

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISERTACION PREVIA A LA OBTENCION DEL TÍTULO DE  
MASTER EN INGENIERÍA VIAL**

**TEMA: “ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE ESTABILIDAD  
Y MÓDULO DE RIGIDEZ PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN  
CALIENTE, EMPLEANDO AGREGADOS PÉTREOS DEL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO”**

**NOMBRE:           ING. ADRIANA KATHERINE ACOSTA VERA**

**DIRECTOR: ING. GUSTAVO YANEZ CAJAS**

**QUITO, 2014**

## TABLA DE CONTENIDOS

TABLA DE CONTENIDOS .....	i
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT .....	v
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Antecedentes .....	1
1.2    Planteamiento del Problema.....	2
1.3    Objetivos .....	3
1.3.1    Objetivo general .....	3
1.3.2    Objetivos específicos.....	3
1.4    Hipótesis .....	4
1.5    Alcance .....	4
1.6    Marco Teórico.....	4
1.6.1    Definición de Mezclas Asfálticas .....	4
1.6.2    Clasificación de Mezclas Asfálticas .....	5
1.6.3    Métodos de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente .....	6
1.6.4    Módulo de Rigidez .....	9
1.7    Análisis de Fuentes de Materiales Pétreos del Distrito Metropolitano de Quito para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente.....	10
1.7.1    Fuente de agregados pétreos Río Pita .....	11
1.7.2    Fuente de agregados pétreos Río Guayllabamba .....	12
1.7.3    Fuente de agregados pétreos Pifo (Construarenas).....	14
CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS Y LIGANTE ASFÁLTICO .....	15
2.1    Caracterización de agregados pétreos (gruesos y finos) .....	15
2.1.1    Análisis Granulométrico - Granulometría por mallas (agregado grueso y fino).....	15
2.1.2    Gravedad Específica y Absorción del agregado fino y grueso .....	24
2.1.3    Abrasión o Desgaste del agregado grueso .....	29
2.1.4    Equivalente de arena del agregado fino .....	30
2.1.5    Partículas fracturadas del agregado grueso.....	31
2.1.6    Partículas livianas en los agregados finos y gruesos .....	33
2.1.7    Contenido orgánico en los agregados finos .....	34
2.1.8    Resultados de la caracterización de agregados pétreos.....	35
2.2    Caracterización del ligante asfáltico .....	38
2.2.1    Densidad relativa y específica de materiales bituminosos semisólidos .....	39
2.2.2    Punto de inflamación con copa abierta Cleveland.....	40
2.2.3    Penetración de materiales bituminosos.....	41
2.2.4    Viscosidad a 60°C.....	42
2.2.5    Viscosidad Cinemática a 135°C, en base de la Viscosidad Dinámica con viscosímetro rotatorio	43
2.2.7    Viscosidad a 60°C del RTFO.....	46

2.2.8	Ductilidad al asfalto envejecido en RTFO.....	47
2.3	Selección de materiales pétreos y mezcla de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas .....	48
2.4	Elección del contenido de ligante asfáltico para el diseño de mezclas asfálticas por el Método Marshall.....	52
2.4.1	Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados del Río Pita.....	52
2.4.2	Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados de Guayllabamba.....	53
2.4.3	Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados de Pifo (Construarenas) .....	54
2.5	Tipos de mezclas asfálticas en caliente que van a ser incluidas en el diseño según el Método Marshall.....	54
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON EMPLEO DE AGREGADOS PÉTREOS EXISTENTES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, FABRICACIÓN DE BRIQUETAS .....</b>		<b>56</b>
3.1	Diseño de mezclas asfálticas en caliente con agregados pétreos de las Fuentes de Material del DMQ y obtención de los parámetros Marshall.....	56
3.1.1	Gravedades de la mezcla de agregados y de las mezclas asfálticas .....	57
3.1.2	Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas .....	58
3.1.3	Ensayo de estabilidad y flujo.....	60
3.1.4	Obtención de parámetros Marshall y determinación del contenido óptimo de asfalto .....	62
3.1.5	Ensayo de peladura.....	71
3.2	Elaboración de briquetas con el contenido óptimo de asfalto y agregado pétreo de las tres fuentes de materiales propuestas.....	72
3.2.1	Medición de diámetros y espesores de las briquetas .....	73
3.2.2	Determinación de la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada “Bulk” con el contenido óptimo de asfalto.....	74
3.2.3	Determinación de la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica con el contenido óptimo de asfalto .....	75
<b>CAPÍTULO IV. ENSAYOS DE PROBETAS, OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ESTABILIDAD MÓDULO DE RIGIDEZ.....</b>		<b>76</b>
3.1	Ensayo Módulo de Rigidez para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto, según Método EN 12697-26: 2004 Anexo C, "Indirect tension in cylindrical specimens Test" .....	76
4.1.1	Descripción del ensayo de Módulo de Rigidez.....	76
4.1.2	Obtención de Módulos de Rigidez para mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto ...	81
4.2	Ensayo estabilidad y fluencia para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto, según Método Marshall, estandarizado por la American Society Testing and Materials (ASTM) en la norma D1559 .....	82
4.3	Interpretación de resultados y análisis estadístico de correlación .....	83
4.3.1	Análisis de correlación estabilidad vs módulo de Rigidez, método estadístico y comprobación gráfica para las mezclas asfálticas propuestas .....	83
4.3.2	Cálculo del módulo de rigidez (y') ajustado con la ecuación de la línea de tendencia .....	88
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>91</b>
5.1	Conclusiones .....	91
5.2	Recomendaciones .....	93
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>94</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>96</b>
<b>ANEXO I.....</b>		<b>97</b>

INFORMES DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS (GRUESO Y FINO) .....	97
FUENTES DE MATERIALES PÉTREOS: RÍO PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS).....	97
ANEXO II .....	130
INFORMES DE CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO .....	130
ANEXO III .....	139
INFORMES DE ENSAYO MARSHALL: CURVAS DE ESTABILIDAD VS. FLUJO DE BRIQUETAS CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO .....	139
ENSAYO RICE: INFORME DE RESULTADOS DE GRAVEDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO .....	139
ENSAYO RICE: INFORME DE RESULTADOS DE GRAVEDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO .....	139
ANEXO IV .....	177
ENSAYO DE MÓDULO DE RIGIDEZ: INFORME DEL MÓDULO POR COMPRESIÒN DIAMETRAL DE BRIQUETAS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO .....	177
ENSAYO MARSHALL: CURVAS DE ESTABILIDAD VS FLUJO DE BRIQUETAS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO .....	177

## **RESUMEN**

En el presente estudio se analizará si existe correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para mezclas asfálticas en caliente. El diseño se efectúa mediante el Método Marshall; empleando agregados de las fuentes de material del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), ubicadas en la periferia del Distrito Metropolitano de Quito.

Como parte del diseño de las mezclas asfálticas en caliente por el Método Marshall, se ejecuta la caracterización de agregados finos y gruesos, así como del ligante asfáltico, luego se procede a la mezcla de fracciones de agregados para cada fuente de material y se determina el contenido óptimo de asfalto; parte de este proceso es determinar los parámetros de estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.

Se fabrican las briquetas con el contenido óptimo de asfalto y la mezcla de agregados de las fuentes de material antes mencionadas, seguido de esto se realizan los ensayos de Modulo de Rigidez y estabilidad (Ensayo Marshall) para analizar la correlación entre estas variables.

Con este estudio se pretende determinar las propiedades fundamentales de las mezclas, ya que puede sustituir gradualmente los parámetros empíricos (Marshall) y conseguir evaluar la mezcla asfáltica en caliente según su comportamiento mediante la obtención del módulo de rigidez. También sería de gran importancia, la obtención del módulo de rigidez en laboratorio o determinándolo en función de la estabilidad Marshall en caso de existir correlación, ya que este valor se utiliza como variable de entrada en el diseño estructural de pavimentos flexibles.

## **ABSTRACT**

In the present study, will analyze whether there is any correlation between stability and rigidity module for hot mix asphalt, and the design is made by the Marshall Method; using aggregates extracted from Pita River, Guayllabamba River and Pifo (Construareñas) located in the periphery of the Metropolitan District of Quito.

As part of the design of hot mix asphalt by the Marshall method, runs the characterization of fine and coarse aggregate, and the asphalt binder, then proceeds to mix aggregate fractions for each source material and determines the optimum asphalt content, part of this process is to determine the parameters of: stability, flow, density and void.

The briquettes are manufactured with the optimum content of asphalt and aggregate mixture of media sources mentioned above, after performing the test of Module of Rigidity and stability (Marshall test) to analyze the correlation between these variables.

With this study is to determine the fundamental properties of the mixtures, because that can gradually replace the empirical parameters (Marshall) and achieve evaluate the asphalt hot mix depending on their behavior by getting the modulus of rigidity. It would also be of great importance to obtain the modulus of rigidity in laboratory or determining it according to the Marshall stability if any correlation, since this value is used as an input variable in the structural design of flexible pavements.

# **CAPITULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Antecedentes**

Actualmente, el Distrito Metropolitano de Quito cuenta con el 45% del parque automotor del país, sin embargo, esta cifra va en aumento, puesto que 50 mil vehículos ingresan anualmente a la capital; ésta situación así como la calidad de los materiales pétreos, ligante asfáltico y mezclas asfálticas, las condiciones climáticas, de drenaje y el mantenimiento y conservación de las vías están ligados con los deterioro prematuro de los pavimentos de la red vial de la ciudad.

En el DMQ, la mayoría de calles y avenidas están compuestas por pavimentos flexibles, en cuyo diseño se considera las cargas del tránsito, los factores climáticos y las características de las capas de materiales que la conforman. En cuanto a la capa de rodadura, tanto para una carpeta asfáltica nueva, como para una capa de refuerzo se realiza el diseño de la mezcla asfáltica en caliente mediante el Método Marshall, de acuerdo a las “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador (MTOPE)<sup>1</sup>, que textualmente establece “Las muestras de hormigón asfáltico serán tomadas de la mezcla preparada de acuerdo con la fórmula maestra de obra, y sometidas a los ensayos según el método Marshall...” (MOP, 2002: p. IV-397), con este método se obtienen parámetros de fluencia, estabilidad, vacíos de la mezcla, vacíos en el agregado mineral y vacíos llenos de asfalto; los cuales deben estar dentro de los rangos establecidos en la norma y se realiza el control de calidad de estos parámetros en laboratorio y en la supervisión de obra.

Debido a las fallas que se evidencian en la superficie de rodamiento ya sea por daños en la carpeta asfáltica (baches y fisuras) y/o en las capas granulares que conforman la estructura de pavimento (ahuellamientos, hundimientos), que ponen en riesgo la seguridad, velocidad, y las condiciones mecánicas de los vehículos es importante realizar la evaluación del estado actual de las vías del DMQ y dependiendo de la magnitud del deterioro y severidad del tipo de daño presente en el pavimento. El organismo local encargado, tomará la decisión de realizar un mantenimiento vial, si el pavimento inicia su vida útil, está en buen estado y no tienen fallas estructurales; en cambio si se trata de vías deterioradas y que han

---

<sup>1</sup>Antes conocido como Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP).

cumplido su período de vida útil o existen fallas en la estructura del pavimento se realizará la rehabilitación pertinente.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

El Método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica<sup>2</sup>, a través del cual se determina el contenido óptimo de ligante asfáltico, siendo este parámetro solo una parte de un estudio más minucioso, que nos garantice el correcto comportamiento de las mezclas asfálticas. Las fases que se deben considerar en el proyecto de mezcla asfáltica son:

- Las condiciones en las que se trabajará la mezcla: tipo de vía (urbana, carretera, aeropuerto, etc.), tránsito, si es un pavimento nuevo o capa de refuerzo, intensidad de tráfico, clima.
- La determinación de propiedades fundamentales de las mezclas, esto es la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad.
- Seleccionar el tipo de mezcla asfáltica de acuerdo a requisitos específicos que implican un análisis económico y su puesta en obra.
- Materiales pétreos para mezclas asfálticas en caliente disponibles en las canteras ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito y la selección de agregados finos y gruesos que cumplan con las especificaciones MOP-001- F 2002.
- La elección del tipo de ligante asfáltico, según el tipo de mezcla, tránsito y clima.
- Obtención del contenido óptimo de ligante asfáltico, para las mezclas asfálticas en caliente, que emplean diferentes combinaciones de agregados pétreos.
- También hay que considerar las condiciones de drenaje, el sitio donde se construirá el pavimento (topografía, período de lluvias, geometría de la vía, etc.), estructura del camino, seguridad vial entre otros.

Las consideraciones antes descritas son de gran importancia para obtener mezclas asfálticas de calidad y durables que representan un gran ahorro económico a corto y largo plazo. Por lo cual, el presente estudio se enfoca en las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas en caliente; considerar su comportamiento dinámico frente a aplicaciones de carga; esto es a través del módulo de rigidez.

---

<sup>2</sup>Carlos Cáceres. *Análisis de la Metodología Superpave para el Diseño de Mezclas en México*. Puebla, Universidad de las Américas Puebla, 2007. Página 2.

En la actualidad, el Método Marshall es empleado por gran parte de las empresas públicas y privadas del DMQ para el control de calidad y el diseño de mezclas asfálticas en caliente; siendo éste de carácter empírico, por lo que al analizar si existe correlación entre estabilidad y módulo de rigidez obtenidos con el Ensayo Marshall y Módulo de Rigidez respectivamente, se determina cuál será la deformación de la mezcla asfáltica en condiciones de servicio, al momento de aplicar la carga.

Al existir correlación se obtiene el módulo de rigidez a partir de una fórmula maestra que estaría en función de los valores de la estabilidad Marshall de las mezclas asfálticas elaboradas con agregados pétreos de las fuentes de materiales del DMQ.

Por otro lado sería de gran importancia, la obtención del módulo de rigidez en laboratorio o determinándolo en función de la estabilidad Marshall en caso de existir correlación, ya que este valor se utiliza como variable de entrada en el diseño estructural de pavimentos flexibles y los métodos mecanicistas consideran un valor de módulo general obtenido de fórmulas o tablas asumiendo que el módulo es único y no tiene variación, sin tomar en cuenta que el módulo de Rigidez depende de una serie de parámetros como las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar la correlación entre la Estabilidad y Módulo de Rigidez de los diseños de mezclas asfálticas en caliente, con el empleo de agregados pétreos del Río Pita (Sector Pintag), Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito, para determinar las propiedades fundamentales de las mezclas y no basarnos solamente en un método empírico como es el Marshall.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar y determinar las fuentes de materiales pétreos del Río Pita (Sector Pintag), Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), ubicadas en la periferia del DMQ, que disponen de agregados calificados para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

- Analizar y ensayar las muestras de agregados pétreos y ligante asfáltico.
- Seleccionar y combinar los agregados finos y gruesos que se van a emplear para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.
- Determinar los tipos de mezclas asfálticas en caliente que van a ser incluidas en el presente análisis de correlación.
- Realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, según el Método Marshall para las diferentes tipos de combinación que serán incluidas en el estudio.
- Ensayar los tipos de mezclas asfálticas en caliente mediante los dos ensayos Marshall y Módulo de Rigidez.
- Obtener los resultados de estabilidad y módulo de rigidez en los tipos de mezclas asfálticas en caliente propuestos.
- Analizar la correlación entre los parámetros estabilidad y módulo de rigidez.

#### **1.4 Hipótesis**

¿Existe correlación entre la Estabilidad y el Modulo de rigidez para los tipos de mezclas asfálticas en caliente propuestos, empleando agregados pétreos de las canteras del Río Pita (Sector Pintag), Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito?

#### **1.5 Alcance**

La presente tesis culminará con la selección de agregados pétreos provenientes de las fuentes de materiales del Río Pita (Sector Pintag), Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), que se encuentran ubicadas en la periferia del Distrito Metropolitano de Quito para el diseño de mezclas asfálticas en caliente mediante el Método Marshall, fabricación de briquetas con el contenido óptimo de asfalto y la obtención de resultados de estabilidad y módulo de rigidez para el análisis de la correlación entre éstos dos parámetros (estabilidad y módulo de rigidez).

#### **1.6 Marco Teórico**

##### **1.6.1 Definición de Mezclas Asfálticas**

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos con ligante asfáltico, donde las partículas de agregado quedan cubiertos por una película de asfalto; son fabricadas en plantas fijas o móviles, después se transportan en volquetas al proyecto

donde se colocan y compactan con el equipo idóneo que facilitan su ejecución. Se emplean en la construcción de bases, carpetas de rodadura y recapeo de vías existente.

En las mezclas asfálticas, la proporción de agregados pétreos fino y grueso que las constituyen son de aproximadamente un 90%, un 5% de polvo mineral y el 5% de ligante asfáltico.

### **1.6.2 Clasificación de Mezclas Asfálticas**

Se consideran varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre distintas mezclas, debido a lo cual las clasificaciones son:

#### **a) Por fracciones de agregado pétreo empleado**

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

#### **b) Por la temperatura de puesta en obra**

- Mezcla asfáltica en caliente: Fabricada con cemento asfáltico que se calienta a altas temperaturas (rango 150° grados centígrados), dependiendo de la viscosidad del ligante y así permitir que se mezcle con el material pétreo. De igual forma los agregados pétreos son calentados para que al entrar en contacto con el ligante, éste no se enfríe. Es importante anotar que la puesta en obra también se la realiza a temperaturas superiores a la ambiente para que los materiales puedan extenderse y compactarse.
- Mezcla asfáltica en frío: El ligante que se emplea comúnmente es la emulsión con asfalto fluidificado, ya que se caracteriza por su trabajabilidad a temperatura ambiente y el aumento de la viscosidad es muy lento. Una vez colocada la mezcla asfáltica en frío en capas de espesor reducidos, su endurecimiento es relativamente rápido y el aumento de su resistencia debido a la evaporación del fluidificante.

#### **c) Por la proporción de vacíos de la mezcla asfáltica**

- Mezclas cerradas o densas: Proporción de vacíos no supera el 6%.
- Mezclas semi-cerradas o semi-densas: Proporción de vacíos entre 6% y 10%.

- Mezclas abiertas: Proporción de vacíos mayor al 12%.
  - Mezclas porosas o drenantes: Proporción de vacíos al 20%.
- d) Por el tamaño máximo del agregado pétreo**
- Mezclas gruesas: El tamaño máximo del agregado pétreo es mayor a los 10mm.
  - Mezclas finas: Se las conoce también como microaglomerados o morteros asfálticos, ya que están compuestas básicamente por árido fino, el cual incluye polvo mineral, mezclado con un ligante asfáltico.
- e) Por la estructura del agregado pétreo**
- Mezclas con esqueleto mineral: Tiene un esqueleto mineral resistente por lo que el rozamiento interno de los agregados es considerable.
  - Mezclas sin esqueleto mineral: No contienen un esqueleto mineral resistente, solo existe resistencia por la cohesión de la masilla.
- f) Por la granulometría**
- Mezclas continuas: Son mezclas que contienen una cantidad distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en la faja granulométrica.
  - Mezclas discontinuas: en la mezcla la cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

### **1.6.3 Métodos de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente**

Para una mezcla asfáltica en caliente la combinación de cemento asfáltico y agregado pétreo son en proporciones exactas; y éstas determinan las propiedades físicas de la mezcla y el desempeño de la carpeta asfáltica una vez colocada.

A lo largo del tiempo los métodos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, han evolucionado, a continuación se detallan estos métodos:

#### **1.6.3.1 Método The Hubbard-Field**

Creado en los años 1920's, éste método fue de los primeros en evaluar contenidos de vacíos en el agregado mineral y en la mezcla; empleaba una estabilidad como prueba para medir la deformación, funcionaba solo para evaluar mezclas asfálticas con agregado pétreo pequeño o granulometrías finas y no para mezclas con agregados grandes.

### **1.6.3.2 Método Marshall**

Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall (1930) y la US Army Corps of Engineers mejoró y agregó ciertos aspectos; motivo por el cual fue normalizado como ASTM 1559 (AASHTO T 245). Actualmente el Método Marshall es uno de los más aplicados para un diseño adecuado de mezcla asfáltica en caliente que contenga agregado con tamaño máximo a 25mm(1"); éste experimento puede emplearse tanto para el diseño en laboratorio como para el control de calidad de la mezcla asfáltica en campo.

El Método Marshall es un experimento encaminado al diseño de una mezcla asfáltica en caliente apropiada a través del análisis de estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.

Previo a la ejecución de éste método hay que considerar los siguientes aspectos:

- Los materiales que se va a emplear (agregado pétreo y ligante asfáltico) deben cumplir con las normas establecidas en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP- 001- F 2002, así como la combinación de agregados.
- Determinar las densidades reales secas de todos los agregados y del asfalto para ser empleados en el análisis de huecos de la mezcla.

Con éste método obtenemos el contenido de asfalto óptimo para mezclas asfálticas en caliente, y los parámetros que se estudian durante este procedimiento son:

- Estabilidad y fluencia Marshall: nos asegura que la mezcla no sufrirá deformación.
- Vacíos de aire de la Mezcla: inferiores al 3% tienden a producir inestabilidad y exudación, mayores al 5% producen mezclas permeables al aire y agua, por lo que son propensas a sufrir envejecimiento prematuro y posterior desintegración.
- Vacíos en el Agregado Mineral (VAM): controlar que existe suficiente espacio en el agregado para alojar el asfalto.
- Vacíos Llenos de Asfalto (VFA): asegurar la durabilidad de la mezcla.

#### **1.6.3.3 Método Hveen (1940)**

Fue desarrollado casi al mismo tiempo que el método Marshall, evalúa parámetros como densidad, estabilidad pseudotriaxial y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por presencia de agua. Este ensayo tiene dos ventajas específicas que son el método de compactación por amasado y el parámetro de resistencia, estabilidad. La desventaja que presenta el método es que el equipo empleado para el ensayo, particularmente el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveen, es más costoso que el equipo del Marshall y no muy portable. Ciertas propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son obtenidas rutinariamente en el método Hveen.

#### **1.6.3.4 Método WASHTO (1984)**

El método WASHTO (Western Association of State Highway on Transportation Officials), sugirió cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas asfálticas para mejorar la resistencia a las deformaciones plásticas.

#### **1.6.3.5 Método AAMAS (1987)**

Debido a la necesidad de realizar cambios en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, después de dos años de la propuesta del WASTHO, se desarrolló el método AAMAS (Asphalt Aggregate Mixture Analysis System) que contiene una nueva técnica de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia a las grietas a baja temperatura.

#### **1.6.3.6 Método SUPERPAVE (1993)**

El método AMMAS es el punto de partida para el desarrollo de un nuevo sistema conocido como SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) que es una metodología más avanzada de especificación de materiales asfálticos, diseño volumétrico completo de mezclas asfálticas y su análisis basado en predicciones de desempeño del pavimento a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura.

Este método evalúa de forma individual los siguientes componentes:

- **Granulometría:** ha modificado el enfoque de la granulometría Marshall, empleando una técnica gráfica única para juzgar la distribución de tamaños acumulados de partículas de una mezcla de agregados. Propone un diseño de la estructura del agregado que pase entre los puntos de control y evite la zona de restricción.
- **Especificaciones de la metodología:** la selección del contenido óptimo de asfalto depende de los criterios establecidos para compactación y el número de giros aplicados. La selección del número de giros está en función de la temperatura ambiente y del número de ejes equivalentes (ESAL's) establecidos en el diseño.
- **Pruebas a las mezclas asfálticas:** corresponde a las propiedades volumétricas como son vacíos de aire, vacíos del agregado mineral y vacíos llenos de asfalto. Otros requerimientos son la proporción de polvo en la mezcla asfáltica y la susceptibilidad a la humedad "Resistencia de mezclas bituminosas compactadas al daño inducido por humedad".

#### 1.6.4 Módulo de Rigidez

Para el diseño estructural de pavimentos, por ser considerado un sistema multicapa elástico lineal, el módulo de rigidez es un parámetro necesario y mediante equipos especializados ya sea con probetas elaboradas en laboratorio o testigos tomados de vías existentes, se realiza el ensayo para obtener el valor del módulo de rigidez (Comité Europeo de Normalización), para la determinación del módulo en laboratorio según el método EN 12697-26: 2004 Anexo C, "Indirect tension in cylindrical specimens Test", se fabrica una probeta cilíndrica normalizada de dimensiones 63.5 mm de altura, por 101.6 mm de diámetro y se aplica un pulso de carga haversine sobre el manto lateral, y se mide la deformación axial en cada ciclo de carga. Con este procedimiento se quiere simular lo que pasa en el pavimento en dos situaciones: cuando la rueda de un camión está a una distancia considerable de un punto en el pavimento, la tensión en este punto es cero; cuando la rueda se encuentra exactamente en el punto, la tensión es máxima. El tiempo de duración del pulso de carga depende de la velocidad del camión y de la profundidad bajo la superficie del pavimento.

El módulo complejo corresponde a la relación entre el esfuerzo y la deformación para un material viscoelástico (cemento asfáltico) y el módulo de rigidez corresponde al valor absoluto del módulo complejo, o el valor del módulo secante, es decir, a la relación entre el esfuerzo y la deformación en un tiempo de carga “t”, para un material sujeto a una carga con una tasa de deformación controlada. De esta forma, para bajas temperaturas (rango elástico), el Módulo Complejo es igual al Módulo de Rigidez<sup>3</sup>.

La diferencia conceptual que existe entre Módulo Resiliente y Módulo de Rigidez, está en que para la determinación del Módulo de Rigidez se considera la deformación producida en el momento de aplicar la carga, y para la obtención del Módulo Resiliente se considera la deformación recuperable luego de aplicar la carga. Dadas las características viscoelásticas de la mezcla asfáltica, la deformación recuperable se separa en dos componentes: La deformación recuperable en forma instantánea luego de finalizar el pulso de carga, y la deformación recuperable total, que se produce con un pequeño desfase luego de eliminada la carga, es por eso que en cuanto al módulo resiliente se habla de Módulo Instantáneo y Módulo Total.

### **1.7 Análisis de Fuentes de Materiales Pétreos del Distrito Metropolitano de Quito para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente**

El término de material se emplea para designar de manera general a los sitios en donde existen materiales de construcción sin identificar su naturaleza. Para especificar el origen del material pétreo, se denomina cantera al afloramiento rocoso que está siendo explotado o existe algún estudio para la construcción de carretas y se presentan las rocas sanas, meteorizadas, muy fracturadas, etc., y se designa mina a los materiales granulares depositados en sitios determinados por algún agente dinámico como el agua; siendo más relevantes los materiales aluviales compuestos por cantos rodados, gravas y arenas; o también el concepto de mina puede emplearse para ciertos tipos materiales que sean fácilmente removibles (depósito glaciar, areniscas, conglomerados poco cementados, etc.).

---

<sup>3</sup> Gonzalo Palma. *Estudio de comportamiento del módulo de rigidez en mezclas asfálticas, determinado mediante ensayos de laboratorio y obtenidos con instrumentación de terreno*. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 2010. Páginas 2, 3 y 6

El origen de los materiales de construcción es de carácter geológico, el Ecuador se divide en tres regiones con importantes rasgos geomorfológicos<sup>4</sup> que son la Región Costa, Interandina y Amazónica.

La Provincia de Pichincha, por estar situada en la región Sierra tiene una estructura geológica con presencia de rocas sedimentarias de Edad Cuaternario y de afloramientos importantes de rocas volcánicas de la Edad Jurásico-Cretácico.

Por las características señaladas, en el Distrito Metropolitano de Quito existe el afloramiento de andesitas, arcillas, arenas, areniscas, gravas, piedra pómez, entre otros; éstos materiales pétreos son empleados para la construcción de obras civiles y viales, pero el análisis y selección de áridos que cumplan con rangos y límites descritos en las especificaciones vigentes en Ecuador para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente es mucho más compleja y de acuerdo análisis de fuentes de materiales empleadas por las empresas que producen mezclas asfálticas en caliente para proyectos viales, se tomó muestras de agregados pétreos de los sectores del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas) que se encuentran en la periferia del DMQ.

## **1.7.1 Fuente de agregados pétreos Río Pita**

### **1.7.1.1 Ubicación**

El Río Pita es el límite natural entre los cantones Rumiñahui y Distrito Metropolitano de Quito, el área concesionada para explotación minera se encuentra ubicada al lado derecho de la vía E35 (Tambillo-Cusubamba) y se ingresa por el sector Cashapamba, a 4 km aproximadamente del redondel “El Colibrí”.

Las coordenadas de la mina del Río Pita son: Lat/Lon actual: (-0.33131533993026835, -78.41894030570984)<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Ministerio de Obras Públicas del Ecuador. *Inventario Nacional de Fuente de Materiales de Construcción*. Ecuador, Departamento de Geotecnia, MOP, 1986. Página 1.

<sup>5</sup> Internet. <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Rio-Pita&id=43> Acceso: 2014.



Fotografía No.1.1: Ubicación Geográfica de la fuente de material Río Pita.

### 1.7.1.2 Descripción del tipo de material

Deposito aluvial, donde encontramos materiales como gravas y arenas; los fragmentos rocosos extraídos del río con excavadoras de oruga, luego pasan por un proceso de trituración para obtener los tamaños de agregados requeridos.

### 1.7.1.3 Usos en la construcción

Los agregados pétreos del Río Pita se pueden emplear como subbase, base, mezclas asfálticas y hormigones.

### 1.7.1.4 Toma de muestra de agregados pétreos

Se tomó muestra de material de agregado triturado 3/4", 3/8" mezclado con arena del stock de la planta Asfáltica de CONSERMIN, ubicada en el Río Pita; la toma de muestra fue realizada por el método de cuarteo.

## 1.7.2 Fuente de agregados pétreos Río Guayllabamba

### 1.7.2.1 Ubicación

El área concesionada para explotación minera en el Río Guayllabamba se encuentra en la Panamericana Norte E35, en el Km32 entre la Parroquia Calderón y Parroquia Guayllabamba, bajo el puente del mismo nombre.

Las coordenadas de la mina del Río Guayllabamba son: Lat/Lon actual: (-0.07237134439546777, -78.37641388177872)<sup>6</sup>.



Fotografía No.1.2: Ubicación Geográfica de la fuente de material Río Guayllabamba.

### 1.7.2.2 Descripción del tipo de material

Deposito aluvial, donde encontramos gravas extraídas del río con excavadoras de oruga, que pasan por un proceso de trituración, también se explota arena de los bloques de roca (depósito volcánico sedimentario).

### 1.7.2.3 Usos en la construcción

Los materiales granulares de la zona se utilizan para obras civiles y viales (subbase, base, mezclas asfálticas).

### 1.7.3.4 Toma de muestra de agregados pétreos

Para el diseño de mezclas asfálticas se tomó muestra de agregado triturado 3/4", 1/2" y arena de banco de la empresa Menatlas, ubicada en este sector; la toma de muestra fue realizada por el método de cuarteo.

