

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



**ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE ESTABILIDAD Y MÓDULO DE  
RIGIDEZ PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, EMPLEANDO  
AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE IMBABURA, CANTON  
IBARRA**

**LAGLA YANEZ .MARCELO GONZALO**

Quito, Agosto 2014

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**DISERTACION PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE MAGISTER  
EN INGENIERIA VIAL**

**ANÁLISIS DE LA CORRELACIÓN ENTRE ESTABILIDAD Y MÓDULO DE  
RIGIDEZ PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, EMPLEANDO  
AGREGADOS PÉTREOS DE LA PROVINCIA DE IMBABURA, CANTON  
IBARRA**

**LAGLA YANEZ .MARCELO GONZALO**

**DIRECTOR DE DISERTACIÓN:**

**ING. MSc. GUSTAVO YÁNEZ**

Quito, Agosto 2014



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios por haberme dado la bendición de tener unos padres que me inculcaron el respeto hacia los demás.

A mi esposa y mis hijos que son la fuerza que me impulsa a lograr mis metas y toda mi familia, por su paciencia y apoyo incondicional en toda lo que realizo.

A mis profesores director y revisores , guías de sabiduría que me dirigieron con su conocimiento y me encaminaron al desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de estudio y trabajo por haberme brindado su amistad y conocimientos.

Finalmente agradezco al personal de laboratorio de hormigones y pavimentos de la universidad Católica por brindarnos sus instalaciones y apoyo con sus técnicos para realizar esta investigación.

## RESUMEN

Esta investigación se realizó para determinar si existe correlación entre la estabilidad Marshall y el módulo de rigidez de una mezcla asfáltica en caliente conformada con asfalto Ac-20 de la refinería de Esmeraldas y material granular de la mina Ramírez y mina Tahuando ubicadas en el Cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

Se determinó el porcentaje óptimo de asfalto utilizando el método Marshall, luego se realizaron briquetas, unas conformadas con materiales de la mina Ramírez y otras con materiales de la mina Tahuando, y se les midió el módulo de rigidez según la norma EN 12697-26:2006 Anexo C, y la estabilidad Marshall según norma ASTM D6927.

En el Ecuador las mezclas asfálticas han sido diseñadas y controladas con métodos de laboratorio empíricos como el método Marshall, en la actualidad el deterioro prematuro del pavimento en la vía panamericana y en las vías de la zona urbana, al poco tiempo de ser colocado la carpeta asfáltica, tanto en vías nuevas, como en capas de refuerzo en las vías antiguas, sumado al incremento del parque automotor<sup>1</sup>, donde se observan fallas como ahuellamiento, agrietamiento los cuales están relacionados con la calidad de los materiales y a procedimientos de diseño de mezcla. Otra falla que se puede observar es la fatiga la cual se halla ligada con la deformación horizontal por tracción, que es el parámetro crítico para el diseño estructural de pavimentos.

Por estas razones en la actualidad se requieren pavimentos de comportamiento superior los cuales exigen nuevos métodos para la caracterización de mezclas que traten de simular de un manera más real la deformación que sufre los pavimentos, simulando el paso continuo de los neumáticos, mediante ciclos de carga, carga que está limitada por la máxima deformación que puede sufrir el espécimen en 5

---

<sup>1</sup> el aumento de vehículos fue considerable. Así las estadísticas de la matriculación vehicular; en el 2007 cerca de ocho mil carros fueron matriculados, únicamente de Ibarra; un año después la cifra superó los 12 mil vehículos. Únicamente en el 2008, 3 mil 768 vehículos nuevos fueron matriculados (29 por ciento de ellos automóviles).. [www.lahora.com.ec](http://www.lahora.com.ec). Acceso: 2009.

micrones, especificada en la norma EN 12697-26:2006 Anexo C, así como el tiempo de duración de carga que depende de la velocidad del camión y de la profundidad bajo la superficie del pavimento, este ensayo se llama Modulo de Rigidez.

Estas investigaciones también nos introducen en los nuevos conceptos de medición de deformaciones más apegadas a la realidad, estudiando variables que influyen directamente en el módulo de rigidez como son la temperatura, la carga y velocidad de aplicación y familiarizarnos con los equipos y normas.

## ABSTRACT

This research was conducted to determine if there is a correlation between the Marshall stability and stiffness modulus of asphalt hot mix asphalt made with Ac-20 Esmeraldas refinery and granular material Ramirez Tahuando mine and mine located in Canton Ibarra province of Imbabura

The optimum asphalt using the Marshall method was determined, then briquettes are made, formed with a materials Ramirez mine and other materials Tahuando with mine, and they measured the modulus according to EN 12697-26: 2006 Appendix C, and Marshall stability according to ASTM D6927.

In Ecuador asphalt mixes were designed and controlled laboratory empirical methods as the Marshall method, currently premature pavement deterioration in the Pan-American highway and roads in the urban area, shortly after being placed folder asphalt, in new ways, and reinforcing layers in the old way, added to the increase of the fleet where failures as rutting, cracking which are related to the quality of the materials and mix design procedures are observed. Another flaw that can be seen is fatigue which is tied to the horizontal tensile strain, which is the critical parameter for the structural design of pavements

For these reasons, at present pavements which require higher performance new methods for the characterization of mixtures treated to simulate a more realistic manner the deformation of the floors, simulating the continuous passage of the tire through load cycles required , load that is limited by the maximum strain that can occur in the specimen 5 micron, specified in EN 12697-26:2006 Appendix C, and the charging time duration which depends on the speed of the truck and the depth under the pavement surface, this test is called module strength.

These investigations also introduce us to new concepts for measuring deformations more attached to reality, studying variables that directly influence the stiffness modulus as temperature, loading and application speed and familiar with the equipment and standards.

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
<b>1 CAPITULO I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema .....	3
1.3 Marco Teórico .....	4
1.3.1 Mezclas asfálticas en caliente.....	4
1.3.2 Diseño de Mezclas asfálticas en caliente.....	6
1.3.3 Ensayos Dinámicos .....	14
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo General .....	17
1.4.2 Objetivos específicos.....	17
1.5 Hipótesis .....	18
1.6 Análisis de Canteras o Fuentes de Materiales Pétreos para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra. ....	18
1.6.1 Mina Ramírez .....	18
1.6.2 Mina Tahuando .....	20
<b>2 CAPÍTULO II. ....</b>	<b>22</b>
2.1 Caracterización de los materiales .....	22
2.1.1 Caracterización de agregado grueso .....	22
2.1.2 Caracterización de agregado fino .....	30
2.2 Caracterización del ligante asfáltico .....	36
2.2.1 Comportamiento Reológico-Ensayos sobre el betún original .....	38
2.2.2 Ensayo sobre el residuo de pérdida por calentamiento-RTFOT.....	43
2.3 Selección de agregados y combinación de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas .....	46
2.3.1 Combinación de los agregados pétreos de la mina Ramírez .....	47
2.3.2 Combinación de los agregados pétreos de la mina Tahuando .....	49
2.4 Determinación de la cantidad de ligante asfáltico para el diseño de mezclas asfálticas ....	50
2.4.1 Determinación del porcentaje de ligante asfáltico para la mezcla con los agregados de la mina Ramírez .....	51
2.4.2 Determinación del porcentaje de ligante asfáltico para la mezcla con los agregados de la mina Tahuando.....	51
2.5 Tipos de mezclas asfálticas en caliente que van a ser incluidas.....	52
<b>3 CAPÍTULO III. ....</b>	<b>54</b>
3.1 Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando materiales pétreos de la mina Ramírez y mina Tahuando.....	54
3.1.1 Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente propuestas.....	54
3.1.2 Determinación de la gravedad específica Bulk (AASHTO T166-078).....	56
3.1.3 Determinación de la gravedad específica máxima teórica (AASHTO T209-08) .....	58

3.1.4	Determinación del porcentaje óptimo de asfalto Ensayo Marshall (ASTM D6927) .....	61
3.1.5	Determinación de la Peladura (ASTM D3625/D3625M-12) .....	69
3.2	Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente optima .....	71
3.2.1	Cantidad de asfalto en los baches de las mezclas optima .....	71
3.2.2	Obtención de diámetros y espesores de las briquetas (ASTM D3549) .....	71
3.2.3	Determinación de la gravedad especifica Bulk (AASHTO T166-078) .....	73
3.2.4	Gravedad especifica Máxima Teórica (AASHTO T 209-08).....	74
4	CAPÍTULO IV .....	75
4.1	Ensayos de probetas, obtención de resultados y análisis de correlación estabilidad vs. Módulo de rigidez .....	75
4.1.1	Ensayo de Modulo de Rigidez para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto según el método EN 12697-26:2004 Anexo C, “Indirect tensión in cylindrical specimens Test .	75
4.2	Ensayo de estabilidad y fluencia para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall, estandarizado por la American Society Testing and Materials (ASTM) en la norma D1559.....	84
4.3	Interpretación de resultados y análisis estadístico de correlación .....	85
4.3.1	Análisis de correlación estabilidad vs módulo de Rigidez, para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto.....	85
5	CAPÍTULO V .....	92
5.1	Conclusiones y recomendaciones .....	92
5.1.1	Conclusiones .....	92
5.1.2	Recomendaciones .....	94
	Referencias bibliográficas .....	95
	ANEXOS .....	97
	ANEXO 1.....	98
	FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CALCULAR LA ESTABILIDAD CORREGIDA .....	98
	ANEXO 2.....	100
	CARACTERIZACION AGREGADOS MINA RAMÍREZ .....	100
	CARACTERIZACIÓN AGREGADOS MINA TAHUANDO.....	111
	CARACTERIZACIÓN ASFALTO AC-20 .....	126
	CURVAS MARSHALL MINA RAMIREZ .....	135
	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA MINA RAMÍREZ .....	141
	CURVAS MARSHALL MINA TAHUANDO.....	147
	CURVAS MARSHALL COMPROBACIÓN MINA TAHUANDO.....	153
	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO MINA RAMÍREZ .....	166
	MÓDULOS DE RIGIDEZ CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO MINA RAMIREZ....	168
	CURVAS MARSHALL CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO MINA TAHUANDO...	175
	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO MINA TAHUANDO.....	179
	MÓDULOS DE RIGIDEZ CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO MINA TAHUANDO	181
	ANEXO 3.....	188

ESPECCIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES .....	188
(MOP-001-F2002 TOMO II) .....	188

# **1 CAPITULO I.**

## **1.1 Antecedentes**

En la ciudad de Ibarra se puede observar el deterioro de las principales vías de acceso y avenidas urbanas, debido a que en la construcción de las carreteras se utiliza mezclas asfálticas convencionales, y a la falta de investigación en las propiedades de los materiales pétreos utilizados en la mezcla asfáltica e investigaciones adecuadas que mejoren las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas.

Otra de las causas del deterioro existente es el aumento poblacional que influye directamente con el aumento del parque automotor, los pesos de los vehículos, provocan una mayor exigencia al pavimento por lo tanto los materiales pétreos y el asfalto que se tienen que utilizar en la construcción de estos pavimentos son también de mayor exigencia.

Los agregados pétreos es uno de los insumos principales para la fabricación del concreto asfáltico y por ello las metodologías de diseño de pavimento han ido cambiando y se han vuelto más exigente; evolucionando y requiriendo mayor calidad de los materiales, en las tecnología actuales como el superpave , juega un papel importante el estudio de las características físico mecánicas de los agregados que forman parte de la mezcla asfáltica, las técnicas actuales que se está utilizando en países desarrollados.

Unos de los ensayos que se ha venido utilizando para el diseño y verificar la calidad de la mezcla asfáltica es el ensayo Marshall, pero desde hace varios años se empieza a tomar otros criterios para el diseño de pavimentos como el superpave, Es así, que en la actualidad, se han llevado a cabo diversos estudios, con el objetivo de obtener dichas propiedades; estudios que incorporan al comportamiento acoplándose lo mejor posible a los solicitaciones a la que estará sometido el material en campo. Estas metodologías actuales de estudio se basan en el comportamiento resiliente de los materiales, es decir, al comportamiento bajo carga cíclica y dinámica.

El Módulo Resiliente es un parámetro que se suele utilizar para comprobar el estado de un material empleado en una capa de pavimento. Nos da una idea de la calidad de la capa y de la durabilidad, ya que se obtiene al aplicar cargas cíclicas a las probetas,

lo cual origina un estado tensional similar al que tendrá el pavimento en servicio. Es un parámetro importante en los estudios de deformación permanente y fatiga, y nos da una idea de la vida útil del pavimento

Los datos obtenidos de Módulo Resiliente se emplean para evaluar la calidad relativa de los materiales y obtener datos para el diseño, evaluación y análisis de pavimentos. El método de laboratorio que se utilizara para obtener los valores del Módulo Resiliente se basa en la aplicación del ensayo de tracción indirecta con carga repetida.

La obtención del Módulo Resiliente es necesario contar con equipos capaces de producir cargas cíclicas en las probetas; capaces de controlar el estado de los esfuerzos en la probeta, además de controlar el tiempo, la magnitud y aplicación de las cargas cíclicas. Estos equipos no son muy usuales, por su elevado costo, por lo que la obtención del Módulo Resiliente, se convierte en un parámetro difícil de obtener, no obstante la gran importancia que significa la medición de este dato, en la caracterización de Mezclas Asfálticas.

Los ensayos lo realizaremos en los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, es importante saber interpretar y analizar los resultados de dichos ensayos, y tener la certeza de que estos datos nos darán datos importantes en el comportamiento de la mezcla.

En el presente trabajos trataremos de analizar la correlación que existe entre la estabilidad Marshall y el Módulo de Rigidez de la mezcla asfáltica fabricada con agregados de las Minas de La Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra.

Para poder realizar las pruebas Marshall y el Módulo de Rigidez, es necesario caracterizar los materiales a utilizar, (agregado pétreo y asfaltos empleados) haciendo las pruebas necesarias para tener la certeza de que cumplan con lo establecido en las normas MTOP. Además será necesario hacer el diseño de Mezcla, lo cual lo realizaremos mediante el Método Marshall de diseño de mezclas. Todo lo anterior para la fabricación de probetas.

Una vez elaboradas las probetas obtendremos las propiedades geométricas, así como las densidades, relación de vacío, etc., para hacer un estudio detallado de estos parámetros con respecto al Módulo Resiliente, es decir, poder hacer una reevaluación

y determinar las características más importantes que hacen variar al Módulo Resiliente

Cabe indicar que para este estudio se ha realizado un estudio de las minas que están en producción y abastecimiento para la fabricación de carpeta asfáltica, de las obras del Cantón Ibarra.

Las Canteras y minas que se investigaron fueron Cantera El Rey cerrada por parte del ministerio del ambiente, Mina la Cantarilla dejó de producir, Mina Tahuando y Ramírez de las cuales se escogió las dos ultima.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

En Ecuador el pavimento más utilizado es la mezcla asfáltica en caliente que es la mezcla de agregados pétreos y cemento asfáltico calentados a una temperatura adecuada para su mezcla y colocación siguiendo las especificaciones del MTOP, para por lo que para su diseño se utiliza el método Marshall, al igual que para el control de calidad de las mezclas asfálticas en fiscalizaciones se utiliza dicho método, Actualmente la colocación de la mezcla asfáltica ha ocasionado problemas para la obtención de las propiedades mecánicas para la cual la mezcla fue diseñada, ya que no se puede controlar la temperatura de colocación en obra, debido a que nuestro país no tiene estaciones climáticas marcadas. En la actualidad los países desarrollados utilizan otros métodos para el diseño de mezclas como es el SUPERPAVE, en donde uno de los parámetros para su diseño es el Modulo de Rigidez, para la obtención de este parámetro se requiere un equipo de laboratorio especial que en nuestro país lo tienen implementado pocas instituciones como las universidades, para ayudar a esta transición y tener datos estadísticos la presente tesis tiene por objeto establecer una correlación entre la estabilidad, que proporciona el método Marshall y el módulo de Rigidez que obtenemos del ensayo del mismo nombre.

De encontrar correlación entre la estabilidad y el módulo de rigidez encontrar la ecuación de tendencia para poder relacionar un valor de estabilidad y encontrar su módulo de rigidez

Con esta correlación se pretende tener valores de módulo de rigidez en base a valores de estabilidad y viceversa.

Los materiales pétreos que se utilizaran para estos ensayos provienen de la mina Tahuando y Ramírez del Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. y es asfalto será de la refinería de Esmeraldas. Al final se analizaran los resultados de las combinaciones planteadas, además esta investigación ayudaría a las empresas dedicadas a la producción de mezclas a que evalúan las ventajas y desventajas de trabajar con los agregados de las Minas Tahuando y Ramírez.

### **1.3 Marco Teórico**

#### **1.3.1 Mezclas asfálticas en caliente**

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas: Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Las mezclas asfálticas, también llamados aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste.se fabrican en planta fijas o móviles

Las mezclas asfálticas son utilizadas en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos de naves industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados y ligeros

Las mezclas asfálticas generalmente están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los materiales mencionados son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la baja calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en el costo del proyecto.

Las mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a diferentes parámetros<sup>2</sup>, entre ellos:

**a. Por Fracciones del agregado pétreo en la mezcla**

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

**b. Temperatura de la mezcla en la puesta en obra**

- Mezclas asfálticas en caliente:

Fabricadas con asfaltos a temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, de acuerdo la viscosidad del ligante, los agregados también son calentados, para que el asfalto no se enfríe al mezclarse con los agregados. La colocación en obra se realiza a temperaturas superiores a la zona, para una fácil trabajabilidad de estos materiales y pueda extenderse y compactarse con facilidad.

- Mezclas asfálticas en frío:

El ligante utilizado es una emulsión asfáltica (aunque en algunos lugares se usan los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

**c. Proporción de vacíos en la mezcla asfáltica**

Este aspecto es de importancia fundamental para que no aparezcan deformaciones plásticas con el paso de las cargas y por las variaciones de temperatura.

- Mezclas cerradas o densas: Con una proporción de vacíos no mayor al 6 %.
- Mezclas semi-cerradas o semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10 %.
- Mezclas abiertas: Con una proporción de vacíos mayor de 12 %.
- Mezclas porosas o drenantes: Con una proporción de vacíos superior al 20 %.

**d. Por el tamaño máximo del agregado pétreo**

---

<sup>2</sup> Alejandro padilla Rodríguez ,Capítulo 3 Mezclas asfálticas, página 44

- Mezclas gruesas: el tamaño máximo del árido es mayor a 10 mm.
- Mezclas finas: son microaglomerados o morteros asfálticos; éstas son mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que se extiende la mezcla (del doble al triple del tamaño máximo)

**e. Por la estructura del agregado pétreo**

- Mezclas con Esqueleto Mineral:  
Provistas de un esqueleto mineral fuerte, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- Mezclas sin Esqueleto Mineral:  
No poseen un esqueleto mineral duro, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

**f. Por granulometría**

- Mezclas Continuas: Poseen una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el análisis granulométrico.
- Mezclas Discontinuas: son aquellas cuyos materiales son la combinación de un ligante, áridos que presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada

**1.3.2 Diseño de Mezclas asfálticas en caliente**

Es una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, al asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado.

El principal objetivo del diseño mezclas de pavimento flexible, es determinar una combinación y graduación económica de asfalto y el esqueleto pétreo que cumplan

con las especificaciones del MTOP y del proyecto mismo, y fabricar una mezcla que cumpla con:

- cantidad óptima de asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Estabilidad que cumpla con las demandas de tránsito existente y futuro produciendo deformaciones o desplazamientos que estén dentro de la tolerancia.
- Buena trabajabilidad para evitar la segregación de los elementos al momento de colocación en obra.
- un porcentaje de vacíos alto, para tener una ligera holgura en la cantidad de compactación adicional que se tendrá por el peso del paso los vehículos y no producir el fenómeno de exudación

Un diseño de mezcla óptimo, es aquel que representa una economía y una garantía en su vida útil cumpliendo los criterios mencionados anteriormente.

Existen varios métodos de diseño utilizados que han ido evolucionando en el tiempo, para determinar las proporciones de agregado y asfalto en una mezcla asfáltica. Los más conocidos son:

#### 1.3.2.1 **The Hubbard-Field (1920's)**

Este método de diseño de mezclas asfálticas fue uno de los primero en evaluar contenidos de vacíos en el agregado mineral y en la mezcla asfáltica; usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación, funciono adecuadamente para evaluar mezclas asfálticas con agregado pétreo pequeño o granulometrías finas y no para mezclas con agregados de mayor tamaño.

#### 1.3.2.2 **Método Marshall (1930's)**

Los conceptos básicos del método de diseño Marshall<sup>3</sup> para la dosificación de mezclas asfálticas en caliente "fueron formulados inicialmente por Bruce Marshall", ingeniero encargado del control de calidad de las mezclas asfálticas del departamento de carreteras del estado de Mississippi, la formulación inicial fue mejorada y

---

<sup>3</sup> Arenas Lozano, Diego L. En, "Teoría de los pavimentos, Parte 1.", Cali.

completados más tarde por el cuerpo de ingenieros de los EE.UU. a través de extensas investigaciones y estudios de correlación, "añadiendo ciertas características de procedimientos del ensayo y desarrollando criterios de diseño para las mezclas.

El ensayo Marshall solo es aplicable para mezclas en caliente, utilizando agregados cuyo tamaño máximo sea inferior o igual a 25mm (1pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos. Se deben utilizar probetas  $64 \times 102$  mm de diámetro. El objetivo principal del método es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación "de agregados de composición y granulometría determinadas", utilizando un número determinado de probetas de diferentes dosificaciones de agregado - asfalto.

Este método analiza la estabilidad, fluencia, densidad y vacíos. El experimento puede emplearse tanto para el diseño en laboratorio como en el campo para el control de calidad de la mezcla asfáltica.

Determina el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla convencional designada como "MC". Se dosifican cinco mezclas con porcentajes de asfalto crecientes, modificando en igual proporción los áridos de la mezcla, de manera que permanezca constante

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

- Los agregados pétreos a ser empleados (agregado pétreo y ligante asfáltico) deberán cumplir con las normas establecidas en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP- 001- F 2002, al igual que la combinación de agregados.
- Caracterización de los materiales para determinar las densidades reales secas de todos los agregados y del asfalto para su empleo en el análisis de huecos de la mezcla.

Las mezclas elaboradas en laboratorio son analizadas para determinar su desempeño en la estructura del pavimento, el método Marshall se basa en el análisis de cuatro

características de la mezcla lo que influye en la respuesta de la mezcla durante su vida útil (ver gráfico 1.1), estas características son:

**Densidad.-** Está dada como su peso unitario, si la densidad es alta, el pavimento tendrá una mayor vida útil.

En el laboratorio las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) o libras por pie cúbico ( $\text{Lb/ft}^3$ ).

Para calcular la densidad se multiplica la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1000\text{Kg/m}^3$  ó  $62.416\text{Lb/ft}^3$ ). La densidad patrón es la obtenida en el laboratorio, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no adecuado. Las especificaciones indican que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto sucede porque la compactación in situ, obtiene densidades diferentes a las densidades que se obtienen en el laboratorio ya que son métodos normalizados de compactación.

**Vacíos de aire.-** definidos como espacios pequeños de aire en los agregados revestidos de asfalto en la mezcla final compactada. Para las mezclas densamente graduadas es necesario que contengan cierto porcentaje de vacíos para lograr una compactación adicional al momento de entrar en servicio. Dependiendo del diseño específico el porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5 por ciento.

La vida útil de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La base de este concepto es que a menor cantidad de vacíos, menor permeabilidad de la mezcla y a mayor cantidad de vacíos mayor será el deterioro pues a través de estos vacíos el agua y el aire se introducirán. Y si el contenido de vacíos es bajo se producirá que el asfalto salga a la superficie produciéndose el fenómeno de exudación de asfalto.

Por lo tanto la densidad y el contenido de vacíos están relacionados directamente. Así a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y viceversa. Para una mezcla

aceptable las especificaciones indican que la densidad permita acomodar el menor porcentaje de vacíos que deberá ser menor al 8 %.

**Vacíos en el agregado mineral (VAM).** Son espacios de aire existentes entre las partículas del agregado mineral en una mezcla compactada, y los espacios que están llenos de asfalto.

En estos espacios se acomoda el volumen efectivo de asfalto menos el porcentaje que se pierde, por absorción en el agregado. A mayor VMA mayor espacio disponible para el recubrimiento del asfalto. Los valores mínimos para el VAM recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Si la película de asfalto que recubre el agregado es más gruesa mayor será la durabilidad de la mezcla. El VAM debe tener valores mínimos para un espesor recomendable del recubrimiento en una mezcla durable. El aumento en la densidad por graduación del agregado, en donde se obtengan valores del VAM por debajo del mínimo especificado, resulta en recubrimientos delgados de asfalto como consecuencia se obtendrán mezclas secas de corta vida útil. No es recomendable disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto.

**Contenido de asfalto.** La cantidad de asfalto en una mezcla es de gran importancia por lo que se determina en laboratorio, y para control en la obra. Este contenido de asfalto se determina de acuerdo a los criterios del método de diseño y están en función de la granulometría y absorción del material pétreo.

Si la graduación de la mezcla contiene más finos tendrá una mayor área total superficial por lo tanto tendrá mayor cantidad de asfalto requerida para cubrir las caras de todas las partículas. Si la mezcla contiene agregado grueso, menor será el área total y menor cantidad de asfalto.

A mayor relleno mineral este puede absorber gran contenido de asfalto y dar como resultado una mezcla inestable y seca .y a poco relleno mineral resulta en una mezcla húmeda.

Las variaciones en el contenido de relleno mineral, produce cambios en las propiedades de la mezcla, variando de seca a húmeda.

Existen dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido, estos son:

- **El contenido total de asfalto.-** cantidad de asfalto que debe ser incluido en la mezcla para tener las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto
- **El contenido efectivo de asfalto** es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, constituye la cantidad de asfalto de recubrimiento efectivo sobre las caras de los agregados. Y se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

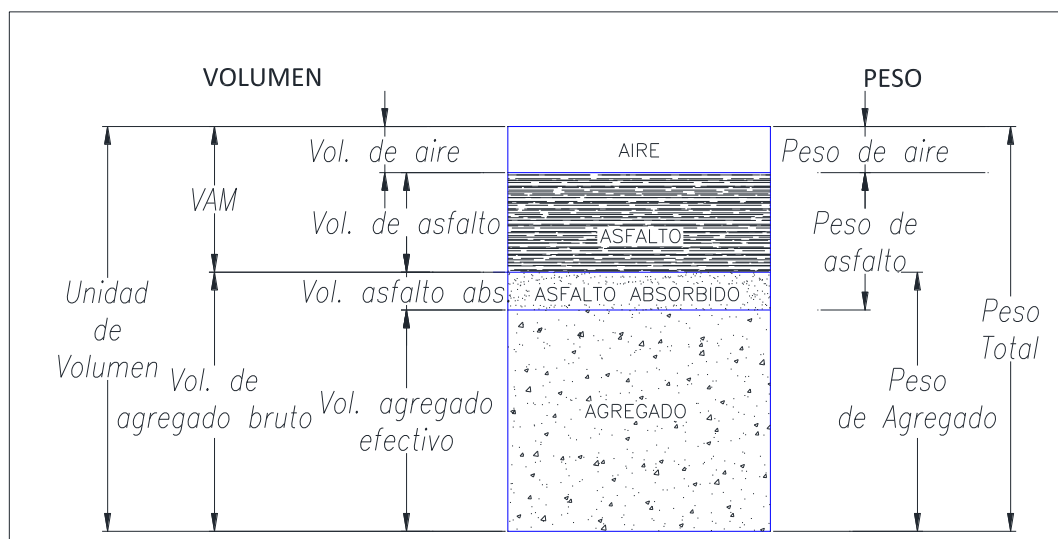


Gráfico No. 1.1: Gráfico de Volúmenes en una Briqueta Compactada de Mezcla Asfáltica

### 1.3.2.3 Método Hveen (1930's)

Método de diseño desarrollado al mismo tiempo que el método Marshall. El método abarca la determinación de un contenido aproximado de asfalto por medio del ensayo Equivalente Centrifugo de Kerosene, y luego el sometimiento de probetas con este contenido de asfalto, y con contenidos mayores y menores, a un ensayo de

estabilidad. También se efectúan un ensayo de expansión sobre una probeta que ha sido expuesta al 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.

#### **1.3.2.4 Método de la Western Association of State Highway on Transportation Officials (1984)**

Este método de diseño de mezclas recomienda cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas asfálticas para aumentar la resistencia a las deformaciones plásticas.

#### **1.3.2.5 Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System (1987)**

Ante la necesidad de realizar cambios en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, después de dos años, se desarrolló un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, donde incluía un nuevo método 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. Con NCHRP

#### **1.3.2.6 Método Superpave (1993)**

El resultado final del SHRP fue el desarrollo de SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements), un sistema que incluye nuevas especificaciones para los materiales (asfaltos y agregados), como así también nuevos ensayos de laboratorio y un renovado método de diseño para las mezclas asfálticas en caliente.

Para el caso de los asfaltos, SUPERPAVE establece nuevos ensayos orientados a medir las propiedades reológicas de éstos y de relacionarlas con el desempeño que tienen frente a los tres tipos de fallas más clásicas que ocurren en los pavimentos durante su vida útil (ahuellamiento, agrietamiento por fatiga, y agrietamiento térmico). Además, SUPERPAVE define para los cementos asfálticos tradicionales una nueva clasificación por Grado de Desempeño, también denominada Clasificación PG (Performing Grading).

El método SUPERPAVE entrega:

- Nuevas especificaciones para asfaltos
- Nuevas especificaciones para agregados
- Nuevos métodos de diseño de mezclas asfálticas
- Nuevos modelos de predicción del comportamiento

Este análisis requiere la utilización de sofisticados ensayos, gran parte de estos en perfeccionamiento. El objetivo de estos niveles es determinar con precisión el comportamiento a futuro de la estructura del pavimento ante variables como el clima y el tráfico.

El método SUPERPAVE está compuesto por tres niveles. Ya que el análisis y el diseño de una mezcla en el sistema SUPERPAVE son complejos, y el uso de esta metodología depende del nivel de tránsito y de la función de la mezcla en el pavimento. Los niveles que se consideran para el análisis y posterior diseño de las mezclas asfálticas en caliente mediante el SUPERPAVE son:

#### 1 Primer nivel

En donde se requiere el diseño volumétrico, de los siguientes aspectos:

- Selección del tipo de asfalto
- Selección de las propiedades de los agregados pétreos
- Preparación de especímenes de ensayo
- Selección del contenido de asfalto

Esta actividad se fundamenta en la estimación de las propiedades volumétricas de la mezcla como son contenido de vacíos de la mezcla ( $V_a$ ), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA).

#### 1) Nivel intermedio

Emplea como inicio el análisis volumétrico del nivel 1, Los ensayos del nivel intermedio de análisis son:

- Ensayo de corte (SST, SUPERPAVE shear test)
- Ensayo de tensión indirecta (IDT, indirect tensile test)

Estos ensayos se realizan utilizando equipos IDT y SST, para determinar una serie de predicciones del comportamiento de la mezcla.

#### 2) Nivel avanzado

Una vez realizado los pasos anteriores, se realizan pruebas adicionales IDT y SST, a un rango de temperaturas. Para un completo análisis de la mezcla se utiliza especímenes confinados SST que ofrecen una mayor confiabilidad del nivel de predicción del comportamiento de la mezcla. Con la metodología SUPERPAVE, los resultados de los ensayos de comportamiento de las mezclas asfálticas permiten estimar con precisión el comportamiento del pavimento en su vida útil, en términos de ejes equivalentes (ESALs). También, permite estimar la cantidad de ejes equivalentes para alcanzar cierto nivel de resistencia al desplazamiento, a grietas por bajas temperaturas y grietas por fatiga.

### 1.3.3 Ensayos Dinámicos

Estos ensayos evalúan las características dinámicas de las mezclas, su estabilidad remanente y su comportamiento a la tracción indirecta como es el módulo de rigidez para tener una idea del comportamiento del sistema ante las cargas repetitivas.

Las fallas en el pavimento son de tres tipos:

- Ahullamiento

- Agrietamiento
- fatiga

Se puede establecer que el ahuellamiento y el agrietamiento térmico están en función de una selección correcta de materiales y de los procedimientos de diseño de la mezcla, pero el parámetro crítico para el diseño estructural es la deformación horizontal por tracción que está asociada a la fatiga, así a menor deformación mayor vida útil de la mezcla

#### 1.3.3.1 Módulo de Rigidez

Es el valor absoluto del módulo complejo, también conocido como el valor del módulo secante, es la relación entre el esfuerzo y la deformación en un tiempo de carga "t", de un rial donde se aplica una carga con una tasa de deformación controlada así para bajas temperaturas donde se comporta elásticamente, el Módulo Complejo es igual al Módulo de Rigidez la medición del módulo de rigidez<sup>4</sup>.

La medición del módulo de rigidez se realiza mediante equipos especializados las probetas son elaboradas en laboratorio o con núcleos extraídos de las vías existentes, la norma que rige este ensayo es el método EN 12697-26: 2004 Anexo C, "Indirect tension in cylindrical specimens Test", del *Comité Europeo de Normalización 2005*, para lo cual se fabrica una probeta cilíndrica normada cuyas dimensiones son 63.5 mm de altura, y diámetro de 101.6 mm a cuya probeta se aplica un pulso de carga haversine sobre la superficie lateral, midiendo la deformación axial en cada ciclo de carga a una temperatura de 20°C esto se realiza en la maquina COOPER TECHNOLOGY (CRT-HYD25-II).

**El pulso haversine está pensado para 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**

---

<sup>4</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

**del pulso de carga depende de la velocidad del camión y de la profundidad bajo la superficie del pavimento.**

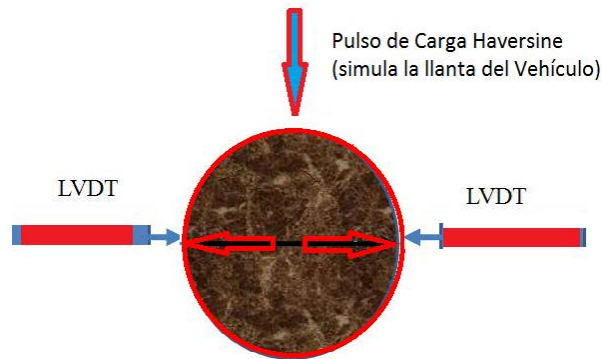


Gráfico No. 1.2: Ensayo de módulo por carga indirecta

El módulo está relacionado al fisuramiento por fatiga, a la deformación permanente (Ahuellamiento) y a la capacidad de propagación de las cargas. Además, depende básicamente de la temperatura y de la velocidad a la cual se aplica el esfuerzo.

El factor que más influye en el módulo dinámico a bajas temperaturas y en cortos tiempos de aplicación de la carga, es el asfalto; pero por otro lado, para altas temperaturas y largos tiempos de aplicación de carga son:

- La forma del agregado.
- La graduación del material.
- El grado de compactación de la mezcla.

El módulo dinámico es un dato muy importante, que puede emplearse tanto para el diseño de la mezcla asfáltica para pavimento como para el diseño del espesor de la capa de pavimento asfáltico.

Una adecuada determinación del módulo en pavimentos asfálticos, es de gran importancia

Ya que este resultado se utiliza como variable de entrada en el diseño estructural de pavimentos asfálticos, actualmente en Ecuador no existe un conocimiento extenso en la determinación del módulo en las mezclas asfálticas y como este valor se puede correlacionar con la estabilidad marshall que es método más utilizado en nuestro país.

Tradicionalmente se ha utilizado como variable de entrada en el diseño de pavimentos asfálticos el módulo resiliente de las capas granulares el cual se obtiene de correlaciones con el valor de la razón de soporte californiana (CBR), estas correlaciones y el desarrollo de la tecnología y los nuevos equipos para medición en las mezclas asfálticas ha conducido a que se determine el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica compactada.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

El objetivo del presente trabajo es determinar una correlación entre la estabilidad Marshall y el módulo de rigidez de las mezclas asfálticas en caliente, utilizando material pétreo de las minas Tahuando y Ramírez del cantón Ibarra, provincia de Imbabura, para obtener las propiedades fundamentales de las mezclas y no depender únicamente del Método Marshall que es empírico.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- a. Obtener fuentes de agregados pétreos calificadas para el diseño y fabricación de las mezclas asfálticas en caliente y con stock suficiente para abastecer los proyectos del Cantón Ibarra, como son la Mina Ramírez y Tahuando.
- b. Realizar, analizar y ensayar las muestras de agregados pétreos de las minas Tahuando y Ramírez y el ligante asfáltico de la refinería de Esmeraldas.
- c. Determinar las proporciones considerando tres agregados pétreos a utilizar en el método Marshall y que constituirán la combinación granulométrica; para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente, y verificar que la curva granulométrica entre en las especificaciones del MTOP.
- d. Realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente con el método Marshall con agregados de la mina Ramírez, para los 5 tipos de combinaciones establecidas en el diseño
- e. Realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente con el método Marshall con agregados de la mina Tahuando, para los 5 tipos de combinaciones establecidas en el diseño

- f. Ensayar las 15 briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaborada con material pétreo de la mina Ramírez y las 15 briquetas de mezcla asfáltica en caliente elaborada con material pétreo de la mina Tahuando por el método Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto.
- g. Se obtendrán resultados de estabilidad y módulo de rigidez de las briquetas que contienen mezclas asfálticas en caliente preparadas con los agregados de las minas se obtendrá 5 datos del ensayo de módulo de Rigidez y 5 datos de estabilidad del ensayo Marshall.
- h. Con estos datos se determinará la correlación entre la estabilidad y el módulo de rigidez parámetros que tratan de caracterizar el comportamiento a la deformación permanente

## **1.5 Hipótesis**

Podría existir una correlación entre la estabilidad Marshall y módulo de rigidez utilizando materiales de las minas del Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura.

De esta forma, en el caso del diseño de pavimentos asfálticos en caliente con los resultados de estabilidad del ensayo Marshall se podría predecir a que valor de módulo de rigidez corresponde o viceversa, para ir emigrando a los nuevos métodos de diseño como el superpave.

## **1.6 Análisis de Canteras o Fuentes de Materiales Pétreos para el diseño y fabricación de mezclas asfálticas en caliente de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra.**

Los materiales pétreos a utilizarse son de las minas Ramírez y Tahuando de la provincia de Imbabura, Cantón Ibarra, los agregados son de buena calidad y cumplen las especificaciones del MTOP a continuación se presenta un resumen de su ubicación y características.

### **1.6.1 Mina Ramírez**

#### **1.6.1.1 Ubicación**

Localizada al noreste de la Ciudad de Ibarra en el sector de Ambuqui, Obtienen el material del río Chota, el acceso a esta mina está al lado derecho de la panamericana en dirección Ibarra-Chota, la mina se encuentra en proceso de explotación, UTM (SAM56) aproximados 832 753 E – 0 049 808 N, Zona 18, Ver fotografía 1.1



Fotografía No.1.1: Ubicación de Mina Ramírez (Fuente google Earth)

#### 1.6.1.2 Descripción

Geológicamente corresponde a un depósito aluvial, constituido por cantos rodados, gravas de diferente composición litológica y matriz arenosa, productos de la erosión de las formaciones existentes aguas arriba, la potencia se estima mayor a 5.0 m.

#### 1.6.1.3 Volumen

Los materiales de estos depósitos aluviales, de acuerdo al reconocimiento geológico, presentan condiciones favorables para su explotación como materiales de construcción para la vía, el volumen se considera limitado.

El volumen de explotación es superior a los 200 000 m<sup>3</sup> y se recupera con el acarreo y crecidas del río.

#### 1.6.1.4 Carpeta de Rodadura

Referencia.- Sección 405. Capas de Rodadura. Manual MTOP-001-F-2002

La capa de rodadura, será de hormigón asfáltico tipo B, mezclado en planta y en caliente, con tamaño nominal de agregado igual a  $\frac{3}{4}$ ".

Los agregados serán triturados por lo menos el 50%, y deben tener un desgaste máximo de 40% de acuerdo al ensayo de los Ángeles y no arrojará una pérdida de masa mayor al 12% al ensayo de Sulfato de Sodio y la porción que pase que pase el Tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor a 4.

