



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

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO
AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL
RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO
EL MÉTODO MARSHALL.**

Autores:

Aurora Johanna Chiquito Salcedo.

Félix Esteban Torres Borbor.

Tutor:

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.

La Libertad, Ecuador

2015



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

Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:

**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO
AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL
RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO
EL MÉTODO MARSHALL.**

Autores:

Aurora Johanna Chiquito Salcedo.

Félix Esteban Torres Borbor.

Tutor:

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.

La Libertad, Ecuador

2015

DECLARACIÓN EXPRESA

En atención al art. 26 del Reglamento del Trabajo de Titulación y Graduación de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, UPSE, que puntualiza: "La titularidad de la propiedad intelectual del trabajo de graduación y titulación es del autor", nosotros, autores de la presente tesis, declaramos nuestra voluntad para que sea la UPSE, la institución que, promueva y/o ejecute proyectos fundamentados en los contenidos científicos y técnicos, expuestos en estas páginas.

Santa Elena, 6 de Abril del 2015

Aurora Johanna Chiquito Salcedo

C.I. 0923409338

Félix Esteban Torres Borbor

C.I. 0921344925

APROBACIÓN DEL DOCENTE-TUTOR

En mi calidad de Docente -Tutor del trabajo de investigación: “DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.”, elaborado por los estudiantes Aurora Johanna Chiquito Salcedo y Félix Esteban Torres Borbor, egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, luego de haber cumplido con su respectiva orientación, estudio y revisión, me permito declarar su aprobación integral.

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.

DOCENTE - TUTOR

AGRADECIMIENTO

Nuestro profundo agradecimiento a Dios por este paso importante en nuestras vidas y por otorgarnos sabiduría para concluir con éxito este trabajo de titulación.

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

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

Al Laboratorio de Suelo, Hormigones y Pavimento “INGEOTOP S.A.”, por habernos prestado sus instalaciones para así realizar los ensayos necesarios y llevar a cabo nuestro trabajo de titulación.

A nuestras familias por su apoyo incondicional.

Aurora Johanna Chiquito Salcedo

Félix Esteban Torres Borbor

DEDICATORIA

A mis Padres Johnny Chiquito y Aurora Villao, quienes me dieron la vida y me han sabido guiar por buenos caminos, brindándome en cada momento ese apoyo incondicional.

A mi Abuela Greta Salcedo, quien ha sido uno de los pilares fundamentales para la culminación de mi carrera universitaria.

A mi Hija Milena Isabel, recién nacida a la que hoy puedo abrazar y que ha estado presente durante todo el desarrollo de este trabajo de titulación.

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

Aurora Johanna Chiquito Salcedo

DEDICATORIA

A Dios quien me ha dado fortaleza para cumplir mis metas.

A mis padres porque gracias a sus esfuerzos y apoyo incondicional, hicieron posible que culminara con éxito una etapa más de mi vida.

A mi hija Milena que vino a este mundo cuando estábamos desarrollando esta tesis.

A mi esposa Johanna por el tiempo, el esfuerzo que me ha dedicado para culminar la tesis. Gracias.

Félix Esteban Torres Borbor

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Ramón Muñoz Suárez. Mg.
DECANO FACULTAD
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Ing. Juan Garcés Vargas. Mgp.
DIRECTOR DE LA ESCUELA
INGENIERÍA CIVIL

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.
TUTOR

Ing. Humberto Guerrero H. MSc.
PROFESOR DE ÁREA

SECRETARIO GENERAL
PROCURADOR

Índice General.

1. CAPÍTULO I. “GENERALIDADES”.	1
1.1. Introducción.	1
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Objetivos de la Investigación.	2
1.3.1. Objetivo General.	2
1.3.2. Objetivos Específicos.	3
1.4. Justificación.	3
1.5. Metodología.	5
2. CAPÍTULO II. “ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS”	8
2.1. Definición y Características del Agregado	8
2.1.1. Tipos de Agregados Pétreos	8
2.1.2. Clasificación de las rocas.	9
2.1.3. Clasificación de agregados pétreos.....	11
2.2. Agregado Pétreos en una Mezcla Asfáltica.	13
2.2.1. Propiedades de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica	14
2.3. Ensayos Físicos y Mecánicos de Clasificación.	19
2.3.1. Análisis Granulométrico de los Agregados (Norma ASTM D 3515 y Especificación MTOP).....	20
2.3.2. Abrasión por Medio de la Máquina de los Ángeles (Norma ASTM C-131).	21
2.3.3. Determinación de Partículas Planas y Alargadas (Norma ASTM D 4791).	22

2.3.4.	Angularidad del Agregado Grueso o Porcentaje de Caras Fracturadas (Norma ASTM D 5821-01).....	24
2.3.5.	Ensayo de Determinación de Durabilidad del Agregado (Norma ASTM C 88).....	25
2.3.6.	Efecto del Agua sobre Mezclas Asfálticas Sueltas o Adherencia del Agregado con el Asfalto (Norma ASTM D 3625-96).	26
2.3.7.	Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables en los Agregados (Norma ASTM C 142-97).	27
2.3.8.	Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Norma ASTM C 127).....	28
2.3.9.	Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (Norma ASTM C 128).....	29
2.3.10.	Angularidad del Agregado Fino (Norma ASTM C 1252-98).....	30
2.3.11.	Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos (Norma ASTM D 4318-98).....	32
2.3.12.	Equivalente de Arena (Norma ASTM D 2419).....	33
2.4.	Resultados Obtenidos en Ensayos.....	33
3.	CAPÍTULO III. “ANÁLISIS DEL CEMENTO ASFÁLTICO”.....	40
3.1.	Cemento Asfáltico.....	40
3.2.	Gravedad Específica (Norma ASTM D 70-09 E-1).....	43
3.3.	Punto de Ablandamiento (Norma ASTM D 36).....	44
3.4.	Penetración (Norma ASTM D 5).....	45
3.5.	Índice de Penetración (Norma INV E-724-07).....	46

3.6.	Punto de Inflamación Mediante la Copa Abierta de Cleveland (Norma ASTM D 92).	47
3.7.	Ductilidad (Norma ASTM D 113).	48
3.8.	Resultados Obtenidos de los Ensayos Realizados.	50
4.	CAPÍTULO IV. “DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)”	51
4.1.	Características de la Mezcla.	51
4.1.1.	Gravedad o Densidad específica de la mezcla (G_{mb}).	51
4.1.2.	Vacíos de aire (V_a).	52
4.1.3.	Vacíos en el agregado mineral (VMA).	52
4.1.4.	Vacíos llenos de asfalto (VFA).	53
4.1.5.	Contenido de asfalto (P_b).	53
4.2.	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.	55
4.2.1.	Estabilidad.	56
4.2.2.	Durabilidad.	56
4.2.3.	Impermeabilidad.	58
4.2.4.	Trabajabilidad.	58
4.2.5.	Flexibilidad.	59
4.2.6.	Resistencia a la fatiga.	60
4.2.7.	Resistencia al deslizamiento.	61
4.3.	Métodos de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC).	61
4.3.1.	Métodos Tradicionales.	62
4.3.2.	Métodos Nuevos.	63
4.4.	Método Marshall para el Diseño de la Mezcla.	64

4.4.1.	Gravedades Específicas de los Agregados Pétreos Combinados.	65
4.4.2.	Gravedad Específica Teórica Máxima (G_{mm}), Ensayo RICE (Norma ASTM D 2041).....	66
4.4.3.	Gravedad Específica Bulk de la Mezcla Asfáltica Compactada (Norma ASTM D 2726).....	68
4.4.4.	Gravedad Específica Efectiva de la Mezcla (G_{se}).	68
4.4.5.	Vacíos de aire (V_a).....	69
4.4.6.	Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).	69
4.4.7.	Vacíos llenos de asfalto (VFA).	69
4.4.8.	Porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}).....	70
4.4.9.	Contenido de asfalto efectivo (P_{be}).....	70
4.4.10.	Estabilidad y Flujo Marshall.	70
4.4.11.	Corrección de estabilidad por altura de la briqueta.	71
4.4.12.	Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.	74
4.4.13.	Tracción Indirecta, TSR; (Norma ASTM D 4867).....	75
4.4.14.	Ensayo de Extracción de Asfalto (Norma ASTM D 2172).	77
4.5.	Interpretación de Resultados.....	79
4.6.	Presupuesto – Mezcla asfáltica en caliente.....	81
4.6.1.	Empleando agregados locales	81
4.6.2.	Precios de mezcla asfáltica en el mercado.	83
5.	CAPÍTULO V “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.....	84
5.1.	Conclusiones.....	84
5.2.	Recomendaciones.....	86
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
7.	ANEXOS.....	88

Índice de Tablas.

Tabla 1-1 Fuente de los Agregados	4
Tabla 1-2 Fecha de Muestreos.....	5
Tabla 2-1 Clasificación de las Rocas	10
Tabla 2-2 Propiedades de las Rocas.....	13
Tabla 2-3 Distribución Granulométrica de los Agregados.....	20
Tabla 2-4 Cantidad de Material a Usar para el Ensayo de acuerdo a su Método	21
Tabla 2-5 Cantidad de Material a usar en el Ensayo.....	22
Tabla 2-6 Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo.	24
Tabla 2-7 Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo según su Fracción.	25
Tabla 2-8 Masa Mínima a Usar para el Ensayo.....	27
Tabla 2-9 Tamices de Control - Después del Ensayo.	27
Tabla 2-10 Cantidad de Material a Utilizar para el Ensayo - Método A.	31
Tabla 2-11 Cantidad de Material a Utilizar para el Ensayo - Método B.....	32
Tabla 2-12 Ensayos Realizados al Agregado Grueso con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.....	34
Tabla 2-13 Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena Triturada) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.	35
Tabla 2-14 Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena de Río) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.	36
Tabla 2-15 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.....	37
Tabla 2-16 Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Arena Triturada).....	37
Tabla 2-17 Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Arena de Río).....	37

Tabla 3-1 Especificaciones para Cementos Asfálticos Clasificados por su Viscosidad a 60°C.....	41
Tabla 3-2 Especificaciones para Cemento Asfáltico Clasificados por su Viscosidad a 60°C.....	42
Tabla 3-3 Especificaciones de Calidad para Cementos Asfálticos Clasificados por su Grado de Penetración, para Uso en Construcciones de Pavimentos	42
Tabla 4-1 Criterios Marshall para VMA	53
Tabla 4-2 Causas y Efectos de Bajas Estabilidades.....	56
Tabla 4-3 Causas y Efectos de Baja Durabilidad.	57
Tabla 4-4 Causa y Efectos de Mezclas Demasiado Permeables	58
Tabla 4-5 Causa y Efecto de Mezclas con Mala Trabajabilidad.	59
Tabla 4-6 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.....	60
Tabla 4-7 Causa y Efectos de la Baja Resistencia al Deslizamiento.	61
Tabla 4-8 Cantidad de Material para el Ensayo Rice.....	67
Tabla 4-9 Factor de Corrección por Altura de Briqueta.	72
Tabla 4-10 Cálculo del Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico.....	75
Tabla 4-11 Masa Mínima a Usar para el Ensayo.....	78
Tabla 4-12 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Pesado	79
Tabla 4-13 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Medio	79
Tabla 4-14 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Liviano.	80

Índice de Figuras.

Figura 1-1 Planta de Trituración "EMUVIAL EP"	4
Figura 1-2 Cantera Río San Rafael.....	5
Figura 2-1 Esquema de una Partícula Fracturada.....	24
Figura 2-2 Comparación de la muestra ensayada.....	26
Figura 2-3 Esquema de la Copa de Casagrande y Ranurador.....	32
Figura 3-1 Equipo para determinar Gravedad Específica.....	43
Figura 3-2 Equipo para determinar el Punto de Ablandamiento.....	45
Figura 3-3 Ensayo para determinar la Penetración.....	46
Figura 3-4 Ensayo para determinar el Punto de Inflamación.....	48
Figura 3-5 Ensayo para determinar la Ductilidad.....	49
Figura 4-1 Parámetros Volumétricos de Diseño.....	54
Figura 4-2 Sección Típica de una Mezcla Asfáltica.....	55

RESUMEN

“DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL”

Autores: Aurora Chiquito Salcedo.

Félix Torres Borbor.

El presente tema de tesis, fue realizado con el fin de obtener un diseño de mezcla asfáltica en caliente empleando el método Marshall haciendo uso de los agregados pétreos locales.

Se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades de los materiales empleados, de acuerdo a la norma ASTM (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales) y especificaciones del MTOP-NEVI-2012 (Norma Ecuatoriana Vial). También se efectuaron varios ensayos a la mezcla compactada con distintos porcentajes de cemento asfáltico con la finalidad de obtener el porcentaje óptimo basado en el Método del Instituto de Asfalto. Una vez conseguida la fórmula maestra para la elaboración de la mezcla asfáltica se efectuaron ensayos como son: rotura Marshall, tracción indirecta y extracción de asfalto para la comprobación del diseño.

Se puede apreciar que al emplear agregados pétreos de la zona existe una reducción de los costos en la fabricación de mezclas asfálticas.

Con el trabajo desarrollado se pudieron realizar conclusiones y plantear recomendaciones puntuales para la ejecución de futuros trabajos.

1. CAPÍTULO I. “GENERALIDADES”.

1.1. Introducción.

Las vías de comunicación en cualquier parte del mundo son de gran importancia y a su vez son la base principal para el desarrollo social, turístico y comercial de una población.

El desempeño y la vida útil de una vía dependerá de la calidad de los materiales que se utilicen en su construcción, así como también de los procesos constructivos para contar con un diseño de buenas características técnicas; esto engloba desde el diseño geométrico de la vía hasta el diseño de mezcla asfáltica que se usará en su construcción.

Un diseño de mezcla asfáltica debe cumplir con los requerimientos establecidos por las normas de cada País o Región, en este caso el diseño de mezcla a utilizarse deberá cumplir con lo establecido en las especificaciones del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas); además deberá cumplir con las normas internacionales como la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y de la ASTM (American Society for Testing and Materials).

En el país y en especial en la provincia de Santa Elena se ha venido usando las mezclas asfálticas en calientes (MAC) empleando la metodología Marshall para la elaboración del diseño de dichas mezclas.

Esta metodología es aplicable solamente para las MAC y está enfocado para el diseño de mezclas en laboratorio y control de calidad tanto en campo como en planta para gradaciones densas.

Esta metodología se caracteriza por analizar los aspectos más importantes como son la densidad o gravedades específicas, estabilidad, flujo de las briquetas, volúmenes de vacíos de los especímenes compactados y de la mezcla.

1.2. Antecedentes.

Dentro de la Provincia de Santa Elena existen plantas de producción de asfalto las mismas que utilizan material importado para la elaboración y posterior comercialización de la mezcla asfáltica.

En el presente trabajo de investigación se da una alternativa de solución utilizando agregados de la zona o agregados locales para la fabricación de capa de rodadura; en tal razón se escogió realizar el diseño aplicable al pavimento flexible con mezclas asfálticas en calientes.

Estas mezclas asfálticas en caliente deben tener excelentes características y propiedades, ya que la Provincia se encuentra en proceso de desarrollo y existe un crecimiento en las redes viales.

Consecuentemente el ingeniero diseñador de MAC (mezclas asfálticas en caliente) tendrá la responsabilidad de ser muy exigente a la hora de diseñar, para evitar el deterioro temprano y aumentar la durabilidad de la mezcla asfáltica, así mismo el ingeniero a cargo de la planta de producción deberá exigir mayor rigurosidad en el cumplimiento de las normas de clasificación de material y producción de estas mezclas asfálticas.

1.3. Objetivos de la Investigación.

1.3.1. Objetivo General.

- ✓ Elaborar un Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente con agregados pétreos de la zona previamente seleccionados, utilizando el Método Marshall y que cumpla con las normas ASTM, AASHTO y especificaciones MTOP.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar las pruebas de laboratorio que se requieren al material pétreo y del cemento asfáltico, para determinar sus características físicas y mecánicas cumpliendo con las normas descritas en el MTOP.
- ✓ Aplicar las especificaciones técnicas y normas necesarias al proceso de diseño de la mezcla asfáltica.
- ✓ Diseñar mezclas de prueba, y determinar la dosificación óptima a través de ensayos de laboratorio, que cumpla con los requisitos establecidos por la Metodología Marshall según la norma ASTM D-1559.
- ✓ Elaborar las Mezclas de prueba en el laboratorio, de acuerdo a las proporciones de agregados y asfalto que se establecieron según las normativas técnicas empleadas

1.4. Justificación.

Este proyecto de tesis busca ser un aporte para la Provincia, ya que los agregados utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas serán obtenidos de canteras locales como la Cantera San Vicente de Colonche (Agregado Grueso y Arena Triturada) y la Cantera San Rafael (Arena de Río).

Al emplear materiales pétreos de la zona y realizar un diseño de mezcla asfáltica en caliente (MAC), se dará una nueva alternativa de dosificación para la fabricación de mezclas que permita conseguir un desempeño adecuado en la superficie de rodamiento y a lo largo de su vida de servicio.

Para la elaboración de estas mezclas asfálticas en caliente (MAC) existen varios métodos para diseño como SHRP conocido también como SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement System), HVEEM, Protocolo AMAAC y MARSHALL; siendo este último el más accesible en su aplicación debido a que en los laboratorios del país carecen de los equipos para la aplicación de los otros

métodos. Por esta razón para el desarrollo de este trabajo de investigación se escogió el Método MARSHALL para la elaboración del diseño de la mezcla asfáltica.

Como se mencionó anteriormente los agregados que se emplearon para este diseño de mezcla asfáltica fueron extraídos de canteras pertenecientes a la Provincia de Santa Elena, el agregado grueso (piedra 1/2”), la arena triturada son provenientes de la Cantera San Vicente de Colonche; la toma de muestra se realizó desde la planta de trituración ubicada en la vía a Baño de San Vicente. La arena de río es proveniente de la Comuna San Rafael; la misma que fue extraída del mismo Río San Rafael, cuyas ubicaciones se establecen en la tabla 1-1, complementándose en las figuras 1-1 y 1-2.

Tabla 1-1 Fuente de los Agregados

Coordenadas UTM		
San Vicente de Colonche (Planta de Trituración)	Norte	9749526
	Este	527212
San Rafael	Norte	9749590
	Este	527263

Fuente: Autores.



Figura 1-1 Planta de Trituración.

Fuente: Google Earth



Figura 1-2 Cantera Río San Rafael

Fuente: Google Earth

Los muestreos se realizaron en diferentes fechas, tal como se indican en la tabla 1-2.

Tabla 1-2 Fecha de Muestreos

Descripción		Fecha
Agregado Grueso	Piedra 1/2"	2/ Dic/ 2014
Agregado Fino	Arena Triturada	2/ Dic/ 2014
	Arena de Río	9/ Dic/ 2014
Cemento Asfáltico		23/ Dic/ 2014

Fuente: Autores.

1.5. Metodología.

El desarrollo del presente tema de tesis comprende una metodología de tipo experimental, descriptiva y analítica; lo que permitirá analizar varios aspectos como la caracterización física y mecánica de los agregados tanto grueso y fino, así también como del cemento asfáltico (ligante), diseño de mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método Marshall, comprobación de la mezcla asfáltica diseñada.

Para obtener el diseño de mezcla asfáltica en caliente más favorable se precedió de la siguiente manera:

1. Determinación las propiedades mecánicas y físicas de los agregados grueso y fino los cuales fueron previamente seleccionados con los siguientes ensayos: Granulometrías, Límites de Atterberg, Gravedades Específicas, Porcentaje de Absorción, Porcentaje de Desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles, Angularidad del Agregado Grueso, Índice de Alargamiento y Aplanamiento, Equivalente de Arena, Angularidad del Agregado Fino, Terrones de Arcillas y Partículas Deleznable, Resistencia a los Sulfatos, cada uno de los ensayos fueron realizados cumpliendo las normas correspondientes.
2. Determinación de las características físicas y mecánicas del cemento asfáltico para ser usado como material aglomerante, para ello se realizaron los siguientes ensayos: Gravedad Específica, Punto de Ablandamiento (Anillo y Bola), Punto de Inflamación Mediante la Copa Abierta de Cleveland, Ductilidad, Efecto del Agua sobre Mezclas Asfálticas Sueltas o Adherencia del Agregado con el Asfalto, los mismos fueron realizado respetando sus normas correspondientes.
3. Realización del Ensayo de Peladura, el mismo que permite determinar si es o no necesario el uso de aditivo para mejorar la adherencia entre el cemento asfáltico y los agregados, posteriormente se procedió a la obtención del porcentaje óptimo de asfalto utilizando como base fundamental el Método de Diseño Marshall.
4. Una vez que se halló el porcentaje óptimo de asfalto se procedió a realizar varios ensayos a la mezcla: Ensayo Rice, Extracción de Asfalto, Rotura Marshall, Rotura a Tracción Indirecta (TSR), estos ensayos fueron realizados siguiendo sus normas correspondientes.

5. Análisis e Interpretación de los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos de diseño.

Cabe mencionar que los ensayos de los materiales (agregados grueso, fino y cemento asfáltico) fueron realizados en varios laboratorios, debido a que el Laboratorio de Suelos de la Carrera de Ingeniería Civil de la UPSE se encontraba en proceso de adquisición e implementación de equipos; dichos laboratorios se mencionan a continuación:

- ✓ Ensayos para el cemento asfáltico → Laboratorio de Suelos Dr. Ing. “Arnaldo Ruffilli”.
- ✓ Ensayos para los agregados (Angularidad del Agregado Fino, Índice de Alargamiento y Aplanamiento, Equivalente de Arena) → Laboratorio de Suelos “UPSE”.
- ✓ Otros ensayos para los agregados (Granulometrías, Límites de Atterberg, Gravedades Específicas, Porcentaje de Absorción, Porcentaje de Desgaste mediante la Máquina de Los Ángeles, Angularidad del Agregado Fino, Terrones de Arcillas y Partículas Deleznales, Resistencia a los Sulfatos), elaboración de briquetas, ensayos de la mezcla suelta y compactada (Ensayo Rice, Extracción de Asfalto, Rotura Marshall, Rotura a Tracción Indirecta, Efecto del Agua sobre Mezclas Asfálticas Seltas o Adherencia del Agregado con el Asfalto.) → Laboratorio de Suelos, Hormigones y Pavimento “INGEOTOP S.A.”.

2. CAPÍTULO II. “ANÁLISIS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS”.

2.1. Definición y Características del Agregado

Son materiales granulares sólidos e inertes que se utilizan para ser combinados en una determinada distribución de tamaños, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados pétreos más usados son la grava, la roca triturada, el polvo de roca y arena.

Los agregados pétreos constituyen del 90 al 95% del peso, y entre el 75 y 85% en volumen de una mezcla asfáltica. La selección apropiada de los agregados pétreos con una buena distribución granulométrica, influyen y aportan a una mayor capacidad portante (estabilidad) en la carpeta asfáltica.

2.1.1. Tipos de Agregados Pétreos

Los tipos de agregados pétreos se determinan conforme a su procedencia y a la forma de ser explotado, y se pueden clasificar en los siguientes tipos:

2.1.1.1. Agregados Naturales

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

2.1.1.2. Agregados Triturados

Son agregados que se manufacturan por el proceso de trituración de rocas de cantera, también pueden ser incluidas todo material de cantera que tengan propiedades físicas adecuadas.

2.1.1.3. Agregados Artificiales

Son agregados considerados subproducto que resultan de procesos industriales, como las escorias o materiales provenientes de demoliciones y de reciclajes.

2.1.1.4. Agregados Marginales

Son materiales que no cumple con ninguna especificación técnica vigente para ser considerado agregado pétreo.

2.1.2. Clasificación de las rocas.

Los agregados pétreos utilizados en la construcción de carpeta asfáltica se consiguen de rocas naturales locales y homogéneas, que se encuentran presentes en nuestro planeta, formados por varios minerales, estas se clasifican geológicamente por su origen en tres grupos generales: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

2.1.2.1.Ígneas

Son el resultado del enfriamiento del magma, es decir son rocas fundidas. Su enfriamiento puede ser rápido debido a la actividad volcánica o de enfriamiento lento debido a que el magma se endurece desde el interior de la Tierra, originando grandes masas **plutónicas** que presentan cristales de grandes tamaños. Y si se cristaliza en grietas encontradas en la superficie terrestre forma rocas ígneas **filonianas**.

2.1.2.2.Sedimentarias

Son el resultado de materiales depositados en capas en la superficie terrestre. Si se forman a partir de otras rocas se las denomina **detríticas**, y si se forman a partir de la aglomeración de seres vivos o compuestos químicos se los denomina **orgánicas y químicas** respectivamente.

2.1.2.3. Metamórficas

Son rocas que no han llegado a fundirse y han estado sometidas a altas presiones alrededor de 1500 bar y temperaturas de 150°C a 200°C, debido a esto han llegado a transformarse efectuando cambios en la composición de la roca por los fluidos activos que se presentan a estas temperaturas, este proceso se llama metamorfismo. Las rocas metamórficas se clasifican según su textura como **foliada** (se rompen con facilidad) y **no foliada**.

Estos grupos de roca a su vez se subdividen en tipos y familias las cuales se resumen en la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Clasificación de las Rocas

Tipo de Roca	Tipo	Familia
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza
		Dolomita
	Síliceas	Arcilla Esquistosa
		Arenisca
		Horsteno
		Conglomerado
		Breccia
Metamórficas	Foliadas	Gneis
		Esquiato
		Anfibolita
		Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita
		Mármol
		Serpentina
Ígneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito
		Sienita
		Diorita
		Gabbro
		Periodotita
		Piroxenita
		Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana
		Pómez
		Tufa
		Riolita
		Traquita
		Andesita
		Basalto
Diabasa		

Fuente: Serie de Manuales N° 22.

2.1.3. Clasificación de agregados pétreos.

Los agregados pétreos empleados para mezcla asfáltica en caliente se clasifican, habitualmente por su origen. En esta clasificación encierran los siguientes agregados: naturales, procesados y sintéticos o artificiales.

2.1.3.1. Agregados Naturales.

Son aquellos agregados que son utilizados en su forma natural, y tiene poco o ningún procesamiento. Estos están formados por partículas procedentes de los procesos naturales como la erosión y degradación como son: la acción del viento, el agua y los químicos. Los tipos agregados naturales más empleados para mezcla asfáltica son la grava y la arena.

Las gravas y las arenas por su origen son catalogadas y seleccionadas. Los materiales originarios de canteras a cielo abierto y utilizados sin que hayan pasado por ningún proceso de explotación son conocidos como materiales en bruto, los materiales obtenidos al borde de los afluentes son designados como materiales de canteras de ríos.

2.1.3.2. Agregados Procesados.

Son aquellos agregados que para ser usados han sido triturados y tamizados. Los agregados procesados pueden ser de dos maneras: gravas naturales que al ser trituradas son apropiadas para mezcla asfáltica, y fragmentos de roca explotadas de canteras que pasan por las plantas trituradoras para reducir de tamaño y ser usados en carpeta de rodadura. De la calidad de roca extraída de cantera dependerá la calidad de agregado procesado para ser empleado en una mezcla asfáltica en caliente.

Existen tres causas por que los fragmentos de roca son triturados:

1. La textura superficial de las partículas deben cambiar de lisas a ásperas.
2. Se debe modificar la forma de la partícula de redondeada a que tengan aristas.
3. Los tamaños de las partículas se reducen y mejoran la proporción y los límites de gradación.

El objetivo primordial del proceso de trituración en los fragmentos de roca, es reducir de tamaño y cambiar la textura y forma de la partícula; estas propiedades son importantes para que los agregados pétreos sean manejables y sean utilizados en una mezcla asfáltica en caliente.

Un factor importante en la construcción de carpeta asfáltica de buena calidad y buen desempeño portante es mantener las gradaciones establecidas en la norma ASTM D-3515 de agregados pétreos de mezcla asfáltica. Es necesario tener un control adecuado en la trituración de las rocas para garantizar un producto óptimo.

En la trituración de algunos tipos de rocas se producen cantidades esenciales de pequeñas partículas y fragmentos esta parte de material es retirada de las partículas que contienen diámetros iguales o mayores a 6,3 milímetros (1/4 pulgada) casi siempre, las misma que es utilizada como agregado de arena triturada.

2.1.3.3. Agregados Sintéticos.

Son aquellos que no existen en la naturaleza. Los agregados sintéticos son el resultado del procesamiento de materiales y de diversos productos derivados de la materia prima que resultan de procesos industriales como el refinamiento de metales y de fragmentos de roca caliza a altas temperaturas.

El producto secundario del refinamiento de metales es un elemento no metálico que surge cuando el hierro es fundido que se ubica en la superficie y es removida para convertirla en partículas más pequeñas.

El otro producto secundario es un material no metálico proveniente del triturado a altas temperaturas de fragmentos de rocas calizas compuestas básicamente por silicatos y aluminio-silicatos. Esta escoria es de alta calidad, puede ser empleada como material apropiado en mezcla asfáltica y al ser triturado se logra casi cualquier gradación; no está demás indicar que la mayoría de escorias son porosas y por esta propiedad son capaces de absorber más cemento asfáltico que los otros agregados pétreos que integran una mezcla asfáltica.

2.2. Agregado Pétreos en una Mezcla Asfáltica.

Los agregados pétreos que se emplean en una mezcla asfáltica en caliente (MAC) son agregados naturales y agregados procesados locales; las propiedades que adquieran los agregados dependerán del origen y características de los tipos de roca triturada a emplearse en la mezcla asfáltica.

En la tabla 2-2 se describe las propiedades más deseables de diferentes tipos de rocas para agregados pétreos en mezcla asfáltica.

Tabla 2-2 Propiedades de las Rocas

Tipo de Roca	Dureza / Tenacidad	Resistencia al Desprendimiento	Textura Superficial	Forma Fracturada
Ígnea:				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Sedimentaria:				
Caliza, Dolomita	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Chert	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
Metamórfica:				
Gneis	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquisto	Bueno	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina	Bueno	Regular	Regular	Regular

Fuente: Manual de Laboratorio – Ensayos para Pavimentos; Volumen I.

2.2.1. Propiedades de los agregados pétreos empleados en una mezcla asfáltica

En una mezcla asfáltica en caliente densamente gradada el agregado pétreo constituye el 90 a 95%, en peso. Por esto es que la calidad del agregado pétreo es un elemento importantísimo para el comportamiento de la mezcla asfáltica. A pesar de la calidad existen otras características o propiedades para la selección de un agregado pétreo.

Las propiedades a considerar en el agregado pétreo para ser empleado en una mezcla asfáltica en caliente son:

- ✓ Gradación y tamaño máximo de la partícula.
- ✓ Limpieza.
- ✓ Dureza.
- ✓ Forma de la partícula.
- ✓ Textura superficial.
- ✓ Capacidad de absorción.
- ✓ Afinidad con el asfalto.
- ✓ Gravedad Específica o Peso Específico.

A continuación se resumen cada una de las propiedades.

2.2.1.1. Gradación y tamaño máximo de la partícula.

2.2.1.1.1. Gradación.

Todas las especificaciones de carpeta asfáltica para mezcla en caliente exigen que las partículas de agregado pétreo estén dentro de un límite en tamaños y proporciones. Esta división de varias dimensiones de partículas es denominada gradación del agregado pétreo. Es necesariamente saber cómo se establece la dimensión de las partículas y la gradación para establecer si la gradación del agregado pétreo satisface o no con las especificaciones.

2.2.1.1.2. Tamaño máximo de la partícula.

Las dimensiones de las partículas de agregado pétreo de mayor tamaño en una muestra deben ser determinadas, pues el tamaño máximo de este será el que permita escoger la gradación para ser usada en el diseño. Los tamaños máximos de las partículas se determinan de dos maneras:

a) Tamaño Máximo Nominal del Agregado.

Es la criba de menor tamaño que retiene más del 10% de las partículas del agregado pétreo, en una serie de tamices.

b) Tamaño Máximo del Agregado.

Nominado como el tamiz más pequeño por donde atraviesa el 100% de las partículas del agregado pétreo.

2.2.1.2.Limpieza.

Las especificaciones de la obra con carpeta asfáltica habitualmente plantean tipos y cantidades de materiales no deseados (vegetación, partículas blandas, terrones de arcilla, etc.) en el agregado pétreo. El exceso de materiales deleznable afecta el comportamiento de la carpeta asfáltica.

El método más usado para determinar la fracción indeseable de polvo y arcilla en el agregado pétreo que pasa por el tamiz de 4,75 milímetros (Nº 4) es el ensayo del Equivalente de Arena (ASTM D 2419).

2.2.1.3.Dureza.

Los agregados pétreos deben ser aptos para soportar 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. Los agregados pétreos que estén próximos al nivel de la subrasante, deben de poseer mayor resistencia que los usados en capas inferiores de la estructura de pavimento; por esta

propiedad es que las capas superiores receptan los mayores esfuerzos y el mayor desgaste producido por el tráfico.

El método para determinar la resistencia de un agregado pétreo al desgaste y a la abrasión, se lo realiza mediante el Ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles (ASTM C-131).