<sup>6</sup> Internet. <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Hoya-del-Rio-Guayllabamba&id=4398>  
Acceso: 2014.

### 1.7.3 Fuente de agregados pétreos Pifo (Construarenas)

#### 1.7.3.1 Ubicación

La cantera de Construarenas está situada en la carretera Sangolquí – Pifo, Troncal Amazónica E35, a 2 Km aproximada mente de la “Y” de Pifo – Papallacta.

Las coordenadas de la cantera de Pifo (Construarenas) son: Lat/Lon actual: (-0.25395608241125, -78.33629339933395)<sup>7</sup>.



Fotografía No.1.3: Ubicación Geográfica de la fuente de material Pifo (Construarenas).

#### 1.7.3.3 Usos en la construcción

Los materiales triturados de esta cantera son empleados en la construcción de vías (mezclas asfálticas, base, subbase) y edificaciones (hormigones).

#### 1.7.3.4 Toma de muestra de agregados pétreos

Para el diseño de mezclas asfálticas se tomó muestra de agregado triturado 3/4", 1/2" y arena triturada del material que se vende en la cantera CONSTRUARENAS, para diferentes proyectos viales y civiles.

<sup>7</sup> Internet. <http://mapasamerica.dices.net/ecuador/mapa.php?nombre=Pifo&id=509> Acceso: 2014.

## **CAPITULO II. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS Y LIGANTE ASFÁLTICO**

Los ensayos de agregados pétreos, cemento asfáltico se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en el Área de Hormigones y Pavimentos respectivamente, al final de la caracterización de los agregados pétreos y ligante asfáltico, el Laboratorio de Materiales emitió los informes de resultados que se incluyen en el Anexo 2.

### **2.1 Caracterización de agregados pétreos (gruesos y finos)**

Un procedimiento preliminar para el diseño de mezclas asfálticas óptima es la caracterización de los agregados pétreos en laboratorio, los ensayos para áridos gruesos y finos están normados por la ASTM<sup>8</sup> y/o por su equivalente en las normas AASHTO<sup>9</sup> y los resultados de los mismos deben cumplir con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes vigentes en el Ecuador.

#### **2.1.1 Análisis Granulométrico - Granulometría por mallas (agregado grueso y fino)**

**Norma Ensayo:** ASTM C 136      AASHTO T27

**Alcance:** Éste ensayo abarca la determinación del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos; usando tamices con aberturas cuadradas y también es aplicable con el uso de tamices con aberturas redondas.



Fotografía No.2.1: Análisis Granulométrico, tamizado de agregados finos y gruesos.

---

<sup>8</sup> ASTM (American Society Testing and Materials)

<sup>9</sup> AASHTO (American Association of State Highway on Transportation Officials)

**Resultados:**

Fuente de material: **Río Pita**

Módulo de finura: 4.98 (3/8 plg y arena)

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.70	394	394	22.01	77.98
3/8"	9.51	196	590	32.96	67.04
No.4	4.76	293	883	49.35	50.65
No.8	2.36	258	1141	63.76	36.24
No.16	1.18	174	1315	73.49	26.51
No.30	0.60	121	1436	80.24	19.76
No.50	0.30	99	1535	85.74	14.26
No.100	0.15	79	1613	90.13	9.87
No.200	0.07	63	1676	93.66	6.34
Pasa No.200		113	113		
SUMA		1790	1789		

Tabla No.2.1: Granulometría agregado 3/8" + arena. Fuente de material Río Pita.

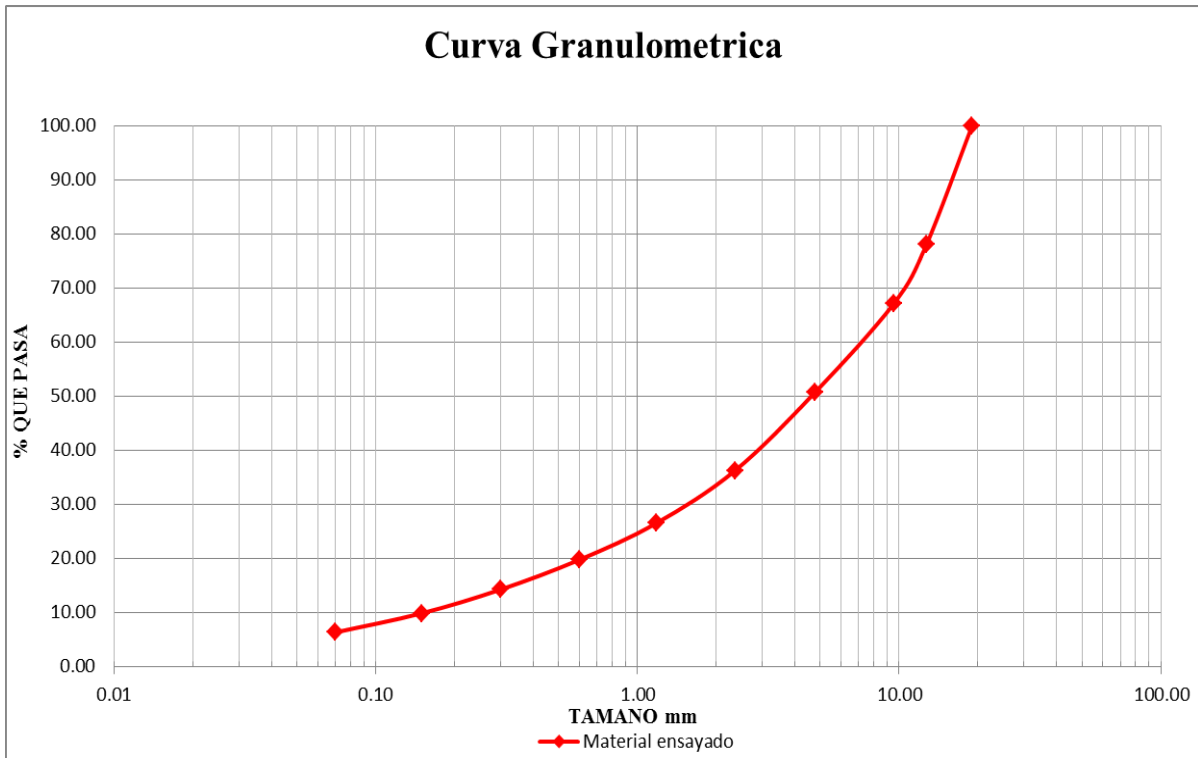


Gráfico No.2.1: Curva Granulométrica agregado 3/8" + arena. Fuente Río Pita.

Fuente de material: **Río Pita**

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg

Tamaño máximo del agregado: 1 plg

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	79	79	0.36	99.64
1/2"	12.70	9876	9955	45.58	54.42
3/8"	9.51	5972	15927	72.92	27.08
No.4	4.76	3551	19478	89.18	10.82
Pasa No.4		2363	2363		
SUMA		21841	21841		

Tabla No.2.2: Granulometría agregado 3/4". Fuente de material Río Pita.

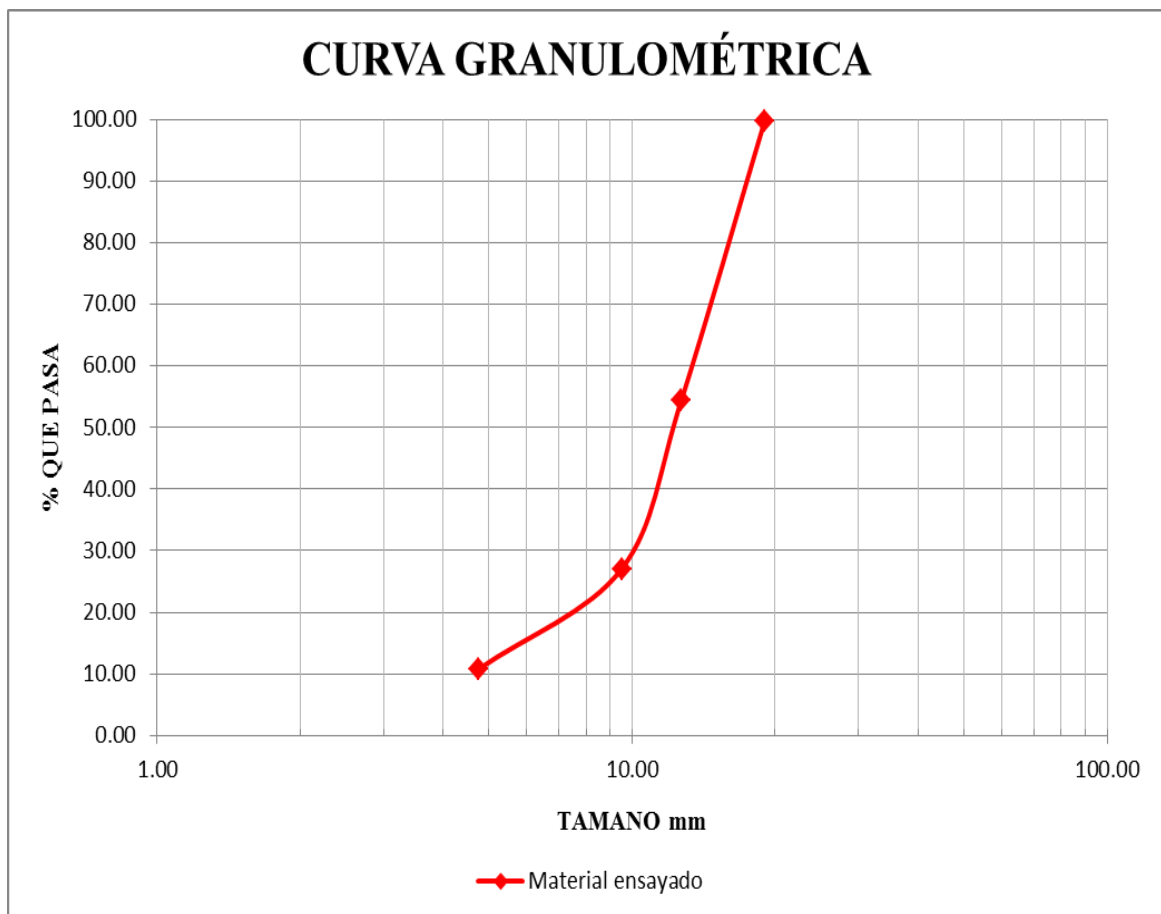


Gráfico No.2.2: Curva Granulométrica agregado 3/4". Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Módulo de finura: 3.74

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.70	0	0	0.00	100.00
3/8"	9.51	93	93	8.22	91.78
No.4	4.76	238	331	29.26	70.74
No.8	2.36	194	526	46.40	53.60
No.16	1.18	137	662	58.47	41.53
No.30	0.60	109	771	68.11	31.89
No.50	0.30	110	881	77.79	22.21
No.100	0.15	93	974	86.00	14.00
No.200	0.07	104	1078	95.14	4.86
Pasa No.200		55	55		
SUMA		1133	1133		

Tabla No.2.3: Granulometría de agregado fino. Fuente de material Río Guayllabamba.

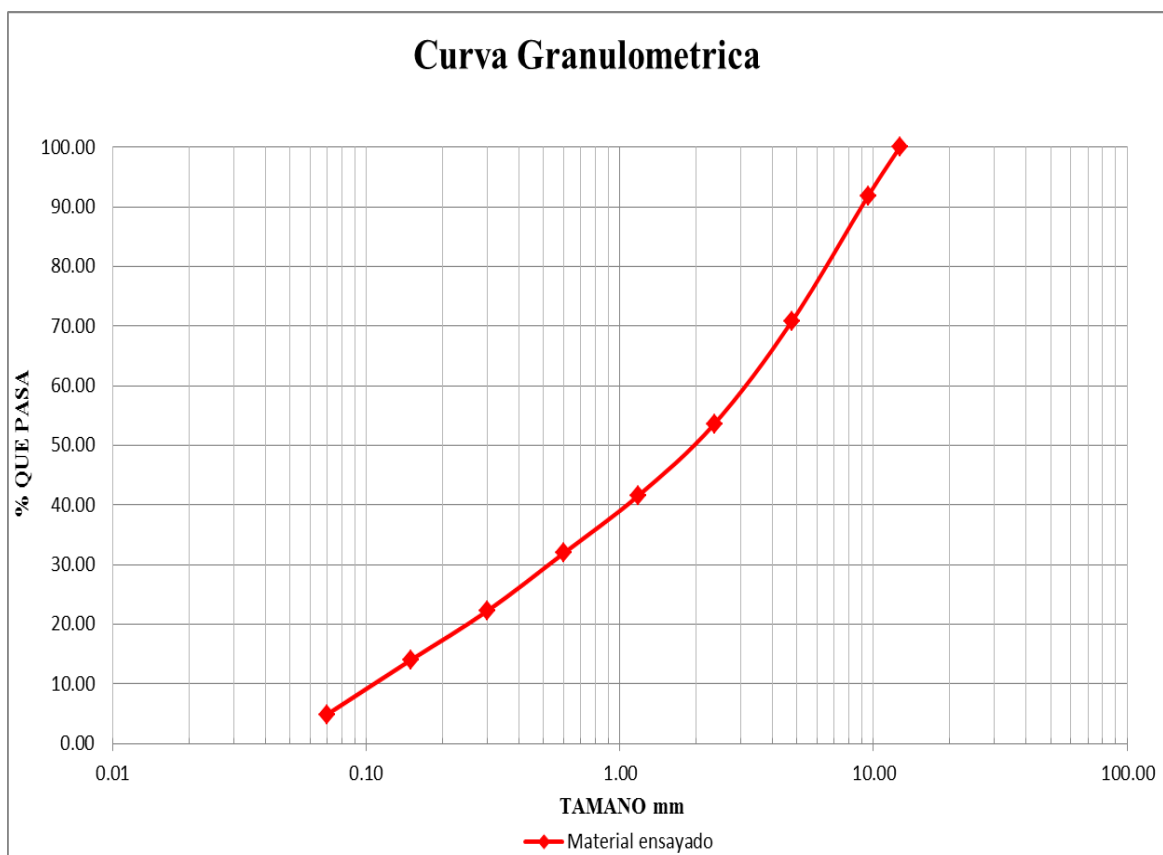


Gráfico No.2.3: Curva Granulométrica arena. Fuente de material Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4 plg

Tamaño máximo del agregado: 1 plg

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 1/2"	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	40	40	0.20	99.80
3/4"	19.00	1215	1255	6.27	93.73
1/2"	12.70	10730	11985	59.85	40.15
3/8"	9.51	3025	15010	74.96	25.04
No.4	4.76	2200	17210	85.94	14.06
Pasa No.4		2815	2815		
SUMA		20025	20025		

Tabla No.2.4: Granulometría agregado 3/4". Fuente de material Río Guayllabamba.

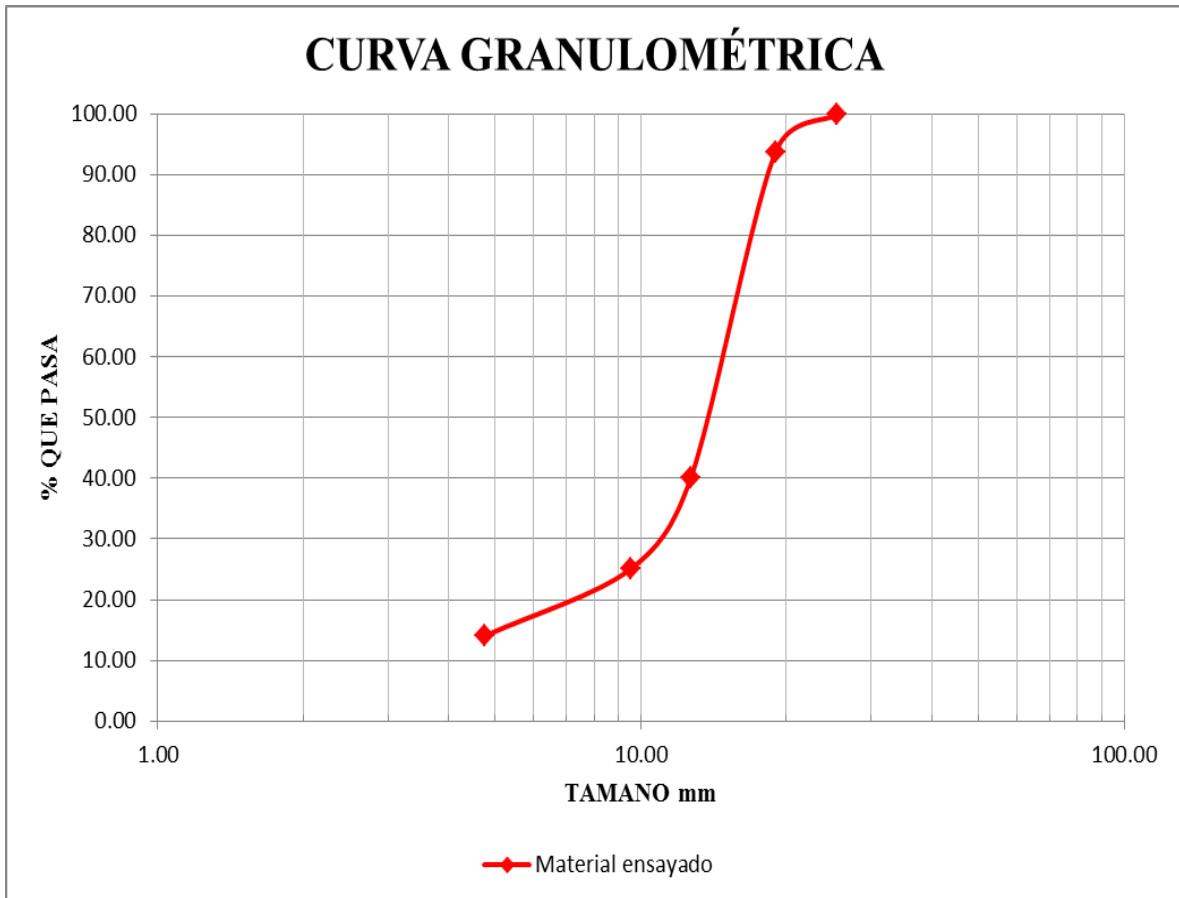


Gráfico No.2.4: Curva Granulométrica agregado 3/4". Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tamaño máximo nominal del agregado: 1/2 plg

Tamaño máximo del agregado: 3/4 plg

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	590	590	3.99	96.01
1/2"	12.70	7190	7780	52.64	47.36
3/8"	9.51	2540	10320	69.82	30.18
No.4	4.76	2220	12540	84.84	15.16
Pasa No.4		2240	2240		
SUMA		14780	14780		

Tabla No.2.5: Granulometría agregado 1/2". Fuente de material Río Guayllabamba.

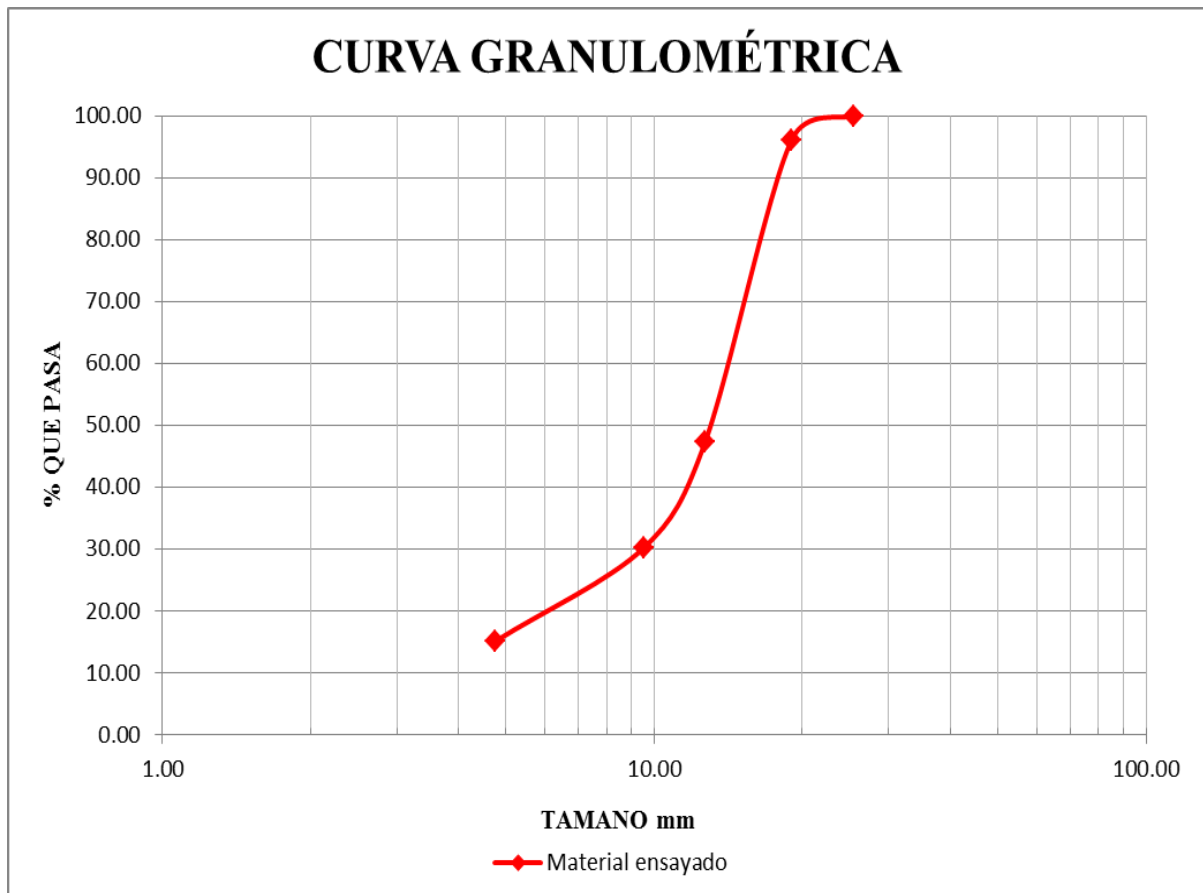


Gráfico No.2.5: Curva Granulométrica agregado 1/2". Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Módulo de finura: 4.18

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1/2"	12.70	0	0	0.00	100.00
3/8"	9.51	5	5	0.32	99.68
No.4	4.76	343	348	23.19	76.81
No.8	2.36	489	838	55.78	44.22
No.16	1.18	262	1099	73.27	26.73
No.30	0.60	142	1241	82.73	17.27
No.50	0.30	98	1339	89.29	10.71
No.100	0.15	59	1398	93.19	6.81
No.200	0.07	40	1438	95.83	4.17
Pasa No.200		62	62		
SUMA		1500	1500		

Tabla No.2.6: Granulometría de agredado fino (arena). Fuente de material Pifo

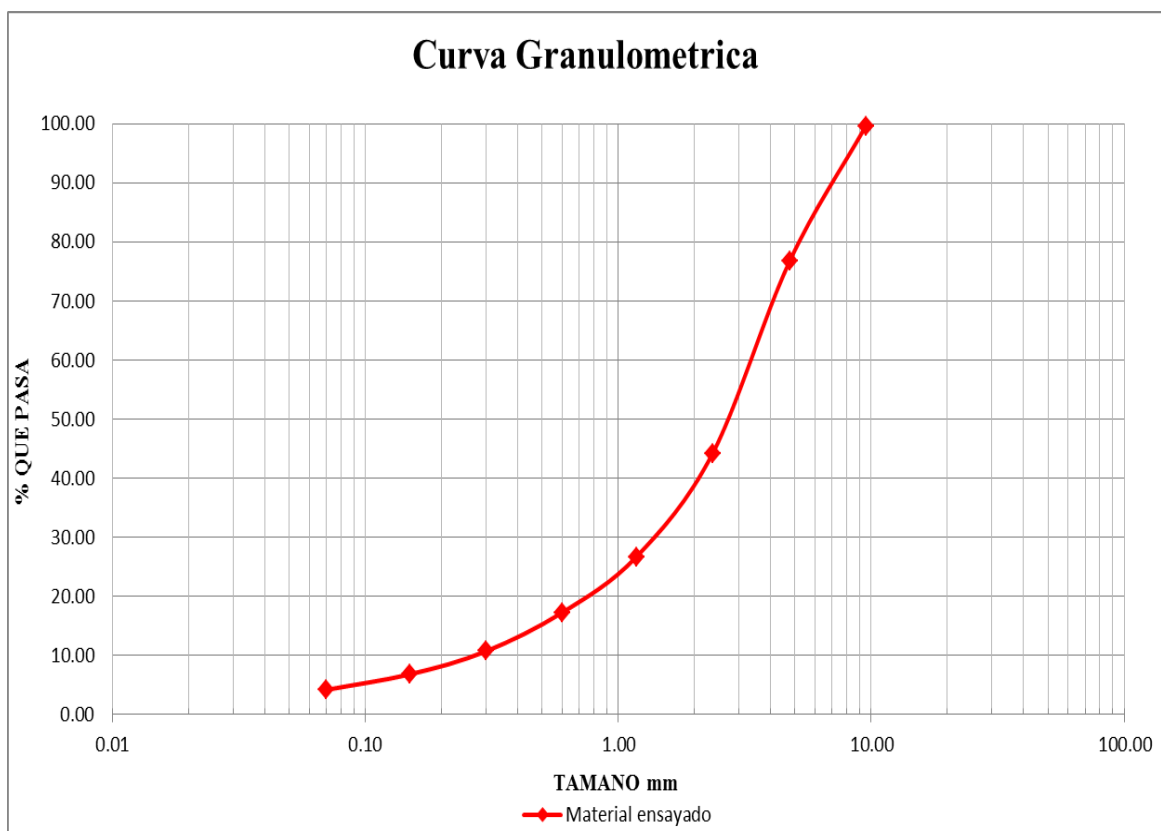


Gráfico No.2.6: Curva Granulométrica arena. Fuente de material Pifo.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tamaño máximo nominal del agregado: 1/2 plg

Tamaño máximo del agregado: 3/4 plg.

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.70	4973	4973	53.23	46.77
3/8"	9.51	2881	7854	84.07	15.93
No.4	4.76	1408	9262	99.14	0.86
Pasa No.4		80	80		
SUMA		9342	9342		

Tabla No.2.7: Granulometría agregado 1/2". Fuente de material Pifo (Construarenas).

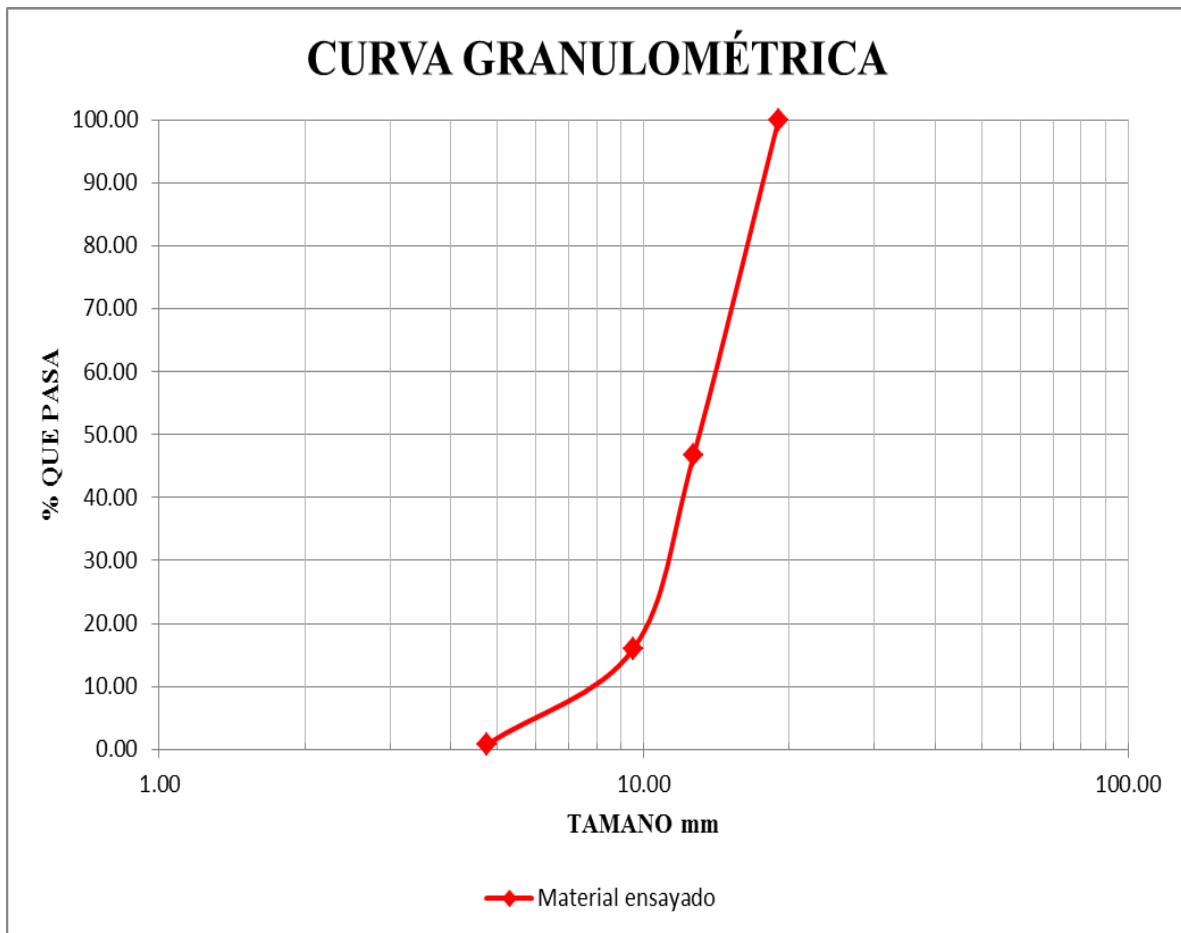


Gráfico No.2.7: Curva Granulométrica agregado 1/2". Fuente de material Pifo

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tamaño máximo nominal del agregado: 3/8 plg

Tamaño máximo del agregado: 1/2 plg

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19.00	0	0	0.00	100.00
1/2"	12.70	168	168	2.11	97.89
3/8"	9.51	2125	2293	28.76	71.24
No.4	4.76	5567	7860	98.57	1.43
Pasa No.4		114	114		
SUMA		7974	7974		

Tabla No.2.8: Granulometría agregado 3/8". Fuente de material Pifo (Construarenas).

