas propiedades son:

- ✓ Gradación y tamaño máximo de la partícula
- ✓ Limpieza
- ✓ Dureza
- ✓ Forma de Partícula
- ✓ Textura de la Superficie
- ✓ Capacidad de Absorción
- ✓ Afinidad con el Asfalto

- **Gradación y tamaño máximo de la partícula**

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas está presente en ciertas proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. es necesario entender cómo se mide el tamaño de la partícula y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones. (Alejandro, 2004).

#### ✓ **Tamaño Máximo de la Partícula**

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

##### **a) Tamaño Máximo Nominal de partícula**

Designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices

##### **b) Tamaño Máximo de la Partícula**

Generalmente, es el tamiz con abertura más grande que el del tamaño máximo nominal de la partícula, mediante el cual pasa el 100 por ciento de las partículas del agregado

##### ○ **Limpieza**

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla, partículas blandas, terrones de arcillas) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales puede afectar desfavorablemente al comportamiento en una mezcla asfáltica.

La limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser lavada es comparado con su peso después de ser lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0,075 mm (N°200). El ensayo de equivalente-arena (ASTM D 2419-95) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcillas en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz de 4,75mm (N°4) (Alejandro, 2004)

- **Dureza.**

Los materiales que generalmente se usan en una mezcla asfáltica deberán ser duros y resistentes al desgaste, como consecuencia del efecto pulido del tránsito y a los efectos abrasivos internos de las cargas repetitivas producidas por el tráfico vehicular. Los agregados pétreos deben ser aptos para resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación originada por la producción, colocación, compactación de la mezcla asfáltica en caliente y en la vida útil de la carpeta asfáltica.

El Método para determinar la resistencia al desgaste de un material pétreo que va a ser utilizado en una mezcla asfáltica en caliente se lo realiza aplicando el ensayo de abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles basándose en la norma (ASTM C-131). (Alejandro, 2004)

- **Forma de partícula**

La forma de partícula afecta la trabajabilidad en una mezcla asfáltica durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten al desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente son partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas por trituración.

Muchas de la mezcla asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y provienen generalmente de piedras o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria de la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales. (Alejandro, 2004).

Los ensayos para determinar la forma de la partícula por agregado son:

- ✓ Agregado Grueso (retenido en tamiz N°4): mediante los ensayos Angularidad del Agregado Grueso o Caras Fracturadas (ASTM D 5821-01) y Partículas Alargadas y Planas (ASTM D 4791-99).

- ✓ Agregado Fino (pasante en tamiz N°4): mediante el ensayo Angularidad del agrado Fino (ASTM C 1252-98)

- **Textura superficial**

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en la carpeta asfáltica debido a que evita las partículas se mueven unas respecto a otras, y a la vez suministra un coeficiente de alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas.

Las gravas naturales son comúnmente trituradas durante su procesamiento, debido a que en su mayoría contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica como la forma de partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción. (Alejandro, 2004)

- **Capacidad de absorción**

Todos los agregados pétreos son porosos, y algunos más que otros, la cantidad del líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad.

La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuara absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado.

Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso. (Alejandro, 2004)

- **Afinidad por el asfalto**

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapecanas tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestas al agua. Los agregados sílices (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

Existe un método para determinar la afinidad del asfalto con los agregados y este se comprueba mediante el Ensayo de Recubrimiento y Peladura de Asfalto en Agregados (ASTM D 3625) este ensayo se lo demuestra de manera visual y así se evidencia la pérdida de adherencia del asfalto con los agregados.

- **Gravedad Específica o Peso Específico.**

El peso específico de un agregado pétreo es por definición la relación entre el peso y el volumen del material, esta es una manera de expresar las características de peso y volumen de los agregados, ya que es indispensable en la producción de mezcla asfáltica porque el agregado y el cemento asfáltico son medidos, en la mezcla, conforme al peso.

Si el agregado pétreo es poroso, absorberá agua y cemento asfáltico en un porcentaje variable. Es importante tomar en cuenta tres gravedades específicas y así considerar las diferentes variantes consideradas en el diseño de la mezcla asfáltica, estas se describen a continuación:

- ✓ **Gravedad Específica Seca Bulk o Neta de los Agregados Pétreos**

La Gravedad Específica Seca Bulk excluye todos los poros de agua absorbida de una muestra.

### ✓ **Gravedad Especifica Aparente**

La Gravedad Especifica Aparente excluye el agua absorbida de los poros y espacios capilares, que se llenarían al ser saturada en agua la muestra.

### ✓ **Gravedad Especifica Efectiva**

La Gravedad Especifica Efectiva excluye el volumen de cemento asfáltico absorbido por los poros y espacios capilares de la muestra.

Esta propiedad se la determina mediante los ensayos:

- Agregado grueso (retenido tamiz N°4): mediante el ensayo “Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del Agregado (ASTM C 128)”.
- Agregado Fino (pasante tamiz N°4) mediante el ensayo “Determinación de Gravedad Especifica y Absorción de los Agregados (ASTM C 128)”.

#### **2.1.4 Ensayos Físicos y Mecánicos de los agregados pétreos que conforman una mezcla asfáltica.**

A continuación, se describen los ensayos de clasificación de los agregados pétreos requeridos por la norma, realizados a los materiales pétreos empleados como Piedra 3/4", Piedra 3/8"- Cisco, Arena.

##### ○ **Análisis granulométrico de los Agregados Pétreos (ASTM D 3515).**

El análisis granulométrico tiene como finalidad determinar la distribución de partículas que quedan retenidas en los tamices y así poder clasificarlas por rangos de tamaño a cada uno de los agregados que conforman una mezcla asfáltica, este ensayo se lo realiza mediante vía seca.

#### **Agregado Grueso**

Porción del material que pasa el tamiz INEN 4.74 (N°4). (M.O.P, 2002)

#### **Agregado Fino**

Porción del material que pasa el tamiz INEN 4.75mm(N°4) y es retenida en el tamiz INEN 75 micrones (N°200). (M.O.P, 2002)

Graduaciones Propuestas para Mezclas Cerradas (ASTM D 3515)										
Abertura de malla		Mezclas Cerradas								
		Tamaño máximo nominal del agregado								
in	mm	2in	1 1/2 in	1in	3/4in	1/2in	3/8in	N°4	N°8	N°16
		(50mm)	(37,5mm)	(25mm)	(19mm)	(12,5mm)	(9,5mm)	(4,74mm)	(2,36mm)	(1,18mm)
Graduaciones para mezclas de agregados (Grueso, Fino y Filler)										
2 1/2	63	100								
2	50	90-100	100							
1 1/2	37,5		90-100	100						
1	25	60-80		90-100	100					
3/4	19		56-80		90-100	100				
1/2	12,5	35-65		56-80		90-100	100			
3/8	9,5				56-80		90-100	100		
N°4	4,75	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100		100
N°8	2,36	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100		95-100
N°16	1,16							40-60		85-100
N°30	600um							35-65		70-95
N°50	300um	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40		45-75
N°100	150um							3-20		20-40
N°200	75um	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10		9-20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla										
		2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12

*Tabla 1. Composición de los agregados para una mezcla asfáltica*  
Fuente: Norma ASTM D 3515.

Para el diseño de una mezcla asfáltica, los agregados pétreos que la conforman deben ser limpios, durables, libre de materia vegetal y lo más importante deben tener una correcta granulometría de acuerdo al uso de la mezcla en el pavimento.

- **Abrasión por Medio de la Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-131).**

Este ensayo se emplea con el objetivo de determinar el porcentaje de desgaste de agregados grueso, cuando se someten a una fuerza abrasiva de impacto y fricción que son producidos por esferas de acero dentro de la Máquina de los Ángeles.

### **Equipos a utilizar**

- Máquina de los Ángeles
- Tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", N°4, N°8 y tamiz N°12 para determinar el desgaste.
- 12 esferas de acero
- Balanza, con precisión de 1.0 gr
- Horno a temperatura  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$

### **Preparación de la muestra**

- ✓ Según Tabla se escoge el método a utilizar y peso de la muestra del agregado que va a ser ensayada.
- ✓ Para esta tesis se utilizó el método B y C.
- ✓ Se separa la muestra de acuerdo a su granulometría, hasta alcanzar la cantidad de la muestra total.
- ✓ Se introduce la muestra junto con las esferas de acero en el tambor rotatorio y se ajusta la máquina de los Ángeles con las revoluciones de acuerdo con el método establecido, la máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica constante.

- ✓ Terminado el tiempo de rotación, se retira la muestra y se tamiza por la malla N°12 requiriendo el material retenido en dicho tamiz, se lava y se seca en el horno a una temperatura comprendida entre 110±5°C hasta masa constante y se determina el peso.

DIAMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar			
1 ½	37,50	1	25,00	1250 ± 25			
1	25,00	¾	19,00	1250 ± 25			
¾	19,00	½	12,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
½	12,50	¾	9,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
¾	9,50	¼	6,25			1250 ± 10	
¼	6,25	N°4	4,76			1250 ± 10	
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Numero de esferas				12	11	8	6
Numero de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

*Tabla 2. Cantidad de Material a Usar para el Ensayo Abrasión por Medio de la Máquina de los Ángeles*

*Fuente: Norma ASTM C-131*

### Cálculos:

El porcentaje de desgaste del material se calcula por la siguiente expresión:

$$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$$

Donde:

$W_{inicial}$  = Peso antes del ensayo

$W_{final}$  = Peso después del ensayo

- **Determinación de Partículas Planas y Alargadas en Agregados Gruesos (Norma ASTM D 4791).**

Este ensayo determina los porcentajes de partículas planas y alargadas existentes en el agregado grueso. Las partículas planas o alargadas son aquellas que tienen una relación ancho/espesor o longitud/ancho mayor que un valor especificado.

Para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas de una mezcla asfáltica en caliente la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12-MTOP) exige que el calibrador proporcional con una relación proporcional de 5:1 para mezclas asfálticas densas.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
Mm	in	Kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19	3/4	5	11
25	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50	2	20	44
63	2 1/2	35	77
75	3	60	130
90	3 1/2	100	220
100	4	150	330
112	4 1/2	200	440
125	5	300	660
150	6	500	1100

**Tabla 3. Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo Partículas Planas y Alargadas en Agregados Gruesos**

**Fuente: Norma ASTM D 4791**

### **Equipos a utilizar**

- Dispositivo de calibración proporcional
- Balanza con una precisión del 0,5% de la masa de la muestra.

### **Preparación de la muestra**

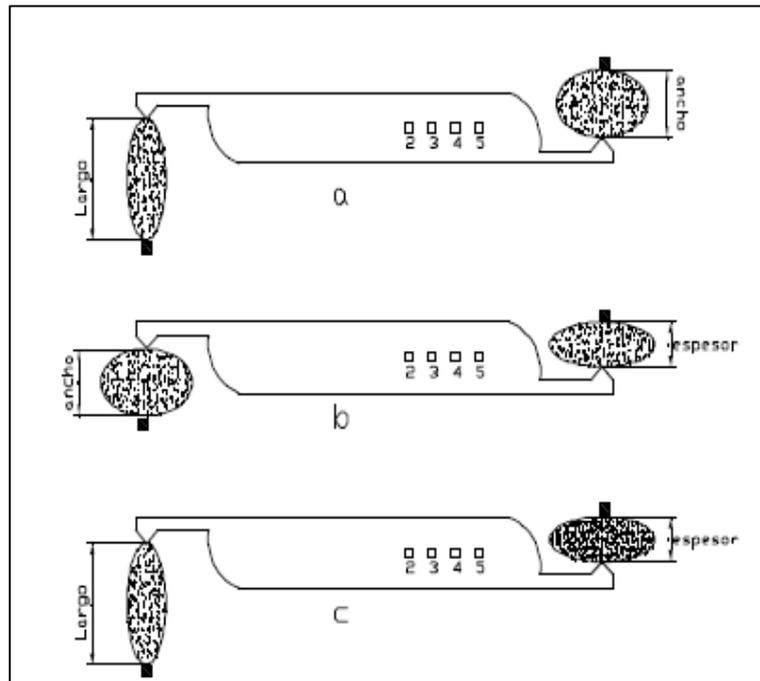
- ✓ Existen dos métodos para realizar este ensayo, mediante el peso del agregado o por conteo de partículas. Cuando se ensaya por peso la cantidad de material a ser utilizada en el ensayo se lo determina mediante el tamaño máximo nominal del agregado.
- ✓ Para esta tesis se realizó el ensayo mediante el conteo de partículas, según norma se seleccionan 100 partículas para cada fracción retenida.
- ✓ Una vez seleccionado el material se prueba una a una las partículas de cada fracción y se colocan según corresponda en tres grupos: 1) Planas; 2) Alargadas; 3) Ni planas ni alargadas.
- ✓ Se utiliza el calibrador proporcional mostrado en la Figura 1.

**Partículas planas.** - Se ajusta la abertura más grande del dispositivo al ancho de la partícula. La partícula es plana si esta puede ser colocada por su ancho dentro de la abertura más pequeña. (Figura 2b).

**Partículas Alargadas:** Se ajusta la abertura más grande a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si esta puede ser colocada por su ancho dentro de la abertura más pequeña. (Figura 2a).

**Partículas son planas y alargadas:** si la partícula orientada por su espesor puede pasar completamente por la abertura pequeña del calibrador. (Figura 2c).

**Partículas ni planas ni alargadas:** son aquellas que no cumplen con los procedimientos descritos.



**Figura 1. Clasificación de las partículas**

**Fuente: Norma ASTM D 4791**

Después que las partículas han sido clasificadas en los grupos descritos anteriormente, se determina la proporción de cada grupo en la muestra ya sea por conteo de partículas o por determinación de masa, según sea requerido.

### **Cálculos:**

Los índices de aplanamiento y alargamiento se calculan con las siguientes expresiones:

#### **Índice de Aplanamiento**

$$\hat{I}_{\text{Apl.}} = \frac{W_{\text{Part.Planas}}}{W_{\text{inicial}}} \times 100$$

#### **Índice de Alargamiento**

$$\hat{I}_{\text{Alag.}} = \frac{W_{\text{Part.Alarg.}}}{W_{\text{inicial}}} \times 100$$

Donde:

$W_{\text{inicial}}$  = Peso inicial antes del ensayo.

$W_{\text{Part.Planas}}$  = Peso de partículas planas.

$W_{\text{Part.Alarg.}}$  = Peso de partículas alargadas.

#### **○ Angularidad del Agregado Grueso o Porcentajes de Caras Fracturadas (Norma ASTM D 5821-01).**

Este ensayo comprende la determinación del porcentaje de caras fracturadas en masa o por conteo de partículas que conforman el agregado grueso. Una partícula cumple con el concepto de cara fracturada cuando posee una superficie angular, áspera o quebrada, permitiendo más adherencia de los agregados pétreos y aumentando los coeficientes superficiales formados por trituración por medios artificiales o por la naturaleza.

Una partícula de agregado que tenga al menos el mínimo número de caras fracturadas especificadas (generalmente una o dos).

También se considera fracturada cuando por lo menos un 25% de su superficie se encuentra fracturada por medios mecánicos, como se muestra en la figura 2.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
Mm	in	gr	Lb
9,5	3/8	200	0,5
12,5	1/2	500	1
19	3/4	1500	3
25	1	3000	6,5
37,5	1 1/2	7500	16,5
50	2	15000	33
63	2 1/2	30000	66
75	3	60000	123
90	3 1/2	90000	198

**Tabla 4. Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo de Porcentajes de Caras Fracturadas**

**Fuente: Norma ASTM D 5821 - 01**

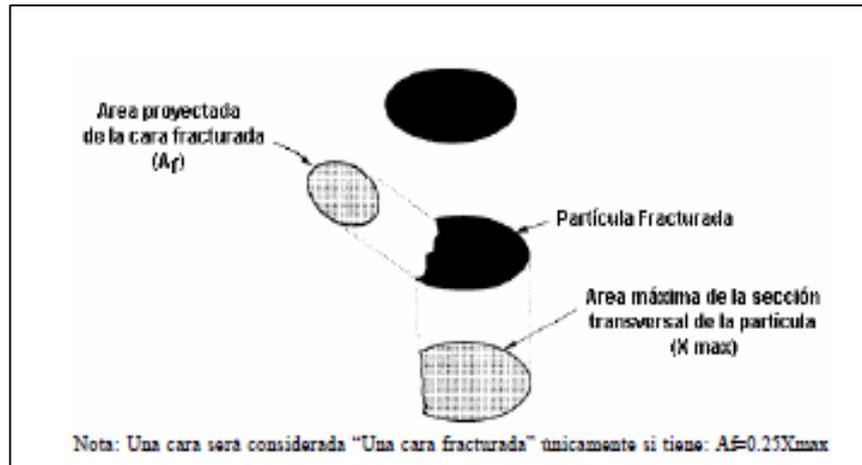
#### **Equipos a utilizar:**

- Balanza – Una balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 g.
- Tamices – Tamices (1½", 1", 3/4", 1/2" y 3/8").
- Espátula – o utensilio similar para ayudar a separar los agregados.

#### **Preparación de la muestra**

- ✓ Se determina la cantidad del material a ensayar dependiendo del tamaño máximo nominal de la muestra basándose en la tabla 6. Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 37.5 mm y 9.5mm (1½" y 3/8"). Descartar el resto.
- ✓ Se debe esparcir la muestra seca en una superficie suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula.
- ✓ Verificar que una partícula cumple el criterio de fractura, se sostiene la partícula de agregado de tal manera que la cara pueda ser observada directamente.

- ✓ Si la cara constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.
- ✓ Utilizando la espátula o una herramienta similar, se separa la muestra en tres categorías así: (1) partículas fracturadas, (2) partículas que no cumplan el criterio especificado y (3) partículas dudosas.



**Figura 2. Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.**  
**Fuente: Norma ASTM D 5821 – 01**

**Cálculo:**

El porcentaje de caras fracturadas se calculan con las siguientes expresiones:

$$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 10$$

Donde:

**P**= Porcentaje de partículas con caras fracturadas

**F**= Masa de partículas con caras fracturadas

**Q**= Masa de partículas cuestionables

**N**=Masa de partículas que no cumplan con el criterio de partículas fracturadas.

- **Ensayo de Determinación de Durabilidad de los Agregados (Norma ASTM C 88).**

Este ensayo se establece para estimar por medio de soluciones saturadas como lo es el sulfato de sodio, el grado de desintegración de los áridos gruesos y fino expuesto a los agentes atmosféricos que se presenten.

### **Equipos a utilizar**

- Tamices con aberturas cuadradas de los tamaños seleccionados en las Tablas 5 y 6 para la ejecución del ensayo.
- Recipientes para sumergir la muestra en la solución.
- Termómetro
- Balanza, con precisión de 0.1 gr.
- Horno a temperatura  $110 \pm 5^\circ$ .

### **Soluciones Necesarias.**

Para el desarrollo de la tesis en este ensayo se utilizó la solución de sulfato de magnesio; donde para conseguir la solución requerida se recomienda prepara 1400 gr como mínimo de sulfato de sodio por cada litro de agua y la solución de cloruro de bario preparando 100 gr por dos litros de agua destilada.

### **Preparación de la muestra.**

#### **Agregado Fino.**

Para el ensayo los agregados finos se deben lavar y secar al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  durante un periodo de 24 horas. La muestra debe comprender como mínimo 100 gr que se deberán obtener de cada una de las fracciones que se indican en los siguientes tamices:

PASANTE DEL TAMIZ	RETENIDO EN EL TAMIZ
0.60 mm (N° 30)	0.30 mm (N° 50)
1.18 mm (N° 16)	0.60 mm (N° 30)
2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)
4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)
9.50 mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)

**Tabla 5. Abertura de Tamices a Utilizar para el ensayo de Durabilidad de los Agregados**

**Fuente: Norma ASTM C 88**

### **Agregado Grueso.**

La muestra de agregado grueso para el ensayo debe estar previamente lavada y secada, el cual debe estar compuesto de materiales retenidos en el tamiz N ° 4 donde la muestra deberá contener la cantidad de acuerdo al tamaño señalado en la siguiente tabla:

FRACCIÓN	TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)				MASA
	Pasante		Retenido		
	mm	in	mm	in	gr
1	9.50	3/8	4.75	N°4	300 ± 5
	19.00	¾	9.50	3/8	1000 ± 10
2	material consistente de:		material consistente de:		
	12.50	½	9.50	3/8	330 ± 5
	19.00	¾	12.50	1/2	670 ± 10
	37.50	1 ½	19.00	3/4	1500 ± 50
3	material consistente de:		material consistente de:		
	25.00	1	19.00	3/4	500 ± 30
	37.50	1 ½	25.00	1	1000 ± 50
	63.00	2 ½	37.50	1 1/2	5000 ± 300
4	material consistente de:		material consistente de:		
	50.00	2	37.50	1 1/2	2000 ± 200
	63.00	2 ½	50.00	2	3000 ± 300
	75.00	3	63.00	2 1/2	7000 ±1000
	90.00	3 ½	75.00	3	7000 ±1000
	100.00	4	90.00	3 1/2	7000 ±1000
5	material consistente de:		material consistente de:		
	75.00	3	63.00	2 1/2	7000 ±1000
	90.00	3 ½	75.00	3	7000 ±1000
	100.00	4	90.00	3 1/2	7000 ±1000

**Tabla 6. Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo Durabilidad de los Agregados según su Fracción.**

**Fuente: Norma ASTM C 88**

- ✓ Las muestras de cada una de las fracciones separadas de agregado fino y grueso se pesan y se colocan por separado en los recipientes para luego ser sumergidas en la solución preparada durante un periodo mínimo de 16 horas y máximo de 18 horas, donde el nivel de la solución debe estar por encima unos 12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ ").
- ✓ Una vez cumplido el periodo de inmersión la muestra se retira de la solución y se la deja escurrir en un tiempo de  $15 \pm 5$  minutos para luego llevarla al horno; las muestras se secan al horno hasta masa constante y ésta se obtiene dejándolas en el horno durante un periodo de 4 horas luego se pesa sin enfriar en intervalos de 2 a 4 horas, durante este tiempo se deben realizar los pesos necesarios para considerar su masa constante que es cuando la pérdida de masa debe ser menor del 0.1 % de la masa de la muestra pesada anteriormente.
- ✓ Cuando se haya alcanzado la masa constante se deja enfriar la muestra y posteriormente se sumerge nuevamente en la solución; el procedimiento de inmersión es repetido cinco veces y se aplica el mismo proceso descrito anteriormente.
- ✓ Cuando el sulfato de magnesio haya sido eliminado por completo cada muestra se seca al horno ( $110 \pm 5$  °C) y luego se pesa. El agregado fino es tamizado sobre los mismos tamices que se usaron antes del ensayo mientras el agregado grueso sobre los tamices que se muestran a continuación, según el tamaño de partículas:

Tamaño del Agregado	Tamiz Empleado para determinar la pérdida
63 mm – 37.5 mm ( $2 \frac{1}{2}$ " – $1 \frac{1}{2}$ " )	31.5 mm ( $1 \frac{1}{4}$ " )
37.5 mm – 19 mm ( $1 \frac{1}{2}$ " – $\frac{3}{4}$ " )	16 mm ( $\frac{5}{8}$ " )
19 mm – 9.5 mm ( $\frac{3}{4}$ " – $\frac{3}{8}$ " )	8 mm ( $\frac{5}{16}$ " )
9.5 mm – 4.75 mm ( $\frac{3}{8}$ " – N°4)	4 mm (N°5)

**Tabla 7. Abertura de Tamices para determinar pérdida del material**  
**Fuente: Norma ASTM C 88**

Cada una de las muestras retenidas en los tamices se pesa de acuerdo a los tamices seleccionados y se realiza el cálculo respectivo expresado en porcentaje.

**Cálculo:**

$$\%Pérdida_{Total} = \frac{W_{antes} - W_{despues}}{W_{antes}} \times 100$$

- **Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados (Norma ASTM C 142-97).**

Este ensayo se refiere a la determinación aproximada de terrones de arcillas y partículas deleznables existentes en los agregados gruesos y finos.

Tamaño de las partículas entre los tamices	Masa Mínima de la Muestra (gr)
<b>AGREGADO GRUESO</b>	
4,75 - 9,5mm (N°4 - 3/8")	1000
9,5 - 19,00mm (3/8" - 3/4")	2000
19,0 - 37,5mm (3/4 - 1 1/2")	3000
Mayores de 37,5mm (1 1/2")	5000
<b>AGREGADO FINO</b>	
4,75-1,18mm (N°4 - N°16)	25

**Tabla 8. Masa mínima a utilizar para el Ensayo de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados**

Fuente: Norma ASTM C 142-97

Intervalos de tamaños de las Partículas que forman la muestra	Tamaño del tamiz para remover el residuo de terrones de arcilla y partículas deleznables
<b>AGREGADO GRUESO</b>	
4,75 - 9,5mm (N°4 - 3/8")	2,36 mm (N°8)
9,5 - 19,00mm (3/8" - 3/4")	4,75 mm (N°4)
19,0 - 37,5mm (3/4 - 1 1/2")	4,75 mm (N°4)
Mayores de 37,5mm (1 1/2")	4,75 mm (N°4)
<b>AGREGADO FINO</b>	
4,75-1,18mm (N°4 - N°16)	850 um (N°20)

**Tabla 9. Tamices de Control-Después del Ensayo de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados.**

Fuente: Norma ASTM C 142-97

**Equipo a Utilizar:**

- Balanza (Con aproximación del 0.1% de la masa de la muestra)
- Recipientes (Resistentes a la oxidación).
- Tamices
- Horno – Para secamiento, con una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ).

### **Preparación de la muestra.**

- ✓ Se determina la masa de la muestra de ensayo con la precisión especificada en la Tabla 8. Se extiende en una capa delgada del material pétreo cubriéndola con agua destilada y dejándola en remojo durante  $24 \pm 4$  horas.
- ✓ Se ruedan y aprietan individualmente las partículas, entre el pulgar y el índice, para tratar de romperlas en tamaños más pequeños.
  - No se deberán emplear las uñas para romper las partículas, ni presionarlas una contra la otra o contra una superficie dura.
- ✓ Las partículas que puedan romperse con los dedos en finos son removibles mediante tamizado en húmedo, estas se clasificarán como terrones de arcilla, o partículas deleznales.
- ✓ Una vez que todas las partículas identificables como terrones de arcilla y partículas deleznales hayan sido rotas, se separa el material de menor tamaño de la parte restante mediante tamizado en húmedo, usando el tamiz que se indica en la Tabla 9.
- ✓ Se efectúa el tamizado en húmedo haciendo circular agua sobre la muestra a través del tamiz, mientras éste se agita manualmente, hasta que haya sido removido todo el material más pequeño.
- ✓ Se remueven cuidadosamente del tamiz las partículas retenidas, se secan hasta masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Se saca la muestra del horno se dejan enfriar y se determina su masa con aproximación al 0.1% de la masa de la muestra.

### **Cálculo:**

Para determinar el porcentaje de terrones de arcillas y partículas deleznales existentes en los agregados gruesos y finos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100$$

**Donde:**

**P**= Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables Parcial

**M**= Masa antes del Ensayo

**R**= Masa después del Ensayo

○ **Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Grueso (Norma ASTM C 127).**

El procedimiento de este ensayo determina las gravedades específicas, saturada superficialmente seca, aparente y la absorción de una cantidad de partículas de agregados gruesos.

**Equipos a utilizar**

- Balanzas
- Canastilla metálica
- Recipiente de agua
- Dispositivo para la suspensión del recipiente con la muestra.

**Preparación de la muestra.**

- ✓ La muestra debe estar comprendida con material que sea retenido hasta el tamiz N°4, hasta obtener el material necesario para el ensayo donde el peso mínimo es de 2 kg, luego del proceso de tamizado lavar completamente para quitar el polvo que esté adherido a la muestra a ensayar. Secar la muestra al horno ( $110 \pm 5$  °C), se deja enfriar durante un periodo de 1 a 3 horas a temperatura ambiente luego se sumerge el agregado grueso en agua que esté también a temperatura ambiente durante  $24 \pm 4$  horas.
- ✓ Cuando se cumpla el periodo de inmersión sacar la muestra a ensayar del agua y secar con un paño absorbente que permita eliminar el agua superficial que ésta contenga, posteriormente se pesa la muestra que estará en su estado saturado superficialmente seco (SSS).

- ✓ A continuación, se coloca la muestra en la canastilla metálica y se determina sumergido en agua su peso, una vez encontrado su peso se seca la muestra en el horno ( $110 \pm 5$  °C) y luego se seca a temperatura ambiente para así poder determinar su peso.

**Cálculos:**

**Gravedad Específica Bulk:**

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

**Gravedad Específica Bulk Saturada superficialmente Seca:**

$$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$$

**Gravedad Específica Aparente:**

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

**Absorción:**

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$$

**Dónde:**

**A** = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno (gr).

**B** = Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco (gr).

**C** = Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua (gr).

○ **Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino (Norma ASTM C 127).**

Este ensayo detalla el proceso para determinar la gravedad específica, la aparente, la saturada superficialmente seca, así como también la absorción de los agregados finos.

**Equipos a utilizar:**

- Balanzas ( $\leq 0.1$  gr)
- Picnómetro (Matraz)
- Molde Cónico
- Pisón

**Preparación de la muestra.**

- ✓ Para la muestra de ensayo se pesa inicialmente 1 kg de agregado fino y luego se deja secar en el horno ( $110 \pm 5$  °C), una vez que la muestra se haya enfriado previamente se la sumerge en agua y se la mantiene allí durante  $24 \pm 4$  horas.
- ✓ Después del tiempo de ser sumergido se retira cuidadosamente el agua, se esparce el agregado fino sobre una superficie plana no absorbente donde luego se lo prepara para que alcance su condición saturada superficialmente seca que es determinada de la siguiente manera: se ubica el molde cónico con el diámetro mayor abajo y sujetándolo colocar la porción necesaria de agregado fino hasta que llene el cono, compactar ligeramente con el pisón el material dentro del cono con 25 golpes, el cual debe caer por acción de la gravedad y debe estar a una altura de unos 5 mm respecto al material.
- ✓ Se enrasa y se levanta el cono, si la muestra mantiene la forma del cono se procederá a seguir con el secado o si el material se seca más de lo normal se le agrega poca agua para luego realizar las pruebas necesarias hasta cuando el agregado fino se derribe poco, esto quiere decir que la prueba se ha cumplido y el material está en su condición saturada superficialmente seca.

- ✓ Luego llenar de agua una parte del picnómetro para después ingresar  $500 \pm 10$  gr de la muestra en su condición saturada superficialmente seca posteriormente llenar el picnómetro hasta la marca de calibración. Se debe agitar o invertir el picnómetro para eliminar las burbujas de aire que ésta pueda presentar, si se produce espuma se la retira con una toalla. A continuación, se lleva el picnómetro en agua fría para que alcance una temperatura de  $23 \pm 2$  °C, después se determina el peso total picnómetro con la muestra y agua.
- ✓ Se vacía todo el material en un recipiente y se deja secar en el horno ( $110 \pm 0.5$  °C), luego se deja enfriar y se procede a coger su peso.

### Cálculos

- **Gravedad Específica Bulk:**

$$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$$

- **Gravedad Específica Bulk Saturada superficialmente Seca:**

$$G_{ssb} = \frac{D}{B + D - C}$$

- **Gravedad Específica Aparente:**

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

- **Absorción:**

$$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$$

Dónde:

**A** =Peso en Aire del Agregado Secado al Horno (gr).

**B** = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua (gr).

**C**=Peso del Picnómetro Calibrado con el Agregado y Agua hasta la marca (gr).

**D** = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (gr).

○ **Determinación de la Angularidad del Agregado Fino (Norma ASTM C 1252- 98).**

Este ensayo se refiere al contenido de vacíos que se puede encontrar en una muestra de agregado fino suelto y sin compactar, cuando el contenido de vacíos es medido éste nos indica la angularidad, esfericidad y textura de la superficie de las partículas donde estas pueden ser comparadas con otros tipos de muestras de agregado fino determinado con el mismo ensayo.

**Equipos a utilizar:**

- Medidor Cilíndrico
- Embudo
- Soporte para el embudo
- Placa de vidrio
- Recipiente
- Espátula de metal
- Balanza

**Preparación de la muestra.**

Para el desarrollo de esta tesis se realizó el ensayo mediante los métodos de prueba A y B, donde la muestra a utilizar se lava sobre el tamiz N°100 o tamiz N°200 y luego se seca para posteriormente tamizar según el método que se ensaye.

**Método de Prueba A.** En este método se combinan diferentes fracciones de agregado fino que son obtenidas del tamizado que se muestran en la siguiente tabla:

Tamices		Peso
Pasante	Retenido	(gr)
2,36 mm (N°8)	1,18 mm (N°16)	44
1,18 mm (N°16)	0,60 (N°30)	57
0,60 (N°30)	0,30 (N°50)	72
0,30 (N°50)	0,15 mm (N°100)	17
TOTAL		190

**Tabla 10. Cantidad de Material a utilizar para el Ensayo Angularidad del Agregado Fino - Método A.**

**Fuente: Norma ASTM C 1252- 98**

**Método de Prueba B.** Para este método se preparan muestras de agregado fino individual, el cual contenga un peso 190 gr de acuerdo al tamizado de la siguiente tabla:

Tamices		Peso
Pasante	Retenido	(gr)
N°8	N°16	190
N°16	N°30	190
N°30	N°50	190

**Tabla 11. Cantidad de Material a utilizar para el Ensayo Angularidad del Agregado Fino - Método B.**

**Fuente: Norma ASTM C 1252- 98**

- ✓ Una vez obtenidas las muestras se realizó para el método A la mezcla de las diferentes fracciones con una espátula hasta tener una mezcla homogénea y para el Método B se lo realiza individualmente.
- ✓ Antes del ensayo se registra el peso del medidor cilíndrico vacío y luego se ubica tanto el recipiente y el embudo de acuerdo como se indica en la Figura 3, antes de que se vierta la muestra en el embudo se debe tapar la abertura con el dedo, se llena y se enrasa donde luego se retira el dedo para que permita que el material caiga libremente en el cilindro.
- ✓ Cuando el cilindro este lleno se retira el exceso de agregado de su alrededor y se enrasa la parte superior del medidor cilindro, se debe evitar que el cilindro con el material tenga vibraciones que hagan que éste se compacte, retirado el material sobrante se determina el peso del medidor cilíndrico con el material. Para cada prueba se debe registrar este peso.

### Cálculos:

#### Porcentaje de Vacíos del agregado fino (Método A):

$$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$$

#### Promedio del Porcentaje de Vacíos del agregado fino (Método B):

$$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$$

### Dónde:

V = Volumen del medidor cilíndrico (ml).

F= (Peso de medidor cilíndrico con muestra menos peso de medidor vacío)(gr).

Gs = Gravedad específica del agregado fino (gr).

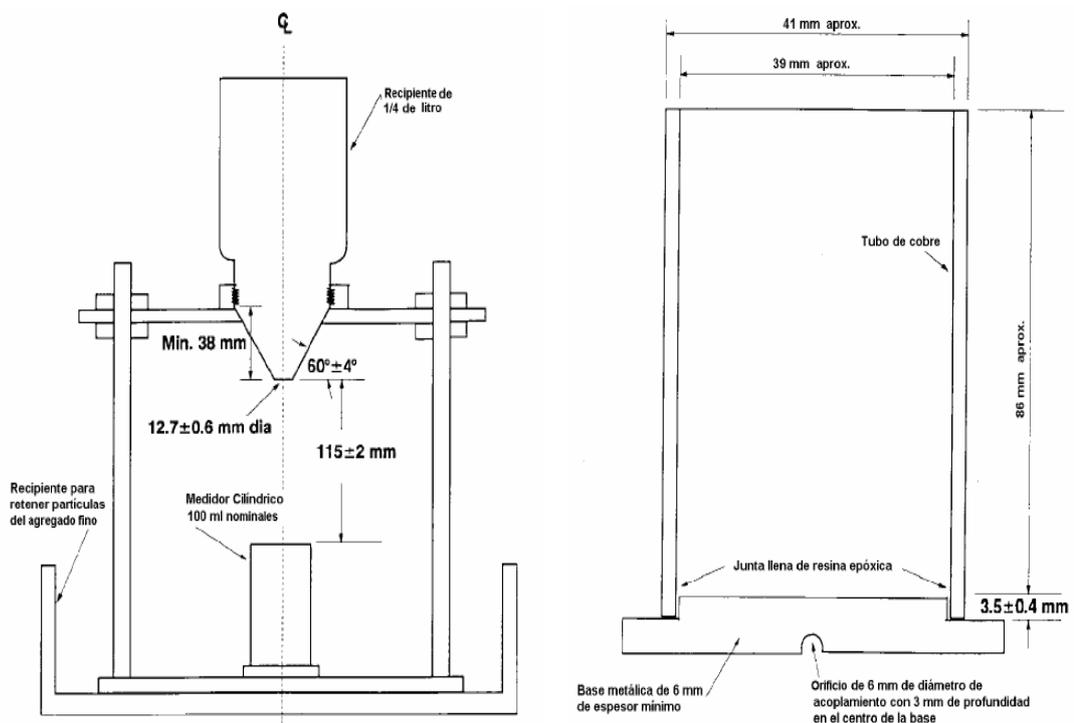


Figura 3 . Dimensiones y Ubicación del Medidor Cilíndrico con el Embudo.

