

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA  
CANTERA BRICEÑO BAJO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO Y OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL  
DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL METODO MARSHALL.**

**ING. MILTON JESUS BOLAÑOS DELGADO  
ING. ALEXANDER TREJOS CERON**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2013**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LA  
CANTERA BRICEÑO BAJO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE  
NARIÑO Y OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO PARA EL  
DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL METODO MARSHALL.**

**ING. MILTON JESUS BOLAÑOS DELGADO  
ING. ALEXANDER TREJOS CERON**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de  
Especialista en Ingeniería de Carreteras**

**Director:  
ING. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO  
Magister en Ingeniería de Vías Terrestres**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
SAN JUAN DE PASTO  
2013**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“Las ideas y conclusiones aportadas en este Proyecto de Trabajo de Grado, son de responsabilidad exclusiva de los autores”.

Artículo 1<sup>o</sup> del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Académico de la Universidad de Nariño.

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

**COMENTARIOS:**

---

**ING. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO**  
Magister en Ingeniería de Vías Terrestres  
Director trabajo de grado

---

**ING. GUILLERMO MUÑOZ RICAURTE**  
Especialista en Ingeniería de Vías Terrestres  
Jurado

---

**ING. ARMANDO MERINO CHAMORRO**  
Especialista en Ingeniería de Carreteras  
Jurado

Pasto, 17 de mayo de 2013

## DEDICATORIA

*A Dios a la Virgen por acompañarme cada hora de mi vida, por iluminarme y brindarme la oportunidad de haber culminado con éxito el postgrado y haber fortalecido mis conocimientos para mi carrera.*

*A mis queridos padres que los llevo siempre en mi mente y corazón con sus grandes consejos y me han forjado a ser más humano cada día y alcanzar mis metas para llegar al éxito.*

*A mis queridos hermanos: Adriana, Mario, Lucia, gracias por ser unos seres maravillosos que siempre cuidare y me acompañan a compartir conmigo todos esos momentos lindos de la vida y darme su voz de aliento cuando más lo necesito.*

*A mis sobrinos Andrés, Juan Sebastián, Sofía, Sáhara, Santiago por ser mi instrumentos de existir cada día de mi vida.*

*A todos mis amigos, y cada uno que hace posible que las cosas sigan adelante ..... Gracias*

*Alexander Trejos Cerón*

## **DEDICATORIA**

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre Elva Enid Delgado Astaiza, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A la memoria de mi padre Julio Cesar Bolaños Ordoñez, por ser mi guía, amigo y maestro.

A mi Esposa Grace, por amarme y apoyarme siempre.

A mis hijos Camila, Daniel y Julio, quienes con su amor me dan la fuerza y motivación para alcanzar todas mis metas.

A mis hermanos, Socorro, Melva, Gloria, Myriam, Sandro, Cristina y Julián, por estar conmigo y apoyarme siempre, los amo mucho.

A mis suegros, Jaime Benavides y Magda Chamorro, por su gran apoyo incondicional.

**Milton Jesús Bolaños Delgado**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a las personas y entidades que permitieron alcanzar los objetivos trazados en este trabajo:

A la Universidad, al cuerpo de profesores y empleados administrativos, quienes contribuyeron a nuestra formación profesional y personal.

A nuestro director JORGE LUIS ARGOTY BURBANO, Ingeniero Civil. Magister en Ingeniería de Vías Terrestres, por su valiosa orientación y aportes a nuestro trabajo.

Al personal de Laboratorios de Suelos del Departamento de Ingeniería, quien con su colaboración y experiencia, nos guiaron para cumplir los objetivos trazados.

## INDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1 MARCO TEÓRICO	22
1.1 MEZCLA ASFÁLTICA	22
1.2 CLASIFICACION DE LA MEZCLAS ASFALTICAS	23
1.3 COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA	24
1.3.1 Agregados	24
1.3.2 Asfalto	25
1.3.3 Vacíos de aire	26
1.4 MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE (MDC)	26
1.5 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	29
2 PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES	32
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS	32
2.1.1 Ensayos efectuados a los cementos asfálticos según normas Invias – 2007	33
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	34
2.2.1 Agregado grueso	34
2.2.2 Agregado fino	35
2.2.3 Llenante mineral	35
2.3 ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS PÉTREOS SEGÚN LAS NORMAS INVIAS – 2007	36
2.3.1 Composición	36
2.3.2 Dureza	37
2.3.3 Durabilidad	37
2.3.4 Limpieza	38
2.3.5 Geometría de partículas	39
2.3.6 Gravedad específica	39

3	FASE EXPERIMENTAL	41
3.1	EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO	43
4	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	46
5	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO EMPLEADO	47
5.1	DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN	47
5.1.1	Curva susceptibilidad térmica del asfalto	48
5.2	COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS	49
6	ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS	51
6.1	ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO	51
6.2	DOSIFICACIÓN DE LAS BRIQUETAS	52
6.3	PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS	53
7	PRUEBAS Y ENSAYOS REALIZADOS A LAS BRIQUETAS	61
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
8.1	CÁLCULO DE VALORES DEL ENSAYO MARSHALL No 1	64
8.2	GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO MARSHALL No. 1	71
8.3	OBSERVACIONES Y TENDENCIAS DE LAS GRÁFICAS DE DISEÑO	72
8.4	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO	76
8.4.1	Parámetros de diseño encontrados para el ensayo Marshall No. 1	77
8.5	CÁLCULO DE VALORES DEL ENSAYO MARSHALL No 2	78
8.6	GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO MARSHALL No. 2	79
8.6.1	Parámetros de diseño encontrados para el ensayo Marshall No. 2	84
	CONCLUSIONES	86
	RECOMEDACIONES	88
	BIBLIOGRAFIA	89



## INDICE DE TABLAS

		Pág.
TABLA 1	Clasificación de las mezclas asfálticas	24
TABLA 2	Granulometrías típicas para mezclas densas en caliente	27
TABLA 3	Criterios de selección del cemento asfáltico	28
TABLA 4	Diseño de mezcla y obtención de la fórmula de trabajo	29
TABLA 5	Especificaciones para cementos asfálticos	32
TABLA 6	Requisitos de los agregados pétreos para un nivel de tránsito NT3	40
TABLA 7	Equipos y descripción	43
TABLA 8	Tabla de resumen de resultados materiales pétreos	46
TABLA 9	Temperaturas óptimas de aplicación para los asfaltos colombianos	48
TABLA 10	Número de golpes por cara según la intensidad del tránsito	48
TABLA 11	Ajuste granulométrico para mezclas asfálticas	49
TABLA 12	Factor de K con respecto al porcentaje de material	52
TABLA 13	Tipo de material n	52
TABLA 14	Dosificación muestras diseño Marshall	55
TABLA 15	Formato de datos de entrada ensayo Marshall No. 1	65
TABLA 16	Peso específico máximo teórico de las mezclas asfálticas	68
TABLA 17	Determinación del peso específico máximo medido (Gmm)	68
TABLA 18	Resumen para el trazado de los gráficos del Método Marshall para ensayo Marshall No. 1	71
TABLA 19	Comparación de resultados obtenidos con los criterios del método Marshall para el ensayo Marshall No. 1	78
TABLA 20	Formato de datos de entrada ensayo Marshall No. 2	74

TABLA 21	Resumen para el trazado de los gráficos del Método Marshall para ensayo Marshall No. 2	80
TABLA 22	Comparación de resultados obtenidos con los criterios del método Marshall para el ensayo Marshall No. 2	84

## INDICE DE GRAFICAS

		Pág.
GRÁFICO No. 1	% de vacíos con aire en la mezcla total Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	73
GRÁFICO No. 2	% de vacíos en el agregado mineral VMA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	73
GRÁFICO No. 3	% de vacíos llenos de Asfalto VFA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	74
GRÁFICO No. 4	Gráfico Densidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	74
GRÁFICO No. 5	Estabilidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	75
GRÁFICO No. 6	Flujo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	75
GRÁFICO No. 7	Llenante / Asfalto Efectivo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1	76
GRÁFICO No. 8	% de vacíos con aire en la mezcla total Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	80
GRÁFICO No. 9	% de vacíos en el agregado mineral VMA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	81
GRÁFICO No. 10	% de vacíos llenos de Asfalto VFA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	81
GRÁFICO No. 11	Gráfico Densidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	82
GRÁFICO No. 12	Estabilidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	82
GRÁFICO No. 13	Flujo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	83
GRÁFICO No. 14	Llenante / Asfalto Efectivo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2	83

## INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA No. 1 Diagrama de flujo procedimiento para el análisis de datos	42
FIGURA No. 2 Fórmula de trabajo	50
FIGURA No. 3 Marcación de las briquetas de ensayo	64

## INDICE DE FOTOGRAFIAS

		Pág.
FOTOGRAFÍA No. 1	Clasificación del material granular	54
FOTOGRAFÍA No. 2	Dosificación de briquetas con material granular	54
FOTOGRAFÍA No. 3	Preparación del agregado, del asfalto, collar, molde y base del martillo	58
FOTOGRAFÍA No. 4	Dosificación briquetas	58
FOTOGRAFÍA No. 5	Proceso de mezclado	59
FOTOGRAFÍA No. 6	Compactación y desmolde de briquetas	60
FOTOGRAFÍA No. 7	Numeración y almacenamiento de briquetas	60
FOTOGRAFÍA No. 8	Determinación de altura	61
FOTOGRAFÍA No. 9	Densidades Agua – Aire	61
FOTOGRAFÍA No. 10	Briquetas en baño María	62
FOTOGRAFÍA No. 11	Estabilidad y flujo	62

## INDICE DE ANEXOS

		Pág.
ANEXO A	CARTA DE CALIBRACIÓN DEL FABRICANTE DEL ANILLO DE CARGA "CONTROLS" DE 30 KN DE CAPACIDAD	92
ANEXO B	CERTIFICADO Y CARTA DE CALIBRACIÓN DEL ANILLO DE CARGA "CONTROLS" DE 30 KN DE CAPACIDAD REALIZADO POR ROSSEMBERG & REINGENIERÍA S.A.S	104
ANEXO C	CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DEL CEMENTO ASFALTICO PROCEDENTE DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA	121
ANEXO D	FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA ESTABILIDAD	123
ANEXO E	PORCENTAJE MÍNIMO DE VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)	127
ANEXO F	FORMATO DE ENSAYO MARSHALL MUESTRA No. 1 Y FORMATO DE ENSAYO MARSHALL MUESTRA No. 2	129
ANEXO G	PESO ESPECIFICO MÁXIMO MEDIDO (Rice)	132
ANEXO H	CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO ASFALTICO PROCEDENTE DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA EMPLEADO EN EL DISEÑO DE LA MEZCLA	135
ANEXO I	ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MÉCANICOS REALIZADOS A LOS MATERIALES PETREOS	138
ANEXO J	FACTURA DE COMPRA DE LOS EQUIPOS	153

## RESUMEN

Esta investigación consistió en la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla asfáltica densa en caliente (MDC) preparada con cemento asfáltico normal y diseñada mediante el método Marshall, utilizando materiales pétreos de la cantera Briceño Bajo, ubicada en el sector de Torobajo en el Municipio de Pasto (Nariño), los cuales cumplen con las especificaciones en su caracterización física, química y mineralógica fijadas por la norma INVIAS 2007. La base del proceso se debe a los ensayos pertinentes que se hicieron a los agregados minerales para nivel de tránsito alto (NT3), y además se tomó como referencia los ensayos entregados por el distribuidor del cemento asfáltico de Barrancabermeja con una penetración de 60-70 que es el más utilizado en la zona teniendo en cuenta la temperatura media anual ponderada y a las características climáticas del departamento de Nariño.

El método Marshall utilizado en el diseño de la mezcla, emplea briquetas normales para ensayos de 2(1/2)" de altura por 4" de diámetro, las cuales se preparan siguiendo un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar las mezclas de agregados y cemento asfáltico.

Las dos características principales del ensayo son un análisis de densidad y vacíos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y el flujo de cada una de las briquetas elaboradas.

La estabilidad Marshall se define como la máxima carga en libras que puede resistir la biqueta normalizada a 60°C, ensayada bajo las condiciones definidas por el ensayo, mientras que el flujo Marshall es el movimiento o deformación total que se produce en la biqueta desde el comienzo con una carga cero hasta la carga máxima durante el ensayo de estabilidad, expresado en milímetros.

El presente trabajo comprende una etapa teórica y una etapa experimental donde se realizaron pruebas de laboratorio, para finalmente llegar a los resultados, sus respectivos análisis, conclusiones y recomendaciones.

## ABSTRACT

This research involved obtaining optimum asphalt cement percentage for a dense hot mix (MDC) prepared with normal asphalt cement designed by the Marshall method, using stone from the quarry materials Briceño Low, located in the area of Torobajo in the Municipality of Pasto (Nariño), which meet the specifications in the physical, chemical and mineralogical INVIAS standard set by the 2007. The basis of the process is due to the applicable tests were made mineral aggregates for high traffic level (NT3), and it was taken as reference tests provided by the distributor Barrancabermeja asphalt cement with penetration of 60-70 which is the most used in the area taking into account the weighted average annual temperature and climatic characteristics of the department of Nariño.