El material cumple las exigencias de la especificación, señaladas en la Sección 811 Agregados para hormigón asfáltico, exceptuando para el ensayo de Equivalente de arena, que señala un valor mínimo de 50%, para la Mina Ramírez, recomendándose por lo tanto el lavado previo de las partículas finas obtenido de los estudios de la carretera - Otavalo Cajas<sup>5</sup>.

## 1.6.2 Mina Tahuando

### 1.6.2.1 Ubicación

La zona de la Mina Tahuando está ubicada al Noroeste de la ciudad de Ibarra, en la parte alta de la confluencia de los ríos Tahuando y Ambi, aproximadamente en las coordenadas UTM (SAM 56) 818 650 E / 0 044 100 N.



Fotografía No.1.2: Ubicación de Mina Tahuando (Fuente google Earth)

<sup>5</sup> Datos obtenidos del estudio de la carretera Otavalo – Cajas, de la Empresa CAMINOSCA

#### 1.6.2.2 Descripción

Geológicamente corresponde a depósitos de avalancha volcánica, constituida por bloques de lavas andesíticas y basálticas, cantos, gravas y finos, depósitos piroclásticos, recubiertos por depósitos de suelo residual. La potencia total del depósito es desconocida, pero se estima que sobrepasa los 50 m.

#### 1.6.2.3 Volumen

La explotación se la realizara mediante técnicas convencionales con equipo mayor o excavador. En la actualidad la mina se encuentra en explotación. Los materiales de esta mina corresponden a depósitos aluviales, necesitaran ser trituradas y cribadas. Su volumen se estima mayor a 400 000 m<sup>3</sup>

#### 1.6.2.4 Carpeta de Rodadura

Referencia.- Sección 405. Capas de Rodadura. Manual MTOP-001-F-2002

Los agregados serán triturados por lo menos el 50%, y deben tener un desgaste máximo de 40% de acuerdo al ensayo de los Ángeles y no arrojará una pérdida de masa mayor al 12% al ensayo de Sulfato de Sodio y la porción que pase que pase el Tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor a 4.

El material cumple las exigencias de la especificación, señaladas en la Sección 811 Agregados para hormigón asfáltico, datos obtenidos de los estudios de la Carretera Ibarra -Rumichaca<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Datos obtenidos del estudio de la carretera Ibarra-Rumichaca, de la Empresa CAMINOSCA

## 2 CAPÍTULO II.

### 2.1 Caracterización de los materiales

Las propiedades de los agregados es un factor importante en muchas de la elecciones de la mezcla optima por lo tanto es necesario realizar los ensayos que están normados por la American Society testing and Materials(ASTM) y/o American Association of state Highway and Transportation officials (ASSTHO ).

#### 2.1.1 Caracterización de agregado grueso

##### 2.1.1.1 Análisis granulométrico de agregado gruesos (ASTM C 136)

###### Alcance.-

El presente método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante cribado.

Algunas especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación que incluyen tanto fracciones de agregados gruesos como de agregados finos. Se incluyen las instrucciones para la determinación granulométrica de dichos agregados.

###### Resultados.-

**Localización:** Ramírez

**Norma:** ASTM C136

**Tamaño máximo nominal del agregado** 3/4 pulg.

**Tamaño máximo del agregado** 1 pulg.

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25,40	43	43	0,28	99,72
3/4"	19,00	1722	1765	11,44	88,56
1/2"	12,70	12719	14484	93,87	6,13
3/8"	9,51	843	15327	99,33	0,67
No.4	4,76	46	15373	99,63	0,37
Pasa No.4		57	57		
SUMA		15430	15430		

Tabla No.2.1: Granulometría material 3/4" (Mina Ramírez)

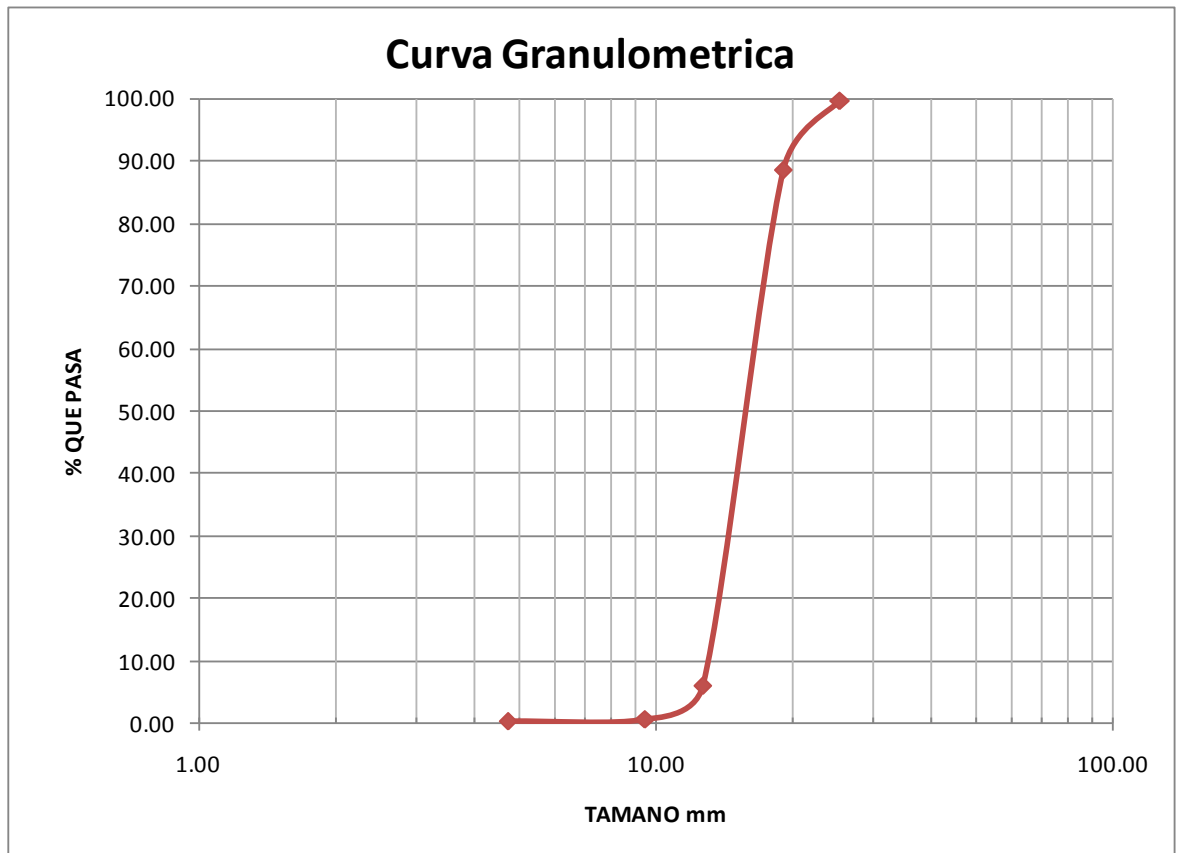


Gráfico No. 2.1: Curva granulometría material 3/4" (Mina Ramírez)

**Localización: Ramírez**

**Norma: ASTM C136**

**Tamaño máximo nominal del agregado 3/8 pulg.**

**Tamaño máximo del agregado 1/2 pulg.**

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No.4	4,76	723	723	66,88	33,12
No.8	2,36	330	1053	97,41	2,59
Pasa No.8		28	28		
SUMA		1081	1081		

Tabla No.2.2: Granulométrica material 3/8" (Mina Ramírez)

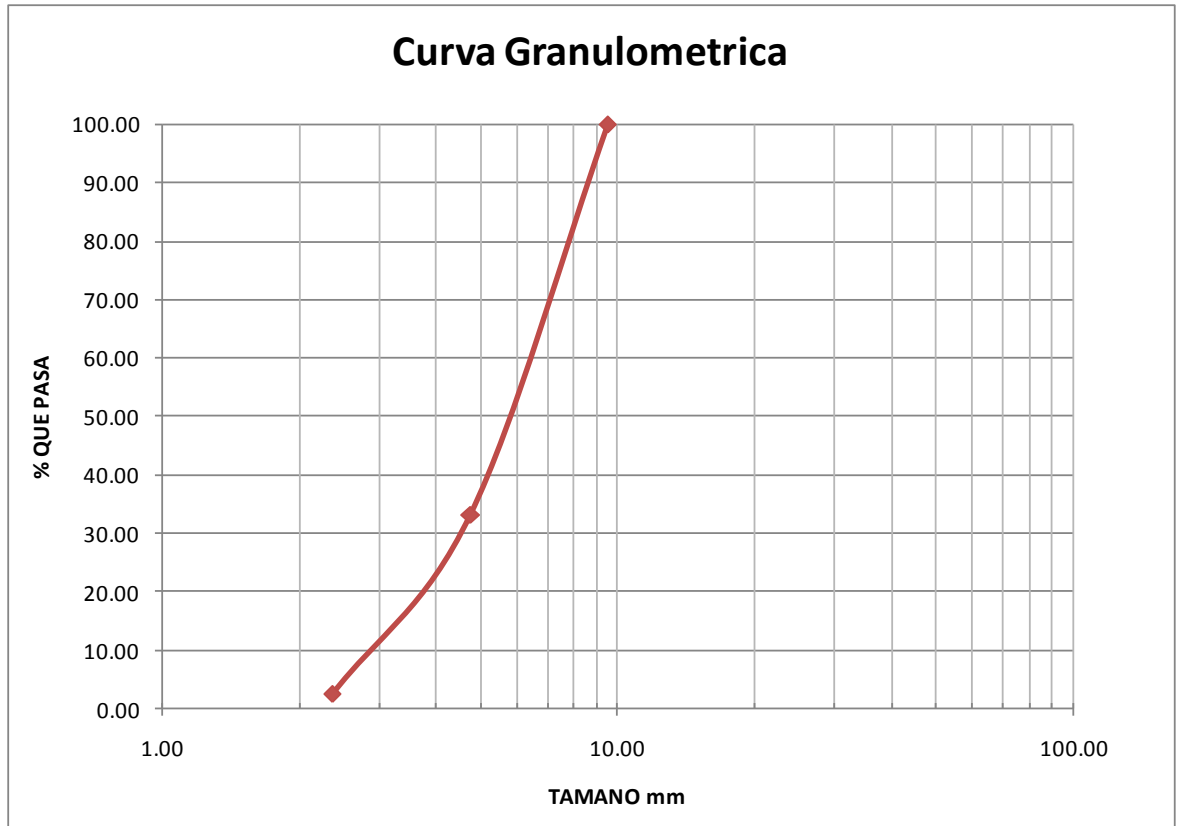


Gráfico No. 2.2: Curva granulométrica material 3/8 (Mina Ramírez)

**Localización:** Tahuando

**Norma:** ASTM C136

**Tamaño máximo nominal del agregado** 3/4 pulg.

**Tamaño máximo del agregado** 1 pulg.

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	50,80	120	120	0,53	99,47
1 1/2"	38,10	530	650	2,88	97,12
1"	25,40	5925	6575	29,18	70,82
3/4"	19,00	9787	16362	72,60	27,40
1/2"	12,70	5829	22191	98,47	1,53
3/8"	9,51	107	22298	98,94	1,06
No.4	4,76	12	22310	99,00	1,00
Pasa No.4		226	226		
SUMA		22536	22536		

Tabla No.2.3: Granulometría material 3/4" (Mina Tahuando)

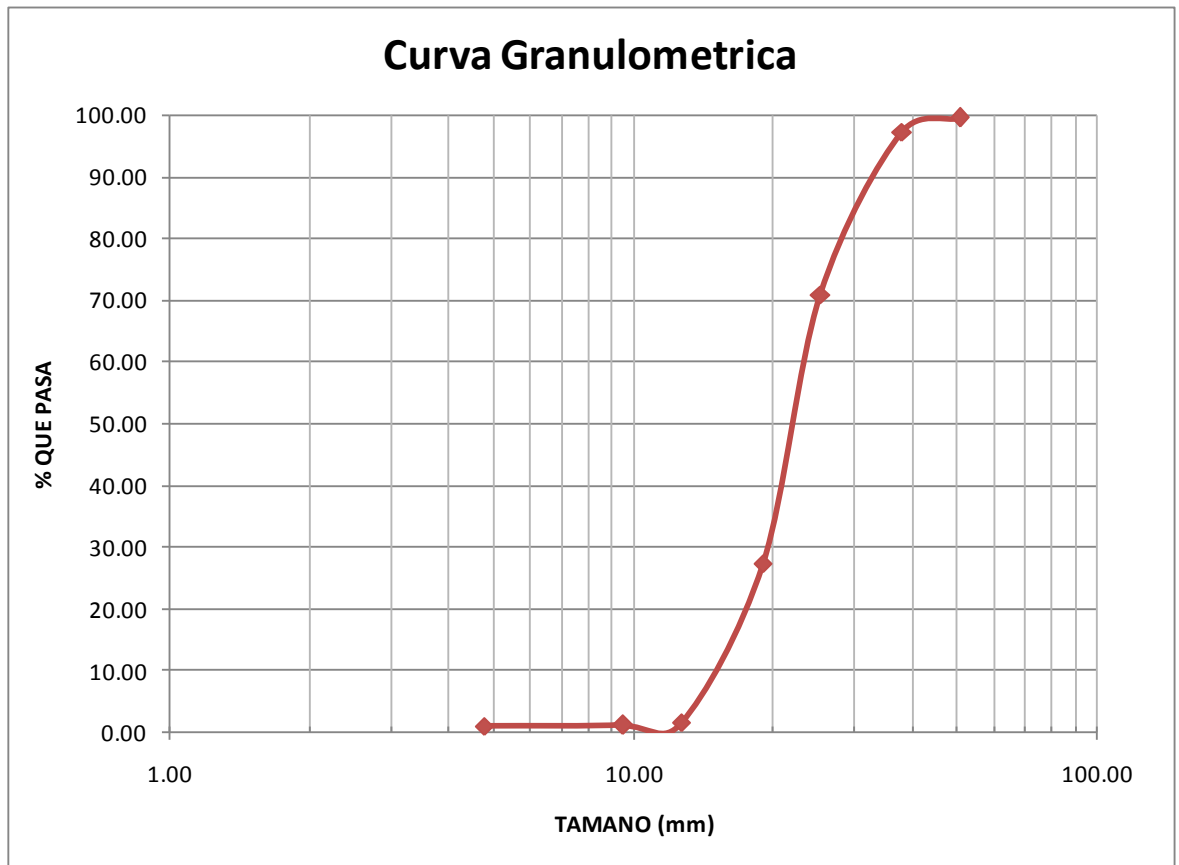


Gráfico No. 2.3: Curva granulométrica material 3/4" (Mina Tahuando)

**Localización:** Tahuando

**Norma:** ASTM C136

**Tamaño máximo nominal del agregado** 3/8 pulg.

**Tamaño máximo del agregado** 1/2 pulg.

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	2969	2969	29,31	70,69
3/8"	9,51	3065	6034	59,56	40,44
No.4	4,76	3259	9293	91,73	8,27
No.8	2,36	405	9698	95,73	4,27
Pasa No.8		433	433		
SUMA		10131	10131		

Tabla No.2.4: Granulometría material 3/8" (Mina Tahuando)

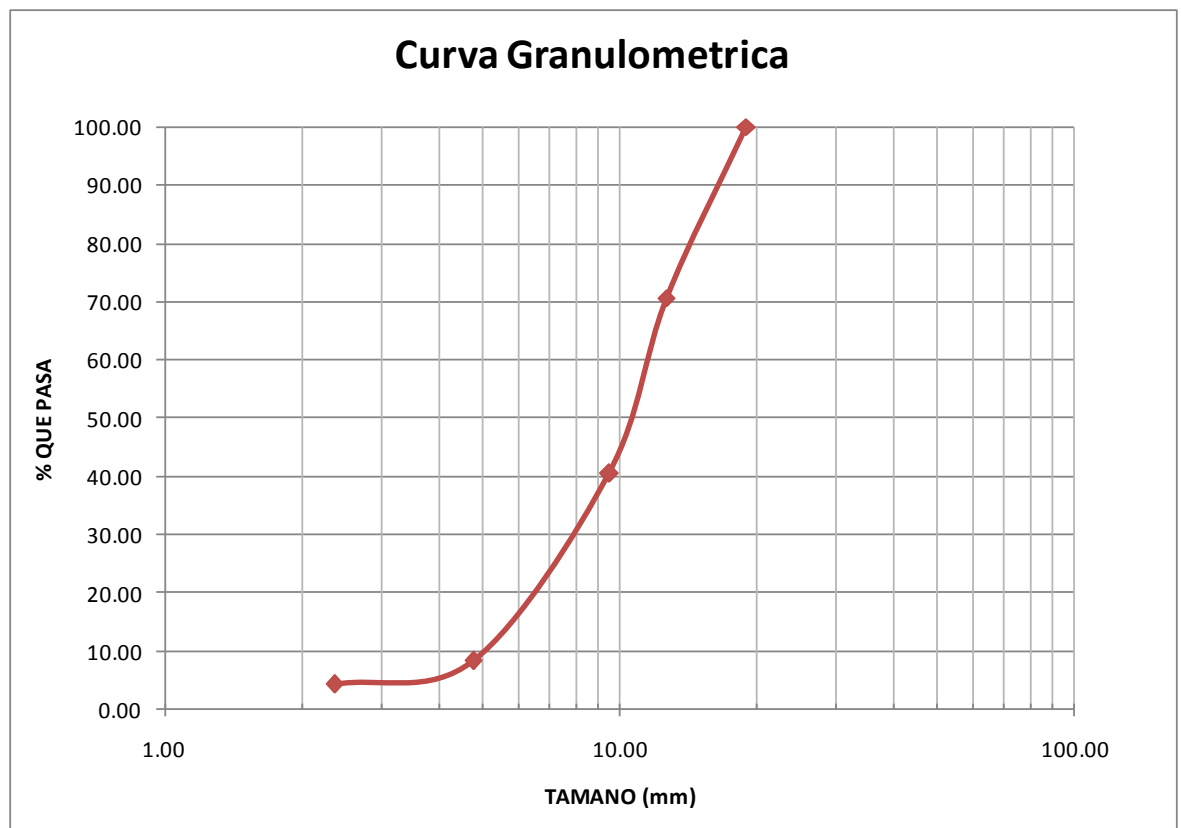


Gráfico No.2.4: Curva granulométrica material 3/8" (Mina Tahuando)

### 2.1.1.2 Ensayo de partículas fracturadas (ASTM D 5821).

**Alcance.-** Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje, en masa o en número, de una muestra de árido grueso que se compone de partículas fracturadas que satisfacen los requisitos especificados

**Resultados.-**

No. Del tamiz		% retenido parcial del agregado	Masa de partículas en cada fracción antes del ensayo	Masa de partículas fracturadas (2 caras) en cada fracción	% de partículas fracturadas en cada fracción
Pasa	Retiene				
1"	3/4"	11,16	1.520,00	1.364,6	89,78
3/4"	1/2"	82,43	1.243,00	1.104,80	88,88
1/2"	3/8"	5,46	328.00	328,60	86,02

Tabla No.2.5: Porcentaje de partículas fracturadas agregado 3/4",1/2",3/8" (Mina de Ramírez)

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 en cada fracción
Pasa	Retiene				
11/2"	1"	26,29	2.005,00	1.979,00	98,70
1"	3/4"	43,43	1.508	1.489	98,74
3/4"	1/2"	25,87	1.206	1.190,7	98,73
1/2"	3/8"	0,47	403	384	95,29

Tabla No.2.6: Porcentaje de partículas fracturadas agregado 11/2", 1", 3/4", 1/2"  
(Mina Tahuando)

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 en cada fracción
Pasa	Retiene				
3/4"	1/2"	29,31	1.216,5	1.196,6	98,36
1/2"	3/8"	30,25	474,9	461,80	97,24

Tabla No.2.7: Porcentaje de partículas fracturadas agregado 1/2", 3/8" (Mina Tahuando)

El 80% de las partículas que forman el agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas.

### 2.1.1.3 Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM C 131)

#### Alcance.-

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje de desgaste de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 1/2") y agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4"), por medio de la máquina de los Ángeles

#### Resultados.-

El tipo de abrasión que se realizara por el tipo de muestra será de tipo B. La muestra antes de ensayarla será pesada con un error de +/- de 1 g.

Masa inicial de la muestra	A=	5.001 gr.
Masa retenida en el tamiz No.12 después de 500 revoluciones	B=	3.900 gr.
Masa que pasa el tamiz No.12 (A-B)	C=	1.101 gr.
Porcentaje de Desgaste = $(C/A)*100$	D=	22 %

Tabla No.2.8: Resultado de desgaste por abrasión 3/8" (Mina Ramírez)

El tipo de abrasión que se realizara por el tipo de muestra será de tipo C. La muestra antes de ensayarla será pesada con un error de +/- de 1 g.

Masa inicial de la muestra	A=	10.010 gr.
Masa retenida en el tamiz No.12 después de 500 revoluciones	B=	6.565 gr.
Masa que pasa el tamiz No.12 (A-B)	C=	3.445 gr.
Porcentaje de Desgaste = $(C/A)*100$	D=	34 %

Tabla No.2.9: Resultado de desgaste por abrasión 3/8" (Mina Tahuando)

Tanto la mina Ramírez como la mina Tahuando cumple las especificaciones de MTOP, Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Ángeles.

#### 2.1.1.4 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C-127)

##### Alcance.-

Este ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico "bulk", lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

**Resultados.-**

Masa de la muestra seca	(A)	4.028,0 gr
Masa de la muestra saturada con superficie seca	(B)	4.102,0 gr
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca	(C)	2.534,0 gr
Gravedad específica seca (Ge)	A/B-C	2,569
Gravedad específica saturado con superficie seca (Ges)	B/B-C	2,616
Gravedad específica aparente(Gea)	A/A-C	2,696
Porcentaje de absorción (Ab)	(B-A)/A*100	1,837 %

Tabla No. 2.10: Peso específico y absorción del agregado grueso 3/4" (Mina Ramírez)

Masa de la muestra seca	(A)	2.488,0 gr
Masa de la muestra saturada con superficie seca	(B)	2.553,0 gr
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca	(C)	1.566,0 gr
Gravedad específica seca (Ge)	A/B-C	2,521
Gravedad específica saturado con superficie seca (Ges)	B/B-C	2,587
Gravedad específica aparente(Gea)	A/A-C	2,696
Porcentaje de absorción (Ab)	(B-A)/A*100	2,613 %

Tabla No. 2.11: Peso específico y absorción del agregado grueso 3/8" (Mina Ramírez)

## Mina Tahuando

Masa de la muestra seca	(A)	4.712,0 gr
Masa de la muestra saturada con superficie seca	(B)	4.814,0 gr
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca	(C)	2.924,0 gr
Gravedad específica seca (Ge)	A/B-C	2,480
Gravedad específica saturado con superficie seca (Ges)	B/B-C	2,534
Gravedad específica aparente(Gea)	A/A-C	2,621
Porcentaje de absorción (Ab)	(B-A)/A*100	2,165 %

Tabla No. 2.12: Peso específico y absorción del agregado grueso 3/4" (Mina Tahuando)

Masa de la muestra seca	(A)	4.328,0 gr
Masa de la muestra saturada con superficie seca	(B)	4.423,0 gr
Masa aparente de la muestra saturada con superficie seca	(C)	2.865,0 gr
Gravedad específica seca (Ge)	A/B-C	2,778
Gravedad específica saturada con superficie seca (Ges)	B/B-C	2,839
Gravedad específica aparente (Gea)	A/A-C	2,958
Porcentaje de absorción (Ab)	(B-A)/A*100	2,195 %

Tabla No. 2.13: Peso específico y absorción del agregado grueso 3/8" (Mina Tahuando)

## 2.1.2 Caracterización de agregado fino

### 2.1.2.1 Análisis granulométrico (ASTM C-136)

#### Alcance.-

El presente método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partículas de agregados finos y gruesos mediante cribado. Algunas especificaciones para los agregados que hacen referencia a este método contienen requerimientos de clasificación que incluyen tanto fracciones de agregados gruesos como de agregados finos. Se incluyen las instrucciones para la determinación granulométrica de dichos agregados.

En nuestro estudio los agregados pétreos deben cumplir las siguientes especificaciones:

- Análisis Granulométrico de Agregado Gruesos y Fino (ASTM C 136).
- Porcentaje de partículas fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).
- Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM C 131).
- Determinación del peso específico y absorción agregado grueso (ASTM C-127).
- Determinación del peso específico del agregado fino (ASTM C-128).
- Equivalente de arena (ASSHTO T 176).
- Partículas livianas -deletéreos (AASHTO T 112).

**Resultados.-**

**Localizacion: Ramírez**

**Norma: ASTM C136**

**Modulo de Finura**

**3,29**

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
No.4	4,76	12	12	1,69	98,31
No.8	2,36	189	201	28,31	71,69
No.16	1,18	157	358	50,42	49,58
No.30	0,60	135	493	69,44	30,56
No.50	0,30	116	609	85,77	14,23
No.100	0,15	57	666	93,80	6,20
No.200	0,07	25	691	97,32	2,68
Pasa no.200		19	19		
SUMA		710	710		

Tabla No. 2.14: Granulometría material arena (Mina Ramírez)

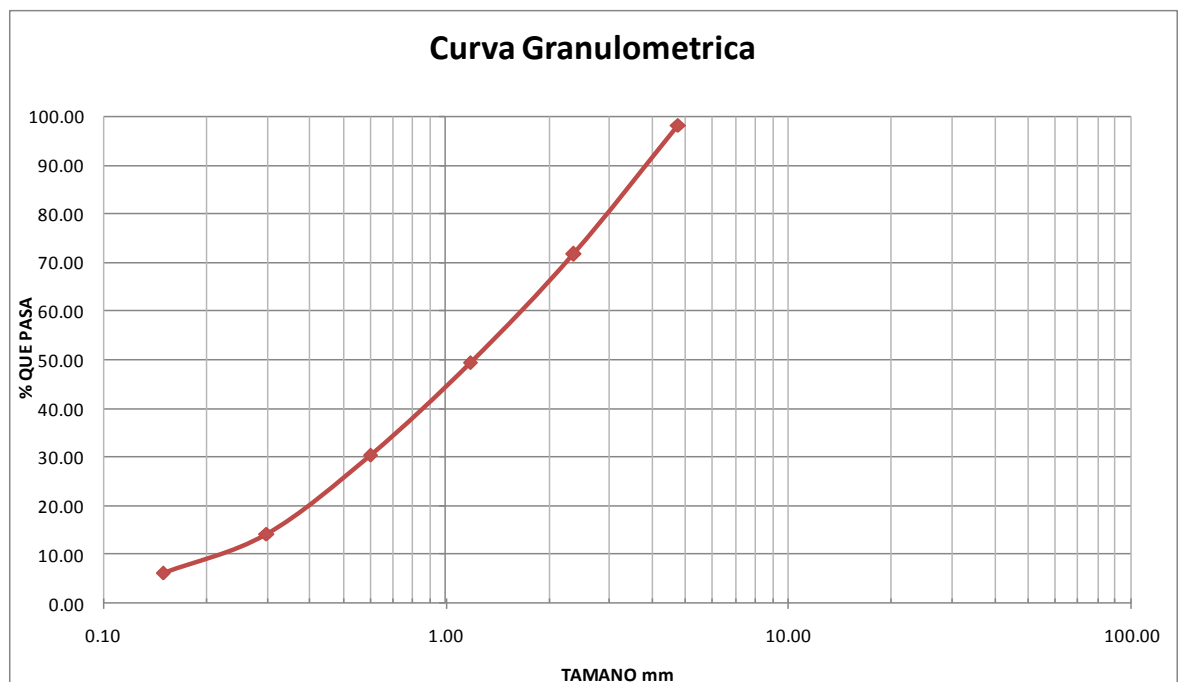


Gráfico No. 2.5: Curva granulométrica material arena (Mina Ramírez)

**Localización:** Tahuando  
**Norma:** ASTM C136  
**Modulo de Finura:** 3,46

MALLA No.	Abertura (mm)	Masa retenido parcial (gr)	Masa Retenida acumulada (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/4"	19,00	22	22	2,01	97,99
1/2"	12,70	20	42	3,83	96,17
3/8"	9,51	12	54	4,92	95,08
No.4	4,76	155	209	19,05	80,95
No.8	2,36	190	399	36,37	63,63
No.16	1,18	138	537	48,95	51,05
No.30	0,60	115	652	59,43	40,57
No.50	0,30	200	852	77,67	22,33
No.100	0,15	103	955	87,06	12,94
No.200	0,07	94	1049	95,62	4,38
Pasa no.200		48	48		
SUMA		1097	1097		

Tabla No. 2.15: Granulometría material arena (Mina Tahuando)

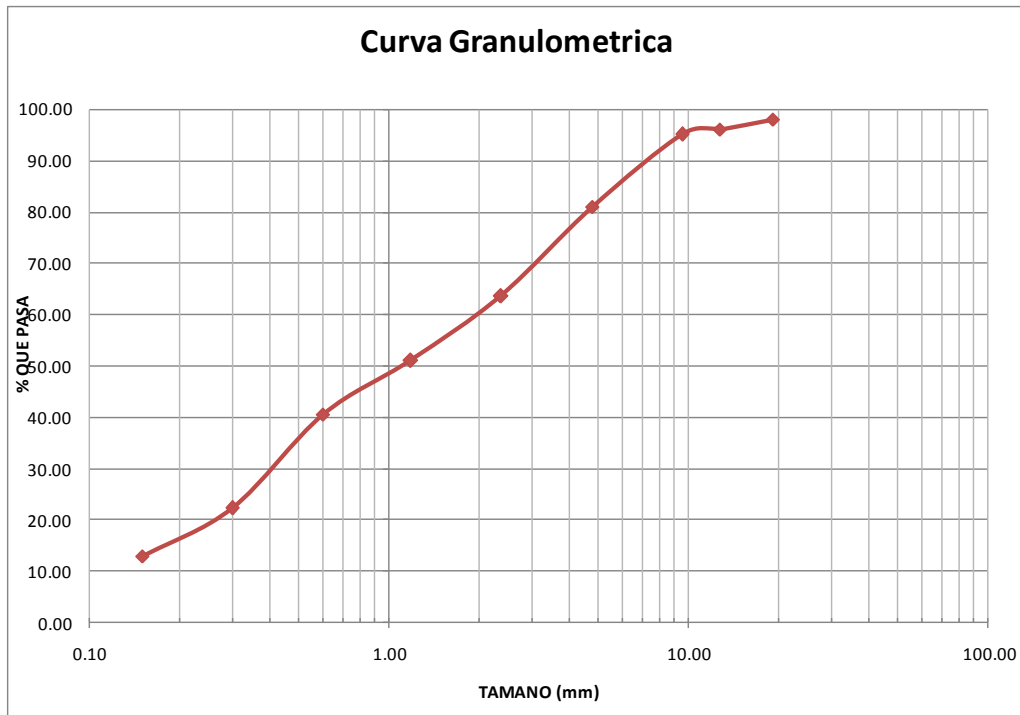


Gráfico No. 2.6: Curva granulométrica material arena (Mina Tahuando)

### 2.1.2.2 Peso específico del agregado fino (ASTM C-128)

#### Alcance.-

Esta norma describe el procedimiento de ensayo para la determinación de la gravedad específica bulk, gravedad específica aparente. Así como la absorción de una muestra de árido fino a una temperatura establecida de 23/ 23°C (73.4 / 73.4°F), después de 24 horas de sumergidos en agua. La gravedad específica bulk en base a la masa de la superficie saturada superficialmente seca de la muestra de ensayo y la absorción.

#### Resultados.-

Masa del matraz	Mm=	160,40 gr.
Masa de la muestra seca	A=	483,40 gr.
Masa del matraz + agua	B=	660,40 gr.
Masa conjunto Matraz + agua + muestra	C=	964,70 gr.
Masa de muestra saturada con superficie seca	S=	501,10 gr.
Gravedad específica seca	$Ge=A/(B+S-C)$	2.456
Gravedad específica saturada con superficie seca	$Ges=S/(B+S-C)$	2.546
Gravedad específica aparente	$Gea=A/A+B-C$	2.699
Porcentaje de absorción	$Ab=((S-A)/A)*100$	3.662%

Tabla No. 2.16: Peso específico agregado fino (Mina Ramírez)

Masa del matraz	Mm=	160,40 gr.
Masa de la muestra seca	A=	484,10 gr.
Masa del matraz + agua	B=	660,40 gr.
Masa conjunto Matraz + agua + muestra	C=	966,60 gr.
Masa de muestra saturada con superficie seca	S=	500,90 gr.
Gravedad específica seca	$Ge=A/(B+S-C)$	2.486
Gravedad específica saturada con superficie seca	$Ges=S/(B+S-C)$	2.573
Gravedad específica aparente	$Gea=A/A+B-C$	2.721
Porcentaje de absorción	$Ab=((S-A)/A)*100$	3.470%

Tabla No. 2.17: Peso específico agregado fino (Mina Tahuando)

### 2.1.2.3 Equivalente de arena (ASSHTO T 176)

#### Alcance.-

Indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcillas, finos plásticos y polvo presente en suelos granulares y agregados finos que pasan el tamiz N° 4 (4.75mm).

**Resultados.-**

Lectura inicial	A=	5,1
Lectura Final	B=	4,1
Equivalente de Arena	$C=(B/A)*100$	81 %

Tabla No. 2.18: Equivalente de arena (Mina Ramírez)

Lectura inicial	A=	5,2
Lectura Final	B=	3,9
Equivalente de Arena	$C=(B/A)*100$	76 %

Tabla No. 2.19: Equivalente de arena (Mina Tahuando)

Tanto la mina Ramírez como la Mina Tahuando cumplen con las especificaciones del MTOP, para una vía de tráfico pesado el equivalente de arena debe ser del 50%, para una capa de rodadura.

**2.1.2.4 Partículas livianas (ASTM C123)**

**Alcance.-**

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de partículas ligeras en su conjunto a través de la separación de flotación-hundimiento en un pesado líquido de peso específico adecuado.

**Resultados.-**

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
Masa Seca de la Muestra Antes del Ensayo (gr)	B=	4.084	306
Masa Seca de la Muestra Después del Ensayo (gr)	C=	4.084	303.9
Porcentaje de Partículas Livianas (%)	A=	0	0,69

Tabla No. 2.20: Resultado de partículas livianas (Mina Ramírez)

		Agregado Grueso 3/4"	Agregado Fino
Masa Seca de la Muestra Antes del Ensayo (gr)	B=	4.020	403
Masa Seca de la Muestra Después del Ensayo (gr)	C=	4.020	402
Porcentaje de Partículas Livianas (%)	A=	0	0,25

Tabla No. 2.21: Resultado de partículas livianas (Mina Tahuando)

Las especificaciones de MTOP, indican que el máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1% en peso. Los ensayos realizados en los agregados pétreos, arrojaron los siguientes resultados, los cuales se comparan con los valores que constan en las especificaciones del MTOP, cumpliendo sus requerimientos.

ENSAYOS	ESPECIFICACIÓN MTOP		RESULTADO	NORMA	VERIFICACIÓN	
	Mín.	Máx				
Granulometría fino y grueso (Tamizado en seco )				ASTM C 136 ASSTHO T 27		
% de Partículas Fracturadas	80	-	3/4 "	89,78	ASTM D 5821- 95	cumple
			1/2 "	88,88		cumple
			3/8 "	86,02		cumple
Equivalente de Arena.(%)	50	-	81	ASTM D 2419 ASSTHO T 176	cumple	
Abrasión de Gruesos (%).	-	40	22	ASTM C 131 ASSTHO T96	cumple	
Peso Específico de Grueso 3/4". (Ton/m3)	-	-	2,569	ASTM C 127 ASSTHO T 85		
Peso Específico de Grueso 3/8". (Ton/m3)	-	-	2,521	ASTM C 127 ASSTHO T 85		
Absorción de agregado Grueso 3/4".(%)	-	-	1,837	ASTM C 127 ASSTHO T 85		
Absorción de agregado Grueso 3/8".(%)	-	-	2,613	ASTM C 127 ASSTHO T 85		
Peso Específico de Fino. (Ton/m3)	-	-	2,456	ASTM C 128 ASSTHO T84		
Absorción de agregado Fino.(%)	-	-	3,662	ASTM C 128		
Partículas livianas - deletéreos 3/4" (%)	-	1	0.00	ASSTHO T112	cumple	
Partículas livianas - deletéreos fino (%)	-	1	0,69	ASSTHO T112	cumple	

Tabla No. 2.22: Resumen de ensayos en los agregados de la Mina Ramírez

ENSAYOS	ESPECIFICACIÓN MTOP		RESULTADO	NORMA	VERIFICACION
	Min	Max			
Granulometría fino y grueso (Tamizado en seco )			El ensayo dio 2" no se incluye en el diseño	ASTM C 136 ASSTHO T 27	
% de partículas Fracturadas	80	-	1"   98,70	ASTM D5821-95	cumple
			3/4"   98,74		cumple
			1/2"   98,73		cumple
			3/8"   95,29		cumple
Equivalente de Arena.(%)	50	-	76	ASTM D 2419 ASSTHO T176	cumple
Abrasión de Gruesos (%).	-	40	34	ASTM C131 ASSTHO T96	cumple
Peso Específico de Grueso 3/4". (Ton/m3)	-	-	2,480	ASTM C 127 ASSTHO T 85	
Peso Específico de Finos 3/8". (Ton/m3)	-	-	2,778	ASTM C 127 ASSTHO T 85	
Absorción de agregado Grueso 3/4".(%)	-	-	2,165	ASTM C 127 ASSTHO T 85	
Absorción de agregado Grueso 3/8".(%)	-	-	2,195	ASTM C 127 ASSTHO T 85	
Peso Específico de Fino. (Ton/m3)	-	-	2,486	ASTM C 128 ASSTHO T 84	
Absorción de agregado Fino.(%)	-	-	3,470	ASTM C 128	
Partículas livianas - deletéreos 3/4" (%)		1%	0,000	ASSTHO T112	cumple
Partículas livianas - deletéreos fino (%)		1%	0,250	ASSTHO T112	cumple

Tabla No. 2.23: Resumen de ensayos en los agregados de la Mina Tahuando

## 2.2 Caracterización del ligante asfáltico

Este material el asfalto puede ser encontrado en la naturaleza en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto sea blanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de la mezcla en caliente que se va a producir en esta investigación.

El asfalto es altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

El asfalto fue proporcionado por la planta de asfalto del Municipio de Quito. El asfalto es producido en la Refinería Esmeraldas, al igual que los otros productos que elabora, están sujetos a cumplir con las normas de calidad establecidas por el MOP como lo indicado en la tabla No. 2.24. En la refinería se produce el asfalto conocido como AC-20.

ENSAYOS	60-70		85-100	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
<b>Betún original</b>				
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), % .	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25 °C/ 25 °C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	---	2.2	---	2.2
<b>Ensayos al residuo del TFOT:</b>				
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad , cm	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***) .	---	5,0	---	5,0

**TFOT** (Thin Film Oven Test )- Ensayo en horno sobre película delgada.

**NOTAS:**

(\*) El índice de penetración (IP) se determina a partir del valor de la penetración en mm/10, a 25 °C, 100 gramos y 5 segundos (Pen) y del punto de ablandamiento, °C, por el método de anillo y bola (Tab) , según las expresiones siguientes:

Tabla No. 2.24: especificaciones para asfalto (810.2.1)

El asfalto utilizado para nuestro estudio deberán cumplir las siguientes especificaciones:

- Densidad específica materiales bituminosos (ASTM D 70-09).
- Punto de inflamación (ASTM D92-12b).
- Penetración (ASTM D-5/DSM-13).
- Viscosidad de un asfalto 60°C (ASTM D 2171/D2171M-10).
- Viscosidad Cinemática a 135 °C, a partir de la viscosidad rotatoria (ASTM D4402).

- Prueba de la Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO) (ASTM D 1754 2872/ AASHTO T-179 T240)
- Viscosidad de un betún asfáltico 60°C RTFO (ASTM D 2171/D2171M-10).
- Ductilidad RTFO (ASTM D 113-07).

Para la caracterización de las propiedades reológicas de los asfaltos, en este estudio se han realizado los siguientes ensayos.