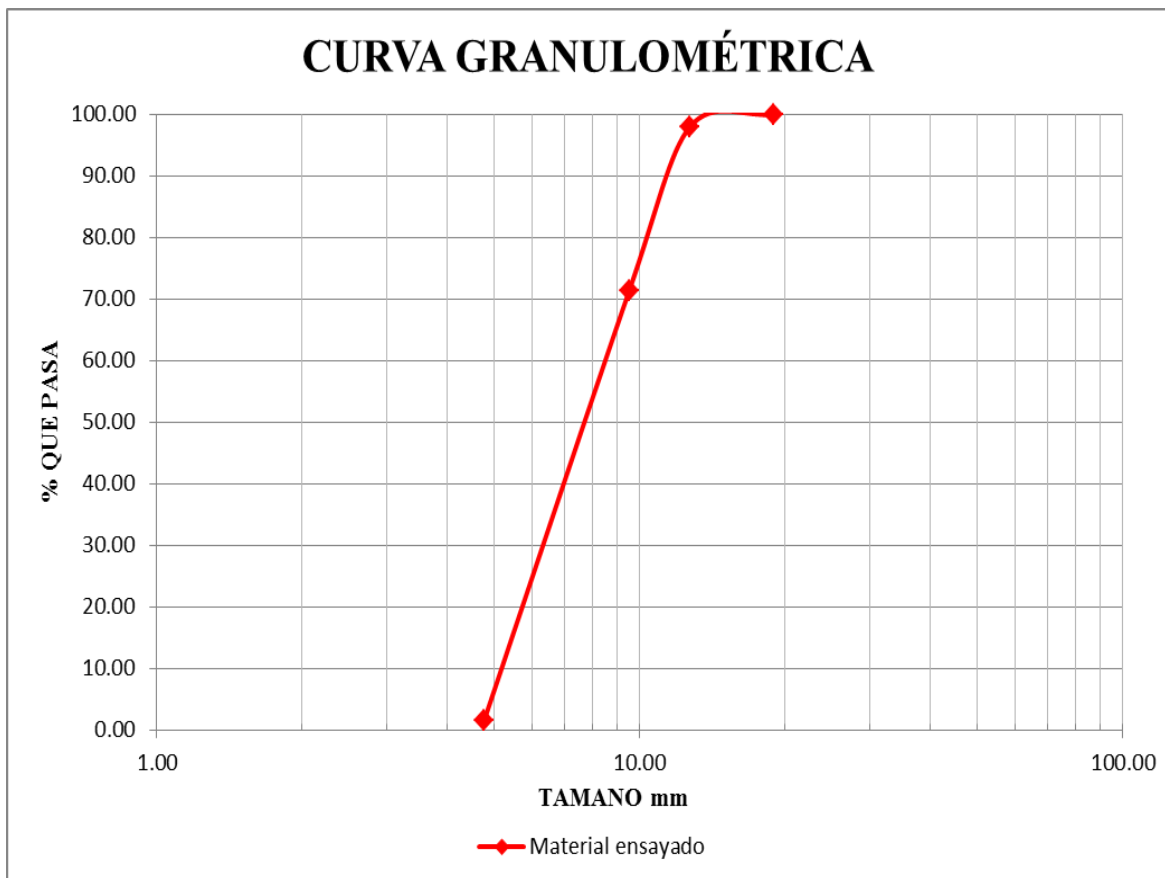


Gráfico No.2.8: Curva Granulométrica agregado 3/8". Fuente de material Pifo.

## 2.1.2 Gravedad Específica y Absorción del agregado fino y grueso

Se determina el peso específico de los áridos por dos razones; la primera, para permitir el cálculo de los vacíos de las mezclas asfálticas y segundo, para corregir las cantidades de agregados empleados en las mezclas asfálticas, cuando su peso específico varía considerablemente.

### 2.1.2.1 Gravedad Específica y Absorción del agregado fino

**Norma Ensayo:** ASTM C128      AASHTO T84

**Alcance:** Con este ensayo se obtiene la gravedad específica de la masa, gravedad específica aparente y la absorción (después de 24 horas en agua) de los agregados finos.

La gravedad específica de la muestra de agregado es determinado al comparar, el peso del volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. La gravedad específica del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1).



Fotografía No.2.2: Secado de agregado fino para la condición saturada superficie seca (izq.). Absorción del agregado fino, retiro de vacíos del matraz (der.).

**Resultados:**Fuente de material: **Río Pita**

Tipo de agregado: Fino

<b>Datos:</b>		
Masa del matraz	<b>Mm=</b>	160.40 gr
Masa del matraz + agua	<b>B=</b>	660.40 gr
Masa conjunto Matraz + agua + muestra	<b>C=</b>	965.70 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>S=</b>	501.10 gr
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	483.30 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B+S-C)</b>	2.468
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=S/(B+S-C)</b>	2.559
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A+B-C)</b>	2.715
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	3.68%

Tabla No.2.9: Gravedad específica y absorción agregado fino. Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tipo de agregado: Fino

<b>Datos:</b>		
Masa del matraz	<b>Mm=</b>	160.40 gr
Masa del matraz + agua	<b>B=</b>	660.40 gr
Masa conjunto Matraz + agua + muestra	<b>C=</b>	950.50 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>S=</b>	500.70 gr
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	466.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B+S-C)</b>	2.213
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=S/(B+S-C)</b>	2.377
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A+B-C)</b>	2.649
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	7.45%

Tabla No.2.10: Gravedad específica y absorción agregado fino. Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tipo de agregado: Fino

<b>Datos:</b>		
Masa del matraz	<b>Mm=</b>	152.30 gr
Masa del matraz + agua	<b>B=</b>	652.30 gr
Masa conjunto Matraz + agua + muestra	<b>C=</b>	951.50 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>S=</b>	501.20 gr
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	485.70 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad especifica seca	<b>Ge=A/(B+S-C)</b>	2.404
Gravedad especifica saturada con superficie seca	<b>Ges=S/(B+S-C)</b>	2.481
Gravedad especifica aparente	<b>Gea=A/(A+B-C)</b>	2.604
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	3.19%

Tabla 2.11: Gravedad específica y absorción agregado fino. Fuente de material Pifo.

### 2.1.2.2 Gravedad Específica y Absorción del agregado grueso

**Norma Ensayo:** ASTM C127      AASHTO T85

**Alcance:** Éste ensayo se emplea para determinar la gravedad específica de la masa, la gravedad específica aparente y la absorción (después de 24 horas en agua a temperatura ambiente) del agregado grueso.



Fotografía No.2.3: Agregado grueso sumergida en agua (izq.). Secado de agregado grueso para la condición saturada superficie seca (der.).

**Resultados:**Fuente de material: **Río Pita**

Tipo de agregado: Grueso 3/8"

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	2,941.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	3,011.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	1,847.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.527
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.587
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.688
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	2.38%

Tabla No.2.12: Gravedad específica y absorción agregado 3/8". Fuente de material Río Pita.

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	4,082.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	4,175.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	2,547.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.507
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.564
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.659
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	2.28%

Tabla No.2.13: Gravedad específica y absorción agregado 3/4". Fuente Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	3,973.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	4,066.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	2,470.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.489
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.548
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.643
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	2.34%

Tabla No.2.14: Gravedad específica y absorción agregado 3/4". Fuente Río Guayllabamba.

Tipo de agregado: Grueso 1/2''

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	4,148.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	4,232.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	2,561.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.482
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.533
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.614
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	2.03%

Tabla No.2.15: Gravedad específica y absorción agregado 1/2''. Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tipo de agregado: Grueso 3/8''

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	3,042.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	3,104.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	1,845.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.416
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.465
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.541
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	2.04%

Tabla No.2.16: Gravedad específica y absorción agregado 3/8''. Fuente de material Pifo.

Tipo de agregado: Grueso 1/2''

<b>Datos:</b>		
Masa de la muestra seca	<b>A=</b>	3,835.00 gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	<b>B=</b>	3,896.00 gr
Masa aparente de muestra saturada con superficie seca	<b>C=</b>	2,316.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Gravedad específica seca	<b>Ge=A/(B-C)</b>	2.427
Gravedad específica saturada con superficie seca	<b>Ges=B/(B-C)</b>	2.466
Gravedad específica aparente	<b>Gea=A/(A-C)</b>	2.525
Porcentaje de absorción	<b>Ab=((S-A)/A)*100</b>	1.59%

Tabla No.2.17: Gravedad específica y absorción agregado 1/2''. Fuente de material Pifo.

### 2.1.3 Abrasión o Desgaste del agregado grueso

**Norma Ensayo:** ASTM C131      AASHTO T96

**Alcance:** El ensayo de desgaste de Los Ángeles o abrasión o es utilizado para medir la resistencia del agregado grueso al desgaste. La elevada resistencia al desgaste indicada por un bajo porcentaje de pérdidas por abrasión es una característica anhelada de los materiales pétreos que se emplearán en la construcción de pavimentos asfálticos.



Fotografía No.2.4: Ensayo de desgaste de Los Ángeles del agregado grueso.

#### **Resultados:**

Fuente de material: **Río Pita**

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

<b>Datos:</b>		
<b>Tipo de gradación</b>	<b>B</b>	
Masa inicial de la muestra	<b>A=</b>	5,006.00 gr
Masa retenida en el tamiz No.12 después 500 revoluciones	<b>B=</b>	3,605.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Masa que pasa el tamiz No.12	<b>C= (A-B)</b>	1,401.00 gr
<b>Porcentaje de desgaste</b>	<b>D=C/A</b>	28.00%

Tabla 2.18: Ensayo de desgaste del agregado 3/4". Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

<b>Datos:</b>		
<b>Tipo de gradación</b>	<b>B</b>	
Masa inicial de la muestra	<b>A=</b>	5,020.00 gr
Masa retenida en el tamiz No.12 después 500 revoluciones	<b>B=</b>	3,860.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Masa que pasa el tamiz No.12	<b>C= (A-B)</b>	1,160.00 gr
<b>Porcentaje de desgaste</b>	<b>D=C/A</b>	23.00%

Tabla No.2.19: Ensayo de desgaste del agregado 3/4". Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tipo de agregado: Grueso 1/2"

<b>Datos:</b>		
<b>Tipo de gradación</b>	<b>B</b>	
Masa inicial de la muestra	<b>A=</b>	5,005.00 gr
Masa retenida en el tamiz No.12 después 500 revoluciones	<b>B=</b>	3,605.00 gr
<b>Cálculos:</b>		
Masa que pasa el tamiz No.12	<b>C= (A-B)</b>	1,400.00 gr
<b>Porcentaje de desgaste</b>	<b>D=C/A</b>	28.00%

Tabla No.2.20: Ensayo de desgaste del agregado 1/2". Fuente de material Pifo.

#### 2.1.4 Equivalente de arena del agregado fino

**Norma Ensayo:** ASTM D2419      AASHTO T176

**Alcance:** Consiste en el análisis de la proporción relativa de polvo fino o material arcilloso perjudicial contenido en los finos que pasan el tamiz N° 4 (4.75mm), empleados en las mezclas asfálticas y en las capas de base.



Fotografía No.2.5: Equivalente de arena del agregado fino.

**Resultados:**Fuente de material: **Río Pita**

Lectura inicial	A=	5.20 plg
Lectura final	B=	4.00 plg
<b>Equivalente de Arena</b>	$C=(B/A)*100$	77%

Tabla No.2.21: Equivalente de arena del agregado fino. Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Lectura inicial	A=	6.90 plg
Lectura final	B=	3.60 plg
<b>Equivalente de Arena</b>	$C=(B/A)*100$	53%

Tabla No.2.22: Equivalente de arena del agregado fino. Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Lectura inicial	A=	4.10 plg
Lectura final	B=	3.50 plg
<b>Equivalente de Arena</b>	$C=(B/A)*100$	86%

Tabla No.2.23: Equivalente de arena del agregado fino. Fuente de material Pifo.

**2.1.5 Partículas fracturadas del agregado grueso****Norma Ensayo:** ASTM D5821**Alcance:** Este ensayo consiste en determinar el porcentaje de agregado grueso, que presenta una o más caras fracturadas.**Resultados:**Fuente de material: **Río Pita**

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas en cada fracción	% de partículas fracturadas (+2caras) en cada fracción
Pasa	Retiene				
3/4"	1/2"	45.22%	1,273.00	1,126.20	88.47%
1/2"	3/8"	27.34%	487.00	451.90	92.79%

Tabla No.2.24: Caras fracturadas agregado 3/4". Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tipo de agregado: Grueso 1/2"

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas en cada fracción	% de partículas fracturadas (+2caras) en cada fracción
Pasa	Retiene				
3/4"	1/2"	48.65%	1,247.60	1,174.70	94.16%
1/2"	3/8"	17.19%	396.40	372.90	94.07%

Tabla No.2.25: Caras fracturadas agregado 1/2". Fuente de material Río Guayllabamba.

Tipo de agregado: Grueso 3/4"

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas en cada fracción	% de partículas fracturadas (+2caras) en cada fracción
Pasa	Retiene				
3/4"	1/2"	53.58%	1,285.70	1,191.60	92.68%
1/2"	3/8"	15.11%	324.40	300.90	92.76%

Tabla No.2.26: Caras fracturadas agregado 3/4". Fuente de material Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tipo de agregado: Grueso 1/2"

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas en cada fracción	% de partículas fracturadas (+2caras) en cada fracción
Pasa	Retiene				
3/4"	1/2"	53.23%	1,011.00	991.20	98.04%
1/2"	3/8"	30.84%	342.10	327.10	95.62%

Tabla No.2.27: Caras fracturadas agregado 1/2". Fuente de material Pifo.

Tipo de agregado: Grueso 3/8"

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas en cada fracción	% de partículas fracturadas (+2caras) en cada fracción
Pasa	Retiene				
1/2"	3/8"	26.65%	340.80	330.20	96.89%

Tabla No.2.28: Caras fracturadas agregado 3/8". Fuente de material Pifo.

### 2.1.6 Partículas livianas en los agregados finos y gruesos

**Norma Ensayo:** ASTM C 123

**Alcance:** Cubre la determinación del porcentaje de partículas livianas (terrones de arcilla) en el agregado, a través de su separación por inmersión-flotación en un líquido pesado de adecuada densidad relativa.



Fotografía No.2.6: Partículas livianas en los agregados.

#### Resultados:

Fuente de material: **Río Pita**

Tipo de agregado: Grueso 3/4" y fino

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
Masa Seca de la Muestra Antes del Ensayo (gr)	B=	5,001.00	407.00
Masa Seca de la Muestra Después del Ensayo (gr)	C=	5,001.00	405.70
Porcentaje de Partículas Livianas (%)	$A = (B-C)/B * 100$	0.00%	0.32%

Tabla No.2.29: Partículas livianas en agregado 3/4" y fino. Fuente de material Río Pita.

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

Tipo de agregado: Grueso 3/4" y fino

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
Masa Seca de la Muestra Antes del Ensayo (gr)	B=	3,021.40	288.70
Masa Seca de la Muestra Después del Ensayo (gr)	C=	3,019.70	286.30
Porcentaje de Partículas Livianas (%)	$A = (B-C)/B * 100$	0.06%	0.83%

Tabla No.2.30: Partículas livianas en agregado 3/4" y fino. Fuente Río Guayllabamba.

Fuente de material: **Pifo (Construarenas)**

Tipo de agregado: Grueso 1/2" y fino

		Agregado Grueso 1/2"	Agregado Fino
Masa Seca de la Muestra Antes del Ensayo (gr)	B=	3,010.00	300.70
Masa Seca de la Muestra Después del Ensayo (gr)	C=	3,010.00	299.40
Porcentaje de Partículas Livianas (%)	$A = (B-C)/B * 100$	0.00%	0.43%

Tabla No.2.31: Partículas livianas en agregado 1/2" y fino. Fuente material Pifo.

### 2.1.7 Contenido orgánico en los agregados finos

**Norma Ensayo:** ASTM C 40

**Alcance:** Es un procedimiento para la determinación aproximada de la presencia de compuestos orgánicos dañinos en arenas naturales, que van a ser usadas en hormigón o mezcla asfáltica. El valor principal de prueba es dar advertencia de que son necesarias pruebas posteriores, antes de aprobarse el uso de arena. Este ensayo se realizó en el agregado fino del Río Guayllabamba, ya que en la muestra se observó presencia de material orgánico.



Fotografía No.2.7: Contenido orgánico en agregado fino.

### Resultados:

Fuente de material: **Río Guayllabamba**

CONTENIDO ORGÁNICO ACEPTABLE	SI	X
	NO	
VALOR EN ESCALA	(1 A 5)	3

Observación: La muestra es aceptable hasta 3.

Tabla No.2.32: Contenido orgánico en agregado fino. Fuente Río Guayllabamba.

### 2.1.8 Resultados de la caracterización de agregados pétreos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados en los áridos, los mismos que se verifica si cumplen los valores mínimos y máximos estipulados en la “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP- 001- F 2002”.

**Fuente de material:** Río Pita

ENSAYOS	RESULTADO	ESPECIF. MOP-001-F-2002	NORMA	VERIFICACION	
Granulometría agregados gruesos y finos	3/4" , 3/8" y arena	-	ASTM C136 AASHTO T27	-	
Gravedad específica seca agregado fino. (gr/cm3)	2.468	-	ASTM C128 AASHTO T84	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado fino. (Ton/m3)	2.559	-		-	
Gravedad específica aparente agregado fino. (Ton/m3)	2.715	-		-	
Absorción de agregado fino. (%)	3.68	-		-	
Gravedad específica seca agregado 3/8". (Ton/m3)	2.527	-	ASTM C127 AASHTO T85	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 3/8". (Ton/m3)	2.587	-		-	
Gravedad específica aparente agregado 3/8". (Ton/m3)	2.688	-		-	
Absorción de agregado grueso 3/8". (%)	2.38	-		-	
Gravedad específica seca agregado 3/4". (Ton/m3)	2.507	-	ASTM C127 AASHTO T85	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 3/4". (Ton/m3)	2.564	-		-	
Gravedad específica aparente agregado 3/4". (Ton/m3)	2.659	-		-	
Absorción de agregado grueso 3/4". (%)	2.28	-		-	
Abrasión de agregado grueso (%).	28	40 máx.	ASTM C131 AASHTO T96	CUMPLE	
Equivalente de Arena.(%)	77	50 min.	ASTM D2419 AASHTO T176	CUMPLE	
% de Partículas Fracturadas (+2caras) 3/4".	3/4 a 1/2	88.47	80% min	ASTM D5821	CUMPLE
	3/8 a 3/4	92.79			
Partículas livianas 3/4" (%)	0.00	1% max	ASTM C123	CUMPLE	
Partículas livianas finas (%)	0.32	1% max		CUMPLE	

Tabla No.2.33: Resultados de la caracterización de agregados pétreos del Río Pita.

**Fuente de material:** Río Guayllabamba

ENSAYOS		RESULTADO		ESPECIF. MOP-001-F- 2002	NORMA	VERIFICACION
Granulometría agregados gruesos y finos		3/4" , 1/2" y arena		-	ASTM C136 AASHTO T27	-
Gravedad específica seca agregado fino. (gr/cm <sup>3</sup> )		2.213		-	ASTM C128 AASHTO T84	-
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado fino. (Ton/m <sup>3</sup> )		2.377		-		-
Gravedad específica aparente agregado fino. (Ton/m <sup>3</sup> )		2.649		-		-
Absorción de agregado fino. (%)		7.45				
Gravedad específica seca agregado 3/4". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.489		-	ASTM C127 AASHTO T85	-
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 3/4". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.548		-		-
Gravedad específica aparente agregado 3/4". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.643		-		-
Absorción de agregado grueso 3/4". (%)		2.34				-
Gravedad específica seca agregado 1/2". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.482		-	ASTM C127 AASHTO T85	-
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 1/2". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.533		-		-
Gravedad específica aparente agregado 1/2". (Ton/m <sup>3</sup> )		2.614		-		-
Absorción de agregado grueso 1/2". (%)		2.03				-
Abrasión de agregado grueso (%).		23		40 max.	ASTM C131 AASHTO T96	CUMPLE
Equivalente de Arena.(%)		53		50 min.	ASTM D2419 AASHTO T176	CUMPLE
% de Partículas Fracturadas (+2caras)	1/2"	3/4 a 1/2	94.16	50% min	ASTM D5821	CUMPLE
		3/8 a 3/4	94.07			
	3/4"	3/4 a 1/2	92.68			
		3/8 a 3/4	92.76			
Partículas livianas 3/4" (%)		0.06		1% max	ASTM C123	CUMPLE
Partículas livianas finas (%)		0.83		1% max		CUMPLE
Contenido Orgánico		3.00		1 a 5	ASTM C40	CUMPLE

Tabla No.2.34: Resultados de caracterización de agregados del Río Guayllabamba.

**Fuente de material: Pifo (Construarenas)**

ENSAYOS		RESULTADO	ESPECIF. MOP-001-F-2002	NORMA	VERIFICACION	
Granulometría agregados gruesos y finos		Agregado ¾ después de granulometría se determinó que es ½". Y agregado 3/8" y arena	-	ASTM C136 AASHTO T27	-	
Gravedad específica seca agregado fino. (gr/cm3)		2.404	-	ASTM C128 AASHTO T84	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado fino. (Ton/m3)		2.481	-		-	
Gravedad específica aparente agregado fino. (Ton/m3)		2.604	-		-	
Absorción de agregado fino. (%)		3.19				
Gravedad específica seca agregado 3/8". (Ton/m3)		2.416	-	ASTM C127 AASHTO T85	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 3/8". (Ton/m3)		2.465	-		-	
Gravedad específica aparente agregado 3/8". (Ton/m3)		2.541	-		-	
Absorción de agregado grueso 3/8". (%)		2.04			-	
Gravedad específica seca agregado 1/2". (Ton/m3)		2.427	-	ASTM C127 AASHTO T85	-	
Gravedad específica saturada con superficie seca agregado 1/2". (Ton/m3)		2.466	-		-	
Gravedad específica aparente agregado 1/2". (Ton/m3)		2.525	-		-	
Absorción de agregado grueso 1/2". (%)		1.59			-	
Abrasión de agregado grueso (%).		28	40 max.	ASTM C131 AASHTO T96	CUMPLE	
Equivalente de Arena.(%)		86	50 min.	ASTM D2419 AASHTO T176	CUMPLE	
% de Partículas Fracturadas	1/2"	3/4 a 1/2	98.04	50% min	ASTM D5821	CUMPLE
		3/8 a 3/4	95.62			
	3/8"	1/2 a 3/8	96.89			
Partículas livianas 3/4" (%)		0.00	1% max	ASTM C123	CUMPLE	
Partículas livianas finas (%)		0.43	1% max		CUMPLE	

Tabla No.2.35: Resultados de la caracterización de agregados pétreos de Pifo.

## 2.2 Caracterización del ligante asfáltico

El cemento asfáltico es empleado para la producción de mezclas asfálticas en caliente, ya que por sus propiedades adhesivas facilita la unión de los áridos. Tres métodos basados en la penetración, viscosidad o comportamiento se usan para la clasificación de los cementos asfálticos.

La toma de muestras del ligante asfáltico, se realizó en la Planta Asfáltica de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas de Quito (EPMOP) y de acuerdo con el cemento asfáltico producido en el Ecuador por la Refinería de Esmeraldas; éste sería AC20, la denominación se fundamenta en el grado de viscosidad.



Fotografía No.2.8: Tanque de almacenamiento de Asfalto AC20.



Fotografía No.2.9: Toma de muestras de Asfalto AC20.

Los ensayos que fueron realizados sobre el ligante asfáltico original y envejecido, se detallan a continuación:

Ligante Asfáltico Original:

- Densidad relativa y específica de materiales bituminosos semisólidos
- Punto de Inflamación con copa abierta Cleveland (Punto de chispa y llama)
- Penetración
- Viscosidad a 60°C
- Viscosidad cinemática 135°C, en base a la Viscosidad Dinámica con viscosímetro rotatorio.

Ligante Asfáltico Envejecido:

- Envejecimiento de cemento asfalto con el ensayo de Película Delgada en horno Rotatorio (RTFO)
- Viscosidad a 60°C del RTFO
- Ductilidad

### 2.2.1 Densidad relativa y específica de materiales bituminosos semisólidos

**Norma Ensayo:** ASTM D70      AASSHTO T43

**Alcance:** Éste ensayo sirve para obtener la densidad relativa y específica de los productos asfálticos, con el empleo de picnómetros.



Fotografía No.2.10: Cemento asfáltico en picnómetros para cálculo de densidad.

## Resultados:

### Información general del ensayo

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	25

### Registro para densidad:

Serie del picnómetro		46
masa del picnómetro (mas tapa)	(A)	37.136
masa del picnómetro lleno de agua	(B)	62.382
masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	(C)	58.147
masa del picnómetro mas asfalto y mas agua	(D)	62.597
Densidad relativa de la muestra		1.010
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (Kg/m3)		997.0
Densidad de la muestra (Kg/m3)		1,007.308

Tabla No.2.36: Resultados densidad relativa y específica del cemento asfáltico.

## 2.2.2 Punto de inflamación con copa abierta Cleveland

**Norma Ensayo:** ASTM D70      AASSHTO T43

**Alcance:** Se considera el punto de inflamación como un parámetro importante para el transporte y almacenamiento del cemento asfáltico, puesto que indica la temperatura mínima a la cual el material bituminoso empieza a generar vapores potencialmente inflamables y que ocasionan incendios.



Fotografía No.2.11: Punto de inflamación sobre la muestra de cemento asfáltico.

**Resultados:**

<b>Información general del ensayo</b>		
Identificación de la muestra	3722-14	
Punto de Chispa (°C)	330	
Punto de Llama corregido (°C)	349	
Presión barométrica (mm Hg)	549.1	
Punto de chispa corregido (°C)	337	
Punto de llama corregido (°C)	356	
<b>Especificación del producto para punto de chispa</b>		
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	232
<b>Cumplimiento con respeto a la especificación del producto</b>		
Resultado	CUMPLE	

Tabla No.2.37: Resultados de punto de inflamación del cemento asfáltico.

**2.2.3 Penetración de materiales bituminosos**

**Norma Ensayo:** ASTM D5            AASSHTO T49

**Alcance:** Es otro método para medir la consistencia del ligante asfáltico; también utilizado como guía para caracterizar los asfaltos por grado de penetración. Los asfaltos blandos tendrán penetraciones mayores que los más rígidos.



Fotografía No.2.12: Penetración en la muestra de cemento asfáltico.

## Resultados:

<b>Información general del ensayo</b>				
Identificación de la muestra	3722-14			
Temperatura de ensayo (°C)	25.00			
Carga (g)	100.01			
tiempo de Carga (s)	5			
<b>Valores de penetración en la muestra</b>				
Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0.1mm)	72	72	74	73
<b>Especificación del producto:</b>				
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	60		
<b>Cumplimiento con respecto a la especificación del producto</b>				
Resultado	<b>CUMPLE</b>			

Tabla No.2.36: Resultados penetración de la muestra de cemento asfáltico.

### 2.2.4 Viscosidad a 60°C

**Norma Ensayo:** ASTM D2171      AASSHTO T202

**Alcance:** Es una propiedad fundamental del asfalto para determinar su consistencia a 60°C, a su vez se valora el efecto de la temperatura en el comportamiento del material y así proponer un rango de temperaturas en la producción de la mezcla asfáltica y su colocación.



Fotografía No.2.13: Viscosidad a 60°C de la muestra de cemento asfáltico original.

## Resultados:

Información general del ensayo					
Identificación de la muestra	3722-14				
Temperatura de ensayo(°C)	60.01				
Número del Viscosímetro	100				
Serie del Viscosímetro	L754				
	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	3.129	1.594	1.064	0.8066	0.642
Tiempo de flujo(s):	59.7	117.5	178.8	....	....
Viscosidad (Pa.s):	186.801	187.295	190.243		
Resultado del Ensayo:					
Viscosidad (Pa.s):	187.295				
Especificación del producto para punto de chispa					
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	160	Pa.s		
	máximo	240	Pa.s		
Cumplimiento con respecto a la especificación del producto					
Resultado	CUMPLE				

Tabla No.2.37: Resultados de viscosidad a 60°C de muestra original.

### 2.2.5 Viscosidad Cinemática a 135°C, en base de la Viscosidad Dinámica con viscosímetro rotatorio

#### 2.2.5.1 Viscosidad Dinámica a elevadas temperaturas usando viscosímetro rotatorio

**Norma Ensayo:** ASTM D4402

**Alcance:** Con este ensayo caracterizamos la rigidez del asfalto a 135°C, cuando la muestra se comporta como un fluido. Se mide la viscosidad empleando un cilindro rotacional coaxial sumergido en el cemento asfáltico caliente a una velocidad constante.

#### 2.2.5.2 Viscosidad Cinemática a 135°

**Norma Ensayo:** Se obtiene los resultados en función de la Viscosidad Dinámica con viscosímetro rotatorio y la densidad relativa del material bituminoso.

**Alcance:** Determina el comportamiento del asfalto con respecto a la temperatura, se utiliza este parámetro para garantizar el almacenamiento, transporte y calcular la temperatura de mezclado y compactación junto al ensayo de viscosidad absoluta a 60°C.



Fotografía No.2.14: Empleo de viscosímetro rotatorio

**Resultados:**

Ensayo Viscosidad a 135°C usando viscosímetro rotatorio:

<b>Información general del ensayo</b>				
Identificación de la muestra	3722-14			
Temperatura de ensayo(°C)	135			
<b>Configuración del ensayo:</b>				
Viscosímetro	Brookfield DV-II+Pro			
Geometría de ensayo	SC4-27, colgante			
Velocidad de rotación (rpm)	150			
<b>Resultado del Ensayo:</b>	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Viscosidad (Pa.s)	0.345	0.345	0.345	0.345
Torque (%)	20.7	20.7	20.7	20.7

Tabla No.2.38: Resultados de viscosidad a 135°C usando viscosímetro rotatorio.

Cálculo de viscosidad cinemática:

<b>Información general del ensayo</b>			
Identificación de la muestra	3722-14		
Temperatura de ensayo(°C)	135		
<b>Registro de la muestra</b>			
Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402/D4402M) (cP)	345.3		
Densidad relativa de la muestra a 25/25°C	1.01		
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	365.722		
<b>Especificación del producto para punto de chispa</b>			
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	300	mm <sup>2</sup> /s
<b>Cumplimiento con respeto a la especificación del producto</b>			
Resultado	CUMPLE		

Tabla No.2.39: Resultados de viscosidad cinemática 135°C usando.

## 2.2.6 Envejecimiento de cemento asfalto con el ensayo de Película Delgada en horno rotatorio (RTFO)

**Norma Ensayo:** ASTM D2872

AASSHTO T240

**Alcance:** Con este procedimiento se evalúa la susceptibilidad al endurecimiento o envejecimiento que tendría el cemento asfáltico en el proceso de mezclado. El resultado se mide por un cambio de masa; comparando la masa original respecto a la masa después del calentamiento en el horno rotatorio.



Fotografía No.2.15: Colocación de asfalto en envases para ensayo de película delgada.



Fotografía No.2.16: Colocación de envases en horno rotatorio.