Marshall method used in the mix design, used for testing normal briquettes 2 (1/2)" tall by 4" diameter, which are prepared according to a specific procedure for heating, mixing and compacting aggregate mixtures and asphalt cement.

The two main characteristics of the test are empty and density analysis and an assay for determining the stability and the flow of each of the briquettes produced.

Marshall stability is defined as the maximum load in pounds that can withstand the briquette normalized to 60oC, tested under the conditions defined by the test, while Marshall Flow is the movement or total deformation that occurs in the briquette from the start with zero load to maximum load during the stability testing, expressed in millimeters.

This work comprises a step theoretical and experimental stage where laboratory tests were performed, to finally get to the results, their analysis, conclusions and recommendations.

## **INTRODUCCIÓN**

Las carreteras son de vital importancia para la sociedad Colombiana y especialmente las de nuestro departamento de Nariño, y de estas la gran mayoría están construidas con cemento asfáltico, es por esto que el desempeño de las mismas depende de la calidad de los materiales, procesos constructivos y también de un buen diseño. El diseño de una carretera abarca desde el diseño geométrico hasta el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en la capa de rodadura, este diseño es lo que nos concierne estudiar y desarrollar en el presente documento, por lo que profundizaremos en los requerimientos y metodología Marshall de diseño de las Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC).

En el presente trabajo se contempla la descripción de las propiedades necesarias para el diseño de una (MDC-2), realizando la caracterización de los materiales pétreos a utilizar para determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico dicha mezcla para verificar los parámetros establecidos en el diseño Marshall tanto en su contenido de asfalto como en su granulometría.

Uno de los objetivos del presente trabajo es complementar el equipo Marshall del laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño contribuyendo a la realización de las prácticas de los estudiantes de Ingeniería Civil, trabajos de investigación y efectuar control de calidad a las obras de pavimentación que se desarrollen en la región, utilizando el método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Por tal razón el especialista encargado de diseñar, construir y conservar pavimentos debe tener la información necesaria de los materiales que cuenta en la región y poder tener una mayor precisión en el control de calidad de las mezclas asfálticas que se produzcan en nuestra zona.

### **DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

En los Departamentos de Nariño y Putumayo, no se cuentan con laboratorios Geotécnicos que certifiquen el “Ensayo Marshall”, para el diseño de las mezclas asfálticas; por falta de la implementación y complementación de los equipos necesarios para dicho ensayo.

Además las canteras de la zona de los dos Departamentos no están certificadas de acuerdo a las normas INVIAS-2007; respecto a la gradación necesaria de los agregados para obtención de una mezcla asfáltica.

La obtención de las mezclas asfálticas en la zona no es totalmente garantizada para la construcción de una estructura de un pavimento flexible, por lo que carece de la información de la aplicación de este ensayo, lo que es una de las causas para que se presenten fallas prematuras una vez estas estructuras entran en funcionamiento.

Por otra parte los trabajos de investigación de la elaboración del diseño de mezclas asfálticas para la certificación de las canteras de estos Departamentos no se han llevado a cabo, ya que en nuestra zona no se había profundizado un estudio respecto a este tema; por la falta de docencia y estudio que conlleva a la profundización de estos temas en el área de vías afín a este campo.

Con este trabajo de Investigación se busca determinar el porcentaje óptimo del asfalto y de agregados para determinar que la mezcla asfáltica cumpla con la normatividad y especificaciones técnicas del Invias; y nos permite colocar en práctica los conocimientos adquiridos en todas las áreas durante los cursos de la especialización en Ingeniería de Carreteras.

## **JUSTIFICACIÓN**

La práctica actual del diseño de mezclas asfálticas deja ver la importancia de lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica terminada, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la trascendencia de simular de manera adecuada en el laboratorio la densificación que ocurre en campo, bajo la acción vehicular y de esta forma llegar a fórmulas de trabajo que permitan dosificar mezclas que exhiban un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima; siendo esto lo que persiguen las nuevas metodologías de diseño de mezclas.

La práctica de diseño de mezclas asfálticas ha recurrido a diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; la comúnmente más utilizada en Colombia es el método Marshall.

Por lo tanto la importancia de este estudio radica en caracterizar mecánicamente los agregados de la cantera Briceño Bajo, localizada en el Municipio Pasto del Departamento de Nariño; con el fin de obtener porcentajes óptimos de agregados y de cemento asfáltico utilizando el equipo de laboratorio de ensayo Marshall de la Universidad de Nariño, complementado y actualizado por los estudiantes de la especialización en Ingeniería de carreteras, contribuyendo a la realización de las prácticas de los estudiantes de Ingeniería Civil, trabajos de investigación y efectuar control de calidad, diseño y construcción a las obras de pavimentos flexibles que se desarrollen en la región. Además con el presente estudio se evaluará los agregados de dicha cantera de acuerdo a las Normas Invias 2007;

para la elaboración de la mezcla asfáltica, garantizando que los materiales de esta cantera cumplan con la norma, ya que de esto, depende en gran parte el desempeño de la superficie de rodamiento de una vía y su vida útil. Los resultados obtenidos serán de gran utilidad para los ingenieros que se dediquen a las labores de consultoría en el diseño y construcción e Interventoría de pavimentos flexibles, debido a que las vías pavimentadas en el Departamento de Nariño en su gran mayoría están construidas con cemento asfáltico.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar el contenido óptimo de asfalto para un tipo de mezcla densa en caliente (MDC2), así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que cumpla con las especificaciones existentes según en el (art. 450-07) del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Complementar el equipo Marshall del laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño.
- Caracterización del agregado de la cantera de BRICEÑO BAJO, MUNICIPIO DE PASTO, DEPARTAMENTO DE NARIÑO, según la norma Invias 2007.
- Realizar el ensayo Marshall con los materiales pétreos caracterizados para determinar la proporción adecuada de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica.
- Complementar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos tanto en pregrado como en postgrado.

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas se definen como la combinación entre un agregado pétreo y un ligante bituminoso, de tal manera que las partículas del agregado queden recubiertas en mayor o menor grado de una película homogénea de ligante. El nuevo material, una vez compactado, conforma por una parte un esqueleto mineral que aporta resistencia y por otra una película de ligante que mantiene unidas las partículas, dando cohesión al conjunto<sup>1</sup>.

La mezcla asfáltica, está compuestas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos: grueso y fino, un 5% de polvo mineral o filler y otro 5% de ligante asfáltico.

La mezcla asfáltica está compuesta, en peso, por el peso de los agregados y del asfalto; y en volumen, por el volumen de los agregados, del asfalto y de los vacíos de aire.

Las mezclas asfálticas para que tengan un buen desempeño, deben presentar las siguientes propiedades:

- **Estabilidad:** Es la capacidad de la mezcla de resistir las deformaciones impuestas por las cargas vehiculares.
- **Durabilidad:** Es la capacidad de la mezcla de resistir los efectos dañinos del aire, el agua, la temperatura y el tránsito.
- **Flexibilidad:** Es la capacidad de la mezcla de flexionarse levemente, sin agrietarse y acomodarse a los movimientos de la base o la subrasante.
- **Resistencia a la fatiga:** Es la capacidad de la mezcla de resistir la flexión repetida generada por el paso de los vehículos.
- **Resistencia al deslizamiento:** Es la capacidad de la mezcla para ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos al frenar.

---

<sup>1</sup> ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría de los Pavimentos. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.

- **Permeabilidad:** Es la resistencia de la mezcla al paso del aire y del agua a través de la capa asfáltica.
- **Trabajabilidad:** Es la facilidad que ofrece la mezcla para ser extendida y compactada.

Para que tenga en servicio un buen comportamiento y ayuden a la durabilidad y estabilidad de toda la estructura deben poseer en mayor o menor una serie de propiedades, las cuales muchas veces son contrapuestas y la importancia que se le a una o u otra de penderá de los requerimientos que tengan que cumplir como capa (capa de rodadura, capa de base asfáltica, capa estabilizada etc.) del espesor de capa, de las condiciones climáticas, del tipo de tránsito vehicular, del tipo de estructura de las demás y del tipo de agregados. Entre otros aspectos importantes<sup>2</sup>.

## 1.2 CLASIFICACION DE LA MEZCLAS ASFALTICAS

Existen distintos tipos de mezcla asfáltica dependiendo del tipo de asfalto, la proporción de agregados en la mezcla, la granulometría del agregado y el proceso de fabricación. La definición anterior cubre una amplia gama de materiales y técnicas de fabricación, originando a su vez varios parámetros de clasificación; para establecer las diferencias entre todas las mezclas, se las puede clasificar de distintas maneras<sup>3</sup> como se indica en la tabla 1.

---

<sup>2</sup> ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría de los Pavimentos. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.

<sup>3</sup> MINISTERÍO DE TRANSPORTE. INSTITUTO NACIONAL DE VIAS. Subdirección de apoyo técnico. Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras. Artículos 440, 450. Bogotá. 2007.

**Tabla 1. Clasificación de las mezclas asfálticas**

PARAMETROS DE CLASIFICACION	TIPO DE MEZCLA ASFALTICA
TEMPERATURA DE COLOCACION	En frío En caliente
PORCENTAJE DE VACIOS EN LA MEZCLA	Cerradas: menor a 6% Semicerradas: entre 6% y 15% Abiertas: mayor a 15%
AGREGADO EMPLEADO	Mastico Mortero Macadam Hormigón
TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO O TEXTURA SUPERFICIAL	Gruesas: tamaño máximo mayor a 8 mm Finas: tamaño máximo menor a 8 mm
ESTRUCTURACION DEL AGREGADO	Con esqueleto mineral Sin esqueleto mineral
DISTRIBUCION GRANULOMETRICA	Continuas Discontinuas

Fuente: Normas Invias

### 1.3 COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

La mezcla asfáltica es la composición de agregados, asfalto y vacíos de aire, en proporciones exactas y previamente especificadas.

Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades y características de la mezcla.

Se debe de conocer cierta información con respecto a las propiedades del cemento asfáltico y de los agregados, como parte del proceso de diseño para obtener buenos resultados de la mezcla asfáltica.

**1.3.1 Agregados.** Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

Los agregados pueden ser naturales o procesados. De acuerdo con su tamaño, se dividen en gravas, arenas y relleno mineral o filler. Los materiales pueden ser producidos en canteras abiertas o tomados de la ribera de los ríos (cantera de río), en este último caso son agregados pétreos aluviales.

Las especificaciones de mezcla asfáltica requieren que el agregado utilizado esté en un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esto se conoce como gradación.

Las características técnicas de un agregado pétreo para la elaboración de una mezcla asfáltica, dependerá de la evaluación de las siguientes características:

- El tamaño y la gradación.
- La textura superficial.
- El grado de absorción.
- La resistencia al desgaste.
- La actividad de los finos.
- El grado de afinidad con los ligantes bituminosos
- Durabilidad.

**1.3.2 Asfalto.** El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo.

Posee unas características muy específicas que lo hacen ideal para los trabajos de pavimentación, principalmente la cohesión y la adhesión con materiales granulares. Además tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.

El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

Según la Asopac: (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia), el asfalto cumple las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

- Proporcionar una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos.
- El asfalto tiene propiedades tales como consistencia, adhesividad, impermeabilidad y durabilidad. Estas propiedades lo hacen ideal para la construcción de pavimentos flexibles, como también para bases estabilizadas, emulsiones asfálticas, etc.
- “En su mayoría, los asfaltos se comportan como sólidos o semisólidos a una temperatura ambiente y su comportamiento varía dependiendo a la temperatura a la que se lo someta, al aumentarle la temperatura se ablanda y se vuelve fluido, permitiendo así recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de una mezcla asfáltica.”<sup>4</sup>

**1.3.3 Vacíos de aire.** Los vacíos de aire son importantes en el comportamiento de la mezcla ya que permiten absorber los cambios volumétricos producidos por el clima o el tránsito. Para mezclas asfálticas en caliente se recomienda un porcentaje entre 3% y 5% de vacíos. Un alto contenido de vacíos puede producir deformaciones permanentes y un bajo contenido de los mismos, exudación.

Los vacíos en el agregado mineral pueden llenarse de aire o de asfalto. Es importante tener una pequeña cantidad de vacíos con aire por donde fluya el asfalto durante la compactación producida por el tránsito, pero no demasiados para evitar la filtración de agua que cause deterioro.

## **1.4 MEZCLAS DENSAS EN CALIENTE (MDC)**

Las mezclas asfálticas en caliente son las más empleadas en muchas partes del mundo, debido a su flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga y economía entre otras características, generando por ende investigaciones y desarrollos para mejorar sus propiedades mecánicas y dinámicas. Muchos de los adelantos se han enfocado en el proceso constructivo de la conformación de las carpetas de rodadura, prueba de ello es la utilización de equipos costosos que mantienen la temperatura constante en el proceso de extendido y compactación.