### 2.2.1 Comportamiento Reologico-Ensayos sobre el betún original

#### 2.2.1.1 Densidad de los materiales bituminosos (ASTM D 70-09)

##### Alcance.-

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad relativa y la densidad de los materiales semisólidos bituminosos, cementos asfálticos y brea blandos mediante el uso de un picnómetro.

Nota 1-Un método alternativo para la determinación de la densidad de los materiales bituminosos semisólidos y sólidos es la norma ASTM D 3289. Para los materiales que son demasiado fluido para el uso de este método de prueba, utilice el método de prueba D 3142.

Los valores indicados en unidades SI el considerado como el estándar. Los valores entre paréntesis son para información solamente.



Fotografía No. 2.1: colocación en los picnómetros del asfalto

## Resultados.-

### Información general del ensayo

Temperatura de ensayo (°C)	25
----------------------------	----

### Registro para densidad:

Serie del picnómetro		755
masa del picnómetro (mas tapa)	(A)	38,032
masa del picnómetro lleno de agua	(B)	62,335
masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	(C)	57,289
masa del picnómetro más asfalto y más agua	(D)	62,536
Densidad relativa de la muestra		1,011
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (Kg/m3)		997
Densidad de la muestra (Kg/m3)		1.007,516

Tabla No. 2.25: Resultado de densidad relativa y específica

### 2.2.1.2 Punto de inflamación (ASTM D92-12b)

#### Alcance.-

Este método, describe el procedimiento para determinar el punto de inflamación y combustión de productos de petróleo mediante la copa abierta de Cleveland



Fotografía No. 2.2: Punto de inflamación del asfalto

## Resultados.-

### Información general del ensayo

Identificación de la muestra	3721-17
Punto de Chispa (°C)	332
Punto de Llama corregido (°C)	345
Presión barométrica (mm Hg)	548,6
Punto de chispa corregido (°C)	339
Punto de llama corregido (°C)	352

### Especificación del producto para punto de chispa

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	232
--	--------	-----

### Cumplimiento con respeto a la especificación del producto

Resultado	Cumple
-----------	--------

Tabla No. 2.26: Resultado de punto de inflamación

## 2.2.1.3 Penetración (ASTM D-5/DSM-13)

### Alcance.-

Este método, describe el procedimiento para determinar la penetración o consistencia de materiales bituminosos sólidos y semisólidos

### Resultados.-

#### Información general del ensayo

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	25
Carga (g)	100,01
tiempo de Carga (s)	5

#### Valores de penetración en la muestra

Punto	1	2	3	Promedio
Penetración (0.1mm)	72	73	72	72

#### Especificación del producto:

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	mínimo	60
--	--------	----

#### Cumplimiento con respeto a la especificación del producto

Resultado	Cumple
-----------	--------

Tabla No. 2.27: Resultado de penetración

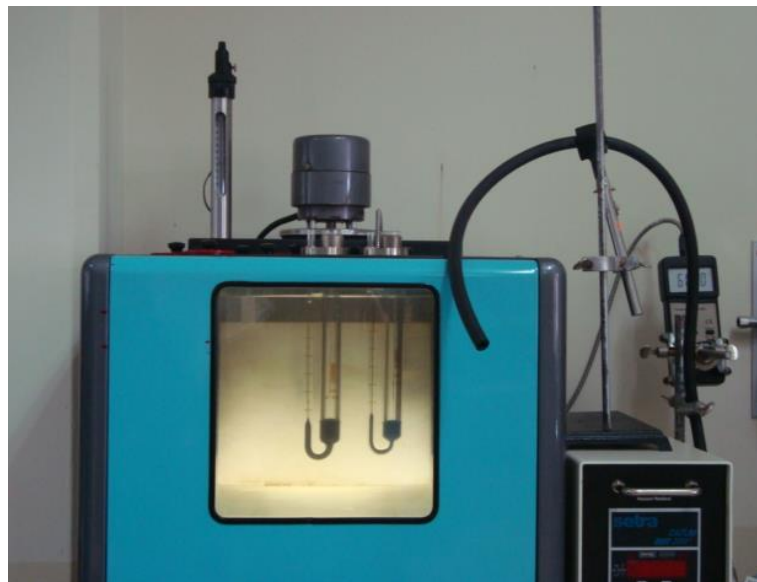
#### 2.2.1.4 Viscosidad de un asfalto 60°C (ASTM D 2171/D2171M-10)

##### Alcance.-

Este método de ensayo cubre los procedimientos para la determinación de la viscosidad del ligante asfáltico (bitumen) mediante viscosímetros capilares de vacío a 60 ° C [140 ° F]. Es aplicable a materiales que tienen viscosidades en el intervalo de 0,0036 a más de 20 000 Pa · s [0.036 a más de 200 000 P].

Nota 1 - Este método de ensayo es adecuado para su uso a otras temperaturas, pero la precisión se basa en determinaciones en aglutinantes de asfalto a 60 ° C [140 ° F].

Para el betún original usaremos un viscosímetro de vacío tubo capilar número 100.



Fotografía No. 2.3: Viscosímetros

##### Resultados.-

###### Información general del ensayo

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo(°C)	60
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	0,807	0,642
Tiempo de flujo(s):	58,4	118,2	176,9	242	306,2
Viscosidad (Pa.s):	182,734	188,411	188,222	195,2	196,58

**Resultado del Ensayo:**

Viscosidad (Pa.s):	188,411
--------------------	---------

**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. 2.28: Resultado de viscosidad 60°C

### 2.2.1.5 Viscosidad Cinemática de asfaltos a 135 °C a partir del viscosímetro rotatorio (ASTM D4402).

Debido a que no se tiene el viscosímetro los resultados se obtienen a partir de la viscosidad con viscosímetro rotatorio y la densidad relativa del asfalto.

**Resultados.-****Información general del ensayo**

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo(°C)	135

**Registro de la muestra**

Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402/D4402M) (cP)	345,3
Densidad relativa de la muestra a 25/25°C	1,011
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	365,688

**Especificación del producto para punto de chispa**

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
-----------	--------

Tabla No. 2.29: Resultado de viscosidad cinemática 135°C

## 2.2.2 Ensayo sobre el residuo de pérdida por calentamiento-RTFOT

### 2.2.2.1 Viscosidad del asfalto a elevadas temperaturas usando un viscosímetro rotatorio (RTFO) (ASTM D4402/D4402M-12)

#### Alcance.-

Este método de prueba describe un procedimiento para la medición de la viscosidad aparente de asfalto 38 a 260 ° C [de 100 a 500 ° F] usando un viscosímetro de rotación y una cámara térmica de temperatura controlada para mantener la temperatura de ensayo. **Resultados.-**

#### Información general del ensayo

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo(°C)	135

#### Configuración del ensayo:

Viscosímetro	Brookfield DV-II+Pro
Geometría de ensayo	SC4-27, colgante
Velocidad de rotación (rpm)	160

Resultado del Ensayo:	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Viscosidad (Pa.s)	0,345	0,345	0,345	0,345
Torque (%)	22,1	22,1	22,1	22,1

Tabla No. 2.30: Resultado de viscosidad a altas temperaturas usando viscosímetro rotatorio



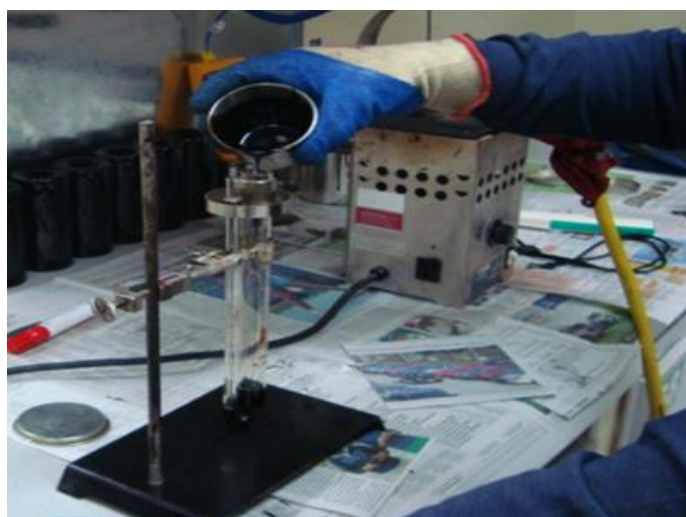
Fotografía 2.4: Viscosímetro de rotación

### 2.2.2.2 Viscosidad de un betún asfáltico 60°C RTFO (ASTM D 2171/D2171M-10)

#### Alcance.-

Este método de ensayo cubre los procedimientos para la determinación de la viscosidad del ligante asfáltico (bitumen) mediante viscosímetros capilares de vacío a 60 ° C [140 ° F]. Es aplicable a materiales que tienen viscosidades en el intervalo de 0,0036 a más de 20 000 Pa · s [0.036 a más de 200 000 P].

Para el asfalto envejecido usaremos un viscosímetro de vacío tubo capilar número 200.



Fotografía 2.5: Asfalto envejecido en Viscosímetros capilares

#### Resultados.-

##### Información general del ensayo

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo(°C)	59,97
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):	59,1	111,7	173,5		
Viscosidad (Pa.s):	706.245	688.85	718.637		

##### Resultado del Ensayo:

Viscosidad (Pa.s):	688,854
--------------------	---------

##### Especificación del producto para punto de chispa

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	máximo	1.000	Pa.s
--	--------	-------	------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto**

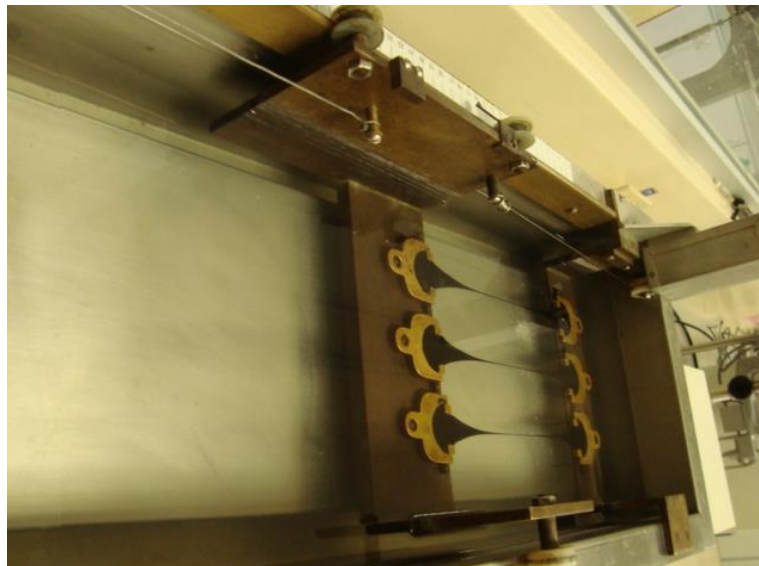
Resultado	Cumple
-----------	--------

Tabla No. 2.31: Resultado de viscosidad a 60°C (RTFO)

**2.2.2.3 Ductilidad RTFO (ASTM D 113-07)**

**Alcance.-**

Este método de ensayo proporciona una medida de las propiedades de tracción de los materiales bituminosos y puede ser utilizado para medir la ductilidad para la especificación



Fotografía 2.6: Ensayo de ductilidad

**Resultados.-**

**Información general del ensayo**

identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	24.9
¿Se usa aditivo para densidad del agua?	NO
Numero de réplicas	3

**Valores de ductilidad en la muestra**

Molde	1	2	3	Promedio
Ductilidad (cm)	48	57	62	56
¿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
-----------	--------

Tabla No. 2.32: Resultado de ductilidad (RTFO)

En conclusión los ensayos realizados al asfalto cumplen con las especificaciones de la tabla 810-2.1 del MTOP

ENSAYOS	ESPECIFICACION		VALOR OBTENIDO	NORMA	CONTROL
	Min.	Max.			
<b>Betún Original</b>					
Viscosidad a 60°C	160	240	188,411	ASTM D2171	cumple
Penetración (25 °C, 100gr, 5s)mm/10	60	70	72	ASTM D5	No cumple
Viscosidad a 135°C, min. [mm <sup>2</sup> /s]	300		365,688	ASTM D-6	cumple
Densidad relativa, (25 °C/25 °C),Ton/m <sup>3</sup>	1	-	1,011	ASTM D-70	cumple
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C	232	-	339	ASTM D-92	cumple
<b>Ensayos al residuo TFOT</b>					
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min), cm	50	-	56	ASTM D113	cumple
Viscosidad a 60°C		1000	688,854	ASTM D2171	cumple

Tabla No. 2.33: Caracterización del ligante asfáltico AC-20

### 2.3 Selección de agregados y combinación de las fracciones disponibles de agregados para el diseño de mezclas asfálticas

Para la fabricación de mezclas asfálticas, es necesario utilizar agregados pétreos de que entre en la curva granulométrica de las especificaciones, para obtener una carpeta de rodadura de buena calidad y económica. Es necesario que los agregados sean de buena calidad para esto deben cumplir las especificaciones que exige el MTOP, que se basa en normas internacionales, entre las que se encuentra el % de

vacíos de aire, el %vacíos rellenos de asfalto, % de vacíos del agregado, estabilidad, fluencia.

El procedimiento se basa en obtener la granulometría de cada uno de los materiales a mezclarse y calcular el porcentaje que necesita cada uno de los agregados para obtener una granulometría deseada que entre en la curva especificada por el MOP (tabla 405-5.1 de especificaciones).

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	-	-	-
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	-	-
½" (12.5 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. 2.34: Tabla de granulometrías para mezcla asfáltica

### 2.3.1 Combinación de los agregados pétreos de la mina Ramírez

Para esta investigación se realizaron 21 baches con material pétreo de la mina Ramírez se determinó que la faja granulométrica para la fabricación de la mezcla asfáltica es la de 3/4", esta faja se la eligió en consideración de que los materiales que se disponía son 3/4, 3/8 y fino es decir se tiene 3 tipos de tamaño de agregados , tanto para el agregado grueso como para el fino se ajusta a las exigencias del MOP mostradas en la tabla 2-31, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el material:

- A (Material Grueso)= 25%
- B (Material intermedio)= 18%
- C (Material fino)= 57%

En la siguiente tabla se presenta los pesos del material retenidos en cada tamiz tanto para el agregado grueso como el fino, así como también la dosificación de las mezclas ver tabla 2.35.

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	88,56	6,13	0,67	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. B	100,00	100,00	100,00	100,00	33,11	2,62	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	99,28	71,70	30,57	14,30	6,23	2,72	
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>97,14</b>	<b>76,53</b>	<b>75,17</b>	<b>62,64</b>	<b>41,34</b>	<b>17,42</b>	<b>8,15</b>	<b>3,55</b>	<b>1,550</b>	
Ret.Ac.	0,00	2,86	23,47	24,83	37,36	58,66	82,58	91,85	96,45	98,45	1,55
Ret.Parc.	0,00	2,86	20,61	1,37	12,53	21,30	23,92	9,27	4,60	2,00	
peso	<b>0,00</b>	<b>31,46</b>	<b>226,68</b>	<b>15,02</b>	<b>137,78</b>	<b>234,31</b>	<b>263,07</b>	<b>102,01</b>	<b>50,60</b>	<b>22,01</b>	
p. acum.	0,00	31,46	258,14	273,16	410,94	645,25	908,33	1010,34	1060,94	1082,95	1100,00
Espec mín	100	90	---	56	35	23	---	5	---	2	
Espec máx	100	100	---	80	65	49	---	19	---	8	

Tabla No. 2.35: Tabla de mezcla de agregados (Mina Ramírez)

Con esta dosificación de agregados se preparan 15 baches, para realizar las mezclas con los diferentes porcentajes de asfalto que se determinaran en el numeral 2.4.

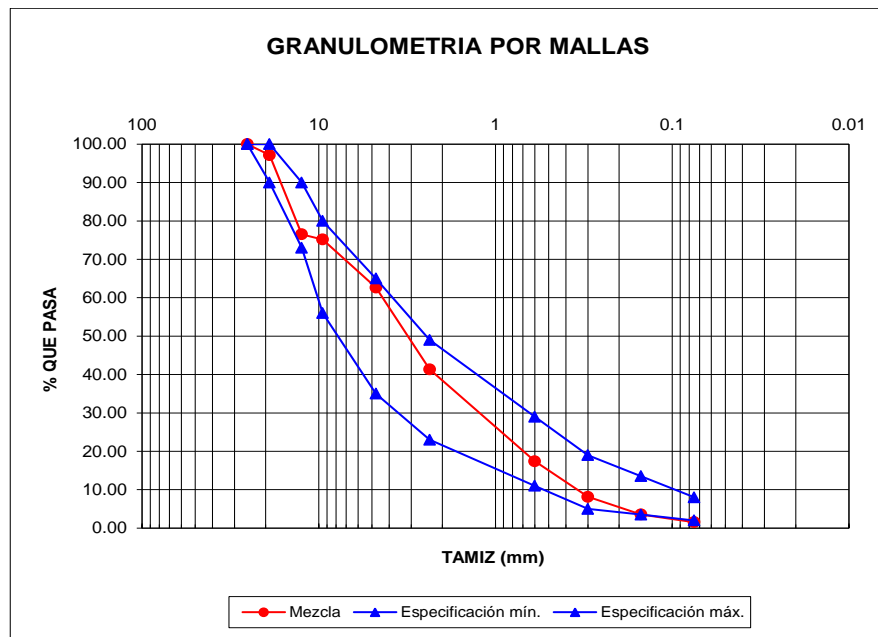


Gráfico No. 2.7: Curva Granulométrica (Mina Ramírez)

### 2.3.2 Combinación de los agregados pétreos de la mina Tahuando

Para esta investigación se realizaron 21 baches con material pétreo de la mina Tahuando se determinó que la faja granulométrica para la fabricación de la mezcla asfáltica es la de 3/4", esta faja se la eligió en consideración de que los materiales que se disponía son 3/4, 3/8 y fino es decir se tiene 3 tipos de tamaño de agregados , tanto para el agregado grueso como para el fino se ajusta a las exigencias del MTOP mostradas en la tabla 2-31, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el material:

- A (Material Grueso)= 10%
- B (Material Intermedio)= 20%
- C (Material Fino)= 70%

En la siguiente tabla 2.33 se presenta los pesos del material retenidos en cada tamiz tanto para el agregado grueso como para el fino, así como también la dosificación de las mezclas.

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	27,40	1,53	1,06	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. B	100,00	100,00	70,69	40,44	8,27	4,27	0,00	0,00	0,00	0,00	
mat. C	100,00	97,93	96,08	95,00	80,58	62,87	39,31	20,69	11,13	2,37	
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>91,29</b>	<b>81,55</b>	<b>74,69</b>	<b>58,16</b>	<b>44,86</b>	<b>27,52</b>	<b>14,48</b>	<b>7,79</b>	<b>1,66</b>	
Ret.Ac.	0,00	8,71	18,45	25,31	41,84	55,14	72,48	85,52	92,21	98,34	1,66
Ret.Parc.	0,00	8,71	9,74	6,85	16,53	13,30	17,35	13,03	6,69	6,13	
peso	0,00	95,80	107,18	75,38	181,87	146,27	190,81	143,37	73,61	67,45	
p. acum.	0,00	95,80	202,98	278,37	460,24	606,51	797,31	940,69	1014,30	1081,75	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>	

Tabla No. 2.36: Tabla de mezcla de agregados (Mina Tahuando)

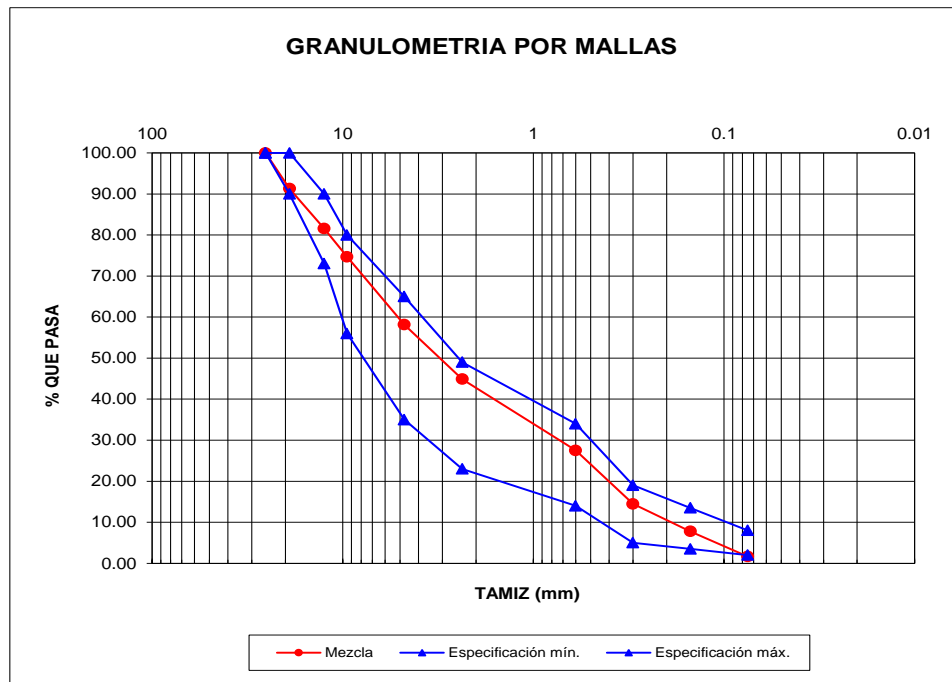


Grafico No. 2.8: Curva Granulométrica (Mina Tahuando)

Con esta dosificación de agregados se preparan 15 baches, para realizar las mezclas con los diferentes porcentajes de asfalto que se determinaran en el numeral 2.4.

## 2.4 Determinación de la cantidad de ligante asfáltico para el diseño de mezclas asfálticas

Para obtener el contenido de asfalto a emplearse en los ensayos de laboratorio, como primer paso se debe estimar aproximadamente el contenido teórico óptimo de asfalto, para esto se utiliza la fórmula empírica (Ecuación N°1), para así iniciar con dos contenidos de asfalto por debajo y dos por encima del valor teórico.

### Determinación de la Cantidad Aproximada de Asfalto.

$$P = M \cdot (S)^{1/5} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

P= % de asfalto en peso / al peso total

M=Coficiente del tráfico (3.75-4.25) escogemos 4

S= Superficie especifica de los áridos.

### Determinación de la Superficie de los áridos

$$S=0.17*G+0.33*g+2.3*A+12*a+135*f \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

G =% Material > 3/8”.

g = % diferencia entre 3/8” y N°4.

A= % diferencia entre N°4 y N°50.

a= % diferencia entre N°50 y N°200

f= % de agregado que pasa la malla N°200.

#### 2.4.1 Determinación del porcentaje de ligante asfáltico para la mezcla con los agregados de la mina Ramírez

Con los porcentajes de agregados indicados en la formula obtenemos la superficie especifica de los áridos de la mezcla, de manera que permanezca constante la forma de la curva de dosificación de áridos, ver Tabla N° 2.37. El porcentaje óptimo calculado fue de 5,34% se adoptó el 5,5 %.

<b>Cálculo del Porcentaje de AC-20</b>				
<b>G =</b>	24,83	0,24833	<b>M =</b>	3,75 - 4,25
<b>g =</b>	12,53	0,12526		
<b>A =</b>	54,49	0,54491		
<b>a =</b>	6,60	0,06601		
<b>f =</b>	1,55	0,01550		
<b>S =</b>	4,22195	<b>P (%) =</b>	<b>5.34</b>	

Tabla No. 2.37: Tabla de porcentaje óptimo de asfalto (Mina Ramírez)

#### 2.4.2 Determinación del porcentaje de ligante asfáltico para la mezcla con los agregados de la mina Tahuando

Se dosifican cinco mezclas a partir del porcentaje optimo obtenido con la formula empírica los porcentajes de asfalto se incrementaran en 0.5% siendo dos crecientes y dos decrecientes a partir del optimo, en igual proporción los áridos de la mezcla, de

manera que permanezca constante la forma de la curva de dosificación de áridos, ver Tabla N° 2.38. El porcentaje óptimo calculado fue de 5.49% se adoptó el 5.5 %.

<b>Cálculo del Porcentaje de AC-20</b>			
<b>G =</b>	25,31	0,25306	<b>M =</b> 3,75 - 4,25
<b>g =</b>	16,53	0,16534	
<b>A =</b>	43,68	0,43677	
<b>a =</b>	12,82	0,12824	
<b>f =</b>	1,66	0,01659	
<b>S =</b>	4,88068	<b>P (%) =</b>	<b>5.49</b>

Tabla No. 2.38: Tabla de porcentaje óptimo de asfalto (Mina Tahuando)

## 2.5 Tipos de mezclas asfálticas en caliente que van a ser incluidas

A partir del porcentaje optimo obtenido con la formula empírica, los porcentajes de asfalto se incrementaran en 0.5% siendo dos crecientes y dos decrecientes a partir del optimo, en igual proporción los áridos de la mezcla, de manera que permanezca constante la forma de la curva de dosificación de áridos

A continuación en los cuadros 2.39 y 2.40 se presentan la dosificación para realizar las 15 briquetas de la mina Ramírez y las 15 briquetas de la mina Tahuando para las minas en estudio:

% asfalto	% Agregado grueso		Agregado fino(Arena)
	3/4 pulg.	3/8 pulg.	
4,5	25	18	57
5,0	25	18	57
5,5	25	18	57
6,0	25	18	57
6,5	25	18	57

Tabla No. 2.39: Tabla de porcentaje de agregados y asfalto (Mina Ramírez)

% asfalto	% Agregado grueso		Agregado fino(Arena)
	3/4 pulg.	3/8 pulg.	
4,5	10	20	70
5,0	10	20	70
5,5	10	20	70
6,0	10	20	70
6,5	10	20	70

Tabla No. 2.40: Tabla de porcentaje de agregados y asfalto (Mina Tahuando)

### 3 CAPÍTULO III.

#### 3.1 Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando materiales pétreos de la mina Ramírez y mina Tahuando

##### 3.1.1 Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente propuestas

###### 3.1.1.1 Cantidad de asfalto en los baches de las mezclas propuestas

Una vez obtenidos los porcentajes de agregado y asfalto explicados en los numerales 2.3 y 2.4, se pesan los baches y se determinan la cantidad de asfalto en función de la masa de cada bache, a partir del porcentaje de asfalto teórico, se toman porcentajes antes y dos porcentajes después en proporciones de 0.5% (ver cuadro 3.1 y 3.2)

# BRIQUETA	% ASFALTO	MASA BACHE (gr.)	CANTIDAD DE ASFALTO (gr.) (%asfalto)*Masa Bache
1	4,5	1.094,47	49,25
2	4,5	1.097,12	49,37
3	4,5	1.095,55	49.30
4	5,0	1.099,23	54,96
5	5,0	1.100,13	55,01
6	5,0	1.092,00	54,60
7	5,5	1.095,05	60,23
8	5,5	1.097,30	60,35
9	5,5	1.094,96	60,22
10	6,0	1.110,50	66,63
11	6,0	1.096,86	65,81
12	6,0	1.093,66	65.62
13	6,5	1.097,62	71,35
14	6,5	1.099,10	71,44
15	6,5	1.098,42	71,40

Tabla No. 3.1: cantidad de asfalto para cada briqueeta (Mina Ramírez)

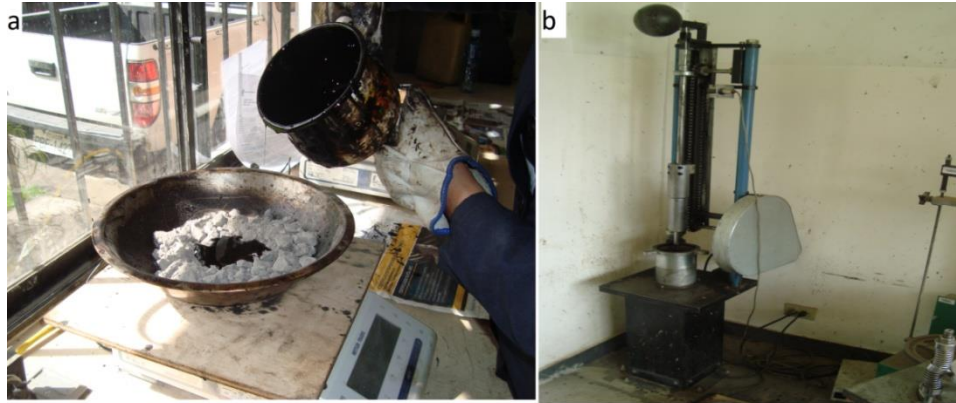
# BRIQUETA	% ASFALTO	MASA BACHE (gr.)	CANTIDAD DE ASFALTO (gr.)
1	4,5	1.099,90	49,50
2	4,5	1.101,95	49,59
3	4,5	1.105,77	49,76
4	5,0	1.100,35	55,02
5	5,0	1.100,82	55,04
6	5,0	1.101,85	55,09
7	5,5	1.103,14	60,67
8	5,5	1.099,70	60,48
9	5,5	1.098,90	60,44
10	6,0	1.104,27	66,26
11	6,0	1.103,00	66,18
12	6,0	1.105,79	66,35
13	6,5	1.101,15	71,57
14	6,5	1.101,66	71,61
15	6,5	1.100,57	71,54

Tabla No. 3.2: cantidad de asfalto para cada briqueta (Mina Tahuando)

A continuación se presenta la metodología seguida. Para la elaboración de probetas de ensayo. Cada una contiene una diferente cantidad de asfalto, las muestras son preparadas de la siguiente manera:

Los agregados se calientan en el horno a 115 y 140°C, para que se mezclen con el asfalto que se calienta a la temperatura de entre 110 y 140 °C. y se mezclan hasta que todas las partículas estén revestidas de asfalto. Para simular el proceso de calentamiento y mezclado que ocurre en la planta, el asfalto no deberá mantenerse a esta temperatura por más de una hora, (ver fotografía 3.1a)

Una vez mezclado, la temperatura no debe ser inferior a 110°C, es colocada en los moldes Marshall para después compactarlas mediante golpes del martillo de un peso de 10 libras que cae de una altura de 18". Para esta investigación se darán 75 a las dos caras ya que se trata de una mezcla asfáltica para tráfico pesado, (ver fotografía 3.1b) según especificación del MOP-Tabla 405.5.4.



Fotografía No. 3.1: Mezcla y Compactación mecánica de briquetas

Luego de esto, se deja enfriar las briquetas y posteriormente son extraídas de los moldes (ver fotografía 3.2).



Fotografía No. 3.2: briquetas extraídas de los moldes

### 3.1.2 Determinación de la gravedad específica Bulk (AASHTO T166-078)

#### Alcance.-

Esta norma describe el procedimiento para determinar la gravedad específica Bulk para especímenes de mezclas asfálticas compactadas. La densidad aparente viene dada por:

#### Densidad Específica Bulk.

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

**Ecuación 3.1**

Donde:

$G_{mb}$  = Densidad específica Bulk.

$W_a$  = masa del espécimen seco

Ww = masa del espécimen sumergido.

Wss=Masa del espécimen saturada superficie seca

**Resultados.-**

<b>AASTHO T166-078-METODO DE ENSAYO A</b>					
<b>BRIQUETA /NÚCLEO</b>	<b>Masa del Espécimen Seco(gr)</b>	<b>Masa del Espécimen Sumergido( gr)</b>	<b>Masa del Espécimen SSS(gr)</b>	<b>VOLUMEN (c.c.)</b>	<b>Densidad Bulk (gr/cm3)</b>
1	1.138,830	626,590	1.141,920	515,330	2,210
2	1.138,540	623,130	1.141,300	518,170	2,197
3	1.150,270	634,170	1.150,980	516,810	2,226
4	1.151,710	639,380	1.153,090	513,710	2,242
5	1.153,310	636,220	1.154,460	518,240	2,225
6	1.137,330	634,260	1.138,240	503,980	2,257
7	1.152,840	640,290	1.154,050	513,760	2,244
8	1.144,940	632,740	1.145,810	513,070	2,232
9	1.153,530	642,430	1.155,100	512,670	2,250
10	1.157,150	645,050	1.157,460	512,410	2,258
11	1.159,240	648,840	1.159,370	510,530	2,271
12	1.170,920	652,050	1.171,330	519,280	2,255
13	1.161,290	655,440	1.161,420	505,980	2,295
14	1.173,560	661,530	1.173,720	512,190	2,291
15	1.168,280	656,540	1.168,540	512,000	2,282

Tabla No. 3.3: gravedad especifica Bulk (Mina Ramírez)

<b>AASTHO T166-078-METODO DE ENSAYO A</b>					
<b>BRIQUETA /NÚCLEO</b>	<b>Masa del Espécimen Seco(gr)</b>	<b>Masa del Espécimen Sumergido( gr)</b>	<b>Masa del Espécimen SSS(gr)</b>	<b>VOLUMEN (c.c.)</b>	<b>Densidad Bulk (gr/cm3)</b>
1	1.142,190	634,540	1.142,590	508,050	2,248
2	1.149,720	636,880	1.150,160	513,280	2,240
3	1.152,100	644,160	1.152,670	508,510	2,266
4	1.149,930	639,670	1.150,370	510,700	2,252
5	1.149,470	639,630	1.149,560	509,930	2,254
6	1.153,320	643,570	1.153,420	509,850	2,262
7	1.163,280	651,220	1.163,440	512,220	2,271
8	1.156,670	651,030	1.157,230	506,200	2,285
9	1.159,150	648,140	1.159,230	511,090	2,268
10	1.167,830	659,100	1.168,100	509,000	2,294
11	1.164,230	656,740	1.164,420	507,680	2,293
12	1.170,120	658,310	1.170,170	511,860	2,286
13	1.167,640	659,000	1.167,900	508,900	2,294
14	1.172,350	665,160	1.172,680	507,520	2,310
15	1.170,540	660,180	1.170,780	510,600	2,292

Tabla No. 3.4: gravedad especifica Bulk (Mina Tahuando)



Fotografía No. 3.3: masa de la briqueta SSS y sumergida

### 3.1.3 Determinación de la gravedad específica máxima teórica (AASHTO T209-08)

#### Alcance.-

Esta prueba determina la gravedad específica máxima teórica y la densidad de mezclas de pavimentación bituminosas compactadas a 77 ° F (25 ° C)

#### Gravedad específica máxima (Gmm).

$$Gmm = \frac{A}{A+B-C}$$

**Ecuación 3.2**

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, en (gr).

B = Peso del picnómetro +H<sub>2</sub>O a 25 °C (77°F), en (gr).

C = Peso del picnómetro + masa +H<sub>2</sub>O a 25°C (77°F), en (gr).

Se escogieron dos briquetas de cada contenido de asfalto, las cuales se colocaron en el horno para luego ser disgregadas en la siguiente fotografía 3.3 se puede observar el ensayo



Fotografía No. 3.3: Ensayo de gravedad específica (Rice)

**Resultados.-**

AASHTO T 209-08				
Briqueta/Núcleo	peso muestra (gr)	picnómetro+masa+H2O	picnómetro +H2O a 25°C	Gmm
1 y 2	2.192,6	8.725,1	7420,0	2,471
4 y 5	2.299,0	8.747,0	7391,1	2,438
7 y 8	2.303,0	8.745,0	7391,1	2,427
10 y 11	2.358,0	8.772,0	7391,1	2,413
13 y 14	2.361,0	8.756,0	7391,1	2,370

Tabla No. 3.5: Gravedad específica Máxima Teórica (Mina Ramírez)

AASHTO T 209-08				
Briqueta/Núcleo	Peso muestra (gr)	Picnómetro+masa+H2O (gr)	Picnómetro +H2O a 25°C (gr)	Gmm
1 y 2	2.261,9	8.788,9	7.420	2,533
4 y 5	2.283,6	8.794,4	7.420	2,512
7 y 8	2.301,9	8.796,3	7.420	2,487
10 y 11	2.325,7	8.806,7	7.420	2,477
13 y 14	2.340,9	8.808,0	7.420	2,457

Tabla No. 3.6: Gravedad específica Máxima Teórica (Mina Tahuando)

<b>RICE</b>	<b>x (% asfalto)</b>	<b>y (Gmm)</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>3</sup></b>	<b>x<sup>2</sup>y</b>	<b>x<sup>4</sup></b>
1	4,5	2,471	20	11,12	91	50,03	410
2	5,0	2,438	25	12,19	125	60,94	625
3	5,5	2,427	30	13,35	166	73,40	915
4	6,0	2,413	36	14,48	216	86,88	1296
5	6,5	2,370	42	15,41	275	100,14	1785
SUMA	27,5	12,1	153,8	66,5	873,1	371,4	5031,2
# DATOS	5	Sxx	Sxy	Sxx <sup>2</sup>	Sx <sup>2</sup> y	Sx <sup>2</sup> x <sup>2</sup>	
		2,50	-0,11251	27,5	-1,24324	303,375	
		<b>a</b>	-0,0064				
		<b>b</b>	0,0255				
		<b>c</b>	2,4805				
		<b>% DE ASFALTO ÓPTIMO</b>	<b>5,7</b>				
		<b>RICE DE LA MEZCLA ÓPTIMO</b>	<b>2,418</b>				

Tabla No. 3.7: Calculo Gravedad específica Máxima Teórica Óptima (Mina

Ramírez)

<b>RICE</b>	<b>x (% asfalto)</b>	<b>y (Gmm)</b>	<b>x<sup>2</sup></b>	<b>xy</b>	<b>x<sup>3</sup></b>	<b>x<sup>2</sup>y</b>	<b>x<sup>4</sup></b>
1	4,5	2,533	20	11,40	91	51,29	410
2	5,0	2,512	25	12,56	125	62,79	625
3	5,5	2,487	30	13,68	166	75,23	915
4	6,0	2,475	36	14,85	216	89,11	1296
5	6,5	2,457	42	15,97	275	103,79	1785
SUMA	27,5	12,5	153,8	68,5	873,1	382,2	5031,2
# DATOS	5	Sxx	Sxy	Sxx <sup>2</sup>	Sx <sup>2</sup> y	Sx <sup>2</sup> x <sup>2</sup>	
		2,50	-0,09454	27,5	-1,03541	303,375	
		<b>a</b>	0,0052				
		<b>b</b>	-0,0955				
		<b>c</b>	2,8566				
		<b>% DE ASFALTO ÓPTIMO</b>	<b>5,9</b>				
		<b>RICE DE LA MEZCLA ÓPTIMO</b>	<b>2,476</b>				

Tabla No. 3.8: Calculo Gravedad específica Máxima Teórica Óptima (Mina

Tahuando)

### 3.1.4 Determinación del porcentaje óptimo de asfalto Ensayo Marshall (ASTM D6927)

Alcance.-

Este método de ensayo cubre la medición de la resistencia al flujo de plástico de probetas cilíndricas de mezcla de pavimentación bituminosa cargada en una dirección perpendicular al eje cilíndrico por medio del aparato Marshall 102 mm (4 pulg). Este método de prueba es para el uso con mezclas bituminosas densas graduadas elaborados con cemento asfáltico (modificado y no modificado), asfáltico asfalto, alquitrán y brea de goma con el agregado de tamaño máximo de hasta 25 mm (1 pulgada) de tamaño (que pasan a 25 mm (1 pulgada) de tamiz).



Fotografía No. 3.4: Ensayo Marshall

$$Gsb = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Donde:

Gsb = Gravedad específica de masa promedio.

G1, G2, ....., Gn = Valores de gravedad específica por fracción 1, 2, ....., n

P1, P2, ....., Pn = Porcentaje en pesos de la fracción 1, 2, ....., n.

$$V_{agr} = \frac{\% \text{ agregados} * G_b}{G_{agr}} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

Vagr= Volumen de agregado en porcentaje.

Gb = Densidad específica del cemento asfáltico.

Gagr = Gravedad específica de los agregados.

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

$$V_v = \left[ 1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

Vv= Volumen de vacíos llenos de aire.

Gmb = Gravedad específica “bulk” promedio de las briquetas.

Gmm = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla (RICE), no incluye los vacíos de aire.

Se calcula el porcentaje en volumen del cemento asfáltico

$$V_{ca} = 100 - V_{agr} - V_v \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

Vca: Volumen de cemento asfáltico.

Vagr= Volumen de agregado en porcentaje.