### 2.2.7 Viscosidad a 60°C del RTFO

**Norma Ensayo:** ASTM D2171 AASSHTO T202

**Alcance:** Ensayo realizado para determinar la consistencia a 60°C del asfalto, en una etapa posterior de envejecimiento y se compara con el valor inicial de viscosidad absoluta del asfalto en condición original.



Fotografía No.2.17: Viscosidad a 60° del asfalto envejecido.

#### Resultados:

<b>Información general del ensayo</b>					
Identificación de la muestra	3722-14				
Temperatura de ensayo(°C)	60				
Número del Viscosímetro	200				
Serie del Viscosímetro	K596				
	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	11.95	6.167	4.142	3.138	2.497
Tiempo de flujo(s):	60.5	118.9	179.9	247.4	307.3
Viscosidad (Pa.s):	722.975	733.256	745.146	776.341	767.328
<b>Resultado del Ensayo:</b>					
Viscosidad (Pa.s):	722.975				
<b>Especificación del producto para punto de chispa</b>					
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	máximo	1000	Pa.s		
<b>Cumplimiento con respecto a la especificación del producto</b>					
Resultado	CUMPLE				

Tabla No.2.40: Resultados de viscosidad a 60°C del asfalto envejecido.

### 2.2.8 Ductilidad al asfalto envejecido en RTFO

**Norma Ensayo:** ASTM D113      AASHTO T51

**Alcance:** Este ensayo se realiza ya que es importante determinar la presencia o ausencia de ductilidad midiendo la capacidad de elongación del asfalto antes de romperse, bajo condiciones de temperatura de 25°C. Cuando los asfaltos son dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes.



Fotografía No.2.18: Ensayo de ductilidad.

#### Resultados:

<b>Información general del ensayo</b>				
Identificación de la muestra	3722-14			
Temperatura de ensayo (°C)	24.9			
¿ Se usa aditivo para densidad del agua?	NO			
Numero de réplicas	3			
<b>Valores de ductilidad en la muestra</b>				
Molde	1	2	3	Promedio
Ductilidad (cm)	55	50	57	54
¿Ensayo normal?	SI	SI	SI	
<b>Especificación del producto:</b>				
NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	50		
<b>Cumplimiento con respecto a la especificación del producto</b>				
Resultado	CUMPLE			

Tabla No.2.41: Resultados de ductilidad del asfalto envejecido.

### 2.3 Selección de materiales pétreos y mezcla de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas

En el capítulo 800 “Materiales”, sección 811 “Agregados para Hormigón Asfáltico”, numeral 811-2, “Agregados para Mezcla en Planta” de las “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, MOP-001-F 2002”, se establece los requisitos de graduación de los agregados pétreos; donde las mezcla de agregados pétreos de cada fuente de material debe estar dentro de los límites máximos y mínimos establecidos en la Tabla 405.5-1 de éstas especificaciones (MOP, 2002: VIII-378), agregados de tamaño 3/4”, 1/2”, 3/8” y No4.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4”	1/2”	3/8”	Nº4
1” (25.4 mm.)	100	--	--	--
3/4” (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
1/2” (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8” (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Tabla No.2.42: Límites máximos y mínimos de graduación de los agregados, según las especificaciones MOP-001-F 2002 (Tabla 405.5.1).

Una vez realizada la granulometría de las muestras de agregados finos y gruesos de cada fuente de material se define una mezcla de los áridos para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente donde la curva granulométrica está en función del tamaño máximo nominal del agregado y tomando como referencia las curvas límites de control de la graduación de los áridos.

**Resultados:**

Fuente de material: Río Pita (Sector Pintag).

Tamiz #	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25.4	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	p 0,075
mat. A	100.00	99.64	54.42	27.08	10.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. B	100.00	100.00	77.98	67.04	50.65	36.24	19.76	14.26	9.87	6.34	
mat. C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>mezcla</b>	<b>100.00</b>	<b>99.91</b>	<b>72.09</b>	<b>57.05</b>	<b>40.69</b>	<b>27.18</b>	<b>14.82</b>	<b>10.70</b>	<b>7.40</b>	<b>4.76</b>	
Ret.Ac.	0.00	0.09	27.91	42.95	59.31	72.82	85.18	89.31	92.60	95.25	4.76
Ret.Parc.	0.00	0.09	27.82	15.04	16.36	13.51	12.36	4.13	3.29	2.65	
peso	0.00	0.99	306.02	165.44	179.93	148.64	135.96	45.38	36.22	29.12	
p. acum.	0.00	0.99	307.01	472.45	652.38	801.02	936.98	982.36	1018.57	1047.70	1100.00
<b>Espec mín</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>56</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>---</b>	<b>5</b>	<b>---</b>	<b>2</b>	
<b>Espec máx</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>---</b>	<b>80</b>	<b>65</b>	<b>49</b>	<b>---</b>	<b>19</b>	<b>---</b>	<b>8</b>	

% DE MEZCLA			3/4" 3/8"+arena
A	0.25	25	
B	0.75	75	
C	0.00	0	
D	0	0	

<b>Espec mín</b>	100	90	73	56	35	23	11	5	3.5	2
<b>Espec máx</b>	100	100	90	80	65	49	29	19	13.5	8
<b>Tz mm.</b>	<b>25.4</b>	<b>19</b>	<b>12.5</b>	<b>9.5</b>	<b>4.75</b>	<b>2.36</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.15</b>	<b>0.075</b>

Tabla No.2.43: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Río Pita.

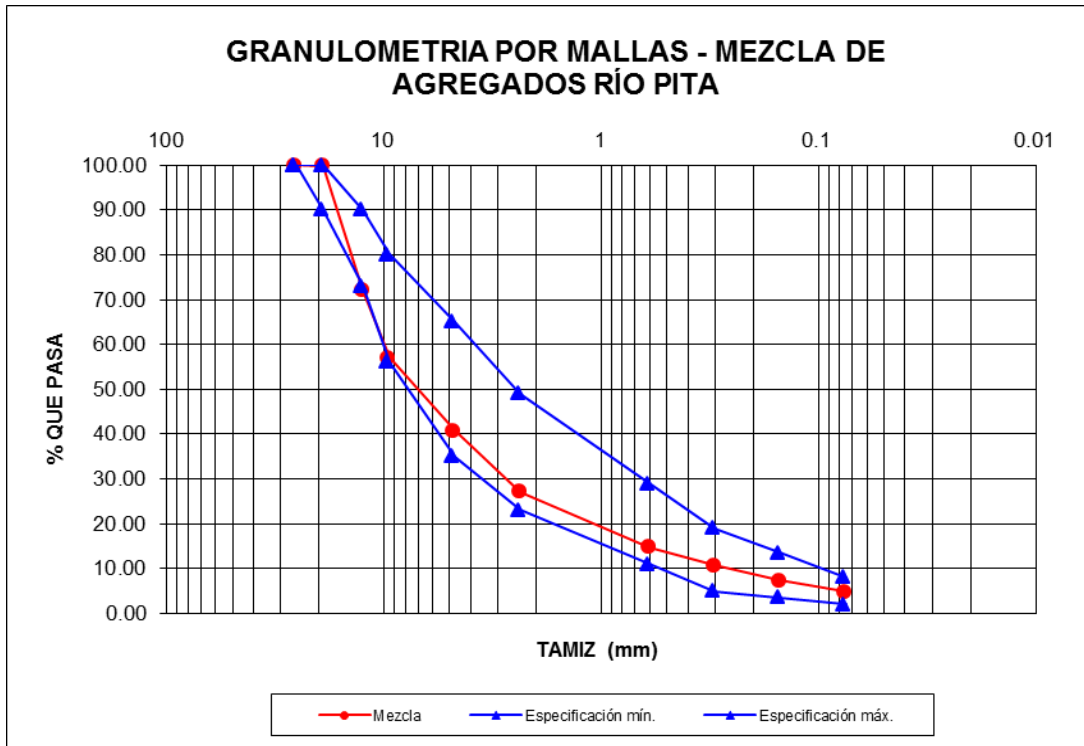


Gráfico No.2.9: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Río Pita.

Fuente de material: Río Guayllabamba

Combinación de agregados: 3/4", 1/2", arena.

Tamiz #	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25.4	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	p 0,075
mat. A	99.80	93.73	40.15	25.04	14.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. B	100.00	96.01	47.36	30.18	15.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. C	100.00	100.00	100.00	91.78	70.74	53.60	31.89	22.21	14.00	4.86	
mat. D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>mezcla</b>	<b>99.96</b>	<b>97.83</b>	<b>75.54</b>	<b>63.75</b>	<b>46.09</b>	<b>30.02</b>	<b>17.86</b>	<b>12.44</b>	<b>7.84</b>	<b>2.72</b>	
Ret.Ac.	0.04	2.17	24.46	36.25	53.91	69.98	82.14	87.56	92.16	97.28	2.72
Ret.Parc.	0.04	2.13	22.29	11.79	17.66	16.07	12.16	5.42	4.60	5.12	
peso	0.40	23.43	245.23	129.69	194.30	176.78	133.73	59.63	50.57	56.30	
p. acum.	0.40	23.83	269.05	398.74	593.05	769.82	903.56	963.19	1013.76	1070.06	1100.00
<b>Espec mín</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>56</b>	<b>35</b>	<b>23</b>	<b>---</b>	<b>5</b>	<b>---</b>	<b>2</b>	
<b>Espec máx</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>---</b>	<b>80</b>	<b>65</b>	<b>49</b>	<b>---</b>	<b>19</b>	<b>---</b>	<b>8</b>	

% DE MEZCLA			
A	0.18	18	3/4"
B	0.26	26	1/2"
C	0.56	56	arena
D	0	0	

<b>Espec mín</b>	100	90	73	56	35	23	11	5	3.5	2
<b>Espec máx</b>	100	100	90	80	65	49	29	19	13.5	8
<b>Tz mm.</b>	<b>25.4</b>	<b>19</b>	<b>12.5</b>	<b>9.5</b>	<b>4.75</b>	<b>2.36</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.15</b>	<b>0.075</b>

Tabla No.2.44: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Río Guayllabamba.

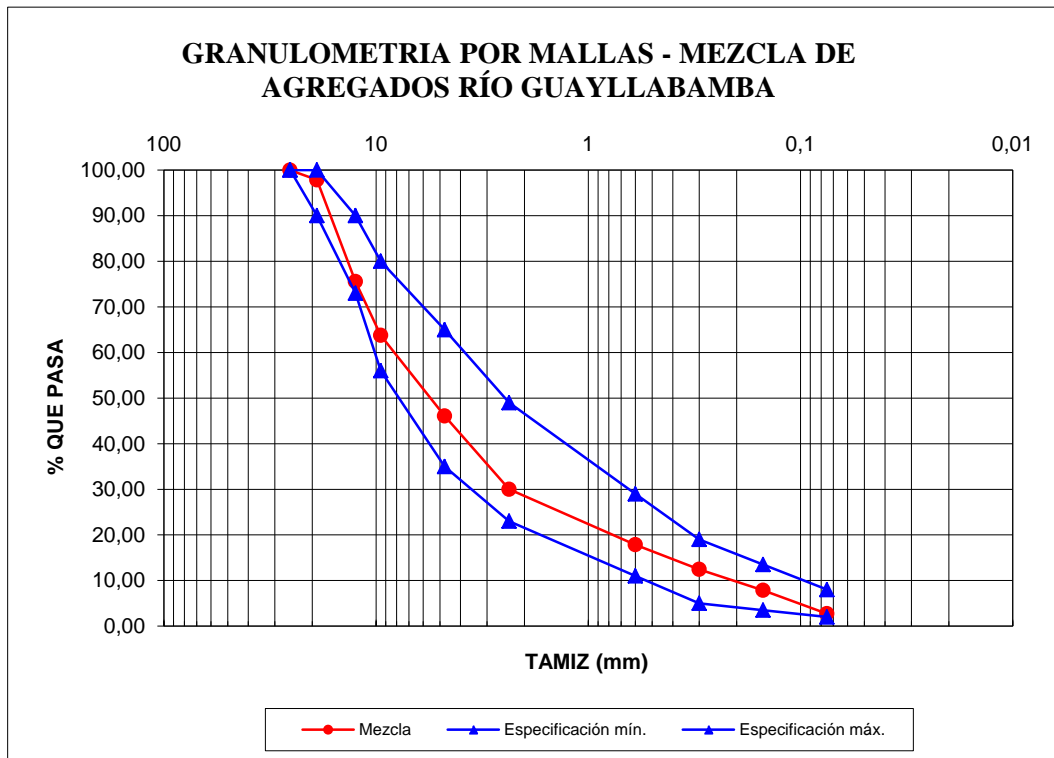


Gráfico No.2.10: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Río Guayllabamba.

Fuente de material: Pifo (Construarenas)

Combinación de agregados: 3/4", 1/2", arena.

Tamiz #	1	3.4	1.2	3.8	4	8	30	50	100	200	p #200
Tz mm.	25.4	19	12.5	9.5	4.75	2.36	0.6	0.3	0.15	0.075	p 0,075
mat. A	100.00	100.00	46.77	15.93	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. B	100.00	100.00	97.89	71.24	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
mat. C	100.00	100.00	100.00	99.68	76.82	44.22	17.27	10.71	6.81	4.17	
mat. D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>mezcla</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>94.36</b>	<b>87.04</b>	<b>57.92</b>	<b>33.17</b>	<b>12.95</b>	<b>8.03</b>	<b>5.11</b>	<b>3.13</b>	
Ret.Ac.	0.00	0.00	5.64	12.96	42.08	66.84	87.05	91.97	94.89	96.87	3.13
Ret.Parc.	0.00	0.00	5.64	7.32	29.12	24.75	20.21	4.92	2.93	1.98	
% peso	0.00	0.00	62.03	80.54	320.36	272.26	222.34	54.12	32.18	21.78	
% acum.	0.00	0.00	62.03	142.57	462.93	735.19	957.52	1011.64	1043.82	1065.60	1100.00
<b>Espec mín</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>90</b>	<b>---</b>	<b>44</b>	<b>28</b>	<b>---</b>	<b>5</b>	<b>---</b>	<b>2</b>	
<b>Espec máx</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>---</b>	<b>74</b>	<b>58</b>	<b>---</b>	<b>21</b>	<b>---</b>	<b>10</b>	

% DE MEZCLA		
A	0.10	10
B	0.15	15
C	0.75	75
D	0	0

1/2"  
3/8"  
arena

<b>Espec mín</b>	100	100	90	67	44	28	10	5	3.5	2
<b>Espec máx</b>	100	100	100	90	74	58	30	21	15.5	10
<b>Tz mm.</b>	<b>25.4</b>	<b>19</b>	<b>12.5</b>	<b>9.5</b>	<b>4.75</b>	<b>2.36</b>	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.15</b>	<b>0.075</b>

Tabla No.2.45: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Pifo (Construarenas).

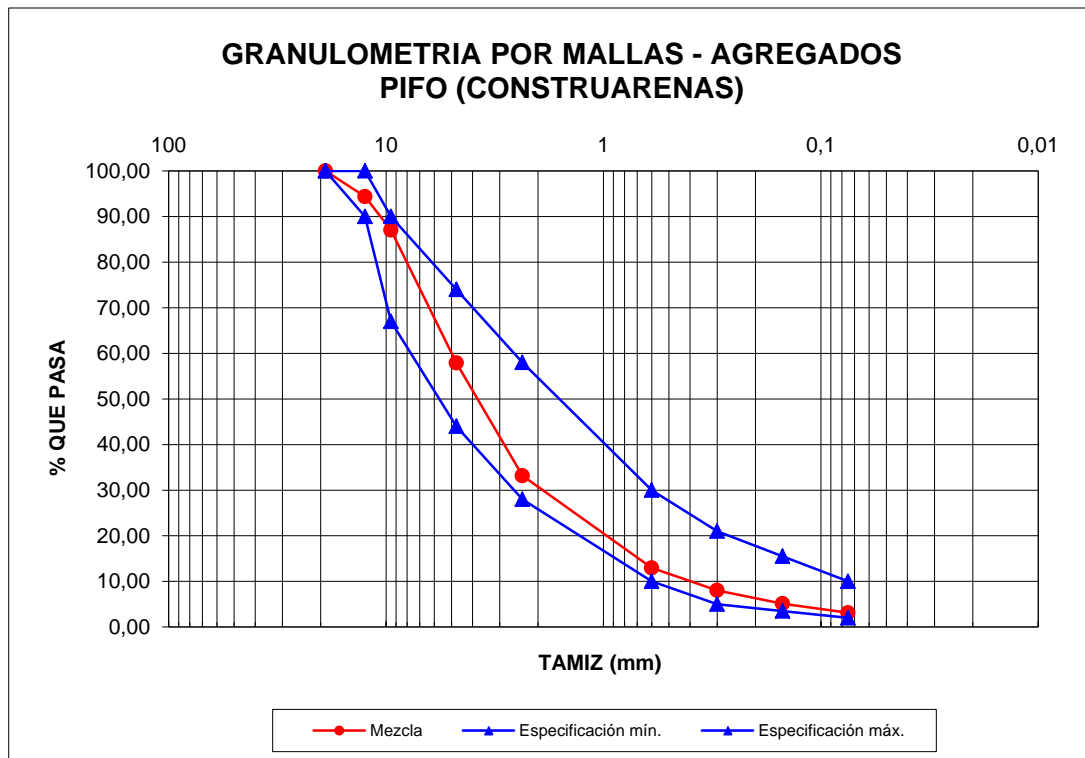


Gráfico No.2.11: Mezcla de agregados de la Fuente de Material Pifo (Construarenas).

## 2.4 Elección del contenido de ligante asfáltico para el diseño de mezclas asfálticas por el Método Marshall

El procedimiento para determinar el contenido óptimo de ligante asfáltico según el Método Marshall consisten en preparar una serie de briquetas con diferentes contenidos de asfalto que se basan en incrementos del 0.50% y se emplea dos contenidos de asfalto por encima y dos por debajo del valor óptimo; el cálculo del porcentaje de asfalto óptimo aproximado o adoptado se realiza en base a la fórmula francesa o al Instituto del Asfalto, es calculado a partir de la granulometría de la combinación de agregados pétreos, y se emplean las siguientes ecuaciones:

$$S = 0.17G + 0.33g + 2.30A + 12a + 135f \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Dónde:

G= % material > al 3/8"

g= % material  $\Leftrightarrow$  3/8" - #4

A= % material  $\Leftrightarrow$  #4 - #50

a = % material  $\Leftrightarrow$  #50 - #200

f = % material < #200

$$P = M * (S)^{(1/5)} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Dónde:

P = % del asfalto en peso / al peso Total

M= Coeficiente del tráfico (3.75 - 4.25)

S= Superficie específica de los áridos.

### 2.4.1 Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados del Río Pita

**Datos:** Río Pita, según granulometría de la mezcla de agregados:

G = 42.95                      M = 3.75 - 4.25

g = 16.36

A = 30.00

a = 5.94

f = 4.76

**Resultados:**

$S = 7.94899$

$P (\%) = 6.06 \%$  (Porcentaje de contenido de asfalto óptimo adoptado)

Rango de contenidos de ligante asfáltico, que van a ser incluidos para fabricación de briquetas:

% AC 20	CONTENIDOS DE ASFALTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE				
	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00

Tabla No.2.46: Rango de contenidos de ligante asfáltico para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregado pétreo del Río Pita.

**2.4.2 Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados de Guayllabamba**

**Datos:** Guayllabamba, según granulometría de la mezcla de agregados:

$G = 36.25$        $M = 3.75 - 4.25$

$g = 17.66$

$A = 33.65$

$a = 9.72$

$f = 2.72$

**Resultados:**

$S = 5.73393$

$P (\%) = 5.67 \%$  (Porcentaje de contenido de asfalto óptimo adoptado)

Rango de contenidos de ligante asfáltico, que van a ser incluidos para fabricación de briquetas:

% AC 20	CONTENIDOS DE ASFALTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE				
	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50

Tabla No.2.47: Rango de contenidos de ligante asfáltico para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregado pétreo de Guayllabamba.

### 2.4.3 Determinación de contenidos de asfalto para la mezcla de agregados de Pifo (Construarenas)

**Datos:** Pifo (Construarenas), según granulometría de la mezcla de agregados:

$$G = 12.96 \quad M = 3.75 - 4.25$$

$$g = 29.12$$

$$A = 49.88$$

$$a = 4.91$$

$$f = 3.13$$

#### **Resultados:**

$$S = 6.07618$$

$$P (\%) = 5.74 \% \quad (\text{Porcentaje de contenido de asfalto óptimo adoptado})$$

Rango de contenidos de ligante asfáltico, que van a ser incluidos para fabricación de briquetas:

% AC 20	CONTENIDOS DE ASFALTO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE				
		4.50	5.00	5.50	6.00

Tabla No.2.48: Rango de contenidos de ligante asfáltico para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregado pétreo de Pifo (Construarenas).

### 2.5 Tipos de mezclas asfálticas en caliente que van a ser incluidas en el diseño según el Método Marshall

Los tipos de mezclas asfálticas que van a ser incluida en el presente estudio dependen del porcentaje de cada tamaño de agregado pétreo que va a intervenir en el diseño de mezcla asfáltica en caliente por Método Marshall. Se realizará la mezcla de agregados en los porcentajes antes descritos para cada fuente de material y se agrega el ligante asfáltico en el rango definido inicialmente; se triplican las briquetas de cada contenido de asfalto por lo que en total se fabricarán 15 especímenes de cada mezcla de agregados pétreos para las fuentes de material del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas) como se detalla a continuación:

FUENTE DE MATERIAL (NOMBRE, SECTOR)	TIPO DE AGREGADOS PÉTREOS		% AGREGADO PARA MEZCLA ASFÁLTICA	CONTENIDOS ASFALTO % (RANGO)	No. BRIQUETAS (3 POR CADA CONTENIDO)
RÍO PITA	GRUESO	3/4"	25 %	5.00% A 7.00%	15
	FINO	3/8" + ARENA	75%		
GUAYLLA BAMBA	GRUESO	3/4"	18%	4.50% A 6.50%	15
	GRUESO	1/2"	26 %		
	FINO	ARENA	56%		
PIFO (CONSTRU ARENAS)	GRUESO	1/2"	10%	4.50% A 6.50%	15
	GRUESO	3/8"	15 %		
	FINO	ARENA GRUESA	75%		

Tabla No.2.49: Resumen de mezclas asfálticas que serán incluidas de acuerdo al porcentaje de agregado pétreo para cada fuente de material.



Fotografía No.2.19: Elaboración de baches (mezcla de agregados) para la elaboración de briquetas para cada fuente de material.

# **CAPÍTULO III. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON EMPLEO DE AGREGADOS PÉTREOS EXISTENTES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, FABRICACIÓN DE BRIQUETAS**

## **3.1 Diseño de mezclas asfálticas en caliente con agregados pétreos de las Fuentes de Material del DMQ y obtención de los parámetros Marshall**

En el capítulo anterior se determinó la mezcla de agregados y el rango de contenidos de asfalto con los que se fabrican las briquetas que intervienen en el diseño de mezclas asfálticas, y el proceso de preparación de las probetas es el siguiente:

- Primero se realiza la mezcla de agregados colocando los porcentajes de cada tamaño de agregado que intervienen en la curva granulométrica hasta completar muestras o baches de 1100 gramos aproximadamente.
- Tanto el ligante asfáltico como la muestra de agregados pétreos se calientan en el horno a temperatura de 115° C a 140° C, luego se mezclan estos componentes a la temperatura especificada en el Ensayo Marshall hasta que las partículas del agregado queden completamente cubiertas por el asfalto, este procedimiento de recubrimiento del agregado con cemento asfáltico a altas temperaturas (140<sup>a</sup> C a 160° c) de laboratorio, simula el proceso de producción de mezclas asfálticas en planta.
- Posteriormente la mezcla asfáltica caliente se coloca en el molde Marshall precalentado, después se compacta usando el martillo Marshall de 10 libras, el cual debe estar caliente para no enfriar la superficie de la mezcla al golpearla. El número de golpes que se efectúa para la compactación de la mezcla asfáltica depende de la cantidad de tráfico; en este caso se realizarán 75 golpes en cada cara a una altura de 18” y cuando las briquetas estén frías se desmoldarán, las dimensiones normalizadas de las probetas son 63.5mm de altura y 101.6mm de diámetro.

Una vez fabricadas las briquetas, se determinan los parámetros que intervienen en el diseño de mezclas asfálticas en caliente según el Método Marshall para la obtención del contenido óptimo de asfalto, a continuación se describen los mismos:

### 3.1.1 Gravedades de la mezcla de agregados y de las mezclas asfálticas

#### 3.1.1.1 Gravedad específica de la mezcla de agregados pétreos

**Alcance:** Se determina la gravedad específica de la masa de la mezcla total de agregados, considerándola como una masa comprimida sin vacíos y se tiene los datos de gravedades específicas de los agregados finos y gruesos que intervienen en la mezcla asfáltica.

$$G_{sb} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

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

$P_{1,n}$  = Porcentajes en peso del agregado

$G_{1,n}$  = Gravedad específica del agregado

#### 3.1.1.2 Gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada “Bulk”

**Norma Ensayo:** AASHTO T166

**Alcance:** Este ensayo se realiza para determinar la gravedad específica de los especímenes de mezclas asfálticas comprimidas.

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

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

$W_a$  = masa del espécimen seco en el aire

$W_{ss}$  = masa del espécimen saturado superficie seca

$W_w$  = masa del espécimen sumergido en el agua

#### 3.1.1.3 Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica compactada

**Norma Ensayo:** ASTM D6995                      AASHTO T209

**Alcance:** Este método de ensayo llamado Rice determina la gravedad máxima de la mezcla asfáltica en laboratorio. En el Anexo 3 se encuentran los informes del ensayo RICE de las briquetas con diferentes contenidos de asfalto para cada fuente de material.

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

Ecuación 3.3

Dónde:

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica

A = masa de la muestra seca en el aire

B = masa del recipiente lleno con agua a 25° C

C = masa del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C

### 3.1.2 Propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas

Según el Instituto del Asfalto, el criterio del contenido óptimo de asfalto se basa principalmente en los vacíos de la mezcla, por lo tanto se realiza el cálculo de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica en caliente compactada:

#### 3.1.2.1 Volumen de agregado en porcentaje

$$V_{agre} = \frac{\%Agre * G_{mb}}{G_{sb}}$$

Ecuación 3.4

Dónde:

$V_{agre}$  = Volumen de agregado en porcentaje

%Agre = Porcentaje de agregado (100% - % asf)

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

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

#### 3.1.2.2 Volumen de vacíos con aire ( $V_v$ )

$$V_v = 1 - \left( \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) * 100\%$$

Ecuación 3.5

Dónde:

$V_v$  = Volumen de vacíos en porcentaje

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

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica

### 3.1.2.3 Volumen de asfalto efectivo

$$V_{ae} = 100 - V_{agre} - V_v \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Dónde:

$V_{agre}$ = Volumen de agregado en porcentaje

$V_v$ = Volumen de vacíos en porcentaje

### 3.1.2.4 Volumen de vacíos en el agregado mineral (VAM)

El VAM es una expresión de la proporción volumétrica de vacíos y la relación a los agregados sólidos de la mezcla compactada. La cantidad de asfalto requerida para un agregado específico, se relaciona íntimamente con el VAM.

$$VAM = 100 - V_{agre} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Dónde:

VAM= Volumen de vacíos en el agregado mineral

$V_{agre}$ = Volumen de agregado en porcentaje

### 3.1.2.5 Volumen de vacíos llenos de asfalto (VFA)

$$VFA = 1 - \left( \frac{V_v}{VAM} \right) * 100\% \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Dónde:

VFA= Volumen de vacíos llenos de asfalto

VAM= Volumen de vacíos en el agregado mineral

$V_v$ = Volumen de vacíos en porcentaje

### 3.1.2.6 Contenido efectivo de asfalto en porcentaje

$$\%CA = P_b - \left( \frac{P_{ba} * P_s}{100} \right) \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Dónde:

$\%CA$ = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla

$P_b$ = Contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla

Ps= Contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla

Pba= Asfalto absorbido, porcentaje por peso del agregado

### 3.1.3 Ensayo de estabilidad y flujo

**Norma Ensayo:** ASTM D6927

**Alcance:** Con este ensayo se mide la resistencia al flujo plástico de los especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica. El valor de flujo Marshall es el movimiento total o deformación de las muestras asfálticas, en unidades de 0.25mm (1/100”) que se determina en las probetas desde que están sin carga y en el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad. En consecuencia la estabilidad Marshall es la máxima resistencia en Newton (lb) que el espécimen desarrollará a 60° C de temperatura.

**Procedimiento:** Previo a ensayar las briquetas se sumergen en el baño maría a  $60 \pm 1^\circ \text{C}$  durante 30 minutos. Se probarán mínimo tres especímenes con el mismo contenido de asfalto y granulometría. Se retira la briqueta del agua (secar el exceso de agua con una toalla), es colocada en la cabeza de ensayo y luego el conjunto es puesto en la máquina de carga a compresión, donde es ajustado y se aplica la carga al espécimen una velocidad constante, y se obtiene un diagrama con el flujo que es la deformación total de la muestra se proyectado en el eje de las “x” y la estabilidad que es la carga aplicada expresada en el eje de las “y”.



Fotografía No.3.1: Ensayo Marshall compresión de briquetas.

Los diagramas de la estabilidad vs flujo de las briquetas para cada fuente de material, obtenidos del Ensayo Marshall se presentan en el Anexo 3.

La estabilidad de las muestras asfálticas medidas en el equipo Marshall deberán ser corregidas en función del volumen o espesor de las briquetas; los valores de corrección se encuentran en la siguiente Tabla No.3.1:

FACTOR DE CORRECCION	VOLUMEN DE LAS BRIQUETAS EN CC.																ESPESOR BRIQUETAS CORREGIDA
	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367			
<b>1.92</b>																	4.44
<b>1.79</b>																	4.60
<b>1.67</b>																	4.72
<b>1.56</b>																	4.92
<b>1.47</b>																	5.80
<b>1.39</b>																	5.24
<b>1.32</b>																	5.40
<b>1.25</b>																	5.56
<b>1.19</b>																	5.72
<b>1.14</b>																	5.87
<b>1.09</b>																	6.03
<b>1.04</b>																	6.19
<b>1.00</b>																	6.35
<b>0.96</b>																	6.51
<b>0.93</b>																	6.67
<b>0.89</b>																	6.83
<b>0.86</b>																	6.99
<b>0.83</b>																	7.14
<b>0.81</b>																	7.30
<b>0.78</b>																	7.46
<b>0.76</b>																	7.62

Tabla No.3.1: Factores de corrección de la estabilidad.