Estas mezclas densas en caliente son utilizadas normalmente como carpeta de rodadura. “Se obtiene por medio de una composición de agregados gruesos

---

<sup>4</sup> ASOPAC, Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia. Cartilla del pavimento asfáltico, citado por INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO, ECOPELROL Y UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Cartilla practica para el manejo de los asfaltos. 1994. p.16.

triturados, agregado fino y llenante mineral, uniformemente mezclados en caliente, con cemento asfáltico, en una planta especializada, con métodos de control que permiten asegurar la correcta dosificación de los componentes, o en laboratorio para determinar sus cualidades. MDC-1, MDC-2, MDC-3”<sup>5</sup>, como se indica en la tabla 2.

**Tabla 2. Granulometrías típicas para mezclas densas en caliente**

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm/U.S.Standard)									
		37,5	25	19	12,5	9,5	4,75	2	0,425	0,18	0,075
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°.4	N°.10	N°.40	N°.80	N°.200
		% PASA									
DENSE	MDC-1		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8.0-17	4.0-8
	MDC-2			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8.0-17	4.0-8
	MDC-3					100	65-87	43-67	16-29	9.0-19	5.0-10

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. 2007. P.3

Para la presente investigación se opta por la Mezcla Densa en Caliente 2 (MDC-2).

La selección del cemento asfáltico a utilizar en una mezcla asfáltica en caliente está sujeta a dos parámetros de diseño como son: las características climáticas de la zona y las condiciones de operación de la vía, dichas características son como se muestran en la tabla 3.

<sup>5</sup> MARTINEZ Y ABELLA, Comportamiento de mezclas asfálticas densas en caliente MDC-2 sometidas a cambios de temperatura. Trabajo de grado, Ingeniería Civil. Bogotá D.C: Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería. Programa de ingeniería Civil. 2008. P. 35.

**Tabla 3. Criterios de selección del cemento asfáltico**

TIPO DE CAPA	NT1			NT2			NT3		
	TEMPERATURA MEDIA ANUAL PONDERADA DE LA REGION ( °C )								
	>24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15	> 24	15-24	< 15
Rodadura e intermedia	60-70	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100	60-70 o TIPO III	60-70 o TIPO II	80-100 o TIPO II
Base	*	*	*	60-70 u 80-100	60-70 u 80-100	80-100	60-70	60-70 u 80-100	80-100
Mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura	*	*	*	TIPO II o TIPO III					
Mezcla drenante	*	*	*	TIPO I o TIPO II					
Alto módulo	*	*	*	*	*	*	TIPO V	TIPO V	TIPO V

**Notas:**

(1) Las denominaciones Tipo I, Tipo II, Tipo III y Tipo V corresponden a cementos asfálticos modificados con polímeros, según se define en el numeral 400.2.3 del artículo 400-2007, de las especificaciones generales de construcción de carreteras del Instituto Nacional de Vías.

(2) Para una temperatura menor de 15°C y tránsito NT3, el proyectista podrá recomendar un cemento asfáltico de grado de penetración 60 - 70, si considera que el tránsito es extremadamente agresivo. Bajo una consideración similar se puede emplear el cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo III para el mismo nivel de tránsito y temperaturas de 24°C o menores.

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 400. 2007.

El Instituto Nacional de Vías, como ente promovedor y regulador del desarrollo vial en el país, establece como método para el diseño de mezclas densas en caliente el método de diseño Marshall (I.N.V.E – 748 - 2007), salvo de justificarse lo contrario o de especificarse otro método. En la tabla 4, se muestran los valores límites a los que están sujetas las características propias de las mezclas en caliente, dependiendo del tipo de mezcla y del nivel de tránsito.

**Tabla 4. Diseño de mezcla y obtención de la fórmula de trabajo**

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	MEZCLA DENSA, SEMIDENSAS Y GRUESAS			MEZCLA DE ALTO MÓDULO	
		CATEGORÍA DE TRÁNSITO				
		NT1	NT2	NT3		
Compactación (golpes/cara)	E-748	50	75	75	75	
Estabilidad mínima (Kg)	E-748	500	750	900	1500	
Flujo (mm)	E-748	2 - 4	2 - 4	2 - 3.5	2 - 3	
Vacíos con aire (Va)*, %	Rodadura	E-736 o E-799	3 - 5	3 - 5	4 - 6	-
	Intermedia		4 - 8	4 - 8	4 - 7	4 - 6
	Base		-	5 - 9	5 - 8	-
Vacíos en los agregados minerales (VAM), %	Mezclas 0	E-799	≥13	≥13	≥13	-
	Mezclas 1		≥14	≥14	≥14	≥14
	Mezclas 2		≥15	≥15	≥15	-
	Mezclas 3		≥16	≥16	≥16	-
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (volumen de asfalto efectivo/vacíos en los agregados minerales)x 100 capas de rodadura e intermedia	E-799	65 - 80	65 - 78	65 - 75	63 - 75	
Relación llenante/ asfalto efectivo, en peso	E-799	0.8 - 1.2			1.2 - 1.4	
Concentración de llenante, valor máximo	E-745	Valor critico				

\*Para bacheos en capas de 50 a 75 mm de espesor se exigirán los requisitos de vacíos con aire de "intermedia" y para los de capas de más de 75 mm se exigirán los requisitos para "base". Si se llegase a efectuar un bacheo con mezcla asfáltica en caliente en espesor mayor de 75 mm en una vía cuyo tránsito de proyecto es NT1, se aplicará el criterio de vacíos con aire para las capas de "base" con tránsito NT2 (5%-9%).

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. 2007. P.9.

## 1.5 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El conocer la proporción de asfalto óptimo es muy importante, dada su marcada influencia en los demás factores que permiten obtener un buen pavimento, ya así como los distintos métodos de diseños de Mezclas Asfálticas tiene como uno de los objetivos principales de terminar la cantidad correcta de ligante para una determinada combinación de agregados.

Los métodos de dosificación de estas mezclas consisten en determinar el porcentaje óptimo de material bituminoso que confiere a las mismas la estabilidad

mínima necesaria para soportar las solicitaciones que estarán sometidas, la impermeabilización adecuada para evitar el acceso de agua a la mezcla y evitar su deterioro y la deformación adecuada para que no pierda la calidad el rodamiento vehicular.

En general, la metodología de dosificación se basa en elegir una granulometría conveniente, de acuerdo con las características que se desean para la mezcla, las disponibilidades locales de áridos y los usos o especificaciones regidas por la práctica y que son recomendadas por diversos organismos (Instituto de Asfalto, Instituto Nacional de Invias. Laboratorios oficiales o privados, etc.)<sup>6</sup>.

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas asfálticas.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5"). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64 mm (2 ½") y 102 mm (4") de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto-agregado. (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollará a 60 °C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25 mm (1/100") que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

---

<sup>6</sup> ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría de los Pavimentos. Universidad del Cauca. Popayán. 2002.

El procedimiento que se siguió para el desarrollo de la presente investigación, fue el método Marshall, determinado por las normas de ensayo del Instituto Nacional de Vías de Colombia, (I.N.V.E-748).

## 2 PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES

### 2.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS

El cemento asfáltico es un producto bituminoso semi-sólido a temperatura ambiente preparado a partir de hidrocarburos naturales mediante un proceso de destilación, el cual contiene una proporción muy baja de productos volátiles, posee propiedades aglomerantes y es esencialmente soluble en tricloroetileno.

Para determinar la calidad de un cemento asfáltico y caracterizarlo, es necesario realizar una serie de ensayos normalizados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), que muestran el comportamiento a escala real del material. Las especificaciones que debe cumplir el cemento asfáltico se indican en la tabla 5.

**Tabla 5. Especificaciones para cementos asfálticos**

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	NORMA DE ENSAYO INV	GRADO DE PENETRACIÓN			
			60-70		80-100	
			Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Penetración (25°C, 100 g, 5 s)	0.1 mm	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	-	E-724	-1	+1	-1	+1
Viscosidad absoluta (60° C)	P	E-716 o E-717	1500	-	1000	-
Ductilidad (25 °C, 5 cm/min)	Cm	E-702	100	-	100	-
Solubilidad en tricloroetileno	%	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua	%	E-704	-	0.2	-	0.2
Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland	°C	E-709	230	-	230	-
Pérdida de masa por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 75 minutos)	%	E-720	-	1.0	-	1.0
Penetración del residuo luego de la pérdida por calentamiento (E-720), en % de la penetración original	%	E-706	52	-	48	-
Incremento en el punto de ablandamiento luego de la pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (E-720).	°C	E-712	-	9	-	9

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 400. 2007 P.7.

### 2.1.1 Ensayos efectuados a los cementos asfálticos según normas Invias – 2007.

- ✓ **Penetración (25°C, 100 g, 5 s) (0.1 mm):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E - 706 - 07). Este ensayo establece la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto. La penetración se limita como la distancia, enunciada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja estándar en circunstancias definidas de carga, tiempo y temperatura. Habitualmente, el ensayo se ejecuta a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, no obstante se pueden utilizar otras condiciones que con antelación hayan sido definidas.
- ✓ **Índice de penetración:** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E - 724 – 07). Este valor de IP, creado por Pfeiffer y Van Doormal, se evalúa a partir de los valores de la penetración y del punto de ablandamiento, aportando de esta temperatura que se usan durante su aplicación.
- ✓ **Viscosidad absoluta (60° C) P:** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 716 – 07). Estos ensayos establecen el estado de fluidez del asfalto, en el nivel de temperaturas que se usan durante su aplicación.
- ✓ **Ductilidad (cm):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 702 – 07). Este ensayo tiene por objeto la determinación de la ductilidad de los materiales asfálticos, de consistencia sólida y semisólida. El procedimiento consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, definiéndose la ductilidad como la distancia máxima en cm que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.
- ✓ **Solubilidad en tricloroetileno (%):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 713 - 07). El ensayo permite la determinación del grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que posean poco material mineral o que carezcan de él.
- ✓ **Contenido de agua (%):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 704 – 07). Busca determinar el contenido de agua de los materiales asfálticos; este proceso está basado en la destilación a reflujo de una muestra del material asfáltico, conjuntamente con un solvente volátil no miscible con el agua, el cual al evaporarse, facilita el arrastre del agua presente, separándose de ella al condensarse.
- ✓ **Punto de ignición mediante copa abierta de Cleveland (°C):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 709 – 07). Con este ensayo se busca obtener el punto de llama, mediante la copa abierta de Cleveland, de productos de

petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland, por debajo de 79°C (175°F).

- ✓ **Pérdida por calentamiento en película delgada en movimiento (163°C, 75 min), (%):** Norma INVIAS 2007 (I.N.V.E – 709 – 07). Este ensayo se realiza para medir el efecto del calor y del aire, sobre una lámina delgada en movimiento, de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades del asfalto, antes y después del ensayo. El procedimiento consiste en calentar la película de material asfáltico en movimiento en un horno a 163°C (325°F), durante 75 minutos.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

El material granular empleados son procedentes de la cantera denominada “La Vega” ubicada en el sector de Briceño Bajo, del municipio de Pasto, Nariño. Los agregados pétreos que son utilizados en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente, deben contar con propiedades específicas, que al emplear una capa del material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción combinada del agua y del tránsito.

Los agregados pétreos son minerales inertes y duros, empleados en fragmentos para la construcción de pavimentos. Se utilizan también en la construcción de base y sub - base granular sirviendo como estructura de soporte a los pavimentos; a su vez, se combina en tamaños gruesos (gravas), tamaño fino (arenas) y un llenante mineral (filler).

Un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado como bueno para la construcción de una obra civil específica, estas se determinan de la siguiente manera:

- Caracterización Física.
- Caracterización Química.
- Caracterización Mineralógica.

**2.2.1 Agregado grueso.** Se llama agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4,75 mm (No.4). Este agregado deberá provenir de la desintegración de roca, de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin presencia exagerada de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, deberá estar exento de

polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias que puedan impedir la adhesión completa del asfalto o afecten adversamente la durabilidad de la mezcla compactada.

**2.2.2 Agregado fino.** Se llama agregado fino a la porción del agregado comprendida entre los tamices No. 4 y N 200. “Deberá proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, o parcialmente de fuentes naturales de arena. La proporción de arena natural no podrá exceder del quince por ciento (15 %) de la masa total del agregado combinado, cuando el tránsito de diseño sea superior a cinco millones ( $> 5 \cdot 10^6$ ) de ejes equivalentes de 80 KN en el carril de diseño, ni exceder de veinticinco por ciento (25 %) para tránsitos de menor intensidad. En todo caso, la proporción de agregado fino no triturado no podrá exceder la del agregado fino triturado”<sup>7</sup>.

**2.2.3 Llenante mineral.** El llenante mineral es la porción del agregado que pasa el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No.200), este será de polvo de piedra caliza, cenizas de carbón o de fundición, cemento Portland u otro material mineral inerte. Debe estar seco y libre de terrones.