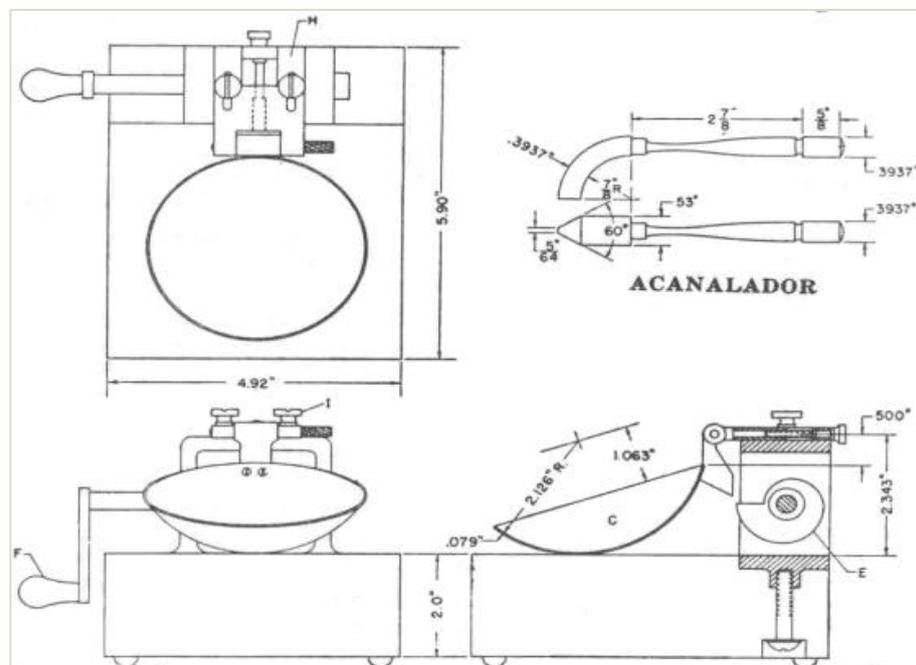
Fuente: Norma ASTM C 1252- 98

○ **Determinación del Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos (Norma ASTM D 4318-98)**

Este ensayo determina la consistencia de los suelos y agregados finos pasantes del tamiz 0,425 y 0,075mm (N°40 y N°200 exigidos por la NEVI-12) con diferentes cambios de humedad.

- **Limite Líquido (LL).** -Es el porcentaje de humedad que tiene el suelo a los 25 golpes en la cazuela de Casagrande (ver Figura 4).
- **Limite Plástico.** - Es el porcentaje de humedad que tiene el suelo, en donde cuando se realizan los rollos para determinar su plasticidad estos se desmoronan.
- **Índice de Plasticidad (IP):** Es la diferencia que existe entre el límite líquido y el límite plástico.

Cuando no se pueden determinar los límites líquido y plástico, el índice de plasticidad de la muestra a ensayar se determina como no plástico.



*Figura 4. Esquema de la Copa de Casagrande y Acanalador.*

**Fuente:** Laboratorio de Mecánica de Suelo, Universidad de Guayaquil, 1995

## 2.2. Resultados Obtenidos de los Ensayos Realizados a los Agregados.

### AGREGADO GRUESO (PIEDRA 3/4")

ENSAYOS		NORMA	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS OBTENIDOS			RESULTADOS PROMEDIO		OBSERVACIÓN
Granulometría		ASTM D 3515	Tabla 1 Composición de los agregados para una mezcla asfáltica	Ver Anexo 1- A.4			Ver Anexo 1- A.4		Cumple en la mezcla
Abrasión-Método C		ASTM C 131	≤ 40%	6,82%	7,01%		6,92%		Cumple
Índice de partículas	Aplanadas	ASTM D 4791	≤ 10%	7,08%	6,56%		6,82%		Cumple
	Alargadas			0,99%	1,07%		1,03%		Cumple
Angularidad del agregado grueso		ASTM D 5821	≥ 90%	98,90%	95%		96,99%		Cumple
Durabilidad del agregado		ASTM C 88	≤ 12%	2,88%			2,88%		Cumple
Adherencia del Agregado		ASTM 3625	> 95%	97%			97,00%		Cumple
Partículas Deleznables		ASTM 142	≤ 1%	1,55%			1,55%		No Cumple
Gravedad Específica	Bulk Seca	ASTM C 128	NO ESPECIFICA	2,793	2,791	2,751	2,779	gr/cm <sup>3</sup>	No Especifica
	S.S.S			2,826	2,824	2,794	2,815	gr/cm <sup>3</sup>	
	Aparente			2,888	2,887	2,875	2,883	gr/cm <sup>3</sup>	
Porcentaje de Absorción	1,181			1,183	1,565	1,310	gr/cm <sup>3</sup>		

Tabla 12. Ensayos Realizados al Agregado Grueso (Piedra 3/4") con sus Respective Especificaciones y Resultados.

Fuente: Autores

### AGREGADO FINO (ARENA)

ENSAYOS		NORMA	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS OBTENIDOS				RESULTADOS PROMEDIO	OBSERVACIÓN
Granulometría		ASTM D 3515	Ver Tabla 1 Composición de los agregados para una mezcla asfáltica	Ver Anexo 1- A.4				Ver Anexo 1- A.4	Cumple en la mezcla
Angularidad del Agregado Fino	Método A	ASTM D 4791	≥ 45%	31,779%	30,821%	31,404%	31,026%	31,26%	No Cumple
	Método B			35,513%	35,795%	35,883%	35,713%	35,73%	
Límites de Atterberg	Pasante N° 40	ASTM C 1252	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO				NO PLÁSTICO	Cumple
	Pasante N° 200		≤ 4%(IP)	NO PLÁSTICO				NO PLÁSTICO	Cumple
Equivalente de Arena		ASTM D 2419	≥ 50%	87,8%	80,0%	76,5%	-----	81,43%	Cumple
Partículas Deleznables		ASTM 142	≤ 1%	1,94%				1,94%	No Cumple
Gravedad Específica	Bulk Seca	ASTM C 128	NO ESPECIFICA	2,531	2,597	2,621	-----	2,583 $gr/cm^3$	No Especifica
	S.S.S			2,604	2,660	2,674	-----	2,646 $gr/cm^3$	
	Aparente			2,731	2,771	2,768	-----	2,757 $gr/cm^3$	
Porcentaje de Absorción	2,898			2,417	2,028	-----	2,448 $gr/cm^3$		

**Tabla 13. Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.**

Fuente: Autores

### AGREGADO GRUESO (PIEDRA 3/8" - CISCO)

ENSAYOS		NORMA	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS OBTENIDOS			RESULTADOS PROMEDIO	OBSERVACIÓN	
Granulometría		ASTM D 3515	Tabla 1 Composición de los agregados para una mezcla asfáltica	Ver Anexo 1- A.4			Ver Anexo 1- A.4	Cumple en la mezcla	
Abrasión-Método C		ASTM C 131	≤ 40%	21,28%	22,09%		21,69%	Cumple	
Índice de partículas	Aplanadas	ASTM D 4791	≤ 10%	7,59%	6,70%		7,15%	Cumple	
	Alargadas			1,44%	2,40%		1,92%	Cumple	
Angularidad del agregado		ASTM D 5821	≥ 90%	97,06%	96,18%		96,62%	Cumple	
Durabilidad del agregado		ASTM C 88	≤ 12%	2,88%			2,88%	Cumple	
Adherencia del Agregado		ASTM 3625	> 95%	96%			96,00%	Cumple	
Partículas Deleznables		ASTM 142	≤ 1%	1,63%			1,63%	No Cumple	
Gravedad Específica	Bulk Seca	ASTM C 128	NO ESPECIFICA	RET. N°4	2,568	2,538	2,552	2,579 <i>gr/cm<sup>3</sup></i>	No Especifica
				PAS. N°4	2,592	2,606	2,620		
	RET. N°4			2,653	2,633	2,648	2,652 <i>gr/cm<sup>3</sup></i>		
	PAS. N°4			2,646	2,660	2,674			
	RET. N°4			2,806	2,805	2,823	2,783 <i>gr/cm<sup>3</sup></i>		
	PAS. N°4			2,739	2,754	2,768			
Porcentaje de Absorción				RET. N°4	3,301	3,752	3,759	2,831 <i>gr/cm<sup>3</sup></i>	
				PAS. N°4	2,066	2,070	2,039		

**Tabla 14. Ensayos Realizados al Agregado Grueso (Piedra 3/8" - Cisco) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.**

**Fuente: Autores**

## **2.3. Cemento Asfáltico**

### **2.3.1 Definición**

El asfalto es un material para la pavimentación, de color negro, de consistencia semisólida a temperatura ambiente, líquido a temperatura de elaboración de mezclas asfálticas (entre 100°C y 160°C) en el que el principal componente es el bitumen que se obtiene como residuo de la refinación del petróleo Crudo. (García Burgos, pág. 32)

El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Como aplicación de estas propiedades el asfalto puede cumplir, en la construcción de pavimentos, las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. También mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

El cemento asfáltico es un componente de fuente natural en gran parte de los petróleos, en los que existe disolución. El petróleo crudo se destila para separar sus diversas fracciones y recuperar asfalto. Procesos similares producidos naturalmente han dado lugar a yacimientos naturales de asfalto, en algunos de los cuales el material se encuentra prácticamente libre de materia extrañas, mientras que en otros está mezclado con cantidades variables de minerales, agua y otras sustancias. (García Burgos, pág. 33).

#### **a.- Origen y Producción del Asfalto**

En el año 300 A.C, el asfalto se emplea exactamente en Egipto en los embalsamientos. Luego en 1802 D.C en Francia se emplea la roca asfáltica para la pavimentación de suelos, puentes y aceras.

Después en 1876 se construyó el primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D.C, con asfalto de lago importado. Hasta el año 1900, la mayoría del asfalto usado procedía de depósitos naturales. Por esa misma época se encontró que posteriormente del proceso de la refinación de algunos petróleos crudos, en las torres de destilación quedaba un residuo negro, pegajoso, semejante, al asfalto natural. (Garcia Burgos, pág. 33).

Se encontró que una sustancia era excelente conglomerante, y como su precio era menor que el asfalto natural, gradualmente llegó a ser de uso general. Ya para el año 1912, la cantidad de asfalto de petróleo utilizado, fue igual a la del asfalto natural. Actualmente, cerca del noventa y cinco por ciento (95%) de todo el asfalto procede de la refinación del petróleo (Garcia Burgos, pág. 33).

### **b.- Índice de calidad de los ligantes asfálticos**

Para identificar los indicadores de calidad de asfalto exigidos por MOP-001F-202, es necesario anexar la siguiente tabla.

ENSAYOS	60-70		85-100	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>Betún Original</b>				
Penetración (25°C,100gr, 5s),mm/10	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C	48	57	45	53
Índice de Penetración	-1,5	1,5	-1,5	1,5
Ductilidad(25°C,5cm/min), cm	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen),%	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C	232	---	232	---
Densidad Relativa, 25°C / 25°C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafina, %	---	2,2	---	2,2

**Tabla 15. Ensayos al Cemento Asfáltico.  
Fuente: MOP-001F-2002.**

### **2.3.2 Técnicas de producción de asfalto.**

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo el asfalto. La refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial.

Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles), y se separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene, y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada del petróleo crudo, comúnmente llamado crudo reducido. Puede ser usado como oil residual, o procesado en distintos productos, entre ellos el asfalto. Para separar la fracción asfalto del crudo reducido se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener el cemento asfáltico, según el proceso de refinación usado se obtiene cementos asfálticos de muy alta o de baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada.

### 2.3.3 Propiedades del asfalto

- **Propiedades físicas**

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

- a) **Durabilidad:** Es la capacidad del asfalto de mantener sus características originales cuando se expone a procesos normales de envejecimiento y degradación.
- b) **Adhesión:** Es la capacidad del asfalto para quedar fijo al agregado en la mezcla, incluso en presencia de agua, tránsito y cambios bruscos de temperatura.
- c) **Cohesión:** Es la capacidad del asfalto de mantener unidas y firmes en su posición a las partículas de agregado en la mezcla compactada.
- d) **Susceptibilidad térmica:** Indica la sensibilidad de la consistencia del asfalto a los cambios de temperatura.
- e) **Susceptibilidad a la duración de la carga:** La viscosidad del asfalto depende también de la duración de los esfuerzos a los que está sometido, de manera similar a lo que sucede con la temperatura.

En efecto, a altas temperaturas (clima desértico o verano) y/o cargas estáticas o lentas (camiones moviéndose lento, intersecciones, etc.), el asfalto se comporta como un fluido viscoso que fluye rápidamente y cuya deformación no es recuperable (pavimento propenso a sufrir ahuellamiento). Por el contrario, a bajas temperaturas (climas fríos o invierno) y/o cargas rápidas (camiones moviéndose rápido), el asfalto se comporta un sólido elástico cuya deformación es baja y recuperable (pavimentos muy rígidos pueden ser susceptible al agrietamiento). Esta condición viscoelástica (semisólida) les concede a los asfaltos su capacidad de resistir altos esfuerzos instantáneos y solo fluir bajo la acción de cargas permanentes. (Navarro, 2013, pág. 32)

- **Propiedades químicas.**

El asfalto está compuesto primordialmente por moléculas complejas de hidrocarburos, aunque también contiene átomos de oxígeno, nitrógeno, azufre, sulfuro y otros elementos.

En condiciones normales, los hidrocarburos forman una solución coloidal de dos fases, en la que los hidrocarburos más pesados, denominados asfáltenos, están dispersos en las moléculas de hidrocarburos más ligeros, denominados maltenos. Los asfáltenos por su color negro y similitud con el polvo grueso de grafito, le proporcionan su color y dureza al asfalto. Los maltenos son líquidos viscosos y pegajosos compuestos de resinas y aceites que le proporcionan las propiedades aglutinantes al asfalto (su valor cohesivo). (Navarro, 2013, pág. 32)

La proporción de asfáltenos y maltenos en un ligante varía normalmente debido al proceso de envejecimiento o endurecimiento que sufre el asfalto en el tiempo. El envejecimiento produce cambios considerables en sus propiedades, que lo transforman en un material más rígido y con menor poder aglomerante. El envejecimiento del asfalto se produce por variadas y complejas reacciones de oxidación, volatilización y polimerización, principalmente, cuando este está expuesto a agentes ambientales como las altas temperaturas y el oxígeno.

Durante la vida del asfalto, se pueden distinguir dos importantes procesos de envejecimiento:

- ✓ **Envejecimiento primario o de corto plazo:** Se produce desde la fabricación de la mezcla en planta, hasta el proceso de compactación. Se debe principalmente a las altas temperaturas a las que se somete el asfalto durante los trabajos de construcción de los concretos asfálticos. La volatilización es su causa principal (evaporación de los constituyentes más livianos del asfalto).
- ✓ **Envejecimiento secundario o de largo plazo:** Es el que sufre el asfalto durante la vida de servicio del pavimento. La oxidación es su causa principal (reacción del asfalto con el oxígeno). (Navarro, 2013)

#### **2.3.4 Tipos de Asfalto**

- **Asfaltos Oxidados o Soplados**

Estos son Asfaltos sometidos a un proceso de deshidrogenación y luego a un proceso de polimeración. A elevada temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el objetivo de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas. El proceso de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas:

- Aumento del peso específico.
- Aumento de la viscosidad.

- **Asfaltos Sólidos o Duros**

Estos son Asfaltos con una penetración a temperatura ambiente menor que 10. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes. (Vega Zurita, pág. 43)

- **Asfaltos Líquidos**

Son asfaltos líquidos aquellos de consistencia suave o fluida, que excede el límite de medida permitido por el ensayo normal de penetración INEN 917, que es de 300. Los asfaltos diluidos se clasifican, de acuerdo al grado de volatilidad del diluyente, en asfaltos diluidos de curado rápido, medio y lento. Se los designa por las siglas RC, MC y SC, respectivamente, seguidas de un número que se refiere a la viscosidad del producto.

- ✓ **Asfalto de Curado Rápido:** cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiestokes.
- ✓ **Asfalto de Curado Medio:** si el disolvente es queroseno, se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes.
- ✓ **Asfalto de Curado Lento:** su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (SlowCuring), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiestokes. Road oil: Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC). (Vega Zurita)

### **2.3.5 Ensayos Empíricos de Consistencia del Cemento Asfáltico.**

Para estudiar la consistencia de los asfaltos se desarrollan ensayos en laboratorio, los cuales determinan si son aptos o no para trabajar en las mezclas asfálticas destinadas a la pavimentación de carreteras.

- **Penetración (Norma ASTM D 5).**

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia de un asfalto, midiendo la distancia que una aguja penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones específicas de temperatura, carga y tiempo.

Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100gr y que la carga se aplica durante 5s. Es evidente que cuando más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración. (Verdezoto, 2016, pág. 31)



*Figura 5. Ensayo de Penetración.*

**Fuente: Autores**

Los asfaltos se clasifican según su dureza o consistencia por medio de la penetración en milésima de milímetros, el instituto de asfalto ha adoptado cuatro grados de asfalto para pavimentación comprendidos dentro de los siguientes rangos.

Penetración	Tipos de asfalto
40-50	AC-40
60-70	AC-20
85-100	AC-10
120-150	AC-5
200-300	AC-2.5

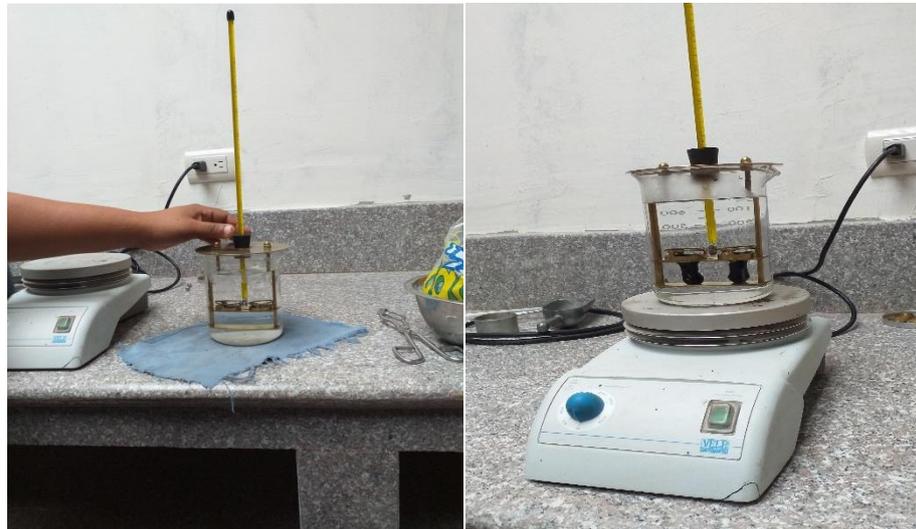
**Tabla 16. Clasificación de asfalto según dureza.**

**Fuente: (Verdezoto, 2016)**

○ **Punto de ablandamiento (Norma ASTM D 36).**

Los diferentes tipos de asfaltos se ablandan a diferentes temperaturas. Normalmente este método se lo realiza mediante el método arbitrario de anillo y bola.

Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentos, frecuentemente se usa para caracterizar los materiales más duros que son empleados en otras aplicaciones e indica la consistencia del asfalto una vez tomada la temperatura necesaria y se ablanda esto puede ser en un rango de 48° a 57°C. (Verdezoto, 2016, pág. 32).



*Figura 6. Ensayo de Punto de Ablandamiento del Asfalto*  
Fuente: Autores

○ **Índice de Penetración (Norma INV E-724-07)**

El índice de penetración fue establecido por Pfeiffer y Van Doormal desde los valores obtenidos en los ensayos de Penetración a 25°C y del Punto de Ablandamiento, proporcionando un criterio de medida de la susceptibilidad con la temperatura. Su valor calculado da una referencia de la estructura coloidal y de comportamiento reológico (relación entre el esfuerzo y la deformación), y se obtiene por medio de la expresión:

$$IP = \frac{20xt_{RaB} + 500xlogP - 1952}{t_{RaB} - 50xlogP + 120}$$

Donde:

**I<sub>p</sub>**= Índice de penetración.

**t<sub>RaB</sub>**= Punto de Ablandamiento en grados Celsius.

**P** = Penetración en 0,1 mm a 25°C.

Los valores obtenidos por la expresión serán redondeados a la décima de la unidad más próxima y los  $I_p$  tienen los siguientes límites para clasificar a los cementos asfálticos:

- ✓  $I_p > +1$ : Son cementos asfálticos con reducida susceptibilidad a la temperatura, mostrando cierta elasticidad y tixotropía (cambio a su viscosidad); son llamados también de tipo gel.
- ✓  $I_p < -1$ : Son cementos asfálticos con elevada susceptibilidad a la temperatura, abundantes en resina y su comportamiento poco viscoso.
- ✓  $+1 \geq I_p \geq -1$ : Características intermedias en la cual pertenecen la mayoría de cementos asfálticos que se emplean para hormigón asfáltico.

De la relación  $I_p$  se obtuvo como resultado un Índice de Penetración de -0,997 como se muestra en el Anexo 2 – B3, por cuanto se puede clasificar al cemento asfáltico como de características intermedias.

○ **Ductilidad (Norma ASTM D 113).**

La ductilidad es una propiedad que tienen algunos elementos que pueden deformarse sin romperse. Los asfaltos dúctiles tienen normalmente mejores propiedades aglomerantes que aquellos que les falta esta característica. Por otro lado, los asfaltos con una ductilidad muy elevada son usualmente más susceptibles a los cambios de temperatura.

Consiste en colocar una muestra o patrón en un baño de ductilidad a 25°C, para después medir el alargamiento elástico en porcentaje de la deformación con una velocidad de alargamiento de 5cm/min $\pm$ 5%, antes de la ruptura (>100cm); unos asfaltos con ductilidad elevada son susceptibles a los cambios de temperatura. (Verdezoto, 2016, pág. 34).



**Figura 7. Ductilidad de una mezcla asfáltica.**

**Fuente: Autores**

- **Punto de Inflamación Mediante la Copa Abierta de Cleveland (Norma ASTM D 92).**

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto. (Verdezoto, 2016, pág. 34)

El punto de inflamación de un asfalto se mide por el ensayo en vaso abierto Cleveland. Según condición normalizada prescrita en el método ASTM D-92, se trata de un vaso abierto de latón se llena parcialmente con asfalto y se calienta a una velocidad establecida.

Se hace pasar periódicamente sobre la superficie de la muestra una pequeña llama, y se define punto de llama la temperatura a la que se han desprendido vapores suficientes para producir una llamarada repentina. (Verdezoto, 2016, pág. 35)



*Figura 8. Ensayo para determinar el Punto de Inflamación.*

**Fuente: Autores**

○ **Peso específico (ASTM D 70 – 09 E-1)**

Es necesario conocer el peso específico del asfalto que se emplea para hacer las correcciones de volumen y se lo emplea también como factor para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentos compactados.

El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso especificado de 1.05 significa que el material pesa 1.05 veces lo que pesa el agua a temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expande cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. (Verdezoto, 2016, pág. 35)

En la refinería de Esmeraldas se producen cementos asfálticos, que por sus características físicas de penetración (según el MTOP 60-70) es utilizado como un asfalto AC-20.

## CEMENTO ASFÁLTICO

ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO ASFÁLTICO	NORMA	ESPECIFICACIÓN		RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACIÓN
		Minimo	Máximo		
Punto de Inflamación Copa Abierta de Cleveland.(°C)	ASTM D-92	232		236,5	Cumple
Gravedad Especifica. ( $gr/cm^3$ )	ASTM D-70	No especifica		1,017	No especifica
Penetración 25°C, 100gr, 5s.(mm/10)	ASTM D-5	60	70	65	Cumple
Punto de Ablandamiento. (°C)	ASTM D-36	48	57	48,45	Cumple
Índice de Penetración	INV E-724-07	-1,5	1,5	-0,997	Cumple
Ductiidad 25°C, 5cm/min. (cm)	ASTM D-113	100		101	Cumple

**Tabla 17. Ensayos Realizados al Cemento Asfaltico con sus Respectives Especificaciones y Resultados.**

**Fuente: Autores**

De acuerdo con los resultados obtenidos se realizaron las siguientes observaciones:

- Puede clasificarse como un cemento asfáltico de penetración 60-70(AC-20).

## **2.4. Análisis y Características del Caucho de Neumático.**

### **2.4.1 Antecedentes.**

El caucho natural es un líquido lechoso que fluye de algunos árboles, la mayoría de las plantaciones se encuentran en América del Sur. La palabra caucho proviene del término "cautchuc" con la que los indios habitantes de Perú llamaban al árbol hevea, y que significa "árbol que llora". Gracias a este árbol se puede fabricar el caucho, hule o goma. Descubierta hace más de un siglo, hoy el caucho es una de las materias primas más importantes del mundo. (Importadora de Accesorios y Neumaticos, 2015)

Las características únicas del caucho natural han hecho que su demanda aumente por el desarrollo de las llantas, industria textil y calzado, las propiedades específicas del caucho natural ayudaron a que no fuera reemplazado totalmente por el caucho sintético, se hicieron esfuerzos importantes en programas de investigación y desarrollo para establecer ventajas competitivas, uno de ellos surgió en Malasia en 1965 los cauchos técnicamente especificados (TSB Technically Specified Rubber) lo cual valorizó al caucho natural ya que garantizaba al comprador un producto con características específicas de elasticidad, color, nivel de impurezas entre otras.

Estos esfuerzos han permitido que el caucho natural compita de forma más equitativa con el caucho sintético, este último puede producirse en cualquier parte del mundo y su desarrollo ha estado impulsado por los países desarrollados ante la imposibilidad de tener fuentes propias de caucho natural. Químicamente, el caucho natural es un polímero del metilbutadieno o isopreno cuya fórmula es (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>). (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 2).

### 2.4.2 Definición.

El caucho es fundamentalmente un polímero, el cual puede ser una sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica; el caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex y el caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados. (Villagaray, 2017, pág. 22).

La principal diferencia entre el Caucho Natural (Natural Rubber) y el Caucho Sintético (Synthetic Rubber) radica en el origen de las materias primas. Más del 60% de la producción del caucho natural es utilizado para la fabricación de llantas.

Este caucho natural tiene propiedades interesantes como la elasticidad también es blanda y adhesiva. Se solubiliza en algunos solventes orgánicos. Sin embargo, existe un procedimiento que permite mejorar enormemente las propiedades del caucho natural.

El procedimiento se llama vulcanización, su descubridor fue Charles Goodyear en el año de 1844 que es el proceso mediante el cual se somete al caucho natural al agregado de azufre en distintas proporciones que pueden variar de 1 al 30%. El proceso va acompañado del calor a una temperatura de unos 120°C. (El Químico, 2014)

<b>PROPIEDADES</b>	
<b>CAUCHO NATURAL</b>	<b>CAUCHO SINTÉTICO</b>
Es elástico.	Es elástico.
No vuelve fácilmente a su longitud primitiva.	Se retrae rápidamente.
Se ablanda fácilmente por el calor.	No se ablanda por el calor.
Es adhesivo.	No es adhesivo.
Poca resistencia a la abrasión.	Mucha resistencia a la abrasión.
Soluble en solventes orgánicos.	Insoluble en solventes orgánicos.

**Tabla 18. Propiedades del Caucho**

**Fuente: El Químico**

Los tipos de caucho más empleados en la fabricación de los neumáticos son:

- Cauchos naturales (NR)
- Polibutadienos (BR)
- Estireno – Butadieno (SBR)
- Polisoprenos sintéticos (IR)

Siendo la matriz de caucho Estireno-Butadieno (SBR) más utilizada, en el que la proporción es de aproximadamente un 25 % en peso de estireno, o una mezcla de caucho natural y SBR. Todos los tipos de cauchos poseen diferentes propiedades, pero también con algo en común: todos, una vez vulcanizados, pueden ser muy duraderos, por lo que necesitarían una gran cantidad de tiempo para su degradación. (Castro G. , pág. 2)

### 2.4.3 Composición de los Neumáticos.

La estructura del neumático está formada en la parte interior por láminas de caucho, una malla de acero o textil y una capa exterior de caucho macizo moldeado, que constituye la banda de rodadura. Esta banda es la que va en contacto con la superficie del camino, tiene una alta resistencia al desgaste y a través de su diseño proporciona las características de tracción, frenado y adherencia

Las llantas están compuestas principalmente por tres elementos: caucho, acero y fibras. El caucho representa el 41%, el acero el 15%, la fibra el 16% y materiales químicos representan el 28% de su composición. (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 6)

Además de caucho, los neumáticos están compuestos por:

- **Rellenos reforzantes:** el negro de humo, formado de partículas muy pequeñas de carbono, que aumenta la tenacidad y la resistencia a la tracción, a la torsión y al desgaste.
- **Fibras reforzantes:** textiles y de acero, usualmente en forma de hilos, que aportan resistencia a los neumáticos: algodón, nylon y poliéster. La cantidad de acero y fibras sintéticas reforzantes en los neumáticos varía según el fabricante.

- **Plastificantes:** se adicionan para facilitar la preparación y elaboración de las mezclas, utilizándose para el control de la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas del producto: aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.
- **Agentes vulcanizantes:** el azufre se usa para entrecruzar las cadenas de polímero en el caucho.
- **Acelerantes:** compuestos órgano - sulfurados, benzotiazol y derivados, óxido de zinc y ácido esteárico.
- **Retardantes:** N-nitroso difenil amina.
- Otros componentes (antioxidantes o antiozonizantes, adhesivos).

En forma general el neumático está compuesto por los siguientes componentes:

Componentes	Tipo de vehículo		Función
	Automóviles %en peso	Camiones % en peso	
Cauchos	48	45	Estructural-deformación
Negro humo	22	22	Mejora oxidación
Óxido de zinc	1,2	2,1	Catalizador
Material textil	5	0	Esqueleto estructural
Acero	15	25	Esqueleto estructural
Azufre	1	1	Vulcanización

**Tabla 19. Componentes de una llanta**  
Fuente: Rubber Manufactures Asociation, USA, 2012

Los cauchos naturales junto con los sintéticos (SBR y SBS) y negro de humo son la materia prima que compone las llantas. El caucho sintético es el más importante y utilizado debido a sus grandes propiedades. Este tipo de elastómero es un material que presenta propiedades mecánicas como el poder sufrir mayores deformaciones elásticas bajo tensión con respecto a otros materiales y aun así recupera su tamaño original sin una deformación permanente. Es utilizado como un remplazo del caucho natural, en especial cuando se necesita mejorar las propiedades de los materiales.

El caucho SBR (estireno-butadieno) tiene mayor resistencia al desgaste y presenta mayor generación de calor, pero para los de camiones y buses es necesaria una proporción más grande de caucho natural, con el objeto de controlar mejor la generación de calor.

El negro de humo es obtenido por combustión o descomposición térmica parcial de gases naturales o hidrocarburos pesados. Este elemento en las llantas permite conseguir unas mezclas más resistentes a la rotura y a la abrasión, dándoles el característico color negro. ( (Ramirez, 2006, pág. 13).

#### **2.4.4 Propiedades de los Neumáticos.**

- **Amortiguación.**

Es la capacidad de adaptarse a las irregularidades del terreno, y de absorber elásticamente los choques producidos por obstáculos pequeños. Esta capacidad depende de la elasticidad del material de la banda de rodadura, de la presión de inflado y la flexibilidad de los flancos de la cubierta.

- **Flexibilidad.**

Debido a su propia constitución, los neumáticos se deforman con la aplicación de fuerzas exteriores; se denomina flexibilidad a la facilidad con que se produce la deformación y su capacidad de recuperación. Según la dirección de las fuerzas exteriores la flexibilidad puede ser: vertical, transversal y longitudinal.

- **Flexibilidad vertical**

Esta propiedad permite el aplastamiento del neumático por efecto del peso del vehículo, esta depende de la rigidez de los flancos de la cubierta y de la presión de inflado.

- **Flexibilidad transversal**

Mediante la flexibilidad transversal los neumáticos se deforman con los esfuerzos laterales, como son; la fuerza centrífuga, los vientos laterales.

- **Flexibilidad longitudinal**

Esta se pone de manifiesto en la aceleración y en el frenado, en ambos casos el eje de la rueda, se avanza en la dirección de la marcha respecto al neumático y produce la deformación del mismo, amortiguando el esfuerzo y evitando el deslizamiento.

- **Capacidad de carga**

Es el peso máximo que puede soportar un neumático, depende de sus características constructivas, de la presión de inflado, de la velocidad del vehículo y de la clase de terreno por el que circula. La capacidad de carga viene determinada por el fabricante para la presión de inflado recomendado. Esta propiedad viene escrita en la parte lateral del neumático junto con las especificaciones del mismo.

- **Adherencia**

Es el agarre del neumático al suelo; este no depende únicamente de las fuerzas de rozamiento en la que solo intervienen la carga aplicada y el coeficiente de rozamiento. Cuanto mayor sea la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento, mayor será la cantidad de asperezas que deformen el neumático por lo tanto mayor será el agarre. (Wong, 2010)

#### **2.4.5 Afectaciones causadas por los Neumáticos Desechados.**

Cada año millones de neumáticos son desechados en todo el mundo, el principal inconveniente con los neumáticos usados es su disposición final, dado que la mayoría de ellos terminan en sitios eriazos o en vertederos clandestinos. El almacenamiento ocupa un espacio considerable, aparte del peligro por la posibilidad de incendios y además por ser un terreno ideal para la proliferación de roedores e insectos que a menudo son transmisores de enfermedades.

La quema directa provoca graves problemas ambientales ya que produce emisión de gases que contienen partículas nocivas para el entorno. En los vertederos, imposibilitan la compactación y ocasionan problemas de estabilidad por degradación química parcial que sufren, generando inseguridad en los mismos.

Se ha estimado que un 80% de los neumáticos desechados proceden de automóviles o camionetas, un 20% de los vehículos pesados, y alrededor del 1% restante son neumáticos especiales para motocicletas, aviones, equipos de construcción y vehículos especiales. (Ramirez, 2006, pág. 14).

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados constituye uno de los problemas medioambientales, más graves en los últimos años en todo el mundo. Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar el neumático de un camión). (Villagaray, 2017, pág. 22)

#### **2.4.6 Afectaciones Ambientales.**

Una llanta tarda en degradarse 500 años, arrojadas al aire libre por su tamaño hace que ocupen mucho espacio físico y por su alto poder calorífico estos espacios se convierten en factor ideal de posibles incendios.

Las emisiones provenientes de la quema de llantas a cielo abierto incluyen contaminantes tales como: partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO), óxidos de nitrógeno (NO), y compuestos orgánicos volátiles (COVs). (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 19).

También incluyen contaminantes peligrosos (HAPs), tales como hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), dióxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales tales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo y vanadio.

Estas emisiones, pueden representar peligros agudos (a corto plazo) y crónicos (a largo plazo) para la salud de las personas dependiendo de la duración y grado de exposición, los efectos a la salud podrían incluir irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos a las vías respiratorias y sistema nervioso central. (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 19).

La quema de llantas genera contaminantes extremadamente nocivos para la salud y gases que contribuyen al calentamiento global. La quema de estas produce grandes cantidades de dióxido y monóxido de azufre, así como también cantidades muy importantes de dióxido y monóxido de carbono.

Los mismos que producen un daño extremadamente grande a la atmosfera y a la capa de ozono ya que produce muchos de los gases que son conocidos como gases invernadero. Ya que las llantas tienen el 1% de su peso en cloro se forma otro de los elementos graves que se da al quemar llantas, las llamadas dioxinas. Estas generalmente se producen cuando se quema las llantas en las cementeras, las mismas que utilizan a las llantas como combustible para sus hornos.

Esto es algo muy grave ya que producen grandes cantidades de dioxinas, mercurio, hidrocarburos, y metales pesados como Plomo, zinc, níquel y vanadio.. Es difícil dimensionar el daño que una sola llanta podría producirle al medio ambiente, nuestra calidad de vida y la salud del planeta. (Gomez, 2017).

- **Efectos que pueden ocasionar a la salud.**

El caucho que compone las llantas tiene adicionados elementos como compuestos de azufre, selenio, cloruros, zinc, óxido de magnesio, arcillas, sílice, alquitrán y resinas entre otros. Todos ellos producen en la combustión gases como monóxido de carbono y dióxido de carbono.

Este último se queda en la atmósfera y no permite la salida de calor al espacio, lo cual hace que la temperatura de la tierra aumente. Por su parte, el monóxido de carbono disminuye la capacidad de absorción de oxígeno de la sangre. Por medio de estudios médicos se ha demostrado que el humo de las llantas causa entre otros males:

- Cáncer,
- Enfermedades mutagénicas,
- Asma,
- Enfermedades bronquiales y pulmonares,
- Estrés
- Contaminación visual, del aire y de los mantos freáticos.

Es realmente una lástima que un producto tan resistente, sofisticado y noble como el caucho vulcanizado de una llanta termine quemándose y derivándose en una nube de contaminantes primarios.

Estos contaminantes son sustancias extremadamente dañinas, que al insertarse en el ambiente se descomponen por acción del Sol y la humedad, se mezclan con otras sustancias y mutan por el simple efecto de las condiciones climáticas del día, derivándose en otros cientos de compuestos extremadamente tóxicos.

También, liberan las moléculas de CO<sup>2</sup> que rebotan la luz y el calor en todas direcciones impidiendo que las radiaciones solares escapen de la atmósfera al espacio, en un fenómeno conocido como Efecto Invernadero y que es el principal factor causante del calentamiento global. (Gomez, 2017).

- **Reciclaje y Utilización de llantas fuera de uso.**

La reutilización de los NFU (Neumáticos Fuera de Uso), ya sean enteros o modificados para usos que no sean el ideado originalmente por el fabricante. Es una práctica muy común y aquél que la lleve adelante no encuentra límites más allá de los que le ponga su propia imaginación para darles una nueva vida.

Por ejemplo: Implementación de parques infantiles, defensa de muelles o embarcaciones. Rompe olas, en la construcción de barreras anti-ruídos, taludes de carretera, pistas de carreras entre muchas otras aplicaciones.

Con relación al reciclaje, es un proceso un poco más complejo. Entre algunos ejemplos de estos se encuentra la fabricación de rellenos de caucho granulado para campos deportivos de césped sintético y la creación de asfaltos mejorados a partir de mezclas de las materias primas asfálticas con granos o polvo.

En la actualidad, se utilizan diversos métodos para valorizar los neumáticos desechados, a través de la obtención de granos de caucho, los cuales se usan como materia prima en la elaboración de mezclas asfálticas. El caucho reciclado es obtenido a través de la trituración de los neumáticos, separándolo de los demás componentes como el acero y las fibras textiles. (Ramirez, 2006, pág. 15)

○ **Grano de Caucho Reciclado (GCR)**

Es el material obtenido a partir de la trituración del caucho obtenido de las llantas usadas desechas de vehículos de transporte, disminuido en tamaño, este material es utilizado en diferentes obras de ingeniería civil, como lo son en rellenos de terraplenes, materiales de contención, pisos de parques, como modificador en las mezclas asfálticas, entre otros. (Correa, 2018, pág. 16).