2.2.1.4. Forma de la partícula.

Cierta forma de partícula perjudica la trabajabilidad de la mezcla asfáltica cuando se la está colocando en obra, así como la fuerza de compactación de la mezcla para alcanzar la densidad requerida. También la resistencia de la estructura de pavimento es afectada por la forma de la partícula durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares comúnmente soportan el desplazamiento en la carpeta asfáltica, debido a esta forma se acoplan mejor cuando son compactadas. El óptimo acoplamiento se lleva a cabo por partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas por la trituración.

Las partículas gruesas de agregado pétreo suministran la resistencia en la carpeta asfáltica y proceden comúnmente de roca triturada. Las partículas finas de agregado aportan con la trabajabilidad en la mezcla y provienen de arena natural o arena triturada.

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

- Agregado grueso (retenido tamiz N° 4): por medio de los ensayos Partículas Alargadas y Planas (ASTM D 4791-99) y Angularidad del Agregado Grueso o Caras Fracturadas (ASTM D 5821-01).
- Agregado fino (pasante tamiz N°4): por medio del ensayo Angularidad del Agregado Fino (ASTM C 1252-98).

2.2.1.5. Textura superficial.

La textura superficial de las partículas de agregado pétreo nos determina la trabajabilidad, la capacidad portante (resistencia), y resistencia al deslizamiento en la carpeta asfáltica.

Una textura áspera incrementa la resistencia en la carpeta asfáltica porque impide que las partículas se desplacen entre ellas, y a la vez proporciona un superior coeficiente de fricción superficial, esto hace que el movimiento del tránsito sea seguro.

Complementariamente, las películas de cemento asfáltico se unen fácilmente a las caras ásperas que a las caras lisas, Por lo tanto casi siempre se trituran los agregados naturales por contener caras lisas. El proceso de trituración genera texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas y cambios en la fórmula de la partícula.

No existe una norma para determinar la textura superficial directamente; más bien, se exige agregados pétreos con proporciones mínimas de caras fracturadas y se prohíbe el uso de materiales de textura lisa.

2.2.1.6. Capacidad de absorción.

En su totalidad los agregados pétreos son porosos, unos más que otros. Se define como porosidad a la capacidad que tiene un agregado en absorber un líquido cuando pasa a saturación.

La capacidad de absorción de agua o cemento asfáltico de un agregado pétreo es de suma importancia. Si el agregado posee elevada absorción, por lo tanto seguirá absorbiendo cemento asfáltico después de su mezclado inicial, esto provoca que en la superficie del agregado disminuya el cemento asfáltico y se logren unir las demás partículas. Por este motivo, un agregado poroso requiere mayor cantidad de cemento asfáltico que un agregado menos poroso.

Los ensayos para definir la absorción de los agregados pétreos son:

- Agregado grueso (retenido tamiz N° 4): por medio del ensayo Determinación de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (ASTM C 127).
- Agregado fino (pasante tamiz N°4): por medio del ensayo Determinación de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (ASTM C 128).

2.2.1.7. Afinidad con el asfalto.

La afinidad de un agregado pétreo con el cemento asfáltico es la predisposición del agregado en recibir y mantener una capa de cemento asfáltico. Las calizas, dolomitas (rocas sedimentarias) y basalto, diabasa (rocas ígneas o trapecanas) poseen alta afinidad con el cemento asfáltico y son denominados como **hidrofóbicos** (repelen el agua) ya que soportan los esfuerzos del agua por liberar el cemento asfáltico de sus superficies.

Los agregados pétreos **hidrofilicos** (atraen el agua) poseen poca afinidad con el cemento asfáltico. Por ende, hay mayor desprendimiento de las películas del cemento asfáltico cuando son expuestos al agua.

El método para comprobar si el agregado pétreo tiene afinidad con el cemento asfáltico es por medio del Ensayo de Recubrimiento y Peladura de Asfalto en Agregados (ASTM D 3625), este es un ensayo visual que determina la pérdida de adherencia entre los componentes.

2.2.1.8. Gravedad Específica o Peso específico.

La gravedad específica o peso específico de un agregado pétreo es por definición la relación entre el peso y el volumen del material, es una forma de manifestar las características de peso y volumen de los agregados, ya que es de suma importancia 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. Son necesarias tres gravedades específicas para considerar las variantes en el diseño de mezcla asfáltica, estas se describen a continuación:

✓ ***Gravedad Específica Seca Bulk o Neta de los Agregados.***

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

✓ ***Gravedad Específica Aparente.***

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

✓ ***Gravedad Específica Efectiva.***

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

Esta propiedad se determina mediante los ensayos:

- Agregado grueso (retenido tamiz N°4): por medio del ensayo “Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado (ASTM C 127)”.
- Agregado fino (pasante tamiz N° 4): por medio del ensayo “Determinación de Gravedad Específica y Absorción de los Agregados (ASTM C 128)”.

2.3. Ensayos Físicos y Mecánicos de Clasificación.

La mezcla asfáltica en caliente está constituida por agregados pétreos los cuales tienen que cumplir los parámetros establecidos en las especificaciones de la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12-MTOP-Volumen N°3), que se fundamenta en la Norma AASHTO M 323.

A continuación se describen los ensayos de clasificación de los agregados pétreos requeridos por la norma, que se realizaron a los materiales pétreos empleados

en este tema de tesis (piedra 1/2", arena triturada y arena de río). Los resultados obtenidos se muestran en el numeral 2.4, los mismos que fueron comparados con las especificaciones indicadas en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTOPE).

2.3.1. Análisis Granulométrico de los Agregados (Norma ASTM D 3515 y Especificación MTOPE).

La granulometría de los agregados pétreos determina la distribución de las partículas que quedan retenidas en los tamices de cada uno de los agregados que se utilizan en una mezcla asfáltica, este ensayo se realiza por vía seca.

La granulometría es una característica que influye en el comportamiento de la mezcla asfáltica. Los resultados obtenidos son comparados con los porcentajes en peso retenido en cada uno de los tamices utilizados en relación a la norma según el tamaño máximo nominal del agregado pétreo, para mezclas de gradación densa (Tabla 2-3).

Tabla 2-3 Distribución Granulométrica de los Agregados.

Graduaciones propuestas para mezclas cerradas (ASTM D 3515)										
Abertura de malla		Mezclas cerradas								
		Tamaño máximo nominal del agregado								
in	mm	2 in (50 mm)	1 1/2 in (37,5 mm)	1 in (25 mm)	3/4 in (19 mm)	1/2 in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	Nº 4 (4,75 mm)	Nº 8 (2,36 mm)	Nº 16 (1,18 mm)
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		
Nº 4	4,75	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100		100
Nº 8	2,36	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100		95-100
Nº 16	1,16							40-60		65-100
Nº 30	600 um							35-65		70-95
Nº 50	300 um	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40		45-75
Nº 100	150 um							3-20		20-40
Nº 200	75 um	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

Fuente: Norma ASTM D 3515.

El análisis granulométrico se realizó a cada uno de los materiales por separado (ver Anexo 1- A.1; 1- A.2 y 1- A.3), para conocer la distribución de las partículas de los agregados; posteriormente se procedió a calcular los porcentajes óptimos de cada agregado pétreo lo que permitió encontrar la curva maestra de los agregados (ver cálculo en el anexos 1- A.4 y 1- A.5), de esta manera la combinación de los agregados cumple con la faja granulométrica requerida, es decir la exigida en la norma (ver Anexo 1- A.6 y su fotografía en el Anexo 5- A.1), considerando el tamaño máximo nominal del agregado y la función que vaya a desempeñar.

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

Este ensayo permite determinar el porcentaje de desgaste del agregado pétreo (grueso) cuando es sometida a fuerzas abrasivas, por medio un tambor rotatorio (máquina de los ángeles) y esferas de acero.

En la tabla 2-4 se muestra el número de revoluciones, cantidad de esferas de acero y peso del material a usar según lo determine el método establecido por la Norma ASTM C-131.

Tabla 2-4 Cantidad de Material a Usar para el Ensayo de acuerdo a su Método

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
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	Nº 4	4,76			2500 ± 10	
Nº 4	4,76	Nº 8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Después de terminado el ensayo, el agregado ensayado es cribado por el tamiz N°12 para medir el porcentaje de desgaste del agregado pétreo. De acuerdo a la gradación obtenida se empleó el Método C (ver calculo en Anexo 1- B.1 al 1- B.4 y fotografía en Anexo 5- A.9). El mismo que se calcula con la siguiente expresión:

$$\%Desg. = \frac{W_{Inicial} - W_{Final}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Donde:

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

W_{final} = Peso después del ensayo.

$\%Desg$ = Porcentaje de desgaste.

2.3.3. Determinación de Partículas Planas y Alargadas (Norma ASTM D 4791).

El ensayo establece los porcentajes de partículas planas y alargadas del agregado grueso. La cantidad de material a usar en el ensayo la determina el tamaño máximo nominal del agregado (Tabla 2-5).

Tabla 2-5 Cantidad de Material a usar en el Ensayo.

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

Fuente: Norma ASTM D 4791-99

Existen dos métodos para evaluar el porcentaje de partículas planas y alargadas:

1. Utilizando los calibradores de espesores y el de longitudes, consiste en pasar la porción de agregado seleccionado por estos calibradores. El calibrador de espesores determina el porcentaje de partículas planas y el calibrador de longitudes define el porcentaje de partículas alargadas.
2. Usando el calibrador proporcional para determinar los porcentajes de partículas planas y alargadas, clasificando la muestra de agregado en tres formas; partícula plana mide la proporción ancho y espesor, partícula alargada mide la proporción largo y ancho, y partícula plana y alargada es medida por la proporción de largo y espesor.

Para la determinación del porcentaje de partículas planas y alargadas de una mezcla asfáltica en caliente, la Norma Ecuatoriana Vial (NEVI-12-MTOP) exige el calibrador proporcional con su relación establecida de 5:1 para mezclas asfálticas densas. Ver cálculos y fotografías en el Anexo 1- C.1, 1- C.2 y Anexo 5- A.3.

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

Índice de Aplanamiento:

$$I_{Apl.} = \frac{W_{Part. Planas}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Índice de Alargamiento:

$$I_{Alarg.} = \frac{W_{Part. Alarg.}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Donde:

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

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

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

2.3.4. Angularidad del Agregado Grueso o Porcentaje de Caras Fracturadas (Norma ASTM D 5821-01).

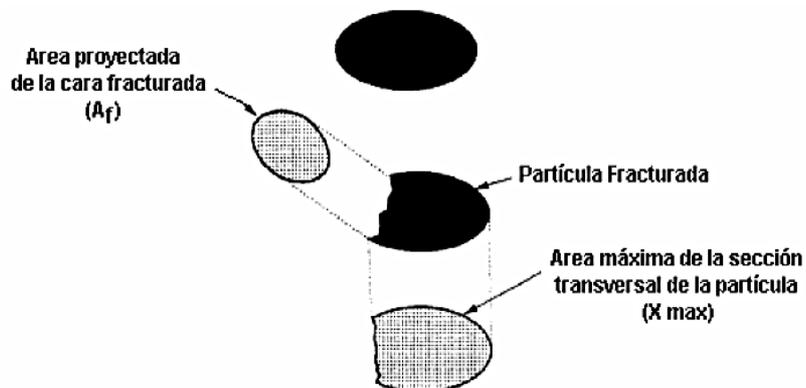
El ensayo determina el porcentaje de caras fracturadas en peso o por conteo de partículas del agregado grueso, observando las partículas que contengan dos caras fracturadas con superficie áspera permitiendo más adherencia de los agregados pétreos y aumentando los coeficientes superficiales. En la tabla 2-6 se muestra la cantidad en masa a usar dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 2-6 Cantidad de Masa a Usar para el Ensayo.

TAMAÑO MÁXIMO 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	132
90	3 1/2	90000	198

Fuente: Norma ASTM D 4791-99.

Una partícula se considera fracturada cuando por lo menos un veinticinco por ciento (25%) de su superficie se encuentra fracturada por medios mecánicos, como se muestra en la figura 2-1.



Nota: Una cara será considerada "Una cara fracturada" únicamente si tiene: $A_f = 0.25X_{max}$

Figura 2-1 Esquema de una Partícula Fracturada.

Fuente: Norma ASTM D 5821 - 01.

El cálculo de este ensayo se puede apreciar en el Anexo 1- D.1 al 1- D.3 y fotografía en Anexo 5- A.4.

2.3.5. Ensayo de Determinación de Durabilidad del Agregado (Norma ASTM C 88).

El ensayo determina la pérdida de material del agregado cuando es sometido al ataque de agentes químicos como el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, esta solución ingresa en los poros del agregado y afecta a su estructura en el rompimiento de las partículas.

Las muestras son expuestas a la solución de sulfato por cinco ciclos de inmersión y secado, como exige la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTOPE), en el cual el agregado se va deteriorando por la solución cuando se cristaliza. El porcentaje de pérdida del agregado depende del número de ciclos de inmersión y secado, y del peso de las muestras a utilizar en el ensayo (Tabla 2-7).

Tabla 2-7 Cantidad de Masa a Utilizar en el Ensayo según su Fracción.

FRACCIÓN	TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)				MASA gr
	Pasante	Retenido	Pasante	Retenido	
	mm		In		
1	9.50	4.75	3/8	Nº 4	300 ± 5
	19.00	9.50	3/4	3/8	1000 ±10
2	material consistente de:		material consistente de:		
	12.50	9.50	1/2	3/8	330 ± 5
	19.00	12.50	3/4	½	670 ±10
	37.50	19.00	1 1/2	¾	1500 ±50
3	material consistente de:		material consistente de:		
	25.00	19.00	1	¾	500 ± 30
	37.50	25.00	1 1/2	1	1000 ± 50
	63.00	37.50	2 1/2	1 ½	5000 ± 300
4	material consistente de:		material consistente de:		
	50.00	37.50	2	1 ½	2000 ± 200
	63.00	50.00	2 1/2	2	3000 ± 300
	75.00	63.00	3	2 ½	7000 ± 1000
	90.00	75.00	3 1/2	3	7000 ± 1000
100.00	90.00	4	3 ½	7000 ± 1000	
5	material consistente de:		material consistente de:		
	75.00	63.00	3	2 ½	7000 ± 1000
	90.00	75.00	3 1/2	3	7000 ± 1000
	100.00	90.00	4	3 ½	7000 ± 1000

Fuente: Norma ASTM C 88.

Para la determinación del porcentaje de durabilidad del agregado empleado en este diseño de mezcla asfáltica se usó la fracción 1, puesto que el material utilizado es pasante del tamiz de 1/2 pulgada. El resultado se muestra en el Anexo 1-E.

2.3.6. Efecto del Agua sobre Mezclas Asfálticas Seltas o Adherencia del Agregado con el Asfalto (Noma ASTM D 3625-96).

Esta norma indica que el ensayo es netamente visual y determina el porcentaje estimado de desprendimiento del cemento asfáltico, cuando el agregado pétreo suelto está recubierto de asfalto y es sometido a la separación por efecto de ebullición del agua. El ensayo se realiza con la mezcla de 100 gramos de agregado pétreo seco pasante del tamiz 3/8 pulgada y retenido en el tamiz N°4 más la adición de 5,5% de asfalto es decir 5,5 gramos, por el lapso de una hora se dejan reposar las partículas recubiertas con cemento asfáltico, luego esta mezcla es introducida al agua para su ebullición.

Se obtuvo como resultado que el porcentaje del área visible del agregado recubierto con asfalto fue de 97% aproximadamente (ver Figura 2-2 y Tabla 2.12).



Figura 2-2 Comparación de la muestra ensayada.

Fuente: Autores.

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

Este método se aplica para los agregados gruesos y finos, y determina una aproximación del contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables.

El ensayo consiste en dejar sumergida las porciones de muestras tamizadas de agregado grueso y fino (Tabla 2-8) en agua destilada por 24 horas, luego proceder a romper con los dedos las partículas y seguidamente tamizar en húmedo por los tamices de control establecidos en la norma (Tabla 2-9).

Tabla 2-8 Masa Mínima a Usar para el Ensayo.

Tamaño de las Partículas entre los Tamices	Masa Mínima de la Muestra de Ensayo (gr)
AGREGADO GRUESO	
4,75 - 9,5 mm (Nº4 -3/8")	1000
9,5 - 19,0 mm (3/8" - 3/4")	2000
19,0 - 37,5 mm (3/4" - 1 1/2")	3000
mayores de 37,5 mm (1 1/2")	5000
AGREGADO FINO	
4,75 - 1,18 mm (Nº4 - Nº16)	25

Fuente: Norma ASTM C 142-97.

Tabla 2-9 Tamices de Control - Después del Ensayo.

Intervalos de Tamaños de las Partículas que Forman la Muestra	Tamaño el Tamiz para Remover el Residuo de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
AGREGADO GRUESO	
4,75 - 9,5 mm (Nº4 -3/8")	2,36 mm (Nº8)
9,5 - 19,0 mm (3/8" - 3/4")	4,75 mm (Nº4)
19,0 - 37,5 mm (3/4" - 1 1/2")	4,75 mm (Nº4)
mayores de 37,5 mm (1 1/2")	4,75 mm (Nº4)
AGREGADO FINO	
4,75 - 1,18 mm (Nº4 - Nº16)	850 µm (Nº20)

Fuente: Norma ASTM C 142-97.

Este ensayo es importante, determina si el agregado es óptimo y cumple la máxima cantidad de terrones de arcillas y partículas deleznable permitidas por la norma, para ser empleado en mezcla asfáltica en caliente (ver resultado del ensayo en Anexo 1- F.1 al 1- F.3 y foto en el Anexo 5- A.6).

2.3.8. Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso (Norma ASTM C 127).

El ensayo determina las Gravedades Específicas Seca Bulk, Saturada Superficialmente Seca Bulk y Seca Aparente, y el porcentaje de Absorción del agregado; siguiendo el procedimiento descrito en la norma. La muestra para ensayar es retenida en el tamiz N°4, y es sumergida por 24 horas en agua, después es pesada saturada superficialmente seca y luego pesada sumergida en agua (ver cálculos en el Anexo 1-G y realización de ensayo en el Anexo 5- A.7); el ensayo no es aplicable en agregados pétreos livianos.

Fórmulas para calcular las Gravedades Específicas y Absorción:

- ✓ Gravedad Específica Seca Bulk.

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

- ✓ Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.

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

- ✓ Gravedad Específica Seca Aparente.

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

- ✓ Porcentaje de Absorción.

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

Donde:

A= Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.

B= Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco.

C= Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.

2.3.9. Determinación de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (Norma ASTM C 128).

El ensayo determina las Gravedades Específicas Seca Bulk, Saturada Superficialmente Seca Bulk y Seca Aparente, y el porcentaje de Absorción del agregado; siguiendo el procedimiento descrito por la norma.

La muestra para ensayar es pasante del tamiz N°4, y se sumerge por 24 horas en agua, se deja secar la muestra hasta que este saturada superficialmente, para comprobar que llegue a esta condición se hace uso de un molde cónico metálico, donde se coloca la muestra compactándola 25 veces con el pisón de metal haciéndolo caer desde una altura de 5 milímetros. Se repite este método hasta que la muestra se desmorone alcanzando su condición de saturado superficialmente seco.

Se pesa la muestra saturada superficialmente para proceder con el ensayo y calcular las gravedades específicas y el porcentaje de absorción del agregado fino por las siguientes formulas:

- ✓ Gravedad Específica Seca Bulk.

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

- ✓ Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.

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

- ✓ Gravedad Específica Seca Aparente.

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

✓ Porcentaje de Absorción.

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

Donde:

A= Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.

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

C= Peso del Picnómetro Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.

D= Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco.

Los resultados obtenidos de los materiales arena triturada y arena de río se muestran en el Anexo 1- H.1 y el Anexo 1- H.2 respectivamente, y su fotos en el Anexo 5- A.8.

2.3.10. Angularidad del Agregado Fino (Norma ASTM C 1252-98).

La norma para el ensayo se define como el porcentaje de vacíos de aire no compactado en el agregado menor a 2,36 milímetros (tamiz N°8), esto indica la angularidad del agregado y confirma que en la mezcla existe un alto grado de fricción. A mayor angularidad del agregado, mayor contenido de vacíos; y a mayor contenido de vacíos más caras fracturas posee el agregado.

Generalmente las arenas trituradas tienen valores superiores a 45 por ciento y las arenas no trituradas tienen valores inferiores a 42 por ciento de angularidad de agregado fino.

El ensayo se realiza dejando caer libremente el agregado mezclado desde una altura estandarizada, en un cilindro previamente calibrado, luego se enrasa y se pesa el cilindro con la muestra.

Para este ensayo se utilizaron los métodos A y B con sus respectivos peso de las muestras. El método A se realiza combinando los pesos y tamaños establecidos

en la norma (ver Tabla 2-10) y el Método B se realiza ensayando 190 gramos de cada fracción (ver Tabla 2-11). Revisar cálculos en Anexo 1- I.1 y Anexo 1- I.2, fotografía en Anexo 5- A.10.

Se calcula por las siguientes formulas:

Método A

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

Método B

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

Donde:

V = Volumen del Cilindro.

F = Peso del Agregado.

Gs = Gravedad Específica.

$\%U$; $\%U_m$ = Porcentaje de Vacíos.

Tabla 2-10 Cantidad de Material a Utilizar para el Ensayo - Método A.

Tamices		Peso (gr)
Pasante	Retenido	
Nº 8	Nº 16	44
Nº 16	Nº 30	57
Nº 30	Nº 50	72
Nº 50	Nº 100	17
Total		190

Fuente: Norma ASTM C 1252-98.

Tabla 2-11 Cantidad de Material a Utilizar para el Ensayo - Método B.

Tamices		Peso (gr)
Pasante	Retenido	
Nº 8	Nº 16	190
Nº 16	Nº 30	190
Nº 30	Nº 50	190

Fuente: Norma ASTM C 1252-98.

2.3.11. Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los Suelos (Norma ASTM D 4318-98).

El ensayo define la consistencia de suelos y agregados finos pasante del tamiz de 0,425 y 0,075 milímetros (Nº40 y Nº200 exigidos por la NEVI-12) con cambios de humedad.

El límite líquido es la humedad a los 25 golpes en la cazuela de Casagrande (ver figura 2-3.), el límite plástico es la humedad mínima en la cual los rollos de material se desmoronan, y el índice de plasticidad resulta de la diferencia del límite líquido y el límite plástico.

Cuando no se puedan determinar los límites líquido y plástico, el índice de plasticidad de la muestra a ensayar se determina como no plástico (ver Anexo 1- J.1 al Anexo 1- J.4 y sus fotos en Anexo 5- A.2).

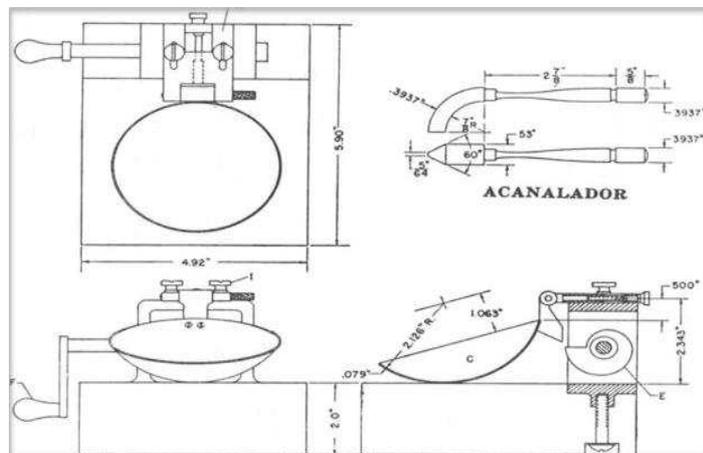


Figura 2-3 Esquema de la Copa de Casagrande y Ranurador.

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

2.3.12. Equivalente de Arena (Norma ASTM D 2419).

Esta norma permite determinar en el agregado pasante del tamiz 4,75 milímetros (N°4) la proporción correspondiente al contenido de polvo nocivo o material arcilloso presente en el agregado. Se realiza más frecuentemente en campo.

El ensayo consiste en incorporar en una probeta plástica una medida estandarizada de agregado, la misma se llena con la solución floculante hasta la marca 4 pulgadas, posteriormente agitar la probeta para que las partículas de arcilla logren separarse de las partículas de arena; después de reposar 10 minutos agitar horizontalmente de forma manual o mecánica por 90 ciclos en 30 segundos y completar con la solución hasta la altura de 15 pulgadas, después de esto dejar reposar de 20 a 30 minutos para anotar la lectura de arcilla, al instante introducir la varilla normalizada y se toma la lectura de la marca la arena .

Para efectuar el cálculo del equivalente de arena se utiliza la siguiente expresión; el resultado de los ensayos se muestra en el Anexo 1- K1. y 1- K.2 y fotografía en Anexo 5- A.11.

$$\% \textit{Equivaalente Arena} = \frac{\textit{Lectura de Arena}}{\textit{Lectura de Arcilla}} \times 100$$

2.4. Resultados Obtenidos en Ensayos

Los ensayos fueron realizados cumpliendo las normas vigentes como la Norma ASTM y AASHTO, los resultados son comparados con lo exigido en la Normativa NEVI-12 (MTOF).

Tabla 2-12 Ensayos Realizados al Agregado Grueso con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.

AGREGADO GRUESO (PIEDRA 1/2")

ENSAYOS	NORMA	ESPECIFICACIONES NEVI-12	RESULTADOS OBTENIDOS	RESULTADOS PROMEDIO	OBSERVACIÓN	
Granulometría	ASTM D 3515	Ver Tabla 2-3	Ver Tabla 2-15	Ver tabla 2-15	Cumple en la Mezcla	
Abrasión - Método C	ASTM C 131	$\leq 40\%$	23,96%	24,16%	23,37%	Cumple
			13,15%	14,09%	---	No Cumple
Índice de Partículas	ASTM D 4791	$\leq 10\%$	0,64%	0,83%	---	Cumple
			95,19%	95,76%	---	Cumple
Angularidad del Agregado Grueso	ASTM D 5821	$\geq 90\%$		95,48%	Cumple	
Durabilidad del Agregado	ASTM C 88	$\leq 12\%$	13,65%	13,65%	No Cumple	
Adherencia del Agregado	ASTM 3625	$> 95\%$	97%	97%	Cumple	
Partículas Deleznables	ASTM 142	$\leq 1\%$	2,28%	2,28%	No Cumple	
			2,401	2,396	2,416	No Especifica
Gravedad Específica	ASTM C 128	NO ESPECIFICA	2,481	2,473	2,491	
			2,61	2,597	2,612	
Porcentaje de Absorción			3,34%	3,23%	3,11%	

Fuente: Autores.

Tabla 2-13 Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena Triturada) con sus Respectivas Especificaciones y Resultados.

AGREGADO FINO (ARENA TRITURADA)

ENSAYO	NORMA	ESPECIFICACIONES NEVI-12	RESULTADOS OBTENIDOS	RESULTADO PROMEDIO	OBSERVACIÓN	
Granulometría	ASTM D 3515	Ver Tabla 2-3	Ver Tabla 2-16	Ver Tabla 2-16	Cumple en la Mezcla	
Partículas Deleznales	ASTM 142	$\leq 1\%$	1,32%	1,32%	No Cumple	
Angularidad del Agregado Fino	Método A	$\geq 40\%$	46,03%	48,09%	Cumple	
	Método B		50,85%			
Límites de Atterberg	Pasante N° 40	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	Cumple	
	Pasante N° 200	$\leq 4\%$ (IP)	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	Cumple	
Equivalente de Arena	ASTM D 2419	$\geq 50\%$	89,6%	89,67%	Cumple	
			89,8%			
Gravedad Específica	ASTM C 128	NO ESPECIFICA	2,097	2,137	2,133 gr/cm ³	
			2,273	2,299	2,299 gr/cm ³	
			2,543	2,549	2,557 gr/cm ³	
Porcentaje de Absorción			8,36%	7,55%	7,43%	7,78%

Fuente: Autores.

Tabla 2-14 Ensayos Realizados al Agregado Fino (Arena de Rio) con sus Respectives Especificaciones y Resultados.

AGREGADO FINO (ARENA DE RÍO)

ENSAYO	NORMA	ESPECIFICACIONES NEVI-12	RESULTADOS OBTENIDOS	RESULTADO PROMEDIO	OBSERVACIÓN
Granulometría	ASTM D 3515	Tabla 2-3	Ver Tabla 2-17	Ver Tabla 2-17	Cumple en la Mezcla
Partículas Deleznables	ASTM 142	$\leq 1\%$	0,86%	0,86%	Cumple
Angularidad del Agregado Fino	Método A	$\geq 40\%$	40,46%	41,43%	Cumple
	Método B		42,60%		
Límites de Atterberg	Pasante N° 40	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	Cumple
	Pasante N° 200	$\leq 4\%$ (IP)	NO PLÁSTICO	NO PLÁSTICO	Cumple
Equivalente de Arena	ASTM D 2419	$\geq 50\%$	81,6% 83,3% 83,0%	82,63%	Cumple
Gravedad Especifica	Bulk Seca	NO ESPECIFICA	2,511	2,515	No Especifica
	S.S.D.		2,597	2,597	
	Aparente		2,749	2,74	
Porcentaje de Absorción	ASTM C 128		3,45% 3,13% 3,26%	3,28%	

Fuente: Autores.

Tabla 2-15 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN MTOP - ASTM D3515	
Nº	mm				LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/4"	19,00			100,00	100	100
1/2"	12,50	234,57	15,60	84,40	100	90
Nº 4	4,75	1154,82	76,78	7,62	74	44
Nº 8	2,36	112,26	7,46	0,16	58	28
Nº 50	0,30	0,94	0,06	0,09	21	5
Nº 200	0,075	0,59	0,04	0,05	10	2
Fondo	0,00	0,82	0,05	0,00	0	0
TOTAL		1504,00 gr				

Fuente: Autores.

Tabla 2-16 Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Arena Triturada).

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN MTOP - ASTM D3515	
Nº	mm				LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/4"	19,00			100,00	100	100
1/2"	12,50	0	0,00	100,00	100	90
Nº 4	4,75	12,56	2,57	97,43	74	44
Nº 8	2,36	114,31	23,39	74,04	58	28
Nº 50	0,30	249,79	51,11	22,94	21	5
Nº 200	0,075	89,91	18,40	4,54	10	2
Fondo	0,00	22,19	4,54	0,00	0	0
TOTAL		488,76 gr				

Fuente: Autores.

Tabla 2-17 Análisis Granulométrico del Agregado Fino (Arena de Río)

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIÓN MTOP - ASTM D3515	
Nº	mm				LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/4"	19,00			100,00	100	100
1/2"	12,50		0,00	100,00	100	90
Nº 4	4,75	5,29	1,06	98,94	74	44
Nº 8	2,36	49,88	9,98	88,97	58	28
Nº 50	0,30	237,51	47,50	41,46	21	5
Nº 200	0,075	189,47	37,89	3,57	10	2
Fondo	0,00	17,85	3,57	0,00	0	0
TOTAL		500,00 gr				

Fuente: Autores.

Las especificaciones expuestas en las tablas 2-12, 2-13 y 2-14 fueron seleccionadas de la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 y se encuentran en las secciones 405-4 y 811-4. Al comparar los resultados de los ensayos con las especificaciones se determinó las siguientes observaciones:

Para el Agregado Grueso:

- ✓ Presenta buenas características cuando es sometido a fuerzas abrasivas.
- ✓ El material contiene un porcentaje bajo de partículas alargadas, cumpliendo con la especificación; por lo contrario el porcentaje de partículas aplanadas sobrepasa el rango especificado.
- ✓ La angularidad satisface el requerimiento de la norma en dos o más caras fracturadas.
- ✓ El agregado no resiste el ataque químico de los sulfatos.
- ✓ Tiene buena susceptibilidad relativa entre el agregado y el asfalto a la acción del agua.
- ✓ Exceso de partículas deleznable.

Para el Agregado Fino (Arena Triturada):

- ✓ Contiene un porcentaje mayor de partículas deleznable con respecto a lo exigido por la norma.
- ✓ Los resultados obtenidos de los ensayos tales como Angularidad del Agregado Fino, Límites de Atterberg y Equivalente de Arena satisfacen lo requerido por la norma.

Para el Agregado Fino (Arena de Río):

- ✓ Al analizar los resultados de los ensayos realizados y compararlos con las especificaciones exigidas, el agregado satisface todos los parámetros exigidos en la norma.

Los agregados individuales (piedra, arena triturada y arena de río) no cumplen con una granulometría cerrada o densa, por ende se optó combinarlos en proporciones para cumplir con la gradación elegida de la norma.

3. CAPÍTULO III. “ANÁLISIS DEL CEMENTO ASFÁLTICO”.

3.1. Cemento Asfáltico

Los cementos asfálticos son considerados como asfaltos obtenidos mediante el proceso de refinamiento del crudo de petróleo a varias temperaturas, al eliminar solventes volátiles y parte de sus aceites.