“Estos agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico - química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua”<sup>8</sup>. El agregado fino puede proceder de un proceso de trituración de piedra de cantera o de grava natural, o de fuentes naturales de arena. La llenante mineral o filler puede provenir de los agregados pétreos, sometiéndolos a un proceso de tamizado y posterior clasificación.

---

<sup>7</sup> Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. 2007

<sup>8</sup> Art. 450 – 07, INVIAS. Especificaciones técnicas para los agregados y llenante mineral para mezclas densas en caliente. INVIAS. P.2

## **2.3 ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS PÉTREOS SEGÚN LAS NORMAS INVIAS – 2007.**

Al igual que el cemento asfáltico, los agregados pétreos deben pasar por una serie de ensayos que determinarán su calidad.

### **2.3.1 Composición**

- **Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos I.N.V.E – 213 – 07.**

Tiene como fin determinar la distribución de tamaños de los agregados pétreos, estos son separados por medio de unos tamices predeterminados por el diseño de la mezcla asfáltica.

“El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión completa del asfalto. El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto”<sup>9</sup>.

“Los agregados pétreos no serán susceptibles de ningún tipo de meteorización o alteración físico-química apreciable bajo las condiciones más desfavorables que presumiblemente puedan darse en la zona de empleo. Tampoco podrán dar origen, con el agua, a disoluciones que puedan causar daños a estructuras o a otras capas del pavimento, o contaminar corrientes de agua”<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. 2007

<sup>10</sup> Art. 450 – 07, INVIAS. Especificaciones técnicas para los agregados y llenante mineral para mezclas densas en caliente. INVIAS. P.2

### 2.3.2 Dureza

- **Resistencia al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5 mm (1½") por medio de la máquina de Los Ángeles I.N.V.E – 218 – 07.**

Este ensayo es una medida al desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar resultado de una combinación de acciones que incluye la abrasión o el desgaste, impacto, y desintegración en un tambor de acero rotatorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número de esferas depende de la graduación de la muestra de ensayo. A medida que el tambor gira, una lámina del estante recoge la muestra y las esferas de acero, llevándolos de un lado hacia el otro hasta dejarlos caer en el lado opuesto del tambor, creando un efecto de aplastamiento e impacto. Los contenidos entonces ruedan dentro del tambor con una acción de desgaste y pulverización, hasta que la lámina del estante recoge la muestra y las esferas de acero, en ciclos repetitivos. Después del número prescrito de revoluciones, los contenidos son removidos del tambor y la porción del agregado es tamizada para medir el desgaste como un porcentaje de pérdida.

- **Determinación de la resistencia del agregado grueso al desgaste por abrasión utilizando el aparato micro-deval (INV E – 238 – 07)**

Su objetivo es determinar la resistencia a la abrasión y durabilidad de los agregados pétreos, por la acción combinada de la molienda y la abrasión con bolas de acero en presencia de agua ya que muchos de los agregados son más débiles húmedos que secos, gracias a esto podemos utilizar esta información útil para juzgar la resistencia desgaste/abrasión y durabilidad/solidez y acción de desintegración con el medio ambiente cuando no existe información de este tipo de comportamiento.

### 2.3.3 Durabilidad

- **Perdida en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o magnesio I.N.V.E – 220 – 07.**

Este método cubre los procedimientos a ser seguidos en ensayos de agregados para determinar su resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Esto es hecho por la inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguido por secado en horno para una deshidratación parcial o completa de la sal precipitada, en

espacios permeables de los poros. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal en la reinmersión, simula la expansión de agua en el congelamiento. Este método de ensayo provee información útil para juzgar la calidad de agregados sujetos a la acción del clima, particularmente cuando la información adecuada no está disponible en un servicio de registros del material expuesto para las condiciones reales de desgaste. Se llama la atención al hecho que los resultados de ensayos por el uso de las dos sales difieren considerablemente y se debe tener cuidado en fijar límites correctos en cualquier especificación que incluya requisitos para estos ensayos.

#### **2.3.4 Limpieza**

- **Índice de plasticidad (INV E – 125 – 07 y 126 – 07)**

No se realiza este ensayo para esta clase de materiales, ya que el índice de plasticidad se realiza a suelos finos y cohesivos.

- **Equivalente de arena de suelos y agregados finos I.N.V.E – 133 – 07.**

La intención de éste ensayo es que sirva como una prueba de campo rápida para mostrar las proporciones relativas de polvo fino o material arcilloso en suelos o agregados graduados. A un volumen determinado de suelo o agregado fino se le adiciona una pequeña cantidad de solución floculante, mezclándolos en un cilindro de plástico graduado y agitándolos para que las partículas de arena pierdan la cobertura arcillosa. La muestra es entonces "irrigada", usando una cantidad adicional de solución floculante, para forzar el material arcilloso a quedar en suspensión encima de la arena.

Después de un período de sedimentación, se determinan las alturas de la arcilla floculada y de la arena en el cilindro. El "equivalente de arena" es la relación entre la altura de arena y la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

- **Contenido de impurezas (INV E – 237 – 07)**

Este procedimiento se realiza para determinar la limpieza superficial de los agregados, con tamaños superiores a 4.75 mm (nº 4) utilizados en la construcción de vías.

Este proceso se realiza separando mediante lavado en un tamiz (500 µm nº 35) las partículas de 0.5 mm adheridas a las superficie de los agregados gruesos, las

cuales se las considera como impurezas. Se las lava hasta que el agua salga clara se debe tener en cuenta que no haya perdidas de material por fuera del tamiz, la cantidad retenida en el tamiz de lavado se recupera y se seca al horno a una temperatura de 110+/- 5° C hasta la masa constante de 1gr, se vuelve a pasar por el tamiz durante 1 min, recuperando la totalidad del material retenido y se determina la masa pesándola.

### **2.3.5 Geometría de partículas**

- **Partículas fracturadas mecánicamente (INV E – 227– 07)**

Uno de los propósitos de este requisito es incrementar la resistencia al corte incrementando la fricción entre partículas en mezcla del agregado ligadas o no ligadas, otro propósito es dar estabilidad a los agregados y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento.

- **Partículas planas, alargadas, ó partículas planas y alargadas en agregados gruesos (INV E – 240 – 07)**

Este método de ensayo cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas, o partículas planas y alargadas en agregados gruesos. Los valores declarados en unidades de libra-pulgada deben ser considerados como el estándar excepto con atención al tamaño del tamiz y al tamaño de agregado. Las partículas individuales de agregado de un tamaño específico de tamiz es medido para determinar las relaciones de ancho a espesor, de largo a ancho, o largo a espesor.

### **2.3.6 Gravedad específica**

- **Gravedad específica y absorción del agregado fino (INV E – 222– 07)**

1. Se toma una muestra representativa de agregado fino la cual se sumerge durante 15 horas. Al día siguiente se expande la muestra sobre la superficie de un recipiente o bandeja la cual no es absorbente. Con el secador se le inyecta una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, la operación es terminada cuando los granos del agregado están sueltos. Luego se introduce la muestra en un molde cónico, se apisona unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1 cm, posteriormente se nivela y si al quitar el molde la muestra se deja caer es porque no existe humedad libre, si es lo contrario se sigue secando y se repite el proceso hasta que cumpla con la condición. Cuando se cae el agregado al quitar el molde cónico es porque se ha alcanzado una condición saturada con superficie seca. Se procede a tomar una

muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el picnómetro llenándolo con agua a 20°C hasta más o menos 250 cms<sup>3</sup>, luego se hace girar el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire posibles. Se procede a cuantificar el peso del picnómetro en la balanza anotando su respectivo valor.

Al término de este paso, se embaza la muestra en tazas para ser dejadas en el horno por espacio de 24 horas. Y por último, al día siguiente se llevaron las muestras a la balanza y se cuantificó su valor. Se tomaron apuntes.

- **Gravedad específica y absorción del agregado grueso (INV E – 223 – 07)**

Los agregados muestreados sumergirlos en agua por aproximadamente 15 horas hasta llenar esencialmente los poros. Entonces removerlos del agua, secar el agua superficial de las partículas, y pesar. Seguidamente tomar la muestra y pesarla mientras se sumerge en agua. Finalmente las muestras son secadas en el horno y pesada por tercera vez. Usando la masa y peso de las mediciones obtenidas, y las fórmulas del método, es posible calcular los tres tipos de gravedad específica y la absorción.

En la tabla 6 se muestra los requisitos que debe cumplir los agregados para un nivel de tránsito NT3.

**Tabla 6. Requisitos de los agregados pétreos para un nivel de tránsito NT3**

MEZCLA DENSA EN CALIENTE		
ENSAYO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Desgaste Los Ángeles E-218 E-219	25% máx. (Rodadura) 35% máx. (intermedia y base)	N.A.
Desgaste Micro-deval	20% máx. (Rodadura) 25% máx. (intermedia y base)	N.A.
Sulfato de Sodio – Magnesio E-220	12 % máx. 18% máx.	12 % máx. - 18% máx.
Partículas Fracturadas E-227	85/70 (rodadura) 75% (intermedia) 60% (base)	N.A.
Angularidad Método A (Agregado fino) E-239	N.A	45% min. (Rodadura) 40% Min (intermedia) 35% min. (base)
Coefficiente de pulimiento acelerado	0.45 mín. (rodadura)	N.A.
Partículas planas y alargadas (Relación 5:1)	10% máx.	N.A.
Equivalente de Arena	N.A	50% mín.
Contenido de impurezas (Agregado grueso)	0.5% máx.	N.A.

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 400. 2007 P.5.

### 3 FASE EXPERIMENTAL

La fase experimental del proyecto se realizo en la Universidad de Nariño con apoyo logístico, humano, técnico del departamento de Ingeniería Civil, al proporcionar sus instalaciones y equipos de laboratorio para desarrollo de la fase experimental.

En primer orden para el desarrollo conceptual se contó con la asesoría del director de trabajo de grado Jorge Luis Argoty. Para la ejecución de los ensayos de laboratorio se contó con la asesoría y colaboración de las personas encargadas del laboratorio de materiales de la Universidad de Nariño.

En la primera fase se completo los equipos y materiales necesarios para realizar el ensayo de resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall Norma (I.N.V.E 748-07), al laboratorio de suelos del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño.

En la segunda fase se caracterizó los agregados minerales empleados procedentes de la cantera denominada “La Vega” ubicada en el sector de Briceño Bajo, del municipio de Pasto, Nariño. Se realizaron los ensayos y se verifico que cumplan con los requisitos de acuerdo a las especificaciones generales para el diseño de carreteras dispuestas por el INVIAS norma (I.N.V.E 450 -07).

Los agregados extraídos de dicha cantera son ampliamente utilizados en labores de construcción, tanto de hormigones hidráulicos como de hormigones bituminosos, gracias a su dureza, tenacidad, elevado peso por relación de volumen y su origen ígneo.