CARACTERÍSTICAS	REQUISITOS
Humedad	-Máximo 0.75% de la masa total de la mezcla. -El GCR debe fluir libremente
Gravedad específica	<b>1.15 ± 0.05</b>
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos, en masa	Máximo 0.01%
Contenido de fibra en masa; en masa: -Para mezclas en caliente -Para riegos	Máximo 0.5% Máximo 0.1%
Contenido de polvo mineral (como talco); se suele usar para prevenir que los granos se peguen.	Máximo 4.0 %
Contenido total de otros elementos extraños, en masa: incluye: -Vidrio -Arena -Madera, etc.	Máximo 0.25%

**Tabla 20. Características del Granulo de Caucho**

**Fuente: (Correa, 2018)**

Estudios realizados con caucho natural y sintético en algunos países como Estados Unidos, España, Sudáfrica, entre otros, demostraron que el caucho sintético es el más apropiado para el uso en mezclas asfálticas.

Estos estudios tuvieron como objetivo principal establecer de manera confiable la metodología a seguir para mejorar las propiedades mecánicas y de durabilidad de las mezclas asfálticas con caucho producto del desecho de llantas usadas. Esta posibilidad además contribuye con la solución del problema ambiental que generan las llantas al finalizar su vida útil ya que estas constituyen un residuo difícil de eliminar.

Este caucho es obtenido de forma económicamente viable empleando llantas de desechos que deben ser molidas hasta obtener tamaños de partícula apropiados. (Vargas & Rodriguez, 2014, pág. 12).

El caucho molido de esta forma recibe el nombre de grano de caucho reciclado o GCR. El grano de caucho reciclado se puede obtener en procesos diferentes como son el recapado, la molienda a temperatura ambiente y la molienda criogena, estos procesos con creciente costo en el orden en que se los ha expuesto, representan distintas alternativas de obtención de granos de caucho, teniendo cada uno características propias, en México, Colombia, Chile y Perú se ha observado una alta utilización de GCR proveniente de los procesos de recapado o recauchutado, en donde mediante medios mecánicos, como amoladoras o desgastadoras, se obtiene el GCR sin mayores contaminaciones.

Luego se muele a temperatura ambiente y se obtienen granulometrías que varían desde el milímetro hasta el entorno de los 10 milímetros. (Vargas & Rodriguez, 2014, pág. 12). Se pueden diferenciar dos procesos básicos de incorporación a los sistemas asfálticos:

- Vía húmeda incorporación GCR al asfalto.
- Vía seca incorporación del GCR a la mezcla de áridos.

✓ **Por vía húmeda.**

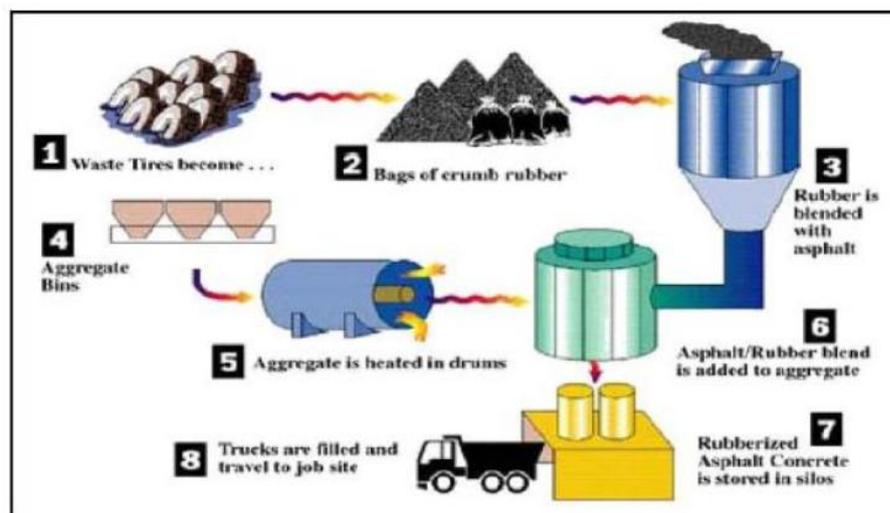
Se han logrado avances significativos al tratar el cemento asfáltico original con otras sustancias que permiten mejorar su comportamiento cuando es sometido a condiciones más exigentes, por ejemplo, climas extremos, tránsito de vehículos muy pesados, ambientes agresivos, solicitudes concentradas en áreas específicas, etc. La modificación del asfalto consiste en la adición de polímeros a los asfaltos tradicionales con el fin de mejorar sus características reológicas. Estos modificadores se incorporan en el proceso de fabricación del cemento asfáltico.

Los polímeros comúnmente usados son los elastómeros, dentro de los que destacan el SBS (Estireno-Butadieno-Estireno), SBR (Estireno-Butadieno-Rubber) y el SB (Estireno-Butadieno). El caucho de neumático es un material elastomérico también usado como modificador, cuyo uso es relativamente reciente. (Navarro, 2013, pág. 33).

El cemento asfáltico modificado con caucho de neumáticos es un ligante hidrocarbonado resultante de la mezcla de cemento asfáltico y grano de caucho, obtenido del reciclaje de llantas de automotores que han sido retiradas al final de su vida útil (Verdezoto, 2016, pág. 37)

En el proceso húmedo, el caucho actúa modificando el ligante, en este proceso el GCR es mezclado con el cemento asfáltico para producir una mezcla modificada asfalto caucho que es usada de la misma manera que un ligante modificado. El cemento asfáltico que ha sido modificado con GCR es llamado asfalto-caucho y es el resultado de la interacción del GCR con el ligante, donde la reacción que ocurre entre los dos no es una reacción de tipo química. Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el cemento asfáltico hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos.

El grado de modificación del ligante depende de muchos factores entre los cuales se encuentran el tamaño, textura y proporción del GCR, tipo del cemento asfáltico, tiempo y temperatura de mezclado, grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento de asfáltico, y el uso de otros aditivos. (Vargas & Rodriguez, 2014, pág. 20).



**Figura 9. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Húmeda**

**Fuente: Asfalto Modificado con Grano de Caucho Reciclado.**

- **Por vía seca**

El proceso seco es cualquier método donde el GCR es adicionado directamente a la mezcla asfáltica caliente, siendo usualmente mezclado con los agregados antes de adicionar el cemento asfáltico.

Este proceso se lleva a cabo cuando se quiere usar el GCR como un agregado en la mezcla asfáltica, por lo general, como un sustituto de una pequeña parte del agregado fino, el cual puede estar entre el uno y tres por ciento del peso total de los agregados en la mezcla.

A diferencia del proceso húmedo, este proceso no requiere un equipo especial, sólo un sistema de alimentación que proporcione la cantidad adecuada de GCR y que sea suministrada en el momento indicado para que se mezcle con los agregados cuando estos alcancen cierta temperatura y antes de que el ligante sea adicionado.

Cuando el cemento asfáltico y GCR son mezclados, el GCR reacciona con el ligante hinchándose y ablandándose por la absorción de aceites aromáticos, no siendo esta una reacción de tipo química. El grado de modificación del ligante depende de muchos factores, entre los cuales se encuentran el tamaño y textura del GCR la proporción y tipo del cemento asfáltico, el tiempo y temperatura de mezclado, el grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla, el componente aromático del cemento asfáltico, y el uso de aditivos. (Vega Zurita, pág. 39)

Las dos tecnologías más comunes en Estados Unidos para el uso del GCR por la vía seca son la tecnología PlusRide y la tecnología Genérica ó sistema TAK, otra tecnología muy popular es la que emplea granulometrías convencionales, la cual fue desarrollada en España y es actualmente usada en muchos países.

- **La Tecnología PlusRide**

Fue originalmente desarrollada en Suecia a finales de los años 1960, y registrada en los Estados Unidos bajo el nombre comercial PlusRide por la firma EnviroTire. El GCR es agregado a la mezcla asfáltica en proporciones que van de 1 a 3 por ciento del peso total de los agregados. El GCR son partículas que van desde 4.2 mm (1/4") a 2.0 mm (tamiz No 10).

El contenido de vacíos con aire en la mezcla asfáltica debe estar entre 2 y 4 por ciento, y por lo general son obtenidos con contenidos de ligante entre 7.5 a 9 por ciento (Vega Zurita, pág. 40).

- **La Tecnología Genérica**

Fue desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 y a principio de los años 1990 para producir mezclas asfálticas en calientes con granulometría densa. Este concepto emplea tanto el GCR grueso como fino para emparejar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. En este proceso la granulometría del GCR es ajustada para acomodar la granulometría de los agregados.

A diferencia de las mezclas PlusRide, la granulometría del GCR se divide en dos fracciones en la que la parte fina se encarga de interactuar con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa entra a comportarse como un agregado elástico en la mezcla asfáltica.

El GCR puede llegar a necesitar una pre-reacción o pre-tratamiento con un catalizador para alcanzar una óptima hinchazón de la partícula. En este sistema, el contenido de GCR no debe exceder el 2 por ciento del peso total de la mezcla para capas de rodadura. (Vega Zurita, pág. 39).

- **La Tecnología Convencional.**

Fue desarrollada en España para usar el GCR en la mejora de mezclas asfálticas empleando granulometrías convencionales que no implican consumos elevados de cemento asfáltico, pero que aportan menos cantidad de caucho, aproximadamente un dos por ciento del peso total de los agregados. Estas mezclas asfálticas han sido evaluadas dinámicamente en el laboratorio y colocadas en la vía con buenos resultados. (Vega Zurita, pág. 39)



*Figura 10. Esquema de Fabricación de la Mezcla Asfáltica con Caucho por Vía Seca.*

Fuente: Asfalto Modificado con Grano de Caucho Reciclado

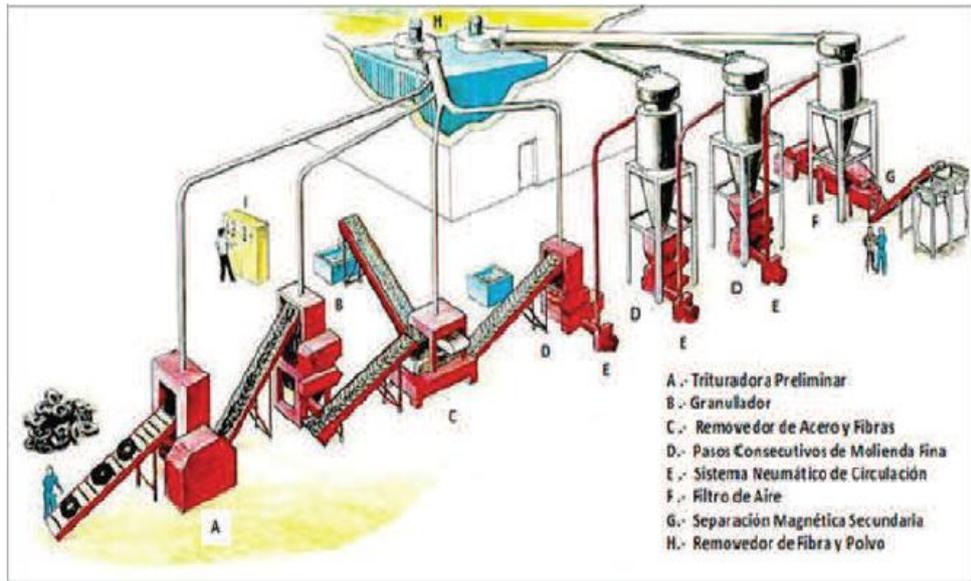
- **Procesos de Obtención del Grano de Caucho Reciclado.**

Según el método utilizado para la producción de granos de caucho, se obtienen diferentes características, en cuanto a la forma y textura de ellos. Las técnicas de molienda más comunes son la trituración mecánica y la trituración criogénica.

- ✓ **Trituración Mecánica**

La trituración mecánica emplea cuchillas para desmenuzar las llantas; por lo general este tipo de proceso se realiza en cascada, es decir, se trituran paulatinamente las llantas hasta alcanzar el tamaño mínimo requerido y luego se emplean clasificadores neumáticos y magnéticos para separar el acero y la fibra textil presentes.

La mayor ventaja de este proceso es que se obtienen productos de buena calidad con un reducido número de etapas de proceso; adicionalmente no requiere de etapas de purificación ya que no se emplean sustancias ajenas a las llantas. (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 37)



*Figura 11. Esquema de Planta de trituración Mecánica de Neumáticos.*  
 Fuente: (CIMP, Francia, 2012)

✓ **Trituración Criogénica.**

Consiste en congelar con nitrógeno líquido llantas enteras, las cuales son golpeadas para obtener el caucho en forma de polvo, con liberación de nitrógeno gaseoso. Este proceso tiene como ventaja el reducido tamaño de las partículas obtenidas y como desventaja el hecho de que las partículas acero y caucho se encuentra mezclados; la desventaja es que se requiere instalaciones con altos costos de inversión y mantenimiento, así como maquinaria altamente especializada. (Mora & Chicaiza, 2013, pág. 38)



*Figura 12. Esquema de Planta de trituración Criogénica de Neumáticos.*  
 Fuente: (CIMP, Francia, 2012)

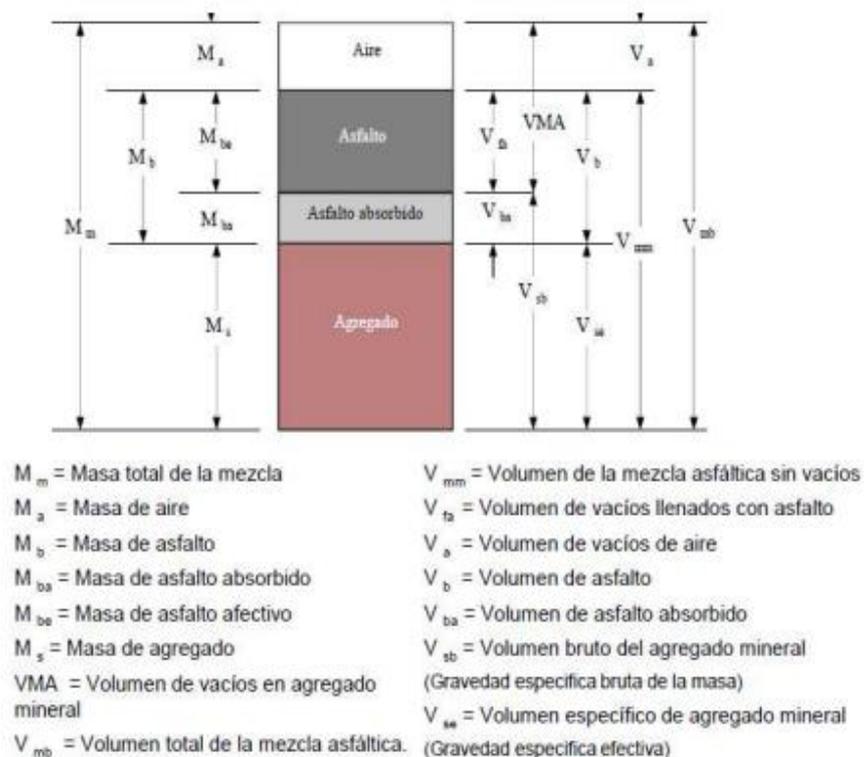
## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y MODIFICADA (ADICIONANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICO RECICLADO).

#### 3.1. Mezcla Asfáltica.

La mezcla asfáltica la constituye un material pétreo recubierto con una película de asfalto, uniformemente combinados, en proporciones previamente especificadas. Las cantidades relativas de estos materiales, determinan las propiedades y características de la mezcla.

Las mezclas asfálticas pueden fabricarse en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras. Se denominan “mezclas en caliente”, pues para lograr que los áridos se mezclen homogéneamente con el asfalto, ambos componentes se llevan a temperaturas altas, sobre los 100°C, para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla. (Ramirez, 2006, pág. 5)



*Figura 13. Sección Típica de una mezcla Asfáltica.*

Fuente: Curso de Entrenamiento en Materiales Asfálticos MTOP-Quito, Ecuador, 2014

### **3.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.**

Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo principal del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

#### **3.2.1 Estabilidad.**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial, la cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla (Institute, Asphalt, 1986).

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos.

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramientos o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamientos y canalización

**Tabla 21. Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento**

**Fuente:** *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute..*

### 3.2.2 Durabilidad.

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

Una graduación densa de agregado firme, duro, a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito.

Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento (Institute, Asphalt, 1986).

Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofilitos)	Películas de asfalto se desprende del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegración.

**Tabla 22. Causas y Efectos de baja Durabilidad**

**Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.**

### 3.2.3 Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados (Institute, Asphalt, 1986).

CAUSAS	EFFECTOS
Contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

**Tabla 23. Causa y Efectos de Mezclas Permeables**

**Fuente:** *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.*

### 3.2.4 Trabajabilidad.

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad el asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla (Institute, Asphalt, 1986).

CAUSAS	EFFECTOS
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

**Tabla 24. Causa y Efecto de Mezclas con Mala Trabajabilidad**

**Fuente:** *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.*

### 3.2.5 Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada e bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos (Institute, Asphalt, 1986).

### 3.2.6 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento.

(El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. (Institute, Asphalt, 1986, pág. 80).

Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito.

Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. (Institute, Asphalt, 1986, pág. 80).

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	Envejecimiento temprano de asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento de fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

**Tabla 25. Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.**

**Fuente:** *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.*

### 3.2.7 Resistencia al Deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito.

Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (Institute, Asphalt, 1986, pág. 81).

CAUSAS	EFFECTOS
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura.	Pavimento liso, posibilidad de hidropilado
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

**Tabla 26. Causas y Efectos de poca Resistencia al Deslizamiento**

**Fuente:** *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22, Asphalt Institute.*

### 3.3. Método de Diseño

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en seleccionar una granulometría y un porcentaje de asfalto de modo que, una vez fabricada y puesta en terreno, cumpla las propiedades para la cual fue diseñada. Los métodos de dosificación tienen como fin determinar el porcentaje de asfalto óptimo para una combinación determinada de agregados de acuerdo a las propiedades seleccionadas.

Se han utilizado diferentes métodos para establecer un diseño óptimo de mezclas asfálticas los cuales son:

- Hveem,
- Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement)
- Marshall.

### **3.3.1 Diseño Hveen.**

El método Hveen también implica análisis de densidad, estabilidad y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua. El método Hveen tiene dos ventajas concretas el método de compactación por amasado y el parámetro de resistencia, estabilidad. La desventaja del procedimiento Hveen es que el equipo de ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveen, es algo más caro que el equipamiento del Marshall y no muy portable.

Además, algunas propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son rutinariamente determinadas en el método, tomando en cuenta también que el método de selección del contenido de asfalto es demasiado subjetivo y podría resultar en una no durable, una mezcla con poco asfalto.

### **3.3.2 Diseño Superpave.**

En 1987 el SHRP (Strategic Highway Reserch Program) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos. El producto final del programa de investigación sobre asfaltos de SHRP es un nuevo sistema conocido como SUPERPAVE (Superior Perfoming Asphalt Pavement). El Software de Superpave es una nueva metodología para la selección del ligante asfáltico y el diseño de la mezcla.

Superpave representa el sistema más avanzado de especificación de los materiales, diseño de mezclas asfálticas y su análisis, así como la predicción del desempeño de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

### **3.3.3 Diseño Marshall.**

Es uno de los métodos de diseño de mezclas más usados en la actualidad, esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall siendo US Army Corps of Engeineers quien depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D1559. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.

Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

#### **3.4. Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional utilizando el Método Marshall.**

Previo al diseño de la mezcla, es necesario que todos los materiales constituyentes, agregados y asfaltos, sean analizados para decidir si son aptos o no para formar parte del pavimento a construir.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor.

El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar (Garnica, 2004, pág. 3).

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559 - Diseño de Mezclas Método Marshall e Interpretación de Resultados).

Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado.

El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. (Garnica, 2004, pág. 3)

### **3.4.1 Características y Propiedades volumétricas en una Mezcla Asfáltica en Caliente.**

Una mezcla asfáltica realizada en laboratorio deberá ser analizada para establecer su desempeño en la estructura de un pavimento, el análisis está direccionado hacia distintas características y propiedades volumétricas de la mezcla, descritas a continuación:

- Gravedad o Densidad específica de la mezcla ( $G_{mb}$ ).
- Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla asfáltica compactada ( $G_{mm}$ ).
- Contenido de asfalto (Pb).
- Gravedad Específica Efectiva de la Mezcla ( $G_{se}$ ).
- Volumen del agregado ( $V_{agr.}$ ).
- Vacíos de aire (Va).
- Volumen de Asfalto Efectivo ( $V_{ca}$ ).
- Vacíos en el agregado mineral (VMA).
- Vacíos llenos de asfalto (VFA).
- Porcentaje de Asfalto Absorbido ( $P_{ba}$ ).
- Contenido de Asfalto Efectivo ( $P_{be}$ )

- **Gravedad o Densidad específica de la mezcla (Gmb) - Gravedad Bulk.**

El ensayo consiste en introducir las probetas en un baño de agua a 25°C por 5 minutos, antes de esto se toma el peso seco de las probetas. Luego secarlas superficialmente y pesarlas, al instante son introducidas en una canasta para ser pesadas en agua a la misma temperatura individualmente.

La gravedad específica o densidad de una mezcla asfáltica se la define como el peso unitario de la misma, expresada en kilogramos por metro cúbico o libra por pie cúbico ( $kg/m^3$  o  $lb/ft^3$ ); es muy importante tener en cuenta que con una densidad alta en la capa de rodadura compactada se podrá conseguir una mayor durabilidad en la misma.

La densidad compactada de las mezclas asfálticas de diseño realizadas en laboratorio, generalmente son mayores a las elaboradas en campo, debido a que los métodos estandarizados de compactación en ambos casos son diferentes, usualmente las especificaciones exigen que sea un porcentaje de la densidad calculada en laboratorio (95%).

La determinación de la Gravedad se calcula por la fórmula siguiente:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Donde:

$W_a$  = Masa de la probeta en el aire

$W_w$  = Masa de la probeta en el agua

$W_w$  = Masa en el aire de la probeta sarurada superficialmente seca.

○ **Gravedad Especifica Teórica Máxima de la mezcla asfáltica compactada ( $G_{mm}$ ) – Ensayo RICE.**

La determinación de la Gravedad Teórica Máxima de la mezcla asfáltica, es la prueba de laboratorio más importante para definir las características volumétricas de la mezcla asfáltica. Este ensayo se lo determina empleando una bomba de vacíos a una muestra de mezcla asfáltica suelta. Consiste en introducir la muestra suelta, será previamente pesada de acuerdo lo indicado al tamaño máximo nominal Tabla 25, en la olla de vacíos a una temperatura de 25°C. Durante 15 minutos se deja encendida la bomba de vacíos, transcurrido este tiempo se pesa la muestra más la olla de vacíos llena de agua a la misma temperatura (Garnica, 2004).

Se emplea la siguiente fórmula para calcularla:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima de la muestra

A = masas de la muestra seca, g

B = masa del picnómetro con agua a 25°C, g

C = masa del picnómetro con agua y muestra a 25°C, g.

Tamaño máximo nominal de la partícula en la muestra; mm (pulgada)	Muestra mínima (gr)
50 mm (2")	6000
37,5 mm (1 1/2")	4000
25,0 mm (1")	2500
19,0 mm (3/4")	2000
12,5 mm (1/2")	1500
9,5 mm (3/8")	1000
4,75 mm (N°4)	50

*Tabla 27. Cantidad de Material para el Ensayo Rice.*

Fuente: Norma ASTM D 2041

○ **Contenido de Asfalto (Pb).**

El Contenido de asfalto es el porcentaje de asfalto que se incorpora en la mezcla. Parte del asfalto será absorbido por el agregado y el resto de asfalto formará una película que rodean las partículas. A los primeros se les denomina asfalto absorbido y al segundo asfalto efectivo.

El contenido de asfalto óptimo dependerá de las características de los agregados que se vayan a usar, tales como la granulometría y capacidad de absorción; la gradación de los agregados a usarse en la elaboración de mezclas está ligados directamente con el contenido óptimo de asfalto.

Por consiguiente, a mayor cantidad de finos mayor será el contenido de asfalto que se use y viceversa.

Puede decirse que la parte fina de la granulometría causa un cambio en las propiedades de la mezcla variando así de tener una mezcla húmeda y consistente a una mezcla seca e inestable; igualmente que la capacidad de absorción del material (agregados) también juega un papel importante a la hora de determinar el contenido óptimo de asfalto.

○ **Gravedad Específica Efectiva de la Mezcla ( $G_{se}$ )**

La Gravedad Específica Efectiva incluye todos los espacios de vacíos en las partículas del agregado pétreo, a excepción de los que absorben cemento asfáltico

Se determina mediante la ecuación siguiente:

$$G_{se} = \frac{p_{mm} - p_b}{\frac{p_{mm}}{G_{mm}} - \frac{p_b}{G_b}}$$

Donde:

$G_{mm}$ =Gravedad específica teórica máxima (Ensayo Rice).

$p_{mm}$ =Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta= 100

$p_b$ =Contenido de cemento asfáltico

$G_b$ =Gravedad específica del cemento asfáltico.

○ **Volumen del agregado. ( $V_{agr.}$ )**

Es el contenido de agregado total de la masa de la mezcla asfáltica.

$$V_{agr.} = \frac{\%Agr. * G_{mb}}{G_{sb}}$$

Donde:

$V_{agr.}$  = Volumen del agregado en porcentaje.

$\%Agr.$  = Porcentaje del agregado = (100% - %Asfalto).

$G_{mb}$  = Gravedad específica Bulk de la mezcla asfáltica.

$G_{sb}$  = Gravedad específica de la mezcla de agregados.

○ **Volumen de vacíos de aire ( $V_a$ )**

Los vacíos de aire o también denominados simplemente vacíos se definen como pequeños espacios o bolsas de aire presentes en las partículas de los agregados recubiertas con asfalto. Los vacíos de aire son necesarios en cualquier tipo de mezclas asfáltica, permitiendo que pueda existir alguna compactación adicional debido a las cargas de tráfico, al mismo tiempo proporcionan espacio libre por donde el asfalto puede fluir durante el proceso de compactación adicional.

Según lo propuesto por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (Ministerio del Transporte y Obras Públicas “MTO”) el porcentaje de vacíos de aire (en muestras de laboratorio) es del 3% al 5% para el diseño con gradaciones cerradas. Para determinar el Porcentaje de Vacíos de Aire. La mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, (Garnica, 2004, pág. 35).

Se puede determinarse usando la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Donde:

$V_a$  = vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

$G_{mm}$  = gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

$G_{mb}$  = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.

○ **Volumen de Asfalto Efectivo. ( $V_{ca}$ )**

Es el contenido de cemento asfáltico que posee una mezcla asfáltica y se la calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_{ca} = 100 - V_{agr.} - V_a$$

Donde:

$V_{agr.}$  = Volumen del agregado en porcentaje.

$V_a$  = Volumen de vacíos de aire en porcentaje.

○ **Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).**

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total.

La Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTO) establece valores mínimos para el VMA según el tamaño máximo nominal de la combinación de agregados mostrados en las tablas presentadas a continuación:

Tamaño máximo nominal de partícula		% Mínimo VMA		
		% Diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	N°16	21.5	22.5	23.5
2.36	N°8	19.0	20.0	21.0
4.75	N°6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
19	3/4	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

**Tabla 28. Criterios Marshall para VMA.**  
Fuente: Norma NEVI-12

A continuación, se detalle la fórmula:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} * \%Agr.}{G_{sb}} = 100 - V_{agr.}$$

Donde:

VMA = vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

$G_{sb}$  = gravedad específica neta del total de agregado.

$G_{mb}$  = gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.

$\%Agr$  = contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica.

○ **Vacíos llenos de asfalto (VFA)**

Son los espacios intergranulares llenos de cemento asfáltico existente en los agregados, es decir el porcentaje de volumen de agregado mineral (VMA) en el cual intervienen el ligante asfáltico y el aire, por lo tanto, los vacíos llenos de asfalto (VFA) resulta de restar los vacíos de aire y los vacíos del agregado mineral, esto dividido para los vacíos del agregado.

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, no incluyendo el asfalto absorbido, se determina usando:

$$VFA = \frac{VMA - V_a}{VMA} \times 100$$

Donde:

VFA = vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA = vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

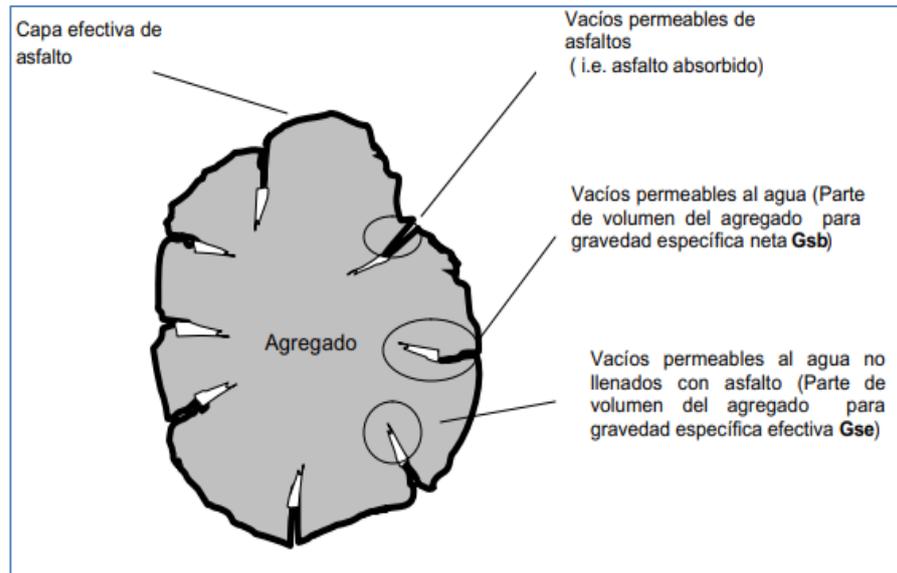
$V_a$  = Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total.

○ **Porcentaje de Asfalto Absorbido ( $P_{ba}$ )**

El porcentaje de asfalto absorbido en una mezcla es la cantidad de cemento asfáltico que debe ser añadida a la mezcla de agregados para lograr obtener las características y propiedades anheladas en el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

El contenido de asfalto efectivo se lo determina como el volumen de asfalto que no ha sido retenido por el agregado, igualmente es el contenido de asfalto que forma una película sobre la superficie del agregado; este es la diferencia entre el asfalto absorbido y el contenido total del asfalto empleado. Generalmente una mezcla asfáltica consta de una sección típica conformada por agregado, asfalto absorbido, asfalto y aire.

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado, más que como un porcentaje del total de la masa de la mezcla.



*Figura 14. Ilustración de los parámetros de diseño volumétricos.*

Fuente: Curso de Entrenamiento en Materiales Asfálticos MTOP-Quito, Ecuador, 2014.

La absorción del asfalto,  $P_{ba}$  se determina mediante la fórmula:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \times G_b$$

Donde:

$G_{se}$  = gravedad específica efectiva del agregado

$G_{sb}$  = gravedad específica neta del agregado

$G_b$  = gravedad específica del asfalto.

○ **Contenido de Asfalto Efectivo ( $P_{be}$ )**

El contenido de asfalto efectivo  $P_{be}$ , de una mezcla asfáltica es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica.

La fórmula es la siguiente:

$$P_{be} = P_b - \left( \frac{P_{ba}}{100} \times V_{agr.} \right)$$

Donde:

$P_b$  = contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla

$P_{ba}$  = asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

$V_{agr.}$  = contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla.

### 3.5. Especificaciones del Método de Diseño.

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios, un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas. A continuación se detalla los criterios para el diseño de mezclas Marshall:

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Compactación, número de golpes por capa	35		50		75	
Estabilidad: (lb)	3336	---	5338	---	8006	---
	750	---	1200	---	1800	---
Flujo, (0.25mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	<b>Ver Tabla N°26</b>					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

**Tabla 29. Criterio de diseño de mezclas Marshall**  
Fuente: NEVI-12

### 3.5.1 Preparación de los agregados.

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos, de tal manera la combinación de agregados se coloca en una bandeja y se calienta en un horno a una temperatura de 110° C (230°F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y, se registra el valor a utilizarse en el diseño.

Los agregados pétreos utilizados en esta investigación provienen de la cantera del Cerro Santa Rosa ubicado en Sabanilla Las Lojas (Daule), donde se gestionó para la obtención de los siguientes materiales: Grava ¾", Gravilla 3/8" - Cisco y Arena. A los materiales se les realizaron los ensayos que busquen cumplir con los requerimientos para los agregados según la NEVI y cuyos resultados se muestran en el Anexo 1.

Para poder realizar la mezcla asfáltica con este tipo de agregados pétreos, se procedió a realizar la combinación de los mismos a partir de los requisitos de graduación dados por la norma ASTM D 3515, cumpliendo alternativamente las gradaciones especificadas en dicha norma, donde la gradación de la combinación cumpliendo su respectiva curva granulométrica se encuentran en el Anexo 1 – A4.

En la Tabla 30 se presenta la dosificación o los porcentajes obtenidos de la combinación de cada uno de los agregados para el diseño de la mezcla asfáltica convencional para esta investigación.

<b>Dosificación – Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional</b>	
<b>Agregados</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
¾"	<b>37</b>
3/8" - Cisco	<b>47</b>
Arena	<b>16</b>

*Tabla 30. Dosificación de la mezcla*  
**Fuente: Autores.**

### 3.5.2 Preparación de las probetas Marshall.

El desarrollo del método implica la confección de una serie de probetas cilíndricas normalizadas de 63.5mm de altura y 101.6mm de diámetro, a las cuales se les incorporan diferentes porcentajes de ligante.

Las probetas con estas dimensiones reciben la denominación de probetas Marshall. (Navarro, 2013, pág. 53)

Para obtener las dimensiones requeridas en las probetas, se realiza la mezcla con 1100g de áridos según la dosificación de diseño. Suelen utilizarse al menos cinco contenidos de cemento asfáltico (porcentaje referido al peso del agregado), variando uno y otro en 0,5 puntos porcentuales y con al menos dos contenidos de asfalto bajo y sobre el óptimo esperado. Para cada contenido de ligante, se deben fabricar al menos tres probetas. (Navarro, 2013, pág. 53).

Para la determinación del contenido óptimo de asfalto en la mezcla patrón, en esta investigación se elaboraron mezclas con 5 diferentes contenidos de asfalto. Para esta investigación se trabajó con un cemento asfáltico de Concreto y Prefabricados AC-20 (60 – 70) de la planta de Durán. Este tipo es de uso convencional, muy usados en diferentes tipos de tránsito, ya sean livianos o pesados; así como para climas con temperaturas de entre 15 °C a más. Los porcentajes utilizados fueron de 5 %, 5.5 %, 6%, 6.5 %, 7%.

Las diferentes probetas Marshall se preparan según la norma ASTM D 1559 (Diseño de Mezclas Método Marshall e Interpretación de Resultados), el asfalto y el agregado se calientan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas, esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

En esta investigación la mezcla será diseñada para un tráfico pesado por ser una condición más exigente, por ello se realizaron compactación de 75 golpes por cada cara de molde. Los parámetros Marshall para cada contenido de asfalto se obtuvieron del promedio de los resultados obtenidos de las tres probetas, cuyos resultados del diseño se muestran en el Anexo 1- A.37.

En el ensayo de Rotura Marshall es necesario tener en consideración las características que presentan las mezclas tales como:

○ **Valor de Estabilidad Marshall.**

Debido a que la estabilidad Marshall determina la resistencia de una mezcla asfáltica a la deformación. La resistencia del material es una medida de su calidad, pero esto no depende en una mezcla asfáltica en caliente. Las estabilidades altas se obtienen por la durabilidad del agregado pétreo (Chiquito & Torres, 2015, pág. 88).

○ **Valor de Flujo Marshall.**

La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas con valores bajos de flujo y valores altos de estabilidad Marshall son demasiado frágiles y rígidas para una carpeta asfáltica en servicio; y las de valores altos de flujo son demasiado plásticas y se deforman más rápido por las cargas del tránsito (Chiquito & Torres, 2015, pág. 88).

○ **Corrección de estabilidad por altura de la briqueta.**

Una vez finalizado el ensayo de rotura Marshall se efectúa una corrección de la estabilidad, realizada a cada una de las briquetas por altura del espécimen compactado con el martillo Marshall.