A temperatura ambiente los cementos asfálticos son sólidos o semisólidos de color negro a pardo oscuro, es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo. Al calentarse va adquiriendo una forma líquida gradualmente debido al aumento de temperatura.

Los cementos asfálticos desde la antigüedad han sido utilizados en la construcción de vías, pues estos presentan varias características físicas que permiten emplearlo como aglomerante o ligante en una mezcla asfáltica, al mismo tiempo este cumple con propiedades como:

- ✓ Impermeabilización de la estructura de un pavimento logrando así que este sea poco sensible al agua que proviene de las lluvias.
- ✓ Proporciona una cohesión y unión resistente entre los agregados, la cual es capaz de resistir a la separación de los mismos ocasionada por acción mecánica del paso de los vehículos.

Para realizar un análisis al cemento asfáltico se recomienda utilizar una cantidad representativa del mismo, esto se refiere a un galón de asfalto (3,75 litros), a pesar que los ensayos se pueden realizar con una cantidad mucho menor a esta, es necesario siempre dejar un testigo adicional en caso de que se requiera verificar sus

propiedades después de un lapso de tiempo. Los ensayos que se realizó al cemento asfáltico se muestran en la tabla del numeral 3.8.

De acuerdo a lo estipulado en la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTO) los cementos asfálticos se clasifican según su grado de viscosidad a una temperatura de 60°C considerando la susceptibilidad por temperatura, como indica la Norma ASTM D-3381 (tablas 3.1; tabla 3.2) y según su grado de penetración indicado en la norma ASTM D-946 (tabla 3.3.), esta norma requiere que el asfalto sea clasificado por su Viscosidad a 60°C.

Tabla 3-1 Especificaciones para Cementos Asfálticos Clasificados por su Viscosidad a 60°C.

ASTM D 3381-92 (Reprobado 1999)
(Clasificación en base al asfalto original)
(Corresponde a la Tabla No.1 ASTM)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	Grado de viscosidad				
			AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad, 60°C	Pa.s	D-2171	25±5	50±10	100±20	200±40	400±80
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm ² /s	D-2170	80	100	150	210	300
Penetración, 25°C, 100g. 5s, mínimo	1/10 mm	D-5	200	120	70	40	20
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
<u>Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada:</u>		D-1754					
Viscosidad 60°C, máximo	Pa.s	D-2171	125	250	500	1000	2000
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, mínimo	Cm	D-113	100 ^A	100	50	20	10

^A Si la ductilidad es menor que 100, se puede aceptar el material si la ductilidad a 15,5°C es como mínimo 100 a una tasa de 5 cm/min.

Fuente: Norma Vial Ecuatoriana NEVI-12 (MTO).

Tabla 3-2 Especificaciones para Cemento Asfáltico Clasificados por su Viscosidad a 60°C.

ASTM D 3381-92 (Reprobado 1999)
(Clasificación en base al asfalto original)
(Corresponde a la Tabla No.1 ASTM)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	Grado de viscosidad					
			AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C	Pa.s	D-2171	25±50	50±10	100±20	200±40	300±60	400±80
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm ² /s	D-2170	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100g, 5s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta, mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
<u>Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada:</u>		D-1754						
Viscosidad 60°C, máximo	Pa.s	D-2171	125	250	500	1000	1500	2000
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, mínimo	Cm	D-113	100 ^A	100	75	50	40	25

^A Si la ductilidad es menor que 100, se puede aceptar el material si la ductilidad a 15,5°C es como mínimo 100 a una tasa de 5 cm/min.

Fuente: Norma Vial Ecuatoriana NEVI-12 (MTOF)

Tabla 3-3 Especificaciones de Calidad para Cementos Asfálticos Clasificados por su Grado de Penetración, para Uso en Construcciones de Pavimentos

ASTM D 946-82 (Reapproved 1999)

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	GRADO DE PENETRACIÓN									
			40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
			Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Penetración, 25°C, 100g, 5s	---	D-5	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, (Cleveland Copa Abierta)	°C	D-92	232	---	232	---	232	---	218	---	177	---
Ductilidad, 25°C, 5cm/min.	cm	D-113	100	---	100	---	100	---	100	---	100 ^A	---
Solubilidad en tricloroetileno	%	D-2042	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---	99,0	---
Penetración retenida después de la prueba de horno sobre película delgada	%	D-5 Después de realizar D-1754	55+	---	52+	---	47+	---	42+	---	37+	---
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, después de prueba de horno sobre película delgada	cm	D-113 Después de realizar D-1754	---	---	50	---	75	---	100	---	100 ^A	---

^A Si la ductilidad a 25°C es menor que 100cm, se puede aceptar el material si la ductilidad a 15,5°C es mínimo 100cm a una tasa de 5 cm/min.

Fuente: Norma Vial Ecuatoriana NEVI-12 (MTOF)

La tabla 3-2 muestra las especificaciones para ligantes asfálticos que son menos susceptibles a la temperatura y en la tabla 3-1 se encuentran las especificaciones para ligantes asfálticos con mayor susceptibilidad a la temperatura.

3.2. Gravedad Específica (Norma ASTM D 70-09 E-1)

La gravedad específica de un cemento asfáltico por definición es la relación entre el peso por unidad de volumen de un material con respecto al mismo volumen de agua a una misma temperatura (25°C ó 77°F); a esta temperatura se permite pasar de pesos a volúmenes y viceversa.

Se determina mediante el ensayo de picnómetro. La muestra de cemento asfáltico se coloca dentro del picnómetro previamente calibrado. El picnómetro y la muestra son pesados; posteriormente el picnómetro es llenado con agua destilada y es colocado en un baño de agua destilada por unos 30 minutos a 25°C, se determina su peso. La gravedad específica del cemento asfáltico se determina considerando la masa de la muestra y la masa del agua desalojada con respecto al picnómetro calibrado. El resultado del ensayo se puede observar en el anexo 2- A.



Figura 3-1 Equipo para determinar Gravedad Específica.

Fuente: Manual de Ensayos para el Cemento Asfáltico.

Se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\delta_{asf} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$$

Donde:

δ_{asf} = Gravedad específica del asfalto.

A = Peso del picnómetro.

B = Peso del picnómetro con agua destilada.

C = Peso del picnómetro parcialmente lleno con cemento asfáltico.

D = Peso del picnómetro con cemento asfáltico.

3.3. Punto de Ablandamiento (Norma ASTM D 36).

El punto de ablandamiento se determina comúnmente por el ensayo de anillo y bola. Sin embargo este ensayo no interviene en las especificaciones para los cementos asfálticos empleados para carpeta asfáltica, se utiliza con más frecuencia en cementos asfálticos más sólidos que se requieren en otras aplicaciones y permite conocer la temperatura a la cual los cementos asfálticos se hacen fluidos.

El ensayo consiste en vaciar cemento asfáltico en dos anillos de latón de dimensiones reguladas por la norma ASTM, posteriormente se introducen los anillos suspendidos en un baño de agua destilada, se coloca en cada muestra una bola de acero de dimensiones y peso regulados. Seguidamente se calienta el baño a una velocidad de 5°C por minuto y se toma la lectura del termómetro en el momento en que la bola de acero caiga desde una altura de 25 milímetros, a esta lectura de temperatura se la llama Punto de Ablandamiento del cemento asfáltico (Ver fotografía en el Anexo 5- B.1).

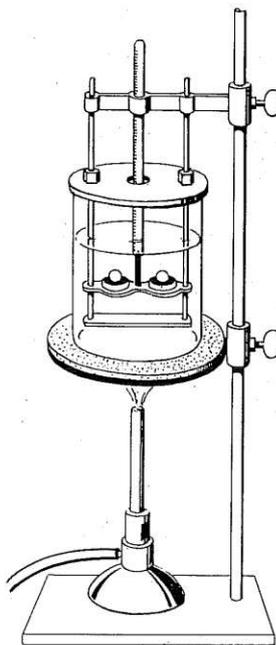


Figura 3-2 Equipo para determinar el Punto de Ablandamiento.

Fuente: Tecnología del Asfalto y Práctica de Construcción. Instituto Chileno del Asfalto – 1985

3.4. Penetración (Norma ASTM D 5).

El ensayo de penetración establece la dureza o consistencia del cemento asfáltico para su clasificación en grados de penetración. Consiste en medir la distancia que una aguja normalizada es introducida verticalmente en una muestra de cemento asfáltico en condiciones de temperatura, carga y tiempo, especificadas según la norma ASTM; entiéndase que el ensayo de penetración se realiza a una temperatura de 25°C, la aguja debe tener una carga de 100 gramos y el tiempo es de 5 segundos para penetrar en la muestra.

Es probado por el ensayo que cuanto más blando sea el cemento asfáltico mayor será la lectura que establezca su penetración. El Instituto de Asfalto ha clasificado a los cementos asfálticos para carpetas de rodadura con grados de penetración comprendidas dentro de los rangos de 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300; y para aplicaciones especiales e industrias el rango de 40-50 (Ver fotografía en el Anexo 5- B.2).

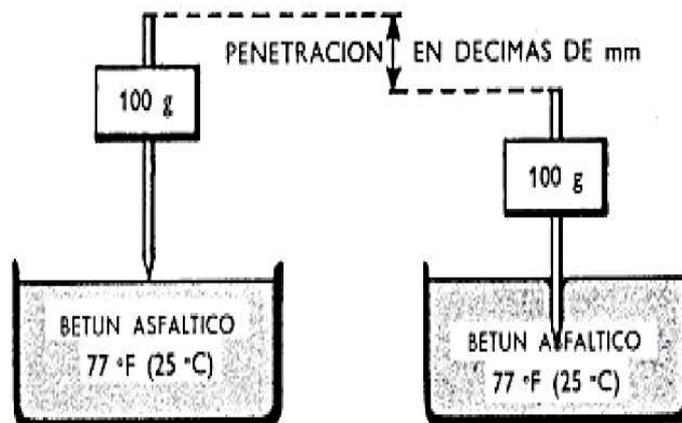


Figura 3-3 Ensayo para determinar la Penetración.

Fuente: Tecnología del Asfalto y Practica de Construcción. Instituto Chileno del Asfalto – 1985

3.5. 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 del comportamiento reológico (relación entre el esfuerzo y la deformación), y se obtiene por medio de la expresión:

$$I_p = \frac{20 * t_{RaB} + 500 * \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 * \log P + 120}$$

Donde:

I_p = Índice de penetración.

t_{RaB} = 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 -0,11 (Ver numeral 3.8), por cuanto se puede clasificar al cemento asfáltico como de características intermedias, por tal motivo para verificar sus especificaciones se lo puede comparar con el literal 3.1.

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

El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura más baja en la cual se desprenden componentes volátiles de la muestra, y producen un destello en presencia de una flama abierta. El punto de inflamación no debe confundirse con el punto de combustión, el cual es la temperatura que marca el termómetro cuando al pasar la flama se produce la combustión del cemento asfáltico.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico se mide por el ensayo mediante la Copa Abierta de Cleveland (copa abierta de latón), se llena parcialmente con cemento asfáltico hasta la marca de llenado que posee la copa, luego se calienta a una velocidad que no exceda 16,5°C por minuto y antes de alcanzar el destello deberá

aumentar la temperatura entre 5°C y 6°C por minuto, se hace pasar periódicamente la flama sobre la superficie del cemento asfáltico hasta producir un destello y se mide la temperatura en la cual ocurrió una llamarada repentina (Ver fotografía en el Anexo 5-B.3).

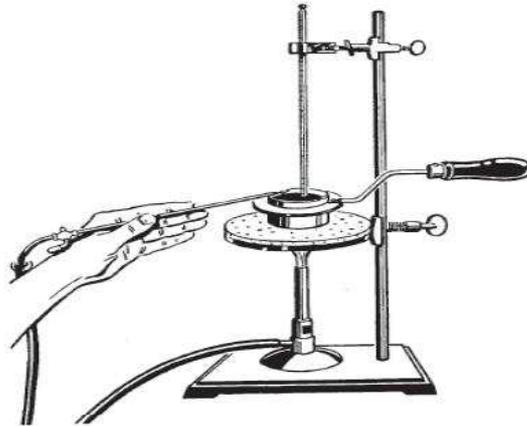


Figura 3-4 Ensayo para determinar el Punto de Inflamación.

Fuente: Tecnología del Asfalto y Practica de Construcción. Instituto Chileno del Asfalto – 1985

3.7. Ductilidad (Norma ASTM D 113).

La ductilidad de un cemento asfáltico es una característica muy importante para utilizarse como aglomerante en una carpeta asfáltica, esto es que a mayor ductilidad tiene mejores propiedades aglomerantes y son más susceptibles a los cambios de temperatura.

Se mide la ductilidad de un cemento asfáltico por medio del ensayo tipo extensión, donde se moldea varias probetas de cemento asfáltico en condiciones y medidas estandarizadas por la norma ASTM. Colocando agua salada en el equipo y sumergiendo las probetas, generalmente se realiza el ensayo a una temperatura de 25°C. Se retira una parte de la probeta de la otra con una velocidad de 5 centímetros por minuto hasta romper el hilo de cemento asfáltico que se forma al estirar las

probetas de los extremos. La ductilidad del cemento asfáltico es la distancia máxima (en centímetros) hasta donde se produce la rotura del hilo de cemento asfáltico (Ver fotografía en el Anexo 5- B.4).

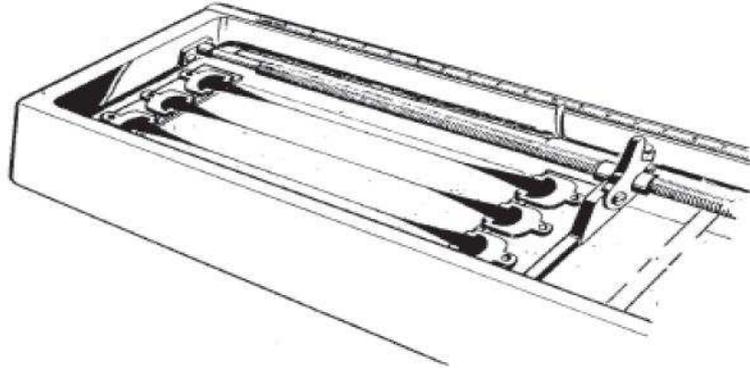


Figura 3-5 Ensayo para determinar la Ductilidad.

Fuente: Tecnología del Asfalto y Práctica de Construcción. Instituto Chileno del Asfalto - 1985

3.8. Resultados Obtenidos de los Ensayos Realizados.

PROPIEDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO	NORMA	ESPECIFICACIÓN TABLA 2-2	RESULTADOS OBTENIDOS	OBSERVACIÓN
Viscosidad Absoluta, 60°C. (Pa.s)	ASTM D-2171	200±40	206,5	Cumple
Punto de Inflamación Copa Abierta de Cleveland. (°C)	ASTM D-92	≥ 232	288	Cumple
Gravedad Específica. (gr/cm ³)	ASTM D-70	No Especifica	1,0165	No Especifica
Penetración 25°C, 100gr, 5s. (mm/10)	ASTM D-5	≥ 60	88,75	Cumple
Punto de Ablandamiento. (°C)	ASTM D-36	No Especifica	48,5	No Especifica
Índice de Penetración	INV E-724-07	No Especifica	-0,11	No Especifica
Ductilidad 25°C, 5cm/min. (cm)	ASTM D-113	No Especifica	144,125	No Especifica

Fuente: Autores.

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

- ✓ Tiene un índice de penetración de -0,11 lo que quiere decir que es un asfalto con características intermedias y a su vez cumple con las especificaciones expuestas.
- ✓ Puede clasificarse como un cemento asfáltico de penetración 85-100.

4. CAPÍTULO IV. “DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)”.

4.1. Características de la Mezcla.

Una mezcla asfáltica fabricada en laboratorio deberá ser analizada para definir su desempeño en la estructura de una vía, el análisis se basa en varias características principales de la mezcla y la influencia que estas puedan ejercer sobre ella. Estas características son:

- ✓ Gravedad o Densidad específica de la mezcla (G_{mb}).
- ✓ Vacíos de aire (V_a).
- ✓ Vacíos en el agregado mineral (VMA).
- ✓ Vacíos llenos de asfalto (VFA).
- ✓ Contenido de asfalto (P_b).

4.1.1. Gravedad o Densidad específica de la mezcla (G_{mb}).

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 Especifica se describe en el numeral 4.4.1.

4.1.2. 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.

Estos vacíos de aire están presente en todo tipo de mezclas asfálticas, así como la densidad de la mezcla, ambos están inversamente ligados entre sí, pues a mayor porcentaje vacíos presente en la mezcla compactada menor será su densidad. Los dos aspectos se relacionan directamente con la durabilidad de la capa de rodadura compactada, pues si se obtiene una densidad alta se tendrá un porcentaje de vacíos bajo lo que nos dará como resultado una durabilidad alta o aceptable en la capa de rodadura compactada.

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 ver numeral 4.4.5.

4.1.3. Vacíos en el agregado mineral (VMA).

Definidos como un porcentaje en volumen de la mezcla asfáltica donde intervienen los espacios de aire existentes entre las partículas de los agregados que conforman una mezcla asfáltica en condición compactada, al mismo tiempo incluye los vacíos de aire (V_a) y el asfalto efectivo de la misma.

Los vacíos de agregado mineral (VMA) son los espacios disponibles de una mezcla asfáltica para distribuir el volumen de asfalto efectivo, por consiguiente entre

mayor sea el valor del volumen del agregado mineral tendrá un mayor espacio para distribuir la película de asfalto.

La Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTOPI) establece valores mínimos para el VMA según el tamaño máximo nominal de la combinación de agregados mostrados en la tabla 4-1 presentada a continuación:

Tabla 4-1 Criterios Marshall para VMA

TMN		VMA mínimo, %		
		Vacíos de Aire de Diseño %		
mm	in	3,0	4,0	5,0
4,75	Nº 4	16	17	18
9,50	3/8	14	15	16
12,50	1/2	13	14	15
19,00	3/4	12	13	14

Fuente: Norma NEVI-12

Los valores presentes en la Tabla 4-1 muestran que entre más gruesa sea la película de asfalto que recubre al agregado mayor será la durabilidad de la mezcla asfáltica (Para su cálculo ver numeral 4.4.6).

4.1.4. 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 mineral (Ver numeral 4.4.7).

4.1.5. Contenido de asfalto (P_b).

El contenido de asfalto para un diseño de mezcla de pavimento flexible deberá ser determinado con la mayor exactitud posible en el laboratorio y controlado en campo, pues este porcentaje dependerá en gran medida su durabilidad y comportamiento.

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 están 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.

- ✓ 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 (Ver numeral 4.4.8).
- ✓ 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. (Ver numeral 4.4.9)

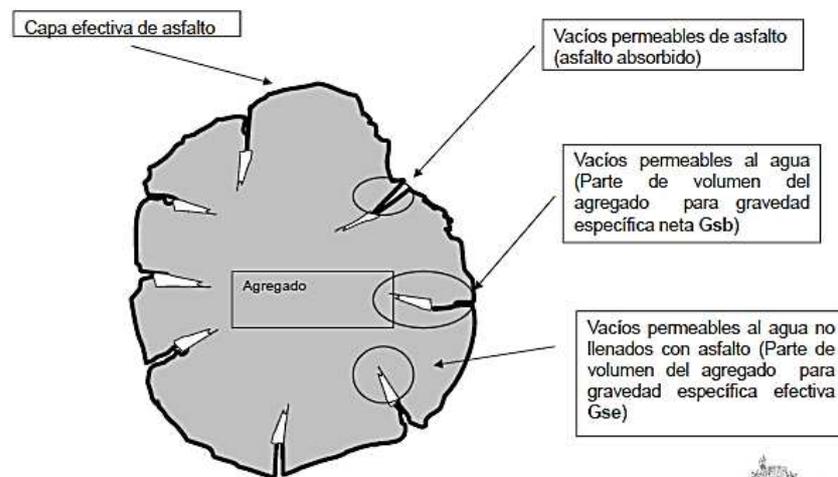
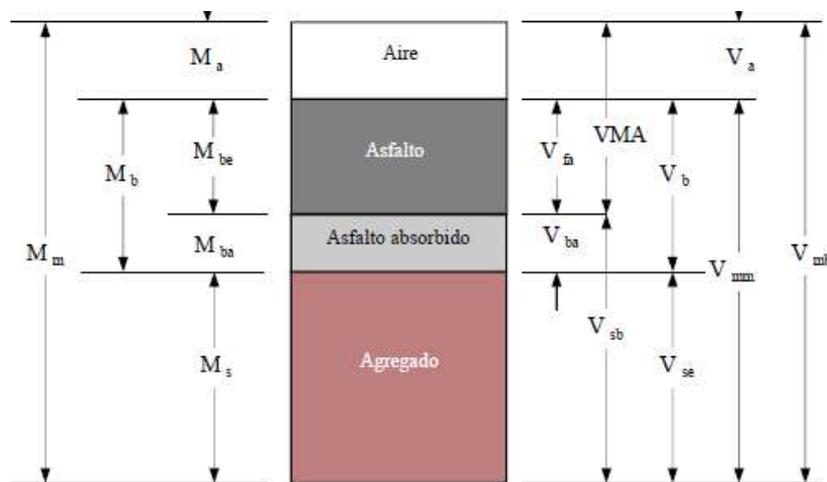


Figura 4-1 Parámetros Volumétricos de Diseño.

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

Generalmente una mezcla asfáltica consta de una sección típica conformada por agregado, asfalto absorbido, asfalto y aire.



M_m = Masa total de la mezcla	V_{mm} = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos
M_a = Masa de aire	V_{fa} = Volumen de vacíos llenados con asfalto
M_b = Masa de asfalto	V_a = Volumen de vacíos de aire
M_{ba} = Masa de asfalto absorbido	V_b = Volumen de asfalto
M_{be} = Masa de asfalto afectivo	V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido
M_s = Masa de agregado	V_{sb} = Volumen bruto del agregado mineral (Gravedad específica bruta de la masa)
VMA = Volumen de vacíos en agregado mineral	V_{se} = Volumen específico de agregado mineral (Gravedad específica efectiva)
V_{mb} = Volumen total de la mezcla asfáltica.	

Figura 4-2 Sección Típica de una Mezcla Asfáltica.

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

4.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.

La calidad de una mezcla asfáltica está definida por varias propiedades, las cuales ayudan mejorar el rendimiento. Estas propiedades son:

- ✓ Estabilidad.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Impermeabilidad.
- ✓ Trabajabilidad.
- ✓ Flexibilidad.
- ✓ Resistencia a la fatiga.
- ✓ Resistencia al deslizamiento.

4.2.1. Estabilidad.

Es la capacidad de soportar deformaciones como roderas, piel de cocodrilo, ondulaciones y deslizamientos producidos por los ciclos de cargas (relajación y fatiga) que transmiten los vehículos al pavimento.

La estabilidad de una mezcla asfáltica dependerá de la cohesión y fricción interna producida entre la angularidad (textura superficial y forma) de los agregados y el cemento asfáltico. Por otro lado valores muy altos de estabilidad producen una capa de rodadura muy rígida, teniendo como resultado una capa menos durable. Existen causas y efectos de las bajas estabilidades en una mezcla asfáltica, las cuales se describen a continuación en la tabla 4-2:

Tabla 4-2 Causas y Efectos de Bajas Estabilidades.

CAUSAS	EFFECTOS
Exeso de asfalto	Ondulaciones, exudaciones, roderas
Exceso de la arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia, deformaciones; dificultad para compactación.
Agregado redondeado sin o con poca superficies trituradas	Roderas y canales

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

La mezcla asfáltica es estable siempre y cuando una vez compactada esta es capaz de mantener su forma y textura después de ser sometidas a cargas cíclicas.

4.2.2. Durabilidad.

Definido como la propiedad de una mezcla asfáltica densa cuya función principal es hacer que sea capaz de resistir agentes perjudiciales como:

- ✓ Desintegración del agregado.
- ✓ Cambio de propiedades como polimerización y oxidación.
- ✓ Separación de la película de asfalto debido al intemperismo, tránsito o en algunos casos ambos.

En general la durabilidad de una mezcla asfáltica densa es afectada por alguno de los factores ya mencionados, pudiendo ser mejorada de la siguiente manera:

- ✓ Usar la cantidad adecuada del cemento asfáltico.
- ✓ Trabajar con agregados que cumplan con una granulometría densa, y a su vez sean resistentes a la separación.
- ✓ Diseño de mezcla y compactación adecuados con la finalidad de conseguir la máxima impermeabilización posible en la capa de rodadura.

Al hacer uso de la mayor cantidad de asfalto en una mezcla densa permite que esta obtenga un sellado más eficiente, haciendo que el ingreso del agua en la capa de rodadura sea casi imposible, debiéndose respetar el volumen de vacíos de aire para permitir la exudación del asfalto.

Trabajar con una combinación de agregados que cumplan con la gradación (tabla 2-3) permite lograr una mezcla asfáltica densa y al mismo tiempo el agregado debe cumplir con las especificaciones requeridas, es decir deberá ser firme y duro. Las gradaciones densas ayudan a proporcionar mayor contacto entre las partículas de los agregados.

Existen causas y efectos que pueden producir baja durabilidad en una mezcla asfáltica, como se muestra en la tabla 4-3.

Tabla 4-3 Causas y Efectos de Baja Durabilidad.

CAUSAS	EFECTOS
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregados.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamientos o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

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

4.2.3. Impermeabilidad.

Una capa de rodadura es impermeable cuando resiste el paso del agua y el aire al interior de la misma o a través de ella. Relacionada directamente con el porcentaje de vacíos de aire de la mezcla compactada.

La impermeabilidad de vacíos depende del tamaño de poros de aire sin importar, de si estos se encuentran interconectados o no. En la tabla 4-4 se presentan las causas y efectos relacionados con los valores altos de permeabilidad.

Tabla 4-4 Causa y Efectos de Mezclas Demasiado Permeables

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto.	Película delgada de asfalto causaran, 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 la carpeta asfáltica, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

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

4.2.4. Trabajabilidad.

Entiéndase por trabajabilidad de una mezcla asfáltica densa cuando se puede colocar y compactar con facilidad. Uno de los factores más comunes que perjudica a la trabajabilidad es el alto contenido de relleno mineral o filler ocasionando que la mezcla sea demasiado viscosa.

Otro factor que afecta a la trabajabilidad de la mezcla es la temperatura de compactación, pues si es muy baja la mezcla será poco trabajable y si la temperatura

es muy alta se tendrá como resultado una mezcla tierna o blanda (de fácil deformación).

A continuación en la tabla 4-5 se muestran las causas y efectos de la mala trabajabilidad en una mezcla:

Tabla 4-5 Causa y Efecto de Mezclas con Mala Trabajabilidad.

CAUSAS	EFECTOS
Tamaño máximo de partícula (grande).	Superficie áspera, difícil de colocar.
Alto contenido de agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de la mezcla.	Agregados 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.

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

4.2.5. Flexibilidad.

Es la característica que tiene una mezcla asfáltica densa compactada para poderse acomodar sin agrietarse causado por asentamientos y movimientos de la subrasante; aunque es muy común que se agriete debido a un fallo mecánico causado por cargas cíclicas o expansión del suelo de fundación de la vía.

Las grietas en un pavimento asfáltico indican varios problemas que muchas veces se lo relaciona con problemas en el diseño en la mezcla asfáltica, aunque generalmente las grietas son producidas en las siguientes condiciones:

- ✓ Cuando se aplican tensiones mucho mayores a las tensiones por rotura de la mezcla.
- ✓ Los cambios bruscos de temperatura causan variaciones en el volumen de la capa de rodadura compactada, denominándolas como grietas térmicas.
- ✓ Incremento en el volumen del tránsito, producen grietas longitudinales y transversales.
- ✓ La mezcla es elaborada con asfalto de alta viscosidad ocasiona que sea poco resistente a los efectos de tensiones acumuladas.
- ✓ Exceso o escasa compactación de la mezcla.

4.2.6. Resistencia a la fatiga.

Es la resistencia a la acción repetitiva de cargas cíclicas debido a las cargas de los vehículos. Mediante investigaciones se ha comprobado que el porcentaje de vacíos de aire y la viscosidad del asfalto producen un efecto sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos aumenta, la resistencia a la fatiga disminuye y viceversa; de la misma manera si se usa un asfalto envejecido para la elaboración de mezclas asfálticas tendrá menor resistencia a la fatiga (tabla 4-6).

Tabla 4-6 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.

CAUSAS	EFFECTOS
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento.	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

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

4.2.7. Resistencia al deslizamiento.

La resistencia al deslizamiento definido como una habilidad que tienen las mezclas asfálticas compactadas para evitar o minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, en especial cuando la superficie está humedecida o mojada.

Una capa de rodadura que cumple con estas características tendrá una superficie rugosa y áspera lo que no sucederá con aquellas que son lisas. Las mezclas inestables tienden a presentar problemas con la resistencia al deslizamiento, pues suelen deformarse y exudar con mucha facilidad debido al asfalto en la superficie. En el siguiente cuadro (tabla 4-7) se presentan las causas y efectos que provocan una baja resistencia al deslizamiento en las capas de rodaduras.

Tabla 4-7 Causa y Efectos de la Baja Resistencia al Deslizamiento.

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

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

4.3. Métodos de Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC).

Una mezcla asfáltica en caliente para carpeta asfáltica o capa de rodadura es definida como un aglomerado, es decir la mezcla de entre un cemento asfáltico (ligante) y agregados pétreos. La combinación de estos componentes deberá hacerse en forma exacta, pues son los que determinarán las propiedades de la mezcla asfáltica.

Existen diversos métodos para la elaboración de diseños de mezclas asfálticas en caliente (MAC) los cuales se dividen en métodos tradicionales y métodos nuevos, los mismos se subdividen en:

✓ Métodos Tradicionales:

- Método de Diseño Marshall.
- Método de Diseño Hveem.

✓ Métodos Nuevos:

- Método de Diseño Superpave.
- Método de Diseño de Alto Desempeño con Protocolo AMAAC.

4.3.1. Métodos Tradicionales.

4.3.1.1. Método de Diseño Marshall.

Fue desarrollado durante la Segunda Guerra Mundial por Bruce Marshall, ex -ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi, luego este método fue aplicado para el uso en las vías.

Este método surge de una investigación en el año de 1943 promovida por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., buscaban desarrollar un método sencillo para el diseño y control de mezclas asfálticas, en la cual compararon y evaluaron varios métodos.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos decidió adoptar este método de diseño y control, ya que utiliza un equipo portátil para la elaboración de briquetas, posteriormente este método fue mejorado y se le agregaron ciertos detalles al procedimiento, luego se desarrollaron criterios para su diseño.

El método Marshall es aplicable para elaboración de mezclas cuyo agregado tenga como tamaño máximo nominal de 1 pulgada (25,0 mm.), caso contrario si el agregado es de mayor tamaño se usará el molde de 6 pulgadas de diámetro.

4.3.1.2. Método de Diseño Hveem.

Fue desarrollado casi al mismo tiempo que el método Marshall por el Departamento de Carreteras de California, este método implica el análisis de densidad, estabilidad y resistencia al hinchamiento por presencia del agua.

Es considerado como un método de diseño de espesores del pavimento flexible, el método exige a la mezcla asfáltica que será colocada en el pavimento sea aceptado y pueda cumplir con las condiciones de expansión, exudación, estabilidad mínima, resistencia a la tensión debido a la flexión.

4.3.2. Métodos Nuevos.

4.3.2.1. Método de Diseño Superpave.

Fue desarrollado por Strategic Highway Research Program (SHRP) representa una tecnología estableciendo las predicciones de diseño de la mezcla asfáltica y evalúa los componentes que la conforman, es decir el asfalto y los agregados pétreos.

Este método propone nuevas especificaciones tanto para los agregados como para el cemento asfáltico, los cuales comúnmente son clasificados por su grado de penetración y viscosidad; ahora los clasificará mediante su desempeño a temperaturas máximas y mínimas. De la misma manera propone una manera nueva de compactación, nueva forma del espécimen o briqueta y compactación de las mismas, así como nuevos ensayos para el hormigón asfáltico, su grado de desempeño y bajo circunstancias puntuales.

4.3.2.2. Método de Diseño de Alto Desempeño con Protocolo AMAAC.

Surge como sucesor de la metodología Superpave, considera de mejor manera las condiciones a las que son sometidas los hormigones asfálticos compactados durante su vida de servicio. El método tiene como base fundamental el sistema de diseño del Método Superpave.

4.4. Método Marshall para el Diseño de la Mezcla.

El método Marshall (Norma ASTM D 1559) tiene como objetivo obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una determinada gradación de agregados pétreos. El mismo nos facilita información de las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, estableciendo densidades y volúmenes de vacíos; durante la elaboración de las carpetas asfálticas los valores deben satisfacer los valores calculados en laboratorio.

El ensayo Marshall consiste en la elaboración de briquetas cilíndricas de 101,6 milímetros (4 pulgadas) de diámetro y 63,5 milímetros (2 ½ pulgadas) de altura; las briquetas se las prepara con agregados pétreos previamente ensayados cumpliendo las especificaciones de las normas de agregados para su aceptación y cumplir con la gradación densa (Norma ASTM D 3515) para mezcla de agregados a ser empleada (Ver fotografías en Anexo 5- C.1).