### 3.1.4 Obtención de parámetros Marshall y determinación del contenido óptimo de asfalto

#### Resultados:

Fuete de Material: Río Pita

GRAVEDADES ESPECÍFICAS DE AGREGADOS:		
Parámetros	AG. GRUESO	AG. FINO
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MASA	3/4"	3/8"+ARENA
SSS	2.527	2.4683
APARENTE	2.587	2.5592
ABSORCION %	2.688	2.7152
	2.38	3.68

Gravedad Especifica de Masa de la mezcla de agregados		
$G_{sb} = \frac{100}{\frac{25}{2.527} + \frac{75}{2.468}} = 2.483 \text{ gr/cm}^3$		

Gravedad Especifica Aparente de la mezcla de agregados		
$G_{sa} = \frac{100}{\frac{25}{2.688} + \frac{75}{2.715}} = 2.708 \text{ gr/cm}^3$		

Tabla No.3.2: Gravedad específica de la mezcla de agregados. Fuente Material Rio Pita.

DETERMINACION DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (RICE) PARA DIFERENTES % DE ASFALTO, RÍO PITA					
% Asfalto	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
Peso estándar	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00
Peso + muestra	8771.9	8773	8773	8753	8795.1
Peso Muestra	2271	2286	2299.6	2278.6	2360.1
<b>Rice (Gmm)</b>	<b>2.471</b>	<b>2.450</b>	<b>2.429</b>	<b>2.410</b>	<b>2.396</b>

Tabla No.3.3: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica. Río Pita.

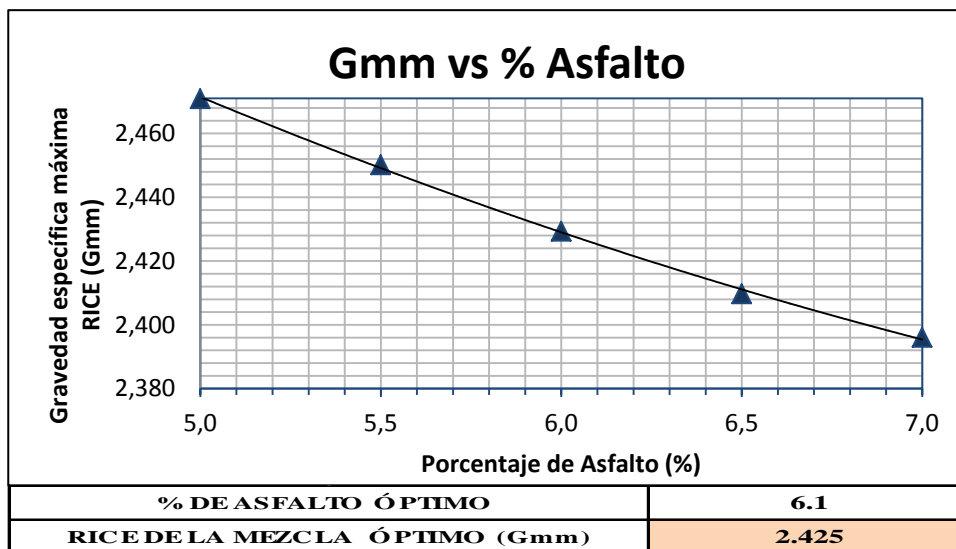


Gráfico No.3.3: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica. Río Pita.

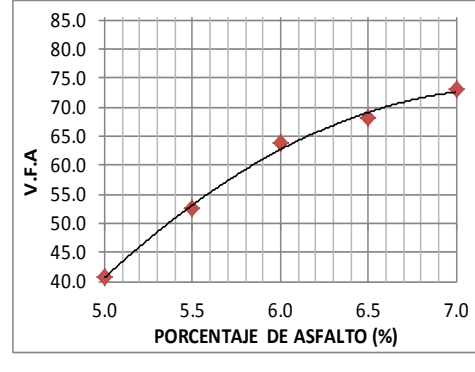
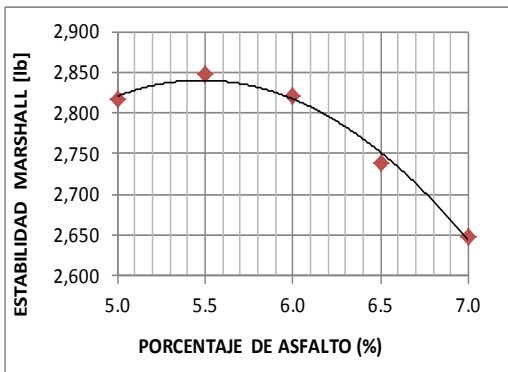
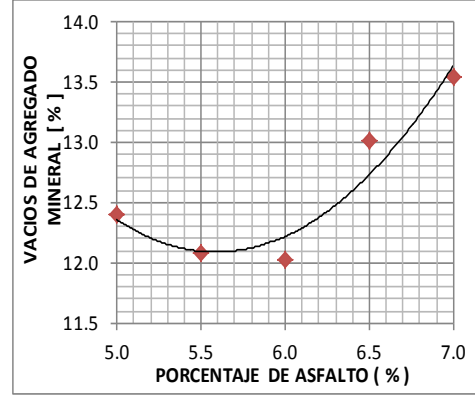
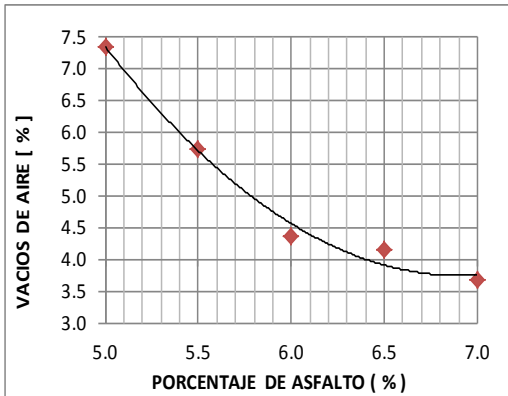
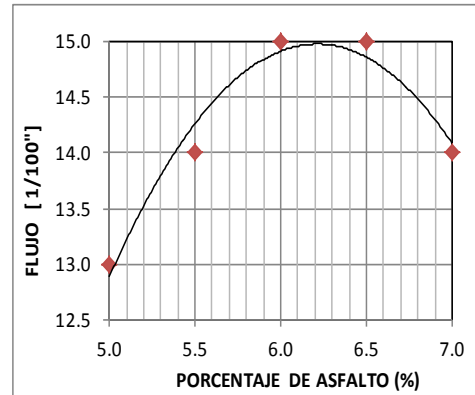
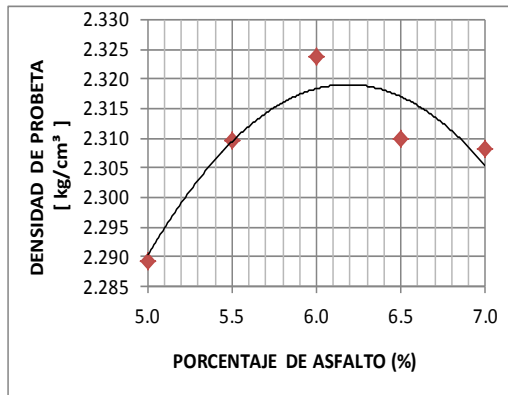
**PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**  
**FUENTE DE MATERIAL: RÍO PITA**  
**BRIQUETAS DE DISEÑO MARSHALL**

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC. %	P.E. BULK. AGREGADO Gsb	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S		PROBETA BULK Gmb	RICE	Vagre	Vv	Vae					LECTURA LBS	LBS. CORREG.	
						PRENSA MARSHALL															
A	3/4"	25.0				1,150.20	1,151.63	650.37	501	2.295							1.04	2750	2860	12.50	
B	3/8"	75.0				1,147.15	1,147.78	645.02	503	2.282							1.04	2700	2808	12	
C	% C.A	5.0				1,157.72	1,158.98	653.55	505	2.291							1.04	2675	2782	13	
			2.483	2.675	2.924					2.289	2.471	87.60	7.35	5.05	12.40	40.7	2.22		2817	13	
D	3/4"	25.0				1,160.15	1,160.75	658.58	502	2.310							1.04	2800	2912	14	
E	3/8"	75.0				1,150.67	1,151.89	653.55	498	2.309							1.04	2675	2782	13.5	
F	% C.A	5.5				1,152.69	1,153.16	654.40	499	2.311							1.04	3300	3432	13.75	
			2.483	2.673	2.889					2.310	2.450	87.91	5.74	6.35	12.09	52.5	2.77		2847	14	
G	3/4"	25.0				1,156.40	1,157.73	657.23	501	2.310							1.04	2175	2262	13.5	
H	3/8"	75.0				1,156.22	1,156.76	662.31	494	2.338							1.09	2625	2861	15	
I	% C.A	6.0				1,172.29	1,173.45	665.71	508	2.309							1.04	2675	2782	14.5	
			2.483	2.670	2.846					2.324	2.429	87.98	4.35	7.67	12.02	63.8	3.33		2822	15	
J	3/4"	25.00				1,162.13	1,163.07	659.79	503	2.309							1.04	2775	2886	14	
K	3/8"	75.0				1,171.10	1,171.52	664.35	507	2.309							1.04	2600	2704	15.75	
L	% C.A	6.5				1,169.14	1,169.56	663.69	506	2.311							1.04	2525	2626	14.25	
			2.483	2.668	2.817					2.310	2.410	86.99	4.15	8.86	13.01	68.1	3.87		2739	15	
M	3/4"	25.0				1,167.25	1,167.85	662.97	505	2.312							1.04	2525	2626	13	
N	3/8"	75.0				1,166.73	1,167.25	662.22	505	2.310							1.04	2400	2496	14.5	
O	% C.A	7.0				1,174.02	1,174.23	664.32	510	2.302							1.00	2825	2825	13.75	
			2.483	2.673	2.896					2.308	2.396	86.46	3.67	9.87	13.54	72.9	4.31		2649	14	

Tabla No.3.4: Densidades, vacíos, estabilidad y flujo para diferentes contenidos de asfalto con mezcla de agregados del Río Pita.

**GRAFICAS DE LAS PROPIEDADES MARSHALL PARA LOS DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**

Fuente Material: **RÍO PITA**



RESULTADOS: **% ÓPTIMO DE ASFALTO 6.10 %**

DENSIDAD BULK 2.319 gr/cm3

**COMPROBACIONES**

ESTABILIDAD 2,807 lb.  
 FLUJO 15.0 exp en 0,01"  
 V.A.M 12.3 %  
 VACIOS CON AIRE 4.39 %  
 V.F.A 64.2 %  
 FILLER/BETÚN 0.8 %

**ESPECIFICACIONES (TRAFICO PESADO)**

+1800 lbs  
 8 - 14  
 +14% (MEZ. ABIERTA MAT E)  
 3% - 5%  
 65 - 75  
 0,8 - 1,2

Gráfico No.3.4: Graficas de propiedades Marshall vs Porcentaje de asfalto y determinación de contenido óptimo de asfalto. Fuente material Río Pita.

**Fuete de Material: Río Guayllabamba**

<b>GRAVEDADES ESPECÍFICAS DE AGREGADOS:</b>			
Parámetros	AG. GRUESO	AG. GRUESO	AG. FINO
GRAVEDAD ESPECÍFICA	3/4"	1/2"	ARENA
DE MASA	2.489	2.4823	2.2127
SSS	2.548	2.5326	2.3775
APARENTE	2.643	2.6137	2.6492
ABSORCION %	2.34	2.03	7.45

<b>Gravedad Específica de Masa de la mezcla de agregados</b>			
$G_{sb} = \frac{100}{\frac{18}{2.489} + \frac{26}{2.482} + \frac{56}{2.213}} = 2.325 \text{ gr/cm}^3$			
<b>Gravedad Específica Aparente de la mezcla de agregados</b>			
$G_{sa} = \frac{100}{\frac{18}{2.643} + \frac{26}{2.614} + \frac{56}{2.649}} = 2.639 \text{ gr/cm}^3$			

Tabla No.3.5: Gravedad específica de mezcla de agregados. Fuente Río Guayllabamba.

<b>DETERMINACION DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (RICE) PARA DIFERENTES % DE ASFALTO, RÍO GUAYLLABAMBA</b>					
% Asfalto	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Peso estándar	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00
Peso + muestra	8742.5	8763	8750.3	8756.7	8753.6
Peso Muestra	2237.9	2283.5	2276.8	2325	2322.9
<b>Rice (Gmm)</b>	<b>2.445</b>	<b>2.428</b>	<b>2.405</b>	<b>2.353</b>	<b>2.348</b>

Tabla No.3.6: Gravedad específica máxima teórica mezcla asfáltica. Río Guayllabamba.

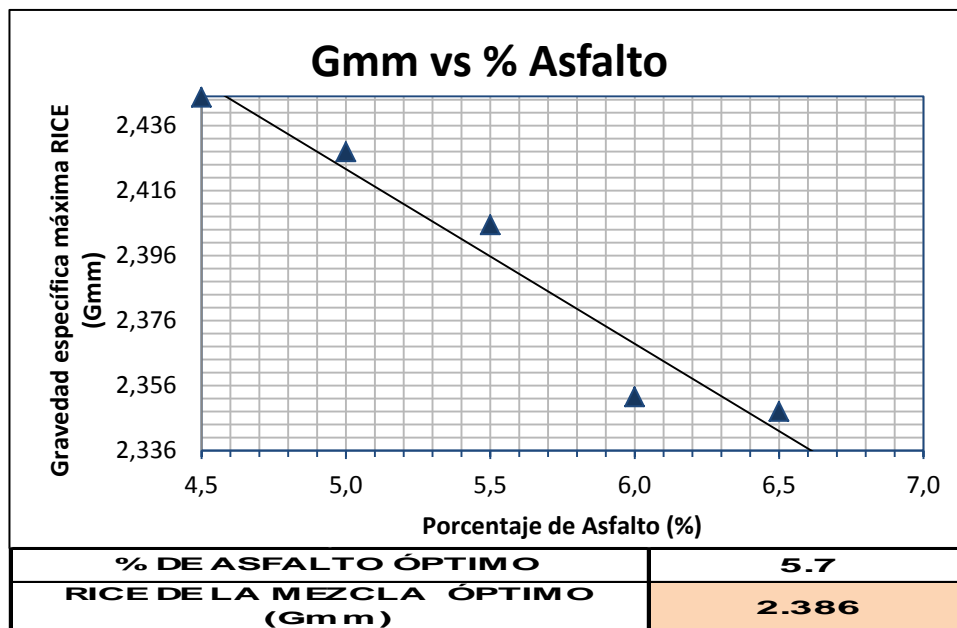


Gráfico No.3.5: Gravedad especif. máxima teórica mezcla asfáltica. Río Guayllabamba.

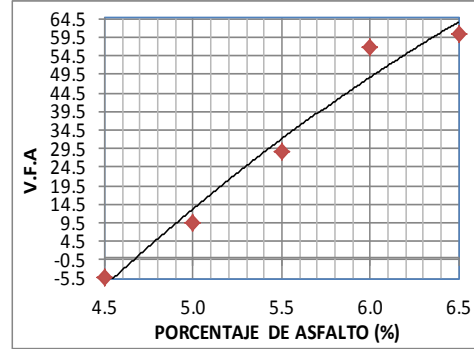
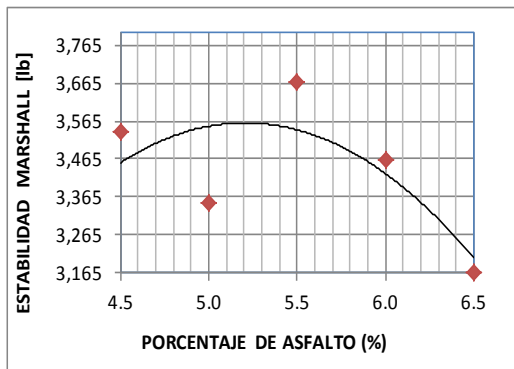
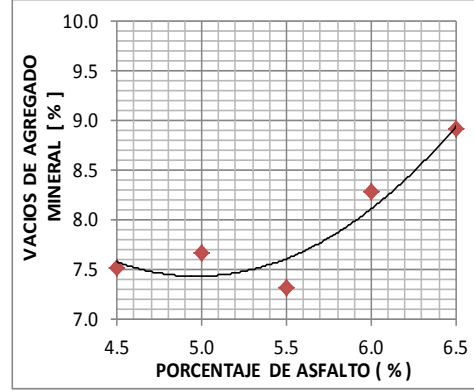
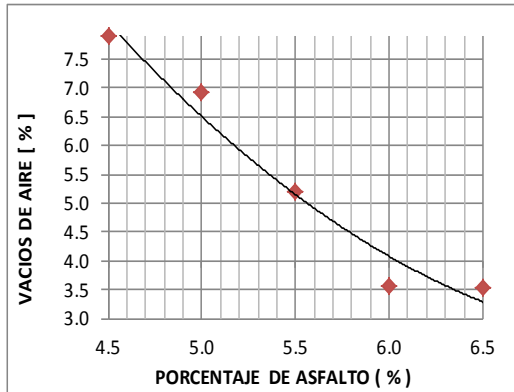
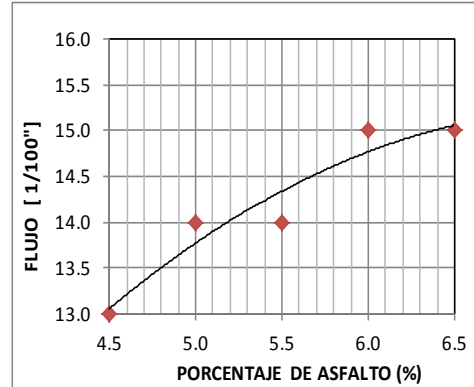
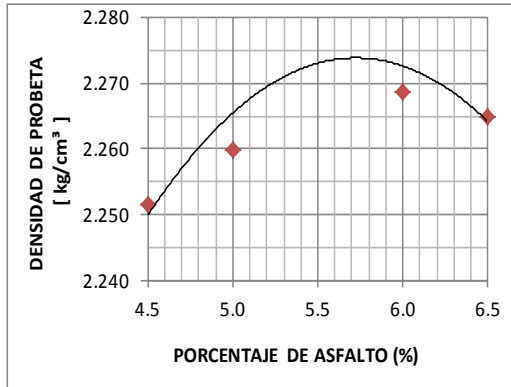
**PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**  
**FUENTE DE MATERIAL: RÍO GUAYLLABAMBA**  
**BRIQUETAS DE DISEÑO MARSHALL**

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC. %	P.E. BULK. AGREGADO	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN C.C.	DENSIDAD			% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC.	PRENSA MARSHALL		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S		PROBETA BULK Gmb	RICE	Vagre	Vv	Vae	ESTABILIDAD							
															LECTURA LBS					LBS. CORREG.		
A	3/4"	18.0				1,142.30	1,147.27	636.90	510	2.238								1.00	3600	<b>3600</b>	13.75	
B	1/2"	26.0				1,142.40	1,148.35	643.77	505	2.264								1.04	3400	<b>3536</b>	13	
C	ARENA	56.0				1,144.39	1,150.90	643.07	508	2.253								1.04	3550	<b>3692</b>	13.5	
	% C.A	4.5																				
			2.325	2.621	4.894					2.252	2.445	92.49	7.90	-0.39	7.51	-5.2	-0.17			3,536	13	
D	3/4"	18.0				1,152.76	1,156.80	641.48	515	2.237								1.00	3075	<b>3075</b>	13	
E	1/2"	26.0				1,150.05	1,154.24	647.66	507	2.270								1.04	3125	<b>3250</b>	14.25	
F	ARENA	56.0				1,146.95	1,150.39	645.62	505	2.272								1.04	3580	<b>3723</b>	14.75	
	% C.A	5.0																				
			2.325	2.623	4.919					2.260	2.428	92.34	6.93	0.73	7.66	9.6	0.33			3,349	14	
G	3/4"	18.0				1,155.31	1,157.64	651.23	506	2.281								1.04	3400	<b>3536</b>	13.5	
H	1/2"	26.0				1,162.25	1,163.44	652.82	511	2.276								1.00	3200	<b>3200</b>	13.25	
I	ARENA	56.0				1,154.59	1,156.81	650.22	507	2.279								1.04	3650	<b>3796</b>	14.25	
	% C.A	5.5																				
			2.325	2.617	4.835					2.280	2.405	92.69	5.21	2.11	7.31	28.8	0.93			3,666	14	
J	3/4"	18.0				1,159.51	1,162.05	650.73	511	2.268								1.00	3500	<b>3500</b>	14	
K	1/2"	26.0				1,159.83	1,162.64	648.94	514	2.258								1.00	3325	<b>3325</b>	15.00	
L	ARENA	56.0				1,155.87	1,156.60	649.75	507	2.280								1.04	3425	<b>3562</b>	14.75	
	% C.A	6.0																				
			2.325	2.572	4.159					2.269	2.353	91.73	3.56	4.71	8.27	56.9	2.09			3,462	15	
M	3/4"	18.0				1,163.72	1,164.19	650.60	514	2.266								1.00	3450	<b>3450</b>	15	
N	1/2"	26.0				1,170.08	1,170.29	652.85	517	2.261								1.00	2550	<b>2550</b>	16.5	
O	ARENA	56.0				1,162.49	1,163.26	650.66	513	2.268								1.00	3500	<b>3500</b>	15	
	% C.A	6.5																				
			2.325	2.587	4.397					2.267	2.348	91.17	3.46	5.38	8.83	60.9	2.39			3,475	15	

Tabla No.3.7: Densidades, vacíos, estabilidad y flujo para diferentes contenidos de asfalto con mezcla de agregados del Río Guayllabamba.

**GRAFICAS DE LAS PROPIEDADES MARSHALL PARA LOS DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**

Fuente Material: **RÍO GUAYLLABAMBA**



RESULTADOS: **% ÓPTIMO DE ASFALTO 5.70 %**

DENSIDAD BULK 2.274 gr/cm3

**COMPROBACIONES**

ESTABILIDAD	3,508	lb.
FLUJO	14.5	exp en 0,01"
V.A.M	7.8	%
VACIOS CON AIRE	4.68	%
V.F.A	39.0	%
FILLER/BETÚN	0.5	%

**ESPECIFICACIONES (TRAFICO PESADO)**

+1800	lbs
8 - 14	
+14%	(MEZCLA ABIERTA)
3% - 5%	
65 - 75	
0,8 - 1,2	

Gráfico No.3.6: Graficas de propiedades Marshall vs Porcentaje de asfalto y determinación de contenido óptimo de asfalto. Fuente material Río Guayllabamba.

**Fuete de Material: Pifo (Construarenas)**

<b>GRAVEDADES ESPECÍFICAS DE AGREGADOS:</b>			
Parámetros	AG. GRUESO	AG. GRUESO	AG. FINO
GRAVEDAD ESPECÍFICA	1/2"	3/8"	ARENA
DE MASA	2.427	2.4162	2.4045
SSS	2.466	2.4654	2.4812
APARENTE	2.525	2.5414	2.6043
ABSORCION %	1.59	2.04	3.19

<b>Gravedad Específica de Masa de la mezcla de agregados</b>	
$G_{sb} = \frac{100}{\frac{10}{2.427} + \frac{15}{2.416} + \frac{75}{2.404}} = 2.408 \text{ gr/cm}^3$	

<b>Gravedad Específica Aparente de la mezcla de agregados</b>	
$G_{sa} = \frac{100}{\frac{10}{2.525} + \frac{15}{2.541} + \frac{56}{2.604}} = 3.188 \text{ gr/cm}^3$	

Tabla No.3.8: Gravedad específica mezcla de agregados. Fuente Pifo (Construarenas).

<b>DETERMINACION DE GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA (RICE) PARA DIFERENTES % DE ASFALTO</b>					
% Asfalto	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
Peso estándar	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00	7,420.00
Peso + muestra	8735.2	8752.5	8749	8774.8	8713.6
Peso Muestra	2263.9	2297	2293.1	2343.9	2249.8
<b>Rice (Gmm)</b>	<b>2.386</b>	<b>2.382</b>	<b>2.378</b>	<b>2.370</b>	<b>2.353</b>

Tabla No.3.9: Gravedad especif. máxima teórica mezcla asfáltica. Pifo (Construarenas).

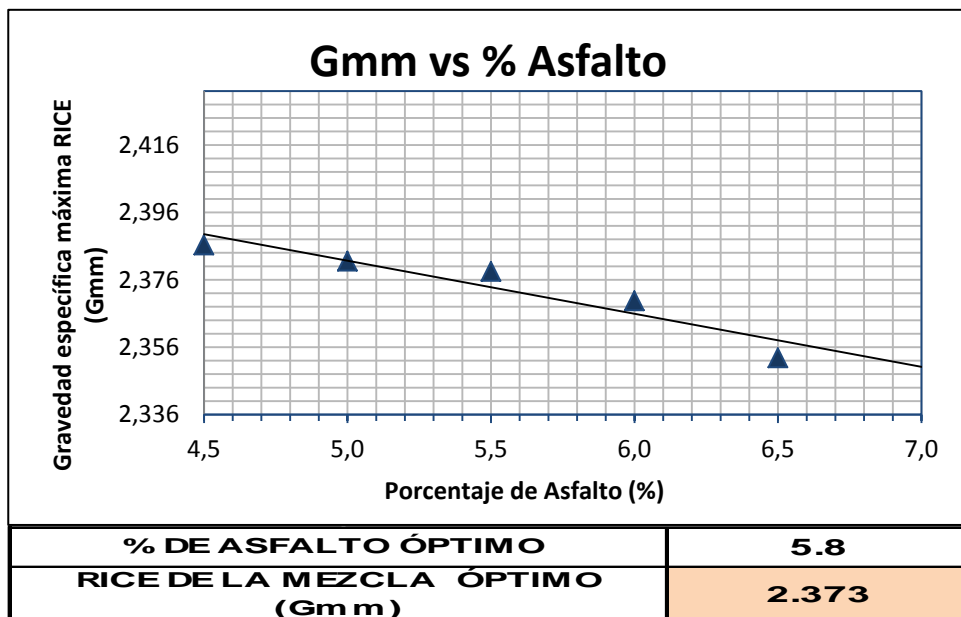


Gráfico No.3.7: Gravedad especif. máxima teórica m. asfáltica. Pifo (Construarenas).

**PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**  
**FUENTE DE MATERIAL: PIFO (CONSTRUARENAS)**  
**BRIQUETAS DE DISEÑO MARSHALL**

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC. %	P.E. BULK. AGREGADO Gsb	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC.	PRENSA MARSHALL		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S		PROBETA BULK Gmb	RICE	Vagre	Vv	Vae					ESTABILIDAD		
																			LECTURA LBS	LBS. CORREG.	
A	1/2"	10.0				1,135.62	1,150.55	595.06	555	2.044							0.89	2000	1780	10.75	
B	3/8"	15.0				1,142.10	1,158.08	607.31	551	2.074							0.89	1775	1580	11.75	
C	ARENA	75.0				1,147.29	1,159.11	605.78	553	2.073							0.89	2200	1958	10.5	
	% C.A	4.5																			
			2.408	2.551	2.335					2.059	2.386	81.62	13.74	4.64	18.38	25.2	2.27		1,869	11	
D	1/2"	10.0				1,151.90	1,167.95	613.96	554	2.079							0.89	1900	1691	12.5	
E	3/8"	15.0				1,142.08	1,155.00	613.14	542	2.108							0.93	1900	1767	11	
F	ARENA	75.0				1,146.56	1,158.44	615.72	543	2.113							0.93	2150	2000	12	
	% C.A	5.0																			
			2.408	2.566	2.564					2.110	2.382	83.23	11.40	5.37	16.77	32.0	2.56		1,883	12	
G	1/2"	10.0				1,150.51	1,169.63	619.94	550	2.093							0.89	1925	1713	12.25	
H	3/8"	15.0				1,152.51	1,168.51	620.48	548	2.103							0.89	2000	1780	13	
I	ARENA	75.0				1,152.03	1,164.30	625.90	538	2.140							0.93	2375	2209	12.5	
	% C.A	5.5																			
			2.408	2.583	2.828					2.140	2.378	83.96	10.04	6.01	16.04	37.4	2.83		2,209	13	
J	1/2"	10.0				1,158.37	1,171.63	627.60	544	2.129							0.93	2250	2093	12.25	
K	3/8"	15.0				1,155.99	1,170.84	625.54	545	2.120							0.93	2150	2000	13.25	
L	ARENA	75.0				1,143.83	1,158.08	617.53	541	2.116							0.93	1825	1697	11.50	
	% C.A	6.0																			
			2.408	2.594	2.986					2.122	2.370	82.81	10.47	6.73	17.19	39.1	3.19		2,046	13	
M	1/2"	10.0				1,166.47	1,177.22	625.00	552	2.112							0.89	2100	1869	13	
N	3/8"	15.0				1,166.67	1,180.65	629.42	551	2.116							0.89	2200	1958	13.25	
O	ARENA	75.0				1,163.13	1,174.21	627.31	547	2.127							0.93	2150	2000	12	
	% C.A	6.5																			
			2.408	2.594	2.987					2.119	2.353	82.24	9.96	7.80	17.76	43.9	3.71		1,942	13	

Tabla No.3.10: Densidades, vacíos, estabilidad y flujo para diferentes contenidos de asfalto con mezcla de agregados Pifo (Construarenas).



### 3.1.5 Ensayo de peladura

**Norma Ensayo:** ASTM D3625

**Alcance:** es una práctica de observación visual para determinar la retención de una película bituminosa por un agregado en presencia de agua. La muestra de mezcla asfáltica suelta se vierte en agua destilada a punto de ebullición (70° C), durante diez minutos. La ecuación para establecer el porcentaje de peladura es:

$$\% \text{ peladura} = \frac{B}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Dónde:

A = Peso total de la muestra bituminosa disgregada

B = Peso del agregado semicubierto de asfalto bajo la acción del agua destilada

# Muestra	masa muestra (gr) A	masa de agregado sin recubrimiento (gr) B	% peladura
RÍO PITA	260.00	24.56	9%
GUAYLLABAMBA	258.00	22.89	9%
PIFO	262.00	9.78	4%

Tabla No.3.11: Resultados de peladura de agregados. Fuentes de materiales Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas).



Fotografía No.3.2: Muestra asfáltica en agua destilada (izq.) y comprobación visual de recubrimiento asfáltico del agregado (der.).

### 3.2 Elaboración de briquetas con el contenido óptimo de asfalto y agregado pétreo de las tres fuentes de materiales propuestas

La elección del contenido óptimo se realizó en base al criterio tradicional, que se basa en tomar el valor más alto en la curva densidad “Bulk” vs porcentaje de asfalto. Con el porcentaje de asfalto seleccionado y la mezcla de agregados de cada fuente de material, se fabrican 6 briquetas para determinar la estabilidad y el módulo de rigidez.