Vv= Volumen de vacíos llenos de aire.

Se determina el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

$$VAM = 100 - Vagr. \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).

$$VFA = \left[ \frac{VAM - Vv}{VAM} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Determinamos el contenido de asfalto efectivo, Pbe, de la mezcla que es el contenido total de asfalto menos la cantidad de asfalto que absorbió el agregado.

$$Pbe = Pb - \left[ \frac{Pba * Ps}{100} \right] \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

Pbe = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla.

Pb = 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.

### **Corrección de la Estabilidad de cada probeta.**

El Factor corrección de estabilidad se lo realiza en función del volumen de cada briqueta este factor es tomado del cuadro que se encuentra en el anexo 1.

Los resultados de los ensayos realizados ver en la tabla 3.7 y 3.8, se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones:

- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (VFA).
- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.
- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

Con los datos obtenidos se dibujan las curvas de cada relación descritas en el párrafo anterior esto se puede observar en el gráfico 3.1 y 3.2 en cada una de estas relaciones se determina el porcentaje óptimo de asfalto excepto en la gráfica de flujo.

<b>PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MINA RAMIREZ (43% de agregado grueso,57% agregado fino)</b>																					
N° Golpes=75 x cara			Ge de AC20=1.007			PENETRACION ASFALTO=60-70			G.E AGREGADOS PARA DISEÑO=2.495					PRENSA 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 DENSIDAD BULK	RICE Gmm	AGREG.	VACIOS TOTAL	C.A					LBS	LBS. CORREG.	
1	3/4"	25,0				1138,83	1141,92	626,59	515,33	2,210								1,00	2060	<b>2060</b>	10,5
2	3/8"	18,0				1138,54	1141,30	623,13	518,17	2,197								1,00	2200	<b>2200</b>	10
3	ARENA	57,0				1150,27	1150,98	634,17	516,81	2,226								1,00	2480	<b>2480</b>	11,5
	% C.A	4,5																			
			<b>2,495</b>	<b>2,652</b>	2,389					<b>2,211</b>	<b>2,471</b>	<b>84,63</b>	<b>10,51</b>	<b>4,87</b>	<b>15,37</b>	<b>31,7</b>	<b>2,22</b>			<b>2.247</b>	<b>10,7</b>
4	3/4"	25,0				1151,71	1153,09	639,38	513,71	2,242								1,00	2300	<b>2300</b>	12,5
5	3/8"	18,0				1153,31	1154,46	636,22	518,24	2,225								1,00	2600	<b>2600</b>	11,75
6	ARENA	57,0				1137,33	1138,24	634,26	503,98	2,257								1,04	2575	<b>2678</b>	11,5
	% C.A	5,0																			
			<b>2,495</b>	<b>2,635</b>	2,137					<b>2,241</b>	<b>2,438</b>	<b>85,34</b>	<b>8,05</b>	<b>6,61</b>	<b>14,66</b>	<b>45,1</b>	<b>2,97</b>			<b>2.526</b>	<b>11,9</b>
7	3/4"	25,0				1152,84	1154,05	640,29	513,76	2,244								1,00	2975	<b>2975</b>	13,25
8	3/8"	18,0				1144,94	1145,81	632,74	513,07	2,232								1,00	2550	<b>2550</b>	11
9	ARENA	57,0				1153,53	1155,10	642,43	512,67	2,250								1,00	2850	<b>2850</b>	12,5
	% C.A	5,5																			
			<b>2,495</b>	<b>2,643</b>	2,262					<b>2,242</b>	<b>2,427</b>	<b>84,91</b>	<b>7,61</b>	<b>7,48</b>	<b>15,09</b>	<b>49,6</b>	<b>3,36</b>			<b>2.792</b>	<b>12,3</b>
10	3/4"	25,0				1157,15	1157,46	645,05	512,41	2,258								1,00	2775	<b>2775</b>	12,5
11	3/8"	18,0				1159,24	1159,37	648,84	510,53	2,271								1,00	2725	<b>2725</b>	11,5
12	ARENA	57,0				1170,92	1171,33	652,05	519,28	2,255								1,00	2700	<b>2700</b>	12,25
	% C.A	6,0																			
			<b>2,495</b>	<b>2,649</b>	2,348					<b>2,261</b>	<b>2,413</b>	<b>85,19</b>	<b>6,30</b>	<b>8,51</b>	<b>14,81</b>	<b>57,5</b>	<b>3,79</b>			<b>2.733</b>	<b>12,1</b>
13	3/4"	25,0				1161,29	1161,42	655,44	505,98	2,295								1,04	2300	<b>2392</b>	12,5
14	3/8"	18,0				1173,56	1173,72	661,53	512,19	2,291								1,00	2700	<b>2700</b>	12,75
15	ARENA	57,0				1168,28	1168,54	656,54	512,00	2,282								1,00	2550	<b>2550</b>	12,5
	% C.A	6,5																			
			<b>2,495</b>	<b>2,616</b>	1,869					<b>2,289</b>	<b>2,370</b>	<b>85,79</b>	<b>3,41</b>	<b>10,80</b>	<b>14,21</b>	<b>76,0</b>	<b>4,75</b>			<b>2.547</b>	<b>12,5</b>

Tabla No. 3.9: Datos de las mezclas asfálticas (Mina Ramírez)

PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MINA TAHUANDO (30% de agregado grueso,70% agregado fino)																						
Nº Golpes=75 x cara			Ge de AC20=1.007			PENETRACION ASFALTO=60-70					G.E AGREGADOS PARA DISEÑO=2.495					PRENSA MARSHALL						
MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC.	P.E. BULK. AGREGADO GSB	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN C.c.c.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A. %	% C.A EFEC EN LA MEZCLA	ESPESOR cm.	FACTOR CORREC.	PRENSA MARSHALL		FLUIDO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S		PROBETA DENSIDAD BULK	RICE Gmm	AGREG.	VACIOS TOTAL	C.A						LBS.	LBS. CORREG.	
1	3/4"	10,0				1142,19	1142,59	634,54	508,05	2,248									1,04	3700	<b>3848</b>	12
2	3/8"	20,0				1149,72	1150,16	636,88	513,28	2,240									1,00	2875	<b>2875</b>	12
3	ARENA	70,0				1152,10	1152,67	644,16	508,51	2,266									1,04	3200	<b>3328</b>	12
	% C.A	4,5																				
			<b>2,488</b>	<b>2,728</b>	<b>3,559</b>					<b>2,253</b>	<b>2,533</b>	<b>86,49</b>	<b>11,05</b>	<b>2,46</b>	<b>13,51</b>	<b>18,2</b>	<b>1,10</b>	<b>0,00</b>			<b>3,102</b>	<b>12,0</b>
4	3/4"	10,0				1149,93	1150,37	639,67	510,70	2,252									1,00	3025	<b>3025</b>	12
5	3/8"	20,0				1149,47	1149,56	639,63	509,93	2,254									1,00	3125	<b>3125</b>	12,25
6	ARENA	70,0				1153,32	1153,42	643,57	509,85	2,262									1,00	3025	<b>3025</b>	12,5
	% C.A	5,0																				
			<b>2,488</b>	<b>2,726</b>	<b>3,536</b>					<b>2,256</b>	<b>2,512</b>	<b>86,15</b>	<b>10,18</b>	<b>3,67</b>	<b>13,85</b>	<b>26,5</b>	<b>1,64</b>	<b>0,00</b>			<b>3,058</b>	<b>12,3</b>
7	3/4"	10,0				1163,28	1163,44	651,22	512,22	2,271									1,00	3075	<b>3075</b>	9
8	3/8"	20,0				1156,67	1157,23	651,03	506,20	2,285									1,04	3525	<b>3666</b>	12
9	ARENA	70,0				1159,64	1160,59	645,08	515,51	2,250									1,00	3240	<b>3240</b>	13,5
	% C.A	5,5																				
			<b>2,488</b>	<b>2,719</b>	<b>3,448</b>					<b>2,267</b>	<b>2,487</b>	<b>86,12</b>	<b>8,83</b>	<b>5,05</b>	<b>13,88</b>	<b>36,4</b>	<b>2,24</b>	<b>0,00</b>			<b>3,453</b>	<b>12,8</b>
10	3/4"	10,0				1167,83	1168,10	659,10	509,00	2,294									1,04	3700	<b>3848</b>	13,25
11	3/8"	20,0				1164,23	1164,42	656,74	507,68	2,293									1,04	3350	<b>3484</b>	10,5
12	ARENA	70,0				1170,12	1170,17	658,31	511,86	2,286									1,00	3380	<b>3380</b>	12,5
	% C.A	6,0																				
			<b>2,488</b>	<b>2,729</b>	<b>3,578</b>					<b>2,290</b>	<b>2,475</b>	<b>86,51</b>	<b>7,50</b>	<b>5,99</b>	<b>13,49</b>	<b>44,4</b>	<b>2,64</b>	<b>0,00</b>			<b>3,432</b>	<b>11,5</b>
13	3/4"	10,0				1167,64	1167,90	659,00	508,90	2,294									1,04	3150	<b>3276</b>	13
14	3/8"	20,0				1172,35	1172,68	665,16	507,52	2,310									1,04	3350	<b>3484</b>	13
15	ARENA	70,0				1165,63	1167,52	654,09	513,43	2,270									1,00	3325	<b>3325</b>	13,75
	% C.A	6,5																				
			<b>2,488</b>	<b>2,730</b>	<b>3,586</b>					<b>2,282</b>	<b>2,457</b>	<b>85,78</b>	<b>7,09</b>	<b>7,13</b>	<b>14,22</b>	<b>50,1</b>	<b>3,15</b>	<b>0,00</b>			<b>3,301</b>	<b>13,4</b>

Tabla No. 3.10: Datos de las mezclas asfálticas (Mina Tahuando)

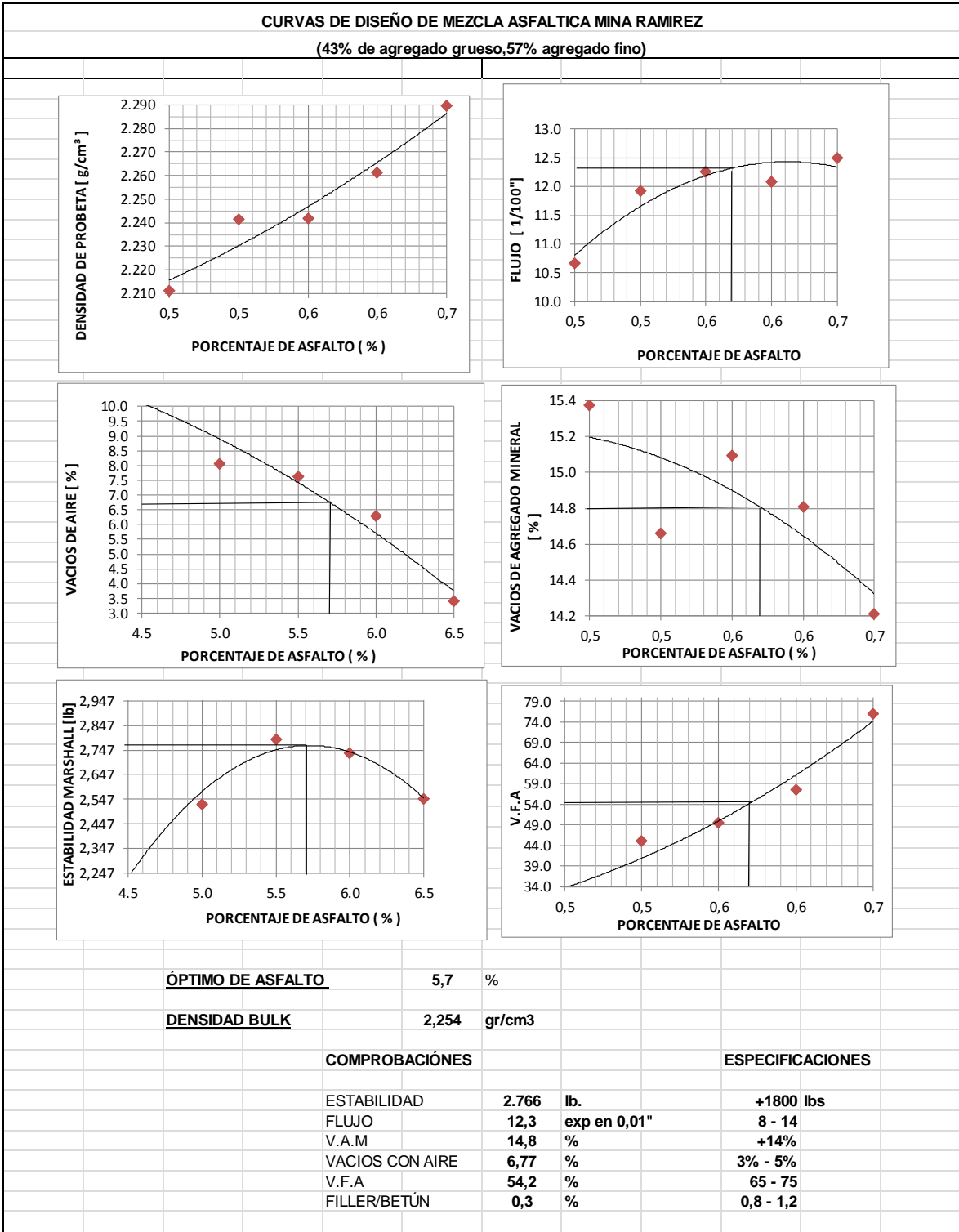


Grafico No. 3.1: Curva de diseño de mezcla asfáltica (Mina Ramírez)

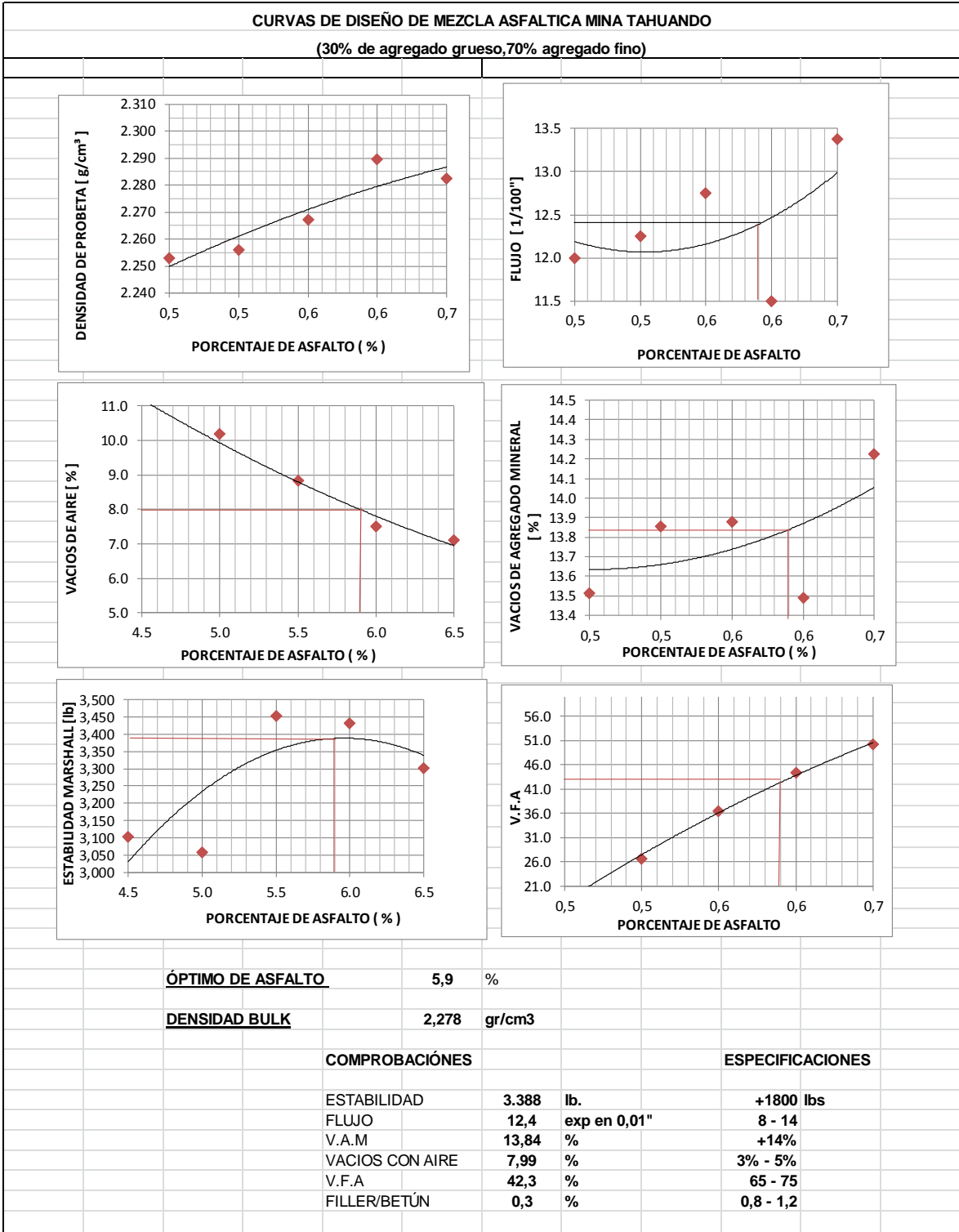


Grafico No. 3.2: Curva de diseño de mezcla asfáltica (Mina Tahuando)

### 3.1.5 Determinación de la Peladura (ASTM D3625/D3625M-12)

#### Alcance.-

Esta práctica trata sobre un procedimiento rápido para la observación visual de la pérdida de adherencia en bituminosos recubierta con mezclas de agregados compactados debido a la acción del agua destilada hirviendo.

#### Cálculos.-

#### Porcentaje de Peladura.

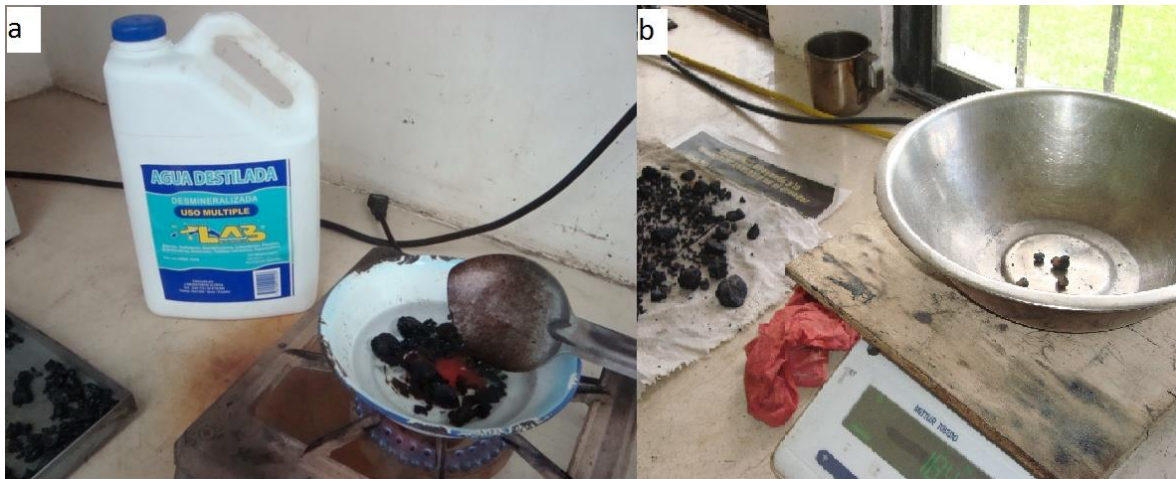
$$\% \text{ peladura} = \frac{B}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Donde:

A = Masa total de la muestra cubierta de asfalto, en (gr).

B = Masa de la muestra semicubierta de asfalto bajo la acción del agua destilada a 70°C, en (gr).

En las fotografías 3.4 a y 3.4 b se puede observar el ensayo de peladura



Fotografía No. 3.4: Ensayo de Peladura

#### Resultados.-

ASTM D3625/D3625 M-12			
MINA	MASA MUESTRA (gr)	MASA PELADURA (gr)	% PELADURA
RAMIREZ	252,27	10,37	4,11

Tabla No. 3.11: Peladura (Mina Ramírez)

ASTM D3625/D3625 M-12			
MINA	MASA MUESTRA (gr)	MASA PELADURA (gr)	% PELADURA
TAHUANDO	252.2	4.36	1.73

Tabla No. 3.12: Peladura (Mina Tahuando)

### Selección del contenido óptimo de asfalto (método Marshall)

Con los resultados obtenidos según el criterio de Estabilidad y Flujo del Método Marshall

Parámetro	Marshall	Norma	Especificación MOP	
Contenido de asfalto %	5,7	-		-
VMA %	14,8	13 Min	ASTM D1559	No cumple
Va %	6,77	3 a 5	ASTM D1559	No cumple
Gmb.	2,254	-	ASTM D1188	-
Gmm.	2,418	-	ASTM D2014	-
Estabilidad (Lb)	2.766	2200 Min.	ASTM D1559	Cumple
Flujo (Pulg/100)	12,3	8-14	ASTM D1559	Cumple

Tabla 3.13: Resumen de resultados del Diseño Marshall (Mina Ramírez)

Parámetro	Marshall	Norma	Especificación MOP	
Contenido de asfalto %	5,9	-		-
VMA %	13,8	13 Min	ASTM D1559	No cumple
Va %	7,99	3 a 5	ASTM D1559	No cumple
Gmb.	2,278	-	ASTM D1188	-
Gmm.	2,476	-	ASTM D2014	-
Estabilidad (Lb)	3.388	2200 Min.	ASTM D1559	Cumple
Flujo (Pulg/100)	12,4	8-14	ASTM D1559	Cumple

Tabla No. 3.14: Resumen de resultados del Diseño Marshall (Mina Tahuando)

Una vez obtenido el porcentaje de mezcla óptima en las curvas marshall tanto de la mina Ramírez como de la mina Tahuando se procede a fabricar 6 briquetas por mina. Como se ve en la tabla 3.1.4.3

Mina	Agregado grueso	Agregado fino	% asfalto optimo	# de Briquetas
Ramírez	43	57	5,7	6
Tahuando	30	70	5,9	6

Tabla No. 3.15: Porcentaje óptimo de Asfalto

### 3.2 Diseño de Mezcla Asfáltica en caliente optima

#### 3.2.1 Cantidad de asfalto en los baches de las mezclas optima

Se mezclan los agregados con el porcentaje de asfalto optimo realizado con el criterio Estabilidad y flujo del ensayo Marshall en donde se determina con las gráficas que relacionan el porcentaje de asfalto con la densidad, porcentaje de vacíos de aire, vacíos de agregado mineral, porcentaje de vacíos llenos de asfalto, estabilidad corregida, a continuación se presenta la tabla 3.16 y 3.17 donde se muestra la cantidad de asfalto en función de la masa de cada bache de la Mina Ramírez y Mina Tahuando.

# BRIQUETA	% ASFALTO	MASA BACHE (gr.)	CANTIDAD DE ASFALTO (gr.)
1	5,70	1098,07	62,59
2	5,70	1097,68	62,57
3	5,70	1096,02	62,47
4	5,70	1097,61	62,56
5	5,70	1094,38	62,38
6	5,70	1097,28	62,54

Tabla No. 3.16: cantidad de asfalto para cada briqueeta (Mina Ramírez)

# BRIQUETA	% ASFALTO	MASA BACHE (gr.)	CANTIDAD DE ASFALTO (gr.)
1	5,90	1107,12	65,32
2	5,90	1102,23	65,03
3	5,90	1103,21	65,09
4	5,90	1103,90	65,13
5	5,90	1102,50	65,05
6	5,90	1100,34	64,92

Tabla No. 3.17: cantidad de asfalto para cada briqueeta (Mina Tahuando)

#### 3.2.2 Obtención de diámetros y espesores de las briquetas (ASTM D3549)

##### Alcance.-

Este método de ensayo cubre la determinación del espesor (o altura) de especímenes compactados mezcla de pavimentación bituminosa.

**Resultados.-**

Identificación del Espécimen	LECTURAS (mm)					PROMEDIO (mm)
	E/D	1	2	3	4	
1	ESPESOR	64,21	63,31	63,80	64,42	63,935
	DIÁMETRO	101,65	101,52	101,75	101,72	101,660
2	ESPESOR	64,11	64,65	63,65	63,27	63,920
	DIÁMETRO	101,71	101,64	101,75	101,73	101,708
3	ESPESOR	63,04	63,35	64,20	63,43	63,505
	DIÁMETRO	101,82	101,75	101,92	101,82	101,828
4	ESPESOR	64,34	64,89	64,95	64,64	64,705
	DIÁMETRO	101,57	101,39	101,49	101,46	101,478
5	ESPESOR	63,59	64,69	65,39	65,21	64,720
	DIÁMETRO	101,58	101,53	101,34	101,41	101,465
6	ESPESOR	63,46	64,33	64,32	64,07	64,045
	DIÁMETRO	101,60	101,49	101,72	101,60	101,603

Tabla No.3.18: diámetros y espesores de las briquetas (Mina Ramírez)

Identificación del Espécimen	LECTURAS (mm)					PROMEDIO (mm)
	E/D	1	2	3	4	
1	ESPESOR	62,36	63,02	63	63,1	62,870
	DIÁMETRO	101,48	101,44	101,33	101,51	101,440
2	ESPESOR	62,6	63	62,86	62,2	62,665
	DIÁMETRO	101,45	101,47	101,51	101,58	101,503
3	ESPESOR	62,82	63,62	63,8	63,35	63,398
	DIÁMETRO	101,62	101,56	101,86	101,63	101,668
4	ESPESOR	63,38	63,65	64,05	64,1	63,795
	DIÁMETRO	101,67	101,53	101,45	101,53	101,545
5	ESPESOR	62,95	62,09	61,3	61,94	62,070
	DIÁMETRO	101,57	101,65	101,61	101,51	101,585
6	ESPESOR	62,83	62,76	63,62	63,6	63,203
	DIÁMETRO	101,77	101,75	101,82	101,83	101,793

Tabla No. 3.19: diámetros y espesores de las briquetas (Mina Tahuando)



Fotografía No. 3.5: Briquetas medidas

### 3.2.3 Determinación de la gravedad específica Bulk (ASTHO T166-078)

El alcance se vio en el párrafo 3.1.2, es este ensayo se pesan las briquetas con contenido óptimo de asfalto en seco, sumergido y saturado superficie y seco de las 6 briquetas de la mina Ramírez y 6 briquetas de la mina Tahuando, para obtener la densidad Bulk, se aplica la ecuación 3.1

#### Resultados.-

ASTHO T166-078-METODO DE ENSAYO A				
Masa del Especimen Seco(gr)	Masa del Especimen Sumergido (gr)	Masa del Especimen SSS(gr)	VOLUME N (c.c.)	Densidad Bulk
1149,270	636,930	1150,320	513,390	2,239
1156,180	644,850	1157,290	512,440	2,256
1155,590	644,830	1156,230	511,400	2,260
1156,530	641,500	1157,600	516,100	2,241
1155,330	640,510	1156,540	516,030	2,239
1157,710	644,620	1158,220	513,600	2,254

Tabla No. 3.20: gravedad específica Bulk (Mina Ramírez)

AASHTO T166-078-METODO DE ENSAYO A				
Masa del Especimen Seco(gr)	Masa del Especimen Sumergido(gr)	Masa del Especimen SSS(gr)	VOLUMEN (c.c.)	Densidad Bulk
1165,750	661,880	1170,260	508,380	2,293
1164,350	661,560	1164,950	503,390	2,313
1165,070	656,760	1165,470	508,710	2,290
1164,070	653,880	1164,570	510,690	2,279
1166,110	667,840	1166,650	498,810	2,338
1161,000	652,180	1161,730	509,550	2,278

Tabla No. 3.21: gravedad especifica Bulk (Mina Tahuando)

### 3.2.4 Gravedad especifica Máxima Teórica (AASHTO T 209-08)

Una vez realizado el ensayo Marshall se escogen dos briquetas ensayadas de cada mina y se las coloca en el horno, luego se procede a disgregar las briquetas, tratando que no queden partículas de agregado pegadas entre sí, una vez disgregadas se espera a que tenga la temperatura de 20°C y que el agua este a una temperatura de 25°C para realizar el ensayo, esto se determina con la ecuación 3.2

#### Resultados.-

AASHTO T 209-08				
Briqueta/ Núcleo	masa muestra (gr)	picnómetro +masa+H2O	picnómetro +H2O a 25°C	Gmm
1 y 2	2.306,6	8.745,8	7.391,1	2,423

Tabla No. 4.6: Gravedad especifica Máxima Teórica (Mina Ramírez)

AASHTO T 209-08				
Briqueta/ Núcleo	masa muestra (gr)	picnómetro +masa+H2O	picnómetro +H2O a 25°C	Gmm
1 y 2	2.324,5	8.776,4	7.391,1	2,475

Tabla No. 4.7: Gravedad especifica Máxima Teórica (Mina Tahuando)

## **4 CAPÍTULO IV.**

### **4.1 Ensayos de probetas, obtención de resultados y análisis de correlación estabilidad vs. Módulo de rigidez**

#### **4.1.1 Ensayo de Modulo de Rigidez para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto según el método EN 12697-26:2004 Anexo C, “Indirect tensión in cylindrical specimens Test**

##### **Alcance.-**

Esta norma europea especifica los métodos para caracterizar la rigidez de las mezclas bituminosas por pruebas alternativas, incluyendo ensayos de flexión y las pruebas directas e indirectas a la tracción. 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.

##### **4.1.1.1 Introducción**

Es un método simple y representativo, permite simular la respuesta del pavimento flexible mediante la cual se obtiene la carga máxima es un ensayo no destructivo.

El procedimiento se utiliza para clasificar mezclas bituminosas sobre la base de la rigidez, como una guía para relativa rendimiento en el pavimento, para obtener datos para estimar el comportamiento estructural de la carretera y para juzgar los datos de prueba de acuerdo con las especificaciones para las mezclas bituminosas.

Como esta norma no impone un determinado tipo de dispositivo de prueba de la elección precisa de las condiciones de prueba depende de las posibilidades y el rango de trabajo del dispositivo utilizado.

##### **4.1.1.2 Equipo utilizado**

1. Neumático de carga de acero
2. Marco de carga de acero
3. Celda de carga
4. Carga superior de la platina
5. Muestra de ensayo
6. Ajustador de LVDT (Linear Variable Differential Transducer)

- 7. LVDT marco de montaje
- 8. Platina
- 9. Alineación LVDT

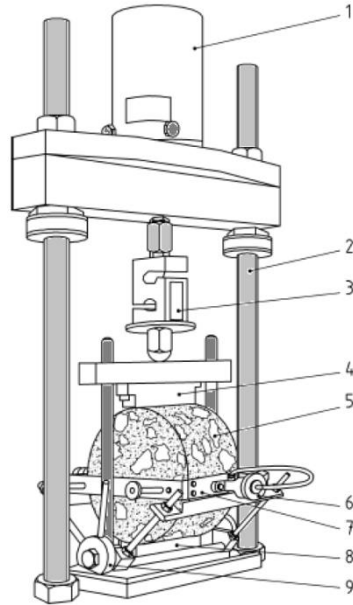


Grafico No. 4.1: Equipo de prueba

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

CUADRO DE DIMENSIONES		
Díámetro del Modelo nominal mm.	Ancho de la franja de carga mm.	Profundidad nominal del segmento cóncavo mm
80	10±1	0.3±0.05
<b>100</b>	<b>12±1</b>	<b>0.4±0.05</b>
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: Cuadro de dimensiones

Para nuestra investigación se fabricaron briquetas de 100mm de diámetro.

#### 4.1.1.2.1 Pieza para medir deformaciones

Esta pieza es capaz de controlar la deformación diametral y horizontal de la muestra, durante la aplicación de pulsos de carga, y la precisión de la medición es de 1 micra  $\pm 50$  micras. El valor máximo de deformación horizontal, es la amplitud del cambio de diámetro horizontal de la muestra ver figura 4.2

Esta pieza está conformada por los siguientes elementos

1. Ajustador de LVDT
2. LVDT (Linear variable Differential Transducer)
3. Marco de montaje
4. Sujetadores

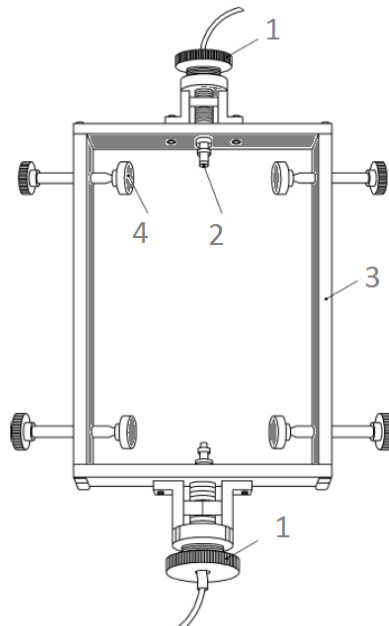


Grafico No. 4.2: Pieza para medir deformaciones

#### 4.1.1.2.2 Pieza de alineación

Está conformado por dos piezas LVDT que están montados uno frente al otro en un marco rígido. En el momento de la prueba el marco se sostendrá con las pinzas y no estará en contacto con el equipo

1. Canal de localización del marco para la carga
2. Alineación LVDT marco a marco
3. Tuercas de ajuste
4. Barra de liberación de alineación

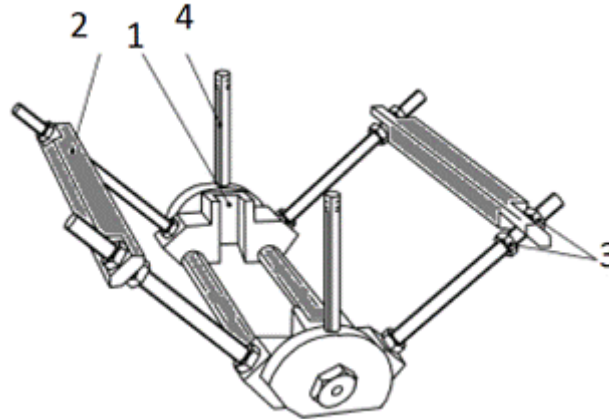


Grafico No. 4.3: Pieza de alineación

#### 4.1.1.2.3 Preparación de la Muestra

Los especímenes tendrán un espesor entre 30 mm y 75 mm, y un diámetro nominal de 80 mm, 100 mm, 120 mm, 150 mm o 200 mm, en nuestro caso tiene un espesor de 65mm y un diámetro de 100mm, estas dimensiones se elegirán en relación con el tamaño máximo total de la mezcla, el espesor de cada muestra se determinara de acuerdo a la norma EN 12627-29

#### 4.1.1.2.4 Condiciones de almacenamiento

Para periodos de almacenamiento inferiores a 4 días, la temperatura de almacenamiento no será superior a 25°C, para el almacenamiento de 4 días, la temperatura no deberá superar los 5°C. Las temperaturas no superaran los 5°C. Las temperaturas de almacenamiento asi como el tiempo serán registrados y las muestras se almacenaran en una cara plana sobre una superficie horizontal y no se deberá colocar una muestra sobre otra

#### 4.1.1.2.5 Procedimiento de Ensayo

La muestra será colocada en un ambiente de temperatura controlada y será vigilada hasta que se haya alcanzado la temperatura de ensayo, la temperatura de la muestra deberá ser determinada por sensores en la superficie curva y el centro de la muestra, la diferencia de temperatura entre el exterior y el centro no deberá ser mayor a 0.4°C, con esto se garantizará que la temperatura es la correcta en el momento de la prueba. A temperaturas más altas de prueba, algunas mezclas pueden presentar una deformación excesiva que conduce al colapso de la muestra.

#### 4.1.1.2.6 Montaje de la prueba

Los rodillos de carga se limpiarán con un disolvente después de obtener la muestra a la temperatura especificada, se alineará 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

#### 4.1.1.2.7 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

#### 4.1.1.2.8 Cálculos del Módulo de Rigidez

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

#### **Módulo de Rigidez.**

$$S_m = \frac{F \times (v+0.27)}{(z \cdot h)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

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 (mm.)

h: Espesor medio de la muestra, expresado en milímetros (mm.)

v: Relación de Poisson

Si la relación e 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 fórmula:

### **Módulo de Rigidez ajustado.**

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

Donde:

S'm: Modulo 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

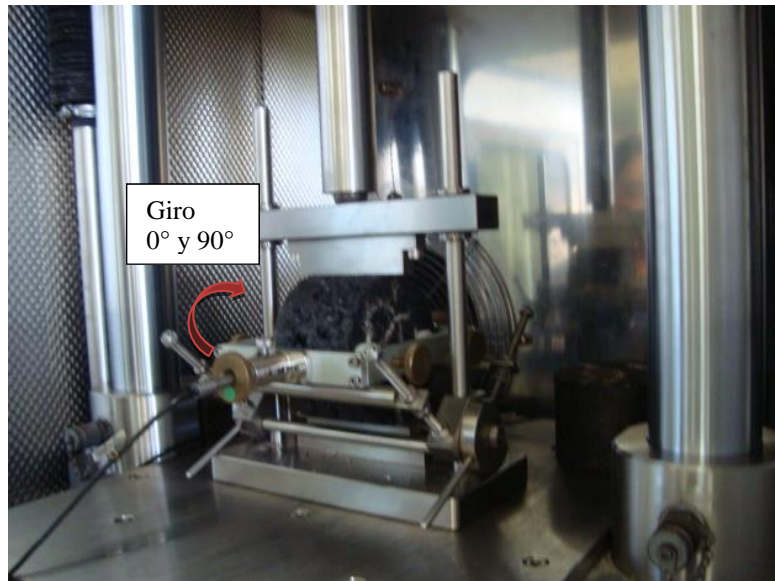
S<sub>m</sub>: Modulo de rigidez expresado en Megapascales(Mpa.), para un factor de carga k, expresado en grados Celsius (°C).

La muestra se extrae de equipo de prueba, y se gira 80°±10° 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°, 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>7</sup>.

---

<sup>7</sup> 31 Bituminous mixtures test methods for hot mix asphalt, BS EN 12697-26 Stiffness, Annex C



Fotografía No. 4.1: Ensayo de módulo de rigidez

#### 4.1.1.3 Descripción del ensayo para determinar el módulo de rigidez

El ensayo EN 12697-26: 2006 anexo C, se basa en la normativa europea “Test de tensión indirecta en probetas cilíndricas”.

Es un método no destructivo que determina el módulo de rigidez de los materiales asfálticos para pavimentos mediante una deformación horizontal seleccionada. Los especímenes que se ensayan son diámetros de 100 ó 150 mm y un espesor entre 50 a 70 mm. Al momento de realizar el ensayo, la probeta cilíndrica es sometida a cargas axiales de compresión de forma ondulada (Haversine). La carga vertical se aplica en un plano diametral de la probeta cilíndrica. La máquina COOPER TECHNOLOGY (CRT-HYD25-II) genera pulsos de cargas en forma repetitiva con rangos de descanso. Estos rangos de tiempos de carga están entre 50 y 150 milisegundos a continuación presentamos un resumen de la forma del pulso de carga.

El tiempo para llegar a la carga máxima se mide desde la carga cero hasta su máximo valor, este tiempo es de  $124 \pm 4$  ms. (milisegundos), que equivale aproximadamente a 100km/h.

La carga máxima se ajustara para tener un factor de área de la carga de  $0,6 \pm 0,1$ . Valor que se recomienda para cargas rutinarias. Este factor de área de carga (Nunn andSmith, 1997) es la relación entre el área bajo la curva de carga y el Tiempo de carga integrada desde que se aplica la carga hasta que se llega a su máximo de carga.