Determinada la gradación del agregado se procede a la elaboración de briquetas (3 o 4 briquetas), el material es calentado hasta una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$, para ser mezclados con diferentes porcentajes de cemento asfáltico aumentando en proporción de 0,5%, luego del mezclado la muestra introducida en los moldes previamente calentados para no perder temperatura en su colocación, después pasa a compactación en el pedestal y martillo Marshall aplicando el número de golpes (75 golpes para el diseño) en cada lado de la biqueta, para finalizar la fabricación de briquetas, estas son enfriadas al ambiente por 24 horas y son extraídas de los moldes para su posterior ensayo.

En el ensayo de Rotura Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico en la hoja electrónica Marshall (Ver Anexo 3- C) es necesario tener en consideración otros ensayos y cálculos como:

4.4.1. Gravedades Específicas de los Agregados Pétreos Combinados.

Las gravedades específicas son obtenidas en el laboratorio individualmente por cada fracción de agregados pétreo que intervienen en una mezcla asfáltica, para obtener los valores de Gravedades Específicas Bulk y Aparente, se las determina por medio de fórmulas:

4.4.1.1. Gravedad Específica Bulk (G_{sb}).

Cálculo por agregado (Ver Anexo 3- A.1):

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{Agr_1}{(P_1 \times G_{sb1}) + (R_1 \times G_{sb1})} + \frac{Agr_2}{(P_2 \times G_{sb2}) + (R_2 \times G_{sb2})} + \dots + \frac{Agr_n}{(P_n \times G_{sbn}) + (R_n \times G_{sbn})}}$$

Donde:

Agr_1, Agr_2, Agr_n = Porcentajes de cada agregado en la mezcla.

P_1, P_2, P_n = Porcentajes que pasa malla N°4 de cada agregado.

R_1, R_2, R_n = Porcentajes que retiene malla N°4 de cada agregado.

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sbn}$ = Gravedades Específicas Bulk de cada agregado.

Nota: En el cálculo se desprecian valores menores e iguales al 5%, sean estos pasante o retenidos por el tamiz N° 4 de los agregados que conforman la mezcla.

Cálculo por mezcla de agregados (Ver Anexo 3- A.2):

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{G_{sbGrueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{G_{sbFino}}}$$

Donde:

$\%Ret. N^{\circ}4$ = Porcentaje retenido en el tamiz N°4 de la mezcla de agregados.

$\%Pasa N^{\circ}4$ = Porcentaje pasante del tamiz N°4 de la mezcla de agregados.

$G_{sbGrueso}$ y G_{sbFino} = Gravedades Específicas Bulk de la Mezcla de Agregados.

4.4.1.2. Gravedad Específica Aparente.

Cálculo por agregado (Ver Anexo 3- A.1):

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{Agr_1}{(P_1 \times G_{sa1}) + (R_1 \times G_{sa1})} + \frac{Agr_2}{(P_2 \times G_{sa2}) + (R_2 \times G_{sa2})} + \dots + \frac{Agr_n}{(P_n \times G_{san}) + (R_n \times G_{san})}}$$

Donde:

Agr_1, Agr_2, Agr_n = Porcentajes de cada agregado en la mezcla.

P_1, P_2, P_n = Porcentajes que pasa malla N°4 de cada agregado.

R_1, R_2, R_n = Porcentajes que retiene malla N°4 de cada agregado.

$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{san}$ = Gravedades Específicas Aparente de cada agregado.

Nota: En el cálculo se desprecian valores menores e iguales al 5%, sean estos pasante o retenidos por el tamiz N° 4 de los agregados que conforman la mezcla.

Cálculo por mezcla de agregados (Ver Anexo 3- A.2):

$$G_{sa} = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{G_{saGrueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{G_{saFino}}}$$

Donde:

$\%Ret. N^{\circ}4$ = Porcentaje retenido en el tamiz N°4 de la mezcla de agregados.

$\%Pasa N^{\circ}4$ = Porcentaje pasante del tamiz N°4 de la mezcla de agregados.

$G_{saGrueso}$ y G_{saFino} = Gravedades Específicas Bulk de la Mezcla de Agregados.

4.4.2. Gravedad Específica Teórica Máxima (G_{mm}), Ensayo RICE (Norma ASTM D 2041).

El ensayo determina la Gravedad Específica Teórica Máxima empleando una bomba de vacíos a una muestra de mezcla asfáltica suelta. Consiste introducir la muestra suelta, será previamente pesada de acuerdo lo indicado al tamaño máximo nominal (Tabla 4-8) 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.

Se emplea la siguiente fórmula para calcularla:

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

Donde:

A= Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno.

B= Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a 25°C ± 1°C (77°F).

C= Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a 25°C.

Tabla 4-8 Cantidad de Material para el Ensayo Rice.

Tamaño máximo nominal de la partícula en la muestra; mm (pulgada)	Muestra mínima (gr)
50,0 (2)	6000
37,5 (1 1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 (N°4)	500

Fuente: Norma ASTM D 2041.

Los resultados del ensayo RICE para determinar la Gravedad Específica Teórica Máxima del diseño están en el Anexo 3- B y en el Anexo 4- C se demuestra el ensayo con el porcentaje de cemento asfáltico óptimo y su fotografía del equipo en el Anexo 5- C.4.

4.4.3. Gravedad Específica Bulk de la Mezcla Asfáltica Compactada (Norma ASTM D 2726).

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. Se calcula por la fórmula siguiente (Ver Anexo 3- C y foto en Anexo 5- C.3):

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A= Masa de la probeta seca en el aire.

B= Masa en el aire de probeta saturada superficialmente.

C= Masa de la probeta en agua.

4.4.4. 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 (Ver Anexo 3- C) y se determina por 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.

4.4.5. Vacíos de aire (V_a).

De acuerdo con lo expuesto en el numeral 4.1.2., el porcentaje de vacíos de aire (Ver Anexo 3- C) se define por la fórmula:

$$V_a = \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \times 100$$

Donde:

G_{mb} = Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada.

G_{mm} = Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla (Ensayo Rice).

4.4.6. Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).

En el numeral 4.1.3., se describe a los Vacíos en el Agregado Mineral (Ver Anexo 3- C) y se determina por la ecuación:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

G_{mb} = Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada.

P_s = Porcentaje del agregado en la briqueta.

G_{sb} = Gravedad Específica Bulk de los agregados.

4.4.7. Vacíos llenos de asfalto (VFA).

Expresado en el numeral 4.1.4., enuncia los vacíos llenos de asfalto (Ver Anexo 3- C) y se calcula por medio de la ecuación:

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

Donde.

VMA = Porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

V_a = Porcentaje de vacíos de aire del volumen total de la muestra.

4.4.8. Porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}).

La absorción se expresa como un porcentaje del peso de agregado, más que como un porcentaje total del peso de la briqueta (Ver Anexo 3- C) y se expresa por la ecuación:

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

Donde:

G_{se} = Gravedad Específica Efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad Específica Bulk del agregado.

G_b = Gravedad Específica del asfalto.

4.4.9. Contenido de asfalto efectivo (P_{be}).

Es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto permitido por la absorción dentro de las partículas del agregado (Ver Anexo 3- C), se calcula por la ecuación:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

Donde:

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa de la mezcla.

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

P_s = Contenido de agregado, porcentaje de la masa de la mezcla.

4.4.10. Estabilidad y Flujo Marshall.

El ensayo de estabilidad determina la resistencia a la deformación y el flujo establece la deformación por efecto de una carga aplicada en la mezcla asfáltica.

Las briquetas son introducidas en baño maría a 60°C durante 30 o 40 minutos; esta temperatura representa la más caliente que una carpeta asfáltica pueda

experimentar durante su vida de servicio, luego los especímenes son retirados del baño maría para posteriormente secarlos y colocarlos rápidamente en la mordaza Marshall, después se aplicará una carga sobre las briquetas y por medio de medidores de carga y deformación obtener los valores de estabilidad y flujo.

4.4.10.1. Valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall determina la resistencia de una mezcla asfáltica a la deformación (Ver Anexo 3- C y fotografía en Anexo 5- C.5). 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.

4.4.10.2. Valor de Flujo Marshall.

La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la biqueta (Ver Anexo 3- C). 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.

4.4.11. Corrección de estabilidad por altura de la biqueta.

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 (Ver Anexo 3- C).

Los factores de corrección dependiendo su altura se presentan en tabla 4-9:

Tabla 4-9 Factor de Corrección por Altura de Briqueta.

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

Continúa...

Factor de Corrección para la Estabilidad							
Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.	Espesor (mm)	Factor Correcc.
49,5	1,543	54,0	1,320	58,5	1,149	63,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	58,6	1,146	63,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	58,7	1,143	63,2	1,008
49,8	1,526	54,3	1,307	58,8	1,140	63,3	1,005
49,9	1,521	54,4	1,303	58,9	1,137	63,4	1,003
50,0	1,515	54,5	1,298	59,0	1,134	63,5	1,000
50,1	1,509	54,6	1,294	59,1	1,131	63,6	0,998
50,2	1,504	54,7	1,289	59,2	1,128	63,7	0,995
50,3	1,498	54,8	1,285	59,3	1,124	63,8	0,993
50,4	1,493	54,9	1,281	59,4	1,121	63,9	0,990
50,5	1,487	55,0	1,276	59,5	1,118	64,0	0,988
50,6	1,481	55,1	1,272	59,6	1,115	64,1	0,985
50,7	1,476	55,2	1,268	59,7	1,112	64,2	0,983
50,8	1,470	55,3	1,263	59,8	1,109	64,3	0,980
50,9	1,465	55,4	1,259	59,9	1,106	64,4	0,978
51,0	1,460	55,5	1,254	60,0	1,103	64,5	0,975
51,1	1,455	55,6	1,250	60,1	1,099	64,6	0,973
51,2	1,450	55,7	1,246	60,2	1,096	64,7	0,970
51,3	1,445	55,8	1,243	60,3	1,093	64,8	0,968
51,4	1,440	55,9	1,239	60,4	1,090	64,9	0,965
51,5	1,435	56,0	1,235	60,5	1,087	65,0	0,963
51,6	1,430	56,1	1,231	60,6	1,084	65,1	0,960
51,7	1,425	56,2	1,228	60,7	1,081	65,2	0,958
51,8	1,420	56,3	1,224	60,8	1,078	65,3	0,956
51,9	1,415	56,4	1,220	60,9	1,074	65,4	0,954
52,0	1,410	56,5	1,218	61,0	1,071	65,5	0,953
52,1	1,405	56,6	1,213	61,1	1,068	65,6	0,951
52,2	1,400	56,7	1,209	61,2	1,065	65,7	0,949
52,3	1,395	56,8	1,205	61,3	1,062	65,8	0,947
52,4	1,390	56,9	1,201	61,4	1,059	65,9	0,945
52,5	1,386	57,0	1,198	61,5	1,056	66,0	0,943
52,6	1,381	57,1	1,194	61,6	1,053	66,1	0,941
52,7	1,377	57,2	1,190	61,7	1,049	66,2	0,939
52,8	1,373	57,3	1,187	61,8	1,046	66,3	0,938
52,9	1,368	57,4	1,184	61,9	1,043	66,4	0,936
53,0	1,364	57,5	1,181	62,0	1,040	66,5	0,934
53,1	1,359	57,6	1,178	62,1	1,037	66,6	0,932
53,2	1,355	57,7	1,174	62,2	1,035	66,7	0,930
53,3	1,351	57,8	1,171	62,3	1,032	66,8	0,928
53,4	1,346	57,9	1,168	62,4	1,029	66,9	0,925
53,5	1,342	58,0	1,165	62,5	1,027	67,0	0,923
53,6	1,338	58,1	1,162	62,6	1,024	67,1	0,920
53,7	1,333	58,2	1,159	62,7	1,021	67,2	0,918
53,8	1,329	58,3	1,156	62,8	1,019	67,3	0,915
53,9	1,324	58,4	1,153	62,9	1,016	67,4	0,913

Continúa...

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

Fuente: Norma ASTM T 245-97

4.4.12. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico se calculó por el Método del Instituto de Asfalto que considera el volumen de vacíos al 4% que determina el porcentaje de cemento asfáltico. Establecida la gráfica de estabilidad versus porcentaje de cemento asfáltico se escoge el máximo valor de la curva de estabilidad y se determina el porcentaje de cemento asfáltico, por último de la gráfica gravedad específica bulk versus el porcentaje de cemento asfáltico se selecciona el máximo valor que marca la curva de gravedad específica bulk y se determina el porcentaje del ligante asfáltico. De estos tres valores obtenidos se realiza un promedio, este será el porcentaje óptimo de CA a usarse en el diseño de mezcla asfáltica. Los valores están en la tabla 4-10.

Tabla 4-10 Cálculo del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.

CÁLCULO DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN EL INSTITUTO DEL ASFALTO	
Detalle	% C. A.
Volumen de Vacíos "4%" (%Va)	6,39
Estabilidad Marshall "Lb"	6,74
Gravedad Específica Bulk Compactada (Gmb)	6,6
% ÓPTIMO DE C.A.	6,6

Fuente: Autores

Determinado el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, se procede a la comprobación por medio del diseño Marshall solo con el porcentaje establecido. Fue necesario realizar los ensayos correspondientes para los tipos de tráfico, tales como se demuestra en el Anexo 4- B, ver fotografía en Anexo 5- C.6.

4.4.13. Tracción Indirecta, TSR; (Norma ASTM D 4867).

El ensayo de tracción indirecta (TSR) determina la resistencia a tracción diametral a briquetas colocadas horizontalmente en el Cabezal de Rotura LOTTMAN, con el propósito de medir el efecto del agua sobre la resistencia a la tracción indirecta. Se emplea en mezcla de agregados con granulometría densa o cerrada y se evalúan las mezclas con o sin aditivo de adherencia.

Descripción del ensayo, las briquetas a emplearse son elaboradas por el Método Marshall; la rotura de tracción indirecta se las realiza por vía seca y vía húmeda para evaluar la sensibilidad de las mezclas asfálticas a la acción del agua.

4.4.13.1. Rotura por vía seca.

Se determina la Gravedad Específica Bulk de la briqueta compactada, después se procede a la rotura por medio del Cabezal LOTTMAN.

4.4.13.2. Rotura por vía húmeda.

Se determina la Gravedad Específica Bulk de la briqueta compactada, luego las briquetas son introducidas en la bomba de vacíos por 5 minutos extrayendo el aire del interior de la briqueta para calcular el volumen de agua absorbida.

Posteriormente, las briquetas son introducidas en baño maría a 60°C por 24 horas, después las briquetas son acondicionadas a una temperatura de 25°C por 2 horas para medir altura y tomar peso saturado superficialmente seco, peso en agua de la briqueta, determinando así los porcentajes de saturación y expansión después del baño maría. Terminado las mediciones de las briquetas se procede a la rotura por medio del Cabezal LOTTMAN.

La norma indica el ciclo opcional de congelación que consiste en introducir las briquetas en un congelador por 16 horas a -18°C, después de transcurrido el tiempo se retiran las briquetas y se sumergen en baño maría a 60°C por 24 horas. Este ciclo opcional de congelación puede emplearse en zonas donde los cambios de temperatura son drásticos y afecta a la mezcla asfáltica compactada.

El cálculo para tracción indirecta se la determina por medio de la ecuación:

$$TSR = \frac{RT_h}{RT_s}$$

Donde:

RT_h= resistencia a la tensión por vía húmeda.

RT_s= resistencia a la tensión por vía seca.

La Norma Ecuatoriana Vial establece que la relación de tracción indirecta no deberá ser menor al 80%, ver cálculos en Anexo 4- C.1 al 4- C.3, y fotografía en Anexo 5- C.7.

4.4.14. Ensayo de Extracción de Asfalto (Norma ASTM D 2172).

El ensayo permite la determinación cuantitativa del cemento asfáltico de mezclas asfálticas en caliente para su aceptación, evaluación en servicio, control de calidad e investigaciones. Los agregados obtenidos en el ensayo se pueden emplear para análisis granulométrico.

El método consiste en colocar la porción de mezcla asfáltica (Tabla 4-11) en la taza de la centrifuga y dejar en reposar la muestra a ensayar con el disolvente por no más de 1 hora, luego se coloca la taza en la centrifuga con el papel filtro y se tapa para comenzar el ensayo de extracción, seguido a esto el disolvente sale por el orificio de desagüe y se agrega más disolvente hasta que salga limpio (puede ser hasta 5 veces lavados con disolvente).

Después de terminado la centrifuga el material es removido, inmediatamente se lleva al horno para ser secado y evaporar el disolvente impregnado en el agregado así también como el papel filtro, esto es importante para obtener el peso después de la centrifuga. El agregado producto de la extracción es empleado para el ensayo granulométrico (Ver cálculo Anexo 4- D y fotografía en Anexo 5- C.8).

El porcentaje de cemento asfáltico extraído se determina por la siguiente ecuación:

$$\%C.A_{.ext} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

$\%C.A_{.ext}$ = Porcentaje de cemento extraído.

P_i = Peso inicial de la muestra.

P_f = Peso final de la muestra incluido el peso de lo que queda retenido en el papel filtro.

Tabla 4-11 Masa Mínima a Usar para el Ensayo.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Masa Mínima de la Muestra
mm	pulgadas	kg
4,75	Nº4	0,5
9,50	3/8"	1,0
12,50	1/2"	1,5
19,00	1/4"	2,0
25,00	1"	3,0
37,5	1 1/2"	4,0

Fuente: ASTM D 2172

4.5. Interpretación de Resultados.

De los resultados obtenidos en los ensayos, se procede a realizar una comparación de estos con las especificaciones descritas por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTO).P).

Tabla 4-12 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Pesado

TRÁFICO PESADO

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES NEVI-12		RESULTADOS OBTENIDOS
	Mínimo	Máximo	
Porcentaje Óptimo de Asfalto "P _b "	NO ESPECIFICA		6,60%
Volumen de Vacíos "V _a "	3%	5%	4,41%
Volumen de Vacíos de Agregado Mineral "VMA"	14%	16%	15,43%
Volumen de Vacíos Llenos de Asfalto "VFA"	65%	75%	72,59%
Estabilidad (Lb)	1799,82	---	3251,23
Flujo	8	14	13
Tracción Indirecta	80%		87,71%

Fuente: Autores

Tabla 4-13 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Medio

TRÁFICO MEDIO

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES NEVI-12		RESULTADOS OBTENIDOS
	Mínimo	Máximo	
Porcentaje Óptimo de Asfalto "P _b "	NO ESPECIFICA		6,60%
Volumen de Vacíos "V _a "	3%	5%	4,57%
Volumen de Vacíos de Agregado Mineral "VMA"	14%	16%	15,64%
Volumen de Vacíos Llenos de Asfalto "VFA"	65%	78%	70,81%
Estabilidad (Lb)	1200,03	---	2824,98
Flujo	8	16	16
Tracción Indirecta	80%		85,41%

Fuente: Autores

Tabla 4-14 Comparación de Resultados Obtenidos - Tráfico Liviano.

TRÁFICO LIVIANO

ENSAYOS	ESPECIFICACIONES NEVI-12		RESULTADOS OBTENIDOS
	Mínimo	Máximo	
Porcentaje Óptimo de Asfalto "P _b "	NO ESPECIFICA		6,60%
Volumen de Vacíos "V _a "	3%	5%	4,65%
Volumen de Vacíos de Agregado Mineral "VMA"	14%	16%	15,81%
Volumen de Vacíos Llenos de Asfalto "VFA"	70%	80%	70,58%
Estabilidad (Lb)	749,96	---	2660,25
Flujo	8	18	18
Tracción Indirecta	70%		82,98%

Fuente: Autores

En las tablas 4-12, 4-13 y 4-14, pueden apreciarse los resultados obtenidos en los ensayos realizados al usar el porcentaje óptimo de asfalto (6,6%) para los diferentes tipos de tráfico.

En las tres tablas podemos fijarnos que los volúmenes que corresponden a los vacíos de aire (V_a), vacíos de agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA) presentes en las briquetas compactada cumplen con los requerimientos exigidos por la norma, aunque estos se encuentran casi al tope del límite superior de lo indicado por la NEVI-12 (M_{TOP}); por ello según lo indicado en las secciones 4.1.2, 4.1.3 y 4.1.4 la mezcla asfáltica compactada tendrá una durabilidad aceptable.

Se determinaron estabilidades muy por encima de lo indicado en las especificaciones, pero los flujos se encuentran en el límite superior estipulado en la norma, por lo que la mezcla asfáltica compactada será fácilmente deformable.

La resistencia a la tracción indirecta (TSR) para todos los tipos de tráfico se encuentra alrededor de 85% lo que satisface a lo que exige la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (M_{TOP}).

4.6. Presupuesto – Mezcla asfáltica en caliente

4.6.1. Empleando agregados locales

Materiales	Porcentaje
Piedra 1/2"	45
Arena triturada	35
Arena de río	20
Cemento asfáltico	6,6

Composición de la mezcla	
Cemento asfáltico	6,6 %
Agregado pétreo	93,4 %

Materiales	Peso (%)
Piedra 1/2"	42,03
Arena triturada	32,69
Arena de río	18,68
Total	93,40

Dosificación para un metro cúbico (m³)

Peso específico de una mezcla asfáltica → 2250 kg/m³

Materiales	Peso kg	Peso específico kg/m³	Volumen	Unidad
Piedra 1/2"	945,675	2404,31	0,39	m³
Arena triturada	735,525	2133,20	0,34	m³
Arena de río	420,300	2514,89	0,16	m³
Cemento asfáltico	148,500	1016,5	36,98	gal

Análisis de precio unitario APU

Rubro: Mezcla asfáltica en caliente usando agregados locales.

Materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Subtotal
Cemento asfáltico	gal	36,98	1,35	49,93
Piedra 1/2" - Cantera San Vicente de Colonche	m ³	0,39	15	5,85
Arena triturada - Cantera San Vicente de Colonche	m ³	0,34	12	4,08
Arena de rio - San Rafael	m ³	0,16	12	1,92
Total Materiales				\$ 61,78

Mano de Obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Costo Unitario	Subtotal
Operador de planta asfáltica	Hora	1	0,015	2,78	0,042
Operador de mini cargadora frontal	Hora	1	0,015	2,78	0,042
Peón	Hora	2	0,02	2,00	0,080
Total Mano de Obra					\$ 0,16

Equipo y Maquinaria

Descripción	Unidad	Cantidad	Rendimiento	Costo Unitario	Subtotal
Planta asfáltica	Hora	1	0,015	50	0,75
Mini cargadora frontal	Hora	1	0,015	20	0,30
Herramienta menor	3%				0,03
Total Equipo y Maquinaria					\$ 1,08
TOTAL COSTOS DIRECTOS					63,02
COSTOS INDIRECTOS (20%)					12,60
TOTAL					\$ 75,63

4.6.2. Precios de mezcla asfáltica en el mercado.

➤ EMUVIAL EP → \$82,00

5. CAPÍTULO V “CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES”.

5.1. Conclusiones.

- ✓ Se realizaron ensayos exigidos por la norma NEVI-12 en las secciones 400 y 800 para determinar las propiedades de los agregados pétreos; de acuerdo con los resultados obtenidos se determinó que los materiales provenientes de la Cantera San Vicente de Colonche y Cantera del Río San Rafael, están en un rango de aceptabilidad a pesar que en el ensayo de determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable, índice de aplanamiento y alargamiento, y durabilidad del agregado excede máximo con 2% de lo estipulado en la norma.
- ✓ De acuerdo a las propiedades de los agregados se logró establecer las proporciones y cumplir con una gradación densa establecida para una mezcla asfáltica en caliente que son: 45% de Agregado Grueso, 35% de Arena Triturada, 20% de Arena de Río.
- ✓ Se realizaron mezclas de pruebas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, para determinar el Porcentaje Óptimo de Asfalto empleando el Método del Instituto del Asfalto y obteniendo como resultado 6,6% de cemento óptimo de asfalto.
- ✓ De acuerdo con los resultados obtenidos, se logró determinar que los parámetros como son la estabilidad y flujo cumplen con lo estipulado por la Norma Ecuatoriana Vial, para un diseño de mezcla asfáltica en caliente bajo la metodología Marshall.
- ✓ Comparando los precios por metro cúbico de mezcla asfáltica usando material pétreo importado versus el costo de una que emplee agregados locales se determinó que existe una reducción de costos de aproximadamente un 7%.

- ✓ La Temperatura juega un papel muy importante en el proceso de compactación de mezclas, puesto a esto el diseño fue realizado a temperaturas de alrededor de 125°C, lo que evita tener un elevado porcentaje de vacíos.

5.2. Recomendaciones.

- ✓ Para la explotación del agregado se recomienda, que sea dirigido por un ingeniero geólogo y a su vez realizar un control de la calidad del material para así poder trabajar con la beta más adecuada, evitando de esta manera mezclarse con materiales no deseables que perjudique las propiedades tales como la durabilidad (resistencia al ataque químico de los sulfatos) y limpieza (terrones de arcilla y partículas deleznable).

- ✓ Controlar el porcentaje de cemento asfáltico en la fabricación de las mezclas asfálticas en caliente debido a que el flujo se encuentra en el límite superior de lo especificado por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTO).

- ✓ Se recomienda también usar un aditivo para mejorar la adherencia entre los agregados y el cemento asfáltico, aunque la mezcla como tal no necesita de mejorar su adherencia, se sugiere usarlo para disminuir su flujo sin que se vea afectada su estabilidad.

- ✓ Para conseguir mejor precisión en los datos obtenidos en la elaboración de briquetas para el diseño de mezcla asfáltica y obtener el porcentaje de asfalto óptimo, se recomienda que una sola persona realice los ensayos del diseño de mezcla asfáltica en caliente, evitando de esta forma la mala manipulación por personas ajenas al diseño.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ Abraham Rodríguez (2003). *Manual de Prácticas de Laboratorio de Pavimento*.
- ✓ Asphalt Institute (1986). *Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente, MS 22*.
- ✓ American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993): método AASHTO.
- ✓ ASTM. American Society for Testing and Materials. Annual Books of Standards, 2001.
- ✓ Curso de Entrenamiento en Materiales Asfálticos. MTOP – Quito, Ecuador, 2014.
- ✓ Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 (MTOP), edición 2012 (en revisión).
- ✓ Norma Colombiana INV E.
- ✓ Norma Técnica Ecuatoriana – Instituto Ecuatoriano de Normalización NTE-INEN.
- ✓ Silene Minaya, Abel Ordoñez (2001). *Manual de Laboratorio Ensayos para pavimentos- Volumen I. Lima*.
- ✓ Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción. Instituto Chileno del Asfalto, 1985.

7. ANEXOS.

Anexo 1. Ensayos Realizados a los Agregados.

Anexo 2. Ensayos Realizados al Cemento Asfáltico.

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

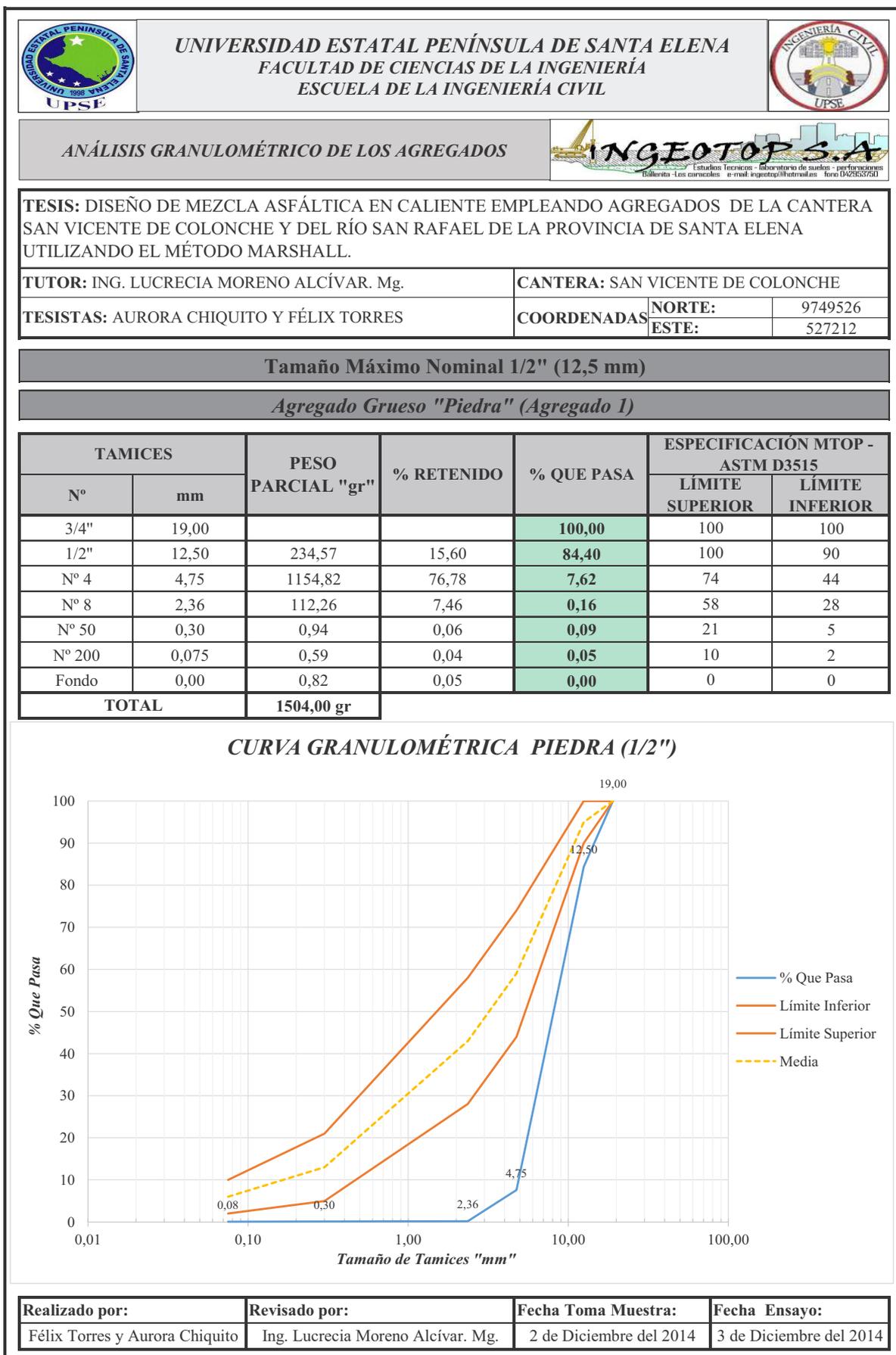
Anexo 4. Comprobación de Porcentaje Óptimo Calculado.

Anexo 5. Fotografías.

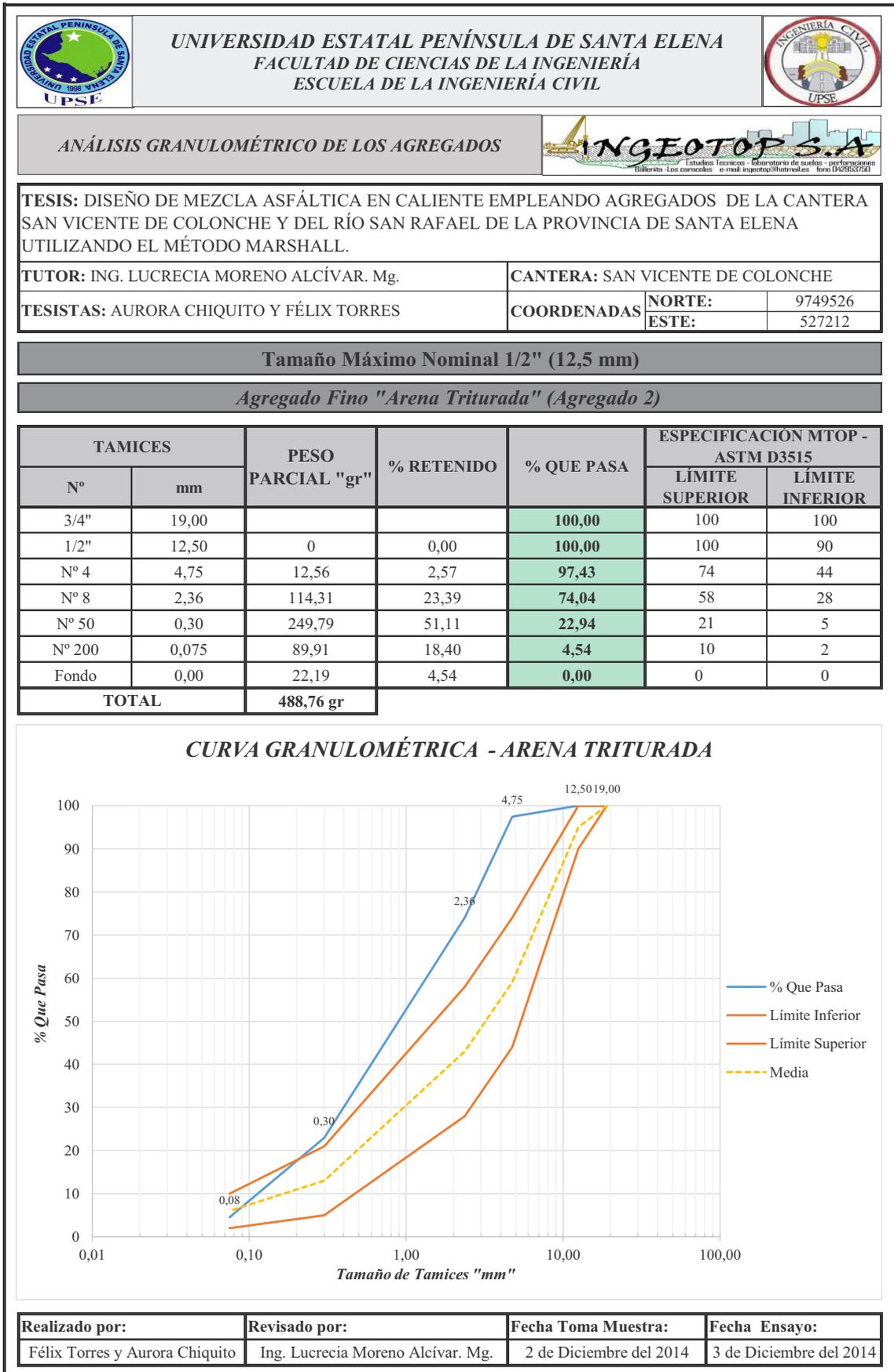
Anexo 1.