# BRIQUETA		% ASFALTO ÓPTIMO	MASA BACHE	MASA LIGANTE ASFÁLTICO
FUENTE	No.			
PITA	1	6.10	1,100.10	67.11
PITA	2	6.10	1,098.43	67.00
PITA	3	6.10	1,098.71	67.02
PITA	4	6.10	1,095.60	66.83
PITA	5	6.10	1,101.11	67.17
PITA	6	6.10	1,101.33	67.18
GUAYLLABAMBA	1	5.70	1,096.10	62.48
GUAYLLABAMBA	2	5.70	1,095.24	62.43
GUAYLLABAMBA	3	5.70	1,095.00	62.42
GUAYLLABAMBA	4	5.70	1,094.74	62.40
GUAYLLABAMBA	5	5.70	1,095.13	62.42
GUAYLLABAMBA	6	5.70	1,096.62	62.51
PIFO	1	5.80	1,099.65	63.78
PIFO	2	5.80	1,100.40	63.82
PIFO	3	5.80	1,100.44	63.83
PIFO	4	5.80	1,101.21	63.87
PIFO	5	5.80	1,097.74	63.67
PIFO	6	5.80	1,101.82	63.91

Tabla No.3.12: Contenidos óptimos de asfalto y mezcla de agregados.



Fotografía No.3.2: Fabricación de briquetas con el contenido óptimo de asfalto.

### 3.2.1 Medición de diámetros y espesores de las briquetas

**Norma Ensayo:** ASTM D3549

**Alcance:** La obtención de las dimensiones de los especímenes, es un procedimiento que se realiza ya sea para corregir el valor de estabilidad de mezcla compactada. El espesor (altura) y diámetros de las muestras cilíndricas son datos de entrada para realizar el ensayo de Módulo de Rigidez.

Identificación del Especímen	LECTURAS				PROMEDIO	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	
	E/D	1	2	3			4
PITA 1	ESPEJOR	62.81	63.9	63.36	62.4	63.118	512.092
	DIÁMETRO	101.58	101.54	101.69	101.74	101.638	
PITA 2	ESPEJOR	63.24	63.69	64.15	62.92	63.500	514.967
	DIÁMETRO	101.59	101.63	101.81	101.43	101.615	
PITA 3	ESPEJOR	62.24	62.46	62.83	62.78	62.578	504.668
	DIÁMETRO	101.44	101.33	101.04	101.52	101.333	
PITA 4	ESPEJOR	64.98	63.86	62.85	63.39	63.770	516.648
	DIÁMETRO	101.55	101.41	101.61	101.69	101.565	
PITA 5	ESPEJOR	64.5	63.82	63.47	63.42	63.803	517.649
	DIÁMETRO	101.6	101.53	101.81	101.61	101.638	
PITA 6	ESPEJOR	65.09	64.4	63.49	63.71	64.173	517.889
	DIÁMETRO	101.45	101.24	101.58	101.2	101.368	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	63.49	63.71	63.68	63.61	63.623	514.261
	DIÁMETRO	101.5	101.44	101.26	101.59	101.448	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	64.41	64.34	64.76	64.71	64.555	522.493
	DIÁMETRO	101.51	101.56	101.7	101.29	101.515	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	63.68	64.17	64.76	64.71	64.330	521.493
	DIÁMETRO	101.78	101.47	101.54	101.59	101.595	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	65.03	64.06	64	64.92	64.503	521.862
	DIÁMETRO	101.59	101.4	101.46	101.53	101.495	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	65.21	64.14	64.43	65.33	64.778	523.003
	DIÁMETRO	101.43	101.23	101.34	101.56	101.390	
GUAYLLABAMBA	ESPEJOR	64.83	64.21	63.96	64.44	64.360	523.175
	DIÁMETRO	101.5	101.67	101.83	101.94	101.735	
PIFO 1	ESPEJOR	69.56	69.44	69.34	69.51	69.463	562.462
	DIÁMETRO	101.52	101.32	101.57	101.74	101.538	
PIFO 2	ESPEJOR	72.1	70.83	70.53	71.14	71.150	573.887
	DIÁMETRO	101.23	101.25	101.68	101.2	101.340	
PIFO 3	ESPEJOR	71.88	70.86	70.91	70.9	71.138	576.962
	DIÁMETRO	101.63	101.51	101.65	101.69	101.620	
PIFO 4	ESPEJOR	69.91	69.87	69.33	69.46	69.6425	562.255
	DIÁMETRO	101.4	101.36	101.45	101.34	101.388	
PIFO 5	ESPEJOR	71.61	71.28	68.71	71.31	70.728	570.845
	DIÁMETRO	101.4	101.45	101.24	101.4	101.373	
PIFO 6	ESPEJOR	70.87	70.45	70.69	70.77	70.695	571.174
	DIÁMETRO	101.36	101.52	101.36	101.46	101.425	

Tabla No.3.13: Gravedad específica “Bulk” de la mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto. Agregados de Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo.

### 3.2.2 Determinación de la gravedad específica de la mezcla asfáltica compactada “Bulk” con el contenido óptimo de asfalto

En la sección anterior se anotó la fórmula para el cálculo de la densidad “Bulk”, y para las muestras asfálticas con contenido óptimo de asfalto se aplica la misma ecuación 3.2:

BRIQUETA/ NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	AASTHO T166-078-METODO DE ENSAYO A			VOLUMEN (c.c.)	Densidad Bulk Gmb
				Masa del Especimen Seco(gr)	Masa del Especimen Sumergido(gr )	Masa del Especimen SSS(gr)		
1	PITA 1	63.12	101.64	1,158.51	663.99	1,160.89	496.90	2.331
2	PITA 2	63.50	101.62	1,163.90	666.47	1,165.25	498.78	2.333
3	PITA 3	62.58	101.33	1,159.28	664.89	1,160.58	495.69	2.339
4	PITA 4	63.77	101.57	1,162.08	658.60	1,163.70	505.10	2.301
5	PITA 5	63.80	101.64	1,164.06	664.05	1,165.15	501.10	2.323
6	PITA 6	64.17	101.37	1,164.53	662.57	1,166.16	503.59	2.312
7	GUAYLLABAMBA 1	63.62	101.45	1,150.29	642.78	1,153.52	510.74	2.252
8	GUAYLLABAMBA 2	64.56	101.52	1,151.01	641.38	1,155.78	514.40	2.238
9	GUAYLLABAMBA 3	64.33	101.60	1,156.25	647.33	1,158.02	510.69	2.264
10	GUAYLLABAMBA 4	64.50	101.50	1,156.36	646.42	1,159.48	513.06	2.254
11	GUAYLLABAMBA 5	64.78	101.39	1,153.81	644.85	1,157.37	512.52	2.251
12	GUAYLLABAMBA 6	64.36	101.74	1,158.63	645.71	1,161.30	515.59	2.247
13	PIFO 1	69.46	101.54	1,155.21	616.51	1,170.94	554.43	2.084
14	PIFO 2	71.15	101.34	1,157.47	616.11	1,176.21	560.10	2.067
15	PIFO 3	71.14	101.62	1,160.90	619.08	1,177.53	558.45	2.079
16	PIFO 4	69.64	101.39	1,147.04	614.22	1,164.50	550.28	2.084
17	PIFO 5	70.73	101.37	1,153.63	607.74	1,170.29	562.55	2.051
18	PIFO 6	70.70	101.43	1,158.97	609.68	1,172.58	562.90	2.059

Tabla No.3.14: Gravedad específica “Bulk” de la mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto. Agregados de Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo.

### 3.2.3 Determinación de la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica con el contenido óptimo de asfalto

Se calculó la gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica “Gmm” para los porcentajes de asfalto que intervinieron en el diseño de mezclas asfálticas para cada fuente de material y se obtuvo el “Gmm” del contenido de asfalto óptimo de la gráfica Gmm vs Porcentaje de asfalto. Este valor se comprueba realizando el ensayo Rice en laboratorio sobre las muestras de mezcla asfáltica fabricadas con el contenido óptimo de asfalto (Anexo 3):

# Muestra	masa muestra (gr)	picnómetro+masa+H2O	picnómetro +H2O a 25°C	Gmm
<b>RÍO PITA</b>	2,326.80	8,758.60	7,391.10	<b>2.426</b>
<b>GUAYLLABAMBA</b>	2,298.10	8,725.80	7,391.10	<b>2.385</b>
<b>PIFO</b>	2,315.00	8,730.70	7,391.10	<b>2.373</b>

Tabla No.3.15: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica con contenido óptimo de asfalto. Agregados de Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo.



Fotografía No.3.3: Gravedad específica máxima teórica de la mezcla asfáltica, mediante el ensayo RICE.

## **CAPÍTULO IV. ENSAYOS DE PROBETAS, OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ESTABILIDAD MÓDULO DE RIGIDEZ**

### **3.1 Ensayo Módulo de Rigidez para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto, según Método EN 12697-26: 2004 Anexo C, "Indirect tension in cylindrical specimens Test"**

#### **4.1.1 Descripción del ensayo de Módulo de Rigidez**

**Norma Ensayo: EN 12697-26: 2004 Anexo C**

**Alcance:** Con este método no destructivo se determina el módulo de rigidez en laboratorio de los materiales asfálticos, es un método de tracción indirecta por carga diametral a probetas cilíndricas de diámetro 110 a 150mm y espesor de 50 a 70mm, que permite simular la respuesta del pavimento flexible, y se obtiene la carga máxima.

Las pruebas se realizan en material bituminoso compactado bajo una carga sinusoidal u otra carga controlada, el uso de diferentes tipos de muestras y soportes. Con este procedimiento se puede clasificar las mezclas asfálticas en base a la rigidez, como una guía del rendimiento de los pavimentos.



Fotografía No.4.1: Medición de Módulo de Rigidez en la máquina universal.

#### **Equipo de laboratorio**

- Máquina universal:

- Equipo de prueba: contempla el marco de carga de acero, sistema servoneumático de carga y celda de carga.
- Pieza para medir deformaciones: marco de montaje, transductores de tipo Linear Variable Differential Transducer (LVDT), ajustador de LVDT y sujetadores.
- Pieza de alineación: canal de localización del marco de carga, alineación LVDT, tuerca de ajuste y barra de liberación de alineación, carga superior de la platina y platina.
- Programa o sistema de adquisición de datos y resultados
- Muestra de ensayo (briqueta)



Fotografía No.4.2: Colocación de la muestra en el marco montaje y ajuste de los LVDT.

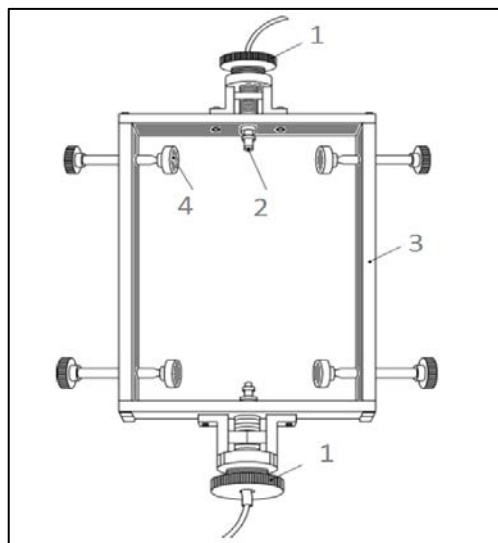


Grafico No.4.1: Pieza para medir deformaciones

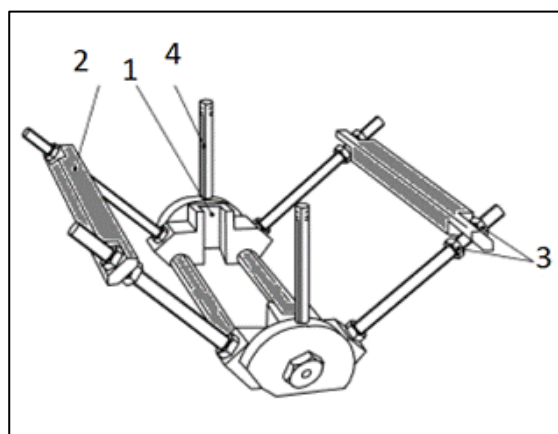


Grafico No.4.3: Pieza de alineación

El ancho de la franja de carga y la profundidad nominal del segmento cóncavo está en función de la siguiente dimensión de la briqueta.

CUADRO DE DIMENSIONES		
Diámetro del Modelo nominal mm.	Ancho de la franja de carga mm.	Profundidad nominal del segmento cóncavo mm
80	10±1	0.3±0.05
100	12±1	0.4±0.05
120	15±1	0.5±0.05
150	19±1	0.6±0.05
200	25±1	0.7±0.05

Tabla No.4.1: Dimensiones y profundidad nominal del segmento cóncavo.

### Preparación de la Muestra

La fabricación de las briquetas se realizaron de acuerdo al Método Marshall y las dimensiones de las muestras están de acuerdo a la norma EN 12627-29.

### Condiciones de almacenamiento

Los períodos de almacenamiento serán inferiores a 4 días, la temperatura no será superior a 25°C, para el almacenamiento de 4 días, la temperatura no deberá superar los 5°C, las muestras se disponen en la máquina universal una cara plana sobre una superficie horizontal y no se deberá colocar una muestra sobre otra.

### **Descripción del ensayo**

La muestra cilíndrica será colocada en un ambiente de temperatura controlada (máquina universal) y será vigilada hasta que se haya alcanzado la temperatura de ensayo, ya que a temperaturas más altas de prueba, algunas mezclas pueden presentar una deformación excesiva que conduce al colapso de la muestra.

### **Montaje de la prueba**

Los rodillos de carga se limpiaran con un disolvente después de obtener la muestra a la temperatura especificada, se alineara con uno de los diámetros verticales. El procedimiento de ajuste de los transductores y del sistema de medición, se hará de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Es importante que el bastidor de montaje se sujete de manera uniforme y a la muestra. Se debe tener cuidado, que no exista una sobre-tensión de las abrazaderas.

### **Medición de Rigidez y Deformación**

Se aplican mínimo 10 pulsos, para que el equipo se ajuste a la magnitud de la carga, y luego se obtiene, la deformación diametral horizontal especificada y el tiempo de ensayo

### **Cálculos del Módulo de Rigidez**

Con las mediciones de los pulsos de carga, el módulo de rigidez está determinado por la siguiente formula

$$Sm = \frac{F \times (v+0,27)}{(z \times h)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

Sm= Modulo de rigidez

F= Valor máximo de la carga vertical expresado en mega pascales (Mpa)

z= Amplitud de la deformación horizontal obtenido durante el ciclo de carga, expresado en milímetros

h= Espesor medio de la muestra, expresado en milímetros

v= Relación de Poisson

Si la relación de Poisson no se determina se asume un valor de 0.35 para todas las temperaturas. El módulo de rigidez expresado en megapascales (Mpa.), ajustado a un factor de la zona de carga de 0.60 usando la siguiente formula:

$$S'm= S_m \times (1 - 0.322 \times (\log(S_m) - 1.812) \times (0.60 - k)) \quad \text{Ecuación 4.2}$$

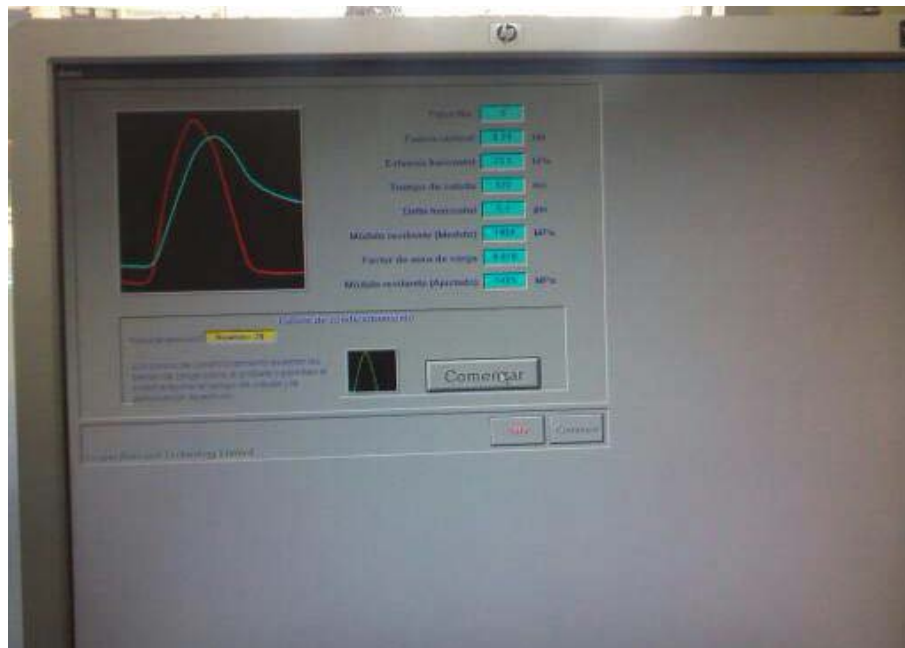
Dónde:

S'm= Módulo de rigidez expresado en megapascales (Mpa.), ajustado a un factor de la zona de carga de 0.60

K= factor que mide la zona de carga

S<sub>m</sub>= Módulo de rigidez expresado en Megapascales(Mpa.), para un factor de carga k, expresado en grados Celsius (°C).

La muestra se extrae de equipo de prueba, y se gira  $80^{\circ} \pm 10^{\circ}$  alrededor de su eje horizontal y se repite el ensayo. Si el valor medio del módulo de rigidez de la segunda prueba, es decir cuando se le giro  $90^{\circ}$ , es de +10% o -20% del valor medio registrado de la primera prueba entonces la media de las dos pruebas se calcularan y se registraran como el módulo de rigidez de la muestra. Por el contrario, si la diferencia entre los dos valores es mayor que el indicado anteriormente, los resultados se rechazan<sup>10</sup>.



Fotografía No.4.3: Obtención de valores de módulo de rigidez.

<sup>10</sup> Bituminous mixtures test methods for hot mix asphalt, BS EN 12697-26 Stiffness, Annex C

#### 4.1.2 Obtención de Módulos de Rigidez para mezclas asfálticas con contenido óptimo de asfalto

Se realiza el ensayo de Módulo de Rigidez a todos los especímenes, y se obtiene el Informe con los datos de las muestras asfálticas (Anexo 4).

		<b>EN 12697-26:2004 (ANEXO C)</b>	
<b>BRIQUETA/ NÚCLEO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MÓDULO RIGIDEZ BRIQUETAS CANTIDAD ASFALTO ÓPTIMO</b>	
		<b>Medido (Mpa)</b>	<b>Ajustado (Mpa)</b>
1	PITA 1	1,821.00	1,835.00
2	PITA 2	1,463.00	1,467.00
3	PITA 3	1,768.00	1,772.00
4	PITA 4	1,510.00	1,509.00
5	PITA 5	1,889.00	1,887.00
6	PITA 6	1,810.00	1,811.00
7	GUAYLLABAMBA 1	3,118.00	3,130.00
8	GUAYLLABAMBA 2	2,818.00	2,808.00
9	GUAYLLABAMBA 3	2,862.00	2,869.00
10	GUAYLLABAMBA 4	3,530.00	3,549.00
11	GUAYLLABAMBA 5	3,501.00	3,509.00
12	GUAYLLABAMBA 6	2,943.00	2,956.00
13	PIFO 1	1,124.00	1,125.00
14	PIFO 2	1,068.00	1,069.00
15	PIFO 3	1,155.00	1,158.00
16	PIFO 4	1,128.00	1,128.00
17	PIFO 5	1,053.00	1,057.00
18	PIFO 6	1,068.00	1,071.00

Tabla No.4.2: Resultados módulo de rigidez para muestras asfálticas con el contenido óptimo de asfalto para las fuentes de material del DMQ.

#### 4.2 Ensayo estabilidad y fluencia para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto, según Método Marshall, estandarizado por la American Society Testing and Materials (ASTM) en la norma D1559

En el capítulo III se describió el Método Marshall y bajo esa norma se determina la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas con el contenido óptimo de asfalto. Cabe mencionar que estas muestras cilíndricas previamente fueron ensayadas para determinar el módulo de rigidez, por lo que se espera 24 horas después del ensayo de Módulo de Rigidez ya que las briquetas fueron sometidas a cargas. En el Anexo 4, se adjunta las gráficas estabilidad vs flujo para las mezclas con contenido óptimo de asfalto.

BRIQUETA/ NÚCLEO	DESCRIPCIÓN	ASTM D6927				
		Estabilidad (lb)			ESTABILIDAD (N) 1LB=4.45N	Flujo 0.01"
		Medida	Factor de Corrección	Corregida		
1	PITA 1	2,650.00	1.04	2,756.00	12,264.20	13.00
2	PITA 2	2,300.00	1.04	2,392.00	10,644.40	12.50
3	PITA 3	2,300.00	1.09	2,507.00	11,156.15	12.50
4	PITA 4	2,475.00	1.04	2,574.00	11,454.30	14.50
5	PITA 5	2,500.00	1.04	2,600.00	11,570.00	14.25
6	PITA 6	2,350.00	1.04	2,444.00	10,875.80	13.75
7	GUAYLLABAMBA 1	3,850.00	1.00	3,850.00	17,132.50	14.50
8	GUAYLLABAMBA 2	4,000.00	1.00	4,000.00	17,800.00	15.00
9	GUAYLLABAMBA 3	3,800.00	1.00	3,800.00	16,910.00	14.00
10	GUAYLLABAMBA 4	3,400.00	1.00	3,400.00	15,130.00	15.00
11	GUAYLLABAMBA 5	3,475.00	1.00	3,475.00	15,463.75	15.50
12	GUAYLLABAMBA 6	3,400.00	1.00	3,400.00	15,130.00	14.75
13	PIFO 1	2,700.00	0.89	2,403.00	10,693.35	12.25
14	PIFO 2	2,400.00	0.86	2,064.00	9,184.80	12.50
15	PIFO 3	2,550.00	0.89	2,269.50	10,099.28	13.00
16	PIFO 4	2,500.00	0.89	2,225.00	9,901.25	12.00
17	PIFO 5	2,025.00	0.86	1,741.50	7,749.68	12.00
18	PIFO 6	2,450.00	0.86	2,107.00	9,376.15	12.00

Tabla No.4.3: Resultados de estabilidad y flujo para muestras asfálticas con el contenido óptimo de asfalto para las fuentes de material del DMQ.

### 4.3 Interpretación de resultados y análisis estadístico de correlación

#### 4.3.1 Análisis de correlación estabilidad vs módulo de Rigidez, método estadístico y comprobación gráfica para las mezclas asfálticas propuestas

- **Método estadístico para analizar la correlación entre estabilidad y módulo de rigidez**

Con los resultados de estabilidad y módulo de rigidez se realizará la verificación de la correlación entre estos dos parámetros, para lo cual se establece la estabilidad Marshall como la variable independiente “x” y el módulo de rigidez como la variable dependiente “y”. Las fórmulas empleadas para obtener el coeficiente de correlación se detallan a continuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum yi}{n} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

$$\sigma = \frac{xy}{n} - (\bar{x} * \bar{y}) \quad \text{Ecuación 4.5}$$

$$\sigma x = \sqrt{\frac{x^2}{n} - \bar{x}^2} \quad \text{Ecuación 4.6}$$

$$\sigma y = \sqrt{\frac{y^2}{n} - \bar{y}^2} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$r = \frac{\sigma}{\sigma x * \sigma y} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

Dónde:

$\bar{x}$ = media aritmética de los valores de estabilidad

$\bar{y}$ = media aritmética de los valores de módulo de rigidez

$\sum xi$ = sumatoria valores de estabilidad

$\sum yi$ = sumatoria valores de módulo de rigidez

n= números de datos

$\sigma$ = covarianza

$\sigma x$ = desviación típica en x (estabilidad)

$\sigma y$ = desviación típica en y (módulo de rigidez)

r= coeficiente de PEARSON

$r^2$ = coeficiente de correlación

A partir del valor del coeficiente de PEARSON “r” se interpreta y analiza la correlación:

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

- **Gráfica de los datos obtenidos en laboratorio**

Para realizar la comprobación gráfica de la correlación estabilidad y módulo de rigidez, se elabora un gráfico de dispersión con los datos de estabilidad en “x” y módulo de rigidez en “y”, también se obtiene la línea de tendencia, con su respectiva ecuación y el coeficiente de correlación “r<sup>2</sup>”.

**Resultados:**

**Fuente de material:** Río Pita

No.	x ESTABILIDAD	y MÓDULO RIGIDEZ	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	12,264.20	1,835.00	150,410,601.64	22,504,807.00	3,367,225.00
2	10,644.40	1,467.00	113,303,251.36	15,615,334.80	2,152,089.00
3	11,156.15	1,772.00	124,459,682.82	19,768,697.80	3,139,984.00
4	11,454.30	1,509.00	131,200,988.49	17,284,538.70	2,277,081.00
5	11,570.00	1,887.00	133,864,900.00	21,832,590.00	3,560,769.00
6	10,875.80	1,811.00	118,283,025.64	19,696,073.80	3,279,721.00
SUMA	67,964.85	10,281.00	771,522,449.95	116,702,042.10	17,776,869.00
# DATOS	6				
MEDIA ARITMETICA		$\bar{x} =$	11,327.48		
		$\bar{y} =$	1,713.50		
COVARIANZA		$x*y =$	116,702,042.10		
		$\sigma =$	40,711.94		
DESVIACIONES TÍPICAS		$x^2 =$	771,522,449.95	$y^2 =$	17,776,869.00
		$\sigma_x =$	524.77	$\sigma_y =$	163.49
COEFICIENTE DE PEARSON		$r =$	<b>0.47</b>	Existe <b>-1 &lt; r &lt; 1</b> correlación Al ser positiva la correlación es directa moderada	
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN		$r^2 =$	<b>0.23</b>		

Tabla No.4.4: Análisis estadístico de la correlación estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados del Río Pita.

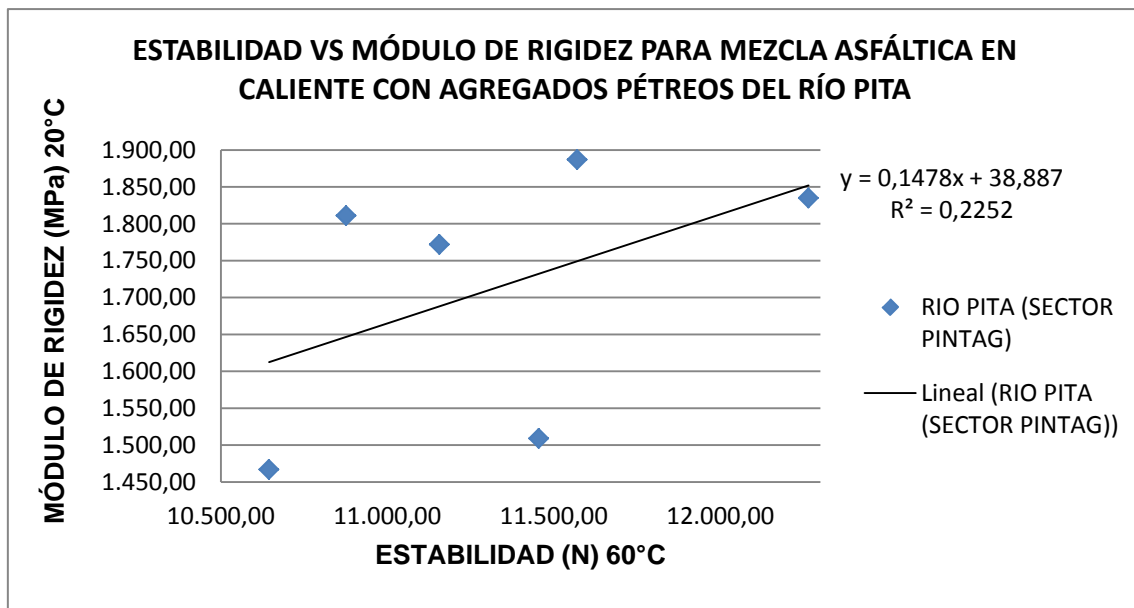


Gráfico No.4.4: Estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados del Río Pita.

**Fuente de material:** Río Guayllabamba

No.	x ESTABILIDAD	y MÓDULO RIGIDEZ	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	17,132.50	3,130.00	293,522,556.25	53,624,725.00	9,796,900.00
2	17,800.00	2,808.00	316,840,000.00	49,982,400.00	7,884,864.00
3	16,910.00	2,869.00	285,948,100.00	48,514,790.00	8,231,161.00
4	15,130.00	3,549.00	228,916,900.00	53,696,370.00	12,595,401.00
5	15,463.75	3,509.00	239,127,564.06	54,262,298.75	12,313,081.00
6	15,130.00	2,956.00	228,916,900.00	44,724,280.00	8,737,936.00
SUMA	97,566.25	18,821.00	1,593,272,020.31	304,804,863.75	59,559,343.00
# DATOS	6				
MEDIA ARITMETICA		$\bar{x} =$	16,261.04		
		$\bar{y} =$	3,136.83		
COVARIANZA		$x*y =$	304,804,863.75		
		$\sigma =$	-207,366.91		
DESVIACIONES TÍPICAS		$x^2 =$	1,593,272,020.31	$y^2 =$	59,559,343.00
		$\sigma x =$	1,060.12	$\sigma y =$	294.68
COEFICIENTE DE PEARSON		$r =$	<b>-0.66</b>	<b>-1 &lt; r &lt; 1</b> Existe correlación Al ser NEGATIVA es una correlación inversa moderada	
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN		$r^2 =$	<b>0.44</b>		

Tabla No.4.5: Análisis estadístico de la correlación estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados del Río Guayllabamba.

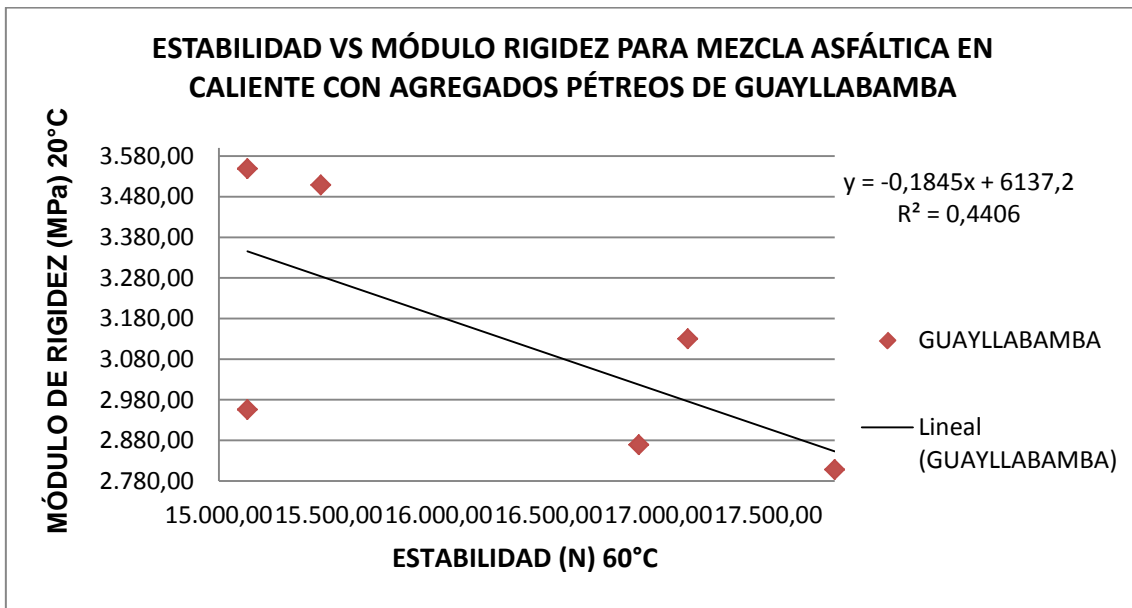


Gráfico No.4.5: Estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados del Río Guayllabamba.