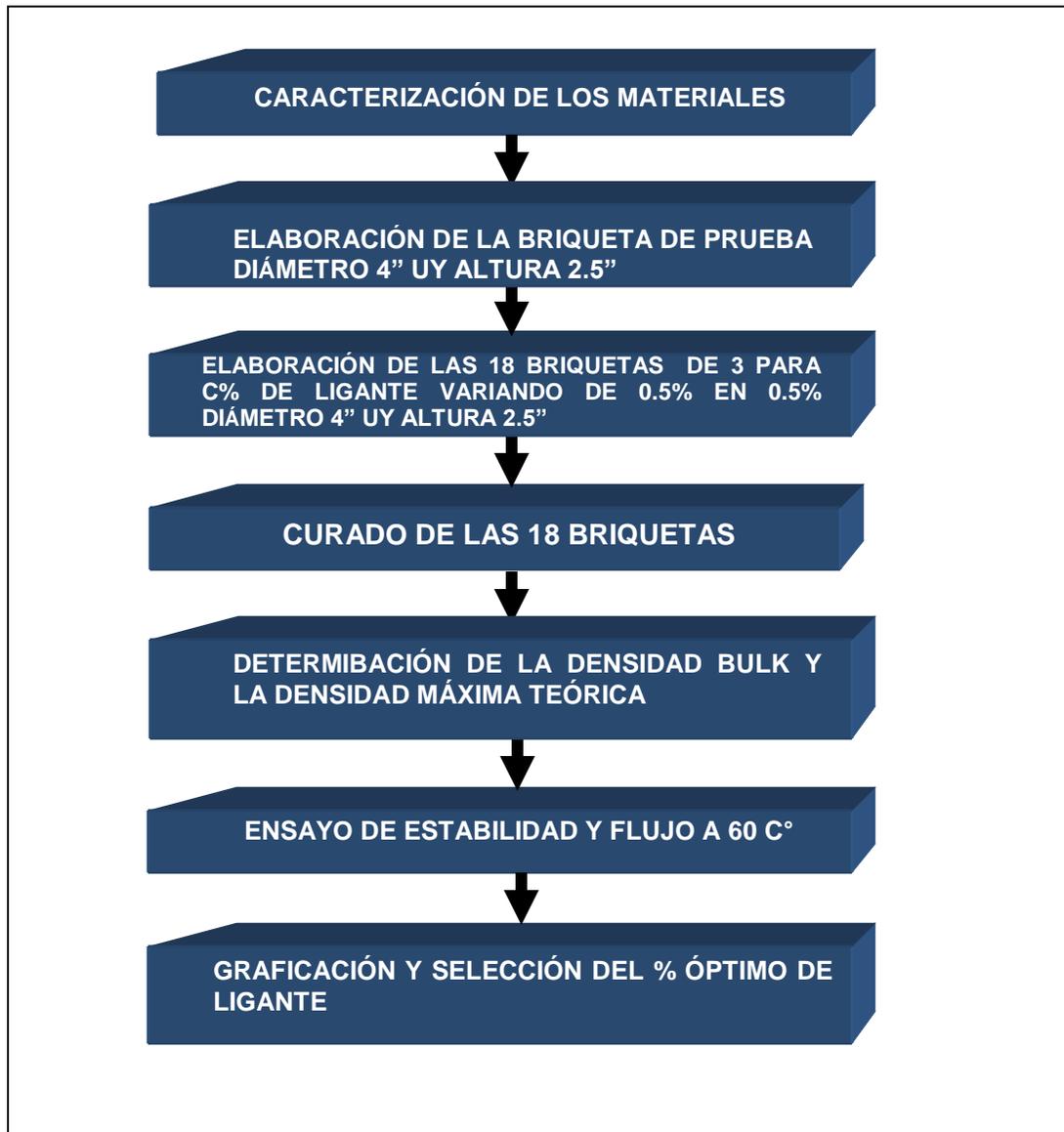
En la tercera fase se definió el tipo de cemento asfaltico a utilizar, en este caso se utilizo cemento asfaltico con penetración 60-70 procedente de la refinería de Barrancabermeja, se realizo el análisis con la ficha técnica, para determinar y elaborar la curva de calibración para el cemento asfaltico en la que determinamos la variación de viscosidad con la temperatura, para determinara las temperaturas de mezcla y compactación además en dicha ficha se identifican sus propiedades físico- químicas, tomando como referencia los ensayos normalizados por el instituto nacional de vías.

Determinada la granulometría elegida se determino la proporción en que se mezclaron los materiales y se obtuvo una curva de acuerdo a la gradación deseada, se realizo tamizado y clasificación del material, con el fin de obtener los porcentajes para cada tamaño y finalmente obtener la dosificación necesaria de cada material para la realización de las briquetas.

Posteriormente se determinaron los porcentajes de asfalto 4,5%, 5%, 5,5%,6%, 6,5% y 7.0% (AC 60-70) para la dosificación de las briquetas. Para obtener resultados adecuados se realizó 3 briquetas para cada contenido de asfalto y en la elaboración de cada biqueta se utilizó 1200 gramos de material pétreo.

Después se efectuó el diseño de la mezcla asfáltica utilizando el método Marshall estipulado por el INVIAS (I.N.V.E 748 -07) determinando las deformaciones flujo, estabilidad, para después procesar los resultados y compararlos.

**FIGURA No. 1. Diagrama de flujo procedimiento para el análisis de datos**



### 3.1 EQUIPO PARA REALIZAR EL ENSAYO

Juego de elementos para el ensayo Marshall, que incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8" de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa ensayo y mordaza para ensayo con sus guías.

Otros elementos tales como calentadores, termómetros, estufa, bandeja metálicas, baño maría, balanzas, espátulas, guantes, cucharones, tamices, extractores etc.

**Tabla 7. Equipos y descripción**

REFERENCIA	DESCRIPCION	EQUIPO
AP-168	Dispositivo para extraer las briquetas del molde Marshall	
AP-167C	Sujetador para el molde Marshall montado sobre la base metálica de 30 cm x 30 cm x 25.4 mm con espaldar de madera con ámulos para fijarlo al piso, soporte guía para el martillo y martillo compactador Marshall	

<p>AP-166</p>	<p>Molde metálico para compactar las briquetas de asfalto para el ensayo Marshall de 4" de diámetro con collar y base</p>	
<p>82-T1007</p>	<p>Anillo de carga Controls de 30 KN de capacidad, con compactador de caratula y carta de calibración.</p>	
<p>H-1344M</p>	<p>Medidor de flujo para ensayo Marshall con compactador de caratula de 2 (1/4)", con rango de 25 mm x 0.25 mm en el sentido de las agujas del reloj con freno para la detención de la lectura máxima y soporte para montaje</p>	

<p>020516100879</p>	<p>Termómetro bi-metálico de carátula de 1(3/4)" y bulbo de 8" de longitud con punta para penetración, graduado de 0 a 250 x 2grados centígrados</p>	
<p>GT-100R-8</p>	<p>Termómetro bi-metálico de carátula de 1(3/4)" y bulbo de 8" de longitud con punta para penetración, graduado de 100 a 400 x 5 grados centígrados</p>	
<p>SM-1018</p>	<p>Pistón para penetración CBR de 2" (50.8 mm de diámetro) por 4" (101.6 mm) de altura, con rosca, para conectarlo al anillo o a la celda de carga.</p>	

## 4 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Los ensayos realizados a los materiales pétreos y sus resultados, se resumen en la tabla 8.

**Tabla 8. Tabla de resumen de resultados materiales pétreos**

ENSAYOS DE VERIFICACION SOBRE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA EN CALIENTE.			
Nivel de Tránsito NT3			
ENSAYO	NORMA DE ESAYO INV	EXIGENCIA DE LA NORMA	VALOR MEDIDO EN LABORATORIO
<b>Composición</b>			
Granulometría	E-213	-	
<b>Dureza</b>			
Desgaste máquina de los ángeles	E-218	25% máx.	24.16%
Micro-Deval	E-238	20% máx.	10.40%
<b>Durabilidad</b>			
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio agregado grueso	E-220	12% máx.	10.66%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio agregado fino	E-220	12% máx.	11.90%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio agregado grueso	E-220	18% máx.	4.63%
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de magnesio agregado fino	E-220	18% máx.	17.50%
<b>Limpieza</b>			
Equivalente de arena	E-133	50% mín.	72.50%
Contenido de impurezas	E-237	0.5% máx.	1.69%
<b>Geometría de las partículas</b>			
Partículas fracturadas mecánicamente	E-227	85/70% mín.	98.8/92%
Partículas planas y alargadas relación 1:5	E-240	10% máx.	9.50%
<b>Gravedad específica</b>			
Gravedad específica y absorción	E-222 Y E-223	-	

## **5 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO EMPLEADO**

El cemento asfáltico empleado para el desarrollo de la presente investigación procede del complejo industrial de Barrancabermeja, departamento de Santander Colombia, que fue suministrado por la empresa TRAE LTDA.

La empresa lleva un control de cada carro tanque con cemento asfáltico que llega a la planta, con una certificación original expedida por el fabricante del producto, donde se indiquen las fechas de elaboración y despacho, el tipo de asfalto, así como los resultados de los ensayos de calidad efectuados sobre muestras representativas de la entrega.

En el Anexo H, se indica el reporte de resultados de ensayos de laboratorio del cemento asfáltico empleado, expedido por ECOPEPETROL y que se ajustan a lo estipulado en el Artículo 410 numeral 410.5.2 de las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS.

De acuerdo a las características climáticas de nuestra zona en la ciudad de Pasto, se tiene una temperatura media anual de 19 °C y tomando un tráfico NT3, el asfalto a emplear es de grado de penetración 60/70 correspondientes a las especificaciones generales de construcción de carreteras.

### **5.1 DETERMINACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE MEZCLA Y COMPACTACIÓN**

El asfalto debe ser calentado a las temperaturas óptimas de mezclado y compactación con el fin de obtener viscosidades entre  $85 \pm 10$  segundos Saybolt Furol o  $170 \pm 20$  centiStokes y  $140 \pm 15$  segundos Saybolt Furol o  $280 \pm 30$  centiStokes respectivamente. Se estableció como la de la mezcla con los agregados y compactación respectivamente. Especificaciones generales de construcción carreteras, INVIAS (I.N.V 400 2007).

En la Tabla 9, se muestran las temperaturas óptimas de operación tanto en el laboratorio como en la obra para los asfaltos colombianos.

Los agregados se calientan a una temperatura de 27 °C por encima de la temperatura del asfalto. Se procede a la mezcla y posterior compactación de las briquetas aplicando un determinado número de golpes por cara, dependiendo del tránsito esperado, como se indica en la tabla 10.

**Tabla 9. Temperaturas óptimas de aplicación para los asfaltos colombianos**

ESPECIFICACION Método de diseño Marshall	ASFALTO PROVENIENTE DE LA REFINERIA DE		
	CARTAGENA	BARRANCABERMEJA	APIAY
Temperatura de mezclado °C	145 – 140	147 – 152	143 - 148
Temperatura de compactación °C	135 – 151	137 – 142	134 – 138
Temperatura de mezclado en planta °C	145 – 132	139 – 152	135 – 148

Fuente: Teoría de los pavimentos. Ing. Hugo León Arenas Lozano

**Tabla 10. Número de golpes por cara según la intensidad del tránsito**

TRANSITO	EJES EQUIVALENTES A 8.2 TON (N)	NÚMERO DE GOLPES POR CARA
Liviano NT1	Menor o igual de $0.5 \times 10^6$	50
Mediano NT2	$0.5 \times 10^6 - 5 \times 10^6$	75
Pesado NT3	Mayor de $5 \times 10^6$	75

Fuente: Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 450. 2007. P.9.

Se elaboró una curva de calibración para el cemento asfáltico en la que se puede apreciar la variación de su viscosidad con la temperatura, determinando gráficamente en ella la temperatura de mezcla y compactación para la elaboración de las briquetas.

**5.1.1 Curva susceptibilidad térmica del asfalto.** La curva de susceptibilidad térmica es empleada para determinar con claridad las temperaturas de mezcla y de compactación de un cemento asfáltico en particular, los resultados obtenidos para el cemento asfáltico que se utilizó fueron:

Temperatura de Mezcla: 147°C  
 Temperatura de Compactación: 137°C

En la gráfica de susceptividad térmica se observa que el rango de la temperatura de mezcla, es de 145 °C y 150 °C, y la de compactación es de 135 °C a 139 °C, mirar Anexo C. Debe evitarse un calentamiento excesivo del cemento asfáltico, el cual trae como consecuencia su endurecimiento.

## 5.2 COMBINACIÓN DE LOS AGREGADOS

“El conocer la proporción de asfalto óptimo es muy importante, dada su marcada influencia en los demás factores que permiten obtener un buen pavimento, y es así como los distintos métodos de diseño de Mezclas Asfálticas tienen como uno de los objetivos principales determinar la cantidad correcta de ligante para una determinada combinación de agregados <sup>11</sup>”.

Para determinar la curva de fórmula de trabajo, en primer término se secaron los materiales a una temperatura de 110 °C hasta un peso constante. Como casi nunca es posible obtener un agregado que cumpla con los requisitos granulométricos establecidos en las especificaciones INVIAS vigentes, para los tipos de mezclas densas en caliente y estas a su vez deben tener diferentes adiciones de agregados pétreos, se determinó una granulometría conveniente, y teniendo en cuenta con las características que se analizaron y desean para la mezcla, con los materiales de la zona y los usos de de las especificaciones. Como se muestra a continuación:

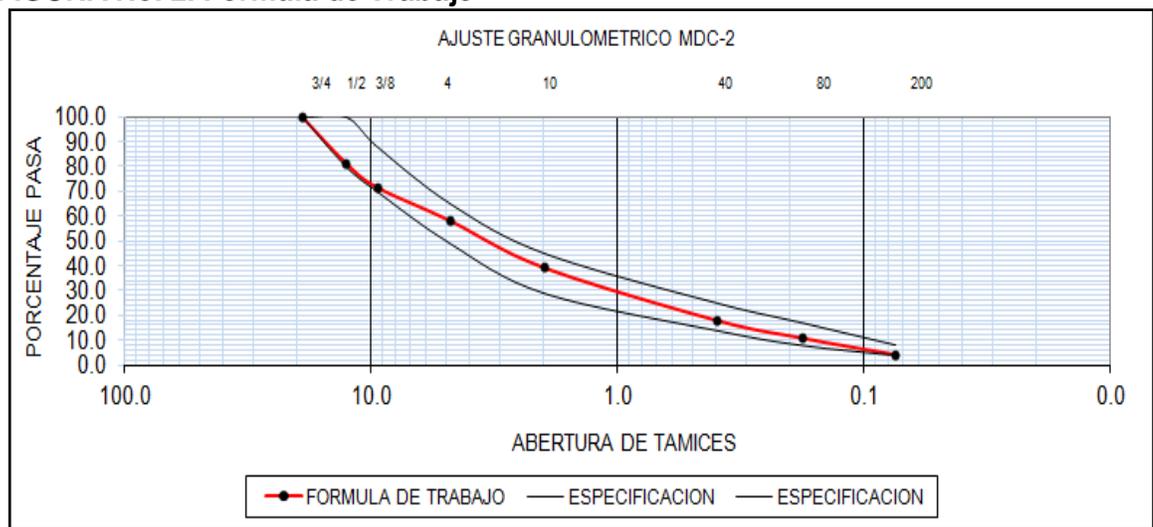
**Tabla 11. Ajuste granulométrico para mezclas asfálticas**