Ensayos Realizados a los Agregados

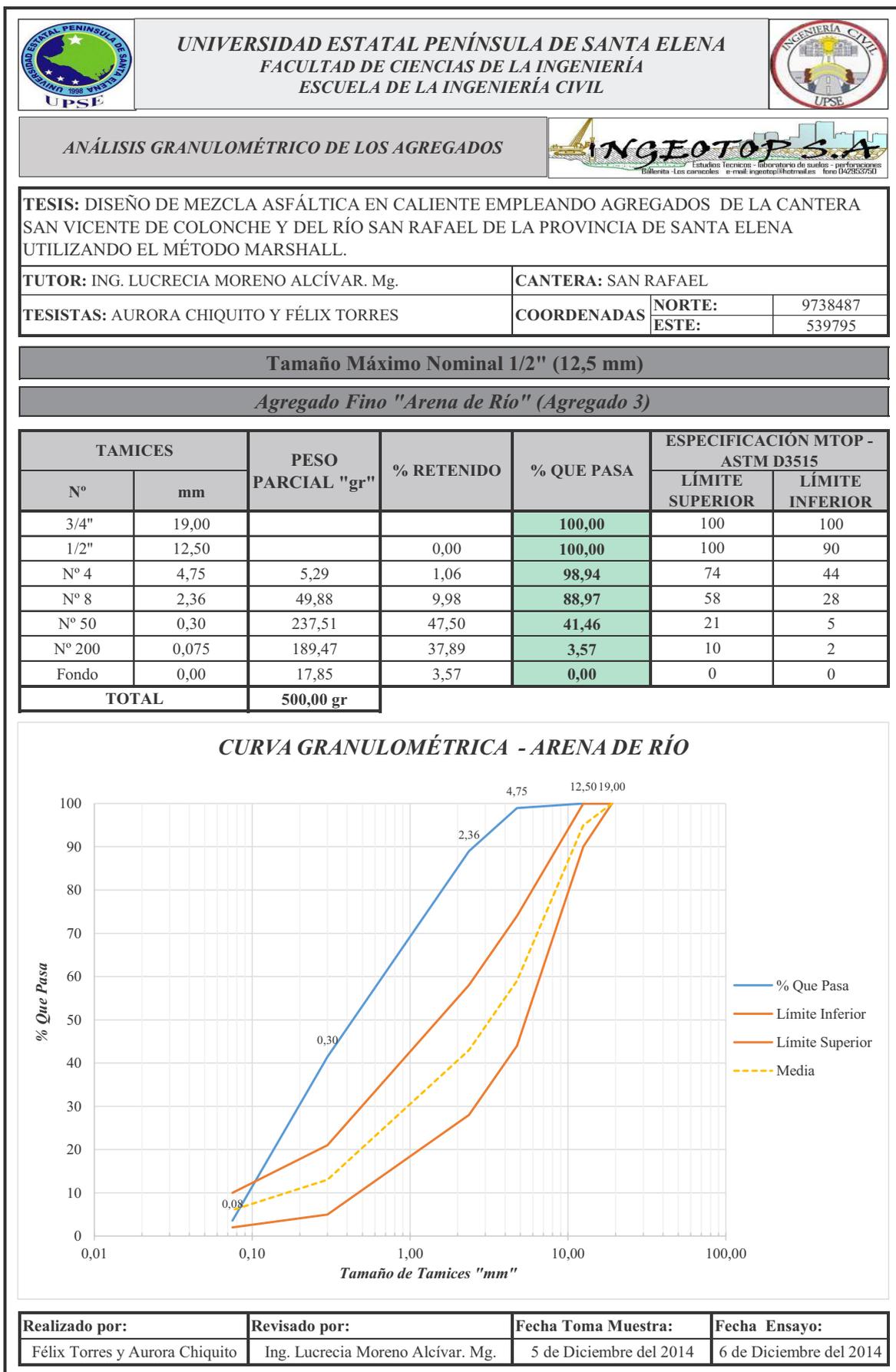
Anexo 1- A.1: Granulometría de la Piedra de 1/2".



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



Anexo 1- A.3: Granulometría de la Arena de Río.



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



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
 ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA MEZCLA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.

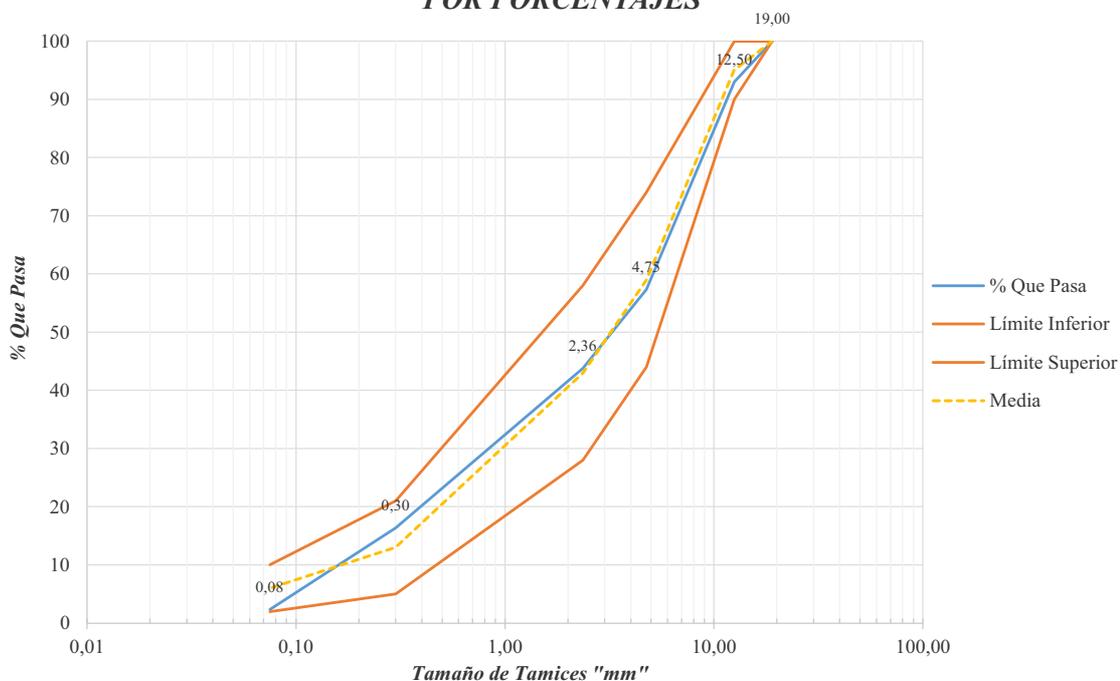
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES

Tamaño Máximo Nominal 1/2" (12,5 mm)

Gradación Combinadas para Mezclas Asfálticas

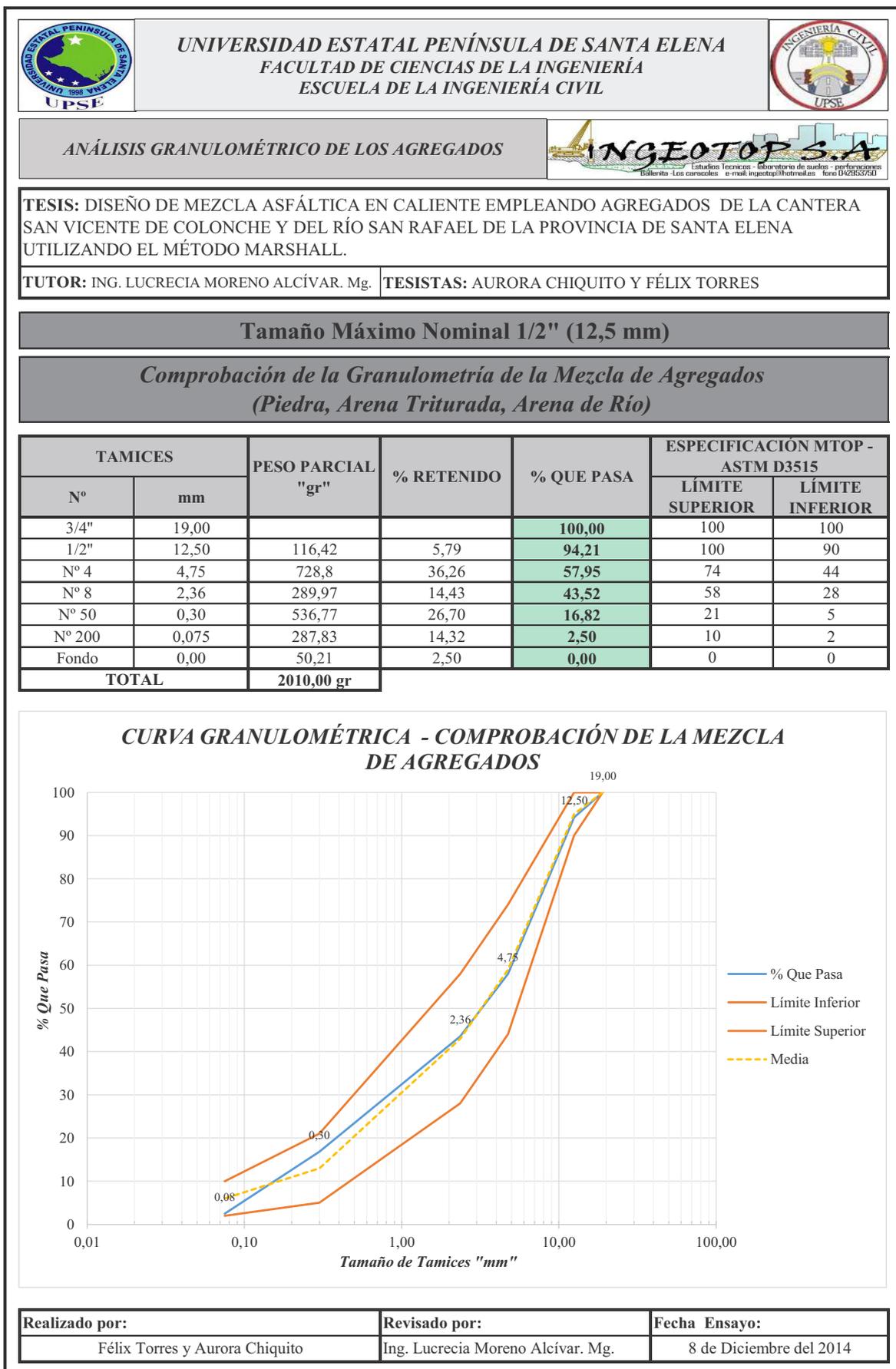
TAMICES TAMAÑO DE ABERTURA		% QUE PASA			% MEZCLA AGREGADOS			ESPECIFICACIÓN MTOP - ASTM D3515	
Nº	mm	Agregado 1 Piedra	Agregado 2 Arena Triturada	Agregado 3 Arena de Río	Agr 1 45%	Agr 2 35%	Agr 3 20%	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/4"	19,00	100,00	100,00	100,00	100,00			100	100
1/2"	12,50	84,40	100,00	100,00	92,98			100	90
Nº 4	4,75	7,62	97,43	98,94	57,32			74	44
Nº 8	2,36	0,16	74,04	88,97	43,78			58	28
Nº 50	0,30	0,09	22,94	41,46	16,36			21	5
Nº 200	0,075	0,05	4,54	3,57	2,33			10	2

CURVA GRANULOMÉTRICA - COMBINACIÓN DE AGREGADOS POR PORCENTAJES

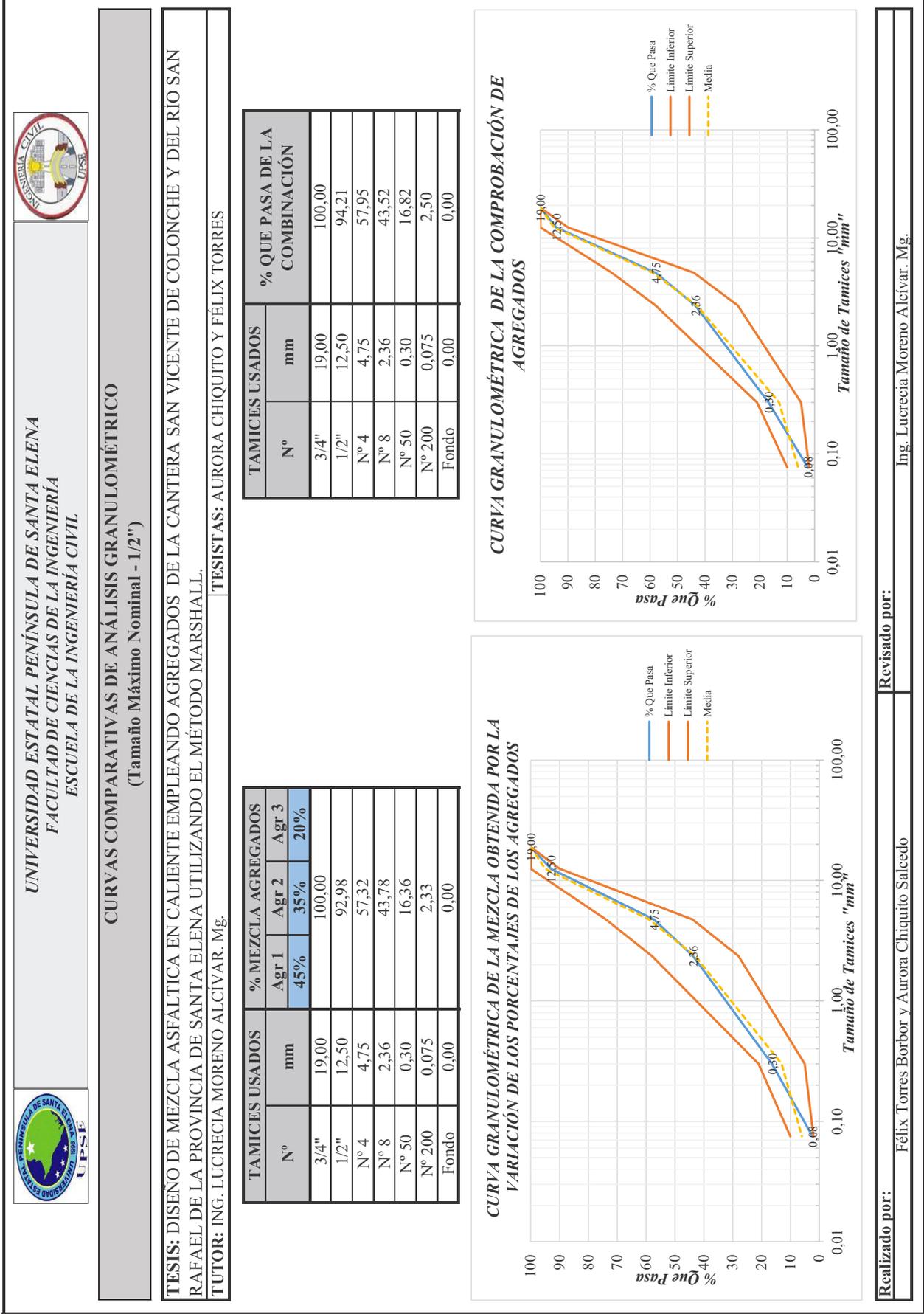


Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno.Mg.	Fecha Toma Muestra: 5 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 6 de Diciembre del 2014
---	--	---	---

Anexo 1- A.5: Granulometría de la Combinación de Agregados.



Anexo 1- A.6: Comparación de Curvas Granulométricas.



Anexo 1- B.1: Ensayo #1



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO
 DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**



TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C-131"

Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
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	Nº 4	4,76			2500 ± 10	
Nº 4	4,76	Nº 8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Fórmula:

$$\%Desg. = \frac{W_{Inicial} - W_{Final}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Cálculo:

Método a Utilizar : C
 Número de Esferas : 8
 Número de Revoluciones: 500
 Tiempo de Revol. "min": 15

Pasa el Tamiz "Nº"	Retenido en Tamiz "Nº"	Peso Antes del Ensayo "gr"	Peso Después del Ensayo "gr"
3/8	1/4	2500	
1/4	Nº 4	2500	
Total		5000	3802

% Desgaste

23,96%

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 1 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 8 de Diciembre del 2014
---	---	---	---

Anexo 1- B.2: Ensayo #2



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO
 DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**



TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR.Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C-131"

Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
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	Nº 4	4,76			2500 ± 10	
Nº 4	4,76	Nº 8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Fórmula:

$$\%Desg. = \frac{W_{Inicial} - W_{Final}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Cálculo

Método a Utilizar : C
 Número de Esferas : 8
 Número de Revoluciones: 500
 Tiempo de Revol. "min": 15

Pasa el Tamiz "Nº"	Retenido en Tamiz "Nº"	Peso Antes del Ensayo "gr"	Peso Después del Ensayo "gr"
3/8	1/4	2504	
1/4	Nº 4	2500	
Total		5004	3795

% Desgaste

24,16%

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 1 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 8 de Diciembre del 2014
---	---	---	---

Anexo 1- B.3: Ensayo #3



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO
 DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**



TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C-131"

Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
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	Nº 4	4,76			2500 ± 10	
Nº 4	4,76	Nº 8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Fórmula:

$$\%Desg. = \frac{W_{Inicial} - W_{Final}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Cálculo

Método a Utilizar : C
 Número de Esferas : 8
 Número de Revoluciones: 500
 Tiempo de Revol. "min": 15

Pasa el Tamiz "Nº"	Retenido en Tamiz "Nº"	Peso Antes del Ensayo "gr"	Peso Después del Ensayo "gr"
3/8	1/4	2505	
1/4	Nº 4	2502	
Total		5007	3837

% Desgaste

23,37%

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 1 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 8 de Diciembre del 2014
---	---	---	---

Anexo 1- B.4: Desgaste Promedio del Agregado.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



**ENSAYO DE ABRASIÓN POR MEDIO
 DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**



TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C-131"

Tabla de Método y Cantidad de Material a Utilizar

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa el Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
Nº	"mm"	Nº	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
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	Nº 4	4,76			2500 ± 10	
Nº 4	4,76	Nº 8	2,38				5000 ± 10
Peso Total				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

Fuente: Ensayo Abrasión Norma ASTM C-131

Fórmula:

$$\%Desg. = \frac{W_{Inicial} - W_{Final}}{W_{Inicial}} \times 100$$

Cálculo

Método a Utilizar : C
 Número de Esferas : 8
 Número de Revoluciones: 500
 Tiempo de Revol. "min": 15

Abrasión N°	% Desgastes Obtenidos	% Desgaste Promedio
1	23,96%	23,83%
2	24,16%	
3	23,37%	

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 1 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 8 de Diciembre del 2014
---	---	---	---

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																																														
DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS																																																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																																													
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS: <table border="1" style="float: right; margin-left: 10px;"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9749526</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>527212</td> </tr> </table>	NORTE:	9749526	ESTE:	527212																																																									
NORTE:	9749526																																																														
ESTE:	527212																																																														
"NORMA ASTM D 4791-99"																																																															
Cantidad de masa a utilizar:																																																															
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2">MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>in</th> <th>Kg</th> <th>Lb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9,5</td><td>3/8</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>12,5</td><td>1/2</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>19</td><td>3/4</td><td>5</td><td>11</td></tr> <tr><td>25</td><td>1</td><td>10</td><td>22</td></tr> <tr><td>37,5</td><td>1 1/2</td><td>15</td><td>33</td></tr> <tr><td>50</td><td>2</td><td>20</td><td>44</td></tr> <tr><td>63</td><td>2 1/2</td><td>35</td><td>77</td></tr> <tr><td>75</td><td>3</td><td>60</td><td>130</td></tr> <tr><td>90</td><td>3 1/2</td><td>100</td><td>220</td></tr> <tr><td>100</td><td>4</td><td>150</td><td>330</td></tr> <tr><td>112</td><td>4 1/2</td><td>200</td><td>440</td></tr> <tr><td>125</td><td>5</td><td>300</td><td>660</td></tr> <tr><td>150</td><td>6</td><td>500</td><td>1100</td></tr> </tbody> </table>				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
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																																																												
<i>Fuente: Norma ASTM D 4791-99.</i>																																																															
Fórmula:																																																															
<p style="text-align: center;">Índice de Aplanamiento</p> $I_{Apl.} = \frac{W_{Part.Planas}}{W_{Inicial}} \times 100$		<p style="text-align: center;">Índice de Alargamiento</p> $I_{Alag.} = \frac{W_{Part.Alarg.}}{W_{Inicial}} \times 100$																																																													
Cálculo:																																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Tamices a Usar</th> <th rowspan="2">% Retenido Granulometría</th> <th rowspan="2">Peso Inicial</th> <th colspan="4">Partículas</th> </tr> <tr> <th>Planas</th> <th>Alargadas</th> <th>Planas y Alargadas</th> <th>Ni Planas, Ni Alargadas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th></th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>84,40</td> <td>1000</td> <td>129,12</td> <td>5,15</td> <td>0,00</td> <td>865,73</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td>5,72</td> <td>500</td> <td>83,60</td> <td>12,37</td> <td>0,00</td> <td>404,03</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td>1500</td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table>				Tamices a Usar		% Retenido Granulometría	Peso Inicial	Partículas				Planas	Alargadas	Planas y Alargadas	Ni Planas, Ni Alargadas	Pasante	Retenido		gr	gr	gr	gr	gr	1/2"	3/8"	84,40	1000	129,12	5,15	0,00	865,73	3/8"	1/4"	5,72	500	83,60	12,37	0,00	404,03	TOTAL			1500																				
Tamices a Usar		% Retenido Granulometría	Peso Inicial					Partículas																																																							
				Planas	Alargadas	Planas y Alargadas	Ni Planas, Ni Alargadas																																																								
Pasante	Retenido		gr	gr	gr	gr	gr																																																								
1/2"	3/8"	84,40	1000	129,12	5,15	0,00	865,73																																																								
3/8"	1/4"	5,72	500	83,60	12,37	0,00	404,03																																																								
TOTAL			1500																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar</th> <th rowspan="2">Índice de Aplanamiento Parcial</th> <th rowspan="2">Índice de Alargamiento Parcial</th> <th rowspan="2">Índice de Aplanamiento</th> <th rowspan="2">Índice de Alargamiento</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>12,91 %</td> <td>0,52 %</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">13,15 %</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">0,64 %</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td>16,72 %</td> <td>2,47 %</td> </tr> </tbody> </table>				Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial	Índice de Alargamiento Parcial	Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento	Pasante	Retenido	1/2"	3/8"	12,91 %	0,52 %	13,15 %	0,64 %	3/8"	1/4"	16,72 %	2,47 %																																										
Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial	Índice de Alargamiento Parcial	Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento																																																										
Pasante	Retenido																																																														
1/2"	3/8"	12,91 %	0,52 %	13,15 %	0,64 %																																																										
3/8"	1/4"	16,72 %	2,47 %																																																												
Nota: El ensayo fue realizado utilizando el Calibrador Proporcional, empleando la relación exigida por el MTOP, para Diseño de Mezclas Asfálticas Densas 5:1 , según Tabla 811-4.3																																																															
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.																																																													
Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014		Fecha Ensayo: 23 de Diciembre del 2014																																																													

Anexo 1- C.2: Ensayo por Partícula.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																																													
DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS PLANAS Y ALARGADAS																																																														
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																														
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																																												
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS: <table border="1" style="float: right; margin-top: -10px;"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9749526</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>527212</td> </tr> </table>	NORTE:	9749526	ESTE:	527212																																																								
NORTE:	9749526																																																													
ESTE:	527212																																																													
"NORMA ASTM D 4791-99"																																																														
<u>Cantidad de masa a utilizar:</u>																																																														
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2">MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO</th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>in</th> <th>Kg</th> <th>Lb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9,5</td><td>3/8</td><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>12,5</td><td>1/2</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>19</td><td>3/4</td><td>5</td><td>11</td></tr> <tr><td>25</td><td>1</td><td>10</td><td>22</td></tr> <tr><td>37,5</td><td>1 1/2</td><td>15</td><td>33</td></tr> <tr><td>50</td><td>2</td><td>20</td><td>44</td></tr> <tr><td>63</td><td>2 1/2</td><td>35</td><td>77</td></tr> <tr><td>75</td><td>3</td><td>60</td><td>130</td></tr> <tr><td>90</td><td>3 1/2</td><td>100</td><td>220</td></tr> <tr><td>100</td><td>4</td><td>150</td><td>330</td></tr> <tr><td>112</td><td>4 1/2</td><td>200</td><td>440</td></tr> <tr><td>125</td><td>5</td><td>300</td><td>660</td></tr> <tr><td>150</td><td>6</td><td>500</td><td>1100</td></tr> </tbody> </table> <p style="font-size: small; text-align: center;">Fuente: Norma ASTM D 4791-99</p>			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
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																																																											
<u>Fórmula:</u>																																																														
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; background-color: #e0f0ff;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">Índice de Aplanamiento</p> $I_{Apl.} = \frac{W_{Part.Planas}}{W_{Inicial}} \times 100$ </div>		<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; background-color: #e0f0ff;"> <p style="text-align: center; margin: 0;">Índice de Alargamiento</p> $I_{Alag.} = \frac{W_{Part.Alarg.}}{W_{Inicial}} \times 100$ </div>																																																												
<u>Cálculo:</u>																																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar</th> <th rowspan="2">% Retenido Granulometría</th> <th rowspan="2">N° de Piedras Utilizadas</th> <th rowspan="2">Peso Inicial</th> <th colspan="4">Partículas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>Planas</th> <th>Alargadas</th> <th>Planas y Alargadas</th> <th>Ni Planas, Ni Alargadas</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th></th> <th></th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> <th>gr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>84,40</td> <td>200</td> <td>284,70</td> <td>38,72</td> <td>2,11</td> <td>0,00</td> <td>243,87</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td>5,72</td> <td>200</td> <td>187,10</td> <td>39,94</td> <td>4,04</td> <td>0,00</td> <td>143,12</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td>471,80</td> <td colspan="4"></td> </tr> </tbody> </table>		Tamices a Usar		% Retenido Granulometría	N° de Piedras Utilizadas	Peso Inicial	Partículas				Pasante	Retenido	Planas	Alargadas	Planas y Alargadas	Ni Planas, Ni Alargadas					gr	gr	gr	gr	gr	1/2"	3/8"	84,40	200	284,70	38,72	2,11	0,00	243,87	3/8"	1/4"	5,72	200	187,10	39,94	4,04	0,00	143,12	TOTAL				471,80														
Tamices a Usar		% Retenido Granulometría	N° de Piedras Utilizadas				Peso Inicial	Partículas																																																						
Pasante	Retenido			Planas	Alargadas	Planas y Alargadas		Ni Planas, Ni Alargadas																																																						
				gr	gr	gr	gr	gr																																																						
1/2"	3/8"	84,40	200	284,70	38,72	2,11	0,00	243,87																																																						
3/8"	1/4"	5,72	200	187,10	39,94	4,04	0,00	143,12																																																						
TOTAL				471,80																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar</th> <th>Índice de Aplanamiento Parcial</th> <th>Índice de Alargamiento Parcial</th> <th>Índice de Aplanamiento</th> <th>Índice de Alargamiento</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>13,60 %</td> <td>0,74 %</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">14,09 %</td> <td rowspan="2" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">0,83 %</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>1/4"</td> <td>21,35 %</td> <td>2,16 %</td> </tr> </tbody> </table>		Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial	Índice de Alargamiento Parcial	Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento	Pasante	Retenido					1/2"	3/8"	13,60 %	0,74 %	14,09 %	0,83 %	3/8"	1/4"	21,35 %	2,16 %																																							
Tamices a Usar		Índice de Aplanamiento Parcial	Índice de Alargamiento Parcial	Índice de Aplanamiento	Índice de Alargamiento																																																									
Pasante	Retenido																																																													
1/2"	3/8"	13,60 %	0,74 %	14,09 %	0,83 %																																																									
3/8"	1/4"	21,35 %	2,16 %																																																											
<p>Nota: El ensayo fue realizado utilizando el Calibrador Proporcional, empleando la relación exigida por el MTOP, para Diseño de Mezclas Asfálticas Densas <u>5:I</u>, según <u>Tabla 811-4.3</u></p>																																																														
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar		Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014																																																										
				Fecha Ensayo: 23 de Diciembre del 2014																																																										

	UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																														
DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO GRUESO (CARAS FRACTURADAS)																																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																													
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">NORTE:</td> <td style="border: none;">9749526</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">ESTE:</td> <td style="border: none;">527212</td> </tr> </table>	NORTE:	9749526	ESTE:	527212																																									
NORTE:	9749526																																														
ESTE:	527212																																														
"NORMA ASTM D 5821-01"																																															
<u>Cantidad de masa a utilizar:</u>																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2">MASA</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>19,0</td><td>3/4</td><td>1500</td><td>3</td></tr> <tr><td>25,0</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>50,0</td><td>2</td><td>15000</td><td>33</td></tr> <tr><td>63,0</td><td>2 1/2</td><td>30000</td><td>66</td></tr> <tr><td>75,0</td><td>3</td><td>60000</td><td>123</td></tr> <tr><td>90,0</td><td>3 1/2</td><td>90000</td><td>198</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Fuente: Norma ASTM D 5821-01</p>				TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA		mm	in	gr	lb	9,5	3/8	200	0,5	12,5	1/2	500	1	19,0	3/4	1500	3	25,0	1	3000	6,5	37,5	1 1/2	7500	16,5	50,0	2	15000	33	63,0	2 1/2	30000	66	75,0	3	60000	123	90,0	3 1/2	90000	198
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA																																													
mm	in	gr	lb																																												
9,5	3/8	200	0,5																																												
12,5	1/2	500	1																																												
19,0	3/4	1500	3																																												
25,0	1	3000	6,5																																												
37,5	1 1/2	7500	16,5																																												
50,0	2	15000	33																																												
63,0	2 1/2	30000	66																																												
75,0	3	60000	123																																												
90,0	3 1/2	90000	198																																												
<u>Fórmula:</u>																																															
<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100$ </div>																																															
<u>Nomenclatura:</u>																																															
<p><i>P</i> = Porcentaje de partículas con caras fracturadas. <i>F</i> = Masa de partículas con caras fracturadas. <i>Q</i> = Masa de partículas cuestionables. <i>N</i> = Masa de partículas que no cumple con el criterio de partículas fracturadas.</p>																																															
<u>Cálculo:</u>																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar (in)</th> <th rowspan="2">% Retenido Granulometría</th> <th>Peso Inicial</th> <th>Caras Fracturadas</th> <th>Caras Cuestionables</th> <th>Caras No Fracturadas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>gr</th> <th>F</th> <th>Q</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>15,60</td> <td>200,50</td> <td>195,93</td> <td>1,05</td> <td>3,52</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>Nº 4</td> <td>76,78</td> <td>201,20</td> <td>189,90</td> <td>0,95</td> <td>10,35</td> </tr> <tr> <td colspan="3">TOTAL</td> <td>401,70</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Peso Inicial	Caras Fracturadas	Caras Cuestionables	Caras No Fracturadas	Pasante	Retenido	gr	F	Q	N	3/4"	1/2"	15,60	200,50	195,93	1,05	3,52	1/2"	Nº 4	76,78	201,20	189,90	0,95	10,35	TOTAL			401,70										
Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Peso Inicial	Caras Fracturadas	Caras Cuestionables	Caras No Fracturadas																																									
Pasante	Retenido		gr	F	Q	N																																									
3/4"	1/2"	15,60	200,50	195,93	1,05	3,52																																									
1/2"	Nº 4	76,78	201,20	189,90	0,95	10,35																																									
TOTAL			401,70																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar (in)</th> <th>Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales</th> <th rowspan="2">Porcentaje de Caras Fracturadas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>P</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>97,98 %</td> <td rowspan="2" style="background-color: #c8e6c9;">95,19 %</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>Nº 4</td> <td>94,62 %</td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar (in)		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales	Porcentaje de Caras Fracturadas	Pasante	Retenido	P	1/2"	3/8"	97,98 %	95,19 %	3/8"	Nº 4	94,62 %																											
Tamices a Usar (in)		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales	Porcentaje de Caras Fracturadas																																												
Pasante	Retenido	P																																													
1/2"	3/8"	97,98 %	95,19 %																																												
3/8"	Nº 4	94,62 %																																													
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.		Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014		Fecha Ensayo: 17 de Enero del 2014																																									