Los factores de corrección dependiendo su altura se presentan en la tabla siguiente:

Espesor (mm)	Factor Corrección						
31,5	3,902	36,0	3,124	40,5	2,385	45,0	1,879
31,6	3,884	36,1	3,105	40,6	2,371	45,1	1,871
31,7	3,867	36,2	3,086	40,7	2,356	45,2	1,863
31,8	3,850	36,3	3,068	40,8	2,342	45,3	1,855
31,9	3,833	36,4	3,049	40,9	2,328	45,4	1,847
32,0	3,815	36,5	3,030	41,0	2,313	45,5	1,839
32,1	3,798	36,6	3,014	41,1	2,299	45,6	1,831
32,2	3,780	36,7	2,999	41,2	2,284	45,7	1,823
32,3	3,745	36,8	2,983	41,3	2,270	45,8	1,814
32,4	3,728	36,9	2,968	41,4	2,258	45,9	1,806
32,5	3,710	37,0	2,952	41,5	2,246	46,0	1,798
32,6	3,693	37,1	2,936	41,6	2,234	46,1	1,790
32,7	3,675	37,2	2,921	41,7	2,223	46,2	1,782
32,8	3,658	37,3	2,905	41,8	2,211	46,3	1,774
32,9	3,640	37,4	2,889	41,9	2,199	46,4	1,766
33,0	3,623	37,5	2,874	42,0	2,187	46,5	1,758
33,1	3,605	37,6	2,858	42,1	2,175	46,6	1,750
33,2	3,588	37,7	2,843	42,2	2,163	46,7	1,742
33,3	3,570	37,8	2,827	42,3	2,151	46,8	1,734
33,4	3,552	37,9	2,811	42,4	2,139	46,9	1,726
33,5	3,538	38,0	2,796	42,5	2,128	47,0	1,718
33,6	3,522	38,1	2,780	42,6	2,116	47,1	1,710

33,7	3,506	38,2	2,763	42,7	2,104	47,2	1,702
33,8	3,490	38,3	2,745	42,8	2,092	47,3	1,694
33,9	3,474	38,4	2,728	42,9	2,080	47,4	1,686
34,0	3,458	38,5	2,710	43,0	2,070	47,5	1,678
34,1	3,442	38,6	2,693	43,1	2,060	47,6	1,670
34,2	3,426	38,7	2,675	43,2	2,050	47,7	1,663
34,3	3,410	38,8	2,658	43,3	2,040	47,8	1,656
34,4	3,394	38,9	2,640	43,4	2,030	47,9	1,649
34,5	3,378	39,0	2,623	43,5	2,020	48,0	1,643
34,6	3,362	39,1	2,605	43,6	2,010	48,1	1,636
34,7	3,346	39,2	2,588	43,7	2,000	48,2	1,629
34,8	3,330	39,3	2,570	43,8	1,990	48,3	1,622
34,9	3,311	39,4	2,553	43,9	1,980	48,4	1,615
35,0	3,293	39,5	2,535	44,0	1,970	48,5	1,608
35,1	3,274	39,6	2,517	44,1	1,960	48,6	1,601
35,2	3,255	39,7	2,500	44,2	1,950	48,7	1,594
35,3	3,236	39,8	2,486	44,3	1,940	48,8	1,588
35,4	3,218	39,9	2,471	44,4	1,930	48,9	1,581
35,5	3,199	40,0	2,457	44,5	1,920	49,0	1,574
35,6	3,180	40,1	2,443	44,6	1,912	49,1	1,567
35,7	3,161	40,2	2,428	44,7	1,904	49,2	1,560
35,8	3,143	40,3	2,414	44,8	1,896	49,3	1,553
35,9	3,125	40,4	2,399	44,9	1,888	49,4	1,549
49,5	1,543	54,0	1,320	40,5	1,149	45,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	40,6	1,146	45,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	40,7	1,143	45,2	1,008
49,8	1,526	36,3	1,307	40,8	1,140	45,3	1,005
49,9	1,521	36,4	1,303	40,9	1,137	45,4	1,003
50,0	1,515	36,5	1,298	41,0	1,134	45,5	1,000
50,1	1,509	36,6	1,294	41,1	1,131	45,6	0,998
50,2	1,504	36,7	1,289	41,2	1,128	45,7	0,995
50,3	1,498	36,8	1,285	41,3	1,124	45,8	0,993
50,4	1,493	36,9	1,281	41,4	1,121	45,9	0,990
50,5	1,487	37,0	1,276	41,5	1,118	46,0	0,988
50,6	1,481	37,1	1,272	41,6	1,115	46,1	0,985
50,7	1,476	37,2	1,268	41,7	1,112	46,2	0,983
50,8	1,470	37,3	1,263	41,8	1,109	46,3	0,980
50,9	1,465	37,4	1,259	41,9	1,106	46,4	0,978
51,0	1,460	37,5	1,254	42,0	1,103	46,5	0,975
51,1	1,455	37,6	1,250	42,1	1,099	46,6	0,973
51,2	1,450	37,7	1,246	42,2	1,096	46,7	0,970
51,3	1,445	37,8	1,243	42,3	1,093	46,8	0,968
51,4	1,440	37,9	1,239	42,4	1,090	46,9	0,965
51,5	1,435	38,0	1,235	42,5	1,087	47,0	0,963
51,6	1,430	38,1	1,231	42,6	1,084	47,1	0,960
51,7	1,425	38,2	1,228	42,7	1,081	47,2	0,958
51,8	1,420	38,3	1,224	42,8	1,078	47,3	0,956
51,9	1,415	38,4	1,220	42,9	1,074	47,4	0,954
52,0	1,410	38,5	1,218	43,0	1,071	47,5	0,953
52,1	1,405	38,6	1,213	43,1	1,068	47,6	0,951
52,2	1,400	38,7	1,209	43,2	1,065	47,7	0,949
52,3	1,395	38,8	1,205	43,3	1,062	47,8	0,947
52,4	1,390	38,9	1,201	43,4	1,059	47,9	0,945
52,5	1,386	39,0	1,198	43,5	1,056	48,0	0,943
52,6	1,381	39,1	1,194	43,6	1,053	48,1	0,941
52,7	1,377	39,2	1,190	43,7	1,049	48,2	0,939
52,8	1,373	39,3	1,187	43,8	1,046	48,3	0,938
53,0	1,364	39,5	1,181	44,0	1,040	48,5	0,934
53,1	1,359	39,6	1,178	44,1	1,037	48,6	0,932
53,2	1,355	39,7	1,174	44,2	1,035	48,7	0,930
53,3	1,351	39,8	1,171	44,3	1,032	48,8	0,928
53,4	1,346	39,9	1,168	44,4	1,029	48,9	0,925
53,5	1,342	40,0	1,165	44,5	1,027	49,0	0,923
53,6	1,338	40,1	1,162	44,6	1,024	49,1	0,920
53,7	1,333	40,2	1,159	44,7	1,021	49,2	0,918
53,8	1,329	40,3	1,156	44,8	1,019	49,3	0,915
53,9	1,324	40,4	1,153	44,9	1,016	49,4	0,913

**Tabla 31. Factor de corrección por altura de briqueta**

**Fuente: AASHTO T 245 – 97 (2004)**

Para la determinación del contenido óptimo de asfalto se realizó calculando el promedio entre los porcentajes de asfalto que resulten de los gráficos de la máxima Estabilidad, la máxima Densidad (Bulk) y los Vacíos de Aire en la Mezcla. En la graficas se obtiene que el máximo por Densidad se encuentra con 6.4% de cemento asfáltico, el máximo por Estabilidad, con 6.3% y los vacíos de aire con 5.86% respecto a los huecos en la mezcla de un 4%.

Para este diseño de mezcla asfáltica el porcentaje óptimo de asfalto es de 6.2%. Con este porcentaje, la estabilidad, la densidad, los vacíos de aire en la mezcla y demás parámetros descritos para el diseño Marshall se encuentran dentro de las especificaciones para una carpeta de rodadura de tráfico pesado. Los resultados se muestran en la siguiente Tabla:

<b>Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto de 6.2 %</b>			
<b>Tráfico pesado (75 golpes)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Resultados obtenidos</b>	<b>Especificación del diseño Marshall</b>	
		<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
<b>Estabilidad (lb)</b>	3009.86	1800	---
<b>Flujo (1/100")</b>	13	8	14
<b>% Vacíos de aire</b>	3.796	3	5
<b>% Vacíos llenos de Asfalto</b>	73.193	65	75

*Tabla 32. Comprobación del porcentaje óptimo de asfalto.*

Fuente: Autores

### **3.6. Diseño de la Mezcla Asfáltica Modificada con granos de caucho mediante el proceso de vía seca.**

Para realizar el estudio de la incorporación de caucho mediante el proceso de vía seca se diseñó una mezcla convencional patrón con el fin de comparar la variación de las propiedades de la mezcla patrón al añadirle diferentes porcentajes de caucho; en este caso, la mezcla patrón corresponde a una mezcla convencional del tipo Densa. La mezcla patrón y la modificada con caucho se emplearon los mismos materiales pétreos y el cemento asfáltico.

El Grano de Caucho Reciclado (GCR) es obtenido producto del reciclado, lo cual está compuesto por caucho proveniente de la trituración mecánica de neumático reciclado y la posterior separación de otros materiales que están compuestas las llantas.

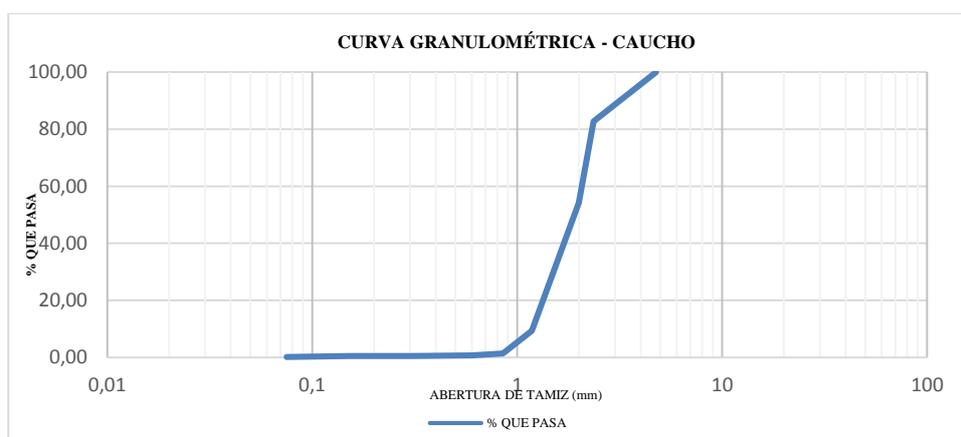
El GCR para esta investigación se lo obtuvo del Laboratorio de Suelos, Hormigones y Asfalto de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), es importante mencionar que este material ya formaba parte del laboratorio puesto que fue comprado para la elaboración de proyectos de investigación.

La granulometría del caucho usado para realizar esta investigación se indica en la Tabla 33. Se utiliza GCR con tamaños inferiores al tamiz N° 4 (4.75mm), ya que la forma de las partículas superiores a este tamaño corresponden a una serie más gruesa, por lo que no se consideró tamaños gruesos y así tener un grano de caucho más homogéneo.

Tamices		Peso parcial (gr)	% Retenido	% Que pasa
N°	mm			
N°4	4.75	0	0.00	100.00
N°8	2.36	172.58	17.31	82.69
N°10	2.00	284.25	28.52	54.17
N°16	1.18	447.36	44.88	9.29
N°20	0.85	78.56	7.88	1.41
N°30	0.60	6.47	0.65	0.76
N°40	0.425	1.44	0.14	0.62
N°50	0.30	0.73	0.07	0.54
N°80	0.18	0.67	0.07	0.48
N°100	0.15	0.23	0.02	0.45
N°200	0.075	2.42	0.24	0.21
Fondo		2.09	0.21	0.00
TOTAL		996.80		

**Tabla 33. Distribución Granulométrica del Caucho.**

**Fuente: Autores.**



**Figura 15. Representación Gráfica de la Granulometría del Caucho.**

**Fuente: Autores.**

Este proceso por vía seca estudia la influencia que produce los granos de caucho al incorporarse como una parte de los agregados finos en la elaboración de las mezclas asfálticas, siendo la tecnología convencional utilizada para la adición del caucho, la cual usa porcentajes de adición menores del 5% del peso total de los agregados.

El GCR en la mezcla modificada se le incorporó o adicionó como cualquier otro agregado, teniendo en cuenta que éste fue su uso dentro de la mezcla asfáltica, al momento de adicionar el grano de caucho fue necesario establecer el peso correspondiente en gramos de GCR para cada uno de los porcentajes a utilizar.

Al incorporar los distintos porcentajes de caucho a los agregados, la franja granulometría de la mezcla convencional se afectará pues existe mayor cantidad de finos, por aquello se analizó y modificó la dosificación de la mezcla para así llegar a cumplir las especificaciones granulométricas descritas por la Norma ASTM D 3515. En el Anexo 4 – D.1 hasta el D.5 se muestran las granulometrías y dosificaciones con los diferentes porcentajes de caucho triturado que se emplearon en esta investigación.

Para la preparación de las briquetas con incorporación de GCR se realizó un procedimiento semejante a la mezcla asfáltica convencional, elaborando 3 briquetas por cada variación de porcentaje de GCR. Los granos de caucho para esta investigación fueron incorporados en porcentajes de 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5% siendo un total de 15 briquetas con GCR.

Para la elaboración de las briquetas modificadas con cada porcentaje de caucho se consideró un peso total de mezcla de 5650 gr, los cuales están distribuidos en 3600 gr para las briquetas, 2000 gr para ensayos a la mezcla asfáltica y 50 gr de desperdicios; tomando en cuenta para esta investigación un contenido de humedad de 1.28% de la mezcla de agregados.

### Dosificación de Mezcla Asfáltica Modificada con GCR.

0.5% DE CAUCHO			1% DE CAUCHO		
Agregados	% de Diseño	Peso (gr)	Agregados	% de Diseño	Peso (gr)
<b>3/4</b>	39	2203.5	<b>3/4</b>	39	2203.5
<b>3/8-Cisco</b>	38.5	2175.25	<b>3/8-Cisco</b>	38	2147
<b>Arena</b>	22	1243	<b>Arena</b>	22	1243
<b>Caucho</b>	0.5	28.25	<b>Caucho</b>	1	56.5
		<b>5650</b>			<b>5650</b>

1.5% DE CAUCHO			2% DE CAUCHO		
Agregados	% de Diseño	Peso (gr)	Agregados	% de Diseño	Peso (gr)
<b>3/4</b>	39	2203.5	<b>3/4</b>	40	2260
<b>3/8-Cisco</b>	38	2147	<b>3/8-Cisco</b>	36	2034
<b>Arena</b>	21.5	1214.75	<b>Arena</b>	22	1243
<b>Caucho</b>	1.5	84.75	<b>Caucho</b>	2	113
		<b>5650</b>			<b>5650</b>

2.5% DE CAUCHO		
Agregados	% de Diseño	Peso (gr)
<b>3/4</b>	39	2203.5
<b>3/8-Cisco</b>	38.5	2175.25
<b>Arena</b>	20	1130
<b>Caucho</b>	2.5	141.25
		<b>5650</b>

*Tabla 34. Dosificaciones para los diferentes porcentajes de caucho.*

**Fuente: Autores**

El procedimiento para la confección de la mezcla con caucho en laboratorio, no difiere en gran medida del método empleado para una mezcla convencional, salvo la determinación previa del tiempo y temperatura de digestión, que requiere este tipo de mezcla asfáltica antes de la compactación.

Los pasos se describen a continuación:

- Preparar la granulometría de los agregados pétreos.
- Calentar los agregados en horno a temperatura entre 170° y 210° C.
- Establecer la proporción de caucho a utilizar, relacionada con el peso de los áridos.

- Mezclar los agregados calientes con la cantidad de caucho que corresponda y colocarlos en horno entre 150 y 190° C por aproximadamente 2 min para que el caucho aumente su temperatura.
- Adicionar el asfalto previamente calentado a la temperatura de mezclado, a la mezcla de agregados con caucho y mezclar por 2 a 3 min.
- Colocamos la mezcla asfáltica en el horno durante 2h a una temperatura de 170°C, este proceso mejora la eficacia del proceso de adición de caucho a la mezcla, facilitando la digestión del caucho lográndose mediante este proceso térmico un importante mejoramiento en la resistencia a la humedad de las mezclas mejoradas con caucho.
- Retirar la mezcla del horno y remover el material.
- Compactar la mezcla caliente en moldes Marshall precalentados. La compactación se lleva a cabo a una temperatura 10° C más baja que la de digestión, con 75 golpes del martillo Marshall, por ambos lados de la probeta.
- Dejar reposar por 24 horas antes de extraer la probeta del molde.

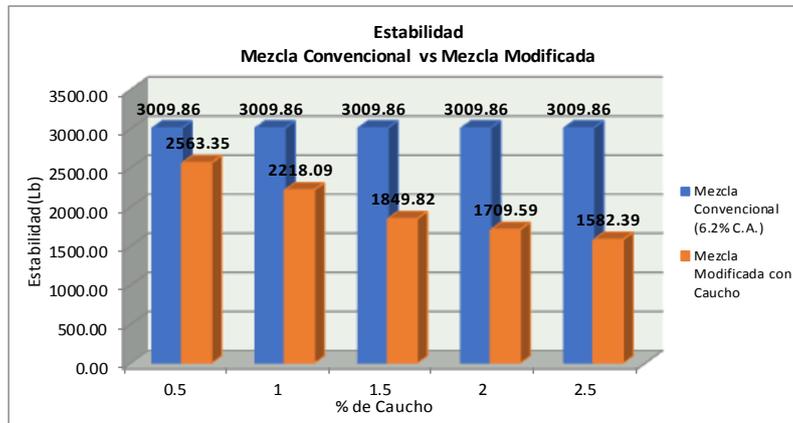
Una vez elaboradas cada una de las briquetas modificadas con GCR, también se le procedió con la aplicación de la carga en la Máquina Marshall para así determinar sus respectivos valores de Estabilidad, Flujo, Peso Específico y proceder a sus diferentes análisis.

### **3.7. Análisis Comparativo entre la Mezcla Convencional y la Mezcla Modificada.**

De acuerdo con los resultados obtenidos de la mezcla con GCR se obtuvieron las siguientes comparaciones de los diferentes parámetros Marshall:

✓ **ESTABILIDAD.**

**Tráfico Pesado: Min. 1800 Lb.**



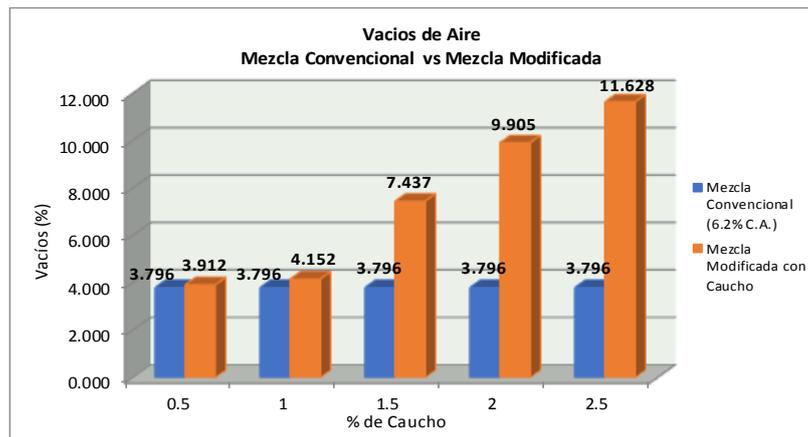
*Figura 16. Variación de la Estabilidad en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.*

*Fuente: Autores.*

En la gráfica podemos observar que para la mezcla modificada con los diferentes porcentajes de caucho con el 0.5%, 1% y 1.5% se obtienen los valores más altos de Estabilidades que cumplen con los criterios de diseño para una carpeta asfáltica; mientras con el 2% y 2.5% de caucho la estabilidad son valores bajos, es decir que al aumentar la cantidad de caucho a la mezcla, la estabilidad disminuye.

✓ **VACÍOS DE AIRE.**

**Tráfico Pesado: Min. 3% - Max. 5%.**

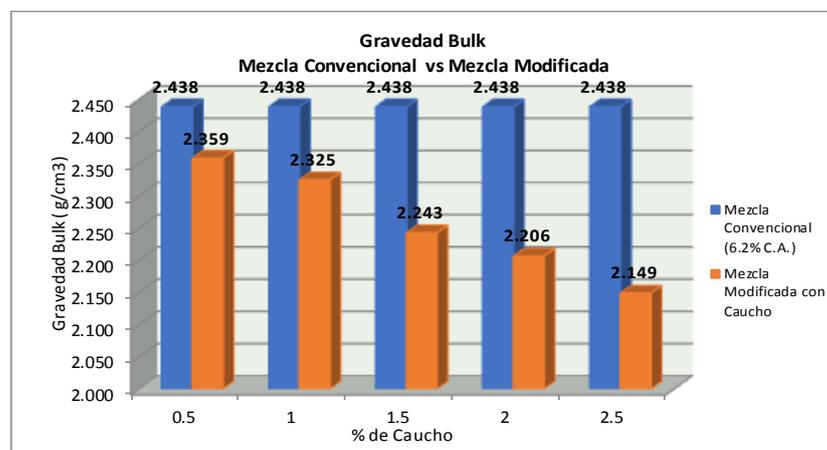


*Figura 17. Variación de los vacíos de aire en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.*

*Fuente: Autores*

Para la mezcla fabricada con caucho se tiene en la gráfica que los valores obtenidos con 0.5% y 1% se encuentran dentro de los parámetros permitidos para el diseño de una mezcla asfáltica, mientras con el 1.5%, 2% y 2.5% de caucho los valores se encuentran fuera del intervalo permitido. A medida que aumenta el contenido de caucho, los vacíos de aire en la mezcla aumentan, lo cual también sucede a medida que el contenido de cemento asfáltico disminuye.

✓ **GRAVEDAD BULK.**



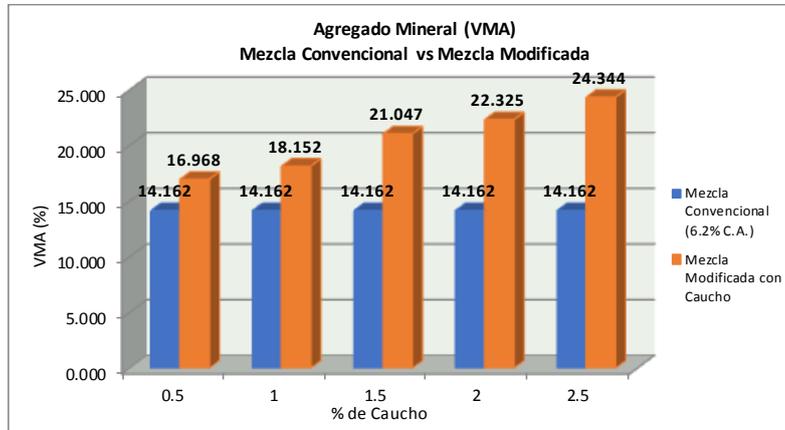
**Figura 18. Variación de la gravedad Bulk en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.**

**Fuente: Autores**

En la densidad Bulk de las mezclas mejoradas con caucho podemos observar que ésta disminuye a medida que la proporción de caucho se incrementa, la disminución de la densidad puede deberse a que los granos de caucho al interactuar con el ligante, se hinchan, aumentando de esta forma el volumen de las briquetas y teniendo una variación en sus pesos donde mientras el porcentaje de caucho aumente, el peso de la briketa disminuirá.

✓ **AGREGADO MINERAL (VMA).**

**Tráfico Pesado: Min. 13%.**



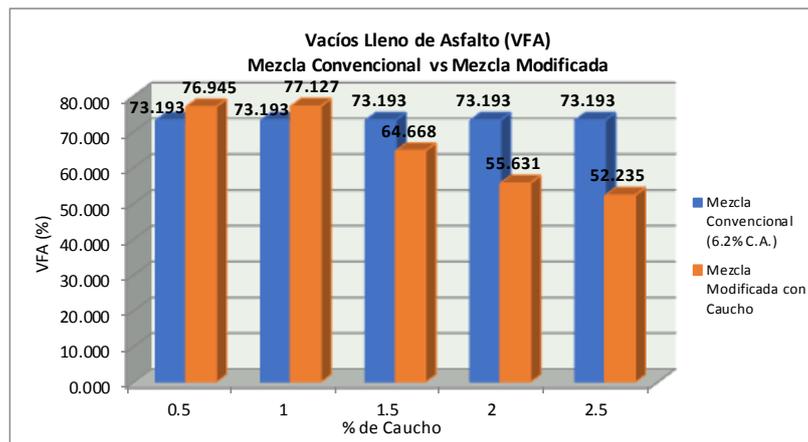
*Figura 19. Variación del VMA en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.*

*Fuente: Autores*

En la gráfica se observa que los vacíos en el agregado mineral aumentan a medida que el porcentaje de caucho se incrementa. Todas las proporciones de caucho tienen la tendencia esperada y cumplen el requisito que se requiere para el diseño, como de igual forma cumple con la mezcla convencional.

✓ **VACÍOS LLENO DE ASFALTO (VFA).**

**Tráfico Pesado: Min. 65% - Max. 75%.**



*Figura 20. Variación del VFA en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.*

*Fuente: Autores*

En los vacíos llenos de asfalto de la mezcla modificada se puede apreciar que disminuye a medida que el porcentaje de caucho se incrementa, donde con el porcentaje de 1.5% de caucho existe una aproximación a los valores requeridos y podría estar dentro del intervalo de diseño, mientras con los porcentajes de 0.5%, 1%, 2% y 2.5% de caucho no cumplen este intervalo.

✓ **FLUJO (0.001”).**

**Tráfico Pesado: Min. 8 – Max. 14.**

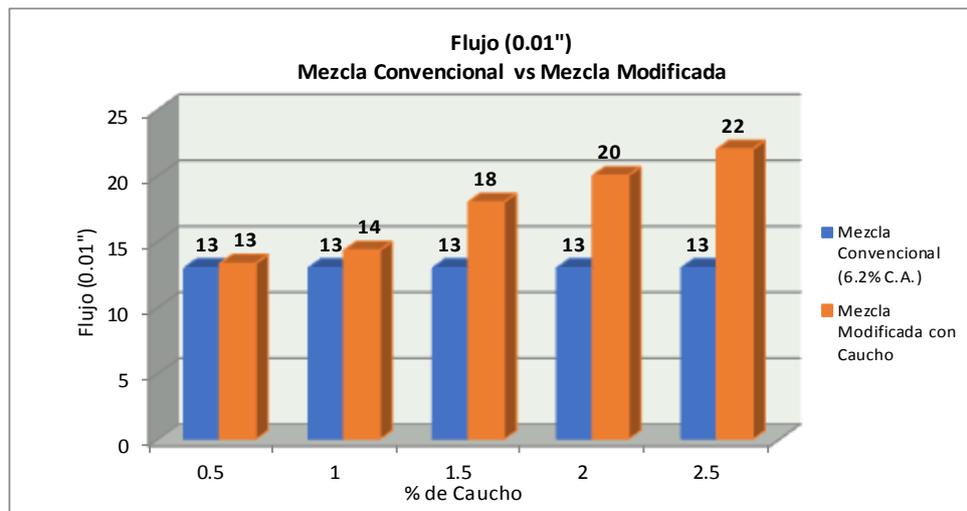


Figura 21. Variación del flujo en la mezcla con los diferentes porcentajes de caucho.

Fuente: Autores

Para la mezcla modificada con caucho los valores de flujo que se encuentran dentro del intervalo permitido para un diseño son con los valores del 0.5% y 1% de caucho, a diferencia de los porcentajes restantes que con ello sobrepasa el límite superior especificado por la Norma.







## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### ○ Conclusiones

- De la investigación realizada se puede concluir que los materiales provenientes de la cantera Cerro Santa Rosa en Sabanilla Las Lojas – Daule son de buena calidad dado los resultados obtenidos en los ensayos, demostrando de esta manera que son agregados aptos para el diseño de una mezcla asfáltica.
- La implementación del Grano de Caucho Reciclado (GCR) en mezclas asfálticas tiene una gran contribución en el ámbito ambiental debido a que la utilización de estos neumáticos, tendremos menor cantidad de daño ambiental en el ecosistema reduciendo significativamente la contaminación que generan, debido a su largo plazo de degradación y a sus distintos métodos de desecho o eliminación.
- La incorporación como agregado del GCR incrementa los vacíos y vuelve la mezcla más porosa. Por tanto, se puede utilizar estas mezclas como una mezcla drenante o como una capa asfáltica Drenante.
- Para la incorporación de GCR no es necesario trabajar con granulometrías específicas para mezclas asfálticas modificadas con caucho triturado de llantas recicladas por tal motivo el GCR también puede ser utilizado para otros tamaños máximos nominales descritos en la norma ASTM D 3515.
- La Rigidez Marshall en la mezcla modificada se va reduciendo ya que aumenta el porcentaje de vacíos, considerando de esta manera que la mezcla con valores mayores a 1% de GCR no puede ser utilizada como una capa de rodadura.
- No se redujo el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla modificada puesto que el GCR fue incorporado como un agregado adicional a la mezcla y no como un modificador del asfalto.

- De los ensayos realizados a la mezcla modificada se concluye que con el 0.5% y 1% de GCR se obtienen los mejores resultados en estabilidad, flujo y demás parámetros Marshall consideradas para un tráfico pesado donde las dosificaciones de ambos porcentajes son las siguientes:
  - ✓ 39% de agregado grueso (3/4”), 38.5% de agregado grueso (3/8”-Cisco), 22% de agregado fino, 6.2% de asfalto y 0,5% de GCR.
  - ✓ 39% de agregado grueso (3/4”), 38% de agregado grueso (3/8”-Cisco), 22% de agregado fino, 6.2% de asfalto y 1% de GCR.
- Este tipo de mezclas modificadas con GCR desde el punto de vista económico no representa mayor beneficio, ya que el costo final de las mezclas evaluadas son algo mayor a las convencionales.

## ○ **Recomendaciones**

- Se recomienda realizar los respectivos ensayos a los agregados pétreos tanto grueso como fino con los cuales se va a diseñar una mezcla asfáltica, verificando que los ensayos realizados a los diferentes agregados cumplan normas INEN, ASTM, AASHTO y que los resultados estén dentro de los límites respectivos y así determinar si son materiales adecuados para el diseño.
  
- Es importante que la cantidad y tamaño del GCR a emplearse como agregado en una mezcla asfáltica sea la óptima, por tal motivo es recomendable que se desarrollen especificaciones o normativas que el GCR debe cumplir para ser incorporado en una mezcla asfáltica y así en futuras investigaciones sobre este tipo de mezclas modificadas se pueda obtener resultados mas satisfactorios.
  
- La incorporación de GCR a la mezcla asfáltica desde el punto de vista economico se observa que el costo de las mezclas modificadas son un poco mayor a las tradicional en los porcentajes de GCR utilizados (0.5% y 1%), por tanto no existe un beneficio económico directo, pero desde el punto de vista ambiental sí sería conveniente y se recomienda su aplicación, ya que se le daría un uso final a los neumáticos que son desechados minimizando el impacto ambiental generado por este material.
  
- De la investigación realizada se puede recomendar para otro campo de investigación el uso de mezclas con GCR en porcentajes mayores al 1% para obtener mezclas drenantes y/o capas asfálticas drenantes, cuyo campo de aplicación debe ser considerado en otro estudio o tesis relacionado con el reciclado de llantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alejandro, P. (2004). *Materiales Basicos(Capitulo 2)*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-13.pdf?sequence=13&isAllowed=y>
- Castro, G. *Materiales y Compuestos para la industria del Neumatico*. DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA .
- Castro, L., & Díaz, C. Implementación del grano de caucho reciclado(GCR) provenientes de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. *Monografía de Grado( Ingeniería Civil)*. Universidad Santo Tomas, Bogotá-Colombia.
- Chiquito, A., & Torres, F. Diseño de mezcla afáltica en caliente empleando agregados de la cantera San Vicente de Colonche y del Rio San Rafael de la Provincia de Santa Elena utilizando el método Marshall. *Tesis( Ingeniería Cvil)*. Universidad Estatal Peninsula de Santa Elena, La libertad-Ecuador.
- Correa, C. Implementación de mezcla asfáltica modificada con granulo de caucho en el barrio San Carlos de la localidad de Tunjuelito. *Tesis de Grado (Especialista de Ingeniería en Pavimentos)*. Univerdad Militar Nueva Granada, Bogotá - Colombia.
- Eco Green Equipment. (22 de Enero de 2018). *¿Conoces cuales peligros pueden ocasionar Los neumaticos fuera de uso (NFU)?* Obtenido de Eco Green Equipment: <https://ecogreenequipment.com/es/conoce-cuales-peligros-pueden-ocacionar-los-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>
- El Qumico. (18 de Enero de 2014). *Propiedades del Caucho.Vulcanización*. Obtenido de El Qumico: <https://quimicayalgomas.com/quimica-organica/hidrocarburos/propiedades-del-caucho-vulcanizacion/>
- Espinoza, P., & Vildoso, J. Estudio de la técnica del reciclado con asfalto espumado en la carreteras la Oroya-Chicrín-Huánuco-Tingo María-Dv. Tocache y Conoche-Yanacancha. *Tesis (Ingeniería Civil)*. Universidad Ricardo Palma, Lima Perú.

- Garcia Burgos, J. F. *Influencia del triturado de restos de llantas como agregados en mezclas asfálticas*. Universidad de Cartagena, Cartagena de India D.T.Y.C.
- Garnica, P. (2004). *Aspectos del diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas*. Sanfandila, Qro.: Secretaria de Comunicaciones y Transportes. Obtenido de Secretaria de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte.
- Gomez, E. (19 de Enero de 2017). *HALO SEA Ecotecnias* . Obtenido de Las llantas y su gran impacto ambiental: <https://halosolar.mx/las-llantas-y-su-gran-impacto-ambiental/>
- Importadora de Accesorios y Neumaticos. (10 de Noviembre de 2015). *Hablemos del Origen del Caucho*. Obtenido de Importadora de Accesorios y Neumaticos: <http://www.imaneumagic.com/index.php/noticias/43-hablemos-del-origen-del-caucho>
- Institute, Asphalt. (1986). *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente*. MS-22.
- M.O.P. (2 de Octubre de 2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Obtenido de MOP-001-F 2002: [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013\\_ConcursoPublico\\_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/01-07-2013_ConcursoPublico_StoDomingo-Esmeraldas-Especificaciones-Tecnicas.pdf)
- Mora, P., & Chicaiza, M. Propuesta economica tecnica y operativa para la creacion de una empresa recicladora de llanta desechable de vehiculos para producir polvo de caucho y comercializarlo para la ciudad de Quito. Caso practico aplicación del asfalto. *Tesis en Gerencia Empresarial*. Escuela Politecnica Nacional, Quito.
- Navarro, N. Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuero de uso (NFU) mediante vía seca. (*Tesis de Grado, Ingenieria Civil*). Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Paredes, E. Comportamiento Mecánico de las Mezclas Tipo SMA (Stone Mastic Asphalt). *Tesis de Grado*. Universidad Ricardo Palma, Lima-Peru.
- Ramirez, N. Estudio de la utilización de caucho de neumático en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. *Tesis (Ingeniería Civil)*. Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Vargas, N., & Rodriguez, F. Diagnóstico de las condiciones superficiales y evaluación del comportamiento estructural del pavimento de las vías construidas por el instituto de desarrollo urbano con asfalto modificado con caucho reciclado de llanta (GCR), en las localidades de Fontibón. *Monografía (Ingeniería Civil)*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Vega Zurita, D. S. *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato-Ecuador.
- Verdezoto, C. Elaboración de una mezcla asfáltica para la carpeta de rodadura de pavimento flexible con cemento asfáltico modificado utilizando polvo de caucho. *Trabajo de Titulación*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.
- Villagaray, E. Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la avenida Trapiche-Comas (Remanese) 2017. *Tesis de Grado (Ingeniero Civil)*. Universidad César Vallejo, Lima-Perú.

# **ANEXOS**

**Anexo 1.** Ensayos Realizados a los Agregados Pétreos.

**Anexo 2.** Ensayos Realizados al Cemento Asfáltico.

**Anexo 3.** Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional – Método Marshall ASTM  
D 1559.

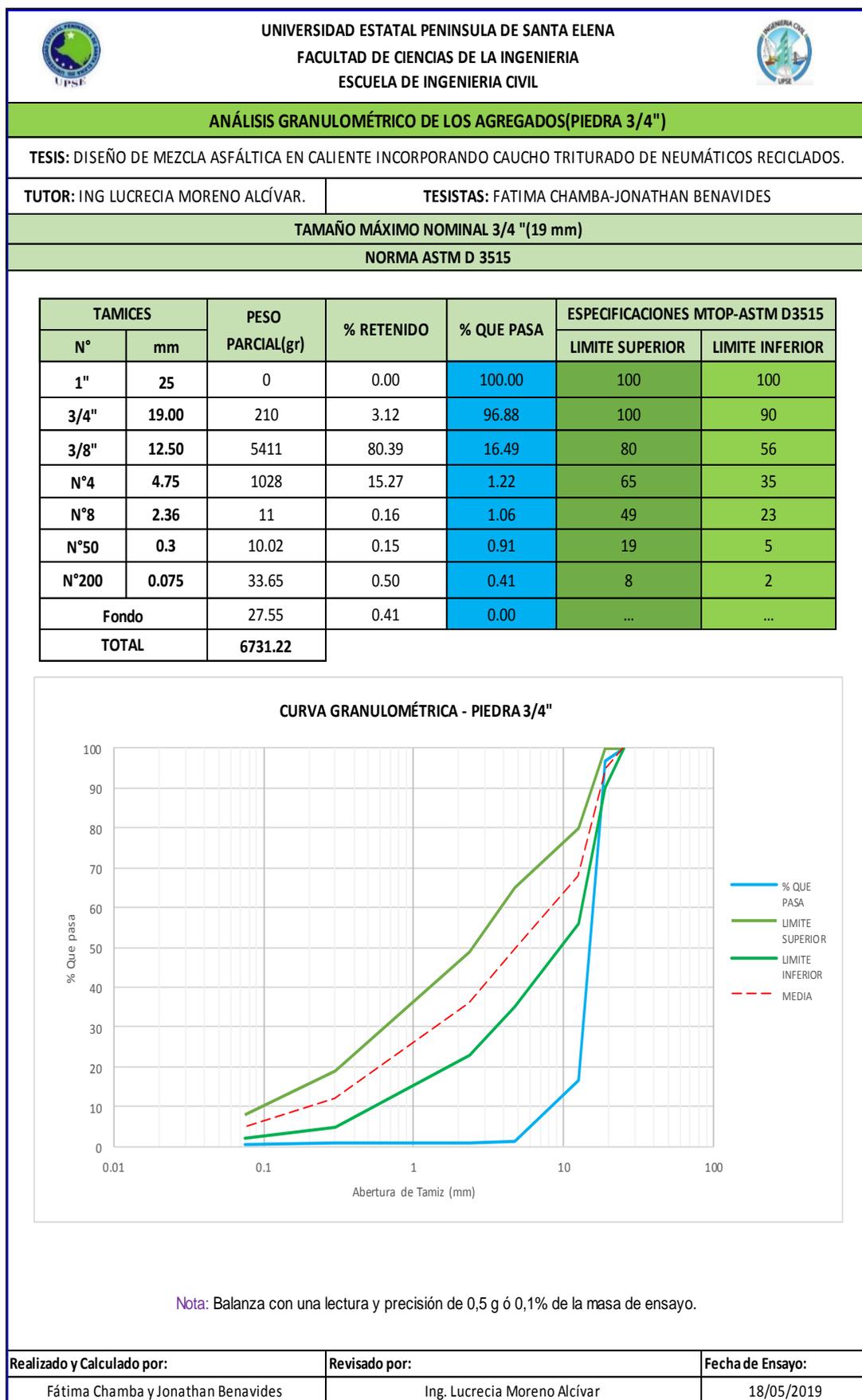
**Anexo 4.** Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada con GCR.