La carga máxima se corregirá de manera de tener una deformación horizontal transiente máxima de 0,005% del diámetro de la probeta. Para este estudio se utilizaron briquetas de un diámetro del orden de 100 mm, entonces la deformación corresponderá a 5 micrones. El período de repetición del pulso aplicado es de  $3 \pm 0,1$  segundos, equivalente a una frecuencia de 0,33Hz

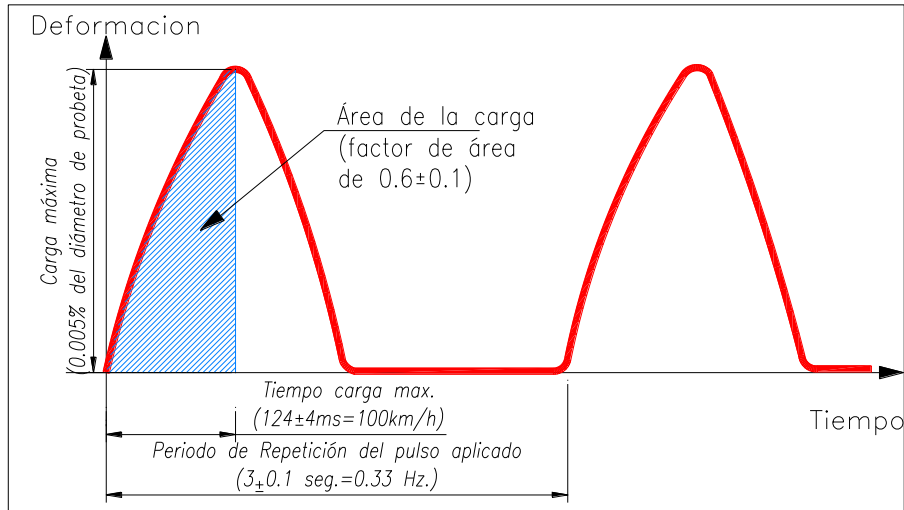


Grafico No. 4.4: Forma de pulso de carga y factor de área de carga

### Resultados.-

			EN 12697-26					
NÚCLEO	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	Módulos Resiliente					
			Tiempo de carga de subida(ms)	Deformación horizontal ( $\mu$ m)	Deformación horizontal %	dif. % entre módulos ajustados	Medido (Mpa)	Ajustado (Mpa)
1	63,935	101,660	124,90	5,00	0,0049	10	2.068	2.080
2	63,920	101,708	124,00	5,00	0,0050	5	1.611	1.617
3	63,505	101,828	121,80	5,10	0,0050	3	1.656	1.666
4	64,705	101,478	123,30	5,10	0,0050	6	1.436	1.439
5	64,720	101,465	126,40	5,00	0,0050	9	1.433	1.436
6	64,045	101,603	123,60	5,10	0,0050	7	2.271	2.284

Tabla No. 4.2: Módulos de rigidez (Mina Ramírez)

			EN 12697-26					
NÚCLEO	ASTM D3549 Espesor del Especimen (mm)	Diámetro del Especimen (mm)	Módulos Resiliente					
			Tiempo de carga de subida(ms)	Deformación horizontal ( $\mu$ m)	Deformación horizontal %	dif. % entre módulos ajustados	Medido (Mpa)	Ajustado (Mpa)
1	62,870	101,440	130,1	5	0,00490	1	1744	1761
2	62,665	101,503	125,4	5	0,00500	2	1877	1877
3	63,398	101,668	123,5	5	0,00500	5	1629	1630
4	63,795	101,545	122,8	4,9	0,00480	4	2000	2013
5	62,070	101,585	123,8	5	0,00500	9	1915	1916
6	63,203	101,793	124,6	5,1	0,00500	5	1221	1226

Tabla No. 4.3: Módulos de rigidez (Mina Tahuando)

Como se puede ver en los resultados de la diferencia de porcentajes entre módulos ajustados medidos con la briqueta en posición normal y girada a 90° cumple con la norma que indica que esta diferencia no puede ser menor en 20% y mayor en 10%.

También se cumple que la deformación horizontal es 0.005% del diámetro del espécimen, para las briquetas de la mina Ramírez y la mina Tahuando.

Las especificaciones del método EN 12697-26:2004 Anexo C, “Indirect tensión in cylindrical specimens Test, se resumen a continuación:

	NORMA 12697-26:2004
Controla	Deformación
Carga (25°C)	
Frecuencia (Hz) 3±0.1 seg	0,33
Tiempo de pulso de carga (Risetime) (ms) Equivale a 100Km/h	124±4
Deformación vertical acumulada (mm)	0,005% del diámetro de la probeta
Ciclos de Carga	5: acondicionamiento 5: medición
Módulo de rigidez (Mpa)	$P(u+0.27)/D*h$
Coefficiente de Poisson para 25°C (mezclas asfálticas en caliente)	0,35
Mr corregido	$Mr(1-0,332*(\log Mr)-1,82)*(0,6-k)$
Media de módulo de rigidez entre 1er y 2do ensayo	+10% -20%
Factor de área de carga	0,6±0,1

Tabla No. 4.4: Especificaciones método EN12697-26:2004

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

Una vez que se realizó en ensayo de módulos de rigidez que es un ensayo no destructivo de las 6 briquetas de la mina Ramírez y 6 briquetas de la Mina Tahuando, se espera 24 horas para realizar el ensayo Marshall que es un ensayo destructivo por aplastamiento 12 de las briquetas indicadas, donde arroja los siguientes resultados, también estos resultados se pueden ver en el anexo 2(Ensayos de Laboratorio)

##### Resultados.-

ASTM D6927				
Estabilidad (lb)				Flujo 0.01"
Medida	Factor de Corrección	Corregida	Estabilidad (N) 1Lb=4.45N	
2.950	1,00	2.950	13.127,5	12,75
2.650	1,00	2.650	11.792,5	13,30
2.650	1,00	2.650	11.792,5	12,00
3.000	1,00	3.000	13.350,0	14,00
2.525	1,00	2.525	11.236,3	11,50
3.300	1,00	3.300	14.685,0	13,50
	PROMEDIO	2.846	12.664,0	25,68

Tabla No. 4.5: Estabilidad y flujo Marshall (Mina Ramírez)

ASTM D6927				
Estabilidad (lb)				Flujo 0.01"
Medida	Factor de Corrección	Corregida	Estabilidad (N) 1Lb=4.45N	
3280	1,04	3.411	15.179,8	11,50
3350	1,04	3.484	15.503,8	9,50
3250	1,04	3.380	15.041,0	10,00
3750	1,00	3.750	16.687,5	11,00
3360	1,04	3.494	15.550,1	8,50
3150	1,00	3.150	14.017,5	13,00
	PROMEDIO	3.445	15.330,0	10,58

Tabla No. 4.6: Estabilidad y flujo Marshall (Mina Tahuando)

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

#### 4.3.1 Análisis de correlación estabilidad vs módulo de Rigidez, para cada tipo de mezcla asfáltica en caliente propuesto

A continuación se presenta el análisis de los datos para lo cual colocamos en las siguientes unidades estabilidad Marshall en Newton y el módulo de rigidez en Mpa

##### 4.3.1.1 Cálculo estadístico del coeficiente de correlación lineal

Obtenidos los valores de Estabilidades y Módulos de Rigidez de la mezcla óptima, realizamos un cuadro donde la variable dependiente es la estabilidad y la variable independiente es el módulo de rigidez, para lo cual calculamos el coeficiente de correlación lineal (R) , para ver si existe correlación entre la estabilidad Marshall y el Modulo de rigidez.

A continuación se realizara un breve resumen del coeficiente de correlación lineal que es el cociente entre la covarianza y el producto de las desviaciones típicas de las variables x e y. La fórmula del coeficiente lineal se expresa de la siguiente forma:

##### Coefficiente de correlación lineal

$$R = \frac{\sigma_{xy}}{(\sigma_x * \sigma_y)} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

$\sigma_{xy}$  = Covarianza

$\sigma_x$  = Desviación típica en x

$\sigma_y$  = Desviación típica en y

##### Desviación típica de variable x

$$\sigma_x = \sqrt{\left[ \frac{\sum x^2}{(\# \text{datos})} \right] - \bar{x}^2} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Donde:

$\sum x^2$  = sumatoria de variable x<sup>2</sup>

#datos= número de datos

$\bar{x}$ = media de variable x

### Desviación típica de variable y

$$\sigma_y = \sqrt{\left[ \frac{\Sigma y^2}{(\# \text{datos})} \right] - \bar{y}^2}$$

**Ecuación 4.5**

Donde:

$\Sigma y^2$ = sumatoria de variable  $y^2$

#datos= número de datos

$\bar{y}$ = media de variable y

### Media de la variable x

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{\# \text{datos}}$$

**Ecuación 4.6**

Donde:

$\Sigma x$ = sumatoria de variable x

#datos= número de datos

### Media de la variable y

$$\bar{y} = \frac{\Sigma y}{\# \text{datos}}$$

**Ecuación 4.7**

Donde:

$\Sigma y$ = sumatoria de variable y

#datos= número de datos

### Covarianza de las variables típicas x e y

$$\sigma_{xy} = \frac{\Sigma xy}{\# \text{datos}}$$

**Ecuación 4.8**

Donde:

$\Sigma xy$ = sumatoria de variable x e y

#datos= número de datos

El signo del coeficiente de correlación es el mismo que de la covarianza

- Si la covarianza es positiva, la correlación es directa.
- Si la covarianza es negativa, la correlación es inversa.
- Si la covarianza es nula, no existe correlación.

El coeficiente de correlación lineal es un número real comprendido entre  $-1$  y  $1$ .

$$-1 \leq R \leq 1$$

- Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $-1$  la correlación es fuerte e inversa, y será tanto más fuerte cuanto más se aproxime  $R$  a  $-1$ .
- Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $1$  la correlación es fuerte y directa, y será tanto más fuerte cuanto más se aproxime  $R$  a  $1$ .
- Si el coeficiente de correlación lineal toma valores cercanos a  $0$ , la correlación es débil.
- Si  $R = 1$  ó  $-1$ , los puntos de la nube están sobre la recta creciente o decreciente. Entre ambas variables hay dependencia funcional.

### **Resultados.-**

Una vez realizado los cálculos para obtener el coeficiente de correlación lineal ( $R$ ) de la mina Ramírez obtenemos que  $R=0,7324$ , que significa que una correlación fuerte y directa.

Para la mina Tahuando obtenemos un coeficiente de correlación lineal ( $R$ )= $0,9267$  que es una correlación fuerte y directa.

En conclusión si hay correlación entre la estabilidad obtenida con el método Marshall y los módulos de rigidez.

A continuación se detalla los cálculos obtenidos y las gráficas de las ecuaciones de la línea de tendencia de las variables X (Estabilidad) y las variables Y (Módulos de rigidez) de las mezclas asfálticas fabricadas con agregados de la mina Ramírez y la mina Tahuando.

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LA ESTABILIDAD Y EL MÓDULO DE RIGIDEZ					
MINA RAMIREZ					
HORIZONTAL X	VERTICAL Y				
Estabilidad (N)	Módulos (Mpa)				
13127,5	2.080,000				
11792,5	1.617,000				
11792,5	1.666,000				
13350,0	1.439,000				
11236,3	1.436,000				
14685,0	2.284,000				
valores	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy
1	13127,5	2080,000	172331256	4326400	27305200,00
2	11792,5	1617,000	139063056	2614689	19068472,50
3	11792,5	1666,000	139063056	2775556	19646305,00
4	13350,0	1439,000	178222500	2070721	19210650,00
5	11236,3	1436,000	126253314	2062096	16135255,00
6	14685,0	2284,000	215649225	5216656	33540540,00
SUMA	75983,8	10522,0	970582407,8	19066118	134906422,5
# DATOS	6				
$\bar{x}$	$=\Sigma x/\#datos$	12663,9583			
$\bar{y}$	$=\Sigma y/\#datos$	1753,6667			
$\sigma_{xy}$	$=\Sigma xy/\#datos$	276042,1528			
$\sigma_X$	$\sqrt{\left(\frac{\Sigma x^2}{\#Datos}\right) - \bar{x}^2}$	1178,0891			
$\sigma_Y$	$\sqrt{\left(\frac{\Sigma y^2}{\#Datos}\right) - \bar{y}^2}$	319,9055			
<b>R</b>	$\sigma_{xy}/(\sigma_X*\sigma_Y)$	0,7324	correlación es fuerte y directa		
<b>R<sup>2</sup></b>		0,5365			

Tabla No. 4.7: Calculo del coeficiente de correlación lineal (R) (Mina Ramírez)

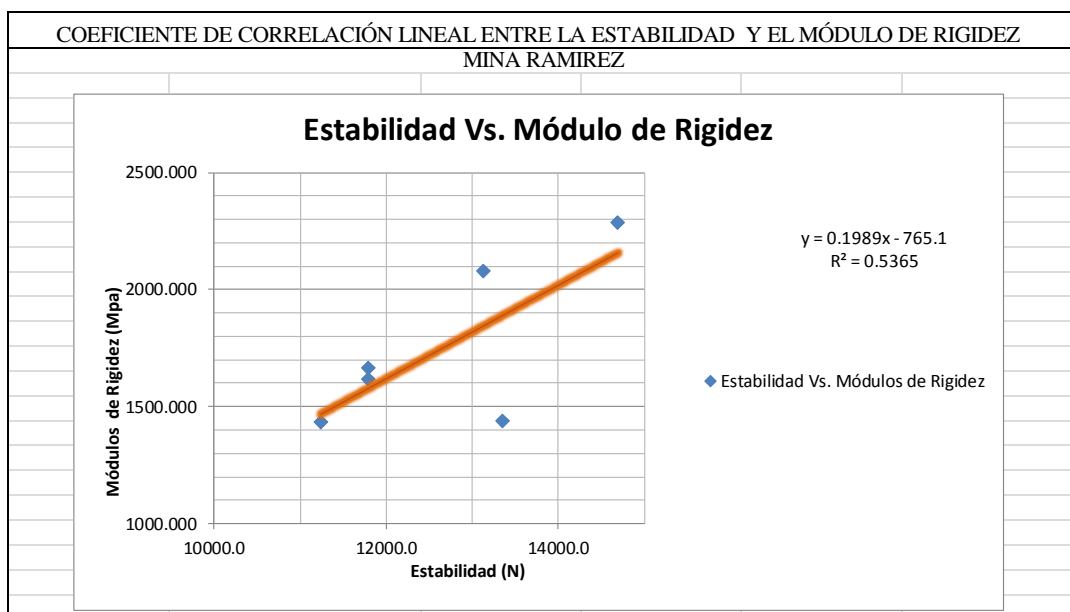


Grafico No.4.4: Calculo del coeficiente de correlación lineal (R) (Mina Ramírez)



#### 4.3.1.2 Ajuste del módulo de rigidez (Y') con la ecuación de la línea de tendencia

También se realizó el ajuste ecuación de la lineal de tendencia en donde variaron los datos de Modulo de rigidez, que se encontraban dispersos continuación una breve descripción.

#### Tendencia de las variables x e y

$$Y' = A(X) + m \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Donde:

A= pendiente de una línea de regresión lineal creada con los datos de los argumentos conocido x y conocido y

M= punto en el que una línea intersecará el eje y utilizando los valores X e Y existentes

X=variable de las abscisas (Estabilidad en Newton)

Y=variable de las ordenadas (Módulos de Rigidez en Megapascales)

Y'= Módulos de Rigidez Ajustado con formula de tendencia (Mpa)

AJUSTE DEL COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL		
MINA RAMIREZ		
0.199	A	0.1989
-765.104	m	-765.104
X	Y	Y'
		$y = A * x + m$
<b>Estabilidad</b>	<b>Módulos</b>	<b>Módulos corregidos</b>
(N)	(Mpa)	(Mpa)
13127.5	2 080.000	1845.862
11792.5	1 617.000	1580.340
11792.5	1 666.000	1580.340
13350.0	1 439.000	1890.115
11236.3	1 436.000	1469.706
14685.0	2 284.000	2155.637

$$Y' = A (X) + m$$

Tabla No. 4.9: Ajuste del coeficiente de correlación lineal(R) (Mina Ramírez)

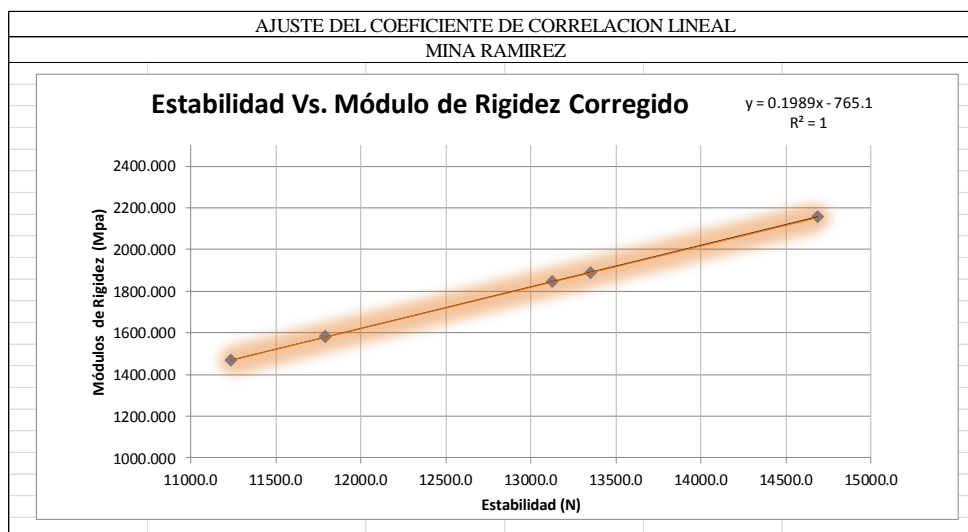


Gráfico No.4.6 Calculo del coeficiente de correlación lineal(R) (Mina Ramírez)

AJUSTE DEL COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL		
MINA TAHUANDO		
0.3030	A	0.3030
-2908.2	m	-2908.2
X	Y	Y'
		$y=A * x+m$
		<b>Y'=A (X)+m</b>
<b>Estabilidad (N)</b>	<b>Módulos (Mpa)</b>	<b>Módulos corregidos (Mpa)</b>
15179.8	1761.0	1691.7
15503.8	1877.0	1789.8
15041.0	1630.0	1649.6
16687.5	2013.0	2148.5
15550.1	1916.0	1803.9
14017.5	1226.0	1339.5

Tabla No. 4.10: Ajuste del coeficiente de correlación lineal(R) (Mina Tahuando)

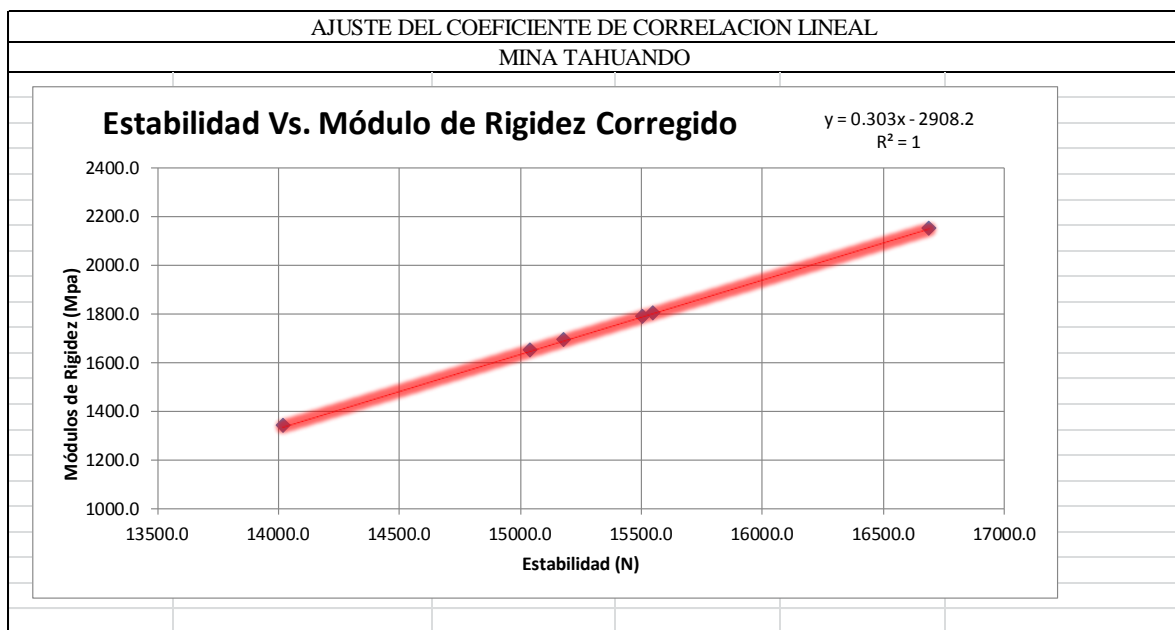


Grafico No.4.7 Calculo del coeficiente de correlación lineal(R) (Mina Tahuando)

## 5 CAPÍTULO V.

### 5.1 Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1.1 Conclusiones

- Se concluye que si hay correlación entre la estabilidad y módulo de rigidez, mediante la ecuación de correlación lineal con los datos de estabilidad y modulo de rigidez, de mezcla asfáltica constituidas con agregados de la mina Ramírez y asfalto de la refinería de Esmeraldas, obtenemos un valor de  $R=0,73$  que indica que la correlación es fuerte y directa. Al igual que la mezcla asfáltica de constituida con agregados de la mina Tahuando, cuyo resultado es  $R=0,92$  lo que indica que la correlación es fuerte y directa.
- Los agregados de la mina Ramírez y Mina Tahuando, cumplen con las especificaciones del MOP, en cuanto a granulometría, (tabla 405-5.1), a excepción de los porcentaje de la malla No. 200 que no cumple con la especificación ya que los agregados de la mina Ramírez tienen un porcentaje de mezcla en malla No.200 de 1,55, y los agregados de la mina Tahuando, tiene un porcentaje de mezcla en malla No.200 de 1,66. Los agregados de estas dos minas también cumple con las especificaciones en los ensayos de: desgaste, partículas de caras fracturadas, Equivalente de arena, partículas livianas, tanto la mina Ramírez y la mina Tahuando, tienen la potencia necesaria para abastecer las vías del cantón de Ibarra.

El asfalto AC-20, proveniente de la refinería de esmeraldas también cumple con las especificaciones del MOP (tabla 810.2.1) en cuanto a los ensayos de: densidad, punto de chispa, penetración, viscosidad, ductilidad.

- De acuerdo al porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica con agregados de la mina Ramírez arrojo un resultado de 6,77 % de vacíos esto quiere decir que es una mezcla asfáltica semidensa según la clasificación de mezclas asfálticas por proporción de vacíos, el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica con agregados de la mina Tahuando es de 7,99 % igualmente se trata de una mezcla asfáltica semidensa. también se clasifican como una mezcla continua por su cantidad distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo.
- Los porcentajes de vacíos en la mezcla con los agregados de la Mina Ramírez da un resultado de 6,77% y en la Mina Tahuando es igual a 7,99%, ya que son valores que

sobrepasan la norma que está en el rango de 3% a 5%, se puede decir que cuando los porcentajes de vacíos son altos, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye.

La vida útil de un pavimento está en función del contenido de vacíos, por lo tanto con los valores de vacíos obtenidos en la mina Ramírez y Tahuando se concluiría que la vida útil del pavimento no es la óptima.

- Según las especificaciones del MTOP (tabla 405.5.5) el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM) determina el tipo de mezcla, así para la Mina Ramírez tenemos un VAM de 14.8% lo que equivale a un tipo de mezcla C y D, en la Mina Tahuando tenemos un VAM de 13.8% lo que equivale a un tipo E.
- Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y módulo de rigidez con mezclas asfálticas una misma proporción de agregados y porcentaje óptimo de asfalto, se ha determinado que el ensayo de módulos de rigidez es sensible para determinar las variaciones en la resistencia de las mezclas asfálticas cuando hay variación en las proporciones de los materiales por mínimas que sean estas.
- La deformación horizontal en los ensayos de módulos de rigidez de las briquetas elaboradas con agregados de la mina Ramírez estuvieron en el rango de 4.9  $\mu\text{m}$  a 5.2  $\mu\text{m}$ . por lo que cumplen la deformación horizontal acumulada que especifica la norma, será de 0.005% del diámetro de la biqueta. La deformación horizontal en los ensayos de módulos de rigidez de las briquetas elaboradas con agregados de la mina Tahuando están en el rango de 4.8  $\mu\text{m}$  a 5.1  $\mu\text{m}$  igualmente cumple la especificación EN 12697-26 donde especifica que la deformación horizontal acumulada, será de 0.005% el diámetro de la biqueta.
- Una vez definida la ecuación de correlación lineal se llega a determinar que los parámetros o variables que intervienen en esta, no se pueden generalizar para obtener módulos en función de la estabilidad de otras mezclas asfálticas fabricadas con otros agregados ya que las propiedades mecánicas de los agregados cambian de acuerdo al lugar geográfico, así como las condiciones externas como temperatura, carga y aplicación de carga

### 5.1.2 Recomendaciones

- Para que la mezcla cumpla con las especificaciones del MTOP en cuanto a la relación Filler/Betun , es necesario Colocar filler ya que los porcentajes de vacíos sobrepasan la norma.
- Es necesario que una mezcla semidensa tenga cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional durante la operación de los vehículos para proporcionar espacios por donde pueda fluir el asfalto.
- Es recomendable que una mezcla tenga un porcentaje de vacíos equilibrado ya que a mayor porcentaje de vacíos, mayor entrada de agua y aire que deteriora la mezcla y a menor cantidad de vacíos menos permeable y puede producir exudación es recomendable menor de 8%.
- Se recomienda utilizar el equipo COOPER TECHNOLOGY (CRT-HYD25-II) permite evaluar las propiedades mecánicas de materiales asfálticos para pavimentos para realizar nuevos diseños de mezcla a través de la caracterización del material, la valoración de pavimentos en servicio y el control de calidad.
- El método (EN 12697-26) es recomendable para la determinación de Módulo de Rigidez en Laboratorio, pues representa de mejor forma el módulo de Young.
- Las investigaciones que se podrían realizar son:
  - obtener módulos de las mezclas en las plantas de hormigón asfáltico de las empresas constructoras de la ciudad de Ibarra, para someterlas a diferentes temperaturas para determinar las temperaturas críticas del módulo de rigidez.
  - variar la relación Betún/filler en las mezclas asfálticas para ver la variación del módulo de rigidez y determinar la relación óptima.
  - obtener módulos de rigidez de una mezcla asfáltica ensayándolos cada seis meses en el transcurso de 2 años , para ver la variación del modulo en el tiempo.

## Referencias bibliográficas

- AENOR (2007), Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Serie de
- Alejandro padilla Rodríguez ,Capítulo 3 Mezclas asfálticas, página 44
- Arenas Lozano, Diego L. En, "Teoría de los pavimentos, Parte 1.", Cali.
- Asphalt Institute Serie de Manuales No 22 (MS -22). Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Edición 22. Estados Unidos. FHWA.1992. pág. 275.
- Comportamiento dinámico de una mezcla asfáltica de rodadura, revista de Ingeniería de construcción N°7, Julio-Diciembre 1989, Gerardo Echeverria, J.Pablo Covarrubias, Hugo García, Santiago, Chile
- Dávila M, Juan Manuel. Análisis Comparativo de Modulo Resiliente y Ensayos de Deformación Permanente en Mezclas Asfálticas del Tipo (MDC2) en Briquetas Compactadas Con Matillo Marshall y Compactador Giratorio. Primera Edición. Colombia. Universidad Javeriana. 2005. pág. 173.
- Estado del arte (Diseño de mezclas asfálticas) Cáceres Morales, C.A. 2007 Análisis de la Metodología Superpave, México.
- Estudio geológico – geotécnico ampliación a 4 carriles de la carretera panamericana tramo norte Ibarra - Tulcán - Rumichaca
- Ing. Gustavo Yáñez C., manual Visualizado de ensayos para laboratorio general de pavimentos
- Ing. Gustavo Yáñez C., Diseño Mezcla Asfáltica “ Método Marshall”
- Ing. Minaya González, Silene. Manual de Laboratorio Ensayos para Pavimentos, Volumen I Perú 2001. Pág. 188.
- Ing. Aníbal Ávila, Pavimentos Flexibles y Rígidos. Pág. 138
  
- Norma MOP-001-f-2002. Tomo I y II, Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes.
- Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)
- Normas UNE-EN 13108. Tomo 3. AENOR Ediciones, Madrid, noviembre de 2007.
- Rico Rodríguez, Alfonso. Pavimentos Flexibles, Problemática Metodologías. Publicaciones técnica 104 de Diseño y Tendencias. México. San Fandil. 1998. Pág. 145.

- [http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/882168/1/Ibarra\\_inundada\\_de\\_veh%C3%ADculos\\_.html#.U6LoVv15Mdp](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/882168/1/Ibarra_inundada_de_veh%C3%ADculos_.html#.U6LoVv15Mdp)
- <https://www.youtube.com/watch?v=YZ5n7rmvznM> (ensayo marshal explicacion video)
- [http://www.vitutor.com/estadistica/bi/coeficiente\\_correlacion.html](http://www.vitutor.com/estadistica/bi/coeficiente_correlacion.html)

# **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

### **FACTORES DE CORRECCIÓN PARA CALCULAR LA ESTABILIDAD CORREGIDA.**

TOR DE CORRECCION	VOLUMEN DE LAS BRIQUETAS EN C.C.															ESPESOR BRIQUETAS CORREGIDA	
<b>1.92</b>	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367			4.44
<b>1.79</b>	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379					4.60
<b>1.67</b>	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392				4.76
<b>1.56</b>	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405				4.92
<b>1.47</b>	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420		5.80
<b>1.39</b>	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431						5.24
<b>1.25</b>	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456				5.56
<b>1.19</b>	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470			5.72
<b>1.14</b>	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482					5.87
<b>1.09</b>	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495				6.03
<b>1.04</b>	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508				6.19
<b>1.00</b>	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522			6.35
<b>0.93</b>	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546						6.67
<b>0.89</b>	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559				6.83
<b>0.86</b>	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573			6.99
<b>0.83</b>	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585					7.14
<b>0.81</b>	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598				7.30
<b>0.78</b>	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610					7.46

## **ANEXO 2**

### **CARACTERIZACION AGREGADOS MINA RAMÍREZ**



**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**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

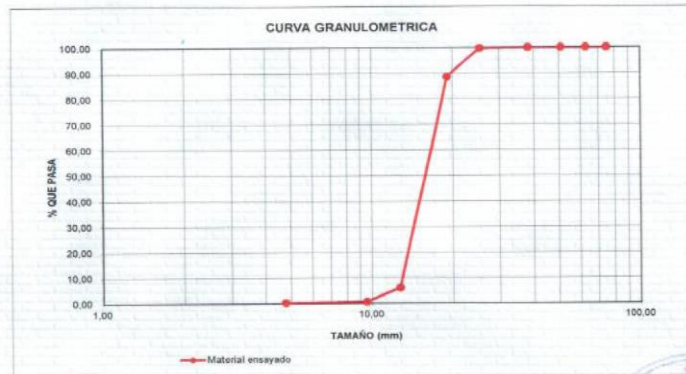
**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagia Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2947M  
**HOJA:** 1 de 9  
**CANTERA:** Río Chota  
**LOCALIZACIÓN:** Ramírez

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 plg  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:** 1 plg

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	43	43	0,28	99,72
3/4"	19,00	1722	1765	11,44	88,56
1/2"	12,70	12719	14484	93,87	6,13
3/8"	9,51	843	15327	99,33	0,67
No.4	4,75	46	15373	99,63	0,37
Pasa No. 4		57	57		
SUMA		15430	15430		



**OBSERVACIONES:**  
 NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área

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



Calidad en la construcción comienza en la realidad



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

Ventimilla 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**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

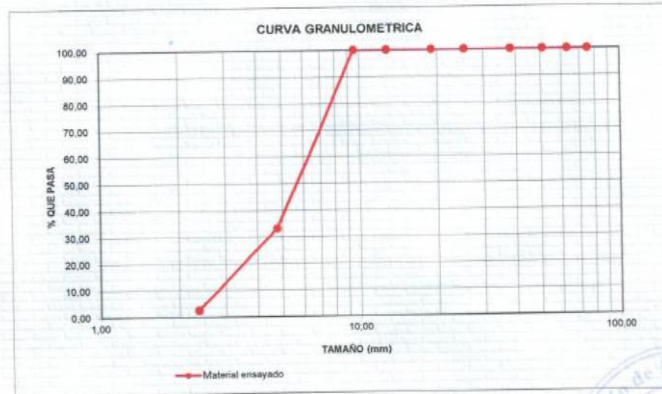
PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

MUESTRA: Tomada por el cliente  
 NORMA ENSAYO: ASTM C 136  
 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14/03/2014  
 FECHA DE EMISIÓN: 31/03/2014

RECEPCIÓN N°: 2947M  
 HOJA: 2 de 9  
 CANTERA: Río Chota  
 LOCALIZACIÓN: Ramirez

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 38 φg  
 TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: 1/2 φg

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	0	0	0,00	100,00
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No.4	4,76	723	723	66,89	33,11
No.8	2,36	330	1053	97,38	2,62
Pasa N° 8			28		
SUMA		1081	1081		



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

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

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





**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**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO FINO)**

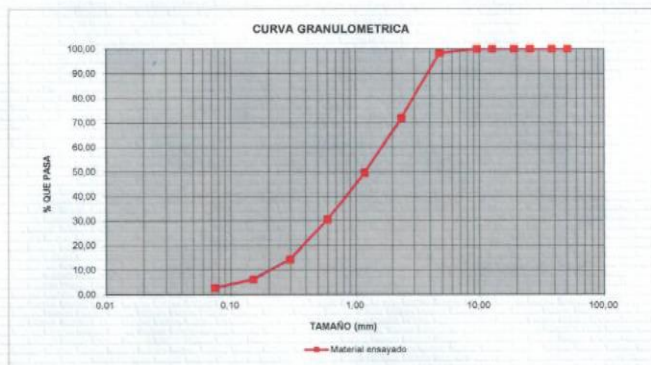
PROYECTO: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagia Yáñez

MUESTRA: Tomada por el cliente  
 NORMA ENSAYO: ASTM C 136 FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 14/03/2014  
 FECHA DE EMISIÓN: 31/03/2014

RECEPCIÓN N°: 2947M  
 HOJA: 3 de 9  
 CANTERA: Río Chola  
 LOCALIZACIÓN: Ramírez

MODULO DE FINURA: 3.29

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	0	0	0,00	100,00
No 4	4,75	12	12	1,72	98,28
No 8	2,36	189	201	28,30	71,70
No 16	1,18	157	358	50,48	49,52
No 30	0,60	135	493	69,43	30,57
No 50	0,30	116	608	85,70	14,30
No 100	0,15	57	665	93,77	6,23
No 200	0,07	25	691	97,28	2,72
Paño No. 200		19	19		
SUMA		710	710		



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

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

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





**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**  
**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 128 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2947M

**HOJA:** 4 de 9

**CANTERA:** Río Chota

**LOCALIZACIÓN:** Ramírez

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

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

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

MASA DEL MATRAZ	Mm =	160,40	gr
MASA DEL MATRAZ + AGUA	B =	660,40	gr
MASA CONJUNTO MATRAZ, AGUA Y MUESTRA	C =	964,70	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	501,10	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	483,40	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,46	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,55	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,70	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	3,66	%

**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





**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2947M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**HOJA:** 5 de 9

**CANTERA:** Río Chota

**LOCALIZACIÓN:** Ramirez

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

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

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

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	4028,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4102,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2534,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,57	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,62	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,70	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	1,84	%

**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



Solidaridad en la construcción avanza en la realidad



**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2947M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/8 pulgada

**HOJA:** 6 de 9

**CANTERA:** Río Chota

**LOCALIZACIÓN:** Ramírez

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 =	2488,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	2553,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	1566,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,52	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,59	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,70	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,61	%

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



Calidad en la construcción comienza 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**  
**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 131 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2947M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**HOJA:** 7 de 9

**CANTERA:** Río Chota

**LOCALIZACIÓN:** Ramirez

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

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

<b>TIPO DE GRADACION:</b>	B
<b>MASA INICIAL DE LA MUESTRA</b>	A= 5001 gr.
<b>MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES</b>	B= 3900 gr
<b>MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12</b>	C= 1101 gr
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	D= 22 %

**OBSERVACIONES:**

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

Ing. Maria Inés Calvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.SC.  
 Director LMC



Calidad en la construcción comienza 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: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagja Yáñez

NORMA ENSAYO: ASSHTO T 176  
RECEPCION N°: 2947 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 14/03/2014  
HOJA: 8 de 9 FECHA DE EMISIÓN: 31/03/2014  
CANTERA: Río Chota  
LOCALIZACIÓN: Ramírez  
MUESTRA: Tomada por el cliente

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

LECTURA INICIAL A= 5,1 °  
LECTURA FINAL B= 4,1 °  
EQUIVALENTE DE ARENA C 81 %

**OBSERVACIONES:**

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

Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.



Ing. Guillermo Rosalpe M.Sc.  
Director LMC.



Solidaridad en la construcción avanza 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**  
**PARTICULAS FRACTURADAS**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**RECEPCION N°:** 2947 M **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 04/01/1900

**NORMA:** ASTM D 5821 **FECHA DE EMISIÓN:** 31/03/2014

**HOJA:** 9 de 9

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

**LOCALIZACIÓN:** Ramirez

**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"	3/4"	11,16	1520,00	1364,60	89,78	10,02
3/4"	1/2"	82,43	1243,00	1104,80	88,88	73,27
1/2"	3/8"	5,46	382,00	328,60	86,02	4,70
Porcentaje total de partículas trituradas						<b>88,0</b>

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

Ing. María Inés Galvo  
 Responsable de Área

Ing. Guillermo Realpe M.Sc.  
 Director LMC.



Solidarios en la construcción, avanzando en la realidad



**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 123 **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 23/04/2014

**RECEPCION N°:** 2981 M **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**HOJA:** 1 de 1

**CANTERA:** Ramirez

**LOCALIZACION:** Río Chota

**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=	4084,0	306,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	4084,0	303,9
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)</b>	<b>A=</b>	<b>0,00</b>	<b>0,69</b>

**OBSERVACIONES:**

  
Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.