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																														
PROMEDIO DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO GRUESO (CARAS FRACTURADAS)																																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																													
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9749526</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>527212</td> </tr> </table>	NORTE:	9749526	ESTE:	527212																																									
NORTE:	9749526																																														
ESTE:	527212																																														
"NORMA ASTM D 5821-01"																																															
<u>Cantidad de masa a utilizar:</u>																																															
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2">MASA</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>19,0</td><td>3/4</td><td>1500</td><td>3</td></tr> <tr><td>25,0</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>50,0</td><td>2</td><td>15000</td><td>33</td></tr> <tr><td>63,0</td><td>2 1/2</td><td>30000</td><td>66</td></tr> <tr><td>75,0</td><td>3</td><td>60000</td><td>123</td></tr> <tr><td>90,0</td><td>3 1/2</td><td>90000</td><td>198</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Fuente: Norma ASTM D 5821-01</p>				TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA		mm	in	gr	lb	9,5	3/8	200	0,5	12,5	1/2	500	1	19,0	3/4	1500	3	25,0	1	3000	6,5	37,5	1 1/2	7500	16,5	50,0	2	15000	33	63,0	2 1/2	30000	66	75,0	3	60000	123	90,0	3 1/2	90000	198
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA																																													
mm	in	gr	lb																																												
9,5	3/8	200	0,5																																												
12,5	1/2	500	1																																												
19,0	3/4	1500	3																																												
25,0	1	3000	6,5																																												
37,5	1 1/2	7500	16,5																																												
50,0	2	15000	33																																												
63,0	2 1/2	30000	66																																												
75,0	3	60000	123																																												
90,0	3 1/2	90000	198																																												
<u>Fórmula:</u>																																															
$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100$																																															
<u>Nomenclatura:</u>																																															
<p><i>P</i> = Porcentaje de partículas con caras fracturadas.</p> <p><i>F</i> = Masa de partículas con caras fracturadas.</p> <p><i>Q</i> = Masa de partículas cuestionables.</p> <p><i>N</i> = Masa de partículas que no cumple con el criterio de partículas fracturadas.</p>																																															
<u>Cálculo:</u>																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar (in)</th> <th rowspan="2">% Retenido Granulometría</th> <th rowspan="2">Peso Inicial gr</th> <th>Caras Fracturadas</th> <th>Caras Cuestionables</th> <th>Caras No Fracturadas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> <th>F</th> <th>Q</th> <th>N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3/4"</td> <td>1/2"</td> <td>15,60</td> <td>202,50</td> <td>185,29</td> <td>1,05</td> <td>16,16</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>N° 4</td> <td>76,78</td> <td>201,68</td> <td>194,29</td> <td>0,95</td> <td>6,44</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">TOTAL</td> <td>404,18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Peso Inicial gr	Caras Fracturadas	Caras Cuestionables	Caras No Fracturadas	Pasante	Retenido	F	Q	N	3/4"	1/2"	15,60	202,50	185,29	1,05	16,16	1/2"	N° 4	76,78	201,68	194,29	0,95	6,44	TOTAL			404,18											
Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Peso Inicial gr	Caras Fracturadas	Caras Cuestionables	Caras No Fracturadas																																									
Pasante	Retenido			F	Q	N																																									
3/4"	1/2"	15,60	202,50	185,29	1,05	16,16																																									
1/2"	N° 4	76,78	201,68	194,29	0,95	6,44																																									
TOTAL			404,18																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices a Usar (in)</th> <th rowspan="2">Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P</th> <th rowspan="2">Porcentaje de Caras Fracturadas</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1/2"</td> <td>3/8"</td> <td>91,76 %</td> <td rowspan="2" style="background-color: #e0ffe0; text-align: center; vertical-align: middle;">95,76 %</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>N° 4</td> <td>96,57 %</td> </tr> </tbody> </table>							Tamices a Usar (in)		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P	Porcentaje de Caras Fracturadas	Pasante	Retenido	1/2"	3/8"	91,76 %	95,76 %	3/8"	N° 4	96,57 %																												
Tamices a Usar (in)		Porcentaje de Caras Fracturadas Parciales P	Porcentaje de Caras Fracturadas																																												
Pasante	Retenido																																														
1/2"	3/8"	91,76 %	95,76 %																																												
3/8"	N° 4	96,57 %																																													
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.		Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014		Fecha Ensayo: 17 de Enero del 2014																																									

Anexo 1- D.3: Promedio de Ensayos.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL																																														
DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO GRUESO (CARAS FRACTURADAS)																																															
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																													
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS: <table border="1" style="float: right; margin-left: 10px;"> <tr> <td>NORTE:</td> <td>9749526</td> </tr> <tr> <td>ESTE:</td> <td>527212</td> </tr> </table>	NORTE:	9749526	ESTE:	527212																																									
NORTE:	9749526																																														
ESTE:	527212																																														
"NORMA ASTM D 5821-01"																																															
<u>Cantidad de masa a utilizar:</u>																																															
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">MASA</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">mm</th> <th style="text-align: center;">in</th> <th style="text-align: center;">gr</th> <th style="text-align: center;">lb</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">9,5</td><td style="text-align: center;">3/8</td><td style="text-align: center;">200</td><td style="text-align: center;">0,5</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">12,5</td><td style="text-align: center;">1/2</td><td style="text-align: center;">500</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">19,0</td><td style="text-align: center;">3/4</td><td style="text-align: center;">1500</td><td style="text-align: center;">3</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">25,0</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">3000</td><td style="text-align: center;">6,5</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">37,5</td><td style="text-align: center;">1 1/2</td><td style="text-align: center;">7500</td><td style="text-align: center;">16,5</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">50,0</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">15000</td><td style="text-align: center;">33</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">63,0</td><td style="text-align: center;">2 1/2</td><td style="text-align: center;">30000</td><td style="text-align: center;">66</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">75,0</td><td style="text-align: center;">3</td><td style="text-align: center;">60000</td><td style="text-align: center;">123</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">90,0</td><td style="text-align: center;">3 1/2</td><td style="text-align: center;">90000</td><td style="text-align: center;">198</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Fuente: Norma ASTM D 5821-01</p>				TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA		mm	in	gr	lb	9,5	3/8	200	0,5	12,5	1/2	500	1	19,0	3/4	1500	3	25,0	1	3000	6,5	37,5	1 1/2	7500	16,5	50,0	2	15000	33	63,0	2 1/2	30000	66	75,0	3	60000	123	90,0	3 1/2	90000	198
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		MASA																																													
mm	in	gr	lb																																												
9,5	3/8	200	0,5																																												
12,5	1/2	500	1																																												
19,0	3/4	1500	3																																												
25,0	1	3000	6,5																																												
37,5	1 1/2	7500	16,5																																												
50,0	2	15000	33																																												
63,0	2 1/2	30000	66																																												
75,0	3	60000	123																																												
90,0	3 1/2	90000	198																																												
<u>Fórmula:</u>																																															
$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \times 100$																																															
<u>Nomenclatura:</u>																																															
<p><i>P</i> = Porcentaje de partículas con caras fracturadas. <i>F</i> = Masa de partículas con caras fracturadas. <i>Q</i> = Masa de partículas cuestionables. <i>N</i> = Masa de partículas que no cumple con el criterio de partículas fracturadas.</p>																																															
<u>Cálculo:</u>																																															
Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Porcentaje de Caras Fracturadas.		Promedio de Porcentaje de Caras Fracturadas.																																										
Pasante	Retenido		Ensayo #1	Ensayo #2																																											
3/4"	1/2"	15,60	95,19	95,76	95,47																																										
1/2"	N° 4	76,78																																													
Realizado por:		Revisado por:	Fecha Muestreo:	Fecha Ensayo:																																											
Félix Torres y Aurora Chiquito		Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	2 de Diciembre del 2014	17 de Enero del 2014																																											



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DE DURABILIDAD DEL AGREGADO

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS:	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C 88 - NTE INEN 863"

Agregado Grueso

Cantidad de masa a utilizar:

FRACCIÓN	TAMAÑO (Tamices con abertura cuadrada)				MASA gr
	Pasante	Retenido	Pasante	Retenido	
	mm		in		
1	9,50	4,75	3/8	Nº 4	300 ± 5
	19,00	9,50	3/4	3/8	1000 ± 10
2	material consistente de:		material consistente de:		
	12,50	9,50	1/2	3/8	330 ± 5
	19,00	12,50	3/4	1/2	670 ± 10
	37,50	19,00	1 1/2	3/4	1500 ± 50
3	material consistente de:		material consistente de:		
	25,00	19,00	1	3/4	500 ± 30
	37,50	25,00	1 1/2	1	1000 ± 50
	63,00	37,50	2 1/2	1 1/2	5000 ± 300
4	material consistente de:		material consistente de:		
	50,00	37,50	2	1 1/2	2000 ± 200
	63,00	50,00	2 1/2	2	3000 ± 300
	75,00	63,00	3	2 1/2	7000 ± 1000
	90,00	75,00	3 1/2	3	7000 ± 1000
100,00	90,00	4	3 1/2	7000 ± 1000	
5	material consistente de:		material consistente de:		
	75,00	63,00	3	2 1/2	7000 ± 1000
	90,00	75,00	3 1/2	3	7000 ± 1000
	100,00	90,00	4	3 1/2	7000 ± 1000

Fuente: Norma NTE INEN 863

Fórmula:

Análisis Cuantitativo:

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

$$Pérdida_{Correg} = \frac{Pérdida_{Total} \times \%Ret. Granul.}{100}$$

Cálculo:

Tipo de solución a usar: Sulfato de Sodio
Número de Fracción a usar: 1

Tamices a Usar (in)		% Retenido Granulometría	Peso Inicial (W _{antes})	Peso Final (W _{después})	Pérdida Total %	Pérdida Corregida %
Pasante	Retenido		gr	gr		
3/4	3/8	15,60	1000,85	872,63	12,81	2,00
3/8	Nº 4	76,78	301,60	255,82	15,18	11,65
TOTAL			1302,45			

Porcentaje de Pérdida

13,65 %

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

Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 15 de Enero del 2014
---	---	---	--

Anexo 1- F.1: Ensayo de Partículas Deleznables (Piedra 3/8").



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y
 PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS**

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C 142-97 - AASHTO T 112-00 (2004)"

AGREGADO GRUESO

Cantidad de masa a utilizar:

Tamaño de Tamices		Masa Mínima Utilizada para el Ensayo (gr)
Pasante	Retenido	
3/8"	Nº 4	1000
3/4"	3/8"	2000
1 1/2"	3/4"	3000
> 1 1/2"		5000

Fuente: Norma ASTM C 142-97

Fórmula:

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

Cálculo:

Tamaño de Tamices		% Retenido Granulometría	Masa Antes del Ensayo (gr)	Masa Después del Ensayo (gr)	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables Parcial
Pasante	Retenido		M	R	P
3/4"	3/8"	84,40	2000,02	1952,43	2,38 %
3/8"	Nº 4	7,62	1000,00	988,76	1,12 %

**Terrones de Arcilla y
 Partículas Deleznables**

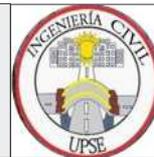
2,28 %

Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.	Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 23 de Enero del 2015
---	---	---	--

Anexo 1- F.2: Ensayo de Partículas Deleznables (Arena Triturada).



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y
PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS**

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS:	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

"NORMA ASTM C 142-97 - AASHTO T 112-00 (2004)"

AGREGADO FINO (Arena Triturada)

Cantidad de masa a utilizar:

Tamaño de Tamices		Masa Mínima Utilizada para el Ensayo (gr)
Pasante	Retenido	
Nº 4	Nº 16	25

Fuente: Norma ASTM C 142-97

Fórmula:

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

Cálculo: Muestra 1

Tamaño de Tamices		% Retenido Granulometría	Masa Antes del Ensayo (gr)	Masa Después del Ensayo (gr)	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M	R	P
Nº 4	Nº 16	45,54	25,00	24,58	1,68 %

Muestra 2

Tamaño de Tamices		% Retenido Granulometría	Masa Antes del Ensayo (gr)	Masa Después del Ensayo (gr)	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M	R	P
Nº 4	Nº 16	45,54	25,00	24,76	0,96 %

Promedio

Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
1,32 %

Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.	Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 23 de Enero del 2015
---	---	---	--

Anexo 1- F.3: Ensayo de Partículas Deleznables (Arena de Río).



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE TERRONES DE ARCILLA Y
PARTÍCULAS DELEZNABLES EN LOS AGREGADOS**

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: RÍO SAN RAFAEL		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS:	NORTE:	9738487
		ESTE:	539795

"NORMA ASTM C 142-97 - AASHTO T 112-00 (2004)"

AGREGADO FINO (Arena de Río)

Cantidad de masa a utilizar:

Tamaño de Tamices		Masa Mínima Utilizada para el Ensayo (gr)
Pasante	Retenido	
Nº 4	Nº 16	25

Fuente: Norma ASTM C 142-97

Fórmula:

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

Cálculo: Muestra 1

Tamaño de Tamices		% Retenido Granulometría	Masa Antes del Ensayo (gr)	Masa Después del Ensayo (gr)	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M	R	P
Nº 4	Nº 16	37,28	25,00	24,82	0,72 %

Muestra 2

Tamaño de Tamices		% Retenido Granulometría	Masa Antes del Ensayo (gr)	Masa Después del Ensayo (gr)	Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
Pasante	Retenido		M	R	P
Nº 4	Nº 16	37,28	25,00	24,75	1,00 %

Promedio

Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables
0,86 %

Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.	Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 23 de Enero del 2015
---	---	---	--

Anexo 1- G: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																														
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS																															
TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																															
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																													
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">COORDENADAS</td> <td style="width: 20%;">NORTE:</td> <td style="width: 50%;">9749526</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ESTE:</td> <td>527212</td> </tr> </table>	COORDENADAS	NORTE:	9749526		ESTE:	527212																							
COORDENADAS	NORTE:	9749526																													
	ESTE:	527212																													
PARA AGREGADO GRUESO (PIEDRA 1/2")																															
"NORMA ASTM C 127 - AASHTO T 85"																															
<p><u>Nomenclatura:</u></p> <p>G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk, o Gravedad Específica Neta del Agregado. G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk. G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente. % Abs = Porcentaje de Absorción. A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. B = Peso en Aire del Agregado Saturado Superficialmente Seco. C = Peso del Agregado Saturado Superficialmente Seco Sumergido en Agua.</p>																															
<p><u>Datos:</u></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Mostra 1</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Mostra 2</i></td> <td style="width: 33%; text-align: center;"><i>Mostra 3</i></td> </tr> <tr> <td>A = 629,00 gr</td> <td>A = 678,09 gr</td> <td>A = 678,92 gr</td> </tr> <tr> <td>B = 650,00 gr</td> <td>B = 700,00 gr</td> <td>B = 700,00 gr</td> </tr> <tr> <td>C = 388,00 gr</td> <td>C = 417,00 gr</td> <td>C = 419,00 gr</td> </tr> </table>			<i>Mostra 1</i>	<i>Mostra 2</i>	<i>Mostra 3</i>	A = 629,00 gr	A = 678,09 gr	A = 678,92 gr	B = 650,00 gr	B = 700,00 gr	B = 700,00 gr	C = 388,00 gr	C = 417,00 gr	C = 419,00 gr																	
<i>Mostra 1</i>	<i>Mostra 2</i>	<i>Mostra 3</i>																													
A = 629,00 gr	A = 678,09 gr	A = 678,92 gr																													
B = 650,00 gr	B = 700,00 gr	B = 700,00 gr																													
C = 388,00 gr	C = 417,00 gr	C = 419,00 gr																													
<p><u>Cálculos:</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2" style="width: 25%;">Fórmulas</th> <th colspan="4" style="background-color: #cccccc;">Resultados</th> </tr> <tr> <th style="background-color: #cccccc;">Mostra 1</th> <th style="background-color: #cccccc;">Mostra 2</th> <th style="background-color: #cccccc;">Mostra 3</th> <th style="background-color: #cccccc;">Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$</td> <td>2,401</td> <td>2,396</td> <td>2,416</td> <td style="background-color: #e0ffe0;">2,404 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$</td> <td>2,481</td> <td>2,473</td> <td>2,491</td> <td style="background-color: #e0ffe0;">2,482 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$</td> <td>2,610</td> <td>2,597</td> <td>2,612</td> <td style="background-color: #e0ffe0;">2,606 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td style="text-align: left;">$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$</td> <td>3,339 %</td> <td>3,231 %</td> <td>3,105 %</td> <td style="background-color: #e0ffe0;">3,225 %</td> </tr> </tbody> </table>			Fórmulas	Resultados				Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3	Promedio	$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,401	2,396	2,416	2,404 gr/cm³	$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,481	2,473	2,491	2,482 gr/cm³	$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,610	2,597	2,612	2,606 gr/cm³	$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	3,339 %	3,231 %	3,105 %	3,225 %
Fórmulas	Resultados																														
	Mostra 1	Mostra 2	Mostra 3	Promedio																											
$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$	2,401	2,396	2,416	2,404 gr/cm³																											
$G_{sssb} = \frac{B}{B - C}$	2,481	2,473	2,491	2,482 gr/cm³																											
$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$	2,610	2,597	2,612	2,606 gr/cm³																											
$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$	3,339 %	3,231 %	3,105 %	3,225 %																											
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 5 de Diciembre del 2014																												

Anexo 1- H.1: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (Arena Triturada).



UNIVERSIDAD ESTADAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN
DE LOS AGREGADOS



TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9749526
		ESTE:	527212

AGREGADO FINO (ARENA TRITURADA)

"NORMA ASTM C 128 - AASHTO T 84"

Nomenclatura:

- G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk, o Gravedad Específica Neta del Agregado.
- G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk.
- G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente.
- % Abs = Porcentaje de Absorción.
- A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno.
- B = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua.
- C = Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca.
- D = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).

Datos:

Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
A = 184,57 gr	A = 185,96 gr	A = 186,17 gr
B = 656,00 gr	B = 656,00 gr	B = 655,00 gr
C = 768,00 gr	C = 769,00 gr	C = 769,00 gr
D = 200,00 gr	D = 200,00 gr	D = 200,00 gr

Cálculos:

Fórmulas	Resultados			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,097	2,137	2,165	2,133 gr/cm ³
$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,273	2,299	2,326	2,299 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,543	2,549	2,580	2,557 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	8,36 %	7,55 %	7,43 %	7,780 %

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 5 de Diciembre del 2014
--	--	--	--

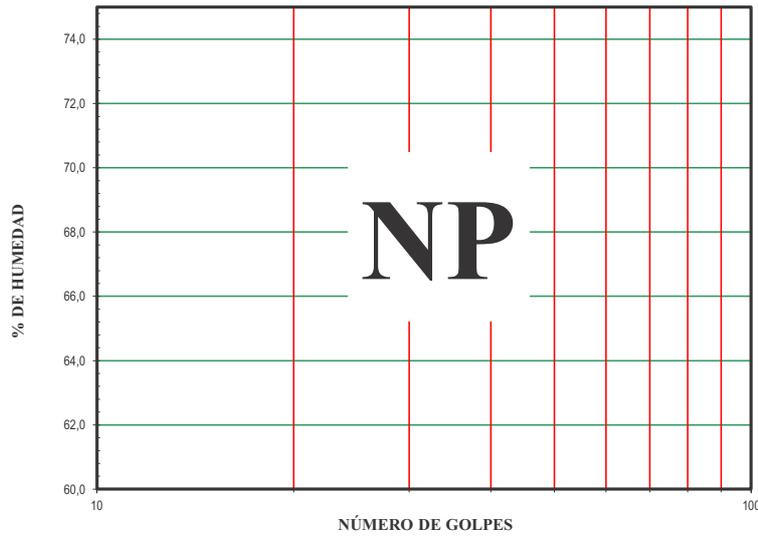
Anexo 1- H.2: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino (Arena de Río).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL			
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS				
TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".				
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN RAFAEL		
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS		
		NORTE: 9738487 ESTE: 539795		
AGREGADO FINO (ARENA DE RÍO)				
"NORMA ASTM C 128 - AASHTO T 84"				
<u>Nomenclatura:</u>				
G_{sb} = Gravedad Específica Seca Bulk, o Gravedad Específica Neta del Agregado. G_{sssb} = Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk. G_{sa} = Gravedad Específica Seca Aparente. % Abs = Porcentaje de Absorción. A = Peso en Aire del Agregado Secado al Horno. B = Peso del Picnómetro (Matraz) Lleno de Agua. C = Peso del Picnómetro (Matraz) Calibrado con el Agregado y Agua hasta la Marca. D = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).				
<u>Datos:</u>				
Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
A = 193,33 gr	A = 193,93 gr	A = 193,68 gr		
B = 656,00 gr	B = 656,00 gr	B = 656,00 gr		
C = 779,00 gr	C = 779,00 gr	C = 779,00 gr		
D = 200,00 gr	D = 200,00 gr	D = 200,00 gr		
<u>Cálculos:</u>				
Fórmulas	Resultados			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
$G_{sb} = \frac{A}{B + D - C}$	2,511	2,519	2,515	2,515 gr/cm ³
$G_{sssb} = \frac{D}{B + D - C}$	2,597	2,597	2,597	2,597 gr/cm ³
$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$	2,749	2,734	2,740	2,741 gr/cm ³
$\%Abs = \frac{D - A}{A} \times 100$	3,45 %	3,13 %	3,26 %	3,281 %
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 5 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 8 de Diciembre del 2014	

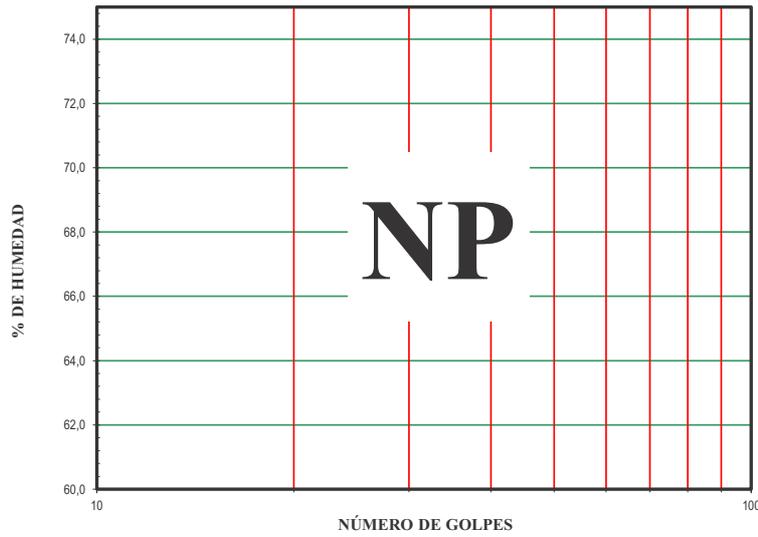
	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																																																																																								
DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO																																																																																									
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																																																									
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																																																																							
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS NORTE: 9749526 ESTE: 527212																																																																																							
"NORMA ASTM C 1252-98 - AASHTO T 304-96"																																																																																									
ARENA TRITURADA																																																																																									
<i>Método A "Muestra Gradada Estándar"</i>																																																																																									
<i>Cantidad de material para preparación de muestra.</i>																																																																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices</th> <th rowspan="2">Peso (gr)</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nº 8</td> <td>Nº 16</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>Nº 16</td> <td>Nº 30</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>Nº 30</td> <td>Nº 50</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>Nº 50</td> <td>Nº 100</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: center;">190</td> </tr> </tbody> </table>	Tamices		Peso (gr)	Pasante	Retenido	Nº 8	Nº 16	44	Nº 16	Nº 30	57	Nº 30	Nº 50	72	Nº 50	Nº 100	17	Total		190	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;"><i>Fórmula</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> $\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$ </td> </tr> </tbody> </table>	<i>Fórmula</i>	$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$																																																																	
Tamices		Peso (gr)																																																																																							
Pasante	Retenido																																																																																								
Nº 8	Nº 16	44																																																																																							
Nº 16	Nº 30	57																																																																																							
Nº 30	Nº 50	72																																																																																							
Nº 50	Nº 100	17																																																																																							
Total		190																																																																																							
<i>Fórmula</i>																																																																																									
$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$																																																																																									
<i>Cálculo.</i>																																																																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">Resultados</th> <th rowspan="2">Promedio</th> </tr> <tr> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Muestra 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso Cilindro</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen del Cilindro V</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Cilindro + Agregado</td> <td>369,85</td> <td>370,20</td> <td>369,68</td> <td>370,12</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agregado F</td> <td>102,94</td> <td>103,29</td> <td>102,77</td> <td>103,21</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Graveda Específica Gs</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Vacíos %U</td> <td style="background-color: #d9ead3;">45,438</td> <td style="background-color: #d9ead3;">45,252</td> <td style="background-color: #d9ead3;">45,528</td> <td style="background-color: #d9ead3;">45,295</td> <td style="background-color: #d9ead3;">45,378</td> </tr> </tbody> </table>		Resultados				Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91		Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44		Peso Cilindro + Agregado	369,85	370,20	369,68	370,12		Peso Agregado F	102,94	103,29	102,77	103,21		Graveda Específica Gs	2,133	2,133	2,133	2,133		% Vacíos %U	45,438	45,252	45,528	45,295	45,378																																										
	Resultados				Promedio																																																																																				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																																																																																					
Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91																																																																																					
Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44																																																																																					
Peso Cilindro + Agregado	369,85	370,20	369,68	370,12																																																																																					
Peso Agregado F	102,94	103,29	102,77	103,21																																																																																					
Graveda Específica Gs	2,133	2,133	2,133	2,133																																																																																					
% Vacíos %U	45,438	45,252	45,528	45,295	45,378																																																																																				
<i>Método B "Fracciones de Tamaño Individual"</i>																																																																																									
<i>Cantidad de material para preparación de muestra.</i>																																																																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Identificación</th> <th colspan="2">Tamices</th> <th rowspan="2">Peso (gr)</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado 1</td> <td>Nº 8</td> <td>Nº 16</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Agregado 2</td> <td>Nº 16</td> <td>Nº 30</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Agregado 3</td> <td>Nº 30</td> <td>Nº 50</td> <td>190</td> </tr> </tbody> </table>	Identificación	Tamices		Peso (gr)	Pasante	Retenido	Agregado 1	Nº 8	Nº 16	190	Agregado 2	Nº 16	Nº 30	190	Agregado 3	Nº 30	Nº 50	190	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;"><i>Fórmula</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> $\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$ </td> </tr> </tbody> </table>	<i>Fórmula</i>	$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$																																																																			
Identificación	Tamices		Peso (gr)																																																																																						
	Pasante	Retenido																																																																																							
Agregado 1	Nº 8	Nº 16	190																																																																																						
Agregado 2	Nº 16	Nº 30	190																																																																																						
Agregado 3	Nº 30	Nº 50	190																																																																																						
<i>Fórmula</i>																																																																																									
$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$																																																																																									
<i>Cálculo.</i>																																																																																									
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4">Resultados</th> <th rowspan="2">Promedio</th> </tr> <tr> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Muestra 4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso Cilindro</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td>266,91</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Volumen del Cilindro V</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td>88,44</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Cilindro + Agregado 1</td> <td>364,25</td> <td>365,32</td> <td>364,68</td> <td>364,98</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Cilindro + Agregado 2</td> <td>359,62</td> <td>359,98</td> <td>359,48</td> <td>358,96</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Cilindro + Agregado 3</td> <td>359,12</td> <td>359,28</td> <td>359,25</td> <td>358,19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agregado F₁</td> <td>97,34</td> <td>98,41</td> <td>97,77</td> <td>98,07</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agregado F₂</td> <td>92,71</td> <td>93,07</td> <td>92,57</td> <td>92,05</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Agregado F₃</td> <td>92,21</td> <td>92,37</td> <td>92,34</td> <td>91,28</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Graveda Específica Gs</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td>2,133</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Vacíos %U₁</td> <td>48,406</td> <td>47,839</td> <td>48,178</td> <td>48,019</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Vacíos %U₂</td> <td>50,860</td> <td>50,669</td> <td>50,934</td> <td>51,210</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Vacíos %U₃</td> <td>51,125</td> <td>51,040</td> <td>51,056</td> <td>51,618</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Vacíos Promedio %U_m</td> <td style="background-color: #d9ead3;">50,130</td> <td style="background-color: #d9ead3;">49,849</td> <td style="background-color: #d9ead3;">50,056</td> <td style="background-color: #d9ead3;">50,282</td> <td style="background-color: #d9ead3;">50,080</td> </tr> </tbody> </table>		Resultados				Promedio	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91		Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44		Peso Cilindro + Agregado 1	364,25	365,32	364,68	364,98		Peso Cilindro + Agregado 2	359,62	359,98	359,48	358,96		Peso Cilindro + Agregado 3	359,12	359,28	359,25	358,19		Peso Agregado F ₁	97,34	98,41	97,77	98,07		Peso Agregado F ₂	92,71	93,07	92,57	92,05		Peso Agregado F ₃	92,21	92,37	92,34	91,28		Graveda Específica Gs	2,133	2,133	2,133	2,133		% Vacíos %U ₁	48,406	47,839	48,178	48,019		% Vacíos %U ₂	50,860	50,669	50,934	51,210		% Vacíos %U ₃	51,125	51,040	51,056	51,618		% Vacíos Promedio %U _m	50,130	49,849	50,056	50,282	50,080
	Resultados				Promedio																																																																																				
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																																																																																					
Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91																																																																																					
Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44																																																																																					
Peso Cilindro + Agregado 1	364,25	365,32	364,68	364,98																																																																																					
Peso Cilindro + Agregado 2	359,62	359,98	359,48	358,96																																																																																					
Peso Cilindro + Agregado 3	359,12	359,28	359,25	358,19																																																																																					
Peso Agregado F ₁	97,34	98,41	97,77	98,07																																																																																					
Peso Agregado F ₂	92,71	93,07	92,57	92,05																																																																																					
Peso Agregado F ₃	92,21	92,37	92,34	91,28																																																																																					
Graveda Específica Gs	2,133	2,133	2,133	2,133																																																																																					
% Vacíos %U ₁	48,406	47,839	48,178	48,019																																																																																					
% Vacíos %U ₂	50,860	50,669	50,934	51,210																																																																																					
% Vacíos %U ₃	51,125	51,040	51,056	51,618																																																																																					
% Vacíos Promedio %U _m	50,130	49,849	50,056	50,282	50,080																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito</td> <td style="width: 25%;">Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.</td> <td style="width: 25%;">Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014</td> <td style="width: 25%;">Fecha Ensayo: 19 de Enero del 2015</td> </tr> </table>				Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.	Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 19 de Enero del 2015																																																																																		
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.	Fecha Muestreo: 2 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 19 de Enero del 2015																																																																																						