**Anexo 5.** Fotografías.

## **Anexo 1.**

### **Ensayos Realizados a los Agregados Pétreos.**

Anexo 1- A.1: Granulometría de la Piedra 3/4"

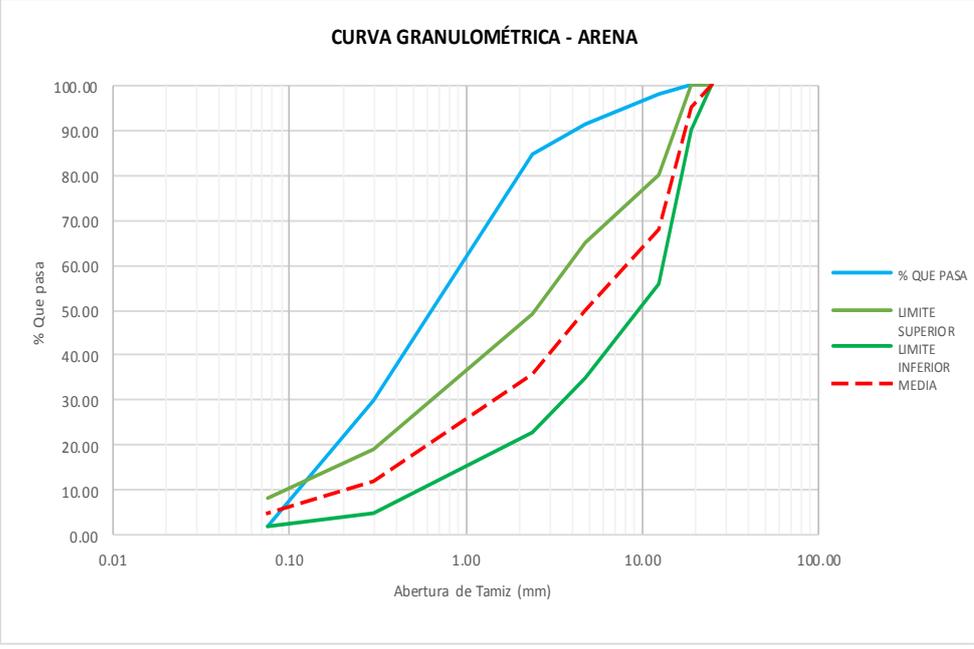


## Anexo 1- A.2: Granulometría de la Arena.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS (ARENA)</b>						
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.						
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg				TESISTAS: FATIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES		
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 3/4"(19 mm)</b>						
<b>NORMA ASTM D 3515</b>						
TAMICES		PESO PARCIAL(gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515	
Nº	mm				LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
1"	25.00	0	0.00	100.00	100	100
3/4"	19.00	0	0.00	100.00	100	90
3/8"	12.5	91.92	1.93	98.07	80	56
Nº4	4.75	313	6.57	91.49	65	35
Nº8	2.36	328	6.89	84.61	49	23
Nº50	0.3	2605	54.72	29.89	19	5
Nº200	0.075	1328	27.89	2.00	8	2
Fondo		95	2.00	0.00	...	...
TOTAL		4760.92				

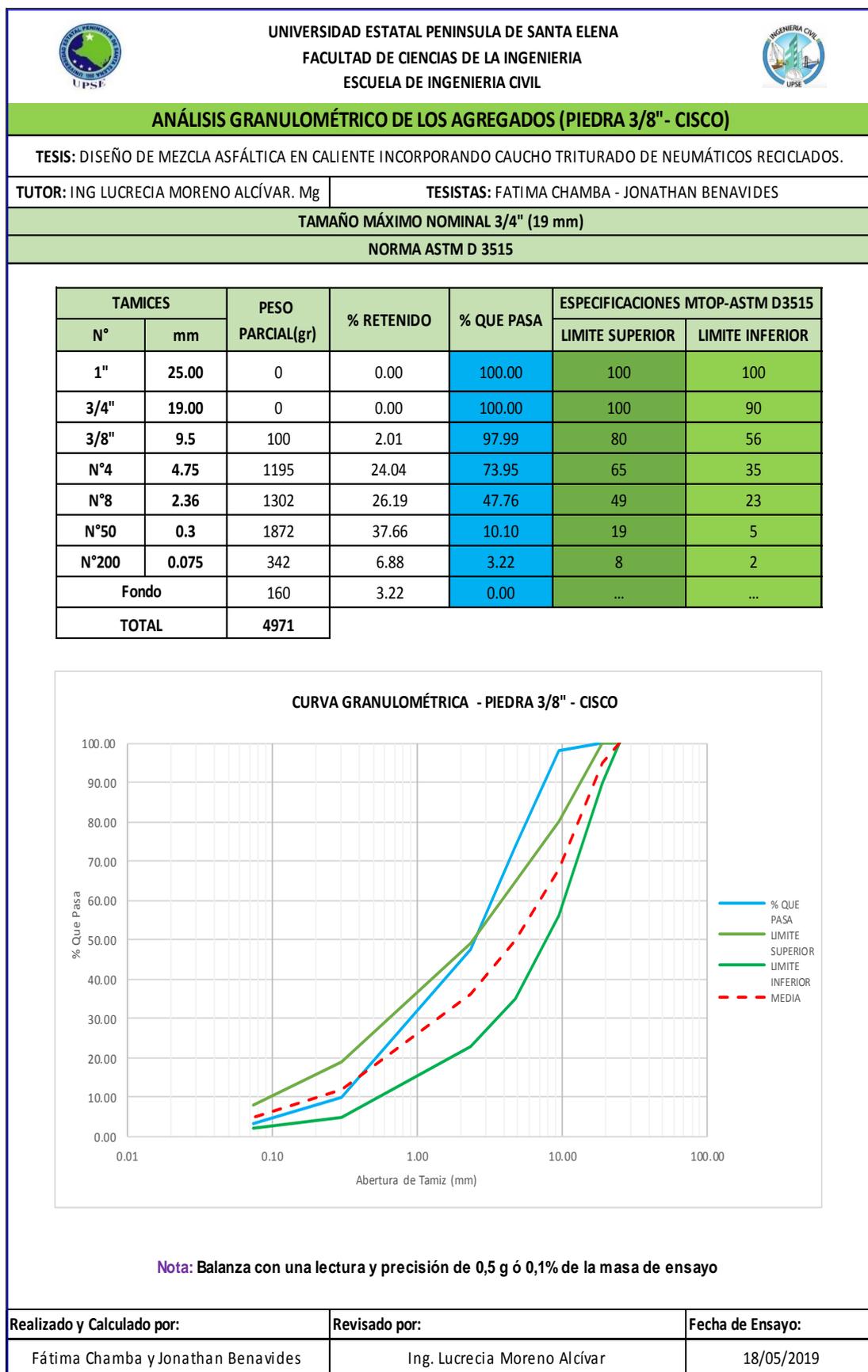
**CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA**



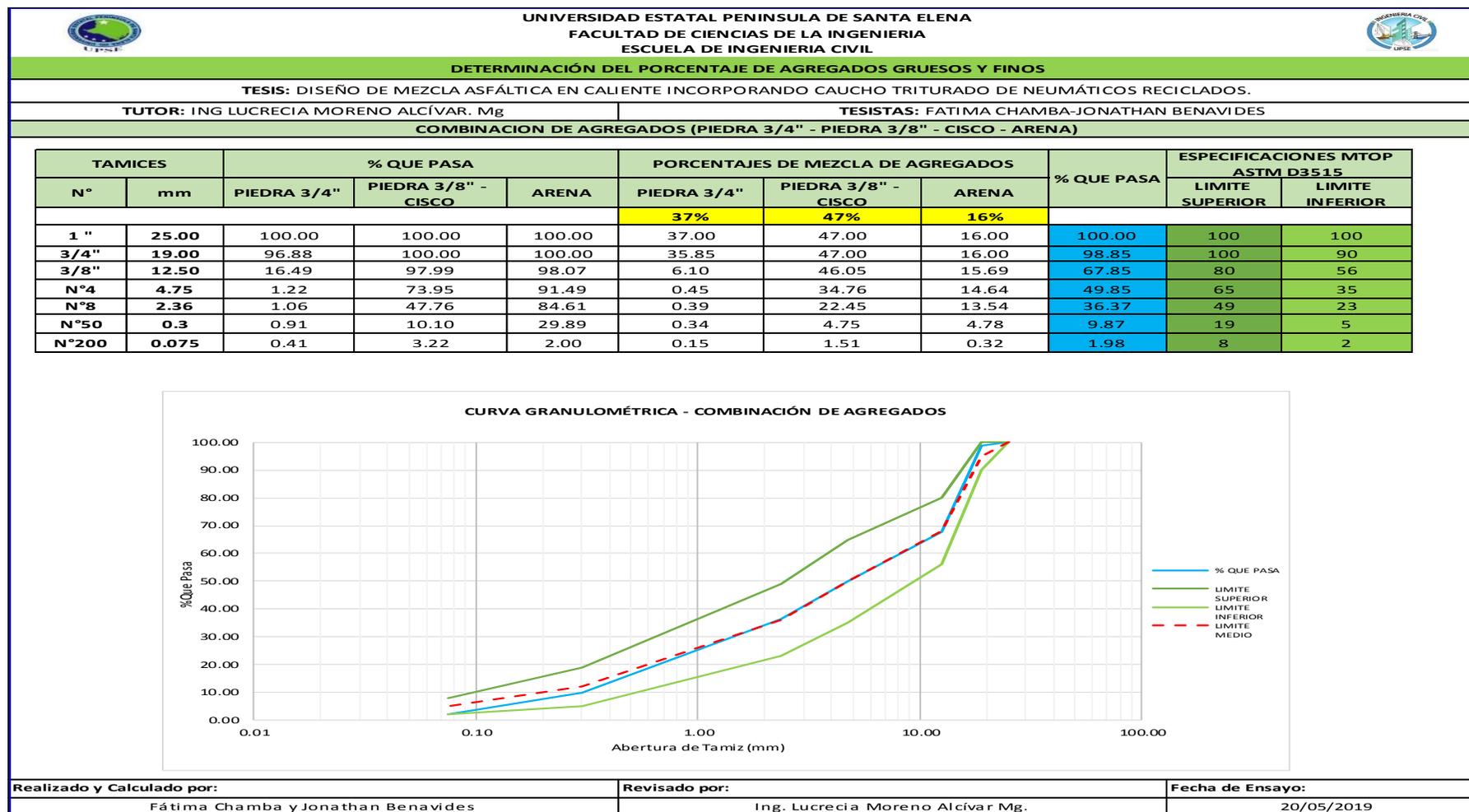
*Nota:* Balanza con lectura de 0,1 g. y una precisión de 0,1 g ó 0,1% de la masa de ensayo

Realizado y Calculado por:	Revisado por:	Fecha de Ensayo:
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	18/05/2019

Anexo 1- A.3: Granulometría de la Piedra 3/8"-Cisco.



Anexo 1- A.4: Granulométrica de la Combinación de Agregados.



Anexo 1- A.5: Comprobación Granulométrica de la Combinación de Agregados.

TAMICES		PESO PARCIAL(gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515	
N°	mm				LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
1"	25.00	0	0.00	100.00	100	100
3/4	19.00	10.5	0.13	99.87	100	90
3/8"	12.5	2427	30.81	69.06	80	56
N°4	4.75	1430	18.15	50.91	65	35
N°8	2.36	1093	13.87	37.03	49	23
N°50	0.3	2073	26.31	10.72	19	5
N°200	0.075	725	9.20	1.52	8	2
Fondo		119.67	1.52	0.00	...	...
TOTAL		7878.17				

**CURVA GRANULOMÉTRICA - COMBINACIÓN DE AGREGADOS**

<b>Realizado y Calculado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Fecha de Ensayo:</b>
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	21/05/2019

## Anexo 1- A.6: Abrasión de los Ángeles: Ensayo N°1

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL								
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES</b>									
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.									
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FATIMA CHAMBA -JONATHAN BENAVIDES								
<b>AGREGADO GRUESO (3/4")</b>									
<b>NORMA ASTM C-131</b>									
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar									
<b>DIAMETRO</b>				<b>MÉTODO</b>					
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D		
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar					
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25					
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25					
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
1/2	12,50	3/8	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
3/8	9,50	1/4	6,25			2500 ± 10			
1/4	6,25	N°4	4,76			2500 ± 10			
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10		
<b>Peso Total</b>				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10		
<b>Numero de esferas</b>				12	11	8	6		
<b>Numero de Revoluciones</b>				500	500	500	500		
<b>Tiempo de Rotacion "min"</b>				15	15	15	15		
Fórmula:									
$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$									
Cálculos:									
Método a utilizar:		<b>B</b>							
Número de Esferas:		<b>11</b>							
Número de Revoluciones:		<b>500</b>							
Tiempo de Revol. "min":		<b>15</b>							
Pasa el Tamiz (N°)	Retenido en Tamiz (N°)	Peso antes del Ensayo (gr)	Peso Despues del Ensayo (gr)						
3/4"	1/2"	2500							
1/2"	3/8"	2502							
<b>Total</b>		5002	4661						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>%Desgaste</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>6,82</b></td> </tr> </table>								<b>%Desgaste</b>	<b>6,82</b>
<b>%Desgaste</b>									
<b>6,82</b>									
MOP - 001 - F 2002				% PERDIDA ≤ 40%					
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				<b>SI CUMPLE</b>					
Nota: Balanza .- con precisión de 1.0 gr									
Realizado y Calculado por:			Revisado por:			Fecha de Ensayo			
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar			21/5/2019			

## Anexo 1 A.7: Abrasión de los Ángeles: Ensayo N°2

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES</b>							
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS REICLADOS.							
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FATIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES						
<b>AGREGADO GRUESO (3/4")</b>							
<b>NORMA ASTM C-131</b>							
<b>Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar</b>							
<b>DIAMETRO</b>				<b>MÉTODO</b>			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25			
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25			
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
1/2	12,50	3/8	9,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
3/8	9,50	1/4	6,25			1250 ± 10	
1/4	6,25	N°4	4,76			1250 ± 10	
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10
<b>Peso Total</b>				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
<b>Numero de esferas</b>				12	11	8	6
<b>Numero de Revoluciones</b>				500	500	500	500
<b>Tiempo de Rotacion "min"</b>				15	15	15	15
<b>Fórmula:</b>							
$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$							
<b>Cálculos:</b>							
Método a utilizar:		<b>B</b>					
Número de Esferas:		<b>11</b>					
Número de Revoluciones:		<b>500</b>					
Tiempo de Revol. "min":		<b>15</b>					
Pasa el Tamiz (N°)	Retenido en Tamiz (N°)	Peso antes del Ensayo (gr)	Peso Después del Ensayo (gr)				
3/4"	1/2"	2501					
1/2"	3/8"	2503					
<b>Total</b>		5004	4653				
<b>%Desgaste</b>							
<b>7,01</b>							
MOP - 001 - F 2002				% PERDIDA ≤ 40%			
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				<b>SI CUMPLE</b>			
<i>Nota:</i> Balanza - con precisión de 1.0 gr							
<b>Realizado y Calculado por:</b>			<b>Revisado por:</b>			<b>Fecha de Ensayo:</b>	
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg.			21/5/2019	

Anexo 1- A.8: Abrasión de los Ángeles: Piedra ¾": Promedio.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL														
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES</b>															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.															
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FATIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES														
<b>AGREGADO GRUESO (¾")</b>															
<b>NORMA ASTM C-131</b>															
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar															
DIAMETRO				MÉTODO											
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D								
Nº	mm	Nº	mm	Cantidad de Material a Utilizar											
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25											
1	25,00	¾	19,00	1250 ± 25											
¾	19,00	½	12,50	1250 ± 10	1250 ± 10										
½	12,50	¾	9,50	1250 ± 10	1250 ± 10										
¾	9,50	¼	6,25			1250 ± 10									
¼	6,25	Nº4	4,76			1250 ± 10									
Nº4	4,76	Nº8	2,38				5000 ± 10								
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10								
Numero de esferas				12	11	8	6								
Numero de Revoluciones				500	500	500	500								
Tiempo de Rotacion "min"				15	15	15	15								
Fórmula				$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$											
Cálculos				<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Método a utilizar:</td> <td style="text-align: center;"><b>B</b></td> </tr> <tr> <td>Número de Esferas:</td> <td style="text-align: center;"><b>11</b></td> </tr> <tr> <td>Número de Revoluciones:</td> <td style="text-align: center;"><b>500</b></td> </tr> <tr> <td>Tiempo de Revol. "min":</td> <td style="text-align: center;"><b>15</b></td> </tr> </table>				Método a utilizar:	<b>B</b>	Número de Esferas:	<b>11</b>	Número de Revoluciones:	<b>500</b>	Tiempo de Revol. "min":	<b>15</b>
Método a utilizar:	<b>B</b>														
Número de Esferas:	<b>11</b>														
Número de Revoluciones:	<b>500</b>														
Tiempo de Revol. "min":	<b>15</b>														
				<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Abrasion Nº</th> <th>% de Desgaste Obtenido</th> <th>% Desgaste Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">6,82</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; background-color: #92d050;">6,92</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">7,01</td> </tr> </tbody> </table>				Abrasion Nº	% de Desgaste Obtenido	% Desgaste Promedio	1	6,82	6,92	2	7,01
Abrasion Nº	% de Desgaste Obtenido	% Desgaste Promedio													
1	6,82	6,92													
2	7,01														
				<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% PERDIDA ≤ 40%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center; background-color: #92d050;">SI CUMPLE</td> </tr> </table>				MOP - 001 - F 2002	% PERDIDA ≤ 40%	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE				
MOP - 001 - F 2002	% PERDIDA ≤ 40%														
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE														
Nota: Balanza .- con precisión de 1.0 gr															
Realizado y Calculado por:		Revisado por		Fecha de Ensayo											
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg.		21/5/2019											

Anexo 1- A.9: Abrasión de los Ángeles: Piedra 3/8": Ensayo N°1

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL								
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES</b>									
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.									
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES								
<b>AGREGADO GRUESO (3/8")</b>									
<b>NORMA ASTM C-131</b>									
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar									
DIAMETRO				MÉTODO					
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D		
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar					
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25					
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25					
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
1/2	12,50	3/8	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
3/8	9,50	1/4	6,25			2500 ± 10			
1/4	6,25	N°4	4,76			2500 ± 10			
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10		
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10		
Numero de esferas				12	11	8	6		
Numero de Revoluciones				500	500	500	500		
Tiempo de Rotacion "min"				15	15	15	15		
Fórmula									
$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$									
Cálculos									
Método a utilizar:		C							
Número de Esferas:		8							
Número de Revoluciones:		500							
Tiempo de Revol. "min":		15							
Pasa el Tamiz (N°)	Retenido en Tamiz (N°)	Peso antes del Ensayo (gr)	Peso Después del Ensayo (gr)						
3/4"	1/2"	2502							
1/2"	3/8"	2503							
Total		5005	3940						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">%Desgaste</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td style="text-align: center;">21,28</td> </tr> </table>								%Desgaste	21,28
%Desgaste									
21,28									
MOP - 001 - F 2002				% PERDIDA ≤ 40%					
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				SI CUMPLE					
Nota: Balanza - con precisión de 1.0 gr									
Realizado y Calculado por:			Revisado por:			Fecha de Ensayo:			
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar.			22/5/2019			

## Anexo 1- A.10: Abrasión de los Ángeles: Piedra 3/8": Ensayo N°2

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL								
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES</b>									
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.									
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES								
<b>AGREGADO GRUESO (3/8")</b>									
<b>NORMA ASTM C-131</b>									
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar									
<b>DIAMETRO</b>				<b>MÉTODO</b>					
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D		
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar					
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25					
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25					
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
1/2	12,50	3/8	9,50	1250 ± 10	2500 ± 10				
3/8	9,50	1/4	6,25			2500 ± 10			
1/4	6,25	N°4	4,76			2500 ± 10			
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10		
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10		
Numero de esferas				12	11	8	6		
Numero de Revoluciones				500	500	500	500		
Tiempo de Rotacion "min"				15	15	15	15		
Fórmula									
$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$									
Cálculos									
Método a utilizar:	<b>C</b>								
Número de Esferas:	<b>8</b>								
Número de Revoluciones:	<b>500</b>								
Tiempo de Revol. "min":	<b>15</b>								
Pasa el Tamiz (N°)	Retenido en Tamiz (N°)	Peso antes del Ensayo (gr)	Peso Despues del Ensayo (gr)						
3/4"	1/2"	2495							
1/2"	3/8"	2498							
Total		4993	3890						
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">%Desgaste</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>22,09</b></td> </tr> </table>								%Desgaste	<b>22,09</b>
%Desgaste									
<b>22,09</b>									
MOP - 001 - F 2002				% PERDIDA ≤ 40%					
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				<b>SI CUMPLE</b>					
Nota: Balanza .- con precisión de 1.0 gr									
Realizado y Calculado por:				Revisado por		Fecha de Ensayo			
Fátima Chamba y Jonathan Benavides				Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg.		22/5/2019			

Anexo 1- A.11: Abrasión de los Ángulos: Piedra 3/8": Promedio.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
<b>ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES</b>							
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.							
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FATIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES						
AGREGADO GRUESO (3/8")							
NORMA ASTM C-131							
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar							
DIAMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	mm	N°	mm	Cantidad de Material a Utilizar			
1 1/2	37,50	1	25,00	1250 ± 25			
1	25,00	3/4	19,00	1250 ± 25			
3/4	19,00	1/2	12,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
1/2	12,50	3/8	9,50	1250 ± 10	1250 ± 10		
3/8	9,50	1/4	6,25			1250 ± 10	
1/4	6,25	N°4	4,76			1250 ± 10	
N°4	4,76	N°8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Numero de esferas				12	11	8	6
Numero de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotacion "min"				15	15	15	15
Fórmula							
$\%Desgaste = \frac{W_{inicial} - W_{final}}{W_{inicial}} \times 100$							
Cálculos							
Método a utilizar:		C					
Número de Esferas:		8					
Número de Revoluciones:		500					
Tiempo de Revol. "min":		15					
Abrasion N°		% de Desgaste Obtenido		% Desgaste Promedio			
1		21,28		21,69			
2		22,09					
MOP - 001 - F 2002				% PERDIDA ≤ 40%			
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				SI CUMPLE			
Nota: Balanza .- con precisión de 1.0 gr							
Realizado y Calculado por:			Revisado por			Fecha de Ensayo	
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg.			21/5/2019	

Anexo 1- A.12: Determinación de Partículas Planas y Alargadas. Piedra ¾”

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
<b>DETERMINACIÓN DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS</b>								
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.								
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA -JONATHAN BENAVIDES							
<b>AGREGADO GRUESO (3/4")</b>								
<b>NORMA ASTM D 4791</b>								
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar								
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>		<b>MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</b>						
mm	in	Kg	Lb					
9,5	3/8	1	2					
12,5	1/2	2	4					
19	3/4	5	11					
25	1	10	22					
37,5	1 1/2	15	33					
50	2	20	44					
63	2 1/2	35	77					
75	3	60	130					
90	3 1/2	100	220					
100	4	150	330					
112	4 1/2	200	440					
125	5	300	660					
150	6	500	1100					
Fuente: Norma ASTM D4791-99								
Este ensayo fue realizado por el método de conteo de partículas y con el Calibrador Proporcional, con la relación 5:1 para el diseño de mezclas asfálticas exigidas por el MTOP.								
Fórmulas:								
$\dot{I}_{ApI.} = \frac{W_{PartPlanas}}{W_{inicial}} \times 100$		$\dot{I}_{Alag.} = \frac{W_{PartAlarg.}}{W_{inicial}} \times 100$						
Cálculos:								
Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	N° de piedras utilizadas	Peso Inicial gr	Partículas			
Pasante	Retenido				Planas gr	Alargadas gr	Planas y Alargadas gr	Ni Planas, Ni Alargadas gr
1/2"	3/8"	38,46	200	565,4	30,7	4,3	108,7	425,6
3/8"	1/4"	16,27	200	237,1	20,7	2,9	42,4	169,1
<b>TOTAL</b>			<b>400</b>					
Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial	Índice de Alargamiento Parcial	Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento			
Pasante	Retenido							
1/2"	3/8"	5,43%	0,76%	<b>7,08%</b>	<b>0,99%</b>			
3/8"	1/4"	8,73%	1,22%					
MOP - 001 - F 2002				% PARTICULAS APLANADAS Y ALARGADAS ≤ 10%				
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				<b>SI CUMPLE</b>				
Nota: Balanza con una precisión del 0,5% de la masa de la muestra.								
Realizado y Calculado por:				Revisado por:			Fecha de Ensayo:	
Fátima Chamba y Jonathan Benavides				Ing. Lucrecia Moreno Alcivar.			20/6/2019	

## Anexo 1- A.13: Determinación de Partículas Planas y Alargadas. Piedra 3/8"

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL						
<b>DETERMINACIÓN DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS</b>								
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.								
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg				TESISTAS: FATIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES				
<b>AGREGADO GRUESO (3/8")</b>								
<b>NORMA ASTM D 4791</b>								
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar								
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>		<b>MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</b>						
mm	in	Kg	Lb					
9,5	3/8	1	2					
12,5	1/2	2	4					
19	3/4	5	11					
25	1	10	22					
37,5	1 1/2	15	33					
50	2	20	44					
63	2 1/2	35	77					
75	3	60	130					
90	3 1/2	100	220					
100	4	150	330					
112	4 1/2	200	440					
125	5	300	660					
150	6	500	1100					
Fuente: Norma ASTM D4791-99								
Este ensayo fue realizado por el método de conteo de partículas y con el Calibrador Proporcional, con la relación 5:1 para el diseño de mezclas asfálticas exigidas por el MTOP.								
Fórmulas:		<b>Índice de Aplanamiento</b> $\dot{I}_{Apl.} = \frac{W_{Part.Planas}}{W_{inicial}} \times 100$			<b>Índice de Alargamiento</b> $\dot{I}_{Alag.} = \frac{W_{Part.Alarg.}}{W_{inicial}} \times 100$			
Cálculos								
Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	N° de piedras utilizadas	Peso Inicial gr	Partículas			
Pasante	Retenido				Planas gr	Alargadas gr	Planas y Alargadas gr	Ni Planas, Ni Alargadas gr
1/2"	3/8"	2,01	200	280,84	15,77	1,00	26,91	239,16
3/8"	1/4"	5,04	200	139,71	13,36	0,53	15,38	110,97
<b>TOTAL</b>			<b>400</b>					
Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial		Índice de Alargamiento Parcial		Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento	
Pasante	Retenido							
1/2"	3/8"	5,62%		0,36%		<b>7,59%</b>	<b>0,37%</b>	
3/8"	1/4"	9,56%		0,38%				
MOP - 001 - F 2002				% PARTICULAS APLANADAS Y ALARGADAS ≤ 10%				
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS				<b>SI CUMPLE</b>				
Nota: Balanza con una precisión del 0,5% de la masa de la muestra.								
Realizado y Calculado por:				Revisado por		Fecha de Ensayo:		
Fátima Chamba y Jonathan Benavides				Ing. Lucrecia Moreno Alcívar .		20/6/2019		

Anexo 1- A.14: Determinación de Angularidad del Agregado (Caras Fracturadas). Piedra 3/4"

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL					
<b>DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO (CARAS FRACTURADAS)</b>						
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.						
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES					
<b>AGREGADO GRUESO (3/4")</b>						
<b>NORMA ASTM D 5821</b>						
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar						
<b>TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</b>		<b>MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</b>				
mm	in	gr	Lb			
9,5	3/8	200	0,5			
12,5	1/2	500	1			
19	3/4	1500	3			
25	1	3000	6,5			
37,5	1 1/2	7500	16,5			
50	2	15000	33			
63	2 1/2	30000	66			
75	3	60000	123			
90	3 1/2	90000	198			
Fuente: Norma ASTM D 5821-01						
Fórmula						
$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100$						
Nomeclatura:						
P = Porcentaje de partículas con caras fracturadas						
F = Masa de partículas con caras fracturadas						
Q = Masa de partículas cuestionables						
N = Masa de partículas que no cumplen con el criterio de partículas fracturadas						
Cálculos:						
Tamices a Usar		%Retenido	Peso Inicial	Caras Fracturadas F	Caras Cuestionables Q	Caras No Fracturadas N
Pasante	Retenido	Granulometría	gr	gr	gr	gr
3/4"	1/2"	43,10	750,85	741,4	4,05	5,4
1/2"	N°4	56,59	750,37	738,4	5,87	6,1
<b>TOTAL</b>			1501,22			
Tamices a Usar		Porcentaje de Caras Fraturadas Parciales P	Porcentaje de Caras Fracturadas			
Pasante	Retenido	99,01%	<b>98,90%</b>			
3/4"	1/2"	98,80%				
1/2"	N°4					
MOP - 001 - F 2002			% CARAS FRACTURADAS ≥ 80%			
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS			<b>SI CUMPLE</b>			
Nota: Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 g.						
Realizado y Calculado por:			Revisado por:		Fecha de Ensayo:	
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar .		20/6/2019	

**Anexo1-A.15: Determinación de Angularidad del Agregado (Caras Fracturadas). Piedra 3/8"**

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																																														
<b>DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO (CARAS FRACTURADAS)</b>																																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS REICLADOS.																																															
TUTOR: ING LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.	TESISTAS: FATIMA CHAMBA -JONATHAN BENAVIDES																																														
<b>AGREGADO GRUESO (3/8")</b>																																															
<b>NORMA ASTM D 5821</b>																																															
Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar																																															
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">TAMAÑO MAXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2">MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>in</th> <th>gr</th> <th>Lb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9,5</td><td>3/8</td><td>200</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>12,5</td><td>1/2</td><td>500</td><td>1</td></tr> <tr><td>19</td><td>3/4</td><td>1500</td><td>3</td></tr> <tr><td>25</td><td>1</td><td>3000</td><td>6,5</td></tr> <tr><td>37,5</td><td>1 1/2</td><td>7500</td><td>16,5</td></tr> <tr><td>50</td><td>2</td><td>15000</td><td>33</td></tr> <tr><td>63</td><td>2 1/2</td><td>30000</td><td>66</td></tr> <tr><td>75</td><td>3</td><td>60000</td><td>123</td></tr> <tr><td>90</td><td>3 1/2</td><td>90000</td><td>198</td></tr> </tbody> </table>				TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO		mm	in	gr	Lb	9,5	3/8	200	0,5	12,5	1/2	500	1	19	3/4	1500	3	25	1	3000	6,5	37,5	1 1/2	7500	16,5	50	2	15000	33	63	2 1/2	30000	66	75	3	60000	123	90	3 1/2	90000	198
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO																																													
mm	in	gr	Lb																																												
9,5	3/8	200	0,5																																												
12,5	1/2	500	1																																												
19	3/4	1500	3																																												
25	1	3000	6,5																																												
37,5	1 1/2	7500	16,5																																												
50	2	15000	33																																												
63	2 1/2	30000	66																																												
75	3	60000	123																																												
90	3 1/2	90000	198																																												
Fuente: Norma ASTM D 5821-01																																															
Fórmula:																																															
$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100$																																															
Nomeclatura:																																															
P= Porcentaje de partículas con caras fracturadas																																															
F= Masa de partículas con caras fracturadas																																															
Q= Masa de partículas cuestionables																																															
N=Masa de partículas que no cumplen con el criterio de partículas fracturadas																																															
Cálculos:																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Tamices a Usar</th> <th rowspan="2">%Retenido Granulometría</th> <th>Peso Inicial</th> <th>Caras Fracturadas F</th> <th>Caras Cuestionables Q</th> <th>Caras No Fracturadas N</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>0,00</td> <td>110,21</td> <td>107,02</td> <td>1,12</td> <td>2,07</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>N°4</td> <td>26,05</td> <td>110,58</td> <td>106,23</td> <td>0,98</td> <td>3,37</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td>220,79</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	Peso Inicial	Caras Fracturadas F	Caras Cuestionables Q	Caras No Fracturadas N	Pasante	Retenido	gr	gr	gr	gr	3/4"	1/2"	0,00	110,21	107,02	1,12	2,07	1/2"	N°4	26,05	110,58	106,23	0,98	3,37	TOTAL			220,79										
Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	Peso Inicial	Caras Fracturadas F	Caras Cuestionables Q	Caras No Fracturadas N																																									
Pasante	Retenido		gr	gr	gr	gr																																									
3/4"	1/2"	0,00	110,21	107,02	1,12	2,07																																									
1/2"	N°4	26,05	110,58	106,23	0,98	3,37																																									
TOTAL			220,79																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Tamices a Usar</th> <th>Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P</th> <th>Porcentaje de Caras Fracturadas</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>97,61%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #92d050; text-align: center;">97,06%</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>N°4</td> <td>96,51%</td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P	Porcentaje de Caras Fracturadas	Pasante	Retenido			3/4"	1/2"	97,61%	97,06%	1/2"	N°4	96,51%																										
Tamices a Usar		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P	Porcentaje de Caras Fracturadas																																												
Pasante	Retenido																																														
3/4"	1/2"	97,61%	97,06%																																												
1/2"	N°4	96,51%																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% CARAS FRACTURADAS ≥ 80%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center; background-color: #92d050;">SI CUMPLE</td> </tr> </table>							MOP - 001 - F 2002	% CARAS FRACTURADAS ≥ 80%	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE																																					
MOP - 001 - F 2002	% CARAS FRACTURADAS ≥ 80%																																														
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE																																														
Nota: Balanza de 5000 g de capacidad y aproximación de 1 g.																																															
Realizado y Calculado por:			Revisado por:		Fecha de Ensayo																																										
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar.		20/6/2019																																										

Anexo 1- A.16: Determinación de Durabilidad del Agregado. Piedra 3/4.”

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL				
<b>DETERMINACIÓN DE DURABILIDAD DEL AGREGADO</b>					
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.					
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA-JONATHAN BENAVIDES				
<b>AGREGADO GRUESO(3/4")</b>					
<b>NORMA ASTM C 88 - NTE INEM 863</b>					
Cantidad de masa a utilizar:					
<b>FRACCIÓN</b>	<b>TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)</b>				<b>MASA</b>
	<b>Pasante</b>		<b>Retenido</b>		
	mm	in	mm	in	gr
<b>1</b>	<b>9,50</b>	<b>3/8</b>	<b>4,75</b>	<b>N° 4</b>	<b>300 ± 5</b>
	<b>19,00</b>	<b>3/4</b>	<b>9,50</b>	<b>3/8</b>	<b>1000 ± 10</b>
<b>2</b>	material consistente de:		material consistente de:		
	12,50	1/2	9,50	3/8	330 ± 5
	19,00	3/4	12,50	1/2	670 ± 10
	37,50	1 1/2	19,00	3/4	1500 ± 50
<b>3</b>	material consistente de:		material consistente de:		
	25,00	1	19,00	3/4	500 ± 30
	37,50	1 1/2	25,00	1	1000 ± 50
	63,00	2 1/2	37,50	1 1/2	5000 ± 300
<b>4</b>	material consistente de:		material consistente de:		
	50,00	2	37,50	1 1/2	2000 ± 200
	63,00	2 1/2	50,00	2	3000 ± 300
	75,00	3	63,00	2 1/2	7000 ±1000
	90,00	3 1/2	75,00	3	7000 ±1000
100,00	4	90,00	3 1/2	7000 ±1000	
<b>5</b>	material consistente de:		material consistente de:		
	75,00	3	63,00	2 1/2	7000 ±1000
	90,00	3 1/2	75,00	3	7000 ±1000
	100,00	4	90,00	3 1/2	7000 ±1000

Fuente : Normas NTE INEN 863 - ASTM C 88

Para este ensayo solo se realizó el Análisis Cuantitativo ya que según lo establecido en la Norma NTE INEN 863, el Análisis Cuantitativo se realiza para los aridos mayores a 19mm (3/4")

**Fórmula:**

**Análisis Cuantitativo:**

$$Pérdida_{total} = \frac{W_{antes} - W_{despues}}{W_{antes}} \times 100$$

$$Pérdida_{correg} = \frac{Perdida_{total} \times \%Ret. Granul.}{100}$$

**Cálculos:**

Tipo de solución a usar: sulfato de magnesio

Número de fracción a usar: 1

Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida Total	Pérdida Corregida
Pasante	Retenido		$W_{antes}$	$W_{desp.}$		
			gr	gr	%	%
3/4 "	3/8 "	81,56	1000	981,94	1,81	1,47
3/8 "	N°4	18,13	300	288,14	3,95	0,72
<b>TOTAL</b>			<b>1300</b>			

<b>PORCENTAJE DE PÉRDIDA</b>
<b>2,88%</b>

<b>MOP - 001 - F 2002</b>	<b>% PÉRDIDA ≥ 12%</b>
<b>SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>	<b>SI CUMPLE</b>

Nota: Balanza con precisión de 1 g.

<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Fecha de Ensayo</b> 28/5/2019
---	--	-------------------------------------

## Anexo 1- A.17: Determinación de Durabilidad del Agregado. Arena.

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>									
<b>DETERMINACIÓN DE DURABILIDAD DEL AGREGADO</b>										
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.										
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES									
<b>AGREGADO FINO (ARENA)</b>										
<b>NORMA ASTM C 88 - NTE INEM 863</b>										
Cantidad de masa a utilizar:										
PASANTE DEL TAMIZ		RETENIDO EN EL TAMIZ								
mm		mm								
0,60	N° 30	0,30	N° 50							
1,18	N° 16	0,60	N° 30							
2,36	N° 8	1,18	N° 16							
4,75	N° 4	2,36	N° 8							
9,50	3/8"	4,75	N° 4							
Fuente : Normas NTE INEN 863 - ASTM C 88										
Masa Mínima de la muestra en cada tamiz = 100 gr ( Norma ASTM C 88 )										
Fórmula:										
Análisis Cuantitativo:										
$Pérdida_{total} = \frac{W_{antes} - W_{despues}}{W_{antes}} \times 100$		$Pérdida_{correg} = \frac{Pérdida_{total} - \%Ret. Granul.}{100}$								
Cálculos:										
Tipo de solución a usar:		sulfato de magnesio								
Número de fracción a usar:		1								
Tamices a Usar		%Retenido Granulometría	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida Total	Pérdida Corregida				
in			$W_{antes}$	$W_{desp.}$						
Pasante	Retenido	gr	gr	%	%					
N° 4	N° 8	7,77	100	94,80	5,20	0,13				
N° 8	N° 16	6,63	100	94,43	5,57	0,12				
N° 16	N° 30	11,07	100	89,29	10,71	0,22				
N° 30	N° 50	54,65	100	87,86	12,14	0,67				
TOTAL			400							
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr style="background-color: #92d050;"> <td style="text-align: center;"><b>PORCENTAJE DE PERDIDA</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8,41%</td> </tr> </table>							<b>PORCENTAJE DE PERDIDA</b>	8,41%		
<b>PORCENTAJE DE PERDIDA</b>										
8,41%										
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% PÉRDIDA ≥ 12%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center; background-color: #92d050;">SI CUMPLE</td> </tr> </table>				MOP - 001 - F 2002	% PÉRDIDA ≥ 12%	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE			
MOP - 001 - F 2002	% PÉRDIDA ≥ 12%									
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE									
Nota: Balanza con precisión de 1 g.										
Realizado por:		Revisado por:		Fecha Ensayo:						
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		28/5/2019						

Anexo 1- A.18: Determinación de Durabilidad del Agregado. Piedra 3/8” Retenido en Malla N.4.