DESCRIPCIÓN MATERIAL: AGREGADOS MEZCLA Densa EN CALIENTE MDC - 2											
LOCALIZACIÓN MATERIAL: MUNICIPIO DE PASTO (NARIÑO)											
FUENTE DE MATERIALES: CANTERA CANTERA LA VEGA SECTOR BRICEÑO BAJO											
FRACCIÓN : AGREGADO GRUESO				FRACCIÓN : AGREGADO FINO				FRACCIÓN : LLENANTE MINERAL			
TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA	TAMIZ	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
3/4	131.0	0.5	100.0	3/4	0.0	0.0	100.0	3/4	0.0	0.0	100.0
1/2	11,213.0	41.3	58.7	1/2	0.0	0.0	100.0	1/2	0.0	0.0	100.0
3/8	5,562.0	20.5	38.3	3/8	58.0	1.9	98.1	3/8	0.0	0.0	100.0
No.4	4,777.0	17.6	20.7	No.4	519.0	17.3	80.8	No.4	0.0	0.0	100.0
No.10	4,570.0	16.8	3.9	No.10	1,058.0	35.3	45.5	No.10	0.0	0.0	100.0
No.40	212.0	0.8	3.1	No.40	902.0	30.1	15.4	No.40	48.7	48.7	51.3
No.80	95.0	0.3	2.8	No.80	157.0	5.2	10.2	No.80	23.2	23.2	28.1
No.200	167.0	0.6	2.2	No.200	120.0	4.0	6.2	No.200	22.3	22.3	5.8
PASA 200	455.0	1.7		PASA 200	186.0	6.2		PASA 200	5.8	5.8	
	27,182.0				3,000.0				100.00		

<sup>11</sup> ARENAS LOZANO, Hugo León; MARTINEZ, René. Composición química del asfalto colombiano producido en refinería y su correlación con la durabilidad. Universidad del Cauca. Popayán. 1989.

TAMIZ	% AGREGADO GRUESO	% AGREGADO FINO	% LLENANTE	ABERTURA DE TAMICES (mm)	FORMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007	
	45.0%	32.0%	23.0%				
3/4	45.0	32.0	23.0	19.1	100.0	100.0	100.0
1/2	26.4	32.0	23.0	12.7	81.4	80.0	100.0
3/8	17.2	31.4	23.0	9.5	71.6	70.0	88.0
No.4	9.3	25.8	23.0	4.8	58.2	49.0	65.0
No.10	1.8	14.6	23.0	2.0	39.3	29.0	45.0
No.40	1.4	4.9	11.8	0.4	18.2	14.0	25.0
No.80	1.2	3.3	6.5	0.2	11.0	8.0	17.0
No.200	1.0	2.0	1.3	0.1	4.3	4.0	8.0

**FIGURA No. 2. Fórmula de Trabajo**



Una vez fijada la granulometría más adecuada, se determino, por lo tanto la proporción en que deben mezclarse los materiales granulares, con el fin que satisfaga las especificaciones adoptadas.

Para ello se empleo un ajuste granulométrico en cuya parte superior se indican las gradaciones del cuadro de los materiales granulométricos, mientras que en la parte inferior se aplica un porcentaje a cada una de ellas de acuerdo a la gradación deseada, la cual como se ve en la figura No. 2, no es otra que aquella que va por el centro de la norma.

## 6 ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Como ya se discutió en el capítulo de materiales, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

### 6.1 ESTIMACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

La estimación del porcentaje óptimo de asfalto es de una gran ayuda, y se realiza utilizando la relación propuesta por el Instituto del Asfalto, ya que proporciona un valor de asfalto óptimo teórico y a partir de este se establecen los demás porcentajes de asfalto para el diseño.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto correspondiente a una mezcla o granulometría definida por el método Marshall, se deben preparar una serie de briquetas con diferentes contenidos de ligante, de forma que las curvas en las que se presenten los resultados de los distintos ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Los ensayos se realizan sobre la base de incrementos del contenido de asfalto del 0.5% y deben emplearse al menos dos contenidos de asfalto por encima y por debajo del valor óptimo. Para obtener resultados adecuados se deben triplicar las briquetas para cada contenido de asfalto.

A continuación se explica la relación propuesta por el Instituto del Asfalto para la obtención del porcentaje de asfalto óptimo teórico:

$$P = 0.032a + 0.045b + K.c + n$$

Donde:

P = porcentaje de asfalto estimado por peso total de la mezcla

a = porcentaje de material pétreo retenido en el tamiz No. 10.

b = porcentaje de material que pasa el tamiz No. 10 y se retiene en la No. 200.

c = porcentaje de material que pasa la malla No. 200.

K = factor que depende del valor de "c"

Como se muestra de acuerdo a la tabla 12

**Tabla 12. Factor de K con respecto al porcentaje de material que pasa el tamiz No. 200**

<b>C</b>	<b>K</b>
Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz No. 200 varía del 11% al 15%	0.20
Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz No. 200 varía del 06% al 10%	0.18
<b>Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz No. 200 es menos del 05%</b>	<b>0.15</b>

n = varía según el tipo de material pétreo y su absorción, como se muestra de acuerdo a la tabla 13

**Tabla 13. Tipo de material n**

<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>n</b>
Gravas o arenas de río de baja absorción	0.55
Gravas angulosas, redondeadas, trituradas de baja absorción	0.60
<b>Gravas angulosas o redondeadas de alta absorción y roca Triturada de absorción media.</b>	<b>0.70</b>
Rocas trituradas de alta absorción	0.80

Utilizando la combinación granulométrica de los agregados del presente trabajo se procede a obtener los valores de a, b y c de la siguiente manera:

$$a = 100\% - (\% \text{ retenido No. 10}) = 100\% - 18.9\% = 81.1\%$$

$$b = (\% \text{ pasa No. 10}) - (\% \text{ retenido No. 200}) = 39.3\% - 4.3\% = 35.0\%$$

$$c = (\% \text{ pasa No. 200}) = 4.3\%$$

$$K = 0.15$$

$$n = 0.70$$

Sustituyendo en la ecuación tenemos:

$$P = 0.032*81.1 + 0.045*35.0 + 0.15*4.3 + 0.60$$

$$P = 2.595 + 1.575 + 0.645 + 0.70$$

$$P = 5.515 \%$$

Se aproxima a **P = 5.5 % de cemento asfáltico óptimo teórico.**

## 6.2 DOSIFICACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se obtienen haciendo incrementos de 0.5% al porcentaje de cemento asfáltico, tres incrementos arriba y

dos abajo de 5.5% que es el estimativo del porcentaje de cemento asfáltico sacado con el procedimiento explicado anteriormente, por lo tanto los porcentajes de cemento asfáltico a utilizar para elaborar las diferentes dosificaciones son: 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 %, 6.5% y 7.0%.

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaborarán tres briquetas como mínimo, cada briqueta tendrá un peso de aproximadamente 1,200.0 gr, tanto para el ensayo Marshall No.1 como para el ensayo Marshall No. 2, con un asfalto de penetración 60-70, además, también se dosificará una o dos porciones de mezcla asfáltica de aproximadamente 2,000.0 gr cada una (esta cantidad depende del tamaño máximo de agregado utilizado), para calcular el peso específico máximo medido de la mezcla asfáltica sin vacíos con aire (no compactada), utilizando el método desarrollado por James Rice (ver anexo G) y su valor es necesario para conocer el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada. La elección de hacer una o dos muestras para peso específico máximo medido depende de los criterios del diseñador, ya que algunos hablan de inclusive hacer tres para tener un mejor valor promedio, ya que con dos muestras ensayadas no se tiene una certeza de que valores pueden ser tomados como los más exactos. Es de aclarar que se elaboró el diseño de la mezcla bajo la norma del INVIAS I.N.V.E-748-2007 para determinar la resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall. Una vez establecidos los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se procede a la elaboración de 18 briquetas de 1.200 gramos y se calculan los pesos de los agregados para cada una de las fracciones de agregados (ver tabla 14) y el peso de asfalto, dicho proceso se explica en la sección siguiente.

### **6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS**

Las briquetas se elaboraron con la dosificación de agregados del ajuste granulométrico para mezclas asfálticas indicada en la tabla 11, donde utilizamos material granular extraído de la cantera la “La Vega” ubicada en el sector de Briceño Bajo, del municipio de Pasto, Nariño. Se realizaron labores de tamizado y clasificación del material con el fin de obtener las cantidades de agregado necesario para una muestra con cada porcentaje de asfalto. Los agregados deben secarse hasta masa constante a 105 °C a 110 °C y se separarán por tamizado en los tamaños deseados como se muestra en la fotografía No. 1.

**FOTOGRAFIA No. 1 Clasificación del material granular**



La dosificación de agregados de las briquetas sin asfalto se determinó por medio de una balanza electrónica (ver fotografía No 2) para tener exactitud y seguridad en la cantidad de material requerido, tomando los datos de la tabla 14 (Dosificación muestras diseño Marshall), en donde se indican las cantidades del peso retenido en gr del agregado en los tamices No. 1/2", 3/8", No. 4, No. 10, No. 40, No. 80, No. 200 y pasa 200 y del pesos en gr del cemento asfáltico requerido para la elaboración de las briquetas para cada incremento de asfalto.

**FOTOGRAFIA No. 2 Dosificación de briquetas con material granular**



**Tabla 14. Dosificación muestras diseño Marshall**

			60-70
<b>% ASFALTO</b>			4.5 %
<b>TIPO DE ASFALTO</b>			60-70
<b>PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)</b>			1200.0 gr
<b>PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF</b>			1146.0 gr
<b>PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)</b>			54.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (4.5 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
1/2	81.4	18.6	213.2
3/8	71.6	9.8	112.3
4	58.2	13.4	153.6
10	39.3	18.9	216.6
40	18.2	21.1	241.8
80	11	7.2	82.5
200	4.3	6.7	76.8
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	49.3
		100	1,146.0
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>54.0</b>
<b>PENETRACIÓN DEL ASFALTO</b>			60-70
<b>% ASFALTO</b>			5.0 %
<b>PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)</b>			1200.0 gr
<b>PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF</b>			1140.0 gr
<b>PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)</b>			60.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (5.0 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
1/2	81.4	18.6	212.0
3/8	71.6	9.8	111.7
4	58.2	13.4	152.8
10	39.3	18.9	215.5
40	18.2	21.1	240.5
80	11	7.2	82.1
200	4.3	6.7	76.4
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	49.0
		100	1,140.0
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>60.0</b>

PENETRACIÓN DEL ASFALTO			60-70
% ASFALTO			5.5 %
PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)			1200.0 gr
PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF			1134.0 gr
PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)			66.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (5.5 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
½	81.4	18.6	210.9
3/8	71.6	9.8	111.1
4	58.2	13.4	152.0
10	39.3	18.9	214.3
40	18.2	21.1	239.3
80	11	7.2	81.6
200	4.3	6.7	76.0
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	48.8
		100	1,134.0
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>66.0</b>
PENETRACIÓN DEL ASFALTO			60-70
% ASFALTO			6.0 %
PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)			1200.0 gr
PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF			1128.0 gr
PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)			72.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (6.0 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
½	81.4	18.6	209.8
3/8	71.6	9.8	110.5
4	58.2	13.4	151.2
10	39.3	18.9	213.2
40	18.2	21.1	238.0
80	11	7.2	81.2
200	4.3	6.7	75.6
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	48.5
		100	1,128.0
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>72.0</b>

PENETRACIÓN DEL ASFALTO			60-70
% ASFALTO			6.5 %
PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)			1200.0 gr
PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF			1122.0 gr
PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)			78.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (6.5 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
1/2	81.4	18.6	208.7
3/8	71.6	9.8	110.0
4	58.2	13.4	150.3
10	39.3	18.9	212.1
40	18.2	21.1	236.7
80	11	7.2	80.8
200	4.3	6.7	75.2
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	48.2
		<b>100</b>	<b>1,122.0</b>
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>78.0</b>
PENETRACIÓN DEL ASFALTO			60-70
% ASFALTO			7.0 %
PESO AGREGADO MAS ASFALTO (POR BRIQUETA)			1200.0 gr
PESO AGREGADO DESCONTADO EL % DE ASF			1116.0 gr
PESO DEL ASFALTO (4.5% DE ASF POR BRIQUETA)			84.0 gr
TAMIZ	% PASA (AJUSTE GRANULOMETRICO)	% RETENIDO	PESO RETENIDO (gr) (7.0 % DE ASF)
3/4	100	0.0	0.0
1/2	81.4	18.6	207.6
3/8	71.6	9.8	109.4
4	58.2	13.4	149.5
10	39.3	18.9	210.9
40	18.2	21.1	235.5
80	11	7.2	80.4
200	4.3	6.7	74.8
P 200 (FONDO)	0.0	4.3	48.0
		<b>100</b>	<b>1,116.0</b>
		<b>PESO ASFALTO</b>	<b>84.0</b>

De igual forma, el molde, collar y la base del martillo de compactación, se limpian y calientan en un horno a una temperatura comprendida entre 93.3 °C y 148.9 °C. El asfalto se calienta a la temperatura de mezcla de 147 °C pero no mayor de 150 °C, dato tomado del anexo C de la curva de susceptibilidad térmica del cemento asfáltico utilizado en el ensayo. El agregado debe calentarse a una temperatura de 28 °C por encima de la temperatura de mezcla. Ver fotografía No. 3.