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA																							
DETERMINACIÓN DE ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO																								
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																								
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: RÍO SAN RAFAEL																						
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS NORTE: 9738487 ESTE: 539795																						
"NORMA ASTM C 1252-98 - AASHTO T 304-96"																								
ARENA DE RÍO																								
<i>Método A "Muestra Gradada Estándar"</i>																								
<i>Cantidad de material para preparación de muestra.</i>																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamices</th> <th rowspan="2">Peso (gr)</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nº 8</td> <td>Nº 16</td> <td>44</td> </tr> <tr> <td>Nº 16</td> <td>Nº 30</td> <td>57</td> </tr> <tr> <td>Nº 30</td> <td>Nº 50</td> <td>72</td> </tr> <tr> <td>Nº 50</td> <td>Nº 100</td> <td>17</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Total</td> <td style="text-align: center;">190</td> </tr> </tbody> </table>	Tamices		Peso (gr)	Pasante	Retenido	Nº 8	Nº 16	44	Nº 16	Nº 30	57	Nº 30	Nº 50	72	Nº 50	Nº 100	17	Total		190	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;"><i>Fórmula</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> $\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$ </td> </tr> </tbody> </table>	<i>Fórmula</i>	$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$
Tamices		Peso (gr)																						
Pasante	Retenido																							
Nº 8	Nº 16	44																						
Nº 16	Nº 30	57																						
Nº 30	Nº 50	72																						
Nº 50	Nº 100	17																						
Total		190																						
<i>Fórmula</i>																								
$\%U = \frac{V - \left(\frac{F}{Gs}\right)}{V} \times 100$																								
<i>Cálculo.</i>																								
	Resultados				Promedio																			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																				
Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91																				
Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44																				
Peso Cilindro + Agregado	399,35	399,51	400,04	399,08																				
Peso Agregado F	132,44	132,60	133,13	132,17																				
Gravedad Específica Gs	2,515	2,515	2,515	2,515																				
% Vacíos %U	40,456	40,384	40,145	40,577	40,390																			
<i>Método B "Fracciones de Tamaño Individual"</i>																								
<i>Cantidad de material para preparación de muestra.</i>																								
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Identificación</th> <th colspan="2">Tamices</th> <th rowspan="2">Peso (gr)</th> </tr> <tr> <th>Pasante</th> <th>Retenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Agregado 1</td> <td>Nº 8</td> <td>Nº 16</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Agregado 2</td> <td>Nº 16</td> <td>Nº 30</td> <td>190</td> </tr> <tr> <td>Agregado 3</td> <td>Nº 30</td> <td>Nº 50</td> <td>190</td> </tr> </tbody> </table>	Identificación	Tamices		Peso (gr)	Pasante	Retenido	Agregado 1	Nº 8	Nº 16	190	Agregado 2	Nº 16	Nº 30	190	Agregado 3	Nº 30	Nº 50	190	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #d9e1f2;"><i>Fórmula</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"> $\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$ </td> </tr> </tbody> </table>	<i>Fórmula</i>	$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$		
Identificación	Tamices		Peso (gr)																					
	Pasante	Retenido																						
Agregado 1	Nº 8	Nº 16	190																					
Agregado 2	Nº 16	Nº 30	190																					
Agregado 3	Nº 30	Nº 50	190																					
<i>Fórmula</i>																								
$\%U_m = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3}$																								
<i>Cálculo.</i>																								
	Resultados				Promedio																			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4																				
Peso Cilindro	266,91	266,91	266,91	266,91																				
Volumen del Cilindro V	88,44	88,44	88,44	88,44																				
Peso Cilindro + Agregado 1	401,86	401,32	402,36	401,75																				
Peso Cilindro + Agregado 2	393,05	393,95	394,25	394,21																				
Peso Cilindro + Agregado 3	390,56	390,15	390,47	389,62																				
Peso Agregado F ₁	134,95	134,41	135,45	134,84																				
Peso Agregado F ₂	126,14	127,04	127,34	127,30																				
Peso Agregado F ₃	123,65	123,24	123,56	122,71																				
Gravedad Específica Gs	2,515	2,515	2,515	2,515																				
% Vacíos %U ₁	39,327	39,570	39,102	39,376																				
% Vacíos %U ₂	43,288	42,883	42,748	42,766																				
% Vacíos %U ₃	44,407	44,592	44,448	44,830																				
% Vacíos Promedio %U _m	42,341	42,348	42,100	42,324	42,278																			
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno. Mg.		Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014																				
				Fecha Ensayo: 19 de Enero del 2015																				

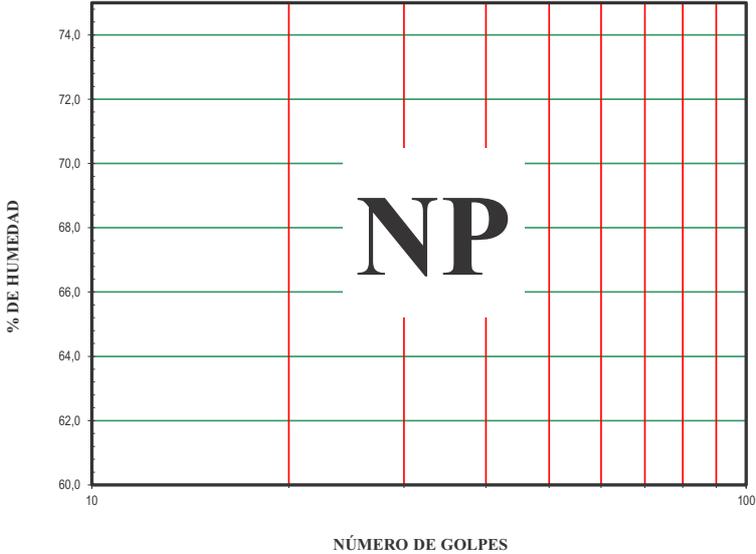
Anexo 1- J.1: Límites de Atterberg pasante tamiz N°40 (Arena Triturada).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																																																																		
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°40)																																																																			
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																																			
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE																																																																	
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS NORTE: 9749526 ESTE: 527212																																																																	
ARENA TRITURADA																																																																			
LÍMITE LÍQUIDO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td># DE GOLPES</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								# DE GOLPES										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
# DE GOLPES																																																																			
LÍMITE PLÁSTICO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								OBSERVACIONES: NORMAS DE REFERENCIA INEN 691-1982 INEN 692-1982 ASTM D 4318-98 AASHTO T 89-94 AASHTO T 90-94										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
																																																																			
RESULTADOS																																																																			
L. LÍQUIDO =																																																																			
L. PLÁSTICO =																																																																			
I. PLASTICIDAD =																																																																			
El material no presenta ningún grado de plasticidad																																																																			
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo 12 de Diciembre del 2014																																																																

Anexo 1- J.2: Límites de Atterberg pasante tamiz N°200 (Arena Triturada).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL	
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°200)		
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.		
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		COORDENADAS NORTE: 9749526 ESTE: 527212
ARENA TRITURADA		
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)		
# 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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)		
		
OBSERVACIONES: NORMAS DE REFERENCIA INEN 691-1982 INEN 692-1982 ASTM D 4318-98 AASHTO T 89-94 AASHTO T 90-94		
RESULTADOS		
L. LÍQUIDO =		
L. PLÁSTICO =		
I. PLASTICIDAD =		
El material no presenta ningún grado de plasticidad		
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014
		Fecha Ensayo 12 de Diciembre del 2014

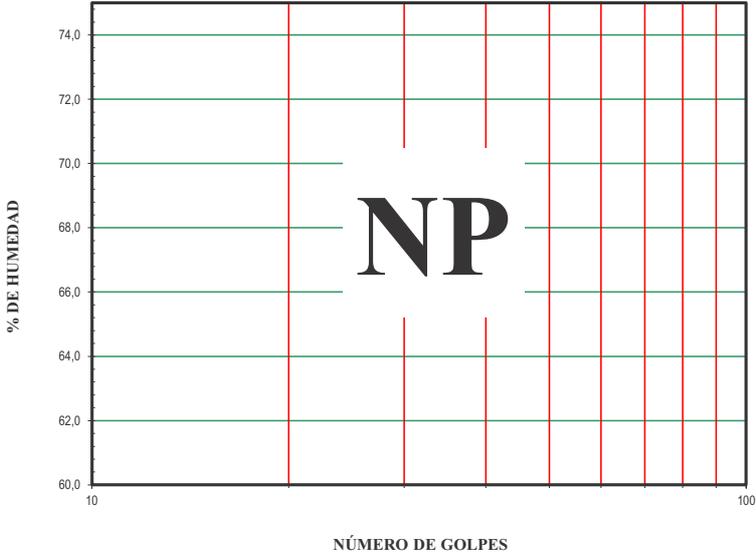
Anexo 1- J.3: Límites de Atterberg pasante tamiz N°40 (Arena de Río).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																																																																		
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°40)																																																																			
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																																			
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR, Mg.		CANTERA: RÍO SAN RAFAEL																																																																	
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">COORDENADAS</td> <td style="width: 25%;">NORTE:</td> <td style="width: 25%;">9738487</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ESTE:</td> <td>539795</td> </tr> </table>	COORDENADAS	NORTE:	9738487		ESTE:	539795																																																											
COORDENADAS	NORTE:	9738487																																																																	
	ESTE:	539795																																																																	
ARENA DE RÍO																																																																			
LÍMITE LÍQUIDO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td># DE GOLPES</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								# DE GOLPES										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
# DE GOLPES																																																																			
LÍMITE PLÁSTICO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								OBSERVACIONES: NORMAS DE REFERENCIA INEN 691-1982 INEN 692-1982 ASTM D 4318-98 AASHTO T 89-94 AASHTO T 90-94										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td>RESULTADOS</td> </tr> <tr style="background-color: #d9d2e9;"> <td>L. LÍQUIDO =</td> </tr> <tr style="background-color: #d9d2e9;"> <td>L. PLÁSTICO =</td> </tr> <tr style="background-color: #d9d2e9;"> <td>I. PLASTICIDAD =</td> </tr> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td>El material no presenta ningún grado de plasticidad</td> </tr> </table>	RESULTADOS	L. LÍQUIDO =	L. PLÁSTICO =	I. PLASTICIDAD =	El material no presenta ningún grado de plasticidad																																																												
RESULTADOS																																																																			
L. LÍQUIDO =																																																																			
L. PLÁSTICO =																																																																			
I. PLASTICIDAD =																																																																			
El material no presenta ningún grado de plasticidad																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"> Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito </td> <td style="width: 33%;"> Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg. </td> <td style="width: 33%;"> Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014 </td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td> Fecha Ensayo: 12 de Diciembre del 2014 </td> </tr> </table>		Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014			Fecha Ensayo: 12 de Diciembre del 2014																																																												
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	Fecha Muestreo: 9 de Diciembre del 2014																																																																	
		Fecha Ensayo: 12 de Diciembre del 2014																																																																	

Anexo 1- J.3: Límites de Atterberg pasante tamiz N°40 (Arena de Río).



Anexo 1- J.4: Límites de Atterberg pasante tamiz N°200 (Arena de Río).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																																																																		
DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE LOS SUELOS (PASANTE TAMIZ N°200)																																																																			
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.																																																																			
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		CANTERA: RÍO SAN RAFAEL																																																																	
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">COORDENADAS</td> <td style="width: 25%;">NORTE:</td> <td style="width: 25%;">9738487</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ESTE:</td> <td>539795</td> </tr> </table>	COORDENADAS	NORTE:	9738487		ESTE:	539795																																																											
COORDENADAS	NORTE:	9738487																																																																	
	ESTE:	539795																																																																	
ARENA DE RÍO																																																																			
LÍMITE LÍQUIDO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td># DE GOLPES</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								# DE GOLPES										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
# DE GOLPES																																																																			
LÍMITE PLÁSTICO																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RECIPIENTE #</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (P1)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE + MUESTRA SECA (P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE AGUA (P3 = P1 - P2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE RECIPIENTE (P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MASA DE MUESTRA SECA (P5 = P2 - P4)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>% DE HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)								OBSERVACIONES: NORMAS DE REFERENCIA INEN 691-1982 INEN 692-1982 ASTM D 4318-98 AASHTO T 89-94 AASHTO T 90-94										
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 HUMEDAD (W = P3 × 100 ÷ P5)																																																																			
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td style="text-align: center;">RESULTADOS</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L. LÍQUIDO =</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">L. PLÁSTICO =</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">I. PLASTICIDAD =</td> </tr> <tr style="background-color: #d9ead3;"> <td style="text-align: center;">El material no presenta ningún grado de plasticidad</td> </tr> </table>	RESULTADOS	L. LÍQUIDO =	L. PLÁSTICO =	I. PLASTICIDAD =	El material no presenta ningún grado de plasticidad																																																												
RESULTADOS																																																																			
L. LÍQUIDO =																																																																			
L. PLÁSTICO =																																																																			
I. PLASTICIDAD =																																																																			
El material no presenta ningún grado de plasticidad																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Realizado y Calculado por:</td> <td style="width: 33%;">Revisado por:</td> <td style="width: 33%;">Fecha Muestreo:</td> </tr> <tr> <td>Félix Torres y Aurora Chiquito</td> <td>Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.</td> <td>9 de Diciembre del 2014</td> </tr> </table>		Realizado y Calculado por:	Revisado por:	Fecha Muestreo:	Félix Torres y Aurora Chiquito	Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	9 de Diciembre del 2014	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fecha Ensayo</td> </tr> <tr> <td>12 de Diciembre del 2014</td> </tr> </table>	Fecha Ensayo	12 de Diciembre del 2014																																																									
Realizado y Calculado por:	Revisado por:	Fecha Muestreo:																																																																	
Félix Torres y Aurora Chiquito	Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.	9 de Diciembre del 2014																																																																	
Fecha Ensayo																																																																			
12 de Diciembre del 2014																																																																			

Anexo 1- J.4: Límites de Atterberg pasante tamiz N°200 (Arena de Río).



Anexo 1- K.1: Ensayo Equivalente de Arena (Arena Triturada).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE ARENA					
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.					
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: SAN VICENTE DE COLONCHE				
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE: 9749526			
		ESTE: 527212			
"NORMA ASTM D 2419 - AASHTO T 176"					
ARENA TRITURADA					
<u>Fórmula:</u>					
$\% \text{ Equivaalente Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$					
<u>Cálculos:</u>					
		<i>Muestra</i>	<i>Muestra</i>	<i>Muestra</i>	<i>Promedio</i>
		1	2	3	
Hora de entrada a saturación		17:00:00	17:05:00	17:10:00	
Hora de salida de saturación		17:10:00	17:15:00	17:20:00	
Hora de entrada a decantación		17:13:00	17:18:00	17:23:00	
Hora de salida de decantación		17:33:00	17:38:00	17:43:00	
Altura máxima de arcilla	in	4,8	4,8	4,9	
Altura máxima de arena	in	4,3	4,3	4,4	
Resultado	%	89,6	89,6	89,8	<u>89,6</u>
Realizado por:		Revisado por:		Fecha Toma Muestra:	Fecha Ensayo:
Félix Torres y Aurora Chiquito		Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.		9 de Diciembre del 2014	23 de Enero del 2015

Anexo 1- K.2: Ensayo Equivalente de Arena (Arena de Río).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL				
DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE ARENA					
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.					
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.	CANTERA: RÍO SAN RAFAEL				
TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES	COORDENADAS	NORTE:	9738487		
		ESTE:	539795		
"NORMA ASTM D 2419 - AASHTO T 176"					
ARENA DE RÍO					
<u>Fórmula:</u>					
$\% \text{ Equivaalente Arena} = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100$					
<u>Cálculos:</u>					
		<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>	<i>Promedio</i>
Hora de entrada a saturación		15:45:00	15:50:00	15:55:00	
Hora de salida de saturación		15:55:00	16:00:00	16:05:00	
Hora de entrada a decantación		15:58:00	16:03:00	16:08:00	
Hora de salida de decantación		16:18:00	16:23:00	16:28:00	
Altura máxima de arcilla	in	4,9	4,8	4,7	
Altura máxima de arena	in	4,0	4,0	3,9	
Resultado	%	81,6	83,3	83,0	<u>82,5</u>
Realizado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno A. Mg.		Fecha Toma Muestra: 9 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 23 de Enero del 2015

Anexo 2.
Ensayos Realizados al Cemento
Asfáltico

Anexo 2- A: Ensayo de Gravedad Específica para el cemento asfáltico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL</p>					
<p>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL CEMENTO ASFÁLTICO.</p>						
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>						
<p>TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".</p>						
<p>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR, Mg.</p>		<p>TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES</p>				
<p>"NORMA ASTM D 70-09 E-1"</p>						
<p><u>Nomenclatura:</u></p> <p>δ_{asf} = Gravedad Específica del Cemento Asfáltico. A = Peso del picnómetro. B = Peso del picnómetro con agua destilada. C = Peso del picnómetro parcialmente lleno con cemento asfáltico. D = Peso del Material en Estado Saturado Superficialmente Seco (SSD).Peso del picnómetro con cemento asfáltico.</p>						
<p><u>Datos:</u></p> <p><i>Muestra 1</i></p> <p>A = 36,46 gr B = 69,93 gr C = 59,21 gr D = 70,30 gr</p>						
<p><u>Cálculos:</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;"><i>Formula</i></th> <th style="width: 50%; text-align: center;"><i>Resultado</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 10px;"> $\delta_{asf} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$ </td> <td style="text-align: center; background-color: #d9ead3; padding: 10px;"> <p>1,0165 gr/cm³</p> </td> </tr> </tbody> </table>			<i>Formula</i>	<i>Resultado</i>	$\delta_{asf} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$	<p>1,0165 gr/cm³</p>
<i>Formula</i>	<i>Resultado</i>					
$\delta_{asf} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$	<p>1,0165 gr/cm³</p>					
<p>Realizado y Calculado por:</p> <p style="text-align: center;">Félix Torres y Aurora Chiquito</p>		<p>Revisado por:</p> <p style="text-align: center;">Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Mg.</p>				

Anexo 2- B: Ensayos al Cemento Asfáltico.

	<p>UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL</p>	
	<p>ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO ASFÁLTICO</p>	
<p>TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.</p>		
<p>TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.</p>		<p>TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES</p>

PROPIEDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO	NORMA	RESULTADOS
Penetración 25°C, 100gr, 5s. (mm/10)	ASTM D-5	88,75
Punto de Ablandamiento. (°C)	ASTM D-36	48,5
Gravedad Específica. (gr/cm ³)	ASTM D-70	1,0165
Ductilidad 25°C, 5cm/min. (cm)	ASTM D-113	144,125
Punto de Inflamación Copa Abierta de Cleveland. (°C)	ASTM D-92	288
Índice de Penetración	INV E-724-07	-0,11

Fórmula para el Cálculo del Índice de Penetración:

$$I_p = \frac{20 * t_{RaB} + 500 * \log P - 1952}{t_{RaB} - 50 * \log P + 120}$$

t_{RaB} = Punto de Ablandamiento en Grados Celsius.
P = Penetración en 0,1 mm a 25°C.

Anexo 3.

Diseño de Mezcla Asfáltica – Método Marshall ASTM D 1559

Anexo 3- A.1: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción (Mezcla Ensayada).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																																	
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS COMBINADOS																																		
TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".																																		
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES																																
AGREGADOS COMBINADOS (Mezcla Ensayada)																																		
Serie Fina (Pasa Tamiz N°4)																																		
Datos:																																		
Muestra 1 A = 189,00 gr B = 656,00 gr C = 771,00 gr D = 200,00 gr	Muestra 2 A = 473,02 gr B = 1442,00 gr C = 1730,00 gr D = 500,00 gr	Muestra 3 A = 188,55 gr B = 656,00 gr C = 771,00 gr D = 200,00 gr																																
Cálculos:																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$G_{sbFino} = \frac{A}{B + D - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,224</td> <td style="text-align: center;">2,231</td> <td style="text-align: center;">2,218</td> <td style="text-align: center;">2,224 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{ssbFino} = \frac{D}{B + D - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,353</td> <td style="text-align: center;">2,358</td> <td style="text-align: center;">2,353</td> <td style="text-align: center;">2,355 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{saFino} = \frac{A}{B + A - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,554</td> <td style="text-align: center;">2,557</td> <td style="text-align: center;">2,564</td> <td style="text-align: center;">2,558 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$\%Abs_{Fino} = \frac{D - A}{A} \times 10$</td> <td style="text-align: center;">5,820 %</td> <td style="text-align: center;">5,704 %</td> <td style="text-align: center;">6,073 %</td> <td style="text-align: center;">5,87 %</td> </tr> </tbody> </table>	Fórmulas	Resultados					Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sbFino} = \frac{A}{B + D - C}$	2,224	2,231	2,218	2,224 gr/cm ³	$G_{ssbFino} = \frac{D}{B + D - C}$	2,353	2,358	2,353	2,355 gr/cm ³	$G_{saFino} = \frac{A}{B + A - C}$	2,554	2,557	2,564	2,558 gr/cm ³	$\%Abs_{Fino} = \frac{D - A}{A} \times 10$	5,820 %	5,704 %	6,073 %	5,87 %				
Fórmulas	Resultados																																	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																														
$G_{sbFino} = \frac{A}{B + D - C}$	2,224	2,231	2,218	2,224 gr/cm ³																														
$G_{ssbFino} = \frac{D}{B + D - C}$	2,353	2,358	2,353	2,355 gr/cm ³																														
$G_{saFino} = \frac{A}{B + A - C}$	2,554	2,557	2,564	2,558 gr/cm ³																														
$\%Abs_{Fino} = \frac{D - A}{A} \times 10$	5,820 %	5,704 %	6,073 %	5,87 %																														
Serie Gruesa (Retenido Tamiz N°4)																																		
Datos:																																		
Muestra 1 A = 628,65 gr B = 650,00 gr C = 389,00 gr	Muestra 2 A = 677,79 gr B = 700,00 gr C = 418,00 gr	Muestra 3 A = 678,02 gr B = 700,00 gr C = 418,00 gr																																
Cálculos:																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Fórmulas</th> <th colspan="4">Resultados</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 3</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$G_{sbGrueso} = \frac{A}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,409</td> <td style="text-align: center;">2,404</td> <td style="text-align: center;">2,404</td> <td style="text-align: center;">2,405 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{ssbGrueso} = \frac{B}{B - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,490</td> <td style="text-align: center;">2,482</td> <td style="text-align: center;">2,482</td> <td style="text-align: center;">2,485 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$G_{saGrueso} = \frac{A}{A - C}$</td> <td style="text-align: center;">2,623</td> <td style="text-align: center;">2,609</td> <td style="text-align: center;">2,608</td> <td style="text-align: center;">2,613 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>$\%Abs_{Grueso} = \frac{B - A}{A} \times 1$</td> <td style="text-align: center;">3,396 %</td> <td style="text-align: center;">3,277 %</td> <td style="text-align: center;">3,242 %</td> <td style="text-align: center;">3,305 %</td> </tr> </tbody> </table>	Fórmulas	Resultados					Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	$G_{sbGrueso} = \frac{A}{B - C}$	2,409	2,404	2,404	2,405 gr/cm ³	$G_{ssbGrueso} = \frac{B}{B - C}$	2,490	2,482	2,482	2,485 gr/cm ³	$G_{saGrueso} = \frac{A}{A - C}$	2,623	2,609	2,608	2,613 gr/cm ³	$\%Abs_{Grueso} = \frac{B - A}{A} \times 1$	3,396 %	3,277 %	3,242 %	3,305 %				
Fórmulas	Resultados																																	
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio																														
$G_{sbGrueso} = \frac{A}{B - C}$	2,409	2,404	2,404	2,405 gr/cm ³																														
$G_{ssbGrueso} = \frac{B}{B - C}$	2,490	2,482	2,482	2,485 gr/cm ³																														
$G_{saGrueso} = \frac{A}{A - C}$	2,623	2,609	2,608	2,613 gr/cm ³																														
$\%Abs_{Grueso} = \frac{B - A}{A} \times 1$	3,396 %	3,277 %	3,242 %	3,305 %																														
Combinación de Agregados																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Tipo Agregado</th> <th>% Dosific.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Piedra (1/2")</td> <td style="text-align: center;">45</td> </tr> <tr> <td>Arena Triturada</td> <td style="text-align: center;">35</td> </tr> <tr> <td>Arena de Río</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo Agregado	% Dosific.	Piedra (1/2")	45	Arena Triturada	35	Arena de Río	20	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Agregados Combinados</th> <th>Procentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Serie Gruesa (Ret. Tz. N° 4)</td> <td style="text-align: center;">42,05</td> </tr> <tr> <td>Serie Fina (Pasa. Tz. N° 4)</td> <td style="text-align: center;">57,95</td> </tr> </tbody> </table>	Agregados Combinados	Procentaje	Serie Gruesa (Ret. Tz. N° 4)	42,05	Serie Fina (Pasa. Tz. N° 4)	57,95																			
Tipo Agregado	% Dosific.																																	
Piedra (1/2")	45																																	
Arena Triturada	35																																	
Arena de Río	20																																	
Agregados Combinados	Procentaje																																	
Serie Gruesa (Ret. Tz. N° 4)	42,05																																	
Serie Fina (Pasa. Tz. N° 4)	57,95																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Denominación</th> <th>Fórmula</th> <th>Resultado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Gravedad Específica Bulk "G_{sb}"</td> <td rowspan="2" style="text-align: center;"> $G_{sx} = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{G_{sxGrueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{G_{sxFino}}}$ </td> <td style="text-align: center;">2,297 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>Gravedad Específica Aparente "G_{sa}"</td> <td style="text-align: center;">2,581 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>% Absorción</td> <td style="text-align: center;"> $\%Abs = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}$ </td> <td style="text-align: center;">4,42 %</td> </tr> </tbody> </table>	Denominación	Fórmula	Resultado	Gravedad Específica Bulk "G _{sb} "	$G_{sx} = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{G_{sxGrueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{G_{sxFino}}}$	2,297 gr/cm ³	Gravedad Específica Aparente "G _{sa} "	2,581 gr/cm ³	% Absorción	$\%Abs = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}$	4,42 %																							
Denominación	Fórmula	Resultado																																
Gravedad Específica Bulk "G _{sb} "	$G_{sx} = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{G_{sxGrueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{G_{sxFino}}}$	2,297 gr/cm ³																																
Gravedad Específica Aparente "G _{sa} "		2,581 gr/cm ³																																
% Absorción	$\%Abs = \frac{100}{\frac{\%Ret. N^{\circ}4}{\%Abs_{Grueso}} + \frac{\%Pasa N^{\circ}4}{\%Abs_{Fino}}}$	4,42 %																																
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Toma Muestra: 2-9 de Diciembre del 2014	Fecha Ensayo: 20 de Diciembre del 2014																															

Anexo 3- A.2: Ensayo de Gravedad Específica y Absorción (Mezcla Calculada).



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



**DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN
DE LOS AGREGADOS COMBINADOS**

TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.

TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES

MEZCLA DE AGREGADOS (Mezcla Calculada)

Tipo de Agregado	% de Mezcla de Agregados	Porcentaje que Pasa Malla N°4	Porcentaje que Retiene Malla N°4
Piedra 1/2"	Agr ₁ = 45	P ₁ = 7,62%	R ₁ = 92,38%
Arena Triturada	Agr ₂ = 35	P ₂ = 97,43%	R ₂ = 2,57%
Arena de Río	Agr ₃ = 20	P ₃ = 98,94%	R ₃ = 1,06%

Tipo de Agregado	Gravedad Específica		Porcentaje de Absorción	
	Bulk	Aparente		
Piedra 1/2"	G _{sb1} = 2,404	G _{sa1} = 2,606	Abs ₁ = 3,22 %	
Arena Triturada	G _{sb2} = 2,133	G _{sa2} = 2,557	Abs ₂ = 7,78 %	
Arena de Río	G _{sb3} = 2,515	G _{sa3} = 2,741	Abs ₃ = 3,28 %	

Mezcla de Agregados	Fórmulas	Resultados
Gravedad Específica Bulk o Neta	$G_{sb} = \frac{100}{\frac{Agr_1}{(P_1 \times G_{sb1}) + (R_1 \times G_{sb1})} + \dots + \frac{Agr_n}{(P_n \times G_{sbn}) + (R_n \times G_{sbn})}}$	2,294 gr/cm ³
Gravedad Específica Aparente	$G_{sa} = \frac{100}{\frac{Agr_1}{(P_1 \times G_{sa1}) + (R_1 \times G_{sa1})} + \dots + \frac{Agr_n}{(P_n \times G_{san}) + (R_n \times G_{san})}}$	2,585 gr/cm ³
Porcentaje de Absorción	$\%Abs = \frac{(P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + \dots + (P_n \times A_n)}{100}$	4,753 %

Realizado y Calculado por:

Félix Torres Borbor y Aurora Chiquito Salcedo

Revisado por:

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.

Anexo 3- B: Ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima.

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																																																																															
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA																																																																																
TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".																																																																																
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES																																																																														
ENSAYO RICE																																																																																
"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"																																																																																
<p><u>Nomenclatura:</u></p> <p>G_{mm} = Gravedad Específica Teórica Máxima. A = Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno, gr. B = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a 25 °C ± 1 °C (77 °F), gr. C = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a 25 °C, gr.</p>																																																																																
<p><u>Fórmula:</u></p> $G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$																																																																																
<p><u>Cálculos:</u></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="3">Datos</th> <th colspan="3">Resultados</th> </tr> <tr style="background-color: #cccccc;"> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5,0</td> <td>A =</td> <td>1000</td> <td>700</td> <td rowspan="3">2,208</td> <td rowspan="3">2,222</td> <td rowspan="3">2,215 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7321</td> <td>7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>7868</td> <td>7706</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">5,5</td> <td>A =</td> <td>1000</td> <td>700</td> <td rowspan="3">2,232</td> <td rowspan="3">2,208</td> <td rowspan="3">2,220 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7321</td> <td>7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>7873</td> <td>7704</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6,0</td> <td>A =</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td rowspan="3">2,169</td> <td rowspan="3">2,155</td> <td rowspan="3">2,162 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7321</td> <td>7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>7860</td> <td>7857</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">6,5</td> <td>A =</td> <td>1000</td> <td>1000</td> <td rowspan="3">2,137</td> <td rowspan="3">2,128</td> <td rowspan="3">2,132 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7321</td> <td>7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>7853</td> <td>7851</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">7,0</td> <td>A =</td> <td>1000</td> <td>700</td> <td rowspan="3">2,128</td> <td rowspan="3">2,115</td> <td rowspan="3">2,121 gr/cm³</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td>7321</td> <td>7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td>7851</td> <td>7690</td> </tr> </tbody> </table>			% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados			Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	5,0	A =	1000	700	2,208	2,222	2,215 gr/cm ³	B =	7321	7321	C =	7868	7706	5,5	A =	1000	700	2,232	2,208	2,220 gr/cm ³	B =	7321	7321	C =	7873	7704	6,0	A =	1000	1000	2,169	2,155	2,162 gr/cm ³	B =	7321	7321	C =	7860	7857	6,5	A =	1000	1000	2,137	2,128	2,132 gr/cm ³	B =	7321	7321	C =	7853	7851	7,0	A =	1000	700	2,128	2,115	2,121 gr/cm ³	B =	7321	7321	C =	7851	7690
% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados																																																																												
	Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio																																																																										
5,0	A =	1000	700	2,208	2,222	2,215 gr/cm ³																																																																										
	B =	7321	7321																																																																													
	C =	7868	7706																																																																													
5,5	A =	1000	700	2,232	2,208	2,220 gr/cm ³																																																																										
	B =	7321	7321																																																																													
	C =	7873	7704																																																																													
6,0	A =	1000	1000	2,169	2,155	2,162 gr/cm ³																																																																										
	B =	7321	7321																																																																													
	C =	7860	7857																																																																													
6,5	A =	1000	1000	2,137	2,128	2,132 gr/cm ³																																																																										
	B =	7321	7321																																																																													
	C =	7853	7851																																																																													
7,0	A =	1000	700	2,128	2,115	2,121 gr/cm ³																																																																										
	B =	7321	7321																																																																													
	C =	7851	7690																																																																													
<p><u>Nota:</u> Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25 °C por lo que según lo indicado en la Norma, su factor de corrección es 1,00.</p>																																																																																
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Elaboración Muestra: 2 al 5 de Enero del 2015																																																																														
		Fecha Ensayo: 3 al 6 de Enero del 2015																																																																														



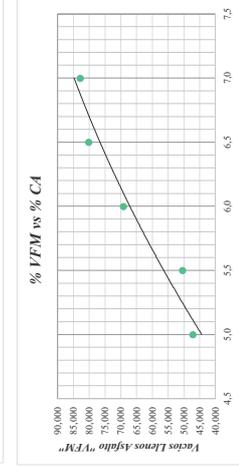
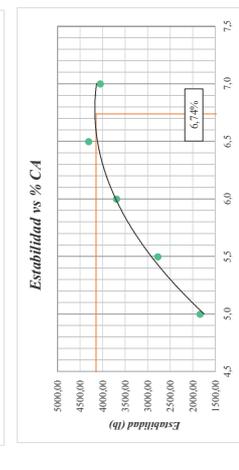
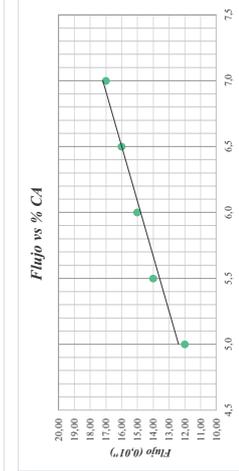
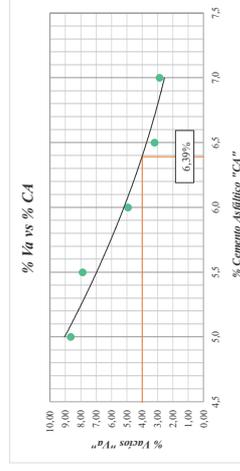
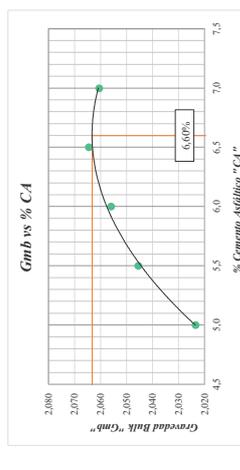
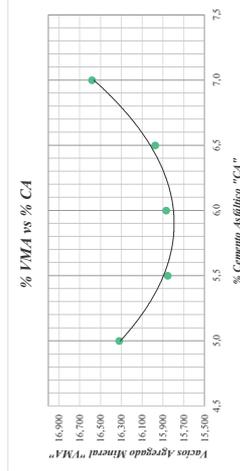
CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

MÉTODO MARSHALL - NORMA ASTM D 1559

Fecha	N° Prueba	% Asfalto Utilizado (P _u)	Altura cm	Volumen cm ³	Alife gr	Peso de Briqueta		Gravedad Específica del Asfalto G _{as} = 1.017 gr/cm ³	C _{as} de los Agregados = 2.297 gr/cm ³	2.581 gr/cm ³
						SSS gr	Agua gr			
3/001/2015	1		6.76	534.39	1070.8	1081.8	552.9	2.025		
3/001/2015	2		6.77	537.78	1072.1	1080.9	549.2	2.016		
3/001/2015	3	5.0	6.69	530.54	1062.4	1070.4	546.7	2.029		
3/001/2015	4		6.70	528.25	1052.1	1062.0	542.2	2.024		
	Promedio		6.73	532.74	1064.4	1073.8	547.8	2.023		
3/001/2015	1		6.62	524.04	1066.1	1072.6	557.9	2.071		
3/001/2015	2		6.82	546.05	1108.7	1114.3	573.0	2.048		
3/001/2015	3	5.5	6.82	545.09	1101.4	1106.5	567.4	2.043		
3/001/2015	4		6.87	550.08	1103.2	1109.3	562.9	2.019		
	Promedio		6.78	541.32	1104.9	1110.7	565.3	2.045		
2/02/2015	1		6.76	541.95	1111.4	1116.9	578.6	2.065		
2/02/2015	2		6.81	545.59	1110.8	1116.4	575.2	2.052		
2/02/2015	3	6.0	6.96	556.96	1134.7	1141.3	588.6	2.053		
2/02/2015	4		6.83	544.60	1112.2	1121.8	580.2	2.054		
	Promedio		6.84	547.27	1117.3	1124.1	580.7	2.056		
3/02/2015	1		6.72	538.77	1110.1	1114.8	580.6	2.078		
3/02/2015	2		6.85	550.42	1134.6	1139.5	592.4	2.074		
3/02/2015	3	6.5	6.86	561.28	1156.3	1160.4	592.2	2.039		
3/02/2015	4		6.90	588.91	1184.4	1187.8	599.3	2.067		
	Promedio		6.83	552.34	1138.9	1143.1	591.4	2.064		
3/02/2015	1		6.71	544.51	1137.4	1141.6	595.2	2.082		
3/02/2015	2		6.65	539.31	1120.9	1125.2	584.4	2.073		
3/02/2015	3	7.0	6.82	554.54	1146.9	1151.7	593.6	2.055		
3/02/2015	4		6.89	553.70	1129.1	1139.1	588.6	2.033		
	Promedio		6.76	548.01	1133.6	1139.4	589.2	2.060		

CÁLCULO DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN EL INSTITUTO DEL ASPHALTO

DETALE	% C.A.
Volumen de Vacíos "4%" (%Va)	6.39
Estabilidad Marshall "Lb"	6.74
Gravedad Específica Bulk Compacada (G _{mb})	6.60
% ÓPTIMO DE C.A.	6.6



Ensayado y Calculado por: Félix Forrey Aurora Chiquito
Revisado por: Ing. Lucecita Moreno Aleivar, Mg.