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

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



## **CARACTERIZACIÓN AGREGADOS MINA TAHUANDO**



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

Ventimilla 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 GRUESO)**

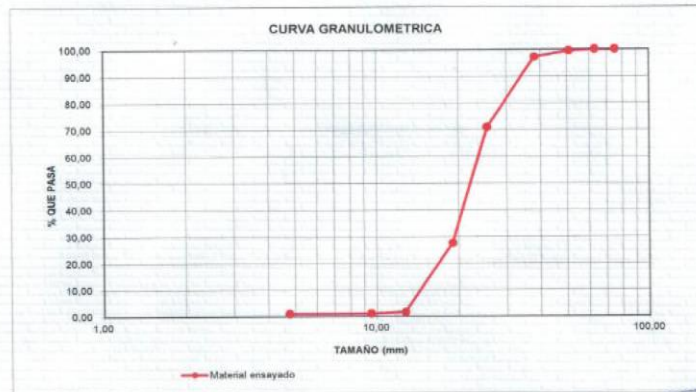
**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente ampliando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 31/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136 **FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2957M  
**HOJA:** 1 de 12  
**CANTERA:** Tahuando  
**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

**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	120	120	0,53	99,47
1 1/2"	38,10	530	650	2,88	97,12
1"	25,40	5925	6575	29,18	70,82
3/4"	19,00	9787	16362	72,60	27,40
1/2"	12,70	5829	22191	98,47	1,53
3/8"	9,51	107	22298	98,94	1,06
No.4	4,76	12	22310	99,00	1,00
Pasa No. 4		226	226		
SUMA		22536	22536		



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

*[Signature]*  
 Ing. Myra Inés Salvo  
 Responsable de Área

*[Signature]*  
 Ing. Eduardo Rosales 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  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

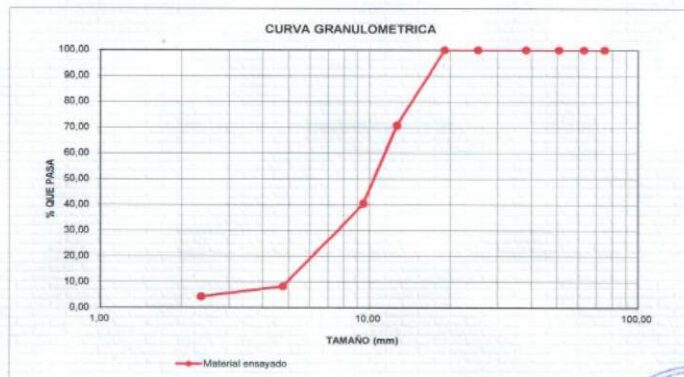
**AREA DE HORMIGONES**  
**INFORME DE ENSAYO**  
**GRANULOMETRÍA POR MALLAS (AGREGADO GRUESO)**

**PROYECTO:** Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra  
**SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 136  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 31/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014  
**RECEPCIÓN N°:** 2957M  
**HOJA:** 2 de 12  
**CANTERA:** Tahuando  
**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/8 plg  
**TAMAÑO MÁXIMO DEL AGRREGADO:** 1/2 plg

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	2969	2969	29,31	70,69
3/8"	9,51	3055	6034	59,56	40,44
No.4	4,75	3259	9293	91,73	8,27
No.6	2,36	405	9698	95,73	4,27
Pasa N° 8		433	433		
SUMA		10131	10131		



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

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



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



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

Vejtimilla 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**  
**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra

SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

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

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 31/03/2014  
 FECHA DE EMISIÓN: 07/04/2014

RECEPCIÓN N°: 2957M  
 HOJA: 3 de 12  
 CANTERA: Tahuando  
 LOCALIZACIÓN: Ibarra

MODULO DE FINURA: 3,45

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	22	22	2,07	97,93
1/2"	12,70	20	42	3,92	96,08
3/8"	9,51	12	54	5,00	95,00
No. 4	4,76	155	209	19,42	80,58
No. 8	2,36	190	399	37,13	62,87
No. 16	1,18	138	537	50,00	50,00
No. 30	0,60	115	652	60,69	39,31
No. 50	0,30	200	852	79,31	20,69
No. 100	0,15	103	954	88,87	11,13
No. 200	0,07	94	1048	97,63	2,37
Pasa No. 200		48	48		
SUMA		1074	1074		



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

**ÁREA 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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 31/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 128 **FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2957M  
**HOJA:** 4 de 12  
**CANTERA:** Tahuando  
**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

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 =	966,60	gr
MASA DE MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	S =	500,90	gr
MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	484,10	gr
GRAVEDAD ESPECÍFICA SECA	Ge =	2,49	
GRAVEDAD ESPECÍFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,57	
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	Gea =	2,72	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab =	3,47	%

**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...



**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 31/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2957M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**HOJA:** 5 de 12

**CANTERA:** Tahuando

**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

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 =	4712.00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4814.00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2924.00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,49	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,55	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,64	
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	Ab =	2,16	%

**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  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 Cel.: 09870 49430  
 Quito-Ecuador  
 LMC-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**ÁREA 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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 31/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 127 **FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2957M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/8 pulgada

**HOJA:** 6 de 12

**CANTERA:** Tahuando

**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

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

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

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

MASA DE LA MUESTRA SECA	A =	4328,00	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B =	4423,00	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C =	2685,00	gr
GRAVEDAD ESPECIFICA SECA	Ge =	2,49	
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,54	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,63	
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,20	%

**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  
 Facultad de Ingeniería Civil  
 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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**MUESTRA:** Tomada por el cliente **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 14/03/2014  
**NORMA ENSAYO:** ASTM C 535 **FECHA DE EMISIÓN:** 07/04/2014

**RECEPCIÓN N°:** 2957M **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**HOJA:** 7 de 12

**CANTERA:** Tahuando

**LOCALIZACIÓN:** Ibarra

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

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

**TIPO DE GRADACION:** 3

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	10010	gr.
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	B=	6565	gr
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	3445	gr
<b>PORCENTAJE DE DESGASTE</b>	<b>D=</b>	<b>34</b>	<b>%</b>

**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  
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: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

NORMA ENSAYO: ASSHTO T 176  
RECEPCIÓN N°: 2957 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 31/03/2014  
HOJA: 8 de 12 FECHA DE EMISIÓN: 07/04/2014  
CANTERA: Tahuando  
LOCALIZACIÓN: Ibarra  
MUESTRA: Tomada por el cliente

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

LECTURA INICIAL A= 5,2 \*

LECTURA FINAL B= 3,9 \*

EQUIVALENTE DE ARENA C 76 %

**OBSERVACIONES:**

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

  
Ing. María Inés Cobo  
Responsable de Área.



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



**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

RECEPCION N°: 2957 M  
 NORMA: ASTM D 5821 FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 10/01/1900  
 HOJA: 9 de 12 FECHA DE EMISIÓN: 07/04/2014

CANTERA: Tahuando TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 3/4 pulgada  
 LOCALIZACION: Ibarra  
 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 1/2"	1"	26,29	2005,00	1979,00	98,70	25,95
1"	3/4"	43,43	1508,00	1489,00	98,74	42,88
3/4"	1/2"	25,87	1206,00	1190,70	98,73	25,54
1/2"	3/8"	0,47	403,00	384,00	95,29	0,45
Porcentaje total de partículas trituradas						<b>68,9</b>

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

  
 Ing. María Inés Calvo  
 Responsable de Área.

  
 Ing. Guillermo Velasco M.Sc.  
 Director LMC.



Solidarios en la construcción. excelencia en la calidad..



**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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

RECEPCION N°: 2957 M  
NORMA: ASTM D 5821  
HOJA: 10 de 12

FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 10/01/1900  
FECHA DE EMISIÓN: 07/04/2014

CANTERA: Tahuando  
LOCALIZACION: Ibarra  
MUESTRA: Tomada por el Cliente

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 3/8 pulgada

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"	29,31	1216,50	1196,60	98,36	28,83
1/2"	3/8"	30,25	474,90	461,80	97,24	29,42
Porcentaje total de partículas trituradas						<b>58,2</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: Tesis - Análisis de la Correlación entre Estabilidad y Módulos de Rigidez para Mezclas Asfálticas en caliente empleando agregados pétreos de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra SOLICITADO POR: Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

NORMA ENSAYO: ASTM C 123  
RECEPCION N°: 2957 M FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 31/03/2014  
HOJA: 11 de 12 FECHA DE EMISIÓN: 28/04/2014  
CANTERA: Tahuando  
LOCALIZACION: Ibarra  
MUESTRA: Tomada por el cliente

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

		Agregado Fino
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	403,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	402,0
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,25

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  
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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra  
**SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagja Yáñez

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 123  
**RECEPCIÓN N°:** 2957 M  
**HOJA:** 12 de 12  
**CANTERA:** Tahuando  
**LOCALIZACIÓN:** Ibarra  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 31/03/2014  
**FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

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

		Agregado Gruoso
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	4020,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	4020,0
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,00

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  
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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 123 **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 31/03/2014

**RECEPCION N°:** 2957 M **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**HOJA:** 11 de 12

**CANTERA:** Tahuando

**LOCALIZACION:** Ibarra

**MUESTRA:** Tomada por el cliente

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

		Agregado Fino
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	403,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	402,0
<b>PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)</b>	<b>A=</b>	<b>0,25</b>

**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  
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 de la Provincia de Imbabura, Cantón Ibarra **SOLICITADO POR:** Ing. Gonzalo Lagla Yáñez

**NORMA ENSAYO:** ASTM C 123 **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 31/03/2014

**RECEPCION N°:** 2957 M **FECHA DE EMISIÓN:** 28/04/2014

**HOJA:** 12 de 12

**CANTERA:** Tahuando **TAMARO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO:** 3/4 pulgada

**LOCALIZACION:** Ibarra

**MUESTRA:** Tomada por el cliente

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

		Agregado Grueso
MASA SECA DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO (gr)	B=	4020,0
MASA SECA DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO (gr)	C=	4020,0
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS LIVIANAS (%)	A=	0,00

**OBSERVACIONES:**

  
Ing. María Inés Calvo  
Responsable de Área.



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



## **CARACTERIZACIÓN ASFALTO AC-20**



**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- Ibarra SOLICITA: Ing. Gonzalo Lagla  
LOCALIZACIÓN: Quito FISCALIZACIÓN: -----  
NORMA DE REFERENCIA: ASTM D70 - 09 CONTRATISTA: -----  
PROCEDIMIENTO: FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 2014-04-04  
RECEPCIÓN N° 3721 P FECHA DE EMISIÓN: 2014-04-14  
HOJA: 1 de 1  
MUESTRA: Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	25,0

**Registros para densidad:**

Serie del picnómetro	755
(A) Masa del picnómetro (más tapa)	38,032
(B) Masa del picnómetro lleno de agua	62,335
(C) Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto	57,289
(D) Masa del picnómetro más asfalto y más agua	62,536
Densidad relativa de la muestra	1,011
Densidad del agua a la temperatura de ensayo (kg/m <sup>3</sup> )	997,0
Densidad de la muestra (kg/m <sup>3</sup> )	1007,516

**Información de la muestra:**

Número de muestra	17
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

DETERMINACIÓN DE PUNTO DE CHISPA Y LLAMA DE MATERIALES  
BITUMINOSOS CON EL EQUIPO DE COPA ABIERTA CLEVELAND

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

PROYECTO:	Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Ibarra	SOLICITA:	Ing. Gonzalo Lagla
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°	3721 P	FECHA DE EMISIÓN:	2014-04-14
HOJA:	1 de 1		
MUESTRA:	Tomada por el cliente		

### Información del ensayo:

Identificación de la muestra	3721-17
Punto de Chispa (°C)	332
Punto de Llama (°C)	345
Presión barométrica (mm Hg)	548,6
Punto de Chispa corregido (°C)	339
Punto de Llama corregido (°C)	352

### Especificación del producto para punto de chispa:

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	minimo	232
--	--------	-----

### Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

### Información de la muestra:

Número de muestra	17
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

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**  
**PENETRACIÓN DE MATERIALES BITUMINOSOS**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Ibarra **SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D5/D5M - 13 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-1 **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3721 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
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	73	72	72

**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	17
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-Ibarra  
**LOCALIZACIÓN:** Quito  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D2171/D2171M - 10  
**PROCEDIMIENTO:** LMC-MPT-5.4-AP-6  
**RECEPCIÓN N°:** 3721 P  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**FISCALIZACIÓN:** \_\_\_\_\_  
**CONTRATISTA:** \_\_\_\_\_  
**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	60,00
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):	58,4	118,2	176,9	242,0	306,2
Viscosidad (Pa.s):	182,734	188,411	188,222	195,197	196,580

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa.s)	188,411
-------------------	---------

**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	17
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...



**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**INFORME DE ENSAYO**

**VISCOSIDAD DEL ASFALTO A ELEVADAS TEMPERATURAS USANDO UN VISCOSÍMETRO ROTATORIO**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Ibarra **SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** -----  
**NORMA DE REFERENCIA:** ASTM D4402/D4402M - 12 **CONTRATISTA:** -----  
**PROCEDIMIENTO:** **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3721 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

**Configuración del ensayo:**

Viscosímetro	Brookfield DV-II + Pro
Geometría de ensayo	SC4-27, colgante
Velocidad de rotación (rpm)	160

**Resultados del ensayo:**


	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Promedio
Viscosidad (Pa.s)	0,345	0,345	0,345	<b>0,345</b>
Torque (%)	22,1	22,1	22,1	<b>22,1</b>


**Información de la muestra:**


Número de muestra	17
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**

**CÁLCULO DE VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS (BITÚMENES)**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Ibarra **SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**LOCALIZACIÓN:** Quito **FISCALIZACIÓN:** \_\_\_\_\_  
**NORMA DE REFERENCIA:** \_\_\_\_\_ **CONTRATISTA:** \_\_\_\_\_  
**PROCEDIMIENTO:** \_\_\_\_\_ **FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 2014-04-04  
**RECEPCIÓN N°:** 3721 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	135,00

**Registros de la muestra:**

Viscosidad con viscosímetro rotatorio (ASTM D4402/D4402M) (cP)	345,3
Densidad relativa de la muestra a 25/25 °C	1,011
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	365,688

**Especificación del producto:**

NTE INEN 2515:2010, Tabla 5, Grado AC-20	minimo	300	mm <sup>2</sup> /s
--	--------	-----	--------------------

**Cumplimiento con respecto a la especificación del producto:**

Resultado	CUMPLE
-----------	--------

**Información de la muestra:**

Número de muestra	17
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-Ibarra **SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**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°:** 3721 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
Temperatura de ensayo (°C)	59.97
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):	59,1	111,7	173,5	---	---
Viscosidad (Pa.s):	706,245	688,854	718,637	---	---

**Resultado del ensayo:**

Viscosidad (Pa.s)	688,854
-------------------	---------

**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	17
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-PUCE@puce.edu.ec  
 www.puce.edu.ec

**DUCTILIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS**

**PROYECTO:** Tesis Estabilidad Módulo de Rigidez-Ibarra **SOLICITA:** Ing. Gonzalo Lagla  
**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°:** 3721 P **FECHA DE EMISIÓN:** 2014-04-14  
**HOJA:** 1 de 1  
**MUESTRA:** Tomada por el cliente

**Información general del ensayo:**

Identificación de la muestra	3721-17
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)	48	57	62	56
¿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	17
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...



**CURVAS MARSHALL MINA RAMIREZ**



Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito

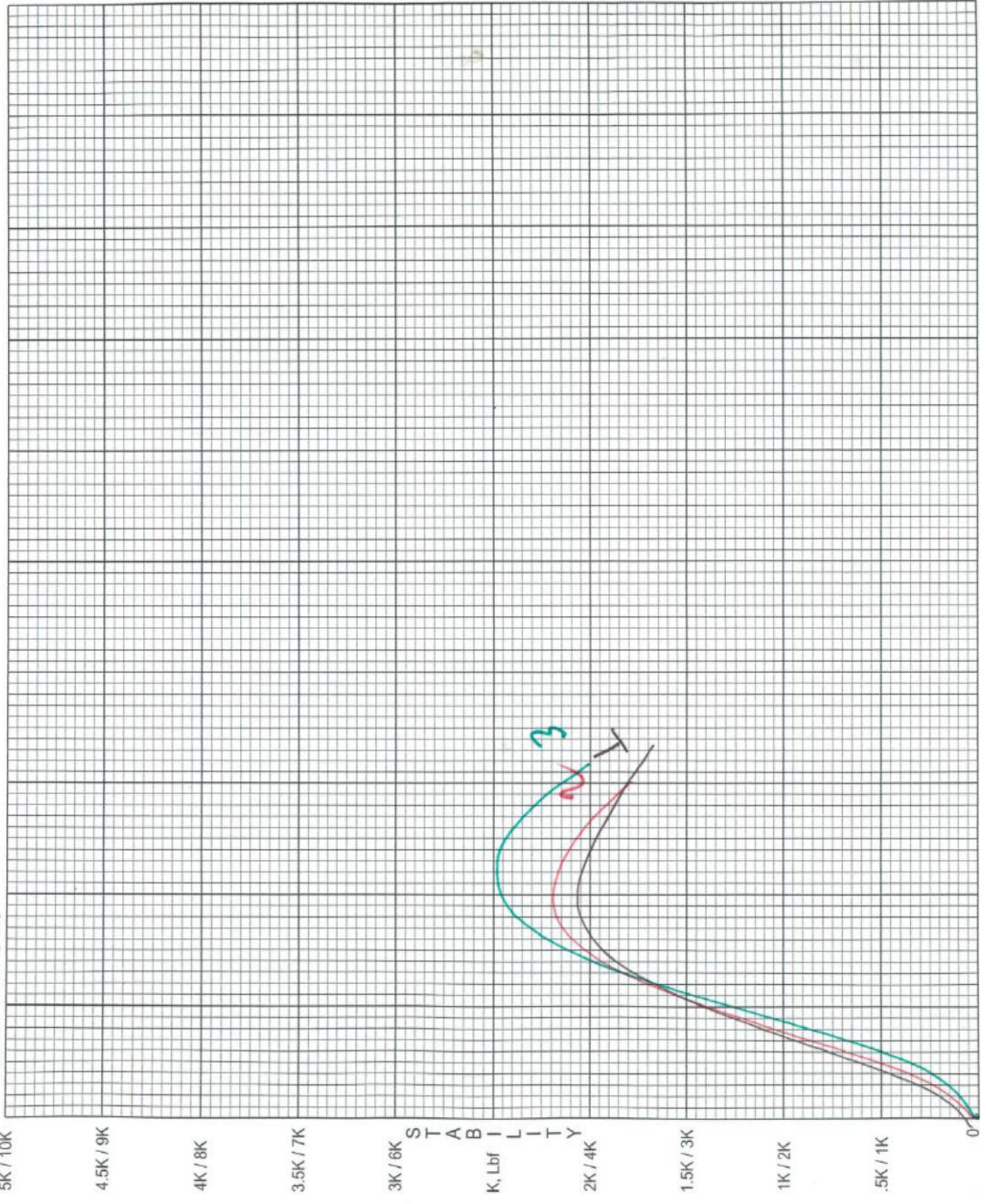


MARK SELECTION  
□/□

MINA: RAMIROZ

H-1322 CP

GONZALO LAGUNA

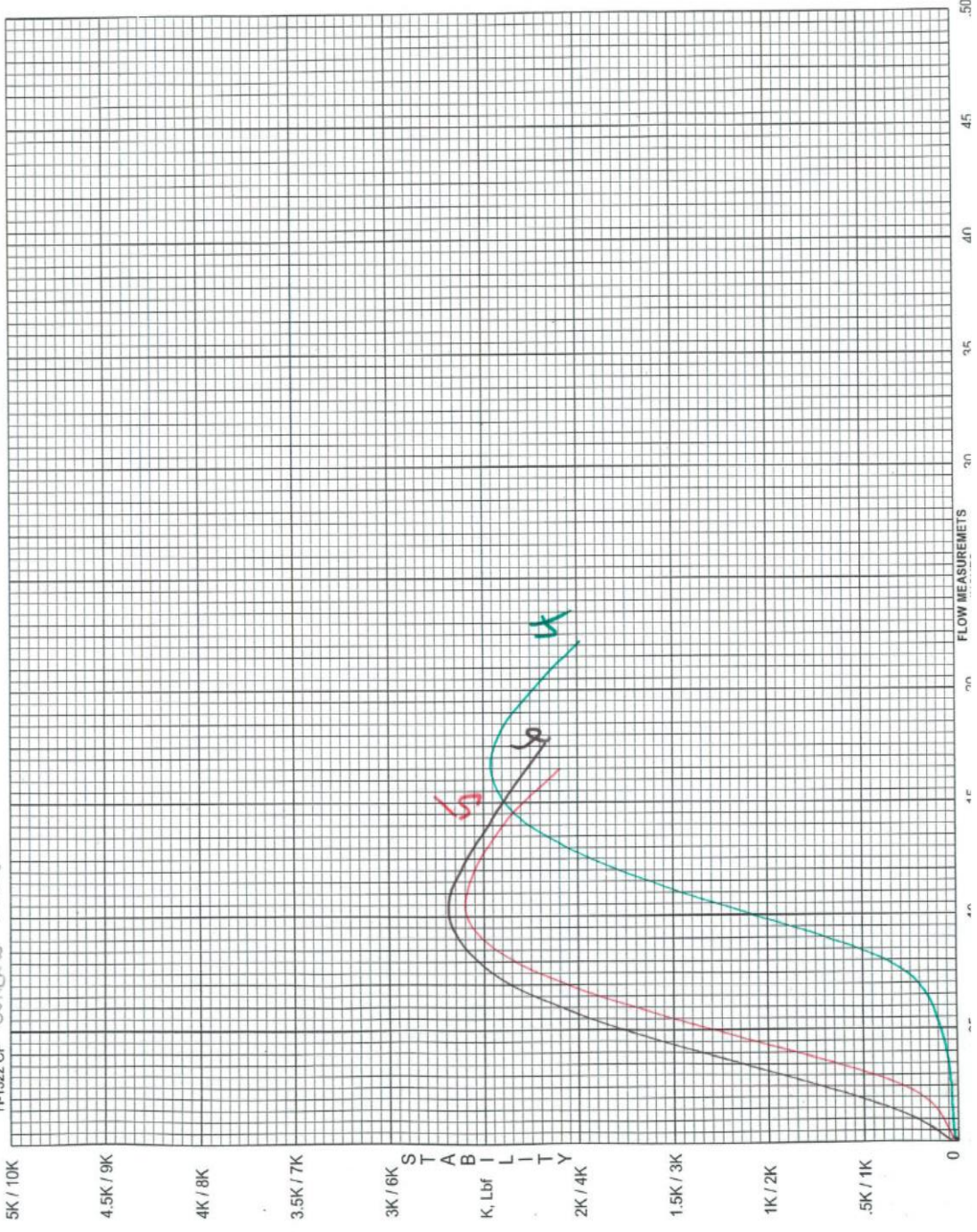




Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MARK SELECTION  
□/□  
MINA RAMIREZ  
H-1322 CP GONZALO LABLA

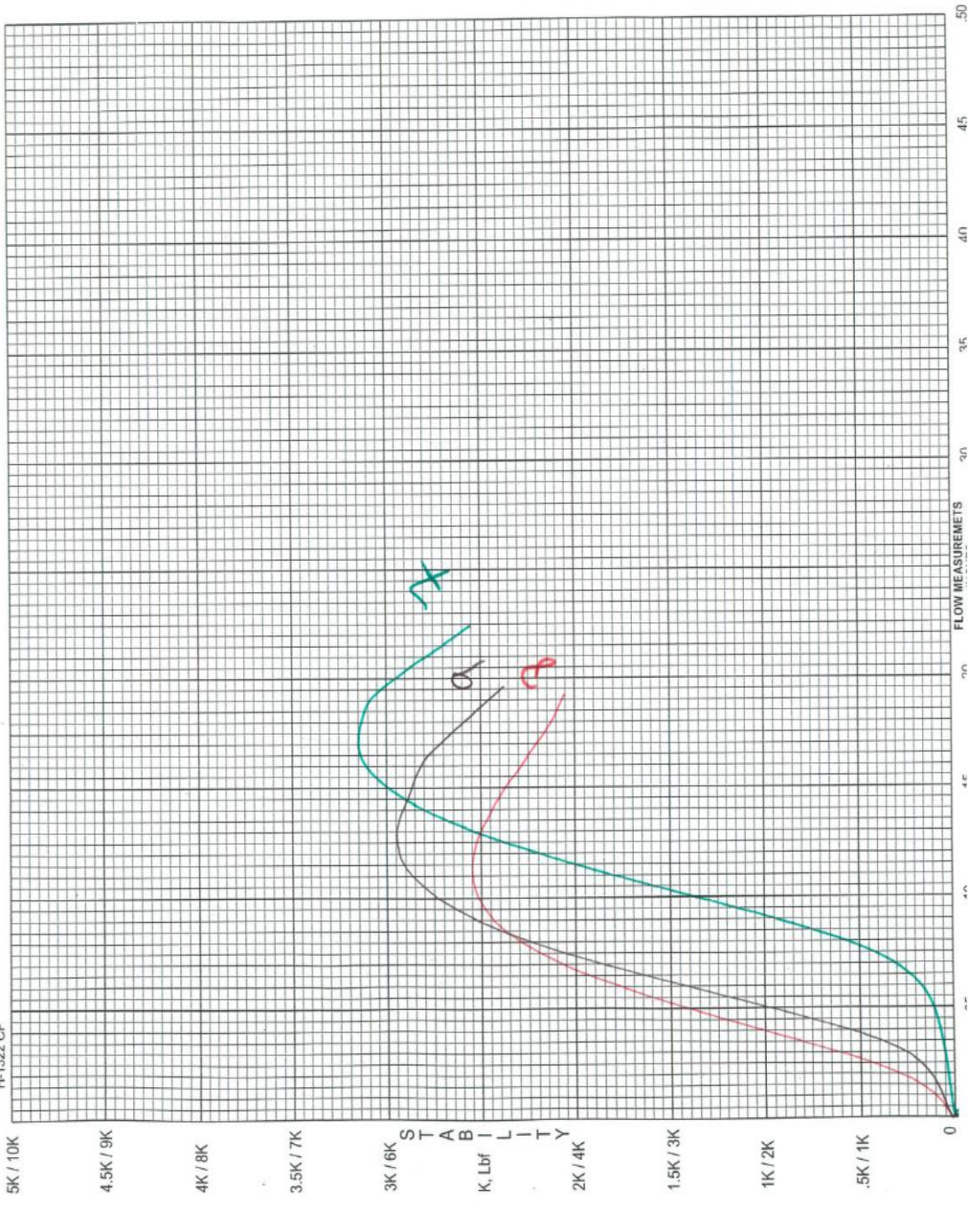




Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MARK SELECTION  
 D/D  
 MINA DANIEL  
 GONZALEZ LAGLA  
 H-1322 CP





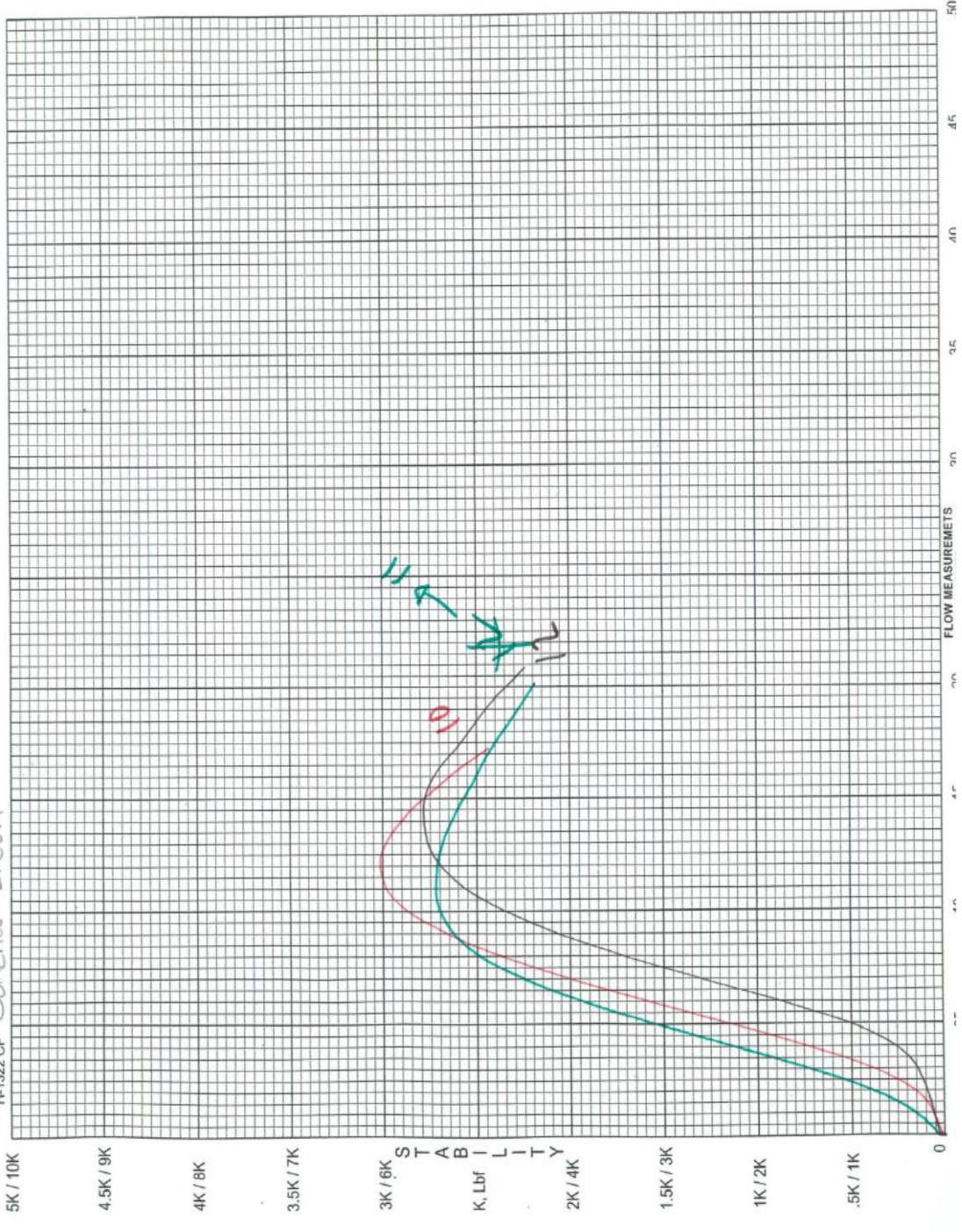
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MARIA BAMBIREZ

H-1322 CP GONZALO LAGLA

MARK SELECTION

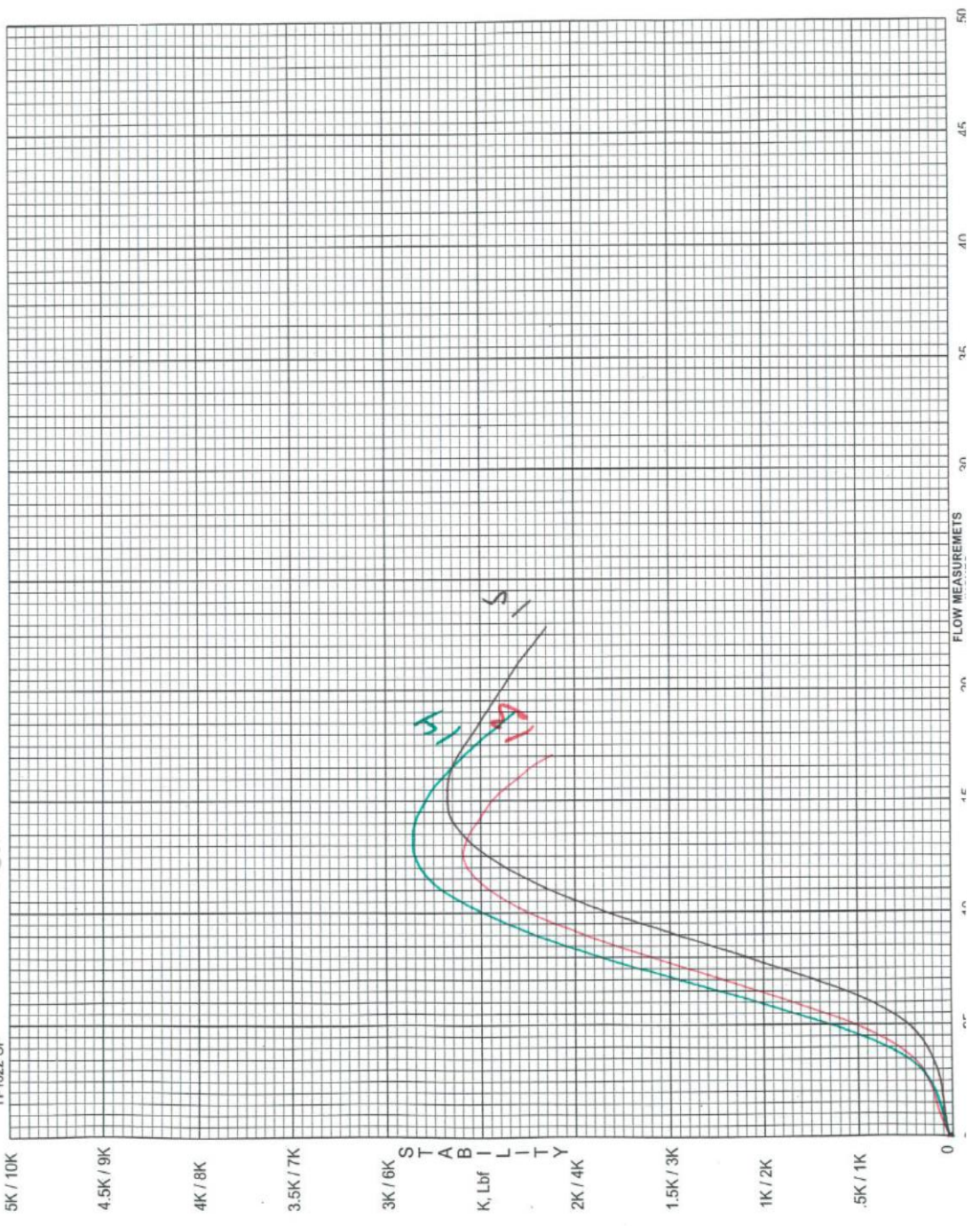




Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MARK SELECTION  
 YINA RAMIREZ  
 GONTEAW LAGLA  
 H-1322 CP



**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA MINA RAMÍREZ**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b> ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA RAMIREZ		<b>CONSTRUYE:</b>
<b>PROVINCIA:</b>	<b>CANTÓN:</b>	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>	1 Y 2		
<b>MEZCLA:</b>	N/D		<b>FECHA ELAB:</b>
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b> CMF	<b>ENSAYO:</b>	2014-05-09

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	1	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2192.6	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8725.1	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]

<b>Gmm</b>	<b>2.471</b>	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	--------------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
**Ensayo**

Ing. Jorge Albuja  
**Responsable Pavimentos**

Ing. Guillermo Realpe  
**Director LMC**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA RAMIREZ		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	4 Y 5		
MEZCLA:	N/D		FECHA ELAB:
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO: N/D	POR:
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:	POR: CMF	ENSAYO: 2014-05-09	

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

<b>M</b>	2	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2299.0	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8747.0	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
<b>Gmm</b>	<b>2.438</b>	Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

CARLOS MALLAMA  
Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b> ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA RAMIREZ		<b>CONSTRUYE:</b>
<b>PROVINCIA:</b>	<b>CANTÓN:</b>	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>	7 Y 8		
<b>MEZCLA:</b>	N/D	<b>FECHA ELAB:</b>	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b> CMF	<b>ENSAYO:</b>	2014-05-09

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	3	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2303.0	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8745.0	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]

<b>Gmm</b>	<b>2.427</b>	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	--------------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
 Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b> ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA RAMIREZ		<b>CONSTRUYE:</b>
<b>PROVINCIA:</b>	<b>CANTÓN:</b>	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>	10 Y 11		
<b>MEZCLA:</b>	N/D		<b>FECHA ELAB:</b>
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b> CMF	<b>ENSAYO:</b>	2014-05-09

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	4	Número de muestra
----------	---	-------------------

<b>TM</b>	2	Número total de muestras
-----------	---	--------------------------

<b>A</b>	2358.0	Masa de la muestra [g]
----------	--------	------------------------

<b>D</b>	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
----------	--------	---

<b>E</b>	8772.0	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
----------	--------	---

<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?
-----------	----	---

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
----------	--	------------------------

<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
-----------	--	--

CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
-----------	--	--

<b>Gmm</b>	2.413	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	-------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
 Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA RAMIREZ		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	13 Y 14		
MEZCLA:	N/D	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO: N/D	POR:
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:	POR: CMF	ENSAYO:	2014-05-09

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M	5	Número de muestra
---	---	-------------------

TM	2	Número total de muestras
----	---	--------------------------

A	2361.0	Masa de la muestra [g]
---	--------	------------------------

D	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
---	--------	---

E	8756.0	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
---	--------	---

PS	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?
----	----	---

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
---	--	------------------------

Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
----	--	--

CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm	2.370	Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	-------	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

CARLOS MALLAMA  
 Ensaya

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**CURVAS MARSHALL MINA TAHUANDO**



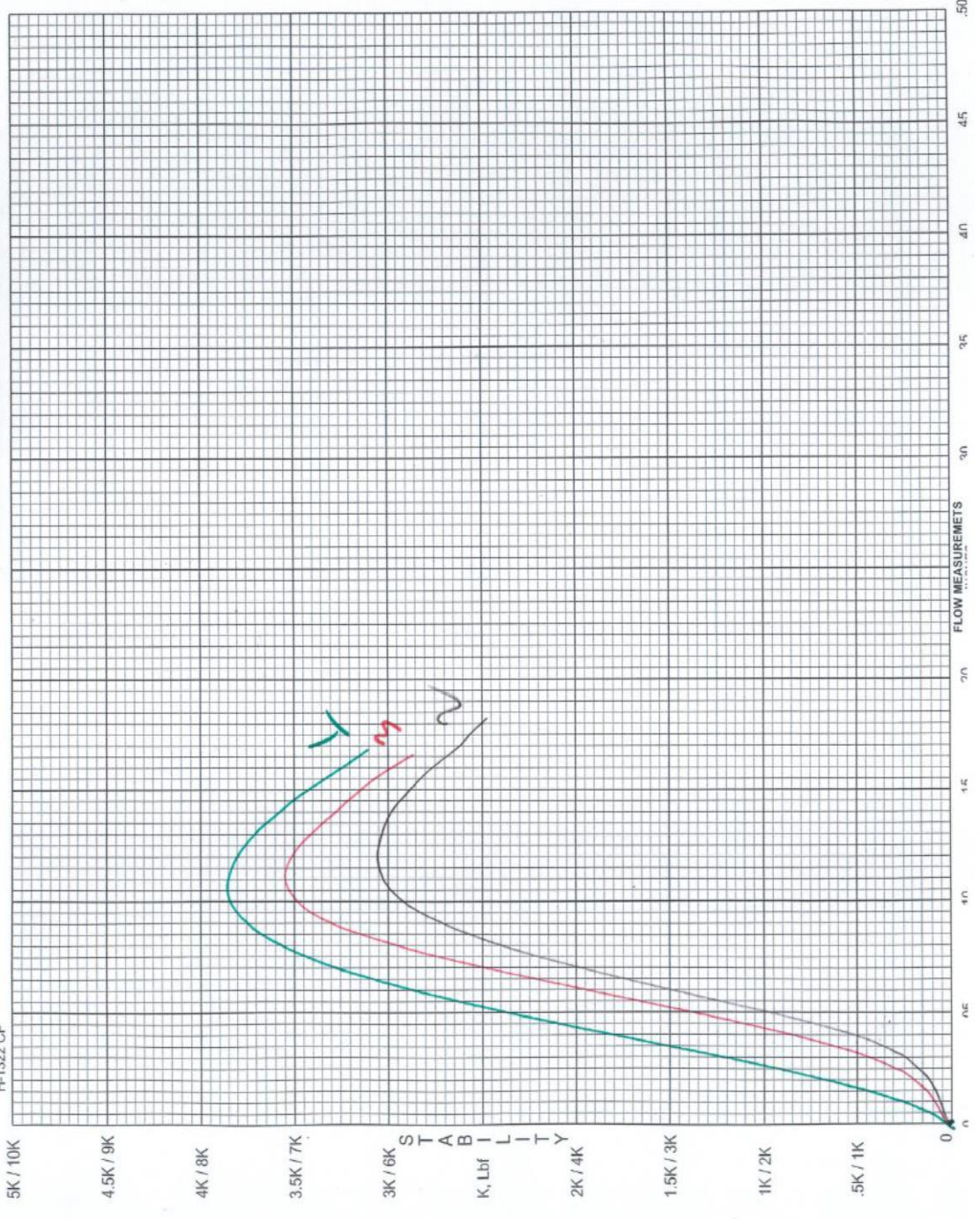
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto: Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