**FOTOGRAFIA No. 3 Preparación del agregado, del asfalto, collar, molde y base del martillo**



Cuando los materiales alcanzan las temperaturas deseadas, se prepara el agregado para recibir el cemento asfáltico, haciendo una especie de cráter en donde se coloca el asfalto y se mezcla hasta que todas las partículas de agregado estén cubiertas de asfalto (ver fotografía No. 4). Se procede a calentar la mezcla en una estufa eléctrica hasta lograr una temperatura óptima de mezclado de 147 °C, esta no debe exceder los 150°C, y no puede estar por debajo de los 145°C. (Ver fotografía No. 4).

**FOTOGRAFIA No. 4 Dosificación de briquetas**



En el momento que se empiezan a calentar los agregados pétreos y el cemento asfáltico (AC 60-70) se procede a mezclar, hasta que la mezcla se muestre homogénea, es decir que todas las partículas estén totalmente cubiertas por el ligante, se procede a sacar el molde del horno, se lubrica para evitar las adherencia de los materiales de la mezcla, se coloca el papel filtro en la parte inferior del molde y la mezcla es vaciada sobre el molde cilíndrico y distribuida uniformemente con una espátula o cuchara caliente y se golpeará 15 veces al perímetro del molde y 10 veces al interior. Se chequea la temperatura de mezcla que debe estar dentro de los límites mencionados anteriormente o de lo contrario la mezcla debe descartarse, pues no se permite su recalentamiento. (Ver fotografía No. 5).

#### FOTOGRAFÍA No. 5 Proceso de mezclado



A continuación se procede a compactarla, este ensayo se realiza con un martillo (de compactación), el cual consiste en un “Dispositivo de acero conformado de una base plana circular de 98.4 mm (37/8”) de diámetro y un pistón de 4.54 kg (10 lb) de peso total, montado en forma que proporcione una altura de caída de 457.2 mm (18”)”<sup>12</sup>. Para una categoría del tránsito NT3 en estudio se aplica 75 golpes por cara según la tabla No. 10 (Número de golpes por cara según la intensidad del tránsito), a caída libre y cuidando que el vástago del pistón se mantenga siempre vertical. Terminada la aplicación del número de golpes requerido, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se le quita la placa de base y el collar de extensión, se invierte el molde y se vuelve a montar el dispositivo, aplicando el mismo número de golpes a la que ahora es la cara superior de la muestra. Luego de la compactación se procede a desmoldar la briqueta, se le coloca al molde el collar de extensión y con el extractor se saca de él la briqueta compactada. Ver fotografía No.6.

<sup>12</sup> Universidad Nacional de Ingeniería Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Facultad de Ingeniería Civil Volumen I Laboratorio No.2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos ,pág. 135

**FOTOGRAFIA No. 6 Compactación y desmolde de briquetas**



Para la identificación de cada porcentaje y material se marcaron las briquetas en cada cara, colocándoles el porcentaje de asfalto en la mezcla, número de ensayo y número de la briqueeta, almacenándolas y dejándolas a temperatura ambiente durante 24 horas. (Ver fotografía 7).

**FOTOGRAFIA No. 7 Numeración y almacenamiento de briquetas**



## 7 PRUEBAS Y ENSAYOS REALIZADOS A LAS BRIQUETAS

Después de tener las briquetas listas, se procede a realizar una serie de pruebas como el cálculo de densidades, la toma de alturas, y el cálculo de la estabilidad y el flujo.

Para la determinación de alturas, se toma cada briqueta, midiéndola por cuatro lados diferente hasta obtener un promedio de altura (ver fotografía No. 8). Luego se calculan las densidades de las briquetas pesándolas en el aire y sumergidas en el agua como se puede observar en la fotografía No. 9.

**FOTOGRAFIA No. 8 Determinación de altura**



**FOTOGRAFIA No. 9 Densidades Agua – Aire**



Después de la realización de los ensayos de densidades y cálculos de altura a cada briqueta, las muestras fueron sumergidas a una temperatura de 60°C

durante 30 minutos (ver fotografía No. 10), para luego proceder a evaluar estabilidad y flujo Marshall.

**FOTOGRAFIA No. 10 Briquetas en baño María**



Después de los 30 minutos de permanecer las briquetas en baño María, se procede una a una a fallarlas en la prensa, se ubicaron los deformímetros y se aplico la carga hasta el punto en que la aguja que define la estabilidad retrocede y en el mismo instante en que eso sucede se lee el otro deformímetro que nos da el valor del flujo (ver fotografía No. 11).

**FOTOGRAFIA No. 11 Estabilidad y flujo**



La carta de calibración del fabricante del anillo de carga "CONTROLS" de 30 KN de capacidad se muestra en el Anexo A.

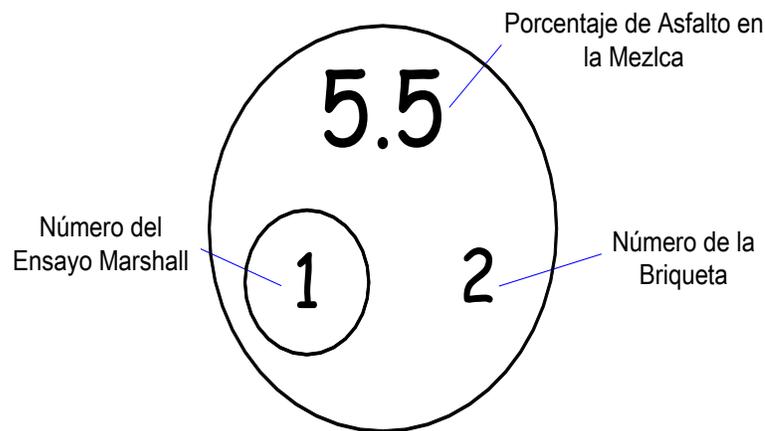
El certificado y carta de calibración del anillo de carga "Controls" de 30 KN de capacidad realizado por la empresa Rossemberg & Reingeniería S.A.S. se muestra en el Anexo B.

## 8 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las briquetas se elaboraron con la dosificación realizada (ver tabla No. 14), utilizó material granular extraído de la cantera La Vega Sector Briceño Bajo de la Ciudad de Pasto (Nariño), se realizaron labores de tamizado y clasificación del material con el fin de obtener la cantidad de agregado necesario para una muestra con cada porcentaje de asfalto.

El diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall se facilita con el empleo de tablas para ordenar los datos de los ensayos y sus resultados, a continuación se presenta el seguimiento de los cálculos para la briketa número dos (2) del ensayo Marshall número uno (1) correspondiente al cinco punto cinco (5.5 %) por ciento del contenido de asfalto. La cual fue marcada así: (Ver figura No. 3)

**FIGURA No. 3 Marcación de las briquetas de ensayo.**



Este orden de marcación fue empleado para cada una de las briquetas a lo largo de la presente investigación.

### 8.1 CÁLCULO DE VALORES DEL ENSAYO MARSHALL No 1.

Los valores de cálculo del ensayo Marshall en el desarrollo de la presente investigación se obtuvieron de la siguiente manera:

- **Datos de entrada.**

En esta tabla, se consignan los datos de peso, medida y el ensayo de estabilidad y flujo de cada una de las briquetas realizadas. (Ver tabla No. 15).

Peso de la biqueta compactada y seca ( $W_a$ ): 1,198.3 gr  
 Peso de la biqueta saturada con superficie seca ( $W_{ss}$ ): 1,201.20 gr  
 Peso de la biqueta sumergida ( $W_w = W_{bc} - W_{ca}$ ): 668.0 gr  
 Altura de la biqueta: h1: 6.44 cm  
 h2: 6.52 cm  
 h3: 6.40 cm  
 h3: 6.40 cm  
 Altura promedio de la biqueta: h promedio: 6.44 cm  
 Estabilidad leída: 1670  
 Flujo leído (mm) 3.60

**Tabla 15. Formato de datos de entrada ensayo Marshall No. 1.**

Diámetro de la Biqueta: 10.16 cm

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 4.50 %</b>												
Briq #	PESO (gr)			Volumen cm <sup>3</sup>	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,192.1	1,196.4	657.7	538.7	6.56	6.60	6.58	6.55	<b>6.57</b>	840.0	1,057.0	2.80
2	1,201.8	1,205.0	660.1	544.9	6.57	6.59	6.57	6.56	<b>6.57</b>	1,680.0	2,097.0	2.95
3	1,190.2	1,197.0	658.8	538.2	6.47	6.44	6.40	6.39	<b>6.43</b>	1,330.0	1,664.7	2.70

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 5.00 %</b>												
Briq #	PESO (gr)			Volumen cm <sup>3</sup>	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,194.3	1,199.0	662.1	536.9	6.43	6.45	6.44	6.52	<b>6.46</b>	1,410.0	1,763.2	3.10
2	1,187.4	1,197.2	660.2	537.0	6.44	6.47	6.38	6.47	<b>6.44</b>	1,500.0	1,874.9	3.25
3	1,192.3	1,196.7	660.1	536.6	6.50	6.35	6.33	6.39	<b>6.39</b>	1,620.0	2,024.1	3.50

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 5.50 %</b>												
Briq #	PESO (gr)			Volumen cm <sup>3</sup>	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,195.2	1,199.9	665.4	534.5	6.46	6.51	6.42	6.40	<b>6.45</b>	1,560.0	1,949.5	3.30
2	1,198.3	1,203.2	667.0	536.2	6.44	6.52	6.40	6.40	<b>6.44</b>	1,670.0	2,084.9	3.50
3	1,195.2	1,201.8	665.5	536.3	6.35	6.35	6.26	6.33	<b>6.32</b>	1,690.0	2,109.1	3.40

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 6.00 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,193.7	1,202.1	667.2	534.9	6.38	6.41	6.35	6.43	<b>6.39</b>	1,340.0	1,677.0	3.25
2	1,201.4	1,208.4	667.2	541.2	6.60	6.67	6.65	6.61	<b>6.63</b>	1,210.0	1,516.9	3.60
3	1,196.6	1,206.4	667.1	539.3	6.40	6.48	6.36	6.40	<b>6.41</b>	1,410.0	1,763.2	3.80

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 6.50 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,190.5	1,207.5	668.0	539.5	6.36	6.35	6.31	6.30	<b>6.33</b>	890.0	1,119.4	3.00
2	1,184.0	1,202.5	667.9	534.6	6.31	6.36	6.28	6.27	<b>6.31</b>	1,230.0	1,541.6	3.75
3	1,186.5	1,199.4	665.5	533.9	6.50	6.43	6.36	6.36	<b>6.41</b>	1,300.0	1,627.7	4.50

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 7.00 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,199.8	1,212.7	668.9	543.8	6.31	6.31	6.31	6.31	<b>6.31</b>	1,080.0	1,356.0	4.21
2	1,201.5	1,215.8	669.7	546.1	6.27	6.16	6.19	6.15	<b>6.19</b>	1,230.0	1,541.6	4.00
3	1,198.4	1,212.6	668.8	543.8	6.29	6.27	6.34	6.31	<b>6.30</b>	980.0	1,231.9	3.25

(sss): Peso de la briqueleta saturada con superficie seca

(sum): Peso de la briqueleta sumergida en agua.

(h): Valor promedio de la altura de la briqueleta.

El valor de la carga está dado en Kilogramos.

El valor del Flujo está dado en milímetros

El valor de la estabilidad se presenta como carga, este valor viene dado por el informe de calibración de la prensa Marshall, empleada para los ensayos mostrado en el Anexo A. De esta forma, el valor en kilogramos (kg) para una lectura de 1670 es de  $20.4502 \times 101.95 = 2,084.90$  kg.

- **Formato de ensayo Marshall.**

Los valores de datos de entrada son tomados y se procede a su cálculo dentro de éste formato, así:

Si el espesor de la briqueleta es diferente de 63.5 mm, el valor registrado de Estabilidad Marshall deberá ser corregido, multiplicándolo por el factor que corresponda de la tabla del anexo D.