**Fuente de material:** Pifo (Construarenas)

No.	x ESTABILIDAD	y MÓDULO RIGIDEZ	x <sup>2</sup>	xy	y <sup>2</sup>
1	10,693.35	1,125.00	114,347,734.22	12,030,018.75	1,265,625.00
2	9,184.80	1,069.00	84,360,551.04	9,818,551.20	1,142,761.00
3	10,099.28	1,158.00	101,995,355.53	11,694,960.45	1,340,964.00
4	9,901.25	1,128.00	98,034,751.56	11,168,610.00	1,272,384.00
5	7,749.68	1,057.00	60,057,462.61	8,191,406.48	1,117,249.00
6	9,376.15	1,071.00	87,912,188.82	10,041,856.65	1,147,041.00
SUMA	57,004.50	6,608.00	546,708,043.78	62,945,403.53	7,286,024.00
# DATOS	6				
MEDIA ARITMETICA		$\bar{x} =$	9,500.75		
		$\bar{y} =$	1,101.33		
COVARIANZA		$x*y =$	62,945,403.53		
		$\sigma =$	27,407.92		
DESVIACIONES TÍPICAS		$x^2 =$	546,708,043.78	$y^2 =$	7,286,024.00
		$\sigma_x =$	923.99	$\sigma_y =$	37.45
COEFICIENTE DE PEARSON		$r =$	<b>0.79</b>	$-1 < r < 1$ Existe correlación Existe correlación positiva alta	
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN		$r^2 =$	<b>0.63</b>		

Tabla No.4.6: Análisis estadístico de la correlación estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados de Pifo (Construarenas).

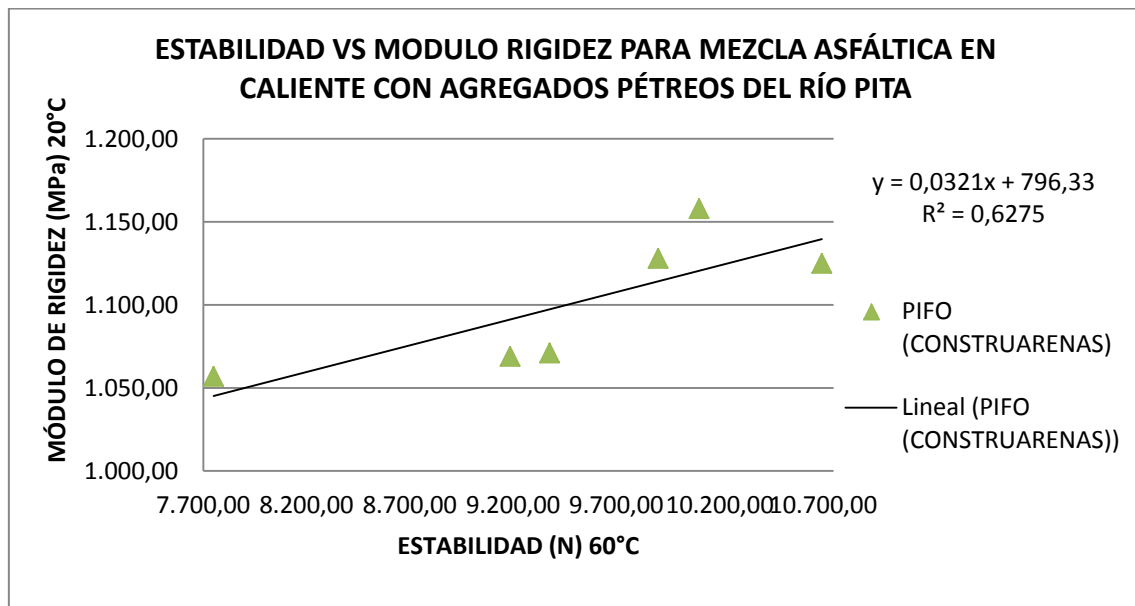


Gráfico No.4.6: Estabilidad vs módulo de rigidez para el diseño de mezcla asfáltica en caliente con agregados de Pifo (Construarenas).

### 4.3.2 Cálculo del módulo de rigidez (y') ajustado con la ecuación de la línea de tendencia

Con la ecuación de la línea de tendencia, calculamos el módulo de rigidez ajustado “y'”, en función de la pendiente e intersección de la misma, aplicando el siguiente procedimiento:

- Ecuación de la línea de tendencia:

$$y' = Ax + m \quad \text{Ecuación 4.9}$$

Donde:

y' = Módulo de rigidez ajustado en Mpa

A = pendiente

x = estabilidad Marshall obtenida en laboratorio en N, conversión 1Lb a 4.45N

m = intersección

#### Resultados:

Fuente de material: Río Pita

Pendiente	A	0.147836376
Intersección	m	38.887
No.	X Estabilidad	y' Mr
1	12,264.20	1851.982029
2	10,644.40	1612.516668
3	11,156.15	1688.171933
4	11,454.30	1732.249348
5	11,570.00	1749.354017
6	10,875.80	1646.726005
SUMA	67,964.85	

Tabla No.4.7: Ajuste de módulo de rigidez y'. Agregados del Río Pita.

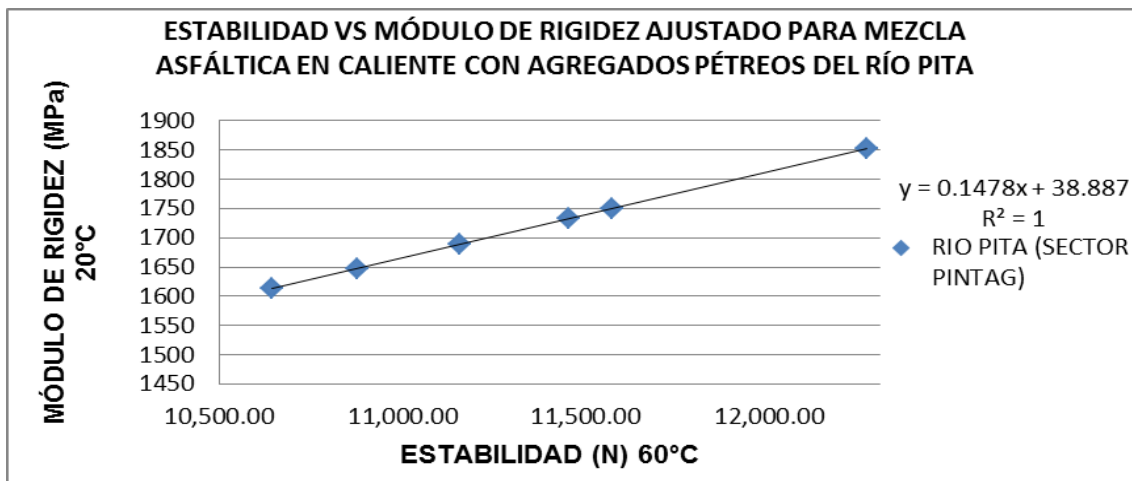


Gráfico No.4.7: Ajuste de módulo de rigidez y' a la línea de tendencia. Río Pita.

**Fuente de material:** Río Guayllabamba

Pendiente	A	-0.184513011
Intersección	m	6137.207
<b>No.</b>	X Estabilidad	y' Mr
1	17,132.50	2976.037932
2	17,800.00	2852.875497
3	16,910.00	3017.092077
4	15,130.00	3345.525237
5	15,463.75	3283.94402
6	15,130.00	3345.525237
SUMA	97,566.25	18,821.00

Tabla No.4.8: Ajuste de módulo de rigidez y'. Agregados del Río Guayllabamba.

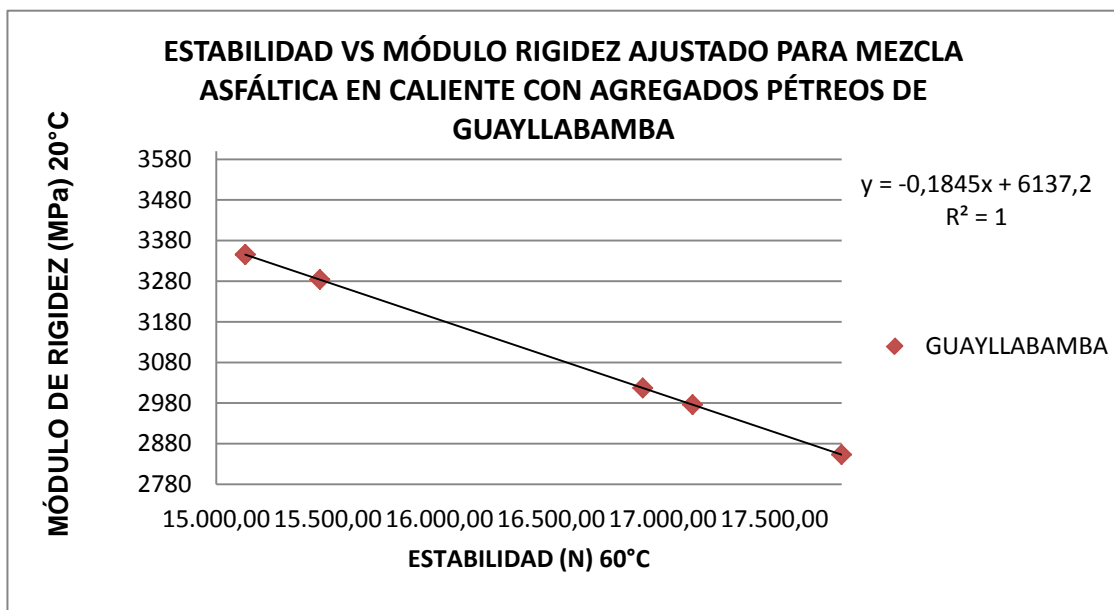


Gráfico No.4.8: Ajuste de módulo de rigidez y' a la línea de tendencia. Río Guayllabamba.

**Fuente de material:** Pifo (Construarenas)

Pendiente	A	0.032102729
Intesercción	m	796.333
<b>No.</b>	X Estabilidad	y' Mr
1	10,693.35	1139.619048
2	9,184.80	1091.190476
3	10,099.28	1120.547619
4	9,901.25	1114.190476
5	7,749.68	1045.119048
6	9,376.15	1097.333333
SUMA	57,004.50	6,608.00

Tabla No.4.9: Ajuste de módulo de rigidez y'. Agregados de Pifo (Construarenas).

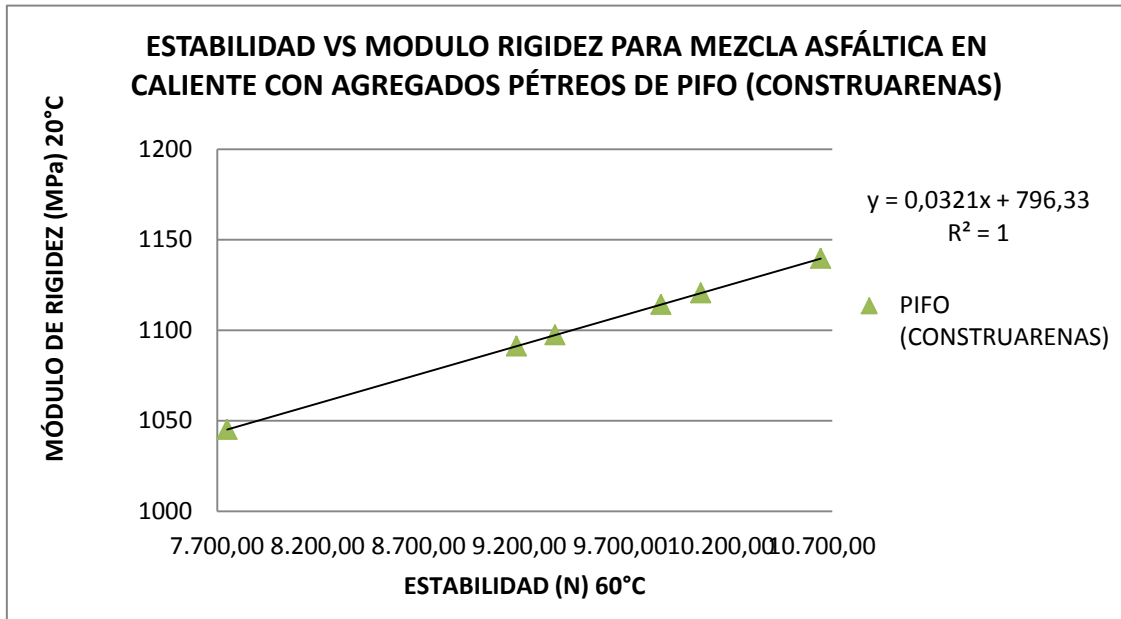


Gráfico No.4.9: Ajuste de módulo de rigidez  $y'$  a la línea de tendencia. Pifo (Construarenas).

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Se tomó muestras de material pétreo de algunas fuentes de materiales, que actualmente proveen agregados para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente; donde el agregado grueso se obtiene a través de la trituración; tal es el caso del material del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Mina Construarenas).
- Al realizar la caracterización de los agregados pétreos (finos y gruesos) y del ligante asfáltico, se determinó que los materiales empleados para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, cumplen con las normas establecidas en las Especificaciones MOP-001-F 2002.
- Se seleccionó y combinó los agregados finos y gruesos de cada fuente de material de acuerdo a la faja de límites máximos y mínimos establecidos en la Tabla 405.5-1 de éstas especificaciones (MOP, 2002: VIII-378), agregados de tamaño 3/4", 1/2", 3/8" y No4.
- Para el diseño de mezclas asfálticas en caliente se realizó tres combinaciones de agregados con los materiales pétreos del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), respectivamente y se obtuvo el contenido óptimo de asfalto, así como la estabilidad, el flujo y las propiedades volumétricas para cada mezcla; éstas últimas no están dentro de los rangos detallados en las Especificaciones MOP-001-F 2002; resultados que sirven para mejorar los componentes de las mezclas asfálticas como porcentajes de filler en la mezcla de áridos, para obtener mezclas con adecuada dosificación, ya que al ser corregidos se traduce en mayor vida a la fatiga y reducción del ahuellamientos<sup>11</sup>.
- En el informe del ensayo de módulo de rigidez se obtuvo valores de deformación horizontal para las muestras asfálticas propuestas menores a 5micrones, ya que es un ensayo no destructivo que busca evaluar las propiedades fundamentales de las

---

<sup>11</sup> Gonzalo Palma. *Estudio de comportamiento del módulo de rigidez en mezclas asfálticas, determinado mediante ensayos de laboratorio y obtenidos con instrumentación de terreno*. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 2010. Página1.

mezclas asfálticas en condiciones normales. A partir de los valores de deformación obtenidos se puede determinar que los agregados tienen excelentes características mecánicas, ya que la mayor o menor resistencia a la deformación de la mezclas depende de la forma, tamaño, textura superficial, dureza y cubicidad de los agregados.

- Se determinó que existe correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para las mezclas asfálticas propuesta, y la fórmula de correlación obtenida se emplea para cada diseño de mezcla asfáltica específicamente; ya que el contenido óptimo de asfalto, combinación de agregados pétreos, tamaño y características de los mismos es diferente y no se asume una ecuación general en función de la estabilidad.
- Por lo antes descrito, se determinó el valor, grado y tipo de correlación entre estabilidad y módulo de rigidez para las mezclas asfálticas con agregados pétreos del Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo (Construarenas), que se muestra a continuación:

FUENTE DE MATERIAL	VALOR DE CORRELACIÓN $r$	INTERPRETACIÓN RESULTADO
Río Pita	0.47	Correlación directa positiva moderada
Río Guayllabamba	-0.66	Correlación inversa negativa alta
Pifo (Construarenas)	0.79	Correlación directa positiva alta

Tabla No.5.1: Resultados de correlación para las mezclas asfálticas en caliente propuestas (material pétreo Río Pita, Río Guayllabamba y Pifo).

- Al comprobar que existe correlación entre estabilidad y módulo de rigidez, se destaca que a partir de la propuesta de determinar las propiedades fundamentales de las mezclas se puede sustituir gradualmente los parámetros empíricos y conseguir evaluar a la mezcla asfáltica en caliente según su comportamiento mediante la obtención del módulo de rigidez.

## **5.2 Recomendaciones**

- Al obtener el valor del módulo de rigidez ya sea con probetas elaboradas en laboratorio o testigos tomados de vías en su etapa de construcción, nos apoyamos en valores reales de la carpeta asfáltica para el diseño estructural de pavimentos por ser considerado como un sistema multicapa elástico lineal ya que con materiales asfálticos producidos para las calles y avenidas del Distrito Metropolitano de Quito.
- Sería importante realizar el análisis de correlación entre estabilidad y módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente que actualmente producen las Plantas Asfálticas para la red vial del DMQ y en base a estos datos diseñar carpetas asfálticas nuevas y de refuerzo que garanticen una mayor vida útil a controlar y verificar las deformaciones en condiciones de servicio frente a aplicaciones de carga.
- Obtener valores de módulo de rigidez de mezclas asfálticas en caliente fabricadas para su puesta en obra, con el fin de analizar su comportamiento bajo la aplicación de cargas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cáceres, Carlos, *Análisis de la Metodología Superpave para el diseño de mezclas en México*. Puebla, Universidad de las Américas Puebla, 2007.
- Echeverría, Gerardo. “Comportamiento dinámico de una mezcla asfáltica de rodadura”. *Revista Ingeniería de Construcción*, Número7. Santiago de Chile, 1989.
- El Telégrafo. *El parque automotor crece más que la población*. Internet. [www.telegrafo.com.ec](http://www.telegrafo.com.ec). Acceso: 2013.
- Garnica, Paúl, *Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas*. México, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, 2004.
- Internet. <http://mapasamerica.dices.net>
- Jaramillo, Gustavo, *Curso Post-Universitario de Fiscalización en la Construcción de Carreteras Laboratorio de Carreteras*. Ecuador, Ministerio de Obras Públicas, 1993.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002*. Ecuador, Ministerio de Obras Públicas, 2002.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, *Inventario Nacional de Fuentes de Materiales de Construcción*. Ecuador, Ministerio de Obras Públicas, 1986.
- Montejo, Alfonso, *Ingeniería de Pavimentos*. Bogotá, Pontificia Universidad Católica de Colombia, 2010.
- Moreno, Javier, *Efecto de equipo y procedimiento de medida en la determinación del módulo resiliente y resistencia a tracción indirecta de las mezclas bituminosas*. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2005.
- Navarro, Manuel, *Análisis del nuevo procedimiento de compactación de probetas de mezcla bituminosa para los ensayos de pista y de fatiga*. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2009.
- Nieto, Juan, *Susceptibilidad al ahuellamiento en carpetas asfálticas*. Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata, Lemac Centro de investigaciones Viales, 2009.
- Norma Británica, *British Standard Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt*, England, 2004.

- Normas ASTM, *American Society for Testing Materials*
- Palma, Gonzalo, *Estudio de comportamiento del módulo de rigidez en mezclas asfálticas, determinado mediante ensayos de laboratorio y obtenidos con instrumentación de terreno*. Santiago de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, 2010.
- Recasens, Miró, *Evaluación de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas formuladas a partir de la normativa española y francesa*. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, 2002.
- The Asphalt Institute, *Manual de Asfalto*. Bilbao, Ediciones Urmo, 1973.
- Yáñez, Gustavo, *Manual visualizado de ensayos para laboratorio de pavimentos*. Quito, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

**INFORMES DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS  
PÉTREOS (GRUESO Y FINO)**

**FUENTES DE MATERIALES PÉTREOS: RÍO PITA, RÍO  
GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS)**



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)**

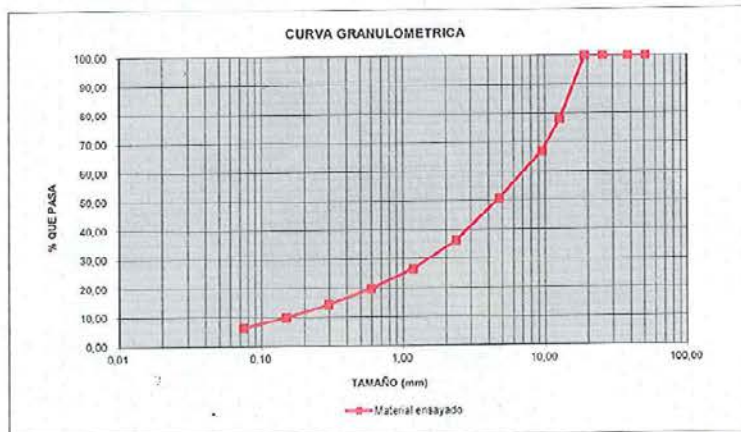
**PROYECTO:** Tests - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASIM C 136 **FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2948M  
**HOJA:** 1 de 8  
**CANTERA:** Río Pita  
**LOCALIZACIÓN:** Saragolpa

**MODULO DE FINURA:** 159

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	394	394	22,02	77,98
3/8"	9,51	156	550	32,96	67,04
No 4	4,75	293	843	49,35	50,65
No 8	2,36	258	1101	63,16	36,84
No 16	1,18	174	1275	73,49	26,51
No 30	0,60	121	1396	80,24	19,76
No 50	0,30	99	1495	89,74	10,26
No 100	0,15	79	1574	90,13	9,87
No 200	0,07	63	1637	93,69	6,31
Pasa No. 200		113	113		
SUMA		1790	1790		



**OBSERVACIONES:**  
 NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

*[Signature]*  
 Ing. Guillermo Restrepo M. S.C.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Quito-Ecuador  
 Ccl.: 09870 49430  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2948M  
**HOJA:** 2 de 8  
**CANTERA:** Río Pita  
**LOCALIZACIÓN:** Sangolquí

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4" p/g  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1" p/g

MALLA No.	ADERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100,00	0	0	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	79	79	0,36	99,64
1/2"	12,70	9870	9955	45,68	54,32
3/8"	9,51	5972	15927	72,92	27,08
No.4	4,76	3551	19478	69,18	30,82
Pasa No. 8		2363	2363		
SUMA		21841	21841		



**OBSERVACIONES:**  
 NOTA: Este Informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Facultad de Ingeniería Civil  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO  
PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito SOLICITADO POR: Ing. Adriano Acosta Vera

MUESTRA: Tomada por el cliente  
NORMA ENSAYO: ASTM C 128 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14/03/2014  
FECHA DE EMISIÓN: 27/03/2014

RECEPCIÓN N°: 2948M  
HOJA: 3 de 8  
CANTERA: Río Pífa  
LOCALIZACIÓN: Sangolquí

Gravedad específica seca =  $A / (B + S - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca =  $S / (B + S - C)$

Gravedad específica aparente =  $A / (B + A - C)$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	160,40	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	660,40	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	965,70	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	501,10	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	483,30	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,47	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Gas =	2,56	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,72	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	3,68	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Ceño  
Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2948M  
**HOJA:** 4 de 8  
**DESCRIPCIÓN:** Material 3/8"

**CANTERA:** Río Pita  
**LOCALIZACIÓN:** Sangolquí

Gravedad específica seca =  $A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca =  $B / (B - C)$

Gravedad específica aparente =  $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	2941.00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	3011.00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	1847.00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,53	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,59	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,69	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,38	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo

Responsable de Área



Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2948M  
**HOJA:** 5 de 8  
**CANTERA:** Río Pita  
**LOCALIZACIÓN:** Sangolquí  
**DESCRIPCIÓN:** Material 3/4"

Gravedad específica seca = A / (B - C)

Gravedad específica saturada con superficie seca = B / (B - C)

Gravedad específica aparente = A / (A - C)

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	4082,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4175,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2547,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,51	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,56	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,66	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,28	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Celvo  
 Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 131  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2948M  
**HOJA:** 6 de 8  
**CANTERA:** Río Pila  
**LOCALIZACIÓN:** Sangolquí  
**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

$Porcentaje\ de\ desgaste = (C / A) * 100$

$Masa\ que\ pasa\ el\ tamiz\ No.\ 12 = (A - B)$

**TIPO DE GRADACION:** B

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5005	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3605	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1401	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	28	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**EQUIVALENTE DE ARENA**

PROYECTO: Teñis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente incluyendo agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito SOLICITADO POR: Ing. Adriana Acosta Vera

NORMA ENSAYO: ASSHTO T 176  
 RECEPCION N°: 2948 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 14/03/2014  
 HOJA: 7 de 8 FECHA DE EMISIÓN: 27/03/2014  
 CANTERA: Río Pita  
 LOCALIZACIÓN: Sangolquí  
 MUESTRA: Tomada por el cliente

$$C = (B / A) * 100$$

LECTURA INICIAL A= 5,2 °

LECTURA FINAL B= 4,0 °

EQUIVALENTE DE ARENA C 77 %

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido por internet.

Ing. María Inés Galvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Rojas M.Bc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 TelE: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito- Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**RECEPCION N°:** 2948 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 04/01/1900

**NORMA:** ASTM D 5821 **FECHA DE EMISIÓN:** 27/03/2014

**HOJA:** 8 de 8

**CANTERA:** Río Píra **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**LOCALIZACIÓN:** Sangolquí

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	MASA DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS FRACTURADAS
PASA	RETENE					
3/4"	1/2"	45,22	1273,00	1126,20	88,47	40,00
1/2"	3/8"	27,34	487,00	451,90	92,79	25,37
Porcentaje total de partículas trituradas						<b>65,4</b>

**OBSERVACIONES:**  
**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

  
 Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC.



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS**

**PROYECTO:** Tests - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 123 **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 23/04/2014  
**RECEPCION N°:** 2982 M **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014  
**HOJA:** 1 de 1  
**CANTERA:** Río Pita  
**LOCALIZACIÓN:** .....  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

$$A = (B - C) / B * 100$$

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	R=	5001,0	437,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	5001,0	405,7
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,00	0,32

**OBSERVACIONES:**

  
Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Tel.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados puros del distrito Metropolitano de Quito

**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

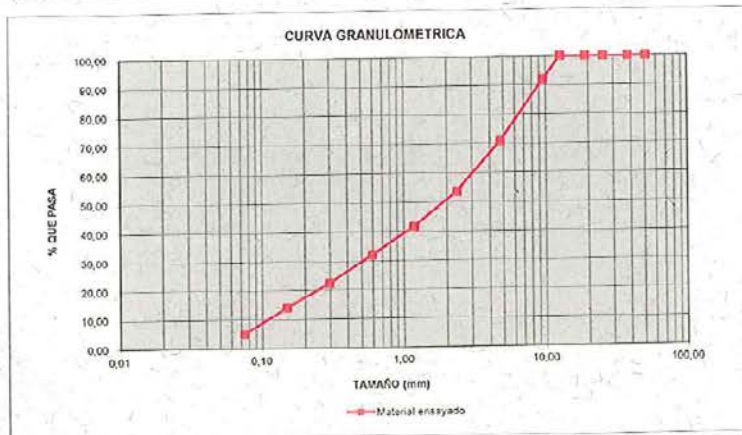
**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136

**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2952M  
**HOJA:** 1 de 12  
**CANTERA:** Río Guayabamba  
**LOCALIZACIÓN:** Guayabamba

**MODULO DE FINURA:** 374

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00
3/8"	9,51	93	93	8,22	91,78
No.4	4,75	238	331	29,28	70,74
No.8	2,36	194	525	46,40	53,60
No.16	1,18	137	662	58,47	41,53
No.30	0,60	109	771	68,11	31,89
No.50	0,30	110	881	77,79	22,21
No.100	0,15	93	974	86,00	14,00
No.200	0,07	104	1078	95,14	4,86
Pasa No. 200		55	55		
SUMA		1133	1133		



**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

*[Signature]*  
 Ing. Guillermo Restrepo M. S.C.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C. 136  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2962M  
**HOJA:** 2 de 12  
**CANTERA:** Río Cuyflobomba  
**LOCALIZACIÓN:** Cuyflobomba

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4" φ  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1" φ

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100,00	0	0	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	40	40	0,20	99,80
3/4"	19,00	1215	1255	6,27	93,73
1/2"	12,70	10730	11985	59,85	40,15
3/8"	9,51	3025	15010	74,96	25,04
No.4	4,75	2200	17710	85,94	14,06
Pasa No. 4		2815	2815		
SUMA		20025	20025		



**OBSERVACIONES:**  
 NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

*[Signature]*  
 Ing. Guillermo Realpo M. S.C.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito

**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136

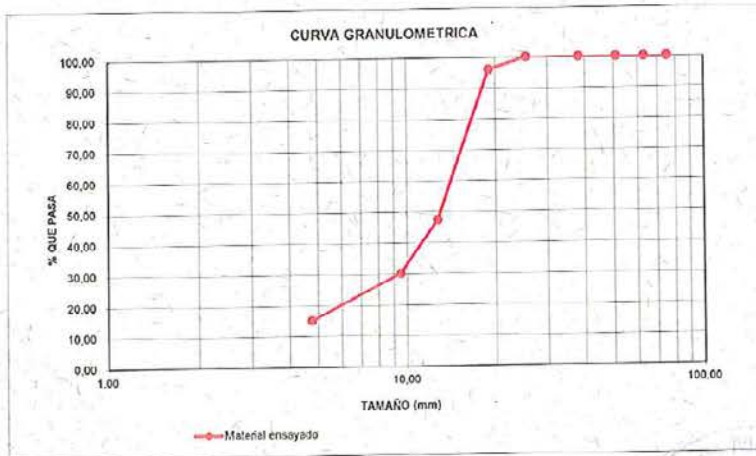
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014

**FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2962 M  
**HOJA:** 3 de 12  
**CANTERA:** Río Guayabamba  
**LOCALIZACIÓN:** Guayabamba

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1/2" φ  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 3/4" φ

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100,00	0	0	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	590	590	3,99	96,01
1/2"	12,70	7190	7780	62,64	47,36
3/8"	9,51	2540	10320	69,82	30,18
No.4	4,76	2220	12540	84,84	15,16
Pasa No. 6		2240	2240		
SUMA		14760	14760		



**OBSERVACIONES:**  
 \*NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. María Inés Cárvo  
 Responsable de Área

*[Signature]*  
 Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO**  
**PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 128 **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2992 M  
**HOJA:** 4 de 12  
**CANTERA:** Río Guayabamba  
**LOCALIZACIÓN:** Guayabamba

$Gravedad\ específica\ seca = A / (B + S - C)$

$Gravedad\ específica\ saturada\ con\ superficie\ seca = S / (B + S - C)$

$Gravedad\ específica\ aparente = A / (B + A - C)$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	160,40	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUJA	B =	660,40	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	950,50	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500,70	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	466,00	gr
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA	Ge =	2,21	
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,38	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	Gea =	2,65	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab =	7,45	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M SC  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pátrosos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2962 M **DESCRIPCIÓN:** Material 3/4"

**HOJA:** 5 de 12

**CANTERA:** Río Guayllabamba

**LOCALIZACIÓN:** Guayllabamba

Gravedad especifica seca =  $A / (B - C)$

Gravedad especifica saturada con superficie seca =  $B / (B - C)$

Gravedad especifica aparente =  $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3973,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4066,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2470,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,49	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,55	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,64	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,34	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpa M.S.C.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2962 M  
**HOJA:** 6 de 12  
**CANTERA:** Río Guayllabamba **DESCRIPCIÓN:** Material 1/2"  
**LOCALIZACIÓN:** Guayllabamba

Gravedad específica seca =  $A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca =  $B / (B - C)$

Gravedad específica aparente =  $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	4148,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4232,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2661,00	gr
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA	Ge =	2,48	
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,53	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	Gea =	2,61	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab =	2,03	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.S.C.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 131  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2962 M  
**HOJA:** 7 de 12  
**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**CANTERA:** Río Guayllabamba  
**LOCALIZACIÓN:** Guayllabamba

$$\text{Porcentaje de desgaste} = (C / A) * 100$$

$$\text{Masa que pasa el tamiz No. 12} = (A - B)$$

**TIPO DE GRADACION:** B

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5020	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	3860	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1160	gr
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	23	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área

  
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**EQUIVALENTE DE ARENA**

PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito SOLICITADO POR: Ing. Adriana Acosta Vera

NORMA ENSAYO: ASSHTO T 176  
RECEPCION N°: 2962 M  
HOJA: 8 de 12  
CANTERA: Río Guayaabamba  
LOCALIZACIÓN: Guayaabamba  
MUESTRA: Tomada por el cliente

FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 02/04/2014  
FECHA DE EMISIÓN: 10/04/2014

$$C = (B / A) * 100$$

LECTURA INICIAL A= 6,9 °

LECTURA FINAL B= 3,6 °

EQUIVALENTE DE ARENA C 53 %

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
Ing. María Inés Cervo  
Responsable de Área.