HIND TACHUANDO

H-1322 CP

MARK SELECTION □/□





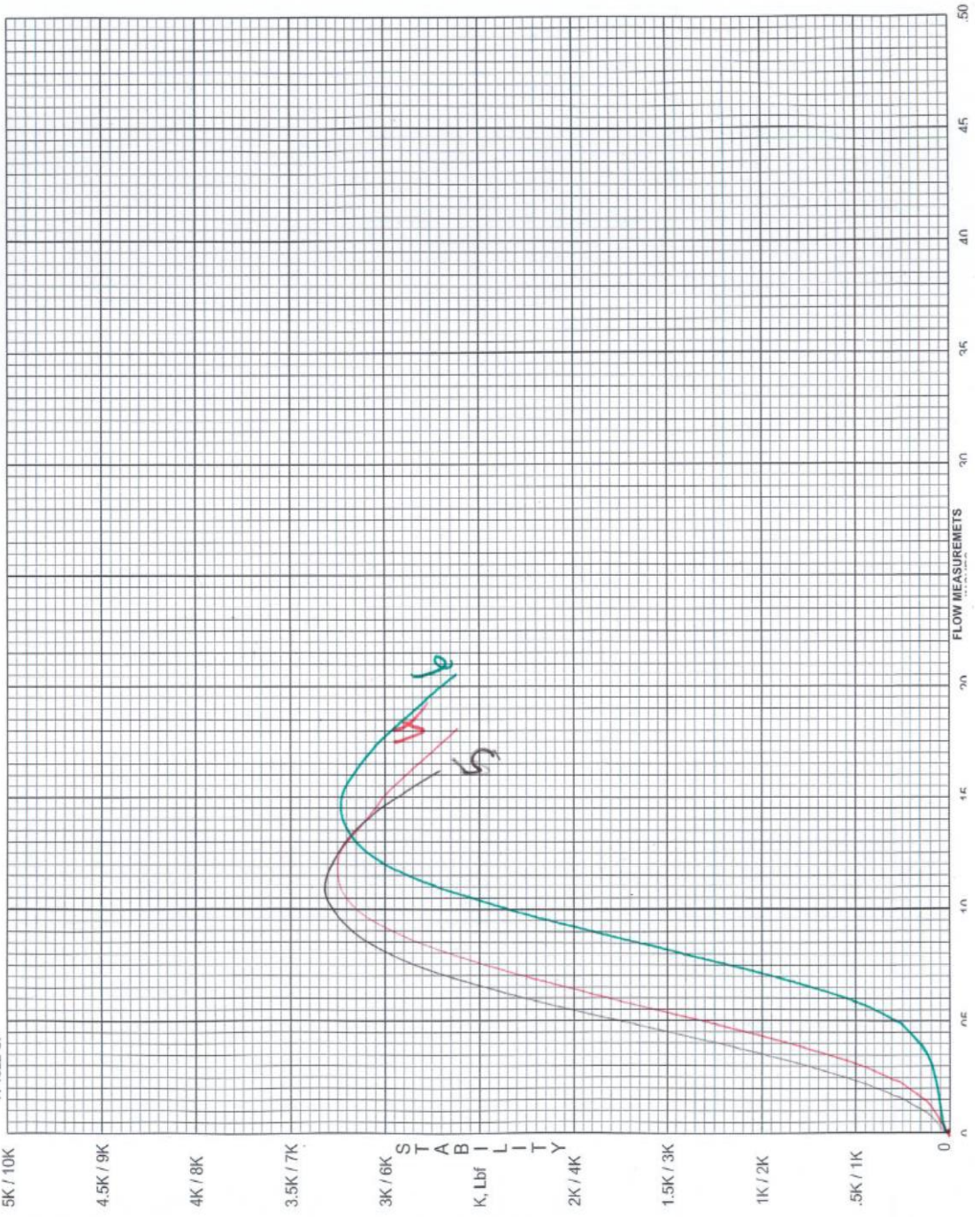
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MINA TAHUAMDO

H-1322 CP

MARK SELECTION





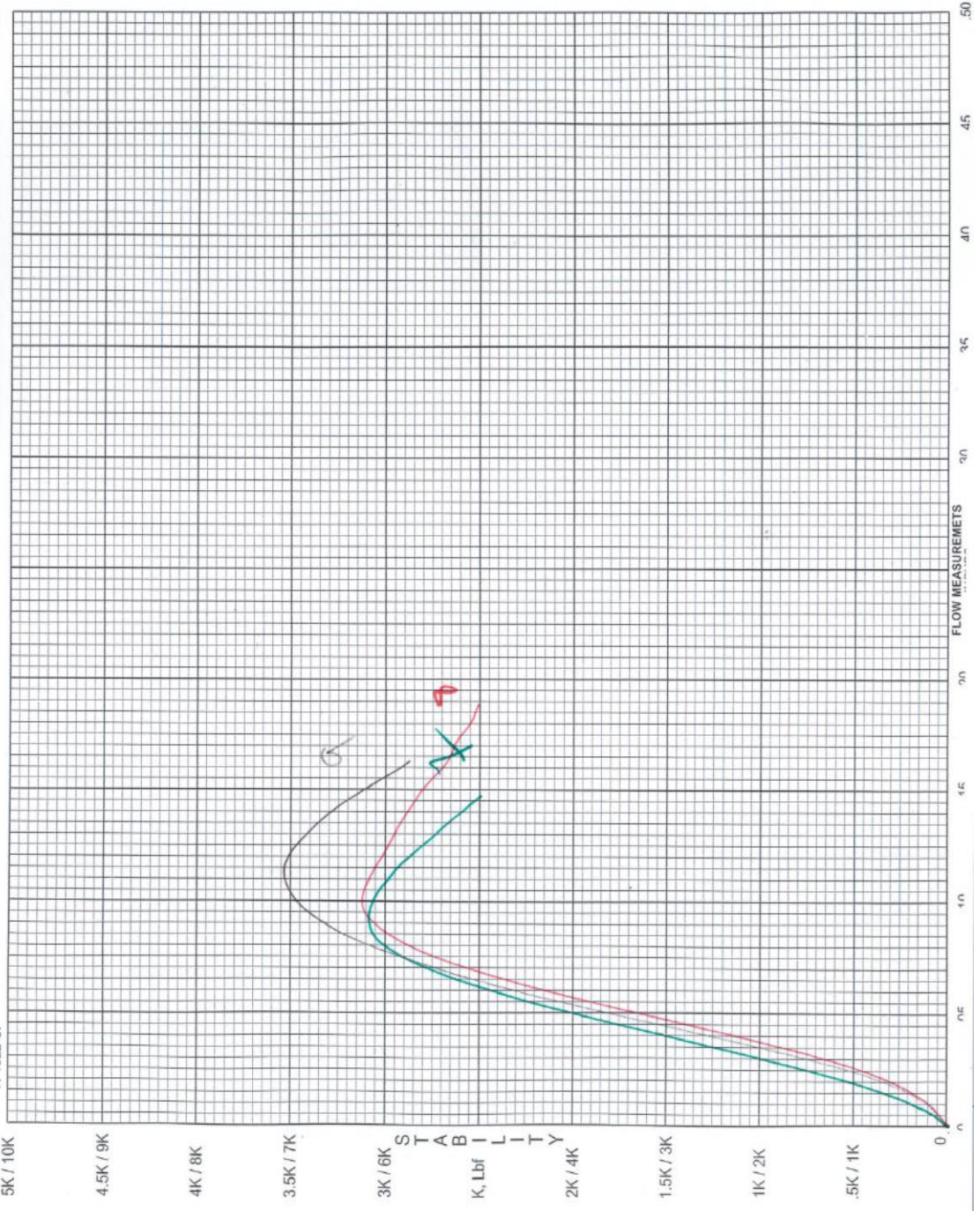
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



HINA T Δ HVΔ HDO

H-1322 CP

MARK SELECTION □/□





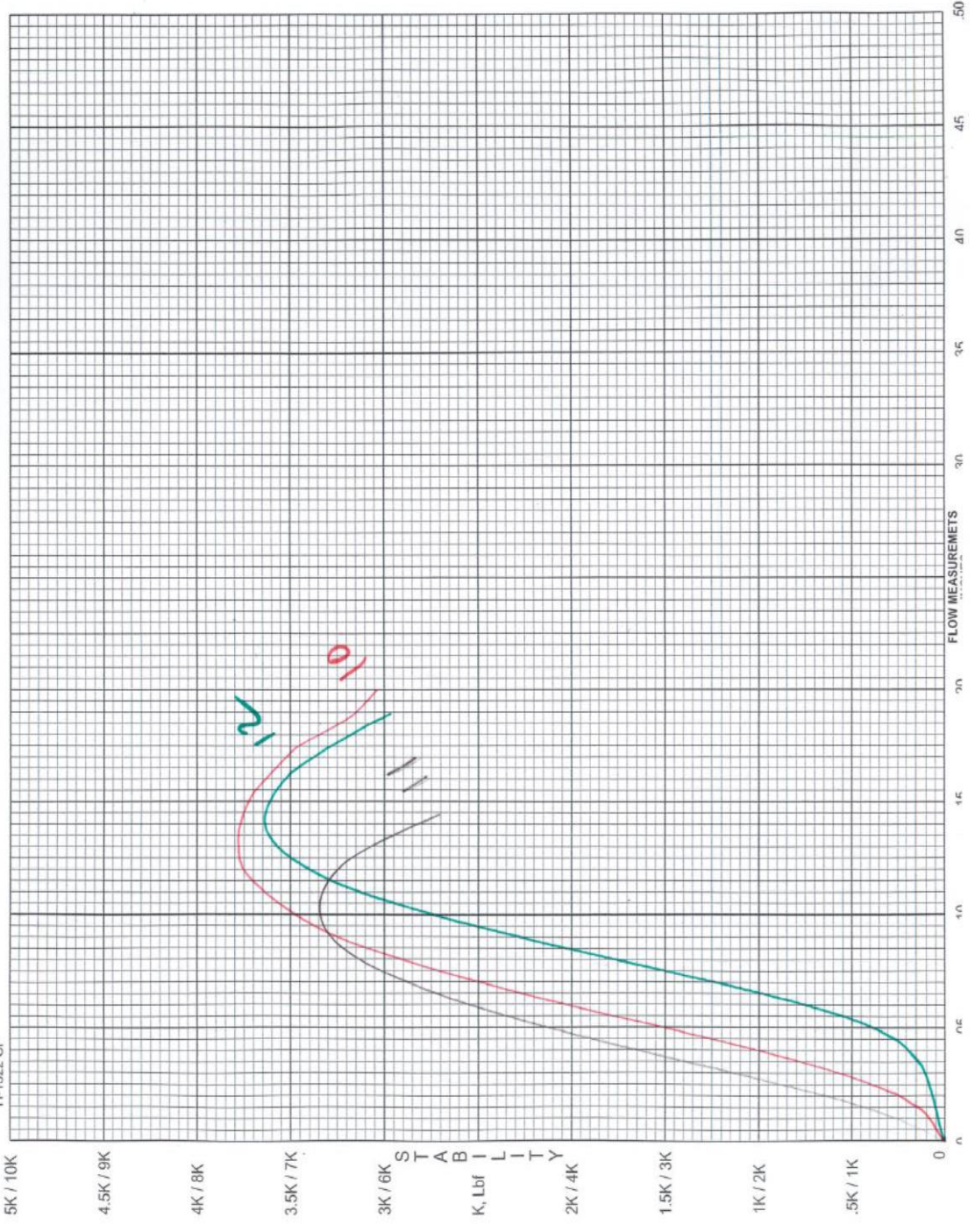
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MINA TASHUAMPO

H-1322 CP

MARK SELECTION  
 /





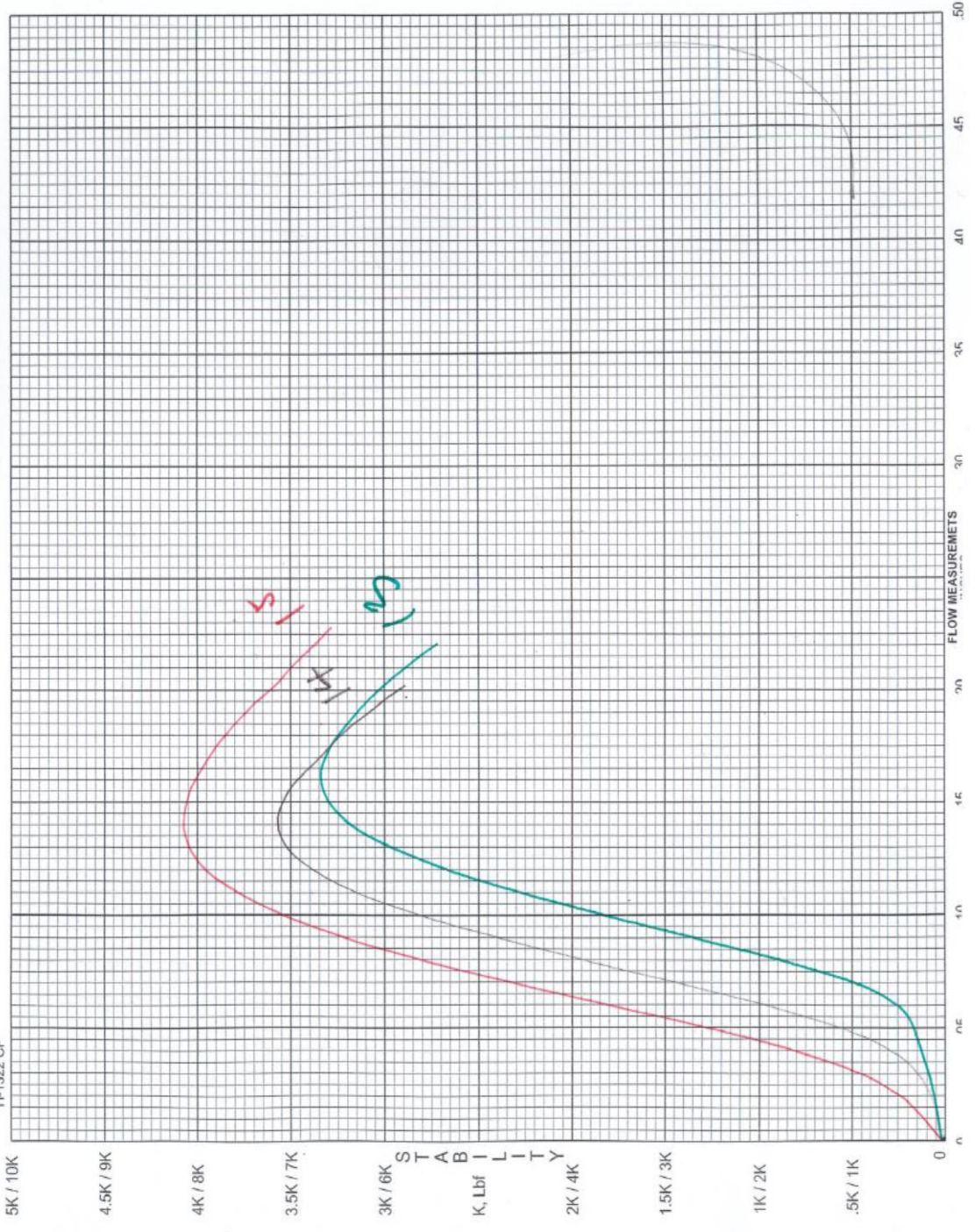
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



MINA TAJUANDO

H-1322 CP

MARK SELECTION



## **CURVAS MARSHALL COMPROBACIÓN MINA TAHUANDO**



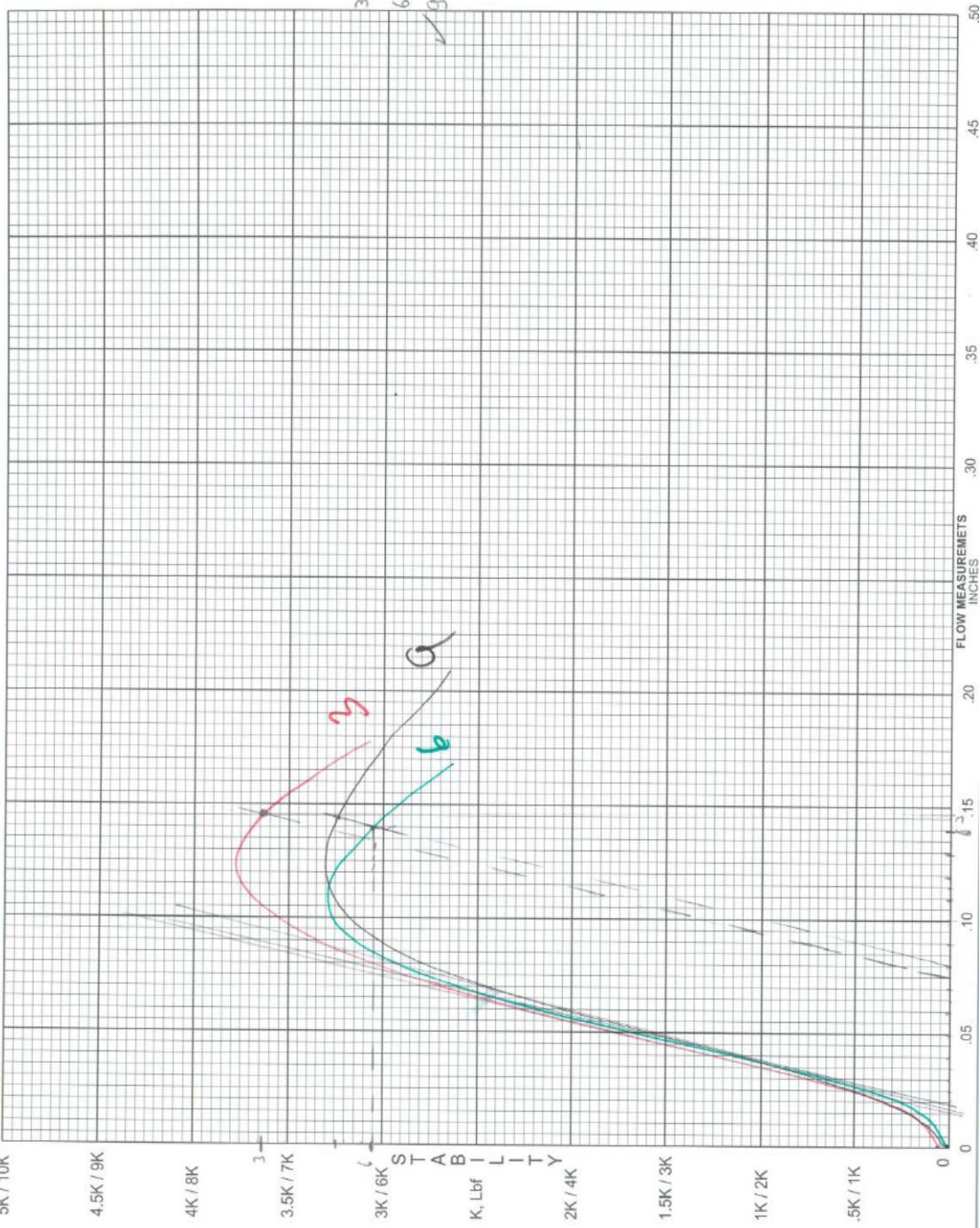
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



TAHUA MPO

MARK SELECTION  /

H-1322 CP





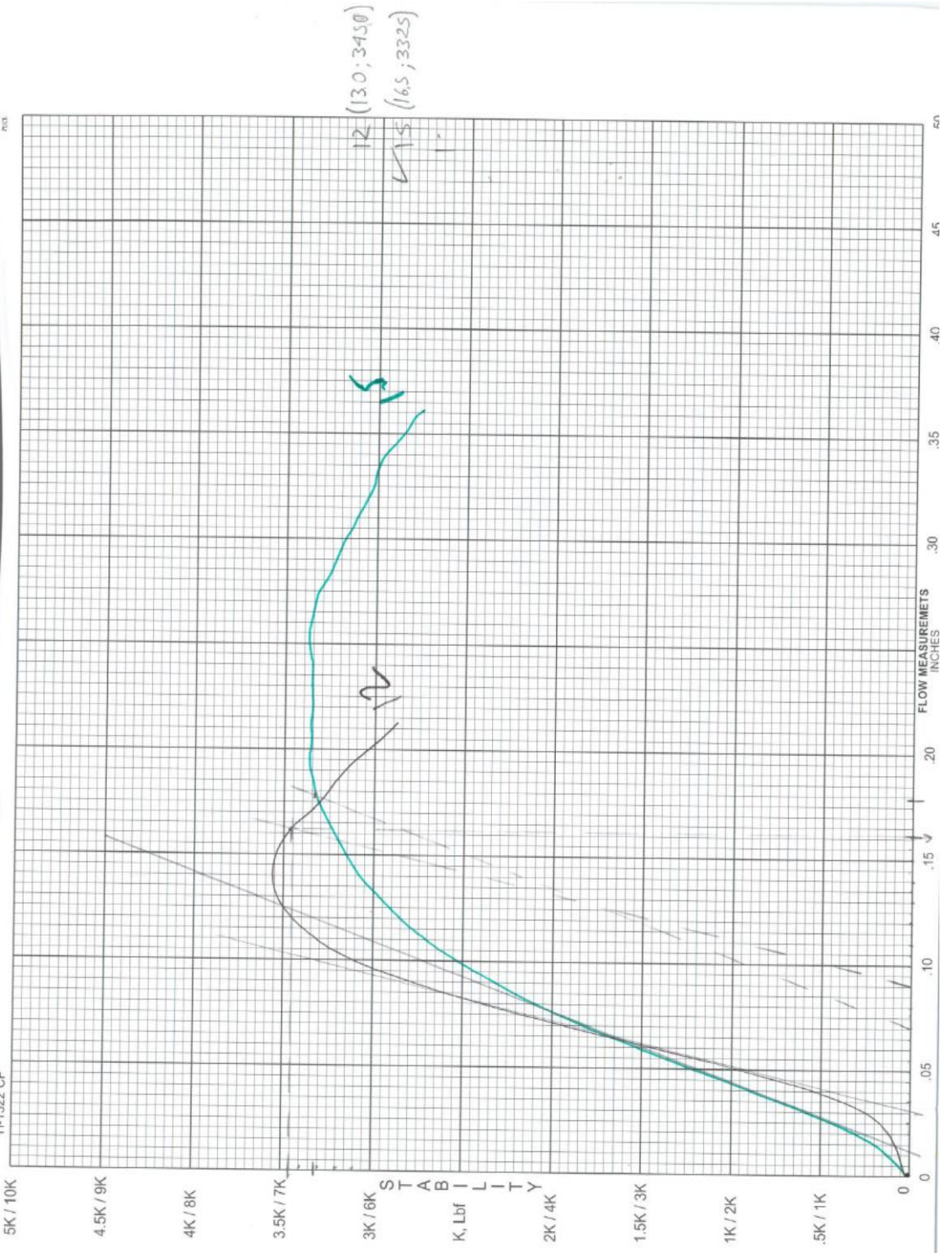
Pontificia Universidad Católica del Ecuador  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Proyecto Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito



TAHUA HPO

MARK SELECTION  
 /

H-1322 CP



**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA MINA TAHUANDO**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>		<b>SOLICITA:</b>	ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA	<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA TAHUANDO	<b>CONSTRUYE:</b>	
<b>PROVINCIA:</b>		<b>CANTÓN:</b>	
<b>EMISIÓN:</b>			
<b>ID MUESTRA:</b>	1 Y 2		
<b>MEZCLA:</b>	N/D	<b>FECHA ELAB:</b>	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>	CMF
		<b>ENSAYO:</b>	2014-05-15

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	1	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras

<b>A</b>	2261.9	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8788.9	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]

CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
-----------	--	--

<b>Gmm</b>	2.533	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	-------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA TAHUANDO		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	4 Y 5		
MEZCLA:	N/D	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO:	N/D
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:		POR: CMF	ENSAYO: 2014-05-15

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

<b>M</b>	2	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2283.6	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8794.4	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]

<b>Gmm</b>	2.512	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	-------	------------------------------------

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

CARLOS MALLAMA  
 Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA TAHUANDO		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	7 Y 8		
MEZCLA:	N/D	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO:	N/D
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:		POR:	CMF
		ENSAYO:	2014-05-15

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M	3	Número de muestra
---	---	-------------------

TM	2	Número total de muestras
----	---	--------------------------

A	2301.9	Masa de la muestra [g]
---	--------	------------------------

D	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
---	--------	---

E	8796.3	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
---	--------	---

PS	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?
----	----	---

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
---	--	------------------------

Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
----	--	--

CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm	2.487	Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	-------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
**Ensayo**

Ing. Jorge Albuja  
**Responsable Pavimentos**

Ing. Guillermo Realpe  
**Director LMC**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA TAHUANDO		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	10 y 11		
MEZCLA:	N/D		FECHA ELAB:
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO: N/D	POR:
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:		POR: CMF	ENSAYO: 2014-05-15

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

<b>M</b>	4	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2325.7	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8806.1	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
<b>Gmm</b>	2.475	Gravedad Específica Máxima Teórica

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:

CARLOS MALLAMA  
 Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

NORMA: AASHTO T 209-08		ORDEN:	HOJA: 1 de 1
CLIENTE:			SOLICITA: ING. GONZALO LAGLA
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA		FISCALIZA:
UBICACIÓN:	MINA TAHUANDO		CONSTRUYE:
PROVINCIA:	CANTÓN:	EMISIÓN:	
ID MUESTRA:	13 y 14		
MEZCLA:	N/D	FECHA ELAB:	
ORIGEN MUESTRA:	BRIQUETAS DISGREGADAS		
MÉTODO:	N/D	MUESTREO:	N/D
CONDICIÓN MUESTRA:	COMPACTADO EN LABORATORIO		
RECEPCIÓN:		POR:	CMF
		ENSAYO:	2014-05-15

TIPO DE CONTENEDOR:	METÁLICO	PROCEDIMIENTO:	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
---------------------	----------	----------------	-------------------------------

M	5	Número de muestra
---	---	-------------------

TM	2	Número total de muestras
----	---	--------------------------

A	2340.9	Masa de la muestra [g]
---	--------	------------------------

D	7420.0	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
---	--------	---

E	8808.0	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
---	--------	---

PS	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?
----	----	---

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

B		Masa de la bandeja [g]
---	--	------------------------

Mi		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
----	--	--

CICLO	Masa [g]	$\Delta$ [%]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

A'		Masa de la muestra con superficie seca [g]
----	--	--

Gmm	2.457	Gravedad Específica Máxima Teórica
-----	-------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
Ensayo

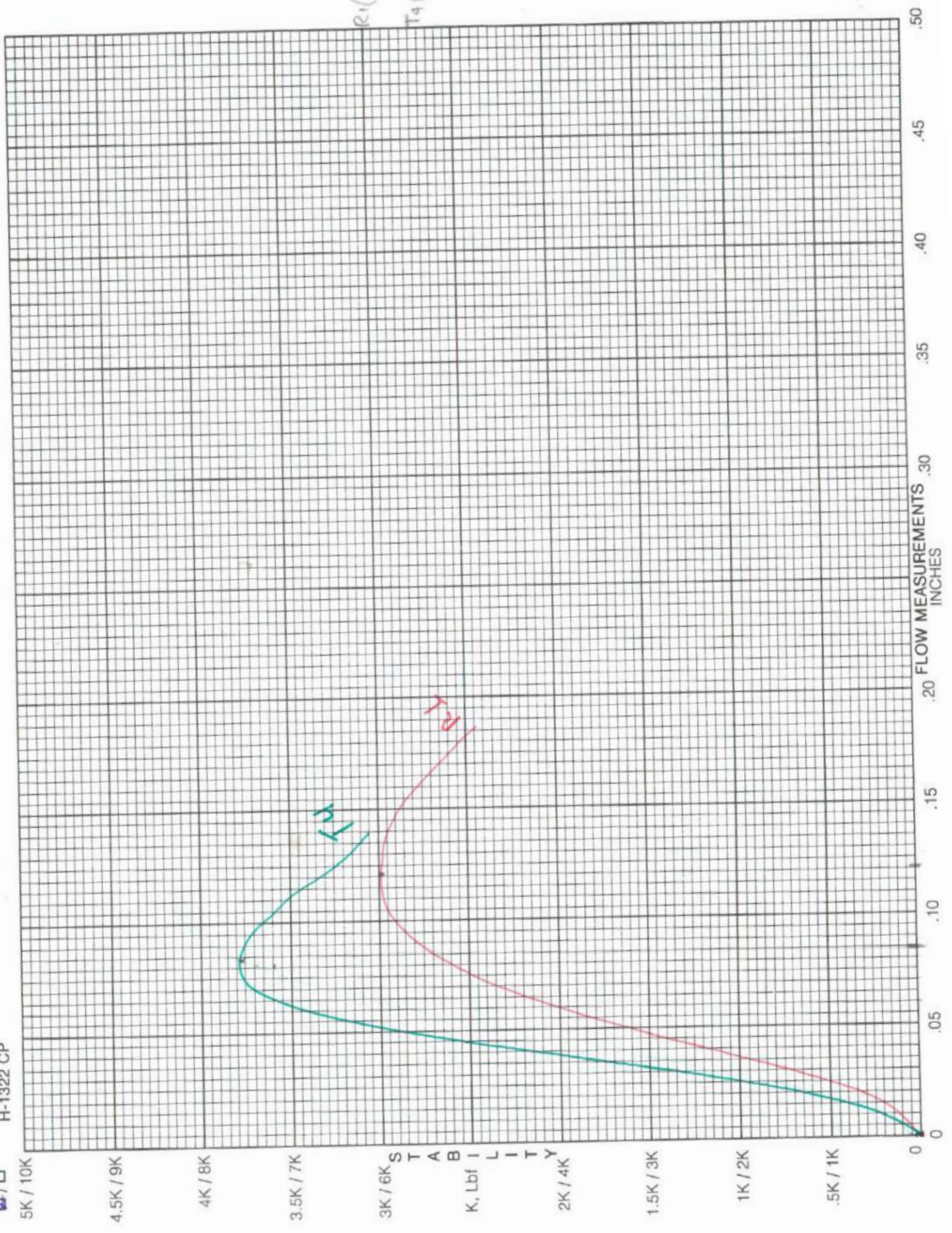
Ing. Jorge Albuja  
Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
Director LMC

**CURVAS MARSHALL CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO  
MINA RAMÍREZ**

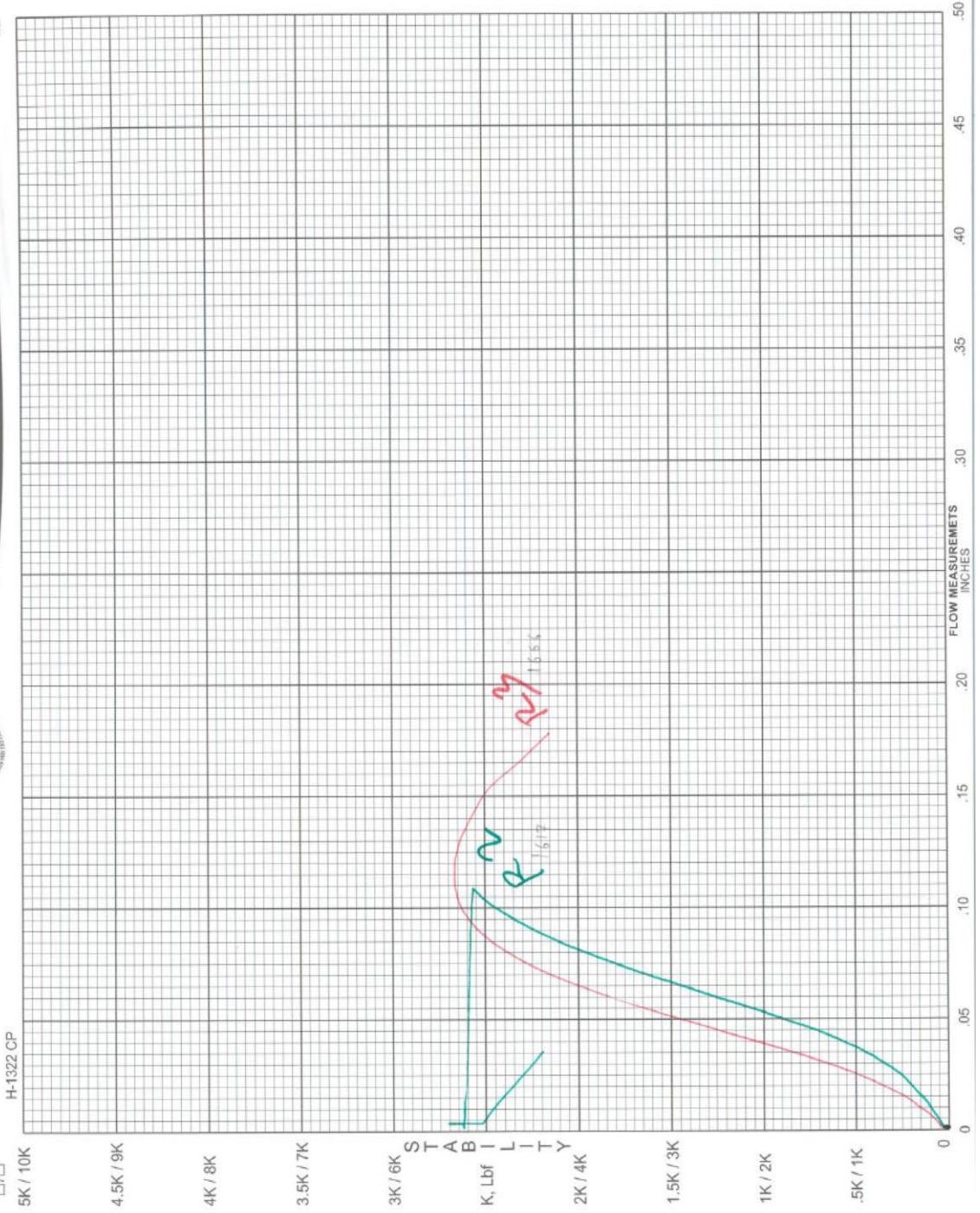
**HUMBOLDT MFG. CO.**  
 7300 W. AGATITE  
 NORRIDGE, IL 60706  
 (708) 456-6300

SELECTION  /   
 H-1322 CP





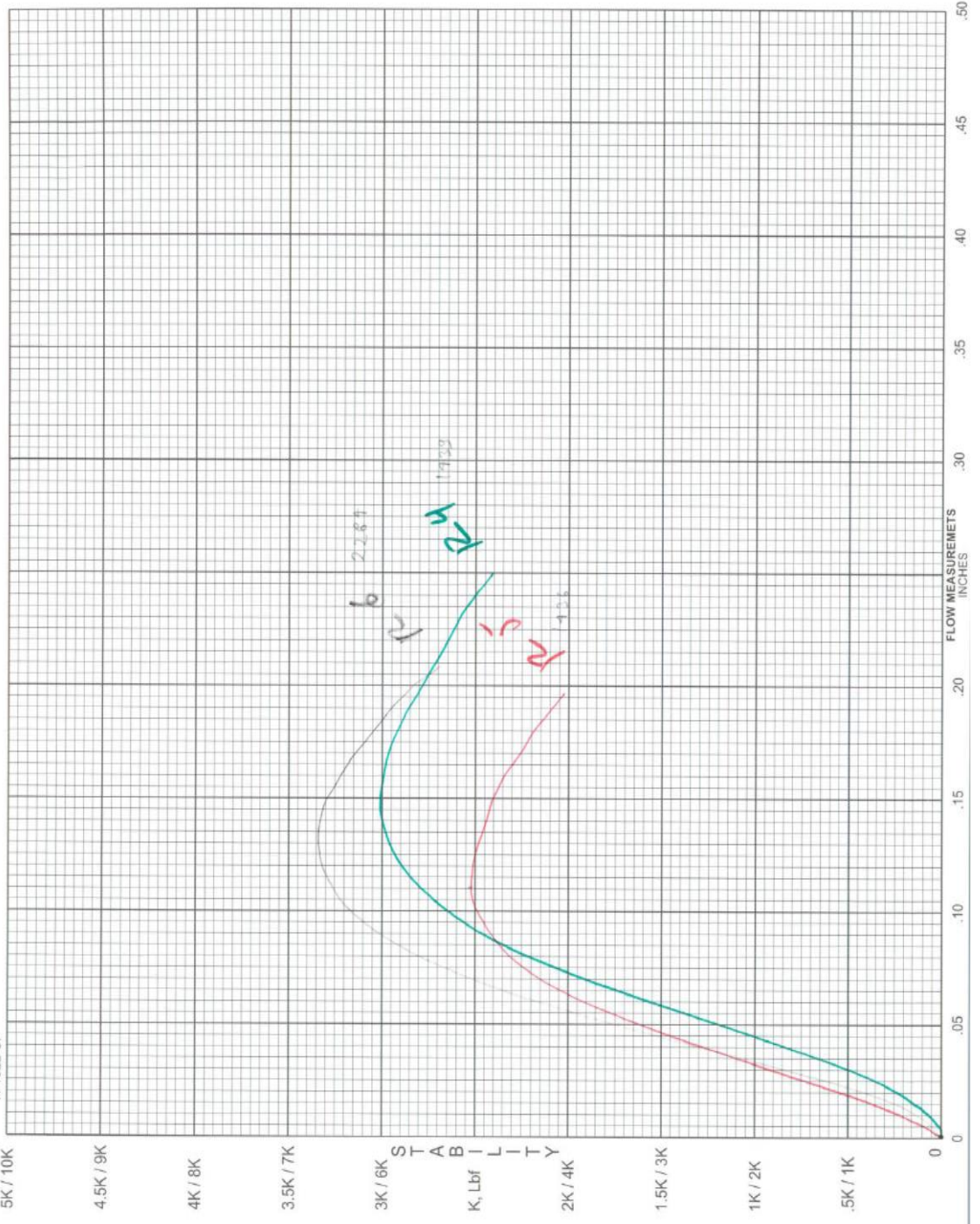
MARK SELECTION  
/





MARK SELECTION □/□

H-1322 CP



**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA CON CONTENIDO  
ÓPTIMO DE ASFALTO MINA RAMÍREZ**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>			<b>SOLICITA:</b> ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA		<b>FISCALIZA:</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA RAMIREZ		<b>CONSTRUYE:</b>
<b>PROVINCIA:</b>	<b>CANTÓN:</b>	<b>EMISIÓN:</b>	
<b>ID MUESTRA:</b>	1 A 6		
<b>MEZCLA:</b>	OPTIMA	<b>FECHA ELAB:</b>	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b> N/D	<b>POR:</b>
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>	<b>POR:</b> CMF	<b>ENSAYO:</b> 03/06/2014	

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	1	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2306.6	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8743.8	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b>Δ [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]

<b>Gmm</b>	2.418	Gravedad Específica Máxima Teórica
------------	-------	------------------------------------

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
**Ensayo**

Ing. Jorge Albuja  
**Responsable Pavimentos**

Ing. Guillermo Realpe  
**Director LMC**

**MÓDULOS DE RIGIDEZ CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO**  
**MINA RAMIREZ**

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R1'

### Dirección del laboratorio de ensayo

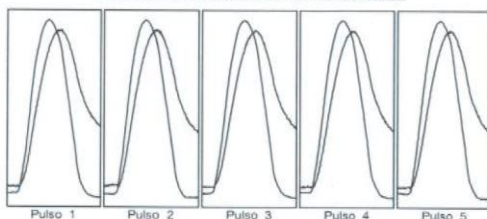
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 03:06:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: R1'  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.66 mm  
Espesor de la probeta: 63.93 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

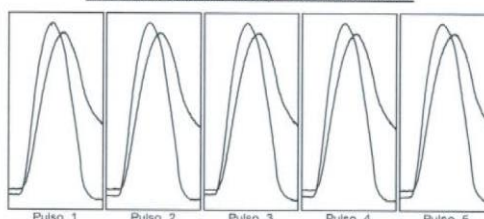
Fecha y hora del ensayo : 03:Jun:2014 10:06      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R1'
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.05	1.11	1.08	
Esfuerzo horizontal (kPa)	102.5	108.4	105.6	
Factor de area de carga	0.60	0.60	0.63	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.6	5.0	4.8
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	120.0	129.0	125.4
Módulo resiliente medido (MPa)		2152	2216	2175
Módulo resiliente ajustado (MPa)		2153	2243	2187

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.02	1.04	1.04	
Esfuerzo horizontal (kPa)	100.2	102.2	101.5	
Factor de area de carga	0.60	0.60	0.62	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	127.0	124.4
Módulo resiliente medido (MPa)		1937	1981	1960
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1939	1999	1972

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.9
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	2068
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	2080

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (10)

<u>Responsable del ensayo</u>  Carlos Mallama Figueroa	<u>Firmado</u>   <u>Fecha de emisión del informe de ensayo</u> 03:06:2014
--	---

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R2

### Dirección del laboratorio de ensayo

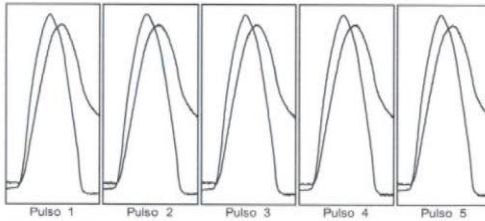
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: R2  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.71 mm  
Espesor de la probeta: 63.92 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