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>				
<b>DETERMINACIÓN DE DURABILIDAD DEL AGREGADO</b>					
<b>TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.</b>					
<b>TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA-JONATHAN BENAVIDES</b>	<b>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.</b>				
<b>AGREGADO (3/8") - RETENIDO N°4</b>					
<b>NORMA ASTM C 88 - NTE INEM 863</b>					
<b>Cantidad de masa a utilizar:</b>					
<b>MASA</b>	<b>TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)</b>				<b>FRACCIÓN</b>
	<b>Retenido</b>		<b>Pasante</b>		
<b>gr</b>	<b>in</b>	<b>mm</b>	<b>in</b>	<b>mm</b>	
<b>300 ± 5</b>	<b>N° 4</b>	<b>4,75</b>	<b>3/8</b>	<b>9,50</b>	<b>1</b>
<b>1000 ± 10</b>	<b>3/8</b>	<b>9,50</b>	<b>3/4</b>	<b>19,00</b>	
	material consistente de:		material consistente de:		<b>2</b>
330 ± 5	3/8	9,50	1/2	12,50	
670 ± 10	1/2	12,50	3/4	19,00	
1500 ± 50	3/4	19,00	1 1/2	37,50	<b>3</b>
	material consistente de:		material consistente de:		
500 ± 30	3/4	19,00	1	25,00	
1000 ± 50	1	25,00	1 1/2	37,50	<b>4</b>
5000 ± 300	1 1/2	37,50	2 1/2	63,00	
	material consistente de:		material consistente de:		
2000 ± 200	1 1/2	37,50	2	50,00	<b>5</b>
3000 ± 300	2	50,00	2 1/2	63,00	
7000 ±1000	2 1/2	63,00	3	75,00	
7000 ±1000	3	75,00	3 1/2	90,00	<b>5</b>
7000 ±1000	3 1/2	90,00	4	100,00	
	material consistente de:		material consistente de:		
7000 ±1000	2 1/2	63,00	3	75,00	<b>5</b>
7000 ±1000	3	75,00	3 1/2	90,00	
7000 ±1000	3 1/2	90,00	4	100,00	

**Fuente : Normas NTE INEM 863 - ASTM C 88**

Para este ensayo solo se realizó el Análisis Cuantitativo ya que según lo establecido en la Norma NTE INEM 863, el Análisis Cuantitativo se realiza para los aridos mayores a 19mm (3/4")

**Análisis Cuantitativo:**

$$Pérdida_{correg} = \frac{Perdida_{total} \times \%Ret.Granul.}{100}$$

$$Pérdida_{total} = \frac{W_{antes} - W_{despues}}{W_{antes}} \times 100$$

**sulfato de magnesio**

**1**

Tipo de solución a usar:

Número de fracción a usar:

**Fórmula:**

**Cálculos:**

Pérdida Corregida	Pérdida Total	Peso Final	Peso Inicial	%Retenido Granulometría	Tamices a Usar	
		<i>W<sub>desp.</sub></i>	<i>W<sub>antes</sub></i>		Retenido	Pasante
0,05	2,32	976,76	1000	2,01	3/8 "	3/4 "
2,23	9,27	272,34	300,17	24,04	N°4	3/8 "
		<b>1300,17</b>		<b>TOTAL</b>		

<b>PORCENTAJE DE PÉRDIDA</b>
<b>5,80%</b>

<b>% PÉRDIDA ≥ 12%</b>	<b>MOP - 001 - F 2002</b>
<b>SI CUMPLE</b>	<b>SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</b>

Nota: Balanza con precisión de 1 g.

<b>Fecha de Ensayo</b> 15/7/2019	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides
-------------------------------------	--	---

Anexo 1- A.19: Determinación de Durabilidad del Agregado. Piedra 3/8" Pasante en Malla N.4.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL									
<b>DETERMINACIÓN DE DURABILIDAD DEL AGREGADO</b>										
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.										
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES									
<b>AGREGADO (3/8") - PASANTE N°4</b>										
<b>NORMA ASTM C 88 - NTE INEM 863</b>										
Cantidad de masa a utilizar:										
PASANTE DEL TAMIZ		RETENIDO EN EL TAMIZ								
mm		mm								
0,60	N° 30	0,30	N° 50							
1,18	N° 16	0,60	N° 30							
2,36	N° 8	1,18	N° 16							
4,75	N° 4	2,36	N° 8							
9,50	3/8"	4,75	N° 4							
Fuente : Normas NTE INEM 863 - ASTM C 88										
Masa Mínima de la muestra en cada tamiz = 100 gr ( Norma ASTM C 88 )										
Fórmula:										
Análisis Cuantitativo:										
$Pérdida_{Total} = \frac{W_{antes} - W_{despues}}{W_{antes}} \times 100$		$Pérdida_{correg} = \frac{Pérdida_{total} - \%Ret. Granul.}{100}$								
Cálculos:										
Tipo de solución a usar:		sulfato de magnesio								
Número de fracción a usar:		1								
Tamices a Usar		%Retenido	Peso Inicial	Peso Final	Pérdida Total	Pérdida Corregida				
in		Granulometría	$W_{antes}$	$W_{desp.}$	%	%				
Pasante	Retenido		gr	gr						
N° 4	N° 8	26,19	100,14	94,67	5,46	0,32				
N° 8	N° 16	4,53	100,41	92,98	7,40	0,12				
N° 16	N° 30	13,67	100,12	88,22	11,89	0,26				
N° 30	N° 50	19,46	100,18	86,84	13,32	0,33				
<b>TOTAL</b>			<b>400,85</b>							
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th style="text-align: center;">PORCENTAJE DE PERDIDA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9,52%</td> </tr> </table>							PORCENTAJE DE PERDIDA	9,52%		
PORCENTAJE DE PERDIDA										
9,52%										
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% PÉRDIDA ≥ 12%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center;">SI CUMPLE</td> </tr> </table>				MOP - 001 - F 2002	% PÉRDIDA ≥ 12%	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE			
MOP - 001 - F 2002	% PÉRDIDA ≥ 12%									
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	SI CUMPLE									
Nota: Balanza con precisión de 1 g.										
Realizado por:		Revisado por:		Fecha Ensayo:						
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		15/7/2019						

Anexo 1- A.20: Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable. Piedra ¾”.

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																											
<b>DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS</b>																												
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																												
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																											
<b>AGREGADO GRUESO(¾")</b>																												
<b>NORMA ASTM C 142-97- AASHTO T 112-00 (2004)</b>																												
Cantidad de masa a utilizar:																												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE TAMICES</th> <th rowspan="2">MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)</th> </tr> <tr> <th>PASANTE</th> <th>RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/8"</td> <td>N°4</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>3/8"</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>1 1/2"</td> <td>3/4"</td> <td>3000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">&gt; 1 1/2"</td> <td>5000</td> </tr> </tbody> </table>			TAMAÑO DE TAMICES		MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)	PASANTE	RETENIDO	3/8"	N°4	1000	3/4"	3/8"	2000	1 1/2"	3/4"	3000	> 1 1/2"		5000									
TAMAÑO DE TAMICES		MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)																										
PASANTE	RETENIDO																											
3/8"	N°4	1000																										
3/4"	3/8"	2000																										
1 1/2"	3/4"	3000																										
> 1 1/2"		5000																										
Fuente: Norma ASTM C 142-97																												
Fórmula:																												
$P = \frac{M - R}{M} \times 100$																												
Cálculos:																												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamaño de Tamices</th> <th rowspan="2">%Retenido Granulometría</th> <th>Masa antes del ensayo</th> <th>Masa despues del ensayo</th> <th>Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>M (gr)</th> <th>R (gr)</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4.</td> <td>3/8.</td> <td>81,56</td> <td>2000</td> <td>1976</td> <td>1,20%</td> </tr> <tr> <td>3/8.</td> <td>N°4</td> <td>18,13</td> <td>1000</td> <td>981</td> <td>1,90%</td> </tr> </tbody> </table>						Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable	Pasante	Retenido	M (gr)	R (gr)	P	3/4.	3/8.	81,56	2000	1976	1,20%	3/8.	N°4	18,13	1000	981	1,90%
Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable																							
Pasante	Retenido		M (gr)	R (gr)	P																							
3/4.	3/8.	81,56	2000	1976	1,20%																							
3/8.	N°4	18,13	1000	981	1,90%																							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td style="text-align: center;">1,55%</td> </tr> </table>						Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable	1,55%																					
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable																												
1,55%																												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% MAX MATERIAL DELETÉREO ≤</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center;">1% EN PESO</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td></td> <td style="text-align: center;">NO CUMPLE</td> </tr> </table>						MOP - 001 - F 2002	% MAX MATERIAL DELETÉREO ≤	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	1% EN PESO		NO CUMPLE																	
MOP - 001 - F 2002	% MAX MATERIAL DELETÉREO ≤																											
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	1% EN PESO																											
	NO CUMPLE																											
Nota: Balanza con aproximación del 0.1% de la masa de la muestra.																												
Realizado por:			Revisado por:		Fecha Ensayo:																							
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		30/5/2019																							

Anexo 1- A.21: Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables. Arena.

		UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL			
<b>DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS</b>					
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.					
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.			TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES		
<b>AGREGADO FINO (ARENA)</b>					
<b>NORMA ASTM C 142-97- AASHTO T 112-00 (2004)</b>					
Cantidad de masa a utilizar:					
TAMAÑO DE TAMICES		MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)			
PASANTE	RETENIDO				
N°4	N°16	25			
Fuente: Norma ASTM C 142-97					
Fórmula:					
$P = \frac{M - R}{M} \times 100$					
Cálculos: Muestra 1					
Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M (gr)	R (gr)	P
N°4	N°16	14,4	50,00	48,98	2,04%
Muestra 2					
Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M (gr)	R (gr)	P
N°4	N°16	14,4	50,0	49,08	1,84%
Promedio					
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables					1,94%
MOP - 001 - F 2002					% MAX MATERIAL DELETÉREO
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS					≤ 1% EN PESO
					<b>NO CUMPLE</b>
Nota: Balanza con aproximación del 0.1% de la masa de la muestra.					
Realizado por:			Revisado por:		Fecha Ensayo:
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		30/5/2019

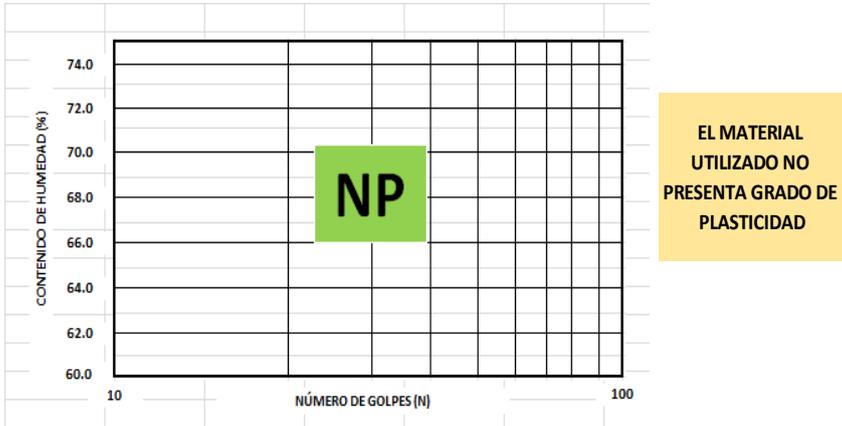
Anexo 1- A.22: Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables. Piedra 3/8".

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																											
<b>DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS</b>																												
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																												
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																											
<b>AGREGADO GRUESO (3/8")</b>																												
<b>NORMA ASTM C 142-97- AASHTO T 112-00 (2004)</b>																												
Cantidad de masa a utilizar:																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO DE TAMICES</th> <th rowspan="2">MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)</th> </tr> <tr> <th>PASANTE</th> <th>RETENIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">N°4</td> <td style="text-align: center;">1000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">3/8"</td> <td style="text-align: center;">2000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">3/4"</td> <td style="text-align: center;">3000</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">&gt; 1 1/2"</td> <td style="text-align: center;">5000</td> </tr> </tbody> </table>			TAMAÑO DE TAMICES		MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)	PASANTE	RETENIDO	3/8"	N°4	1000	3/4"	3/8"	2000	1 1/2"	3/4"	3000	> 1 1/2"		5000									
TAMAÑO DE TAMICES		MASA MÍNIMA UTILIZADA PARA EL ENSAYO (gr)																										
PASANTE	RETENIDO																											
3/8"	N°4	1000																										
3/4"	3/8"	2000																										
1 1/2"	3/4"	3000																										
> 1 1/2"		5000																										
Fuente: Norma ASTM C 142-97																												
Fórmula:																												
$P = \frac{M - R}{M} \times 100$																												
Cálculos:																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamaño de Tamices</th> <th rowspan="2">%Retenido Granulometría</th> <th>Masa antes del ensayo</th> <th>Masa despues del ensayo</th> <th>Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables Parcial</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>M (gr)</th> <th>R (gr)</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3/4</td> <td style="text-align: center;">3/8</td> <td style="text-align: center;">2.01</td> <td style="text-align: center;">2000</td> <td style="text-align: center;">1959</td> <td style="text-align: center;">2.05%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/8.</td> <td style="text-align: center;">N°4</td> <td style="text-align: center;">24.04</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">973</td> <td style="text-align: center;">2.70%</td> </tr> </tbody> </table>						Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables Parcial	Pasante	Retenido	M (gr)	R (gr)	P	3/4	3/8	2.01	2000	1959	2.05%	3/8.	N°4	24.04	1000	973	2.70%
Tamaño de Tamices		%Retenido Granulometría	Masa antes del ensayo	Masa despues del ensayo	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables Parcial																							
Pasante	Retenido		M (gr)	R (gr)	P																							
3/4	3/8	2.01	2000	1959	2.05%																							
3/8.	N°4	24.04	1000	973	2.70%																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables</td> </tr> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td style="text-align: center;">2.38%</td> </tr> </table>						Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables	2.38%																					
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables																												
2.38%																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="text-align: center;">% MAX MATERIAL</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center;">DELETÉREO ≤ 1% EN PESO</td> </tr> <tr style="background-color: #90EE90;"> <td></td> <td style="text-align: center;">NO CUMPLE</td> </tr> </table>						MOP - 001 - F 2002	% MAX MATERIAL	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	DELETÉREO ≤ 1% EN PESO		NO CUMPLE																	
MOP - 001 - F 2002	% MAX MATERIAL																											
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	DELETÉREO ≤ 1% EN PESO																											
	NO CUMPLE																											
Nota: Balanza con aproximación del 0.1% de la masa de la muestra.																												
Realizado por:		Revisado por:		Fecha Ensayo:																								
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		30/05/2019																								

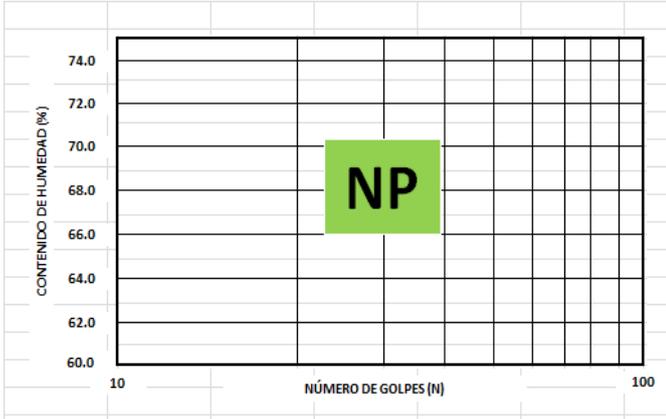
## Anexo 1- A.23: Determinación Angularidad del Agregado Fino (Arena)

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																									
<b>DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO (ARENA)</b>																									
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																									
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR, Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																								
NORMA ASTM C 1252-98 AASHTO T 304-96																									
Método A "Muestra Gradada Estándar"																									
Cantidad de material para preparación de muestra.																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices</th> <th>Peso</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>(gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N°8</td> <td>N°16</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>N°16</td> <td>N°30</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>N°30</td> <td>N°50</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>N°50</td> <td>N°100</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td>190</td> </tr> </tbody> </table>	Tamices		Peso	Pasante	Retenido	(gr)	N°8	N°16	44	N°16	N°30	57	N°30	N°50	72	N°50	N°100	17	TOTAL		190		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">FÓRMULA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> <math display="block">\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100</math> </td> </tr> </tbody> </table>	FÓRMULA	$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$
Tamices		Peso																							
Pasante	Retenido	(gr)																							
N°8	N°16	44																							
N°16	N°30	57																							
N°30	N°50	72																							
N°50	N°100	17																							
TOTAL		190																							
FÓRMULA																									
$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{G_s}\right)}{V} \times 100$																									
Cálculos:																									
	Resultados																								
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																					
Peso Cilindro	343,18	343,18	343,18	343,18																					
Volumen del Cilindro (V)	87,35	87,35	87,35	87,35																					
Peso Cilindro + Agregado	496,33	498,48	497,17	498,02																					
Peso Agregado (F)	153,15	155,3	153,99	154,84																					
Gravedad Específica (Gs)	2,570	2,570	2,570	2,570	Promedio																				
% Vacíos (%U)	31,779	30,821	31,404	31,026	31,257																				
Método B "Fracciones de Tamaño Individual"																									
Cantidad de material para preparación de muestra.																									
Identificación	Tamices		Peso																						
	Pasante	Retenido	(gr)																						
Agregado 1	N°8	N°16	190																						
Agregado 2	N°16	N°30	190																						
Agregado 3	N°30	N°50	190																						
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">FÓRMULA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> <math display="block">\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}</math> </td> </tr> </tbody> </table>			FÓRMULA	$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$																		
FÓRMULA																									
$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$																									
Cálculos																									
	Resultados																								
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																					
Peso del Cilindro	343,18	343,18	343,18	343,18																					
Volumen del Cilindro (V)	87,35	87,35	87,35	87,35																					
Peso del Cilindro + Agregado 1	497,87	498,12	498,03	497,94																					
Peso del Cilindro + Agregado 2	485,54	485,42	484,96	486,02																					
Peso del Cilindro + Agregado 3	478,43	478,4	478,36	478,53																					
Peso del Agregado (F1)	154,69	154,94	154,85	154,76																					
Peso del Agregado (F2)	142,36	142,24	141,78	142,84																					
Peso del Agregado (F3)	135,25	135,22	135,18	135,35																					
Gravedad Específica (Gs)	2,570	2,570	2,570	2,570																					
% Vacíos (%U1)	31,093	30,981	31,021	31,061																					
% Vacíos (%U2)	36,585	36,638	36,843	36,371																					
% Vacíos (%U3)	39,752	39,766	39,783	39,708	Promedio																				
% Vacíos Promedio (%Um)	35,810	35,795	35,883	35,713	35,800																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</th> <th style="text-align: center;">ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.</td> <td style="text-align: center;">% DE VACIOS ≥ 45 %</td> </tr> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td></td> <td style="text-align: center;">NO CUMPLE</td> </tr> </tbody> </table>			MOP - 001 - F 2002	ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO	NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.	% DE VACIOS ≥ 45 %		NO CUMPLE																	
MOP - 001 - F 2002	ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO																								
NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.	% DE VACIOS ≥ 45 %																								
	NO CUMPLE																								
Nota: Balanza de ± 0.1 g, de sensibilidad.																									
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																							
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	6/6/2019																							

**Anexo 1- A.24: Límites de Atterberg (Pasante N° 40).**

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL							
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°40)</b>								
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.								
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES							
<b>ARENA</b>								
LÍMITE LÍQUIDO								
RECIPIENTE #								
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)								
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)								
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)								
MASA DE RECIPIENTE (P4)								
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)								
% DE HÚMEDAD (W = P3X100 + P5)								
N° DE GOLPES								
LÍMITE PLÁSTICO								
RECIPIENTE #								
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)								
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)								
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)								
MASA DE RECIPIENTE (P4)								
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)								
% DE HÚMEDAD (W = P3X100 + P5)								
								
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="width: 50%;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">LÍMITES DE ATTERBERG</td> </tr> <tr> <td>NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS</td> <td style="text-align: center;">NO PLÁSTICO</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center; background-color: #d9e1f2;">CUMPLE</td> </tr> </table>			MOP - 001 - F 2002	LÍMITES DE ATTERBERG	NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS	NO PLÁSTICO		CUMPLE
MOP - 001 - F 2002	LÍMITES DE ATTERBERG							
NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS	NO PLÁSTICO							
	CUMPLE							
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:						
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	7/6/2019						

Anexo 1- A.25: Límites de Atterberg (Pasante Tamiz N°200).

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL	
<b>DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°200)</b>		
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.		
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA-JONATHAN BENAVIDES	
<b>ARENA</b>		
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		
RECIPIENTE #		
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)		
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)		
MASA DE RECIPIENTE (P4)		
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)		
% DE HÚMEDAD (W = P3X100 + P5)		
N° DE GOLPES		
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
RECIPIENTE #		
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)		
MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)		
MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)		
MASA DE RECIPIENTE (P4)		
MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)		
% DE HÚMEDAD (W = P3X100 + P5)		
		
		EL MATERIAL UTILIZADO NO PRESENTA GRADO DE PLASTICIDAD
<b>MOP - 001 - F 2002</b> NORMA MTOP: SECCIÓN 811, AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.	<b>LIMITES DE ATTERBERG</b> ≤ 4% (IP) NO PLÁSTICO <span style="background-color: #d9e1f2; padding: 2px;">CUMPLE</span>	
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	7/6/2019

Anexo 1- A.26: Ensayo de Equivalente de Arena.

		<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																																		
<b>DETERMINACIÓN EQUIVALENTE DE ARENA</b>																																																				
<b>TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.</b>																																																				
<b>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg</b>			<b>TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES</b>																																																	
<b>NORMA ASTM D 2419 - AASHTO T 176</b>																																																				
<b>ARENA</b>																																																				
<p><b>Fórmula</b></p> $\% \text{ Equivalente Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$																																																				
<p><b>Cálculos</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th style="background-color: #d9ead3;">Muestra 1</th> <th style="background-color: #d9ead3;">Muestra 2</th> <th style="background-color: #d9ead3;">Muestra 3</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #d9ead3;">Hora de entrada a saturación</td> <td>15:35:00</td> <td>15:40:00</td> <td>15:45:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #d9ead3;">Hora de salida a saturación</td> <td>15:45:00</td> <td>15:50:00</td> <td>15:55:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #d9ead3;">Hora de entrada a decantación</td> <td>15:48:00</td> <td>15:53:00</td> <td>15:58:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #d9ead3;">Hora de salida a decantación</td> <td>16:08:00</td> <td>16:13:00</td> <td>16:18:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Altura máxima de arcilla</td> <td style="background-color: #d9ead3;">in</td> <td>4.9</td> <td>5.0</td> <td>5.1</td> <td rowspan="2" style="background-color: #d9ead3; text-align: center; vertical-align: middle;"><b>Promedio</b></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Altura máxima de arena</td> <td style="background-color: #d9ead3;">in</td> <td>4.3</td> <td>4.0</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #d9ead3;">Resultado</td> <td style="background-color: #d9ead3;">%</td> <td>87.8</td> <td>80.0</td> <td>76.5</td> <td style="background-color: #d9ead3; text-align: center;"><b>81.4</b></td> </tr> </tbody> </table>								Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Hora de entrada a saturación		15:35:00	15:40:00	15:45:00		Hora de salida a saturación		15:45:00	15:50:00	15:55:00		Hora de entrada a decantación		15:48:00	15:53:00	15:58:00		Hora de salida a decantación		16:08:00	16:13:00	16:18:00		Altura máxima de arcilla	in	4.9	5.0	5.1	<b>Promedio</b>	Altura máxima de arena	in	4.3	4.0	3.9	Resultado	%	87.8	80.0	76.5	<b>81.4</b>
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3																																																
Hora de entrada a saturación		15:35:00	15:40:00	15:45:00																																																
Hora de salida a saturación		15:45:00	15:50:00	15:55:00																																																
Hora de entrada a decantación		15:48:00	15:53:00	15:58:00																																																
Hora de salida a decantación		16:08:00	16:13:00	16:18:00																																																
Altura máxima de arcilla	in	4.9	5.0	5.1	<b>Promedio</b>																																															
Altura máxima de arena	in	4.3	4.0	3.9																																																
Resultado	%	87.8	80.0	76.5	<b>81.4</b>																																															
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="padding: 5px;">TRAFICO PESADO</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="padding: 5px;">% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="background-color: #d9ead3; text-align: center; padding: 5px;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> </table>		MOP - 001 - F 2002	TRAFICO PESADO	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%		<b>SI CUMPLE</b>																																													
MOP - 001 - F 2002	TRAFICO PESADO																																																			
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%																																																			
	<b>SI CUMPLE</b>																																																			
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>		<b>Fecha Ensayo:</b>																																																
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		18/07/2019																																																

Anexo 1- A.27: Ensayo Equivalente de Arena. (Cisico)

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																																
<b>DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>																																																	
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																																																	
<b>TUTOR:</b> ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	<b>TESISTAS:</b> FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																																																
<b>NORMA ASTM D 2419 - AASHTO T 176</b>																																																	
<b>CISCO (PASANTE N°4)</b>																																																	
<p><b>Fórmula</b></p> $\% \text{ Equivalente Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$																																																	
<p><b>Cálculos</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2"></th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Hora de entrada a saturación</td> <td>9:47:00</td> <td>9:52:00</td> <td>9:54:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hora de salida a saturación</td> <td>9:57:00</td> <td>10:02:00</td> <td>10:02:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hora de entrada a decantación</td> <td>10:14:00</td> <td>10:17:00</td> <td>10:19:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Hora de salida a decantación</td> <td>10:34:00</td> <td>10:37:00</td> <td>10:39:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altura máxima de arcilla</td> <td>in</td> <td>5.3</td> <td>5.5</td> <td>5.8</td> <td rowspan="2" style="background-color: #92d050; text-align: center;"><b>Promedio</b></td> </tr> <tr> <td>Altura máxima de arena</td> <td>in</td> <td>3.9</td> <td>3.7</td> <td>3.8</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td>Resultado</td> <td>%</td> <td><b>73.6</b></td> <td><b>67.3</b></td> <td><b>65.5</b></td> <td style="text-align: center;"><b>68.8</b></td> </tr> </tbody> </table>					Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		Hora de entrada a saturación		9:47:00	9:52:00	9:54:00		Hora de salida a saturación		9:57:00	10:02:00	10:02:00		Hora de entrada a decantación		10:14:00	10:17:00	10:19:00		Hora de salida a decantación		10:34:00	10:37:00	10:39:00		Altura máxima de arcilla	in	5.3	5.5	5.8	<b>Promedio</b>	Altura máxima de arena	in	3.9	3.7	3.8	Resultado	%	<b>73.6</b>	<b>67.3</b>	<b>65.5</b>	<b>68.8</b>
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3																																													
Hora de entrada a saturación		9:47:00	9:52:00	9:54:00																																													
Hora de salida a saturación		9:57:00	10:02:00	10:02:00																																													
Hora de entrada a decantación		10:14:00	10:17:00	10:19:00																																													
Hora de salida a decantación		10:34:00	10:37:00	10:39:00																																													
Altura máxima de arcilla	in	5.3	5.5	5.8	<b>Promedio</b>																																												
Altura máxima de arena	in	3.9	3.7	3.8																																													
Resultado	%	<b>73.6</b>	<b>67.3</b>	<b>65.5</b>	<b>68.8</b>																																												
<table border="1" style="width: 80%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">MOP - 001 - F 2002</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">TRAFICO PESADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS</td> <td style="text-align: center;">% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td></td> <td style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> </table>			MOP - 001 - F 2002	TRAFICO PESADO	SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%		<b>SI CUMPLE</b>																																									
MOP - 001 - F 2002	TRAFICO PESADO																																																
SECCION 811: AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	% EQUIVALENTE DE ARENA ≥ 50%																																																
	<b>SI CUMPLE</b>																																																
<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Fecha Ensayo:</b> 19/07/2019																																															

Anexo 1- A.28: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (Piedra 3/4”).

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																														
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS</b>																															
<b>TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.</b>																															
<b>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg</b>	<b>TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES</b>																														
<b>AGREGADO GRUESO (3/4")</b>																															
<b>NORMA ASTM C 127 - ASSTHO T 85</b>																															
<p>Nomenclatura:</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>G_{sb}</math> Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado.</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>G_{sssb}</math> Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk.</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>G_{sa}</math> Gravedad Especifica Seca Aparente.</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>\% Abs</math> Porcentaje de Absorción</p> <p style="margin-left: 40px;"><b>A</b> Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.</p> <p style="margin-left: 40px;"><b>B</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.</p> <p style="margin-left: 40px;"><b>C</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.</p>																															
<p><b>Datos:</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%; text-align: center;">Muestra 1 (gr)</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Muestra 2 (gr)</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Muestra 3 (gr)</th> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">642.41</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">650</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">420</td></tr> </table> </td> <td style="border: 1px solid black;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">731.35</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">740</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">478</td></tr> </table> </td> <td style="border: 1px solid black;"> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">748.29</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">760</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">488</td></tr> </table> </td> </tr> </table>			Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">642.41</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">650</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">420</td></tr> </table>	A	642.41	B	650	C	420	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">731.35</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">740</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">478</td></tr> </table>	A	731.35	B	740	C	478	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">748.29</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">760</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">488</td></tr> </table>	A	748.29	B	760	C	488					
Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)																													
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">642.41</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">650</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">420</td></tr> </table>	A	642.41	B	650	C	420	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">731.35</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">740</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">478</td></tr> </table>	A	731.35	B	740	C	478	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 10%; text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">748.29</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">760</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">488</td></tr> </table>	A	748.29	B	760	C	488											
A	642.41																														
B	650																														
C	420																														
A	731.35																														
B	740																														
C	478																														
A	748.29																														
B	760																														
C	488																														
<p><b>Calculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #92d050;"><math>G_{sb} = \frac{A}{B - C}</math></td> <td>2.793</td> <td>2.791</td> <td>2.751</td> <td style="background-color: #92d050;"><b>2.779</b></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #92d050;"><math>G_{sssb} = \frac{B}{B - C}</math></td> <td>2.826</td> <td>2.824</td> <td>2.794</td> <td style="background-color: #92d050;"><b>2.815</b></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #92d050;"><math>G_{sa} = \frac{A}{A - C}</math></td> <td>2.888</td> <td>2.887</td> <td>2.875</td> <td style="background-color: #92d050;"><b>2.883</b></td> </tr> <tr> <td style="background-color: #92d050;"><math>\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100</math></td> <td>1.181</td> <td>1.183</td> <td>1.565</td> <td style="background-color: #92d050;"><b>1.310</b></td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2.793	2.791	2.751	<b>2.779</b>	$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2.826	2.824	2.794	<b>2.815</b>	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2.888	2.887	2.875	<b>2.883</b>	$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1.181	1.183	1.565	<b>1.310</b>
Fórmulas	Resultados																														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2.793	2.791	2.751	<b>2.779</b>																											
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2.826	2.824	2.794	<b>2.815</b>																											
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2.888	2.887	2.875	<b>2.883</b>																											
$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1.181	1.183	1.565	<b>1.310</b>																											
<p>Nota: Balanzas con sensibilidad de 0.05% del peso de la muestra o 0.5g.</p>																															
<b>Realizado por:</b>	<b>Revisado por:</b>	<b>Fecha Ensayo:</b>																													
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	24/07/2019																													

Anexo 1- A.29: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (Arena).

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																															
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS</b>																																
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																																
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES																															
<b>AGREGADO FINO (ARENA)</b>																																
<b>NORMA ASTM C 128 - ASSTHO T 84</b>																																
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado.</p> <p><math>G_{sssb}</math> Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk.</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad Especifica Seca Aparente.</p> <p><math>\% Abs</math> Porcentaje de Absorción</p> <p><b>A</b> Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.</p> <p><b>B</b> Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua.</p> <p><b>C</b> Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.</p> <p><b>D</b> Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).</p>																																
<p><b>Datos:</b></p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 1 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>485,92</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>967</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 2 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>488,2</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>971</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 3 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>487,85</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>969</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table>			Muestra 1 (gr)		A	485,92	B	659	C	967	D	500	Muestra 2 (gr)		A	488,2	B	659	C	971	D	500	Muestra 3 (gr)		A	487,85	B	659	C	969	D	500
Muestra 1 (gr)																																
A	485,92																															
B	659																															
C	967																															
D	500																															
Muestra 2 (gr)																																
A	488,2																															
B	659																															
C	971																															
D	500																															
Muestra 3 (gr)																																
A	487,85																															
B	659																															
C	969																															
D	500																															
<p><b>Calculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}</math></td> <td>2,531</td> <td>2,597</td> <td>2,621</td> <td style="background-color: #92d050;">2,583</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}</math></td> <td>2,604</td> <td>2,660</td> <td>2,674</td> <td style="background-color: #92d050;">2,646</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}</math></td> <td>2,731</td> <td>2,771</td> <td>2,768</td> <td style="background-color: #92d050;">2,757</td> </tr> <tr> <td><math>\% Abs = \frac{D - A}{A} \times 100</math></td> <td>2,898</td> <td>2,417</td> <td>2,028</td> <td style="background-color: #92d050;">2,448</td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,531	2,597	2,621	2,583	$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,604	2,660	2,674	2,646	$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,731	2,771	2,768	2,757	$\% Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,898	2,417	2,028	2,448	
Fórmulas	Resultados																															
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																												
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,531	2,597	2,621	2,583																												
$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,604	2,660	2,674	2,646																												
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,731	2,771	2,768	2,757																												
$\% Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,898	2,417	2,028	2,448																												
<p style="text-align: center;"><i>Nota:</i> Balanza con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0.1g o menor.</p>																																
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																														
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	24/7/2019																														

**Anexo 1- A.30: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (Piedra 3/8", Retenido N°4).**

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																														
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS</b>																															
<b>TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.</b>																															
<b>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg</b>	<b>TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES</b>																														
<b>AGREGADO GRUESO (3/8") - RETENIDO N°4</b>																															
<b>NORMA ASTM C 127 - ASSTHO T 85</b>																															
<b>Nomenclatura:</b> $G_{sb}$ Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado. $G_{sssb}$ Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk. $G_{sa}$ Gravedad Especifica Seca Aparente. $\% Abs$ Porcentaje de Absorción <b>A</b> Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. <b>B</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco. <b>C</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.																															
<b>Datos:</b>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 1 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">629,23</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">650</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">405</td></tr> </tbody> </table>	Muestra 1 (gr)		A	629,23	B	650	C	405	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 2 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">713,24</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">740</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">459</td></tr> </tbody> </table>	Muestra 2 (gr)		A	713,24	B	740	C	459	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 3 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">A</td><td style="text-align: center;">732,47</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">B</td><td style="text-align: center;">760</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">C</td><td style="text-align: center;">473</td></tr> </tbody> </table>	Muestra 3 (gr)		A	732,47	B	760	C	473					
Muestra 1 (gr)																															
A	629,23																														
B	650																														
C	405																														
Muestra 2 (gr)																															
A	713,24																														
B	740																														
C	459																														
Muestra 3 (gr)																															
A	732,47																														
B	760																														
C	473																														
<b>Calculos:</b>																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"><math>G_{sb} = \frac{A}{B - C}</math></td> <td style="text-align: center;">2,568</td> <td style="text-align: center;">2,538</td> <td style="text-align: center;">2,552</td> <td style="text-align: center;">2,553</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>G_{sssb} = \frac{B}{B - C}</math></td> <td style="text-align: center;">2,653</td> <td style="text-align: center;">2,633</td> <td style="text-align: center;">2,648</td> <td style="text-align: center;">2,645</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>G_{sa} = \frac{A}{A - C}</math></td> <td style="text-align: center;">2,806</td> <td style="text-align: center;">2,805</td> <td style="text-align: center;">2,823</td> <td style="text-align: center;">2,812</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><math>\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100</math></td> <td style="text-align: center;">3,301</td> <td style="text-align: center;">3,752</td> <td style="text-align: center;">3,759</td> <td style="text-align: center;">3,604</td> </tr> </tbody> </table>	Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,568	2,538	2,552	2,553	$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,653	2,633	2,648	2,645	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,806	2,805	2,823	2,812	$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	3,301	3,752	3,759	3,604		
Fórmulas		Resultados																													
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,568	2,538	2,552	2,553																											
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,653	2,633	2,648	2,645																											
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,806	2,805	2,823	2,812																											
$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	3,301	3,752	3,759	3,604																											
<p style="color: purple;">Nota: Balanzas con sensibilidad de 0.05% del peso de la muestra o 0.5g.</p>																															
<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Fecha Ensayo:</b> 24/7/2019																													

Anexo 1- A.31: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (Piedra 3/8”, Pasante N°4).