  
Ing. Guillermo Riquelme M.Sc.  
Director LMC.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**RECEPCION N°:** 2962 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 02/04/2014

**NORMA:** ASTM D 5921 **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**HOJA:** 9 de 12

**CANTERA:** Rio Guayñabamba **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 1/2 pulgada

**LOCALIZACION:** Guayñabamba

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	MASA DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
3/4"	1/2"	48,65	1247,60	1174,70	94,16	45,80
1/2"	3/8"	17,19	396,40	372,90	94,07	16,17
Porcentaje total de partículas trituradas						62,0

**OBSERVACIONES:**  
**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

  
  
 Ing. Guillermo Restrepo M.Sc.  
 Director L.M.C.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**RECEPCION N°:** 2862 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 02/04/2014

**NORMA:** ASTM D 5821 **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014

**HOJA:** 10 de 12

**CANTERA:** Río Guaylabamba **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**LOCALIZACION:** Guaylabamba

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	MASA DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS
PASA	RETENIE					
3/4"	1/2"	53,58	1285,70	1191,60	92,68	49,66
1/2"	3/8"	15,11	324,40	300,90	92,76	14,01
Porcentaje total de partículas trituradas						63,7

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Celvo  
 Responsable de Área.

  
  
 Ing. Guillermo Restrepo M.Sc.  
 Director LMC.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Vcintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 -Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS**

Teles - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito

PROYECTO: SOLICITADO POR: Ing. Adriana Acosta Vera

NORMA ENSAYO: ASTM C 123

RECEPCION N°: 2962 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 02/04/2014

HOJA: 11 de 12 FECHA DE EMISIÓN: 10/04/2014

CANTERA: Río Guayllabamba

LOCALIZACION: Guayllabamba

MUESTRA: Tomada por el cliente

$$A = (B - C) / B * 100$$

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	3021.4	288.7
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	3019.7	286.3
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,06	0,83

OBSERVACIONES:

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

  
 Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**CONTENIDO ORGANICO EN AGREGADO FINO**

**PROYECTO:** Tests - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 40 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 02/04/2014  
**RECEPCION N°:** 2962 M **FECHA DE EMISIÓN:** 10/04/2014  
**HOJA:** 12 de 12  
**CANTERA:** Río Guayllabamba  
**LOCALIZACIÓN:** Guayllabamba  
**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

$$C = (B / A) * 100$$

**COLOR DE LA MUESTRA** MAYOR A 0 MENOR A 5

**CONTENIDO ORGANICO ACEPTABLE** SI  X  
 NO

**VALOR EN LA ESCALA** N°  3

**OBSERVACIONES:**

Según la norma ASTM C 40, 9.2 en la escala de Gardner ( 1 a 5) la muestra es aceptable hasta 3

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

Ing. Guillermo Reape M.Sc.  
 Director LMC.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

AREA DE HORMIGONES  
INFORME DE ENSAYO  
GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)

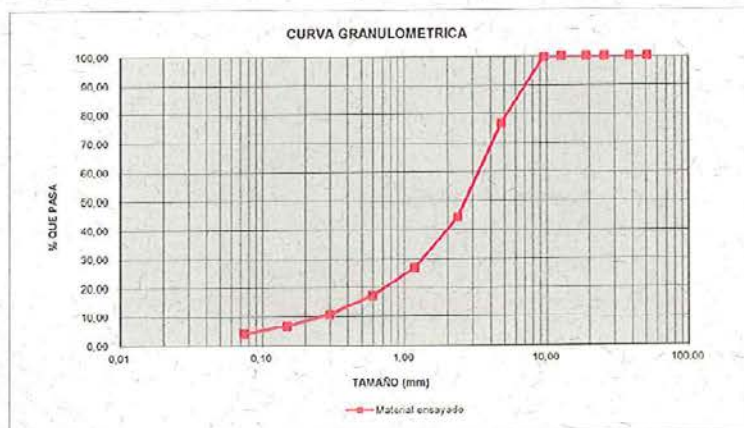
**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito  
**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 03/04/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 02/05/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2971M  
**HOJA:** 1 de 11  
**CANTERA:** Consbuarenas  
**LOCALIZACIÓN:** Pífo

**MODULO DE FINURA:** 4.18

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00
3/8"	9,51	5	5	0,32	99,68
No. 4	4,75	343	343	23,15	76,81
No. 8	2,35	453	837	55,78	44,22
No. 16	1,18	262	1099	73,27	26,73
No. 30	0,60	142	1241	82,73	17,27
No. 50	0,30	88	1333	89,99	10,71
No. 100	0,15	59	1395	93,19	6,81
No. 200	0,07	40	1438	95,83	4,17
Pasa No. 200		62	62		
SUMA		1500	1500		



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito

**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

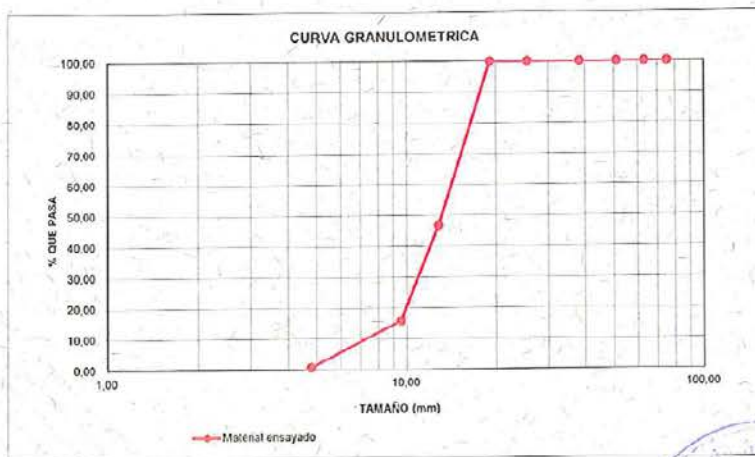
**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136

**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 03/04/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2971 M  
**HOJA:** 2 de 11  
**CANTERA:** Construaresas  
**LOCALIZACIÓN:** Pto

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4" φ  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1" φ

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100,00	0	0	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	4973	4973	53,23	46,77
3/8"	9,51	2881	7854	84,07	15,93
No.4	4,75	1408	9262	99,14	0,86
Pasa No. 8		60	60		
SUMA		9342	9342		



**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido para otros fines.

*[Signature]*  
 Ing. Mercedes Calvo  
 Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel: 09870 49430  
 Quito Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

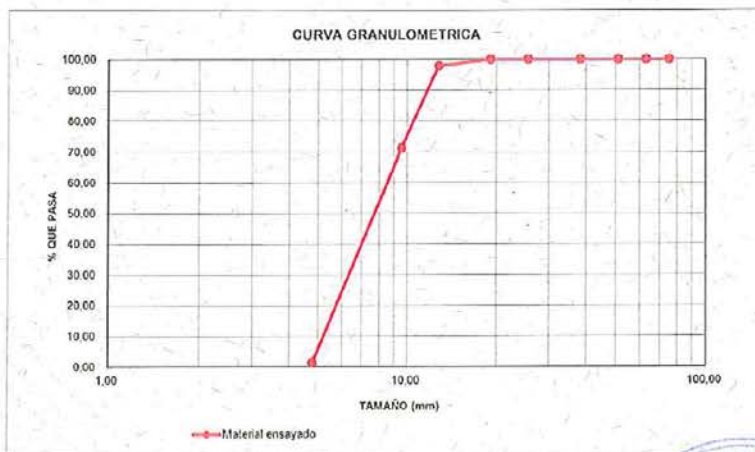
**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 03/04/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2871 M  
**HOJA:** 3 de 11  
**CANTERA:** Construanenas  
**LOCALIZACIÓN:** P40

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/8" φ  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1/2" φ

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
4"	100,00	0	0	0,00	100,00
3 1/2"	90,00	0	0	0,00	100,00
3"	75,00	0	0	0,00	100,00
2 1/2"	63,00	0	0	0,00	100,00
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,50	168	168	2,11	97,89
3/8"	9,51	2125	2293	28,76	71,24
No.4	4,75	5587	7880	99,67	1,43
Pasa No. 10		114	114		
SUMA		7974	7974		



**OBSERVACIONES:**  
 NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

*[Signature]*  
 Ing. Adriana Acosta Vera  
 Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Tel.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

AREA DE HORMIGONES  
INFORME DE ENSAYO  
GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO  
PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito SOLICITADO POR: Ing. Adriana Acosta Vera

MUESTRA: Tomada por el cliente  
NORMA ENSAYO: ASTM C 128 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 03/04/2014  
FECHA DE EMISIÓN: 28/04/2014

RECEPCIÓN N°: 2971 M  
HOJA: 4 de 11  
CANTERA: Construaresas  
LOCALIZACIÓN: Pífo

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B + S - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = S / (B + S - U)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (B + A - C)$$

MASA DEL MATRAZ	Mm =	152,30	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	852,30	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	951,50	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	501,20	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	485,70	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,40	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,48	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,60	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	3,19	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 09/04/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2971M **DESCRIPCIÓN:** Material 3/8"

**HOJA:** 5 de 11

**CANTERA:** Construaresas

**LOCALIZACIÓN:** Pílo

$Gravedad\ específica\ seca = A / (B - C)$

$Gravedad\ específica\ saturada\ con\ superficie\ seca = B / (B - C)$

$Gravedad\ específica\ aparente = A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3042,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	3104,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	1845,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Gc =	2,42	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,47	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,54	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,04	%

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. Marián Inés Catvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**

**GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 09/04/2014

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2971M **DESCRIPCIÓN:** Material 3M' (12'')

**HOJA:** 6 de 11

**CANTERA:** Construaenas

**LOCALIZACIÓN:** Pífo

Gravedad específica seca =  $A / (B - C)$

Gravedad específica saturada con superficie seca =  $B / (B - C)$

Gravedad específica aparente =  $A / (A - C)$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	3835,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	3896,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2316,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ce =	2,43	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,47	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,52	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab =	1,59	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área

Ing. Guillermo Roca M.S.C.  
Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Vcintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**ABRASIÓN E IMPÁCTO POR LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 09/04/2014

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 131 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2971 M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada (19mm)

**HOJA:** 7 de 11

**CANTERA:** Construa Arenas

**LOCALIZACIÓN:** Pífo

$$\text{Porcentaje de desgaste} = (C / A) \cdot 100$$

$$\text{Masa que pasa el tamiz No. 12} = (A - B)$$

<b>TIPO DE GRADACION:</b>	<b>B</b>
<b>MASA INICIAL DE LA MUESTRA</b>	A= 5005 gr.
<b>MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES</b>	B= 3605 gr.
<b>MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12</b>	C= 1400 gr.
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	D= 28 %

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Galvo  
 Responsable de Área

  
 Ing. Guillermo Realpe M.S.C.  
 Director LMC



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**EQUIVALENTE DE ARENA**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito

**SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**NORMA ENSAYO:** ASSHTO T 176

**RECEPCION N°:** 2971 M

**FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 14/03/2014

**HOJA:** 8 de 11

**FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**CANTERA:** Construcciones

**LOCALIZACIÓN:** Pño

$$C = (B / A) * 100$$

LECTURA INICIAL	A=	4,1 "
LECTURA FINAL	B=	3,5 "
EQUIVALENTE DE ARENA	C	86 %

**OBSERVACIONES:**

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**RECEPCION N°:** 2971 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 9-04-2014

**NORMA:** ASTM D 5821 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**HOJA:** 9 de 11

**CANTERA:** Construaresas **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada (1/2)

**LOCALIZACIÓN:** Pfo

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

N° DEL TAMZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN DE LAS DEL ENSAYO	MASA DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
3/4"	1/2"	53,23	1011,00	991,20	98,04	52,19
1/2"	3/8"	30,84	342,10	327,10	95,62	29,49
Porcentaje total de partículas trituradas						<b>81,7</b>

**OBSERVACIONES:**  
**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

  
 Ing. Isidoro Rúa M. Sc.  
 Director LMC.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Tel.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tests - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito **SOLICITADO POR:** Ing. Adriana Acosta Vera

**RECEPCION N°:** 2971 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 9-04-2014

**NORMA:** ASTM D 5821 **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**HOJA:** 10 de 11

**CANTERA:** Construanenas **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/8 pulgada

**LOCALIZACION:** Pfo

**MUESTRA:** Tomada por el Cliente

N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA DE PARTICULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	MASA DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTICULAS FRACTURADAS
PASA	RETIENE					
1/2"	3/8"	26,65	340,80	330,20	96,89	25,82
Porcentaje total de partículas trituradas						25,8

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

  
 Ing. Guillermo Restrepo M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PARTÍCULAS LIVIANAS EN LOS AGREGADOS**

PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos del distrito Metropolitano de Quito SOLICITADO POR: Ing. Adriana Acosta

NORMA ENSAYO: ASTM C 123

RECEPCION N°: 2971 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 09/04/2014

HOJA: 11 de 11 FECHA DE EMISIÓN: 28/04/2014

CANTERA: Construaerenas

LOCALIZACIÓN: Pílo

MUESTRA: Tomada por el cliente

$$A = (B - C) / B * 100$$

		Agregado Gruco 3/4"	Agregado Fino
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	3010,0	300,7
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	3010,0	299,4
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,00	0,43

OBSERVACIONES:

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



**ANEXO II**  
**INFORMES DE CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE**  
**ASFÁLTICO**  
**MUESTRA TOMADA EN LA PLANTA ASFÁLTICA**  
**DE LA EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE**  
**MOVILIDAD Y OBRAS PÚBLICAS DE QUITO**  
**(EPMMOP-Q)**



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

**DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)**

PROYECTO: Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez- Quito  
LOCALIZACIÓN: Quito  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70 - 09  
PROCEDIMIENTO: 3722 P  
RECEPCIÓN N°: 1 de 1  
HOJA: Tomada por el cliente  
MUESTRA: Tomada por el cliente

SOLICITA: Ing. Adriana Acosta  
FISCALIZACIÓN: .....  
CONTRATISTA: .....  
FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2014-04-04  
FECHA DE EMISIÓN: 2014-04-14

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	25,0

**Registros para densidad:**

Serie del picnómetro	46
(A) Masa del picnómetro (más tapa)	37,136
(B) Masa del picnómetro lleno de agua	62,382
(C) Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	58,147
(D) Masa del picnómetro más asfalto y más agua	62,597
Densidad relativa de la muestra	1,010
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> )	997,0
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	1007,308

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este Informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mellama F.  
Responsable de Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**ÁREA DE PAVIMENTOS**

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**INFORME DE ENSAYO**

**DETERMINACIÓN DE PUNTO DE CHISPA Y LLAMA DE MATERIALES BITUMINOSOS CON EL EQUIPO DE COPA ABIERTA CLEVELAND**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez- Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D92 - 12b **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-4 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Punto de Chispa (°C)	330
Punto de Llama (°C)	349
Presión barométrica (mm Hg)	549,1
Punto de Chispa corregido (°C)	337
Punto de Llama corregido (°C)	356

**Especificación del producto para punto de chispa:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	232
--	--------	-----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
 Responsable de Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito  
**LOCALIZACIÓN:** Quito  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D5/D5M - 13  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-1  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**FISCALIZACIÓN:** -----  
**CONTRATISTA:** -----  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3/22-14
Temperatura de ensayo (°C)	25,0
Carga (g)	100,01
Tiempo de carga (s)	5

**Valores de penetración en la muestra:**

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0,1 mm)	72	72	74	73

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	60
--	--------	----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

\_\_\_\_\_  
Carlos Mallama F.  
Responsable de Ensayos

\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Albuja  
Responsable de Área

\_\_\_\_\_  
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS POR VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2171/D2171M - 10 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-6 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	60,01
Número del viscosímetro	100
Serie del viscosímetro	L754

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	3,129	1,594	1,064	0,8066	0,642
Tiempo de flujo (s):	59,7	117,5	178,8	-----	-----
Viscosidad (Pa.s):	186,801	187,295	190,243		

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa.s)	187,295
-------------------	---------

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	160	Pa.s
	máximo	240	Pa.s

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** Muestra Original

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
 Responsable de Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Ecuador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

**VISCOSIDAD DEL ASFALTO A ELEVADAS TEMPERATURAS USANDO UN VISCOSÍMETRO ROTATORIO**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D4402/D4402M - 12 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

**Configuración del ensayo:**

Viscosímetro	Brookfield DV-II + Pro
Geometría de ensayo	SC4-27, colgante
Velocidad de rotación (rpm)	150

**Resultados del ensayo:**

	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Viscosidad (Pa.s)	0,345	0,345	0,345	0,345
Torque (%)	20,7	20,7	20,7	20,7

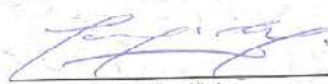
**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

  
\_\_\_\_\_  
Carlis Mallama Figueroa  
Responsable de Ensayos

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Albuja  
Responsable de Área

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
Cel.: 09870 49430  
Quito-Fenador  
LMC-PUCE@puce.edu.ec  
www.puce.edu.ec

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

**CÁLCULO DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (BITÚMENES)**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

**Registros de la muestra:**

Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402/D4402M) (cP)	345,0
Densidad relativa de la muestra a 25/25 °C	1,010
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	365,722

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	300	mm <sup>2</sup> /s
--	--------	-----	--------------------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:**

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

\_\_\_\_\_  
Carlos Mallama F.  
Responsable de Ensayos

\_\_\_\_\_  
Ing. Jorge Albuja  
Responsable de Área

\_\_\_\_\_  
Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

Ventimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf.: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD DE ASFALTOS POR VISCOSÍMETRO CAPILAR AL VACÍO**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2171/D2171M - 10 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT 5.1-AP-6 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	60,00
Número del viscosímetro	200
Serie del viscosímetro	K596

	Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	Bulbo E	Bulbo F
Constante del viscosímetro (Pa.s/s):	11,95	6,167	4,142	3,138	2,497
Tiempo de flujo (s):	60,5	118,9	179,9	247,4	307,3
Viscosidad (Pa.s):	722,975	733,256	745,146	776,341	767,328

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa.s)	722,975
-------------------	---------

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	máximo	1000	Pa.s
--	--------	------	------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** Residuo RTFO

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama Figueroa  
 Responsable de Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...





**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

Veintimilla y Av. 12 de Octubre  
 Telf: 593 299 1529 • Fax: 593 299 1624  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCF@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Quito **SOLICITA:** Ing. Adriana Acosta  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D113 - 07 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-2 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3722 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3722-14
Temperatura de ensayo (°C)	24,9
¿Se usa aditivo para densidad del agua?	NO
Número de réplicas	3

**Valores de ductilidad en la muestra:**

Molde	1	2	3	Promedio
Ductilidad (cm)	55	50	57	54
¿Ensayo normal?	SI	SI	SI	

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	50
--	--------	----

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	14
Norma de muestreo	N/D
Fecha de muestreo	N/D
Origen del producto	N/D
Lugar de muestreo	N/D
Identificación del camión	N/D

**OBSERVACIONES:** Residuo RTFO

**NOTA:** Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

Carlos Mallama F.  
 Responsable de Ensayos

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC

Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...



### **ANEXO III**

**INFORMES DE ENSAYO MARSHALL: CURVAS DE ESTABILIDAD VS. FLUJO DE BRIQUETAS CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO PARA MEZCLA DE AGREGADOS PÉTREOS DE LAS FUENTES DE MATERIALES DEL RÍO PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS)**

**ENSAYO RICE: INFORME DE RESULTADOS DE GRAVEDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO PARA LA MEZCLA DE AGREGADOS DE LAS FUENTES DE MATERIAL DEL RÍO PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS)**

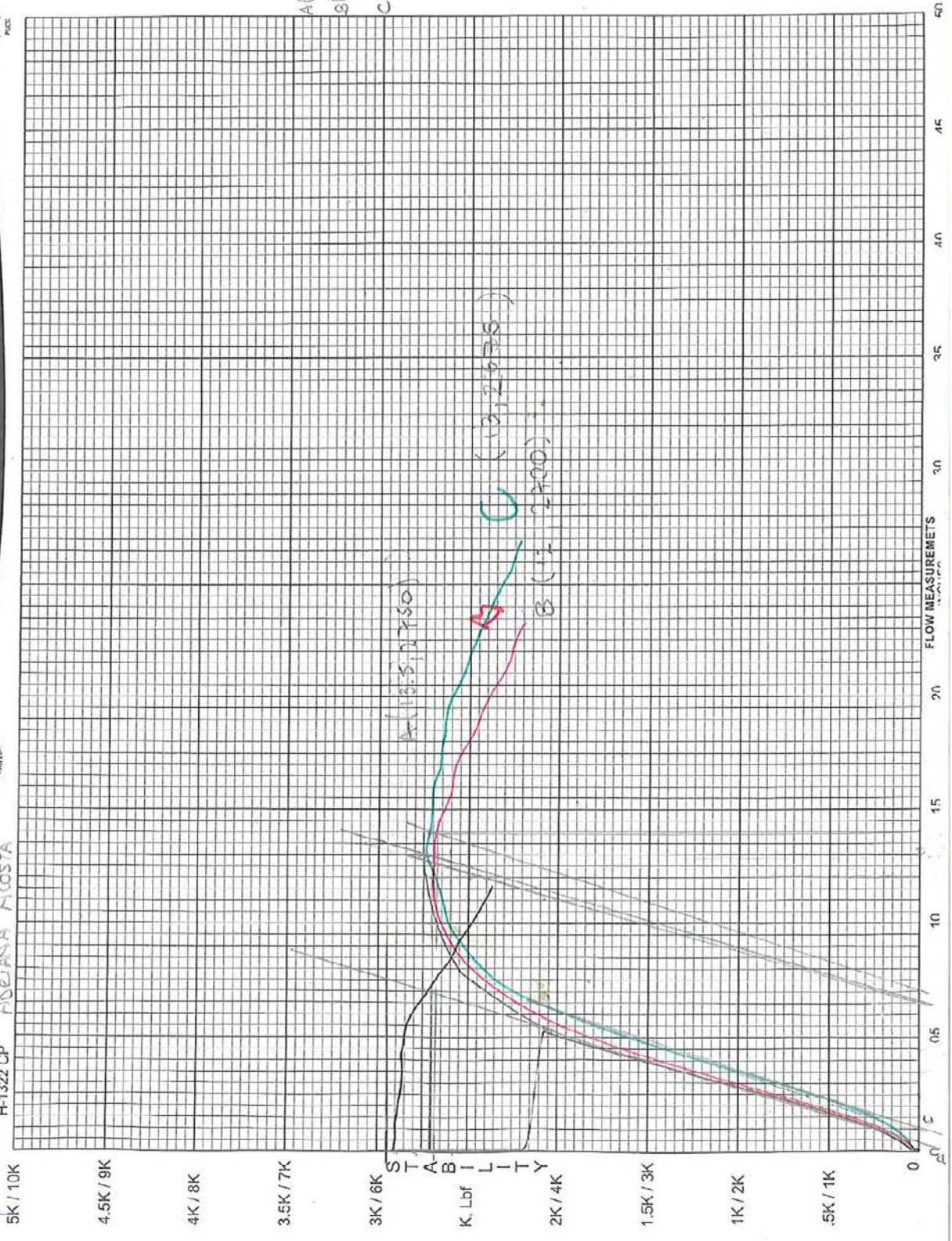
**ENSAYO RICE: INFORME DE RESULTADOS DE GRAVEDAD MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA DE AGREGADOS DE LAS FUENTES DE MATERIAL DEL RÍO PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS)**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MARK SELECTION  
 MISA: DO PITA  
 H-1322 CP  
 ADELIANA AGOSTA



A(12.35, 2750)  
 B(12, 2700)  
 C(13, 2675)



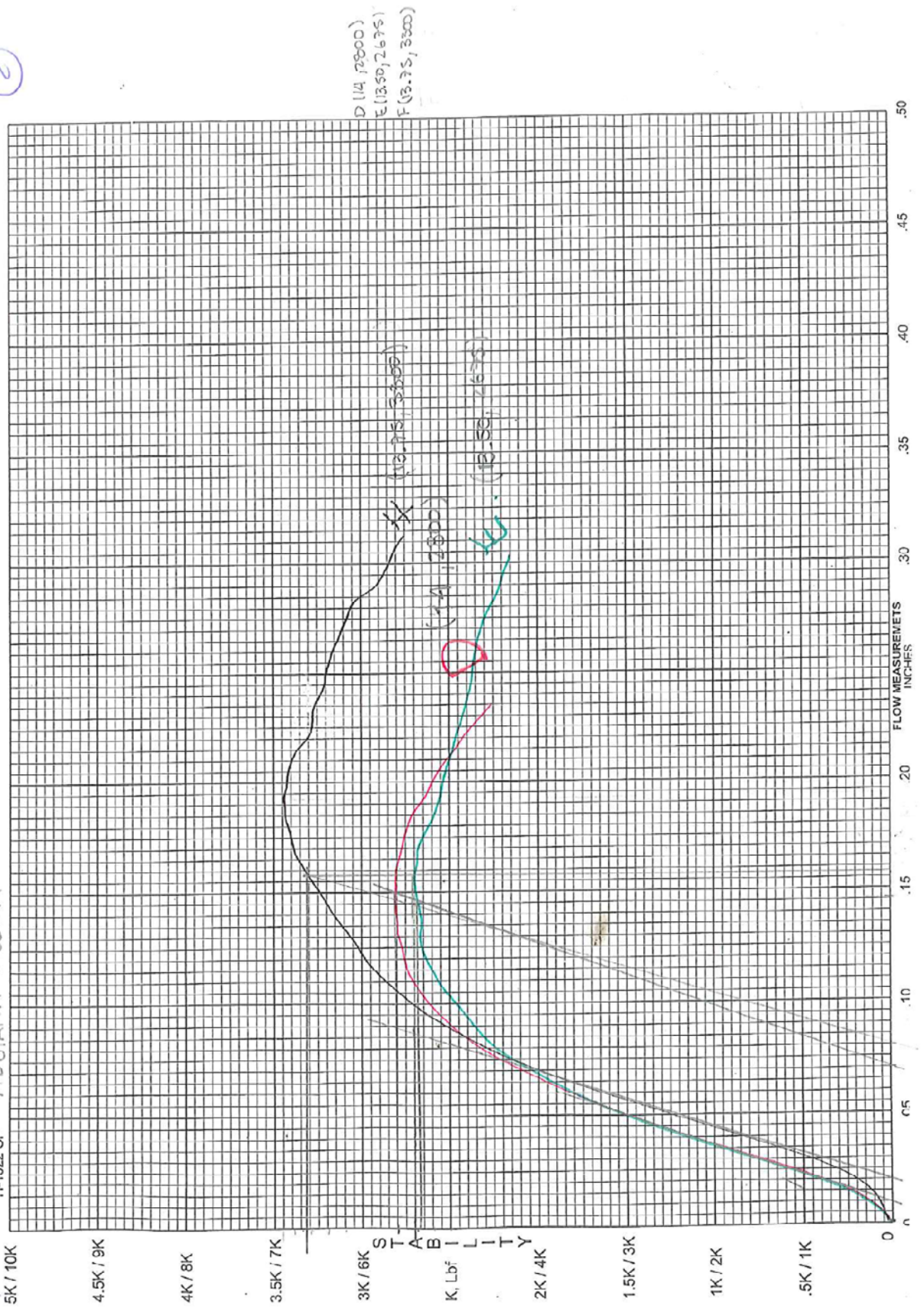
2

Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MINA DEL PITA  
H-1322 CP  
ADRIANA ACOSTA

MARK SELECTION  
50/0









































































## **ANEXO IV**

ENSAYO DE MÓDULO DE RIGIDEZ: INFORME DEL  
MÓDULO POR COMPRESIÓN DIAMETRAL DE BRIQUETAS  
CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO PARA LA MEZCLA  
DE AGREGADOS DE LAS FUENTES DE MATERIAL DEL RÍO  
PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO (CONSTRUARENAS)

ENSAYO MARSHALL: CURVAS DE ESTABILIDAD VS FLUJO  
DE BRIQUETAS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO  
PARA LA MEZCLA DE AGREGADOS DE LAS FUENTES DE  
MATERIAL DEL RÍO PITA, RÍO GUAYLLABAMBA Y PIFO  
(CONSTRUARENAS)



















