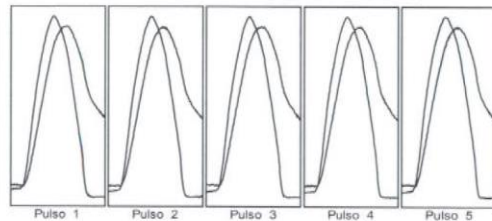
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 13:03      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R2
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.85	0.86	0.85	
Esfuerzo horizontal (kPa)	83.3	84.0	83.5	
Factor de area de carga	0.60	0.61	0.62	0.62
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	126.0	125.0
Módulo resiliente medido (MPa)	1628	1666	1645	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1639	1673	1655	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.81	0.83	0.82	
Esfuerzo horizontal (kPa)	79.5	81.1	80.5	
Factor de area de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	126.0	124.2
Módulo resiliente medido (MPa)	1563	1587	1576	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1563	1594	1578	

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.6
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1611
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1617

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (5)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R3

### Dirección del laboratorio de ensayo

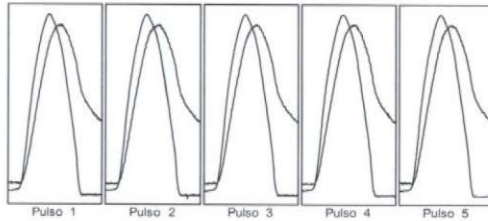
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: R3  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.82 mm  
Espesor de la probeta: 63.505 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

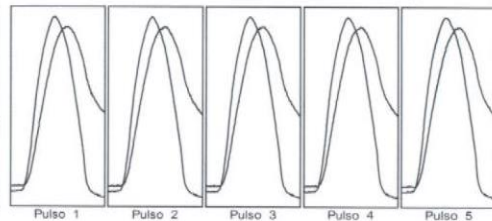
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 13:20 Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R3
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.86	0.87	0.87	
Esfuerzo horizontal (kPa)	84.6	85.5	85.2	
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.62	0.62
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	123.0	121.0
Módulo resiliente medido (MPa)		1667	1702	1681
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1677	1713	1693

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	121.8
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1656
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1666

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (3)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R4

Fecha de impresión: 30:05:2014  
 Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
 Referencia de la probeta: R4  
 Temperatura de la probeta: 20°C  
 Diámetro de la probeta: 101,47 mm  
 Espesor de la probeta: 64,7 mm  
 Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
 Coeficiente de Poisson: 0,35  
 Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
 Número de pulsos de preparación: 10  
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

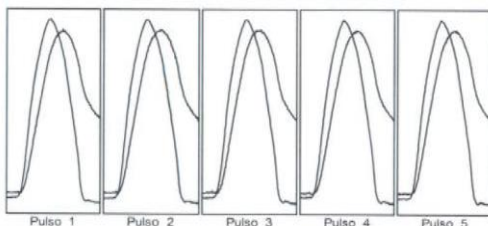
### Dirección del laboratorio de ensayo

PUCE  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
 Quito, Ecuador

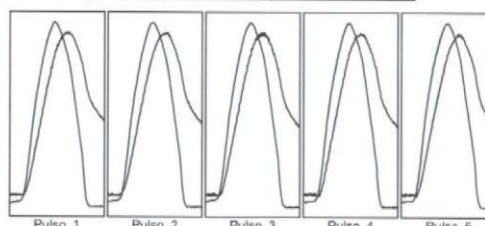
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 13:25      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R4
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0,79	0,79	0,79
Esfuerzo horizontal (kPa)		76,3	77,0	76,8
Factor de área de carga	0,60	0,60	0,61	0,61
Deformación horizontal (µm)	5,0	5,0	5,3	5,1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	118,0	124,0	120,8
Módulo resiliente medido (MPa)		1449	1513	1477
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1450	1521	1482

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0,72	0,74	0,73
Esfuerzo horizontal (kPa)		69,9	71,3	70,4
Factor de área de carga	0,60	0,59	0,61	0,60
Deformación horizontal (µm)	5,0	4,9	5,1	5,0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123,0	128,0	125,8
Módulo resiliente medido (MPa)		1373	1418	1394
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1370	1422	1395

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.3
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1436
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1439

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (6)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R5

### Dirección del laboratorio de ensayo

PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

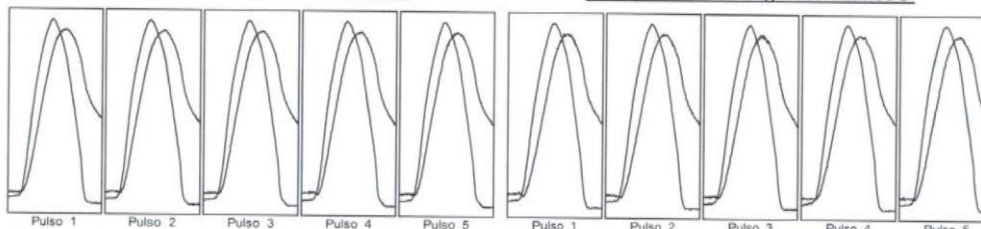
Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: R5  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101,46 mm  
Espesor de la probeta: 64,72 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0,35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 13:31      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R5
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro

### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0,76	0,78	0,77
Esfuerzo horizontal (kPa)		73,9	75,3	74,6
Factor de área de carga	0,60	0,60	0,62	0,61
Deformación horizontal (µm)	5,0	4,9	5,0	4,9
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124,0	127,0	124,6
Módulo resiliente medido (MPa)		1488	1505	1496
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1487	1514	1500

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0,73	0,74	0,73
Esfuerzo horizontal (kPa)		70,8	71,4	71,2
Factor de área de carga	0,60	0,60	0,62	0,61
Deformación horizontal (µm)	5,0	5,1	5,2	5,1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125,0	131,0	128,2
Módulo resiliente medido (MPa)		1348	1384	1369
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1347	1383	1372

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	126.4
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1433
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1436

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (9)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA R6

Fecha de impresión: 30:05:2014  
 Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
 Referencia de la probeta: R6  
 Temperatura de la probeta: 20°C  
 Diámetro de la probeta: 101.6 mm  
 Espesor de la probeta: 64.045 mm  
 Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
 Coeficiente de Poisson: 0.35  
 Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms  
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
 Número de pulsos de preparación: 10  
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

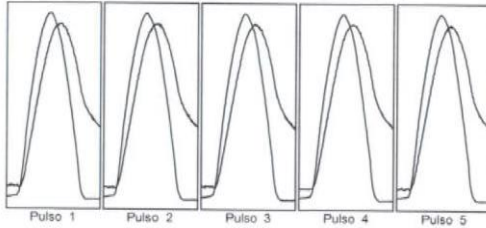
### Dirección del laboratorio de ensayo

PUCE  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
 Quito, Ecuador

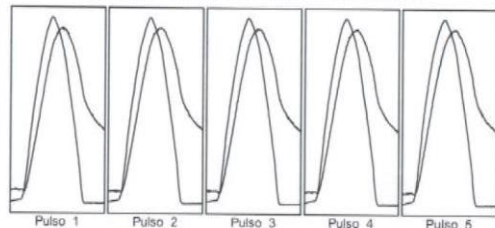
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 14:53      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta R6
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.22	1.24	1.24	1.24
Esfuerzo horizontal (kPa)	119.5	121.5	120.9	121.1
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.62	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	127.0	124.8
Módulo resiliente medido (MPa)	2323	2376	2350	2368
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2339	2395	2368	2368

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	1.14	1.14	1.14	1.14
Esfuerzo horizontal (kPa)	111.1	112.0	111.6	111.6
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	124.0	122.4
Módulo resiliente medido (MPa)	2184	2199	2192	2192
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2188	2206	2200	2200

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.6
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	2271
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	2284

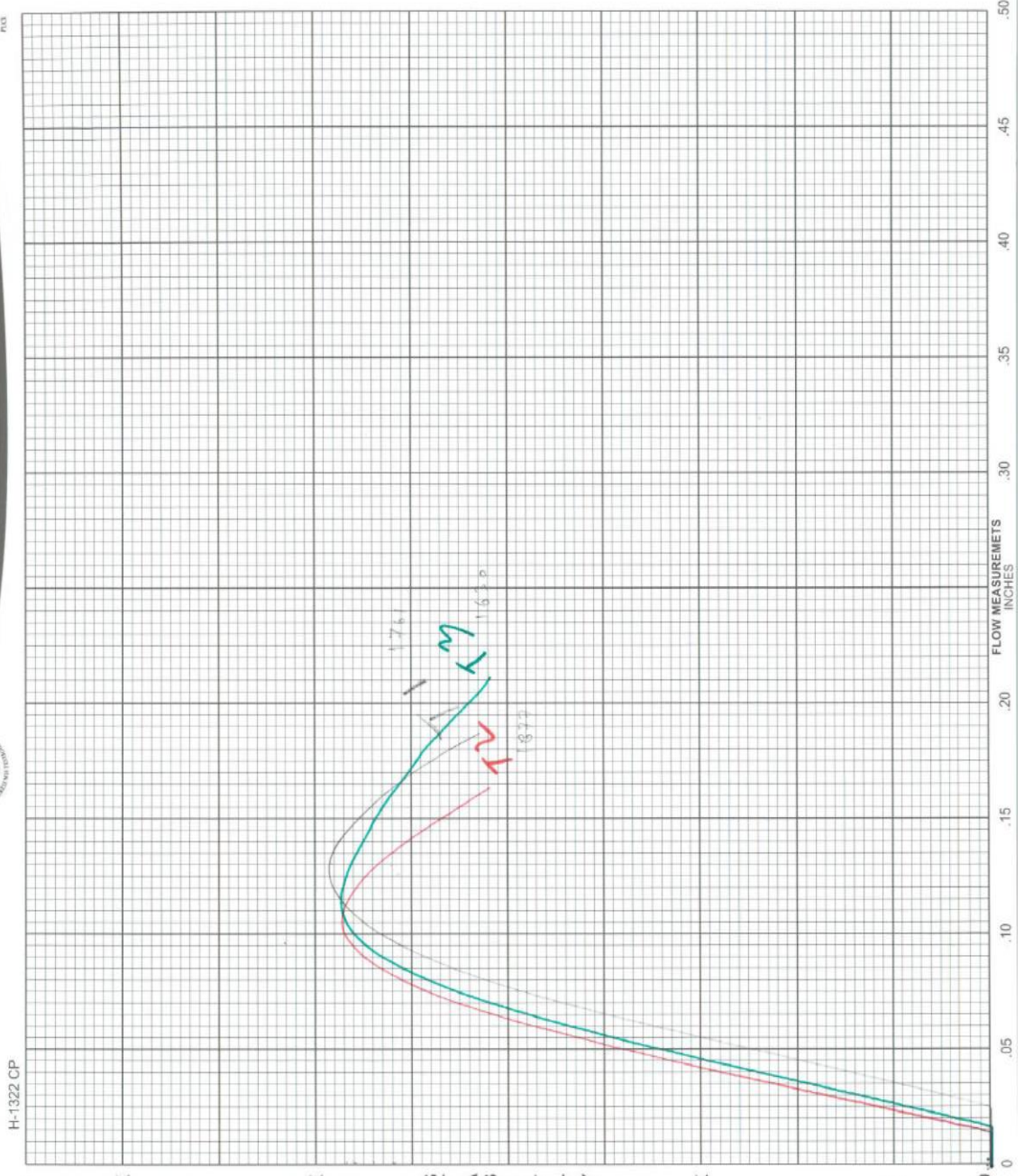
Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (7)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

**CURVAS MARSHALL CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO  
MINA TAHUANDO**



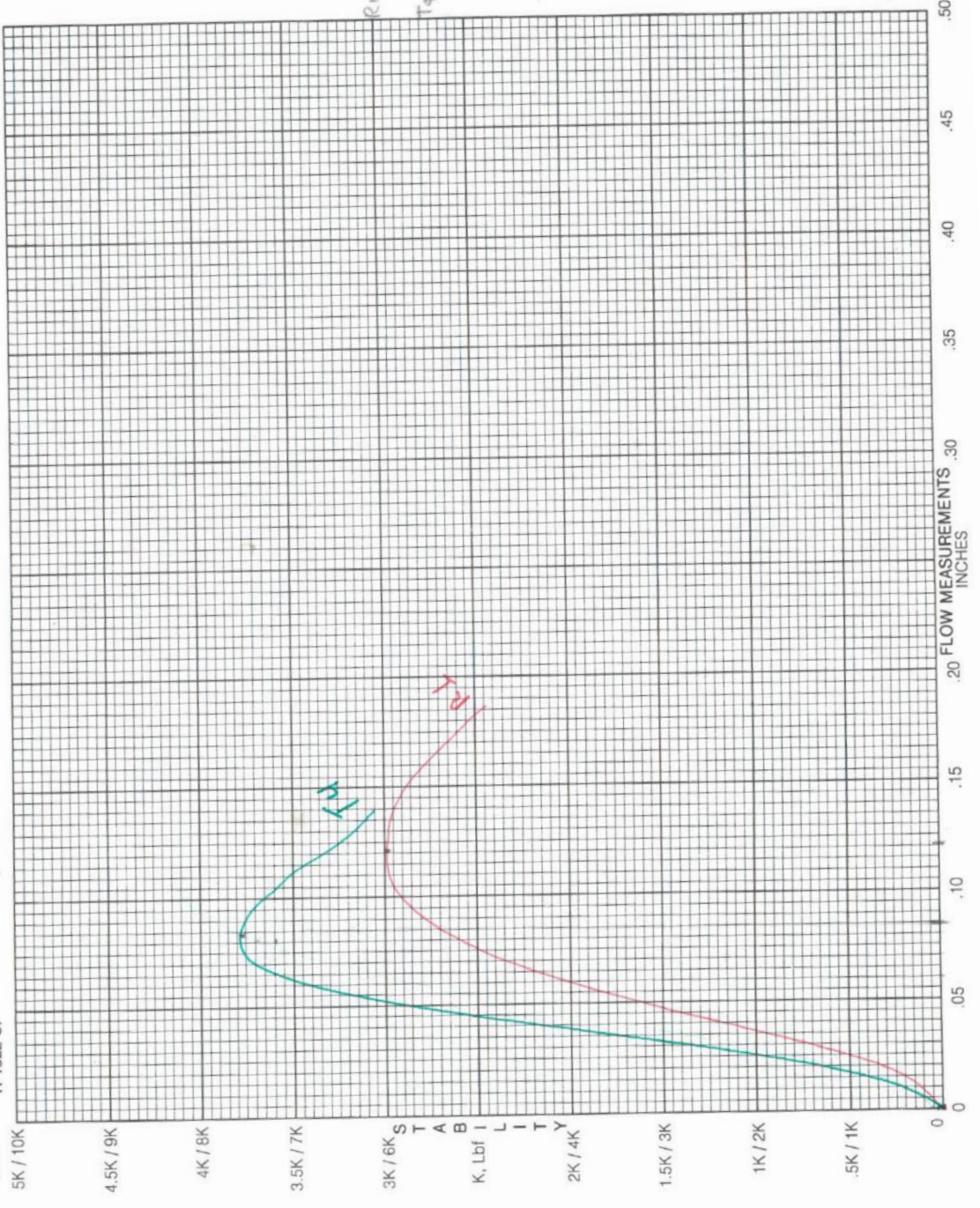
MARK SELECTION  
 /

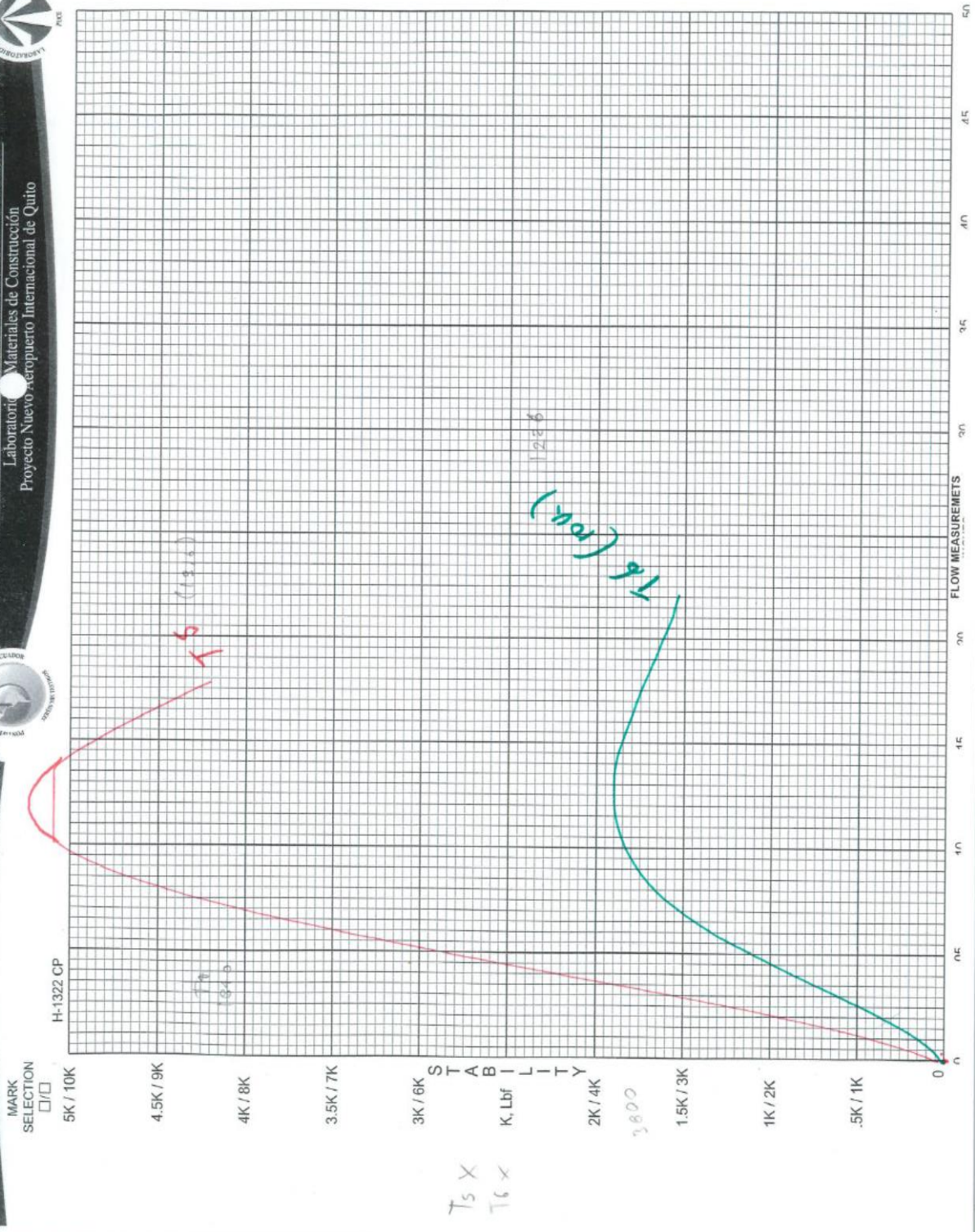


2700

**HUMBOLDT MFG. CO.**  
 7300 W. AGATITE  
 NORRIDGE, IL 60706  
 (708) 456-6300

SELECTION  /  H-1322 CP





**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA CON CONTENIDO  
ÓPTIMO DE ASFALTO MINA TAHUANDO**

**ÁREA DE PAVIMENTOS**  
**GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA Y DENSIDAD**  
**DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

<b>NORMA:</b> AASHTO T 209-08		<b>ORDEN:</b>	<b>HOJA:</b> 1 de 1
<b>CLIENTE:</b>		<b>SOLICITA:</b>	ING. GONZALO LAGLA
<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA	<b>FISCALIZA:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>	MINA TAHUANDO	<b>CONSTRUYE:</b>	
<b>PROVINCIA:</b>		<b>CANTÓN:</b>	
<b>EMISIÓN:</b>			
<b>ID MUESTRA:</b>	1 A 6		
<b>MEZCLA:</b>	OPTIMA	<b>FECHA ELAB:</b>	
<b>ORIGEN MUESTRA:</b>	BRIQUETAS DISGREGADAS		
<b>MÉTODO:</b>	N/D	<b>MUESTREO:</b>	N/D
<b>CONDICIÓN MUESTRA:</b>	COMPACTADO EN LABORATORIO		
<b>RECEPCIÓN:</b>		<b>POR:</b>	CMF
		<b>ENSAYO:</b>	03/06/2014

<b>TIPO DE CONTENEDOR:</b>	METÁLICO	<b>PROCEDIMIENTO:</b>	DETERMINACIÓN DE MASA EN AIRE
----------------------------	----------	-----------------------	-------------------------------

<b>M</b>	1	Número de muestra
<b>TM</b>	2	Número total de muestras
<b>A</b>	2324.5	Masa de la muestra [g]
<b>D</b>	7391.1	Masa del contenedor lleno de agua a $25 \pm 0.5$ °C [g]
<b>E</b>	8776.4	Masa del contenedor lleno con la muestra y agua a $25 \pm 1$ °C [g]
<b>PS</b>	NO	Se utilizó el procedimiento suplementario para determinar A'?

**PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO (Si aplica)**

<b>B</b>		Masa de la bandeja [g]
<b>Mi</b>		Masa inicial del conjunto bandeja y muestra húmeda [g]
<b>CICLO</b>	<b>Masa [g]</b>	<b><math>\Delta</math> [%]</b>
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
<b>A'</b>		Masa de la muestra con superficie seca [g]
<b>Gmm</b>	<b>2.475</b>	Gravedad Específica Máxima Teórica

**COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO:**

CARLOS MALLAMA  
 Ensayo

Ing. Jorge Albuja  
 Responsable Pavimentos

Ing. Guillermo Realpe  
 Director LMC

**MÓDULOS DE RIGIDEZ CON CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO  
MINA TAHUANDO**

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T1

### Dirección del laboratorio de ensayo

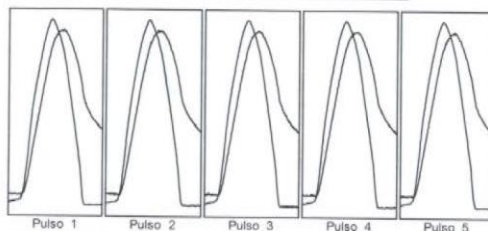
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: T1  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.44 mm  
Espesor de la probeta: 64.02 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

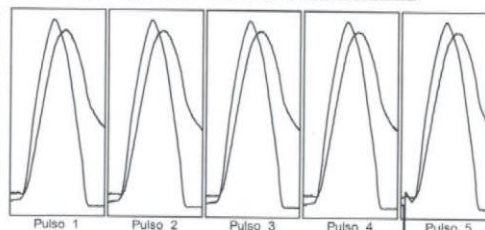
Fecha y hora del ensayo :	30:May:2014 15:00	Nombre del cliente :	GONZALO LAGLA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T1
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.92	0.93	0.92	0.92
Esfuerzo horizontal (kPa)	89.9	90.7	90.2	89.9
Factor de área de carga	0.60	0.59	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	123.0	127.0	124.6
Módulo resiliente medido (MPa)	1767	1773	1771	1766
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1766	1779	1773	1773

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.88	0.89	0.89	0.89
Esfuerzo horizontal (kPa)	86.4	87.4	87.1	86.4
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.59	0.64
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	125.0	128.0	135.6
Módulo resiliente medido (MPa)	1702	1780	1717	1717
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1701	1872	1748	1748

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	130.1
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0049
Módulo resiliente medido (MPa) :	1744
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1761

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (1)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T2

### Dirección del laboratorio de ensayo

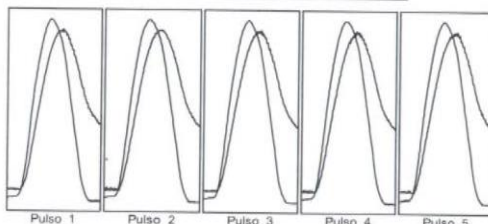
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: T2  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.5 mm  
Espesor de la probeta: 62.665 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

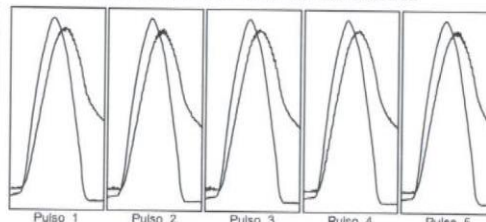
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 15:05      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T2
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.96	0.97	0.97	0.97
Esfuerzo horizontal (kPa)	96.1	97.5	96.7	96.7
Factor de área de carga	0.60	0.58	0.60	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.1	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	130.0	126.0
Módulo resiliente medido (MPa)	1886	1915	1905	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1873	1912	1899	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.94	0.96	0.94	0.94
Esfuerzo horizontal (kPa)	94.1	95.7	94.5	94.5
Factor de área de carga	0.60	0.59	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	130.0	124.8
Módulo resiliente medido (MPa)	1820	1870	1848	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1815	1881	1854	

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	125.4
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1877
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1877

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (2)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T3

Fecha de impresión: 30:05:2014  
 Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
 Referencia de la probeta: T3  
 Temperatura de la probeta: 20°C  
 Diámetro de la probeta: 101.68 mm  
 Espesor de la probeta: 63.39 mm  
 Densidad aparente: 2300 (kg/m<sup>3</sup>)  
 Coeficiente de Poisson: 0.35  
 Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
 Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
 Número de pulsos de preparación: 10  
 Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

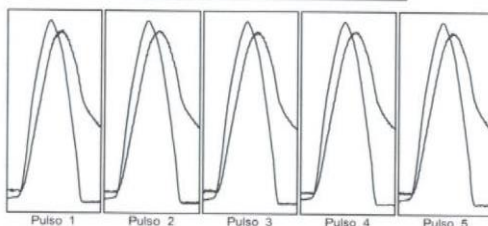
### Dirección del laboratorio de ensayo

PUCE  
 Laboratorio de Materiales de Construcción  
 Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
 Quito, Ecuador

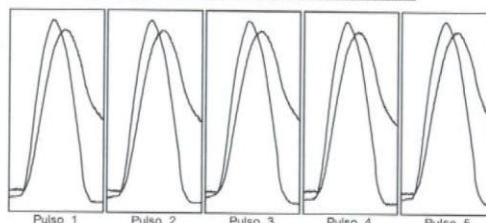
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 15:10      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T3
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.85	0.86	0.85	0.85
Esfuerzo horizontal (kPa)		83.8	84.5	84.1
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	126.0	123.2
Módulo resiliente medido (MPa)		1660	1680	1665
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1665	1683	1671

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.81	0.85	0.83	0.83
Esfuerzo horizontal (kPa)		80.4	84.0	81.8
Factor de área de carga	0.60	0.59	0.60	0.59
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.3	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	128.0	123.8
Módulo resiliente medido (MPa)		1677	1619	1592
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1675	1612	1588

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.5
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1629
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1630

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (5)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T4'

### Dirección del laboratorio de ensayo

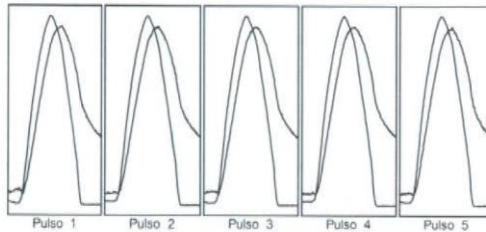
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 03:06:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: T4'  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101,54 mm  
Espesor de la probeta: 63,79 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0,35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

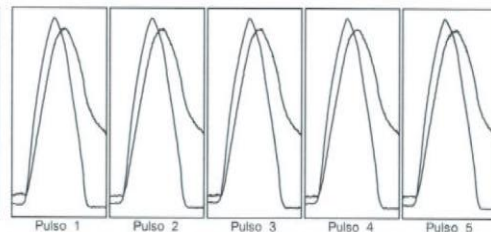
Fecha y hora del ensayo :	03:Jun:2014 10:13	Nombre del cliente :	GONZALO LAGLA
---------------------------	-------------------	----------------------	---------------

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T4'
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.99	1.01	1.00	
Esfuerzo horizontal (kPa)	97.5	99.1	98.6	
Factor de area de carga	0.60	0.61	0.62	0.62
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.7	4.9	4.8
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	123.0	121.8
Módulo resiliente medido (MPa)	2012	2061	2036	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	2033	2079	2053	

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.99	1.01	1.00	
Esfuerzo horizontal (kPa)	97.0	99.3	98.4	
Factor de area de carga	0.60	0.61	0.62	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.9	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	126.0	123.8
Módulo resiliente medido (MPa)	1954	1980	1964	
Módulo resiliente ajustado (MPa)	1962	1984	1972	

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	122.8
Deformación horizontal (µm) :	4.9
Deformación horizontal (%) :	0.0048
Módulo resiliente medido (MPa) :	2000
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	2013

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (4)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	03:06:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T5

### Dirección del laboratorio de ensayo

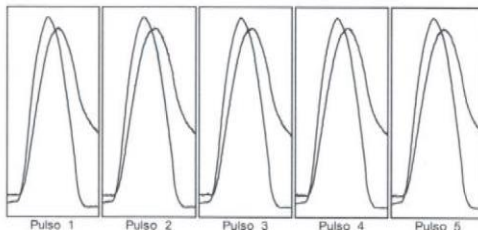
PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: T5  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.58 mm  
Espesor de la probeta: 62.07 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseada (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

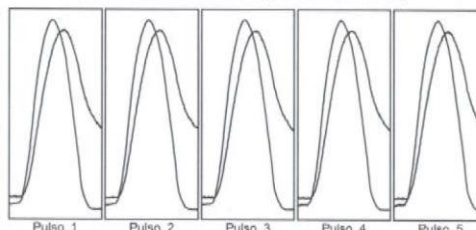
Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 15:21      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T5
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro



### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		1.01	1.03	1.01
Esfuerzo horizontal (kPa)		101.5	104.1	102.3
Factor de área de carga	0.60	0.59	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.2	5.1
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	119.0	125.0	121.6
Módulo resiliente medido (MPa)		1974	2021	2002
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1985	2025	2002

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0.92	0.92	0.92
Esfuerzo horizontal (kPa)		92.7	93.0	92.9
Factor de área de carga	0.60	0.60	0.61	0.60
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.0	5.0	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	124.0	128.0	126.0
Módulo resiliente medido (MPa)		1826	1832	1828
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1824	1836	1829

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	123.8
Deformación horizontal (µm) :	5.0
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1915
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1916

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (9)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

## Informe del módulo resiliente por compresión diametral

(EN 12697-26:2004(Annex C): (Equipo - CRT-HYD25)

No. De serie del informe de ensayo: IBARRA T6

### Dirección del laboratorio de ensayo

PUCE  
Laboratorio de Materiales de Construcción  
Av. Doce de Octubre y Mena Caamaño  
Quito, Ecuador

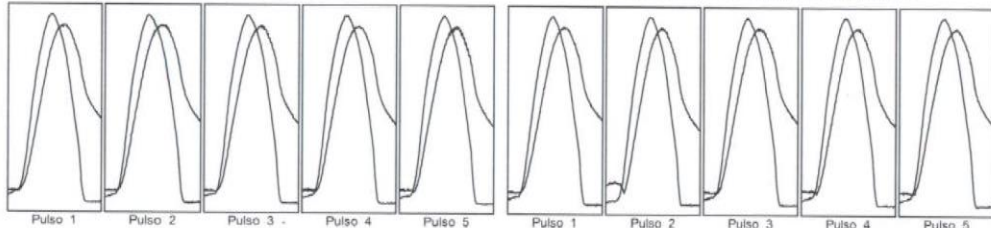
Fecha de impresión: 30:05:2014  
Ensayo realizado por: Carlos Mallama  
Referencia de la probeta: T6  
Temperatura de la probeta: 20°C  
Diámetro de la probeta: 101.79 mm  
Espesor de la probeta: 63.203 mm  
Densidad aparente: 2300 (kg/m³)  
Coeficiente de Poisson: 0.35  
Tiempo de subida deseado (ms): 124 ms  
Deformación horiz. Deseada (microns): 5 µm  
Número de pulsos de preparación: 10  
Frecuencia de lectura del transductor: 1000 Hz

Fecha y hora del ensayo : 30:May:2014 15:26      Nombre del cliente : GONZALO LAGLA

Tipo y origen de la mezcla bituminosa	IBARRA briqueta T6
Método de fabricación de la mezcla bituminosa	Compactada en laboratorio
Método de compactación	Compactador Marshall a 75 golpes por cara
Condiciones de almacenamiento	Almacenado en laboratorio a 20 °C.
Método de determinación de la densidad aparente	Estimada.

### Ensayo sobre el primer diámetro

### Ensayo sobre el segundo diámetro



Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)	0.66	0.67	0.66	
Esfuerzo horizontal (kPa)	64.9	66.3	65.4	
Factor de área de carga	0.60	0.59	0.62	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	5.1	5.3	5.2
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	122.0	126.0	124.2
Módulo resiliente medido (MPa)		1241	1262	1250
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1238	1266	1254

Resultados	Deseada	Real Min	Real Max	Media
Fuerza vertical (kN)		0.56	0.62	0.61
Esfuerzo horizontal (kPa)		55.6	61.3	59.9
Factor de área de carga	0.60	0.61	0.62	0.61
Deformación horizontal (µm)	5.0	4.6	5.2	5.0
Tiempo de carga (subida) (ms)	124	121.0	129.0	125.0
Módulo resiliente medido (MPa)		1176	1205	1191
Módulo resiliente ajustado (MPa)		1180	1210	1198

### Media de los dos ensayos

Tiempo de carga (subida) (ms) :	124.6
Deformación horizontal (µm) :	5.1
Deformación horizontal (%) :	0.0050
Módulo resiliente medido (MPa) :	1221
Módulo resiliente ajustado (MPa) :	1226

Diferencia en porcentaje entre módulos resilientes ajustados medios = (5)

Responsable del ensayo	Firmado
Carlos Mallama Figueroa	
	Fecha de emisión del informe de ensayo
	30:05:2014

**ANEXO 3**

**ESPECIFICACIONES GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN DE  
CAMINOS Y PUENTES**

**(MOP-001-F2002 TOMO II)**

## SECCION 811. AGREGADOS PARA HORMIGON ASFALTICO

### 811.1. Generalidades.

**811-1.01. Objetivos.-** Esta especificación tiene por objeto fijar las características que deben cumplir los agregados que se emplean en la construcción de hormigón asfáltico.

**811-1.02. Alcance y Limitaciones.-** Esta especificación no se aplica a ningún otro material pétreo que se requiera en las obras viales, y debe acudirse a las especificaciones correspondientes.

**811-1.03. Definiciones Específicas.-** Relleno mineral: Porción de material que pasa el tamiz INEN 75 micrones (N° 200).

Densidad: Es la masa de la unidad de volumen de las partículas del árido a una temperatura especificada. El volumen no incluye los poros saturables de las partículas ni los huecos entre éstas.

Agregado fino: Porción de material que pasa el tamiz INEN 4.75 mm. (N° 4) y es retenida en el tamiz INEN 75 micrones (N° 200).

Agregado grueso: Agregado cuyas partículas son retenidas por el tamiz INEN 4.75 mm. (N° 4).

### 811-2. Agregados para Mezcla en Planta.

**811-2.01. Descripción.-** Son agregados que se utilizan para la fabricación de hormigón asfáltico empleando una planta de asfaltos o equipo semejante para su mezcla con el asfalto.

**811-2.02. Requisitos.-** Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc., de tal manera que cumplan los requisitos de graduación que se establecen en la **Tabla 404-5.1 ó 405-5.1** de estas especificaciones según corresponda, y se clasifican en "A", "B" y "C", de acuerdo a lo establecido a continuación:

- a) Agregados tipo A: Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se puede añadir relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación antes mencionadas. Este relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland, si así se establece para la obra.
- b) Agregados tipo B: Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El

agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en la zona del proyecto.

- c) **Agregados tipo C:** Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 405-5.2 de estas especificaciones.

Los agregados serán fragmentos limpios, resistentes y duros, libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material inconveniente. Se utilizarán agregados completamente secos y de no poder cumplirse esto, se instalarán dos secadores en serie, de tal forma que cuando se termine la operación de mezclado, la humedad de los agregados no exceda de 1%.

Además de los requisitos granulométricos y los referentes a su producción, que se indicaron anteriormente, los agregados deben cumplir con las siguientes exigencias:

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor de 40% luego de 500 revoluciones de la máquina de Los Angeles, cuando sean ensayados a la abrasión, según la norma INEN 860.

La porción de los agregados que pasa el tamiz INEN 0.425 mm. (N° 40), deberá tener un índice de plasticidad menor a 4, según lo establecido en las Normas INEN 691 y 692.

El agregado no debe experimentar desintegración ni pérdida total mayor del 12%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio, en la prueba de durabilidad, como lo dispone la Norma INEN 863, salvo que las especificaciones especiales indiquen otra cosa.

Los agregados serán de características tales que, al ser impregnados con material bituminoso, más de un 95% de este material bituminoso permanezca impregnando las partículas, después de realizado el ensayo de resistencia a la peladura, según la Norma AASHTO T 182.

El relleno mineral deberá cumplir con los requisitos especificados en la Norma AASHTO M 17.

#### 811.2.02a Requisitos

Los agregados gruesos retenidos en el tamiz INEN 4.75 mm. deben tener cierta angularidad. El 85% de agregado grueso deberá tener por lo menos una cara

fracturada y el 80% del agregado grueso deberá tener por lo menos dos caras fracturadas, según la Norma ASTM D5821.

La angularidad de los agregados finos es determinada como el porcentaje de vacíos de aire presente en los agregados pasantes el tamiz INEN 2.36 mm. El valor mínimo requerido es de 45% según la Norma ASTM C1252.

El equivalente de arena se realiza en los agregados pasantes el tamiz INEN 4.75 mm. Norma AASHTO T 176 ( ASTM D2419 ). Los valores mínimos recomendados son los siguientes:

	Equivalente de Arena	
	Tráfico Liviano y Mediano	Tráfico Pesado
Base	35	40
Capa de Rodadura	45	50

El máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz INEN 4.75mm cuya relación entre las dimensiones máximas y mínimas mayor que 5, no deberá ser mayor de un 10% según la Norma ASTM D4791.

El máximo porcentaje de materiales deletéreos en los agregados es de 1% en peso según la Norma ASTM C142.

**811-2.03. Ensayos y Tolerancias.-** Los ensayos de control y verificación que se deben realizar para aceptar o rechazar un agregado, seguirán lo indicado en las normas mencionadas en los diferentes párrafos del numeral anterior. Las exigencias de graduación serán comprobadas mediante ensayos granulométricos, según lo establecido en las Normas INEN 696 y 697.

El peso específico de los agregados se determinará de acuerdo al método de ensayo INEN 856 y 857, según corresponda, y el peso unitario de los agregados se determinará de acuerdo a la Norma INEN 854.

### **811-3. Agregados para Mezcla en Sitio.**

**811-3.01. Descripción.-** Son agregados que se utilizan en la fabricación del hormigón asfáltico, cuando éste se lo construye en el lugar de trabajo, empleando equipo especial para mezcla en sitio.

**811-3.02. Requisitos.-** Los agregados para mezcla en sitio deben cumplir las mismas exigencias establecidas en la subsección 811-2., salvo la granulometría, que será la establecida para este tipo de trabajos en las Tablas 404-4.1 y 405-4.1 de estas especificaciones, según corresponda.

Tabla 405-4.1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada	
	3/8" Máximo	1/4" Máximo
1/2" (12.7 mm.)	100	--
3/8" (9.5 mm.)	90 - 100	100
1/4" (6.3 mm.)	55 - 75	85 - 100
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 50	--
Nº 8 (2.38 mm.)	15 - 32	15 - 32
Nº 16 (1.18 mm.)	0 - 15	0 - 15
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 3	0 - 3

Tabla 405-5.1.

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 405-5.2.

Ensayos de acuerdo al método Marshall	T R A F I C O					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
Nº de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800	--	1.200	--	750	--
Flujo (pulgada/100)	8	16	8	18	8	20
% vacíos con aire:						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota: % de Vacíos en el agregado mineral (VMA) de acuerdo con el gráfico actualizado del Instituto del Asfalto.

No se recomienda la utilización de estos cementos asfálticos para riegos.

TABLA 810.2.1.

ENSAYOS	60-70		85-100	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
<b>Betún original</b>				
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*).	-1,5	+1,5	-1,5	+1,5
Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25 °C/ 25 °C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	---	2,2	---	2,2
<b>Ensayos al residuo del TFOT:</b>				
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1,0
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

TABLA 405-5.5

<b>Tipo de Mezcla</b>	<b>VAM, Mínimo (%)</b>
A	16
B	15
C, D	14
E	13