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL 																															
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA - JONATHAN BENAVIDES																														
AGREGADO FINO (CISCO) - PASANTE N°4																															
NORMA ASTM C 128 - ASSTHO T 84																															
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado.</p> <p><math>G_{sssb}</math> Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk.</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad Especifica Seca Aparente.</p> <p>% Abs Porcentaje de Absorción</p> <p>A Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.</p> <p>B Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua.</p> <p>C Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.</p> <p>D Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).</p>																															
<p><b>Datos:</b></p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 1 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>489,88</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>970</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 2 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>489,86</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>971</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th colspan="2">Muestra 3 (gr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>490,01</td></tr> <tr><td>B</td><td>659</td></tr> <tr><td>C</td><td>972</td></tr> <tr><td>D</td><td>500</td></tr> </tbody> </table>		Muestra 1 (gr)		A	489,88	B	659	C	970	D	500	Muestra 2 (gr)		A	489,86	B	659	C	971	D	500	Muestra 3 (gr)		A	490,01	B	659	C	972	D	500
Muestra 1 (gr)																															
A	489,88																														
B	659																														
C	970																														
D	500																														
Muestra 2 (gr)																															
A	489,86																														
B	659																														
C	971																														
D	500																														
Muestra 3 (gr)																															
A	490,01																														
B	659																														
C	972																														
D	500																														
<p><b>Calculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}</math></td> <td>2,592</td> <td>2,606</td> <td>2,620</td> <td style="background-color: #92d050;">2,606</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}</math></td> <td>2,646</td> <td>2,660</td> <td>2,674</td> <td style="background-color: #92d050;">2,660</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}</math></td> <td>2,739</td> <td>2,754</td> <td>2,768</td> <td style="background-color: #92d050;">2,754</td> </tr> <tr> <td><math>\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100</math></td> <td>2,066</td> <td>2,070</td> <td>2,039</td> <td style="background-color: #92d050;">2,058</td> </tr> </tbody> </table>		Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,592	2,606	2,620	2,606	$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,646	2,660	2,674	2,660	$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,739	2,754	2,768	2,754	$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,066	2,070	2,039	2,058	
Fórmulas	Resultados																														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,592	2,606	2,620	2,606																											
$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,646	2,660	2,674	2,660																											
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,739	2,754	2,768	2,754																											
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,066	2,070	2,039	2,058																											
<p><i>Nota:</i> Balanza con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0.1g o menor.</p>																															
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																													
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	24/7/2019																													

## **Anexo 2. Ensayos realizados al Cemento Asfáltico.**

## Anexo 2 – B: Ensayos al Cemento Asfáltico.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA		ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																						
<b>ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO ASFÁLTICO</b>																										
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																										
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg			TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																							
<b>ANEXO 2 - B1. MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN - NORMA ASTM D5</b>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TEMPERATURA</th> <th>CARGA</th> <th>TIEMPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25°C</td> <td>100gr</td> <td>5seg</td> </tr> </tbody> </table>		TEMPERATURA	CARGA	TIEMPO	25°C	100gr	5seg	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PENETRACIÓN</th> <th colspan="2">DIMENSIONES DEL MOLDE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">DE 200 a 350</td> <td>DIÁMETRO</td> <td>55mm 2,17pulg</td> </tr> <tr> <td>PROFUNDIDAD</td> <td>70mm 2,76 pulg</td> </tr> </tbody> </table>		PENETRACIÓN	DIMENSIONES DEL MOLDE		DE 200 a 350	DIÁMETRO	55mm 2,17pulg	PROFUNDIDAD	70mm 2,76 pulg									
TEMPERATURA	CARGA	TIEMPO																								
25°C	100gr	5seg																								
PENETRACIÓN	DIMENSIONES DEL MOLDE																									
DE 200 a 350	DIÁMETRO	55mm 2,17pulg																								
	PROFUNDIDAD	70mm 2,76 pulg																								
<b>DATOS DE ENSAYO AL ASFALTO ORIGINAL</b>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>P1</th> <th>P2</th> <th>P3</th> <th>PROMEDIO</th> </tr> <tr> <th colspan="3">(dmm)</th> <th>dmm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>63</td> <td>65</td> <td>66</td> <td>65</td> </tr> </tbody> </table>				P1	P2	P3	PROMEDIO	(dmm)			dmm	63	65	66	65	<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">MOP - 001 - F 2002</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TABLA 810.2.1, AC-20</td> </tr> <tr> <td>Mínimo 60</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> <tr> <td>Máximo 70</td> </tr> </tbody> </table>		MOP - 001 - F 2002		ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1		TABLA 810.2.1, AC-20		Mínimo 60	<b>SI CUMPLE</b>	Máximo 70
P1	P2	P3	PROMEDIO																							
(dmm)			dmm																							
63	65	66	65																							
MOP - 001 - F 2002																										
ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1																										
TABLA 810.2.1, AC-20																										
Mínimo 60	<b>SI CUMPLE</b>																									
Máximo 70																										
<b>ANEXO 2 - B2. PUNTO DE ABLANDAMIENTO - NORMA ASTM D 36</b>																										
EQUIPO UTILIZADO: ANILLO Y BOLA			TIPO DE LIQUIDO UTILIZADO: AGUA DESTILADA																							
<b>DATOS DE ENSAYO AL ASFALTO ORIGINAL</b>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ESFERA 1</th> <th>ESFERA 2</th> <th colspan="2">PROMEDIO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">°C</th> <th colspan="2">°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>48.2</td> <td>48.7</td> <td colspan="2">48,45</td> </tr> </tbody> </table>				ESFERA 1	ESFERA 2	PROMEDIO		°C		°C		48.2	48.7	48,45		<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">MOP - 001 - F 2002</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TABLA 810.2.1, AC-20</td> </tr> <tr> <td>MÍNIMO 48</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> <tr> <td>MAXIMO 57</td> </tr> </tbody> </table>		MOP - 001 - F 2002		ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1		TABLA 810.2.1, AC-20		MÍNIMO 48	<b>SI CUMPLE</b>	MAXIMO 57
ESFERA 1	ESFERA 2	PROMEDIO																								
°C		°C																								
48.2	48.7	48,45																								
MOP - 001 - F 2002																										
ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1																										
TABLA 810.2.1, AC-20																										
MÍNIMO 48	<b>SI CUMPLE</b>																									
MAXIMO 57																										
<b>ANEXO 2 - B3. INDICE DE PENETRACIÓN</b>																										
<p><i>IP= Índice de Penetración</i></p> <p><i>t<sub>RaB</sub> = Punto de Ablandamiento en °C</i></p> <p><i>P= Penetración a 25°C,100gr,5seg</i></p>		$IP = \frac{20t_{RaB} + 500 \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 \log P + 120}$ <p style="text-align: center;"><b>IP = -0.997</b></p>		<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">MOP - 001 - F 2002</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TABLA 810.2.1, AC-20</td> </tr> <tr> <td>MÍNIMO - 1.5</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> <tr> <td>MAXIMO 1.5</td> </tr> </tbody> </table>		MOP - 001 - F 2002		ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1		TABLA 810.2.1, AC-20		MÍNIMO - 1.5	<b>SI CUMPLE</b>	MAXIMO 1.5												
MOP - 001 - F 2002																										
ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1																										
TABLA 810.2.1, AC-20																										
MÍNIMO - 1.5	<b>SI CUMPLE</b>																									
MAXIMO 1.5																										
<b>ANEXO 2 - B4. MÉTODO DE ENSAYO DE INFLAMACION - NORMA ASTM D 1310</b>																										
EQUIPO UTILIZADO: COPA DE CLEVELAND MANUAL																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>P1</th> <th colspan="2">PROMEDIO</th> </tr> <tr> <th colspan="2">°C</th> <th>°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>234</td> <td>239</td> <td>236.50</td> </tr> </tbody> </table>				P1	PROMEDIO		°C		°C	234	239	236.50	<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">MOP - 001 - F 2002</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TABLA 810.2.1, AC-20</td> </tr> <tr> <td>MÍNIMO 232</td> <td style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> </tbody> </table>		MOP - 001 - F 2002		ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1		TABLA 810.2.1, AC-20		MÍNIMO 232	<b>SI CUMPLE</b>				
P1	PROMEDIO																									
°C		°C																								
234	239	236.50																								
MOP - 001 - F 2002																										
ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1																										
TABLA 810.2.1, AC-20																										
MÍNIMO 232	<b>SI CUMPLE</b>																									
<b>ANEXO 2 - B5. DUCTILIDAD</b>																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CONDICIONES DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th>TEMPERATURA</th> <th>VELOCIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25°C</td> <td>5cm/min</td> </tr> </tbody> </table>		CONDICIONES DE ENSAYO		TEMPERATURA	VELOCIDAD	25°C	5cm/min	<table border="1"> <thead> <tr> <th>DUCTILIDAD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>101 cm</td> </tr> </tbody> </table>		DUCTILIDAD	101 cm	<table border="1"> <tbody> <tr> <td colspan="2">MOP - 001 - F 2002</td> </tr> <tr> <td colspan="2">ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TABLA 810.2.1, AC-20</td> </tr> <tr> <td>MÍNIMO 100</td> <td style="text-align: center;"><b>SI CUMPLE</b></td> </tr> </tbody> </table>		MOP - 001 - F 2002		ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1		TABLA 810.2.1, AC-20		MÍNIMO 100	<b>SI CUMPLE</b>					
CONDICIONES DE ENSAYO																										
TEMPERATURA	VELOCIDAD																									
25°C	5cm/min																									
DUCTILIDAD																										
101 cm																										
MOP - 001 - F 2002																										
ESPECIFICACIONES MOP: SECCIÓN 810, ASFALTOS Y PRODUCTOS ASFÁLTICOS: TABLA 810.2.1																										
TABLA 810.2.1, AC-20																										
MÍNIMO 100	<b>SI CUMPLE</b>																									
Realizado por: Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		Fecha Ensayo: 07/07/2019																						

## **Anexo 3.**

### **Diseño de Mezcla Asfáltica – Método Marshall (ASTM D 1559).**

**Anexo 3- C.1: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Combinados  
(Retenido N°4).**

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																														
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS COMBINADOS</b>																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																														
<b>AGREGADOS COMBINADOS</b>																															
<b>AGREGADO GRUESO (RETENIDO TAMIZ N°4)</b>																															
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado.</p> <p><math>G_{sssb}</math> Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk.</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad Especifica Seca Aparente.</p> <p><math>\% Abs</math> Porcentaje de Absorción</p> <p><b>A</b> Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.</p> <p><b>B</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.</p> <p><b>C</b> Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.</p>																															
<p><b>Datos:</b></p> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"><th colspan="2">Muestra 1 (gr)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>965</td></tr> <tr><td>B</td><td>980</td></tr> <tr><td>C</td><td>631</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table; margin-right: 20px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"><th colspan="2">Muestra 2 (gr)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>980</td></tr> <tr><td>B</td><td>1000</td></tr> <tr><td>C</td><td>636</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="display: inline-table;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"><th colspan="2">Muestra 3 (gr)</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>994</td></tr> <tr><td>B</td><td>1020</td></tr> <tr><td>C</td><td>646</td></tr> </tbody> </table>			Muestra 1 (gr)		A	965	B	980	C	631	Muestra 2 (gr)		A	980	B	1000	C	636	Muestra 3 (gr)		A	994	B	1020	C	646					
Muestra 1 (gr)																															
A	965																														
B	980																														
C	631																														
Muestra 2 (gr)																															
A	980																														
B	1000																														
C	636																														
Muestra 3 (gr)																															
A	994																														
B	1020																														
C	646																														
<p><b>Calculos:</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>G_{sb} = \frac{A}{B - C}</math></td> <td>2,765</td> <td>2,692</td> <td>2,658</td> <td style="background-color: #92d050;">2,705</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sssb} = \frac{B}{B - C}</math></td> <td>2,808</td> <td>2,747</td> <td>2,727</td> <td style="background-color: #92d050;">2,761</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sa} = \frac{A}{A - C}</math></td> <td>2,889</td> <td>2,849</td> <td>2,856</td> <td style="background-color: #92d050;">2,865</td> </tr> <tr> <td><math>\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100</math></td> <td>1,554</td> <td>2,041</td> <td>2,616</td> <td style="background-color: #92d050;">2,070</td> </tr> </tbody> </table> <p align="center"><i>Nota:</i> Balanzas con sensibilidad de 0.05% del peso de la muestra o 0.5g.</p>			Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,765	2,692	2,658	2,705	$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,808	2,747	2,727	2,761	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,889	2,849	2,856	2,865	$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1,554	2,041	2,616	2,070
Fórmulas	Resultados																														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,765	2,692	2,658	2,705																											
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,808	2,747	2,727	2,761																											
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,889	2,849	2,856	2,865																											
$\% Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	1,554	2,041	2,616	2,070																											
Realizado por: Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	Fecha Ensayo: 26/7/2019																													

**Anexo 3- C2: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Combinados (Pasante N°4).**

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																														
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS COMBINADOS</b>																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																														
<b>AGREGADOS COMBINADOS</b>																															
<b>AGREGADO FINO (PASANTE TAMIZ N°4)</b>																															
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{sb}</math> Gravedad Especifica Seca Bulk o Gravedad Especifica Neta del Agregado.</p> <p><math>G_{sssb}</math> Gravedad Especifica Saturada Superficialmente Seca Bulk.</p> <p><math>G_{sa}</math> Gravedad Especifica Seca Aparente.</p> <p>% Abs Porcentaje de Absorción</p> <p>A Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.</p> <p>B Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua.</p> <p>C Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.</p> <p>D Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).</p>																															
<p><b>Datos:</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 1 (gr)</th> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 2 (gr)</th> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 3 (gr)</th> </tr> <tr> <td>A   489,82</td> <td>A   489,8</td> <td>A   489,78</td> </tr> <tr> <td>B   659</td> <td>B   659</td> <td>B   659</td> </tr> <tr> <td>C   973</td> <td>C   972</td> <td>C   971</td> </tr> <tr> <td>D   500</td> <td>D   500</td> <td>D   500</td> </tr> </table>			Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)	A   489,82	A   489,8	A   489,78	B   659	B   659	B   659	C   973	C   972	C   971	D   500	D   500	D   500														
Muestra 1 (gr)	Muestra 2 (gr)	Muestra 3 (gr)																													
A   489,82	A   489,8	A   489,78																													
B   659	B   659	B   659																													
C   973	C   972	C   971																													
D   500	D   500	D   500																													
<p><b>Calculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="background-color: #c8e6c9;">Fórmulas</th> <th colspan="4" style="background-color: #c8e6c9;">Resultados</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 1</th> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 2</th> <th style="background-color: #c8e6c9;">Muestra 3</th> <th style="background-color: #c8e6c9;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #c8e6c9;"><math>G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}</math></td> <td>2,633</td> <td>2,619</td> <td>2,605</td> <td style="background-color: #c8e6c9;">2,619</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #c8e6c9;"><math>G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}</math></td> <td>2,688</td> <td>2,674</td> <td>2,660</td> <td style="background-color: #c8e6c9;">2,674</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #c8e6c9;"><math>G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}</math></td> <td>2,786</td> <td>2,770</td> <td>2,755</td> <td style="background-color: #c8e6c9;">2,770</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #c8e6c9;"><math>\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100</math></td> <td>2,078</td> <td>2,082</td> <td>2,087</td> <td style="background-color: #c8e6c9;">2,082</td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas	Resultados				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,633	2,619	2,605	2,619	$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,688	2,674	2,660	2,674	$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,786	2,770	2,755	2,770	$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,078	2,082	2,087	2,082
Fórmulas	Resultados																														
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,633	2,619	2,605	2,619																											
$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,688	2,674	2,660	2,674																											
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,786	2,770	2,755	2,770																											
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	2,078	2,082	2,087	2,082																											
<p><i>Nota:</i> Balanza con capacidad mínima de 1 kg, sensibilidad de 0.1g o menor.</p>																															
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																													
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	26/7/2019																													

**Anexo 3- C3 Ensayo de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados Combinados (Mezcla Ensayada).**

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																									
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS COMBINADOS</b>																										
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																										
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																									
<b>AGREGADOS COMBINADOS (MEZCLA ENSAYADA)</b>																										
Datos:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d4edda;"> <th colspan="3">Agregados Combinados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">% Pasante Tamiz N°4</td> <td style="width: 40%;">Agregado Fino</td> <td style="width: 30%;">50,91 %</td> </tr> <tr> <td>% Retenido Tamiz N°4</td> <td>Agregado Grueso</td> <td>49,09 %</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Gravedad Especifica Bulk o Neta.</td> <td><math>G_{sbGrueso}</math></td> <td>2,705 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td><math>G_{sbFino}</math></td> <td>2,619 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Gravedad Especifica Aparente.</td> <td><math>G_{saGrueso}</math></td> <td>2,865 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td><math>G_{saFino}</math></td> <td>2,770 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">% de Absorción</td> <td><math>\% Abs_{Grueso}</math></td> <td>2,070 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td><math>\% Abs_{Fino}</math></td> <td>2,082 gr/cm3</td> </tr> </tbody> </table>		Agregados Combinados			% Pasante Tamiz N°4	Agregado Fino	50,91 %	% Retenido Tamiz N°4	Agregado Grueso	49,09 %	Gravedad Especifica Bulk o Neta.	$G_{sbGrueso}$	2,705 gr/cm3	$G_{sbFino}$	2,619 gr/cm3	Gravedad Especifica Aparente.	$G_{saGrueso}$	2,865 gr/cm3	$G_{saFino}$	2,770 gr/cm3	% de Absorción	$\% Abs_{Grueso}$	2,070 gr/cm3	$\% Abs_{Fino}$	2,082 gr/cm3
Agregados Combinados																										
% Pasante Tamiz N°4	Agregado Fino	50,91 %																								
% Retenido Tamiz N°4	Agregado Grueso	49,09 %																								
Gravedad Especifica Bulk o Neta.	$G_{sbGrueso}$	2,705 gr/cm3																								
	$G_{sbFino}$	2,619 gr/cm3																								
Gravedad Especifica Aparente.	$G_{saGrueso}$	2,865 gr/cm3																								
	$G_{saFino}$	2,770 gr/cm3																								
% de Absorción	$\% Abs_{Grueso}$	2,070 gr/cm3																								
	$\% Abs_{Fino}$	2,082 gr/cm3																								
Calculos:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #d4edda;"> <th>Fórmulas</th> <th>Resultados</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <math display="block">G_{sb} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{sbGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{sbFino}}}</math> </td> <td style="background-color: #d4edda;">2,661</td> </tr> <tr> <td> <math display="block">G_{sa} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{saGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{saFino}}}</math> </td> <td style="background-color: #d4edda;">2,816</td> </tr> <tr> <td> <math display="block">\%Abs. = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}</math> </td> <td style="background-color: #d4edda;">2,076</td> </tr> </tbody> </table>		Fórmulas	Resultados	$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{sbGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{sbFino}}}$	2,661	$G_{sa} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{saGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{saFino}}}$	2,816	$\%Abs. = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}$	2,076																
Fórmulas	Resultados																									
$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{sbGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{sbFino}}}$	2,661																									
$G_{sa} = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{G_{saGrueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{G_{saFino}}}$	2,816																									
$\%Abs. = \frac{100}{\frac{\%Ret.N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa.N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}$	2,076																									
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																								
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	27/7/2019																								

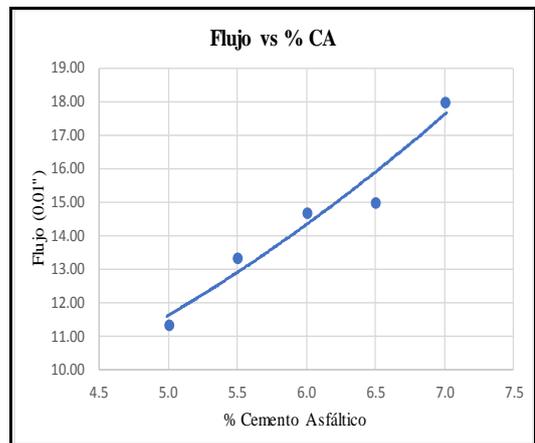
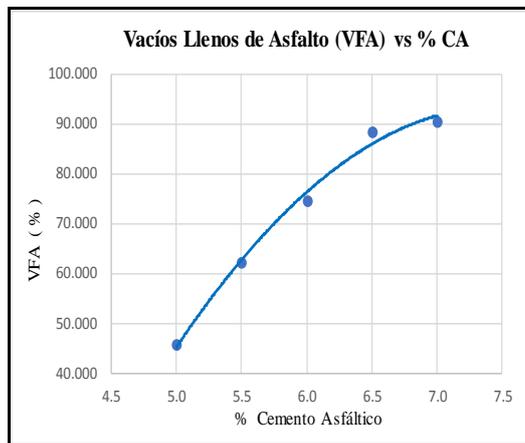
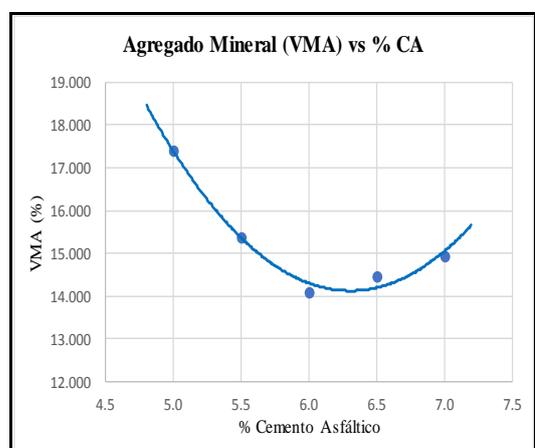
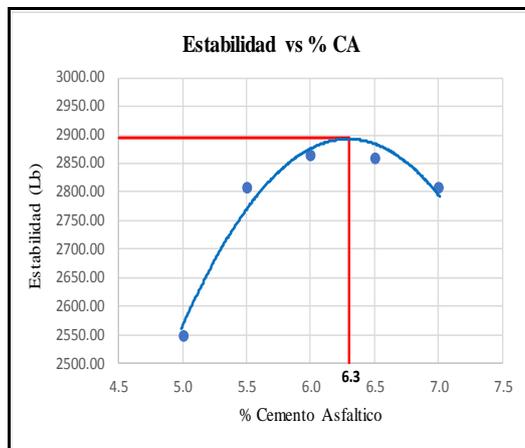
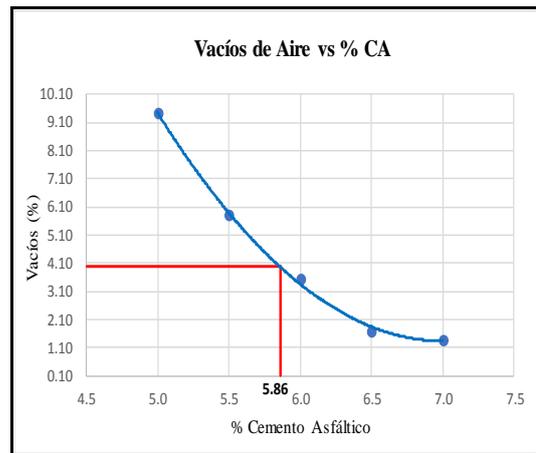
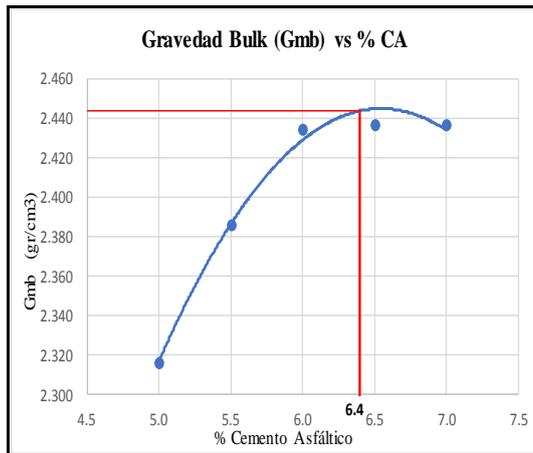
### Anexo 3- C.4: Ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																																															
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA</b>																																																
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS REICLADOS.																																																
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																																															
<b>ENSAYO RICE</b>																																																
<b>NORMA ASTM D 2041 - ASSTHO T 209</b>																																																
<p>Nomenclatura:</p> <p><math>G_{mm}</math> = Gravedad Específica Teórica Máxima</p> <p><math>A</math> = Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno (gr)</p> <p><math>B</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a <math>25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}</math> (<math>77^{\circ}\text{F}</math>), gr</p> <p><math>C</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a <math>25^{\circ}\text{C}</math>, gr</p> <p>Fórmula:</p> <div style="text-align: center; background-color: #92d050; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}</math> </div> <p>Cálculos:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="2">Datos</th> <th rowspan="2">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5.0</td> <td>A =</td> <td>1512</td> <td rowspan="3">2.558</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8284</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5.5</td> <td>A =</td> <td>1510</td> <td rowspan="3">2.534</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8277</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6,0</td> <td>A =</td> <td>1505</td> <td rowspan="3">2.525</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8272</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6,5</td> <td>A =</td> <td>1507</td> <td rowspan="3">2.479</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8262</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">7,0</td> <td>A =</td> <td>1515</td> <td rowspan="3">2.471</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8265</td> </tr> </tbody> </table>			% Asfalto Utilizado	Datos		Resultados	Nom.	Muestra 1	5.0	A =	1512	2.558	B =	7363	C =	8284	5.5	A =	1510	2.534	B =	7363	C =	8277	6,0	A =	1505	2.525	B =	7363	C =	8272	6,5	A =	1507	2.479	B =	7363	C =	8262	7,0	A =	1515	2.471	B =	7363	C =	8265
% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados																																												
	Nom.	Muestra 1																																														
5.0	A =	1512	2.558																																													
	B =	7363																																														
	C =	8284																																														
5.5	A =	1510	2.534																																													
	B =	7363																																														
	C =	8277																																														
6,0	A =	1505	2.525																																													
	B =	7363																																														
	C =	8272																																														
6,5	A =	1507	2.479																																													
	B =	7363																																														
	C =	8262																																														
7,0	A =	1515	2.471																																													
	B =	7363																																														
	C =	8265																																														
Realizado por:	Revisado por:	Fecha Ensayo:																																														
Fátima Chamba y Jonathan Benavides	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	20/08/2019																																														

### Anexo 3- C.5: Cálculo para la Obtención del Porcentaje Óptimo de Asfalto.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																										
CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL EN CALIENTE																										
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg												TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES														
MÉTODO MARSHALL - NORMA ASTM DE1559																										
$(G_{sb})$ de los Agregados =						2,661 gr/cm <sup>3</sup>			$(G_{sa})$ de los Agregados =						2,816 gr/cm <sup>3</sup>			$(G_b)$ Gravedad Especifica del Asfalto						1,017 gr/cm <sup>3</sup>		
Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de Briqueta			Gravedad Especifica de la Mezcla			% Volumen Total (Briqueta)			% Volumen de Vacíos		% Asfalto		Estabilidad				Flujo 0,01"			
						Aire (gr)	SSS (gr)	Agua (gr)	Bulk ( $G_{mb}$ ) g/cm <sup>3</sup>	Teórica Máxima ( $G_{mmv}$ ) g/cm <sup>3</sup>	Efectiva ( $G_{se}$ ) g/cm <sup>3</sup>	Agregado	Vacios de Aire ( $V_a$ )	Asfalto ( $V_{CA}$ )	Agregado Mineral (VMA)	Llenos de Asfalto (VFA)	Absorbido ( $P_{ba}$ )	Efectivo ( $P_{be}$ )	Estabilidad Ensayo (Kg)	Corrección por Altura de Briqueta	Estabilidad Corregida (Kg)	Estabilidad Corregida (Lb)				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y			
									$\frac{G}{H-I}$	ENSAYO RICE	$\frac{100-C}{L} \frac{G}{G_b}$	$\left(\frac{K(100-C)}{G_b}\right) \left(\frac{L-K}{L}\right) (100)$	$\left(\frac{L-K}{L}\right) (100)$	$100-N-O$	$100-N$	$(100) \left(\frac{Q-O}{Q}\right)$	$(100) \left(\frac{M-K}{M*K}\right) (Gb)$	$C - \left(\frac{S}{100}\right) (100-C)$								
19/8/2019	1	5,0	6,2	10,31	517,61	1170,7	1176,9	678,1	2,347	2,558	2,780	82,691	9,465	7,844	17,309	45,315	1,638	3,444	1181,0	1,040	1228,24	2707,80	12			
19/8/2019	2		6,39	10,16	518,06	1189,6	1196,3	674,6	2,280										1161,9	0,990	1150,28	2535,93	10			
19/8/2019	3		6,47	10,16	524,54	1193,7	1200,8	686,9	2,323										1123,4	0,970	1089,70	2402,37	12			
Promedio			6,35	10,21	520,17	1184,7	1191,3	679,9	2,316										1155,4		1156,07	2548,70	11			
19/8/2019	1	5,5	6,31	10,18	513,59	1186,1	1190,6	692,0	2,379	2,534	2,774	84,746	5,811	9,443	15,254	61,906	1,561	4,025	1224,6	1,011	1238,07	2729,48	13			
19/8/2019	2		6,32	10,11	507,35	1190,4	1193,3	694,0	2,384										1236,7	1,008	1246,59	2748,27	14			
19/8/2019	3		6,08	10,19	495,84	1153,6	1155,9	674,5	2,396										1239,6	1,078	1336,29	2946,01	13			
Promedio			6,24	10,16	505,63	1176,7	1179,9	686,8	2,386										1233,6		1273,65	2807,92	13			
19/8/2019	1	6,0	6,14	10,21	502,70	1169,3	1171,4	688,8	2,423	2,525	2,789	86,021	3,565	10,413	13,979	74,494	1,756	4,349	1029,3	1,059	1090,03	2403,10	14			
19/8/2019	2		6,08	10,19	495,84	1176,8	1178,5	699,5	2,457										1427,5	1,078	1538,85	3392,57	15			
19/8/2019	3		6,08	10,16	492,93	1156,6	1158,3	681,5	2,426										1179,1	1,078	1271,07	2802,23	15			
Promedio			6,10	10,19	497,15	1167,6	1169,4	689,9	2,435										1212,0		1299,98	2865,96	15			
20/8/2019	1	6,5	6,06	10,27	502,00	1183,6	1185,3	697,8	2,428	2,479	2,754	85,636	1,671	12,693	14,364	88,366	1,287	5,296	1228,4	1,084	1331,59	2935,64	15			
20/8/2019	2		6,07	10,17	493,08	1172,3	1173,3	698,3	2,468										1235,6	1,081	1335,68	2944,67	16			
20/8/2019	3		6,26	10,16	507,52	1195,1	1197,3	702,8	2,417										1195,8	1,024	1224,50	2699,56	14			
Promedio			6,13	10,20	500,90	1183,7	1185,3	699,6	2,437										1219,9		1297,26	2859,96	15			
20/8/2019	1	7,0	6,18	10,19	504,00	1186,8	1187,8	701,4	2,440	2,471	2,770	85,167	1,399	13,434	14,833	90,571	1,498	5,606	1281,5	1,046	1340,45	2955,18	19			
20/8/2019	2		6,12	10,18	498,12	1198,8	1199,6	705,4	2,426										1225,3	1,065	1304,94	2876,91	21			
20/8/2019	3		6,05	10,28	502,15	1193,7	1194,9	706,7	2,445										1083,0	1,087	1177,22	2595,32	14			
Promedio			6,12	10,22	501,45	1193,1	1194,1	704,5	2,437										1196,6		1274,20	2809,14	18			
Realizado por:			Revisado por:																							
Fátima Chamba y Jonathan Benavides			Ing. Lucrecia Moreno Alcívar																							

### Anexo 3- C.5.1: Cálculo para la Obtención del Porcentaje Óptimo de Asfalto



PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO (INSTITUTO DEL ASFALTO)	
Vacíos de Aire	5.86
Gravedad Bulk	6.4
Estabilidad	6.3
<b>% de Asfalto</b>	<b>6.2</b>

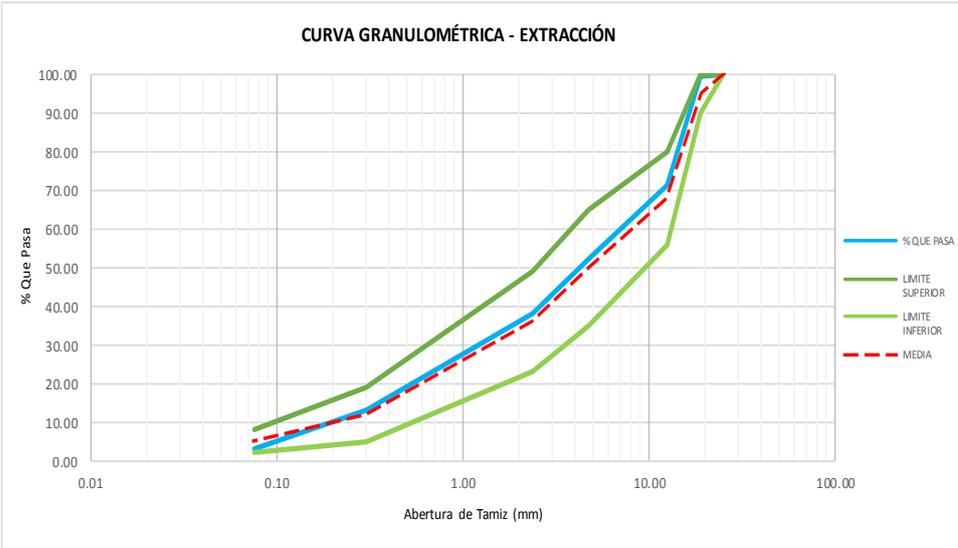
**Anexo 3 C.6: Ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla (Porcentaje Óptimo de Asfalto).**

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																																															
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA</b>																																																
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																																																
<b>TUTOR:</b> ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	<b>TESISTAS:</b> FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																																															
<b>ENSAYO RICE</b>																																																
<b>NORMA ASTM D 2041 - ASSTHO T 209</b>																																																
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{mm}</math> = Gravedad Específica Teórica Máxima</p> <p><math>A</math> = Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno (gr)</p> <p><math>B</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a <math>25^{\circ}C \pm 1^{\circ}C (77^{\circ}F)</math>, gr</p> <p><math>C</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a <math>25^{\circ}C</math>, gr</p> <p><b>Fórmula:</b></p> <div style="text-align: center; background-color: #92d050; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <math display="block">G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}</math> </div> <p><b>Cálculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="2">Datos</th> <th rowspan="2">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">5.0</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1512</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2.558</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">8284</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">5.5</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1510</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2.534</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">8277</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">6,0</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1505</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2.525</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">8272</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">6,5</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1507</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2.479</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">8262</td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">7,0</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1515</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2.471</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7363</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">8265</td> </tr> </tbody> </table>			% Asfalto Utilizado	Datos		Resultados	Nom.	Muestra 1	5.0	A =	1512	2.558	B =	7363	C =	8284	5.5	A =	1510	2.534	B =	7363	C =	8277	6,0	A =	1505	2.525	B =	7363	C =	8272	6,5	A =	1507	2.479	B =	7363	C =	8262	7,0	A =	1515	2.471	B =	7363	C =	8265
% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados																																												
	Nom.	Muestra 1																																														
5.0	A =	1512	2.558																																													
	B =	7363																																														
	C =	8284																																														
5.5	A =	1510	2.534																																													
	B =	7363																																														
	C =	8277																																														
6,0	A =	1505	2.525																																													
	B =	7363																																														
	C =	8272																																														
6,5	A =	1507	2.479																																													
	B =	7363																																														
	C =	8262																																														
7,0	A =	1515	2.471																																													
	B =	7363																																														
	C =	8265																																														
<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Fecha Ensayo:</b> 20/08/2019																																														

**Anexo 3- C.7: Diseño de Mezcla Asfáltica Convencional (Porcentaje Óptimo de Asfalto).**

 <div style="text-align: center;">                     UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA                      FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA                      ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL                 </div> 																													
CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.																													
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg												TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																	
MÉTODO MARSHALL - NORMA ASTM DE1559																													
TRÁFICO PESADO - 75 GOLPES																													
			$(G_{sb})$ de los Agregados			2,661 gr/cm <sup>3</sup>			$(G_{sa})$ de los Agregados			2,816 gr/cm <sup>3</sup>			$(G_b)$ Gravedad Específica del Asfalto			1,017 gr/cm <sup>3</sup>											
Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla			% Volumen Total (Briqueta)			% Volumen de Vacíos			% Asfalto			Estabilidad				Flujo 0,01"				
						Aire (gr)	SSS (gr)	Agua (gr)	Bulk ( $G_{mb}$ ) g/cm <sup>3</sup>	Teórica ( $G_{mm}$ ) Máxima g/cm <sup>3</sup>	Efectiva ( $G_{se}$ ) g/cm <sup>3</sup>	Agregado	Vacíos de Aire ( $V_a$ )	Asfalto ( $V_{CA}$ )	Agregado Mineral (VMA)	Llenos de Asfalto (VFA)	Absorbido ( $P_{ba}$ )	Efectivo ( $P_{be}$ )	Estabilidad Ensayo (Kg)	Corrección por Altura de Briqueta	Estabilidad Corregida (Kg)	Estabilidad Corregida (Lb)							
21/8/2019	1	6,2	6,00	10,27	497,03	1180,5	1181,3	695,7	2,431	2,534	2,812	85,948	3,796	10,256	14,052	72,984	2,049	4,278	1125,2	1,103	1241,10	2736,14	12						
21/8/2019	2		6,05	10,22	496,30	1184,6	1185,5	698,6	2,433										1289,2	1,087	1401,36	3089,47	13						
21/8/2019	3		6,02	10,26	497,72	1187,9	1189,3	704,6	2,451										1326,0	1,096	1453,30	3203,97	14						
Promedio			6,02	10,25	497,02	1184,3	1185,4	699,6	2,438										1246,8		1365,25	3009,86	13						
Realizado por:					Revisado por:																								
Fátima Chamba y Jonathan Benavides					Ing. Lucrecia Moreno Alcívar																								

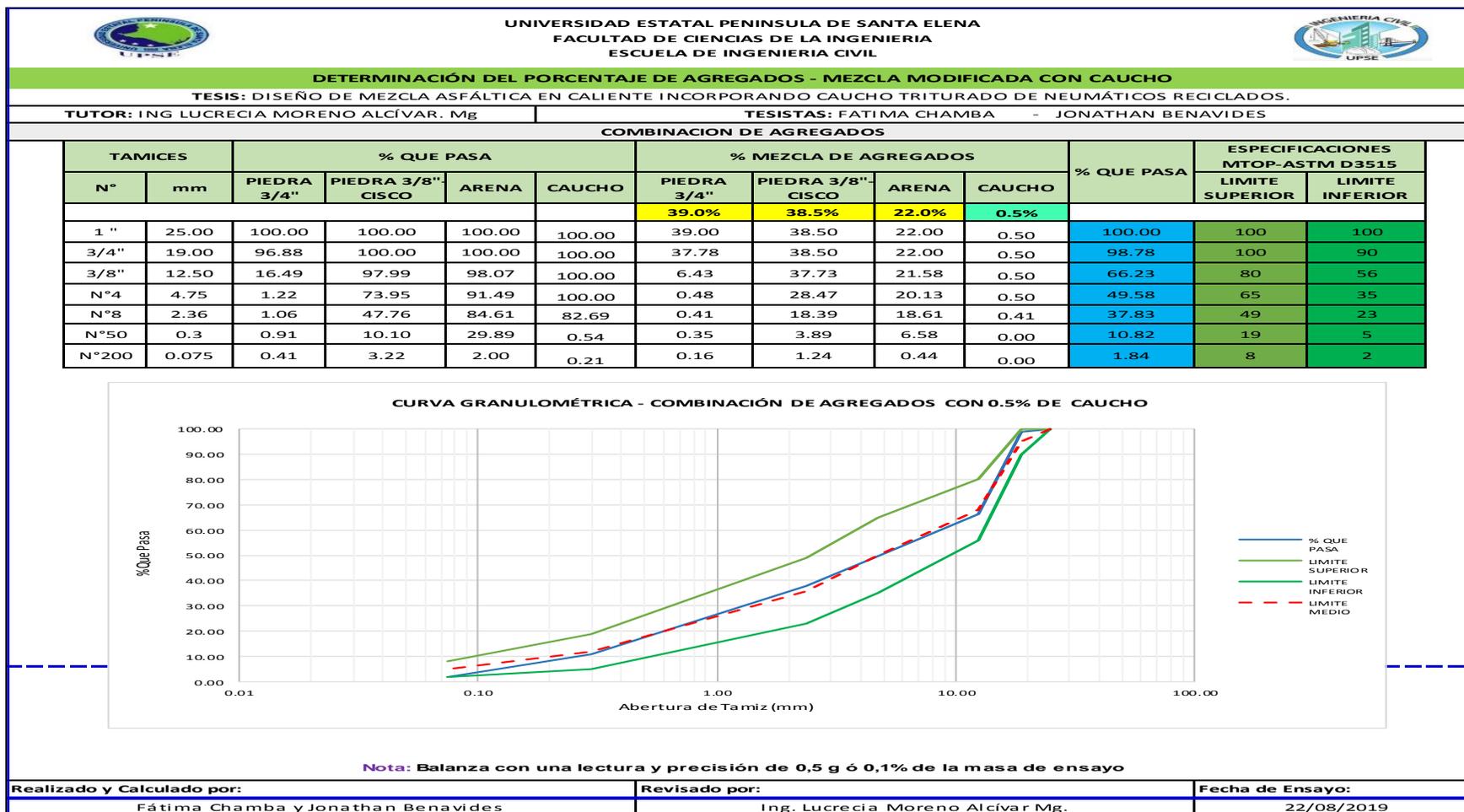
Anexo 3- C.8: Ensayo de Extracción de Asfalto.