Anexo 4.
Comprobación de Porcentaje
Óptimo Calculado

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL																											
DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE LA MEZCLA																												
TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL".																												
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES																										
ENSAYO RICE (PORCENTAJE ÓPTIMO DE C. A.)																												
"NORMA ASTM D 2041 - AASHTO T 209"																												
<u>Nomenclatura:</u>																												
G_{mm} = Gravedad Específica Teórica Máxima. A = Peso en Aire de la Mezcla Asfáltica Secada al Horno, gr. B = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua a 25 °C ± 1 °C (77 °F), gr. C = Peso del Picnómetro de Vacío Lleno de Agua y Mezcla Asfáltica a 25 °C, gr.																												
<u>Fórmula:</u>																												
$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C}$																												
<u>Cálculos:</u>																												
Tráfico Pesado																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="3">Datos</th> <th colspan="3">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">6,6</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,151</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,193</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">2,172 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7321</td> <td style="text-align: center;">7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">7856</td> <td style="text-align: center;">7865</td> </tr> </tbody> </table>	% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados			Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	6,6	A =	1000	1000	2,151	2,193	2,172 gr/cm3	B =	7321	7321	C =	7856	7865		
% Asfalto Utilizado		Datos			Resultados																							
	Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio																						
6,6	A =	1000	1000	2,151	2,193	2,172 gr/cm3																						
	B =	7321	7321																									
	C =	7856	7865																									
Tráfico Medio																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="3">Datos</th> <th colspan="3">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">6,6</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,179</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,165</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">2,172 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7321</td> <td style="text-align: center;">7322</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">7862</td> <td style="text-align: center;">7860</td> </tr> </tbody> </table>	% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados			Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	6,6	A =	1000	1000	2,179	2,165	2,172 gr/cm3	B =	7321	7322	C =	7862	7860		
% Asfalto Utilizado		Datos			Resultados																							
	Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio																						
6,6	A =	1000	1000	2,179	2,165	2,172 gr/cm3																						
	B =	7321	7322																									
	C =	7862	7860																									
Tráfico Liviano																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">% Asfalto Utilizado</th> <th colspan="3">Datos</th> <th colspan="3">Resultados</th> </tr> <tr> <th>Nom.</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Muestra 1</th> <th>Muestra 2</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">6,6</td> <td>A =</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td style="text-align: center;">1000</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,160</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;">2,183</td> <td rowspan="3" style="text-align: center; background-color: #c8e6c9;">2,172 gr/cm3</td> </tr> <tr> <td>B =</td> <td style="text-align: center;">7321</td> <td style="text-align: center;">7321</td> </tr> <tr> <td>C =</td> <td style="text-align: center;">7858</td> <td style="text-align: center;">7863</td> </tr> </tbody> </table>	% Asfalto Utilizado	Datos			Resultados			Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio	6,6	A =	1000	1000	2,160	2,183	2,172 gr/cm3	B =	7321	7321	C =	7858	7863		
% Asfalto Utilizado		Datos			Resultados																							
	Nom.	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	Promedio																						
6,6	A =	1000	1000	2,160	2,183	2,172 gr/cm3																						
	B =	7321	7321																									
	C =	7858	7863																									
<u>Nota:</u> Todos los ensayos fueron elaborados a una temperatura de 25 °c por lo que según lo indicado en la Norma, su factor de corrección es 1,00.																												
Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito		Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.																										
Fecha Ensayo: 28 de Febrero del 2015																												



DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Gravedad Específica del Asfalto $G_{se} = 1.017 \text{ gr/cm}^3$ G_{se} de los Agregados = 2.297 gr/cm^3 G_{se} de los Agregados = 2.581 gr/cm^3

Tráfico Pesado (75 Golpes por cara)

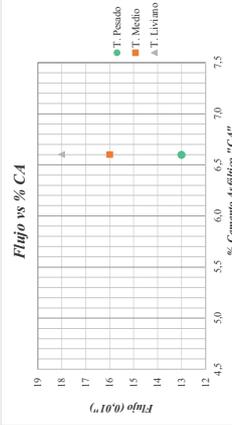
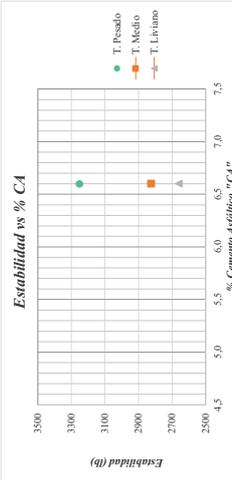
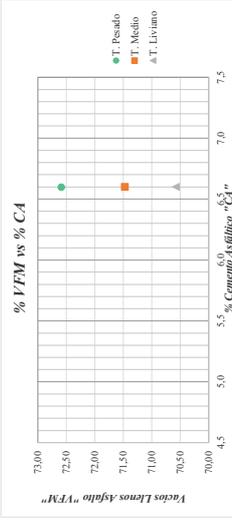
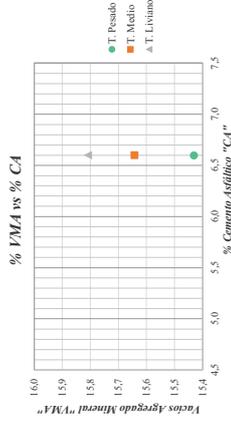
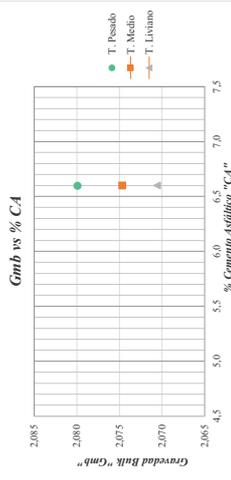
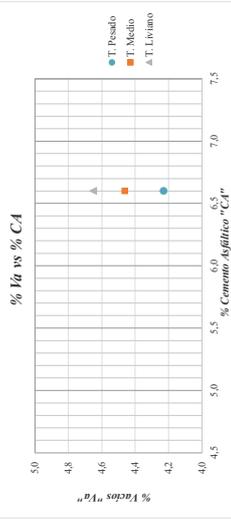
Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado (P _a)	Altura cm	Volumen cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla			% Volumen de Vacíos			% Asfalto			Estabilidad			Flujo 0.01"	
					Aire gr	SSS gr	Agua gr	Bulk (G _{mb}) g/cm ³	Teórica Máxima (G _{mm}) g/cm ³	Máxima Medida g/cm ³	Efectiva (G _e) g/cm ³	Vacíos (V _a)	Asfalto (V _c)	Aire (V _a)	Agregado Mineral (V _{MA})	Linos de Asfalto (V _{FA})	Absorbido (P _{ab})	Efectivo (P _{ef})	Corrección por Altura Briqueta		Estabilidad Corregida Kg
24/02/2015	1	6,75	544,39	1120,5	1122,6	582,2	2,073	2,361	2,121	2,361	84,569	4,230	11,201	1,21	5,47	1658,8	0,91	1509,51	33,27,90	12	
24/02/2015	2	6,82	551,91	1136,2	1140,8	591,3	2,068	2,172	2,121	2,361	84,569	4,230	11,201	1,21	5,47	1438,6	0,893	1284,67	28,22,21	13	
24/02/2015	3	6,87	550,94	1138,2	1142,0	598,8	2,088	2,172	2,121	2,361	84,569	4,230	11,201	1,21	5,47	1716,8	0,883	1515,93	33,42,06	14	
24/02/2015	4	6,82	547,69	1133,8	1136,9	594,6	2,091	2,172	2,121	2,361	84,569	4,230	11,201	1,21	5,47	1779,2	0,893	1588,83	35,02,76	12	
Promedio		6,82	548,73	1132,2	1135,6	591,2	2,080									1484,35			1436,70	3251,23	13

Tráfico Medio (50 Golpes por cara)

Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado (P _a)	Altura cm	Volumen cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla			% Volumen de Vacíos			% Asfalto			Estabilidad			Flujo 0.01"	
					Aire gr	SSS gr	Agua gr	Bulk (G _{mb}) g/cm ³	Teórica Máxima (G _{mm}) g/cm ³	Máxima Medida g/cm ³	Efectiva (G _e) g/cm ³	Vacíos (V _a)	Asfalto (V _c)	Aire (V _a)	Agregado Mineral (V _{MA})	Linos de Asfalto (V _{FA})	Absorbido (P _{ab})	Efectivo (P _{ef})	Corrección por Altura Briqueta		Estabilidad Corregida Kg
24/02/2015	1	6,96	560,87	1140,0	1137,9	587,9	2,073	2,172	2,121	2,361	84,357	4,463	11,181	1,20	5,48	1365,8	0,866	1182,78	26,07,59	15	
24/02/2015	2	7,05	569,22	1147,8	1139,8	585,9	2,065	2,172	2,121	2,361	84,357	4,463	11,181	1,20	5,48	1255,9	0,849	1066,26	23,50,70	16	
24/02/2015	3	6,88	556,39	1136,2	1132,0	584,7	2,076	2,172	2,121	2,361	84,357	4,463	11,181	1,20	5,48	1780,2	0,881	1568,36	34,57,63	16	
24/02/2015	4	7,04	566,27	1153,3	1148,2	595,1	2,085	2,172	2,121	2,361	84,357	4,463	11,181	1,20	5,48	1537,2	0,851	1308,16	28,83,99	15	
Promedio		6,98	563,19	1144,3	1139,5	587,9	2,075									1484,78			1272,47	2824,98	16

Tráfico Ligero (35 Golpes por cara)

Fecha	N° Briqueta	% Asfalto Utilizado (P _a)	Altura cm	Volumen cm ³	Peso de Briqueta			Gravedad Específica de la Mezcla			% Volumen de Vacíos			% Asfalto			Estabilidad			Flujo 0.01"	
					Aire gr	SSS gr	Agua gr	Bulk (G _{mb}) g/cm ³	Teórica Máxima (G _{mm}) g/cm ³	Máxima Medida g/cm ³	Efectiva (G _e) g/cm ³	Vacíos (V _a)	Asfalto (V _c)	Aire (V _a)	Agregado Mineral (V _{MA})	Linos de Asfalto (V _{FA})	Absorbido (P _{ab})	Efectivo (P _{ef})	Corrección por Altura Briqueta		Estabilidad Corregida Kg
24/02/2015	1	7,16	580,36	1182,8	1185,5	615,2	2,074	2,172	2,121	2,361	84,192	4,651	11,157	1,20	5,48	1518,8	0,829	1259,09	27,75,81	18	
24/02/2015	2	7,23	589,34	1200,6	1203,4	622,0	2,065	2,172	2,121	2,361	84,192	4,651	11,157	1,20	5,48	1641,8	0,82	1346,28	29,68,03	17	
24/02/2015	3	7,07	567,82	1157,5	1159,7	600,7	2,071	2,172	2,121	2,361	84,192	4,651	11,157	1,20	5,48	1383,0	0,845	1168,64	25,76,40	17	
24/02/2015	4	7,13	571,93	1145,4	1141,7	589,1	2,073	2,172	2,121	2,361	84,192	4,651	11,157	1,20	5,48	1262,2	0,834	1052,67	23,20,75	18	
Promedio		7,15	577,36	1171,6	1172,6	606,8	2,071									1451,45			1258,00	2602,25	18



Ensayado y Calculado por:
Felix Torres y Aurora Chiquillo
Revisado por:
Ing. Lucecita Moreno Alvarez, Mg.

Anexo 4- C.1: Tracción Indirecta (Tráfico Pesado).

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DE DAÑO POR HUMEDAD - ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (TRÁFICO PESADO - 75 GOLPES)						
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.						
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES				
"NORMA ASTM D 4867 - AASHTO T 283"						
CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	6,70	6,70	6,86	6,82	6,90	6,86
Diámetro (cm)	10,13	10,20	10,19	10,19	10,23	10,20
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1124,9	1123,5	1124,2	1134,8	1135,3	1136,1
Peso SSS (g)	1128,2	1126,3	1127,1	1138,2	1138,4	1138,3
Peso Sumergido (g)	574,9	572,4	573,2	580,1	580,5	579,9
Volumen (cm ³)	553,3	553,9	553,9	558,1	557,9	558,4
Gravedad Bulk "G _{mb} " 25°C	2,033	2,028	2,030	2,033	2,035	2,035
Gravedad Teórica Máxima "G _{mm} "	2,172	2,172	2,172	2,172	2,172	2,172
% de Vacíos en la Mezcla	6,39	6,60	6,55	6,37	6,30	6,32
Volumen de Vacíos en la Mezcla (cm ³)	35,33	36,58	36,26	35,57	35,14	35,28
SATURACIÓN AL VACÍO (BOMBA DE VACÍO)						
Peso SSS (g)	1142,8	1140,9	1142,9			
Peso Sumergido (g)	581,5	579,0	581,3			
Volumen (cm ³)	561,3	561,9	561,6			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	17,9	17,4	18,7			
% Saturación	50,7	47,6	51,6			
% Expansión	1,45	1,44	1,39			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
Altura después de la Inmersión (cm)	6,72	6,74	6,88			
Peso SSS (g)	1146,90	1145,20	1146,50			
Peso Sumergido (g)	583,90	581,80	583,10			
Volumen (cm ³)	563,00	563,40	563,40			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	22,00	21,70	22,30			
% Saturación	62,26	59,33	61,51			
% Expansión	1,75	1,72	1,72			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	642,8	638,8	645,0	748,5	740,2	742,0
Resistencia a la Tensión (Kg/cm ²)	6,02	5,92	5,86	6,86	6,68	6,75
PROMEDIO	RTh= 5,93			RTs= 6,76		
RESULTADO						
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$		87,71%			
DESCRIPCIÓN VISUAL	SI	NO				
Daños por Humedad		X				
Agregados Fracturados	X					
Realizado y Calculado por:	Revisado por:		Fecha Ensayo:			
Félix Torres y Aurora Chiquito	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.		28 de Febrero del 2015			

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					
EVALUACIÓN DE DAÑO POR HUMEDAD - ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (TRÁFICO MEDIO - 50 GOLPES)						
TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.						
TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.		TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES				
"NORMA ASTM D 4867 - AASHTO T 283"						
CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
BRIQUETA N°	1	2	3	4	5	6
Altura (cm)	7,00	7,03	6,89	6,75	6,68	6,71
Diámetro (cm)	10,18	10,17	10,21	10,19	10,22	10,18
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1127,3	1134,5	1122,2	1098,8	1102,6	1093,3
Peso SSS (g)	1132,8	1139,5	1127,5	1102,4	1105,1	1095,6
Peso Sumergido (g)	578,0	581,9	575,7	560,9	562,0	556,3
Volumen (cm ³)	554,8	557,6	551,8	541,5	543,1	539,3
Gravedad Bulk "G _{mb} " 25°C	2,032	2,035	2,034	2,029	2,030	2,027
Gravedad Teórica Máxima "G _{mm} "	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174	2,174
% de Vacíos en la Mezcla	6,53	6,41	6,45	6,66	6,61	6,75
Volumen de Vacíos en la Mezcla (cm ³)	36,24	35,73	35,59	36,05	35,91	36,38
SATURACIÓN AL VACÍO						
Peso SSS (g)	1145,8	1152,9	1140,5			
Peso Sumergido (g)	582,0	586,2	579,9			
Volumen (cm ³)	563,8	566,7	560,57			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	18,50	18,40	18,30			
% Saturación	51,04	51,49	51,42			
% Expansión	1,62	1,63	1,59			
BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C						
Altura después de la Inmersión (cm)	7,03	7,05	6,92			
Peso SSS (g)	1157,2	1163,9	1151,5			
Peso Sumergido (g)	592,1	596,1	589,5			
Volumen (cm ³)	565,1	567,8	562			
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	29,9	29,4	29,3			
% Saturación	82,50	82,28	82,33			
% Expansión	1,86	1,83	1,85			
ROTURA A TRACCIÓN						
Carga (kg)	564,2	560,9	565,3	635,7	633,0	632,7
Resistencia a la Tensión (Kg/cm ²)	5,02	4,98	5,10	5,88	5,90	5,90
PROMEDIO	RTh= 5,03			RTs= 5,90		
RESULTADO						
Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{RTh}{RTs}$		85,41%			
DESCRIPCIÓN VISUAL	SI	NO				
Daños por Humedad		X				
Agregados Fracturados	X					
Realizado y Calculado por:	Revisado por:		Fecha Ensayo:			
Félix Torres y Aurora Chiquito	Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.		28 de Febrero del 2015			



UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



EVALUACIÓN DE DAÑO POR HUMEDAD - ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA (TRÁFICO LIVIANO - 35 GOLPES)

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.

TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES

"NORMA ASTM D 4867 - AASHTO T 283"

CONDICIÓN	VÍA HÚMEDA			VÍA SECA		
	1	2	3	4	5	6
BRIQUETA N°						
Altura (cm)	7,15	7,06	6,89	6,56	7,23	6,87
Diámetro (cm)	10,19	10,22	10,24	10,25	10,28	10,28
Temperatura del Agua (°C)	25	25	25	25	25	25
Peso en Aire (g)	1152,3	1140,7	1124,9	1046,0	1146,8	1101,4
Peso SSS (g)	1158,4	1145,0	1129,6	1053,2	1153,7	1107,9
Peso Sumergido (g)	591,6	583,8	575,5	535,3	589,5	564,8
Volumen (cm ³)	566,8	561,2	554,1	517,9	564,2	543,1
Gravedad Bulk "G _{mb} " 25°C	2,033	2,033	2,030	2,020	2,033	2,028
Gravedad Teórica Máxima "G _{mm} "	2,172	2,172	2,172	2,172	2,172	2,172
% de Vacíos en la Mezcla	6,38	6,40	6,51	7,00	6,40	6,61
Volumen de Vacíos en la Mezcla (cm ³)	36,18	35,92	36,10	36,23	36,11	35,92

SATURACIÓN AL VACÍO

Peso SSS (g)	1171,8	1159,9	1144,2
Peso Sumergido (g)	594,5	588,1	579,9
Volumen (cm ³)	577,3	571,8	564,3
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	19,5	19,2	19,3
% Saturación	53,9	53,4	53,5
% Expansión	1,85	1,89	1,84

BRIQUETAS SUMERGIDAS DURANTE 24 HORAS A 60°C

Altura después de la Inmersión (cm)	7,18	7,10	6,92
Peso SSS (g)	1182,5	1170,7	1155,1
Peso Sumergido (g)	604,4	598,6	589,9
Volumen (cm ³)	578,1	572,1	565,2
Volumen de Agua Absorbida (cm ³)	30,2	30,0	30,2
% Saturación	83,47	83,51	83,66
% Expansión	1,99	1,94	2,00

ROTURA A TRACCIÓN

Carga (kg)	498,0	480,5	485,6	575,0	578,5	573,0
Resistencia a la Tensión (Kg/cm ²)	4,33	4,21	4,37	5,44	4,95	5,17
PROMEDIO	<i>R_{Th} = 4,31</i>			<i>R_{Ts} = 5,19</i>		

RESULTADO

Relación de Resistencia a la Tracción	$TSR = \frac{R_{Th}}{R_{Ts}}$	82,98%
DESCRIPCIÓN VISUAL	SI	NO
Daños por Humedad		X
Agregados Fracturados	X	

Realizado y Calculado por: Félix Torres y Aurora Chiquito	Revisado por: Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.	Fecha Ensayo: 28 de Febrero del 2015
---	---	--

Anexo 4- D: Ensayo de Extracción de Asfalto.



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE LA INGENIERÍA CIVIL



DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN
DE ASFALTO EN MEZCLAS CALIENTES

TESIS: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SAN VICENTE DE COLONCHE Y DEL RÍO SAN RAFAEL DE LA PROVINCIA DE SANTA ELENA UTILIZANDO EL MÉTODO MARSHALL.

TUTOR: ING. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR. Mg.

TESISTAS: AURORA CHIQUITO Y FÉLIX TORRES

"NORMA ASTM D 2172 - AASHTO T 164"

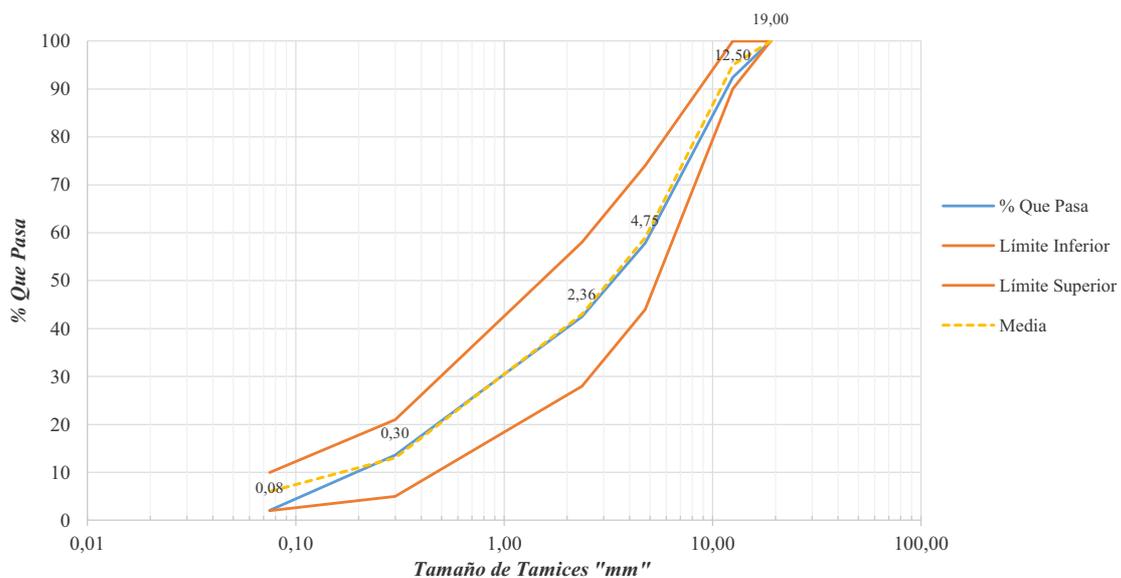
Cálculo de Porcentaje de Asfalto en la Mezcla

Peso inicial de la muestra	1000
Peso papel filtro antes del ensayo	14,13
Peso papel filtro después del ensayo	14,49
Peso final de la muestra	934
Peso de muestra retenida en papel filtro	0,36
Porcentaje de Asfalto en la muestra	6,564%

Granulometría de Extracción

TAMICES		PESO PARCIAL "gr"	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACION MTOP - ASTM D3515	
"in"	"mm"				LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/4"	19,00			100,00	100	100
1/2"	12,50	70,67	7,57	92,43	100	90
Nº 4	4,75	323,42	34,63	57,81	74	44
Nº 8	2,36	142,93	15,30	42,50	58	28
Nº 50	0,30	269,93	28,90	13,60	21	5
Nº 200	0,075	107,77	11,54	2,06	10	2
Fondo	0,00	19,28	2,06	0,00	0	0
TOTAL		934,00 gr				

CURVA GRANULOMÉTRICA DE EXTRACCIÓN



Realizado y Calculado por:

Félix Torres y Aurora Chiquito

Revisado por:

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar. Mg.

Fecha Ensayo:

28 de Febrero del 2015

Anexo 5.
Fotografías

Anexo 5-A: Ensayos Realizados al Agregado.

5-A.1.- Ensayo Granlométrico de los Agregados.



Tamices utilizados.



Materiales utilizados.



Ejecución del ensayo.

5-A.2.- Ensayo Límites de Atterberg.



Material a usar para el ensayo.



Copa de Casagrande.

5-A.3.- Ensayo de Partículas Aplanadas y Alargadas.



Ejecución del ensayo.



Partículas distribuidas. (Después del ensayo).



Equipo utilizado para el ensayo, Calibrador Proporcional.

5-A.4.- Ensayo de Angularidad del Agregado Grueso (Caras Fracturadas).



Selección del Material.



Realización del ensayo.



Agregado ensayado.

5-A.5.- Ensayo de Adherencia del Agregado con el Asfalto.



Antes del Ensayo.



Después del Ensayo.

5-A.6.- Ensayo de Partículas Deleznable y Terrones de Arcilla en los Agregados.



Agregados tamizados para la realización del ensayo.

5-A.7.- Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.



Condición Sumergida en Agua



Realización del Ensayo.

5-A.8.- Ensayo Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.



Equipo para determinar condición S.S.S.



Condición S.S.S. de las arenas.



Cantidad de muestra para el ensayo.



Picnómetro más muestra a ensayar.

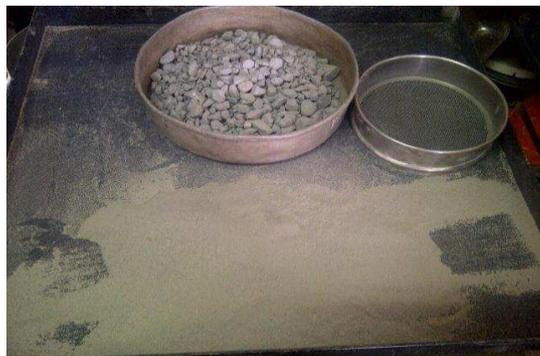
5-A.9.- Ensayo de Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles - Método C.



Selección de Agregados (Antes).



Después de ser sometidos al ensayo.



Residuos producido por la fuerza abrasiva.

5-A.10.- Ensayo de Angularidad del Agregado Fino.



Equipo utilizado para el ensayo.



Muestra: Arena de Río (Método A).



Muestra: Arena Tritrada (Método A).



Muestra: Arena de Río (Método B).



Muestra: Arena Tritrada (Método B).

5-A.11.- Ensayo de Equivalente de Arena.



Muestra: Arena de Río.



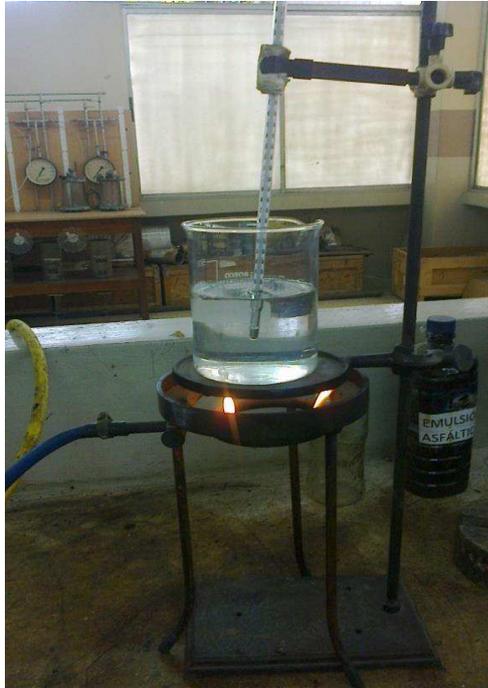
Muestra: Arena Tritrada.



Agitación Manual.

Anexo 5-B: Ensayos Realizados al Cemento Asfáltico.

5-B.1.- Ensayo de Punto de Ablandamiento.



Equipo para el ensayo.



Muestra de C.A. Ensayada.

5-B.2.- Ensayo de Penetración.



Equipo para el ensayo.

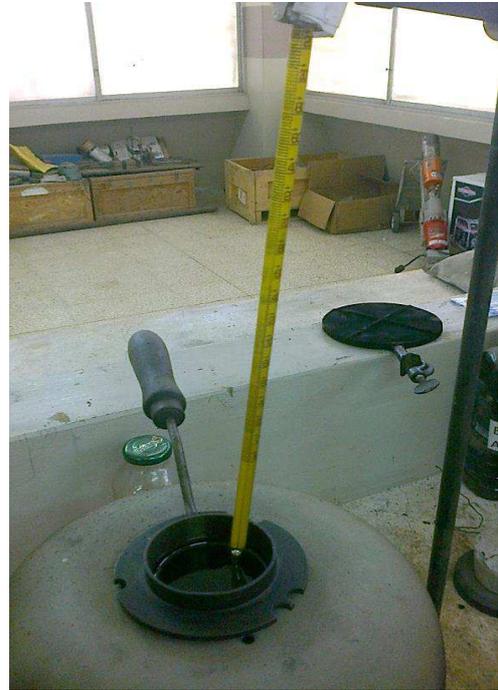


Introducción de Aguja.

5-B.3.- Ensayo de Punto de Infiamación.



Copa Abierta de Cleveland.



Muestra de C.A. Ensayada.

5-B.4.- Ensayo de Ductilidad.



Equipo para el ensayo.



Muestra sumergida en agua.



Muestra ensayada.

Anexo 5-C: Ensayos Realizados a la Mezcla Asfáltica. (Método Marshall)

5-C.1.- Elaboración de Briquetas



Equipo Marshall para elaborar briquetas.



Máquina de Rotura Marshall.



Mezclas de Agregados y Cemento Asfáltico



Elaboración de mezcla asfáltica.



Colocación de la mezcla en los moldes.



Compacción de briquetas



Briquetas con distintos porcentajes de C.A. para obtención de porcentaje óptimo.



Extracción de muestras.



Numeración de muestras para identificación.

5-C.2.- Toma de Medida de las Briquetas



Toma de diametro.



Toma de altura de la briqueta.



Pesaje de las briquetas.

5-C.3.- Gravedad Específica Bulk de las Briquetas.



Determinación de Densidad o Gravedad Específica Bulk de las Briquetas.

5-C.4.- Gravedad Específica Teórica Máxima.



Equipo Rice para el ensayo.



Muestra a ser ensayada.



Toma de temperatura al agua en la olla de vacío.

5-C.5.- Rotura Marshall.



Briqueta lista para ser ensayada.



Especímenes sumergidos a Baño María (60°C).



Briqueta luego de ser ensayada.

5-C.6.- Elaboración de briquetas con en porcentaje óptimo de C.A.



Briquetas elaboradas para distintos tipos de tráficos.

5-C.7.- Tracción Indirecta.



Espécimen a ser ensayado.



Después del ensayo.



Sección transversal de la muestra luego de ser ensayada.

5-C.8.- Extracción de Asfalto.



Material para el ensayo.



Muestra después después del ensayo.



Ensayo granulométrico de la extracción.