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																																																															
<b>DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO EN MEZCLAS CALIENTES</b>																																																																																
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																																																																																
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																																																																															
<b>NORMA ASTM D 2172 - ASSTHO T 164</b>																																																																																
<b>Cálculo de Porcentaje de Asfalto en la mezcla</b>																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Peso Inicial de la muestra (gr)</td> <td style="text-align: center;">1900</td> </tr> <tr> <td>Peso papel filtro antes del ensayo (gr)</td> <td style="text-align: center;">16.80</td> </tr> <tr> <td>Peso papel filtro despues del ensayo (gr)</td> <td style="text-align: center;">17.21</td> </tr> <tr> <td>Peso final de la muestra (gr)</td> <td style="text-align: center;">1782.7</td> </tr> <tr> <td>Peso de muestra retenida en papel filtro (gr)</td> <td style="text-align: center;">0.41</td> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <td><b>Porcentaje de Asfalto en la muestra (%)</b></td> <td style="text-align: center;"><b>6.152</b></td> </tr> </table>			Peso Inicial de la muestra (gr)	1900	Peso papel filtro antes del ensayo (gr)	16.80	Peso papel filtro despues del ensayo (gr)	17.21	Peso final de la muestra (gr)	1782.7	Peso de muestra retenida en papel filtro (gr)	0.41	<b>Porcentaje de Asfalto en la muestra (%)</b>	<b>6.152</b>																																																																		
Peso Inicial de la muestra (gr)	1900																																																																															
Peso papel filtro antes del ensayo (gr)	16.80																																																																															
Peso papel filtro despues del ensayo (gr)	17.21																																																																															
Peso final de la muestra (gr)	1782.7																																																																															
Peso de muestra retenida en papel filtro (gr)	0.41																																																																															
<b>Porcentaje de Asfalto en la muestra (%)</b>	<b>6.152</b>																																																																															
<b>Granulometría de Extracción</b>																																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMICES</th> <th rowspan="2">PESO PARCIAL(gr)</th> <th rowspan="2">% RETENIDO</th> <th rowspan="2">% QUE PASA</th> <th colspan="2">ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515</th> </tr> <tr> <th>N°</th> <th>mm</th> <th>LIMITE SUPERIOR</th> <th>LIMITE INFERIOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1"</td> <td>25.00</td> <td>0</td> <td>0.00</td> <td style="background-color: #00b0f0;">100.00</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/4</td> <td>19.00</td> <td>11.4</td> <td>0.64</td> <td style="background-color: #00b0f0;">99.36</td> <td>100</td> <td>90</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>12.5</td> <td>500.60</td> <td>28.20</td> <td style="background-color: #00b0f0;">71.15</td> <td>80</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>N°4</td> <td>4.75</td> <td>336.00</td> <td>18.93</td> <td style="background-color: #00b0f0;">52.23</td> <td>65</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>N°8</td> <td>2.36</td> <td>255.00</td> <td>14.37</td> <td style="background-color: #00b0f0;">37.86</td> <td>49</td> <td>23</td> </tr> <tr> <td>N°50</td> <td>0.3</td> <td>438.00</td> <td>24.68</td> <td style="background-color: #00b0f0;">13.18</td> <td>19</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>N°200</td> <td>0.075</td> <td>182</td> <td>10.25</td> <td style="background-color: #00b0f0;">2.93</td> <td>8</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Fondo</td> <td>52</td> <td>2.93</td> <td style="background-color: #00b0f0;">0.00</td> <td>...</td> <td>...</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL</td> <td>1775</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							TAMICES		PESO PARCIAL(gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515		N°	mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR	1"	25.00	0	0.00	100.00	100	100	3/4	19.00	11.4	0.64	99.36	100	90	3/8"	12.5	500.60	28.20	71.15	80	56	N°4	4.75	336.00	18.93	52.23	65	35	N°8	2.36	255.00	14.37	37.86	49	23	N°50	0.3	438.00	24.68	13.18	19	5	N°200	0.075	182	10.25	2.93	8	2	Fondo		52	2.93	0.00	...	...	TOTAL		1775				
TAMICES		PESO PARCIAL(gr)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES MTOP-ASTM D3515																																																																											
N°	mm				LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR																																																																										
1"	25.00	0	0.00	100.00	100	100																																																																										
3/4	19.00	11.4	0.64	99.36	100	90																																																																										
3/8"	12.5	500.60	28.20	71.15	80	56																																																																										
N°4	4.75	336.00	18.93	52.23	65	35																																																																										
N°8	2.36	255.00	14.37	37.86	49	23																																																																										
N°50	0.3	438.00	24.68	13.18	19	5																																																																										
N°200	0.075	182	10.25	2.93	8	2																																																																										
Fondo		52	2.93	0.00	...	...																																																																										
TOTAL		1775																																																																														
<p><b>CURVA GRANULOMÉTRICA - EXTRACCIÓN</b></p> 																																																																																
<b>Realizado por:</b>		<b>Revisado por:</b>		<b>Fecha Ensayo:</b>																																																																												
Fátima Chamba y Jonathan Benavides		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		21/08/2019																																																																												

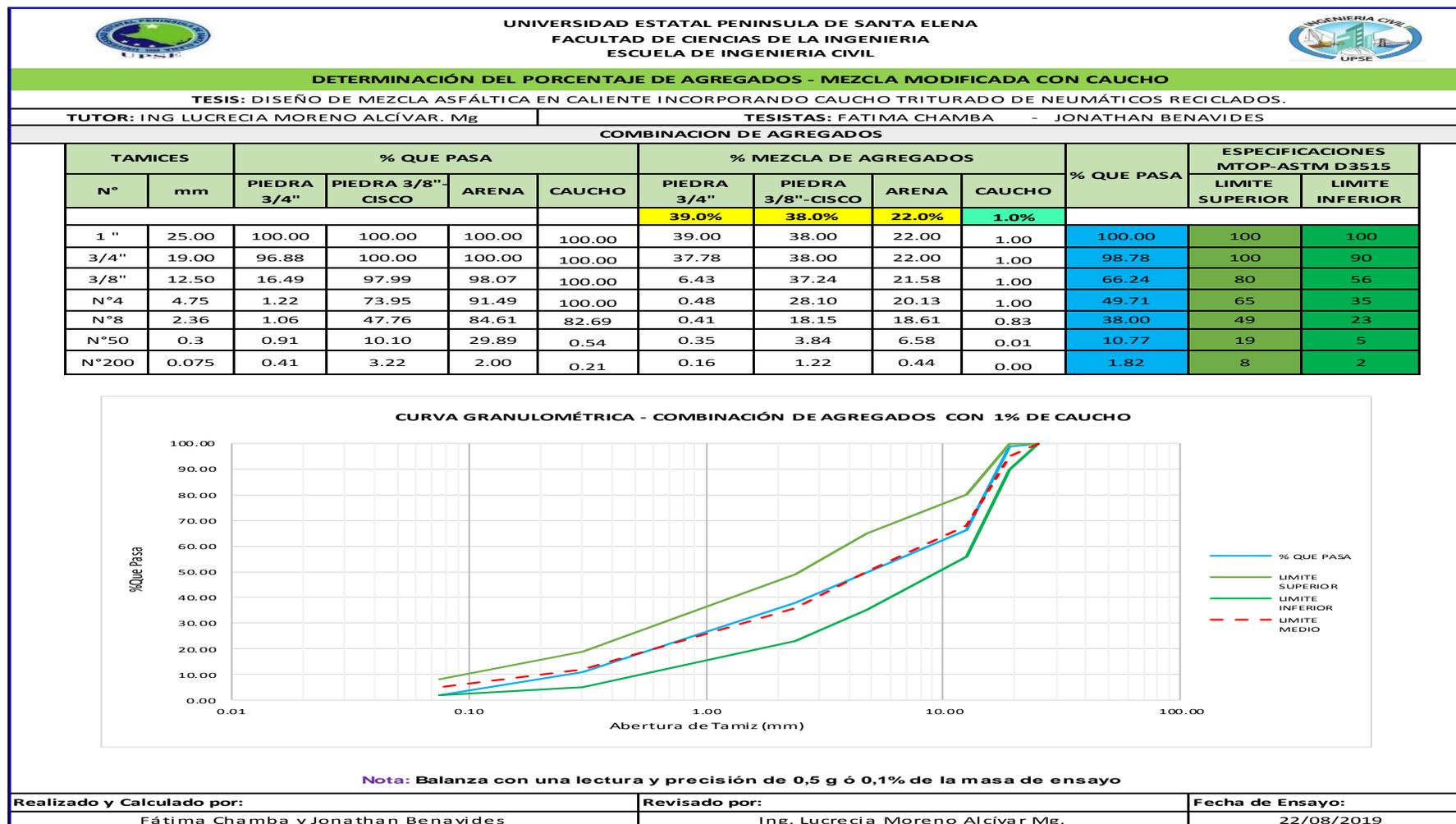
## **Anexo 4.**

### **Diseño de Mezcla Asfáltica – Modificada con Grano de Caucho Reciclado (GCR).**

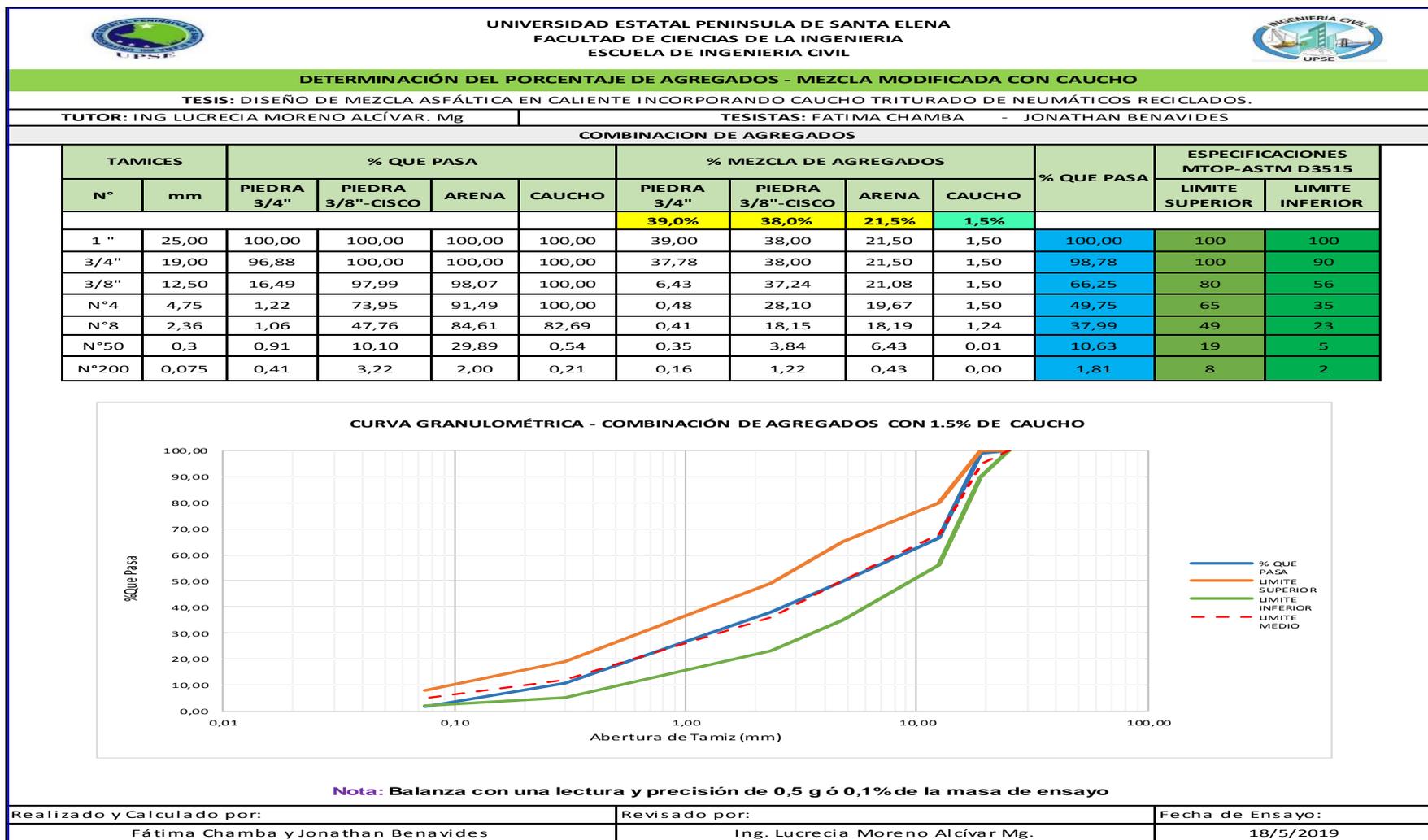
Anexo 4- D.1: Granulométrica de la Combinación de Agregados – Mezcla Modificada con 0.5% de Caucho.



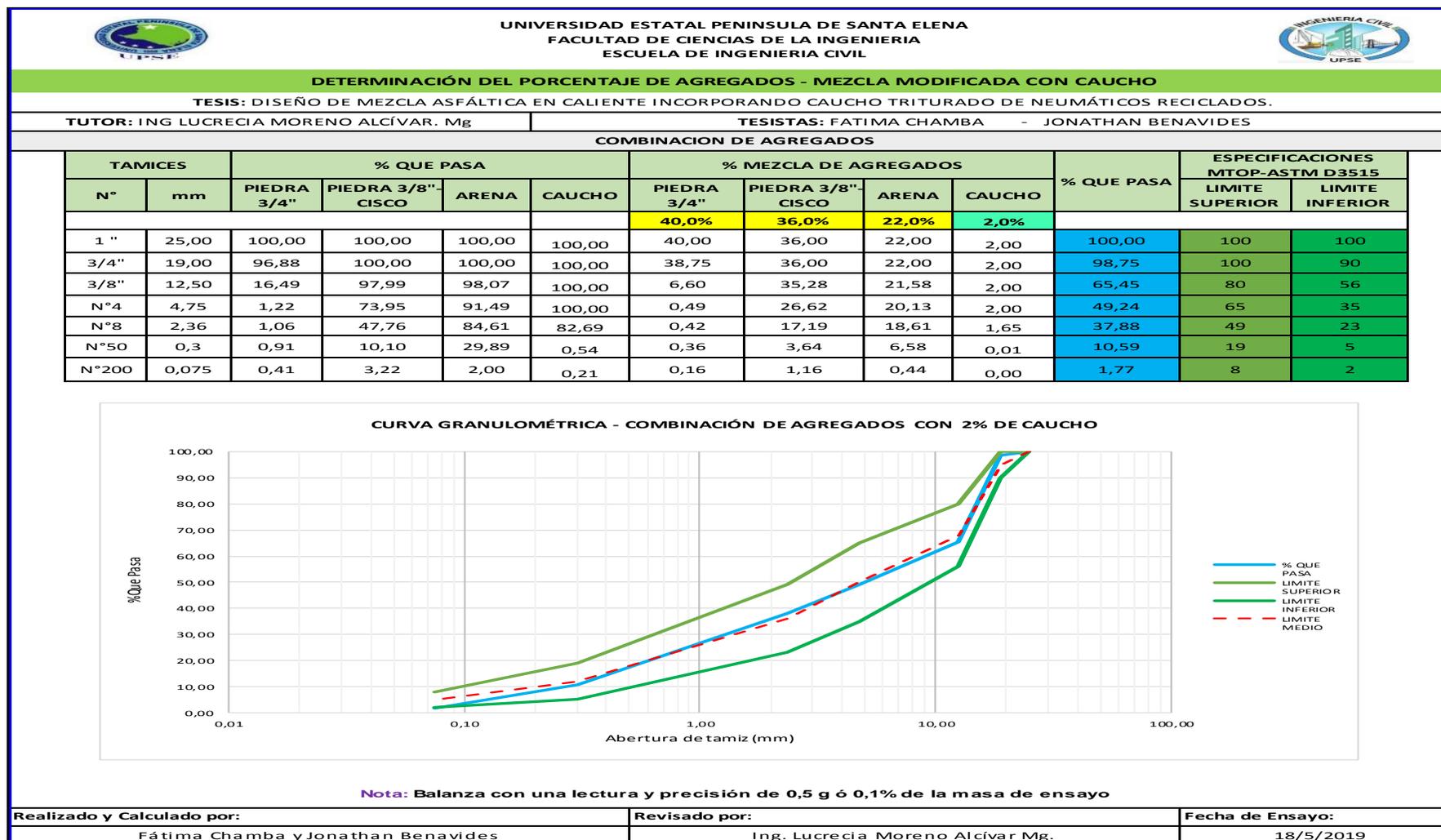
Anexo 4- D.2: Granulométrica de la Combinación de Agregados – Mezcla Modificada con 1% de Caucho.



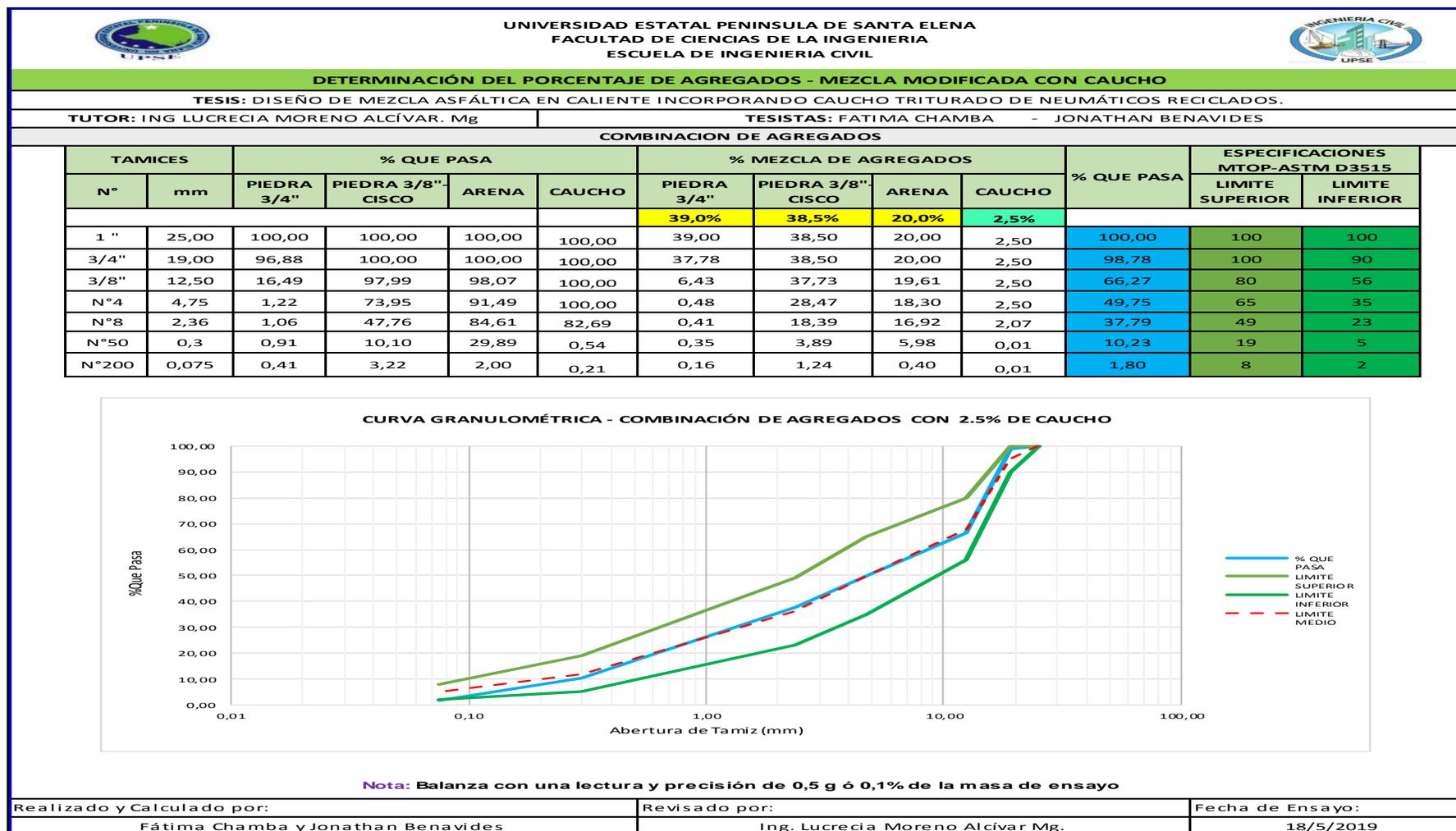
Anexo 4- D.3: Granulométrica de la Combinación de Agregados – Mezcla Modificada con 1.5% de Caucho.



Anexo 4- D.4: Granulométrica de la Combinación de Agregados – Mezcla Modificada con 2% de Caucho.



Anexo 4- D.5: Granulométrica de la Combinación de Agregados – Mezcla Modificada con 2.5% de Caucho.



Anexo 4- D.6: Ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima de la Mezcla (Mezcla Modificada con Caucho).

	<b>UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA</b> <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>																																															
<b>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA MODIFICADA</b>																																																
<b>TESIS:</b> DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE INCORPORANDO CAUCHO TRITURADO DE NEUMÁTICOS RECICLADOS.																																																
<b>TUTOR:</b> ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg	<b>TESISTAS:</b> FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES																																															
<b>ENSAYO RICE</b>																																																
<b>NORMA ASTM D 2041 - ASSTHO T 209</b>																																																
<p><b>Nomenclatura:</b></p> <p><math>G_{mm}</math> = Gravedad Específica Teórica Máxima</p> <p><math>A</math> = Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno (gr)</p> <p><math>B</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a <math>25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C} (77^{\circ}\text{F})</math>, gr</p> <p><math>C</math> = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a <math>25\text{ }^{\circ}\text{C}</math>, gr</p>																																																
<p><b>Fórmula:</b></p> <div style="text-align: center; background-color: #92d050; padding: 10px; border: 1px solid black;"> <math display="block">G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}</math> </div>																																																
<p><b>Cálculos:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #92d050;"> <th rowspan="2">% Caucho Utilizado</th> <th colspan="2">Datos</th> <th rowspan="2">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #92d050;"> <th>Nom.</th> <th>Muestra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">0.5</td> <td>A =</td> <td>1512</td> <td rowspan="3">2.455</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7403</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8299</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1.0</td> <td>A =</td> <td>1516</td> <td rowspan="3">2.426</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7403</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8294</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">1.5</td> <td>A =</td> <td>1507</td> <td rowspan="3">2.423</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7403</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8288</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2.0</td> <td>A =</td> <td>1511</td> <td rowspan="3">2.449</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7403</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8297</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2.5</td> <td>A =</td> <td>1515</td> <td rowspan="3">2.432</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7403</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>8295</td> </tr> </tbody> </table>			% Caucho Utilizado	Datos		Resultados	Nom.	Muestra	0.5	A =	1512	2.455	B =	7403	C =	8299	1.0	A =	1516	2.426	B =	7403	C =	8294	1.5	A =	1507	2.423	B =	7403	C =	8288	2.0	A =	1511	2.449	B =	7403	C =	8297	2.5	A =	1515	2.432	B =	7403	C =	8295
% Caucho Utilizado	Datos			Resultados																																												
	Nom.	Muestra																																														
0.5	A =	1512	2.455																																													
	B =	7403																																														
	C =	8299																																														
1.0	A =	1516	2.426																																													
	B =	7403																																														
	C =	8294																																														
1.5	A =	1507	2.423																																													
	B =	7403																																														
	C =	8288																																														
2.0	A =	1511	2.449																																													
	B =	7403																																														
	C =	8297																																														
2.5	A =	1515	2.432																																													
	B =	7403																																														
	C =	8295																																														
<b>Realizado por:</b> Fátima Chamba y Jonathan Benavides	<b>Revisado por:</b> Ing. Lucrecia Moreno Alcívar	<b>Fecha Ensayo:</b> 23/08/2019																																														

Anexo 4- D.7: Diseño de Mezcla Asfáltica Modificada con Caucho.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL																								
CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MEZCLA MODIFICADA)																								
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR, Mg											TESISTAS: FÁTIMA CHAMBA Y JONATHAN BENAVIDES													
MÉTODO MARSHALL - NORMA ASTM DE1559																								
TRÁFICO PESADO - 75 GOLPES																								
$(G_{sb})$ de los Agregados = <b>2,661 gr/cm3</b> $(G_{sa})$ de los Agregados = <b>2,816 gr/cm3</b> $(G_b)$ Gravedad Especifica del Asfalto = <b>1,017 gr/cm3</b>																								
Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado	% Caucho Utilizado	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen (cm³)	Peso de Briqueta			Gravedad Especifica de la Mezcla			% Volumen Total (Briqueta)			% Volumen de Vacíos		% Asfalto		Estabilidad				Flujo 0,01"
							Aire (gr)	SSS (gr)	Agua (gr)	Bulk ( $G_{mb}$ ) g/cm³	Teórica Máxima ( $G_{mm}$ ) g/cm³	Efectiva ( $G_{se}$ ) g/cm³	Agregado ( $G_{sa}$ )	Vacíos de Aire ( $V_a$ )	Asfalto ( $V_{ca}$ )	Agregado Mineral (VMA)	Llenos de Asfalto (VFA)	Absorbido ( $P_{ba}$ )	Efectivo ( $P_{be}$ )	Estabilidad d Ensayo (Kg)	Corrección por Altura de Briqueta	Estabilidad Corregida (Kg)	Estabilidad Corregida (Lb)	
22/8/2019	1	6,2	0,5	6,22	10,25	513,25	1185,2	1186,7	682,8	2,352	2,455	2,708	83,138	3,912	12,950	16,862	76,800	0,657	5,584	1115,4	1,035	1154,44	2545,10	13
22/8/2019	2			6,26	10,26	517,56	1189,2	1191,2	686,3	2,355										1105,1	1,024	1131,62	2494,80	13
22/8/2019	3			6,34	10,22	520,09	1196,4	1198,1	692,9	2,368										1198,5	1,003	1202,10	2650,16	14
Promedio				<b>6,27</b>	<b>10,24</b>	<b>516,98</b>	<b>1190,3</b>	<b>1192,0</b>	<b>687,3</b>	<b>2,359</b>										<b>1139,7</b>		<b>1162,72</b>	<b>2563,35</b>	<b>13</b>
22/8/2019	1	6,2	1,0	6,45	10,26	533,27	1191,4	1194,5	678,2	2,308	2,426	2,670	81,952	4,152	13,896	18,048	76,995	0,129	6,079	990,2	0,975	965,45	2128,44	15
22/8/2019	2			6,45	10,22	529,12	1190,9	1193,7	683,9	2,336										1080,6	0,975	1053,59	2322,75	14
22/8/2019	3			6,35	10,29	528,07	1187,8	1190,8	681,3	2,331										999,3	1,000	999,30	2203,08	14
Promedio				<b>6,42</b>	<b>10,25667</b>	<b>530,17</b>	<b>1190,0</b>	<b>1193,0</b>	<b>681,1</b>	<b>2,325</b>										<b>1023,4</b>		<b>1006,11</b>	<b>2218,09</b>	<b>14</b>
22/8/2019	1	6,2	1,5	6,75	10,17	548,32	1190,1	1195,3	667,8	2,256	2,423	2,666	79,053	7,437	13,510	20,947	64,498	0,078	6,127	919,7	0,910	836,93	1845,11	19
22/8/2019	2			6,67	10,18	542,89	1185,5	1188,4	665,5	2,267										948,3	0,930	881,92	1944,30	17
22/8/2019	3			6,94	10,17	563,76	1189,1	1196,2	657,1	2,206										918,7	0,869	798,35	1760,06	18
Promedio				<b>6,79</b>	<b>10,17</b>	<b>551,66</b>	<b>1188,2</b>	<b>1193,3</b>	<b>663,5</b>	<b>2,243</b>										<b>928,9</b>		<b>839,07</b>	<b>1849,82</b>	<b>18</b>
23/8/2019	1	6,2	2,0	6,81	10,19	555,38	1179,6	1184,8	654,5	2,224	2,449	2,700	77,774	9,905	12,320	22,226	55,433	0,556	5,679	876,6	0,895	784,56	1729,65	19
23/8/2019	2			6,82	10,26	563,86	1182,1	1186,9	648,8	2,197										927,2	0,893	827,99	1825,40	20
23/8/2019	3			6,91	10,19	563,53	1185,7	1189,9	650,5	2,198										815,8	0,875	713,83	1573,71	21
Promedio				<b>6,85</b>	<b>10,21</b>	<b>560,93</b>	<b>1182,5</b>	<b>1187,2</b>	<b>651,3</b>	<b>2,206</b>										<b>873,2</b>		<b>775,46</b>	<b>1709,59</b>	<b>20</b>
23/8/2019	1	6,2	2,5	7,07	10,17	574,32	1183,4	1190,6	646,9	2,177	2,432	2,678	75,753	11,628	12,619	24,247	52,045	0,243	5,972	949,8	0,858	814,93	1796,61	22
23/8/2019	2			7,07	10,17	574,32	1173,2	1183,1	641,9	2,168										773,6	0,845	653,69	1441,14	23
23/8/2019	3			7,25	10,17	588,94	1168,0	1180,5	625,3	2,104										837,0	0,818	684,67	1509,43	21
Promedio				<b>7,11</b>	<b>10,18</b>	<b>578,81</b>	<b>1174,9</b>	<b>1184,7</b>	<b>638,0</b>	<b>2,149</b>										<b>853,5</b>		<b>717,76</b>	<b>1582,39</b>	<b>22</b>
Realizado por:				Revisado por:																				
Fátima Chamba y Jonathan Benavides				Ing. Lucrecia Moreno Alcívar																				

## **Anexo 5.**

### **Fotografías**

**Anexo 5. A Ensayos realizados a los agregados.**

**A1.-Análisis Granulométrico de los Agregados Pétreos.**



*Grava 3/4", Arena, Grava 3/8"- Cisco*

*Tamizado de los Agregados.*



*Fracciones Retenidas de los Agregados en cada Tamiz.*

**A2.-Abrasión por Medio de la Máquina de los Ángeles.**



*Fracciones de Agregados 3/4" y 3/8" a Utilizar.*



*Proceso de Desgaste de los Agregados en la Máquina de los Ángeles.*

*Material después del Ensayo.*

**A3.- Determinación del Limite Liquido, Limite Platico e Índice de Plasticidad de los Suelos.**



*Material a utilizar en la copa de Casagrande.*

**A4.- Determinación de Partículas Planas y Alargadas en Agregados Gruesos.**



*Selección de las Fracciones de Agregados 3/4" y 3/8" a Utilizar.*



*Clasificación de las diferentes Partículas.*



*Partículas de Agregados Clasificadas.*

**A5.- Angularidad del agregado grueso o porcentajes de caras fracturadas.**



*Fracciones de los Agregados para el Ensayo.*



*Clasificación de todas las Partículas.*

**A6.- Ensayo de la Adherencia del agregado con el Asfalto.**



*Agregado a Utilizar*



*Mezclado del agregado con el asfalto.*



*Mezcla sumergida en agua caliente*



*Agregado después del ensayo*

### A7.- Ensayo de Determinación de Durabilidad de los Agregados.



*Material Seleccionado para el Ensayo.*



*Adición del Sulfato de Magnesio en el Agregado.*



*Material con Sulfato Secado al Horno.*



*Lavado de los Agregados con Cloruro de Bario para la Extracción del Sulfato.*

### A8.- Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznable en los Agregados.



*Selección de los Agregados.*



*Agregados lavados*



*Inclusión del Agua Destilada.*



*Agregados Sumergidos en Agua Destilada.*



*Determinación de los Terrones de Arcillas en los agregados*

**A9.- Determinación de la Angularidad del Agregado Fino.**



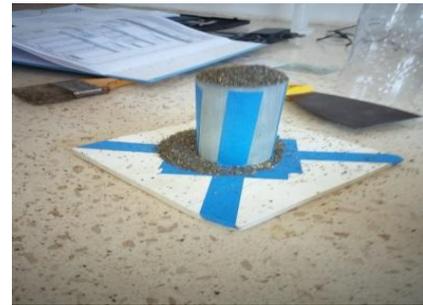
*Colocación y nivelación del agregado en el embudo.*



*Caída del agregado en el cilindro.*



*Nivelación del agregado en el cilindro.*



*Cilindro más el agregado.*

**A 10.- Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.**



*Lavado del Agregado.*



*Agregado Saturado.*



*Secado del Agregado Saturado Superficialmente Seco (SSS).*



*Peso Sumergido SSS del Agregado.*

**A 11.- Determinación de Gravedad Especifica y Absorción del Agregado Fino**



*Humedad Óptima del Agregado Fino.*



*Llenado del Picnómetro con el Agregado y extracción de las burbujas de aire.*



*Picnómetro con el Agregado SSS más el Agua (cisco y arena).*

**A 12.- Determinación Equivalente De Arena.**



*Equipo y Selección del material a utilizarse.*



*Colocación del material en los cilindros*



*Medición y lecturas de arcillas y arenas*

## Anexo 5. B. Ensayos realizados al cemento asfáltico

### a) Ensayo de Penetración.



*Equipo para el Ensayo.*



*Colocación de la muestra a ensayar.*



*Penetración de la aguja en la muestra.*

### b) Ensayo de Punto de Ablandamiento



*Materiales a utilizar en el ensayo.*



*Muestras y esferas previas al ensayo.*



*Muestras después del Ensayo.*

**c) Ensayo de Punto de Inflamación.**



*Equipo y materiales para el Ensayo.*



*Ubicación de la muestra en la copa abierta de Cleveland y su posterior ensayo.*

**d) Ensayo de Ductilidad.**



*Materiales a utilizar en el ensayo.*



*Preparación y colocación de las muestras.*



*Desarrollo del ensayo en las muestras.*

Anexo 5. C. Mezcla asfáltica convencional (Método Marshall).

**a) Análisis granulométrico de los Agregados Combinados (Comprobación Franjas Granulométricas).**



*Agregados Combinados (3/4" – 3/8" Cisco – Arena)*

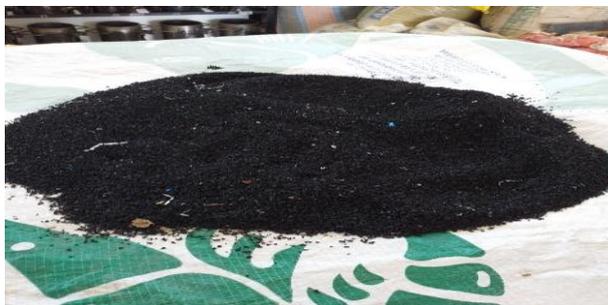


*Fracciones de la Combinación.*



*Tamices a utilizar en el ensayo.*

**b) Análisis granulométrico del Caucho.**



*Caucho Triturado.*



*Fracciones de Caucho.*



*Tamices a utilizar en el ensayo.*

**c) Elaboración de Briquetas.**



*Distribución y mezclado de los Agregados*



*Determinación de las Temperaturas del Asfalto, los Agregados y posterior pesos para la mezcla.*



*Adición de asfalto y mezclado con los porcentajes de asfalto.*



*Elaboración y Extracción de las briquetas.*



*Briquetas con diferentes porcentajes de asfalto.*



*Briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto.*



*Lectura de medidas a las briquetas.*

**d) Gravedad Específica Bulk de las Briquetas.**



*Determinación del peso seco, SSS y sumergido de las briquetas.*

**e) Gravedad Específica Teórica Máxima.**



*Equipos para el ensayo Rice.*



*Muestra previa al ensayo.*



*Extracción de los vacíos de aire.*

**f) Rotura Marshall.**



*Briquetas sumergidas a Baño María*



*Briquetas ensayadas.*



*Rotura de briquetas.*

**g) Extracción de Asfalto.**



*Muestra y solución colocada en la taza de extracción.*



*Muestra ensayada.*

Anexo 5. D. Mezcla Asfáltica modificada con caucho triturado (Método Marshall).

**a) Elaboración de Briquetas Modificadas.**



*Distribución del Caucho Triturado a los agregados para el mezclado.*



*Briquetas con cada porcentaje de caucho triturado.*



*Lectura de medidas a las briquetas modificadas.*

**b) Gravedad Específica Bulk de las Briquetas Modificadas.**



*Peso en el aire, SSS y sumergido de las briquetas con caucho.*

**c) Gravedad Específica Teórica Máxima.**



*Mezcla Asfáltica con porcentajes de caucho para el ensayo.*



*Muestra y extracción de vacíos de aire.*

**d) Rotura Marshall (Briquetas Modificadas)**



*Rotura de Briquetas con caucho.*