De esta forma, se entra con el valor promedio, 6.44 cm y su factor es 0.978, luego este valor se multiplica por el dato de estabilidad en kg y este nuevo valor es la estabilidad corregida:

(Estabilidad leída) x (factor de corrección) = Estabilidad Corregida  
 $2,084.90 \times 0.978 = 2,039.0 \text{ kg}$

- **Cálculo del peso específico “Bulk”. ( $G_b$ )**

El peso específico Bulk de una briqueta compactada es una relación entre su peso en el aire y su volumen, incluyendo en él, todos los vacíos permeables.

Las briquetas de los ensayos para determinación del contenido óptimo de ligante, presentaron una textura densa, por lo tanto se empleó la siguiente expresión:

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

Siendo:       $W_a$ : Peso de la briqueta seca en el aire  
                   $W_{ss}$ : Peso de la briqueta saturada con superficie seca  
                   $W_w$ : Peso de la briqueta sumergida en agua

$$G_b = \frac{1,198.3}{1,203.2 - 667.00} = 2.23 \text{ g/cm}^3$$

- **Determinación del peso específico máximo teórico. ( $G_{mt}$ )**

Con los datos del peso específico promedio de los agregados, y el peso específico del asfalto, del presente informe, se calcula el peso específico máximo teórico a través de la siguiente expresión: (Ver tabla 16).

$$G_{mt} = \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregados}}{G_{\text{Agregados}}} + \frac{\% \text{ Asfalto}}{G_{\text{Asfalto}}}}$$

**Tabla 16. Peso específico máximo teórico de las mezclas asfálticas**

<b>PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO</b>	<b>PORCENTAJE DE AGREGADOS</b>	<b>PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO</b>
(%)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )
4.50	95.50	2.372
5.00	95.00	2.355
5.50	94.50	2.338
6.00	94.00	2.321
6.50	93.50	2.305
7.00	93.00	2.289

- **Cálculo del peso específico máximo medido. ( $G_{mm}$ )**

Para calcular el peso específico máximo medido, se debió realizar el ensayo de Rice (véase Anexo G), por tanto, este peso específico del material sin compactar fue de 2.372 g/cm<sup>3</sup> para nuestro ejemplo.

Los datos para el ensayo Marshall en análisis son como se presentan en la siguiente tabla: (Ver tabla 17).

**Tabla 17. Determinación del peso específico máximo medido ( $G_{mm}$ )**

<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Temperatura del agua °C	25	25	25	25	25	25
Factor de corrección	1	1	1	1	1	1
<b>Asfalto (%)</b>	<b>4.5</b>	<b>5.0</b>	<b>5.5</b>	<b>6.0</b>	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>
Peso muestra (g)	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00
Peso matraz + muestra + agua (g)	6,384.60	6,383.20	6,388.70	6,386.40	6,386.50	6,383.90
Peso matraz + agua (g)	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	843.5	886.5	845.3	843.8	846.1	844.6
Volumen corregido a 25 °C (cm <sup>3</sup> )	843.5	886.5	845.3	843.8	846.1	844.6
<b>Peso específico máximo medido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.360</b>	<b>2.356</b>	<b>2.372</b>	<b>2.365</b>	<b>2.365</b>	<b>2.358</b>

- **Cálculo del porcentaje de asfalto absorbido. ( $A_a$ )**

Este valor indica el porcentaje de absorción de asfalto por peso de agregado seco, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$A_a = \frac{G_{mm} - G_{mt}}{G_{mm} \cdot G_{mt} \cdot \% \text{ Agregados}} * 10000$$

El valor de (%Agregados) corresponde al porcentaje de agregados pétreos, con respecto al peso de la mezcla total.

Para el valor en estudio, se tiene:

$$A_a = \frac{2.372 - 2.338}{2.372 \cdot 2.338 \cdot 94.5} * 10000 = 0.64\%$$

- **Cálculo del porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la briqueta. ( $V_{agr}$ ),**

Este valor se calcula mediante la expresión:

$$V_{agr} = \frac{\% \text{ Agregados} \cdot G_b}{G_{agr}}$$

Para los valores en estudio, se tendrá:

$$V_{agr} = \frac{94.5 * 2.23}{2.536} = 83.10\%$$

- **Cálculo del porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la briqueta ( $V_v$ ).**

Este valor se calcula mediante la expresión:

$$V_v = \left( 1 - \frac{G_b}{G_{mt}} \right) * 100$$

Para los valores en estudio, se tiene:

$$V_v = \left( 1 - \frac{2.23}{2.338} \right) * 100 = 4.61\%$$

- **Cálculo del volumen del asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la briqueta ( $V_{ae}$ ).**

Este valor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_{ae} = 100 - (V_{agr} + V_v)$$

Para los valores en estudio, se tiene:

$$V_{ae} = 100 - (83.10 + 4.61) = 12.29\%$$

- **Determinación del porcentaje de vacíos en los agregados minerales en la briqueta compactada ( $V_{am}$ ).**

Este valor representa a los vacíos con aire y a los llenos de asfalto.

Para su cálculo se emplea la siguiente expresión:

$$V_{am} = 100 - V_{agr}$$

Para los valores en estudio, se tiene:

$$V_{am} = 100 - 83.10 = 16.90\%$$

- **Determinación del porcentaje de vacíos llenos de asfalto en la briqueta compactada (VFA).**

Se calcula el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) como una porción de los vacíos en el agregado mineral, con la siguiente expresión:

$$VFA = \frac{VAM - V_v}{VAM} * 100$$

Para los valores en estudio, se tiene:

$$VFA = \frac{16.90 - 4.61}{16.90} * 100 = 72.2\%$$

- **Determinación del contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la briqueta ( $A_e$ ).**

Este valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$A_e = \%_{asfalto} - \frac{A_a \cdot \%_{agregados}}{100}$$

Para los valores en estudio, se tiene:

$$A_e = 5.5 - \frac{0.64 * 94.5}{100} = 4.90\%$$

- **Determinación de la relación de polvo, relación entre el llenante y el asfalto efectivo (RP).**

Este valor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$R.P. = \frac{P_{0.075}}{A_e}$$

De donde:

$P_{0.075}$  = Porcentaje del agregado que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200)

Para los valores en estudio, se tiene:

$$R.P. = \frac{4.3}{4.9} = 0.88\%$$

Estos datos se colocan en su respectiva ubicación en la tabla del Anexo F Formato de Ensayo Marshall No. 1, y se procede a graficar los valores indicados.

## 8.2 GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO MARSHALL No. 1

Finalmente, con todos los datos necesarios se procede a la elaboración de los gráficos contemplados por el método Marshall para el ensayo Marshall No. 1. A continuación se presenta la tabla 18, en donde se resumen los datos necesarios para la generación de los gráficos.

**Tabla 18. Resumen para el trazado de los gráficos del Método Marshall para Ensayo Marshall No. 1**

Contenido de Asfalto	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	% Vacíos	% VMA	% VFA	Llenante/ Ae	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
4.50%	2.210	6.8	16.8	59.4	0.97	1,541.50	2.82
5.00%	2.220	5.7	16.8	66.1	0.87	1,851.02	3.28
5.50%	2.230	4.6	16.9	72.7	0.88	2,021.90	3.40
60.00%	2.220	4.4	17.7	75.3	0.83	1,606.60	3.55
6.50%	2.210	4.1	18.1	77.2	0.80	1,428.96	3.75
7.00%	2.200	3.9	18.5	78.9	0.75	1,408.90	3.82

Después de la realización de los ensayos y obtener sus resultados, estos son trazados en los gráficos del 1 al 7, para poder entender las características particulares de cada briqueta usada en la serie.

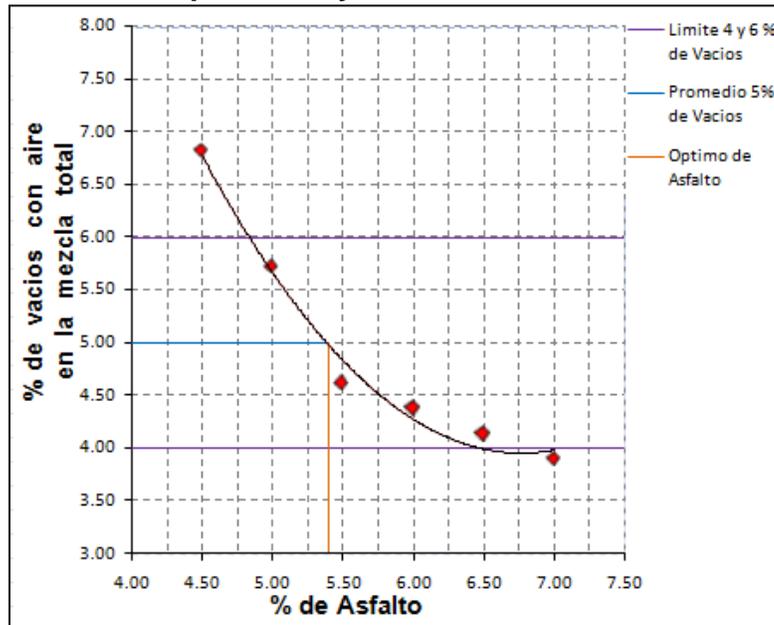
Los valores graficados en el eje de las ordenadas (Y) son: porcentaje de vacíos, porcentaje de VMA, porcentaje de VFA, Densidad, Estabilidad y Fluencia, todos contra el valor en las abscisas (X) que son los diferentes porcentajes de asfalto.

### **8.3 OBSERVACIONES Y TENDENCIAS DE LAS GRÁFICAS DE DISEÑO.**

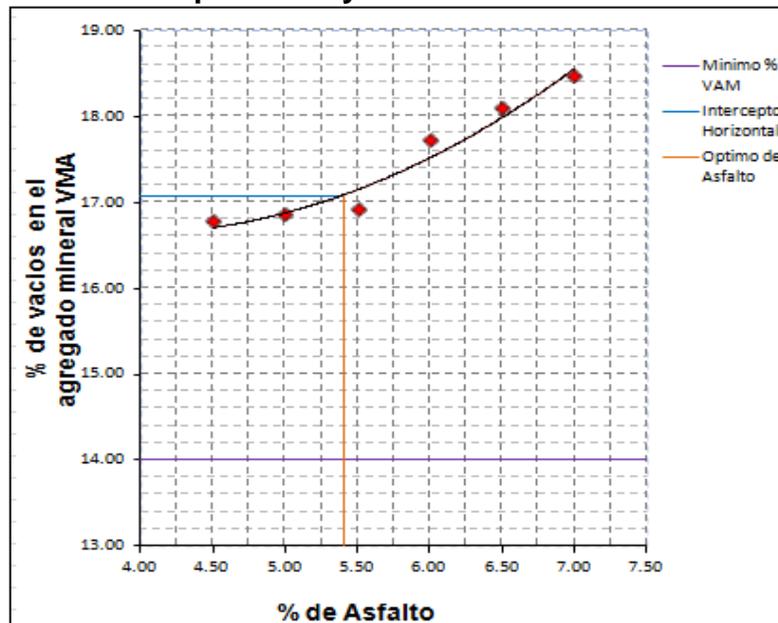
Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas:

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- La curva para la densidad de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que la densidad máxima se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad.
- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

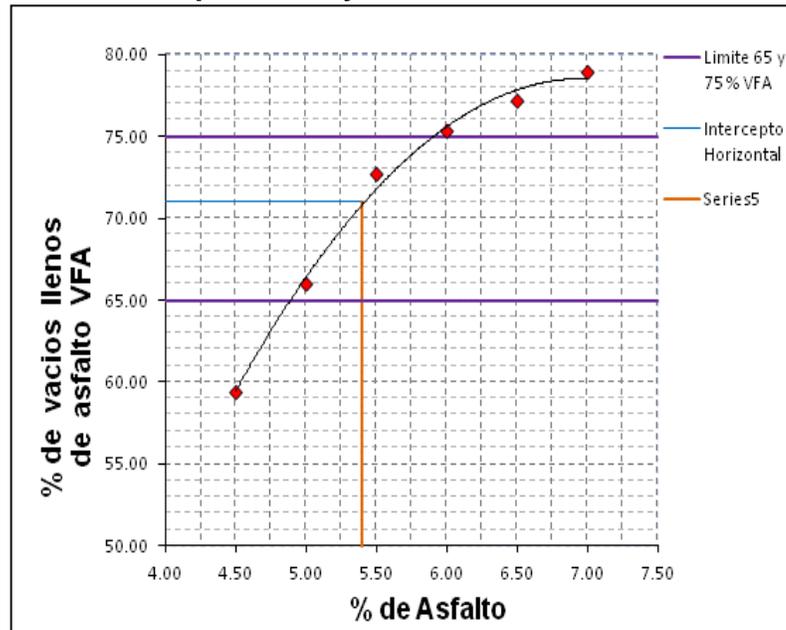
**GRÁFICO No. 1 % de vacios con aire en la mezcla total Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



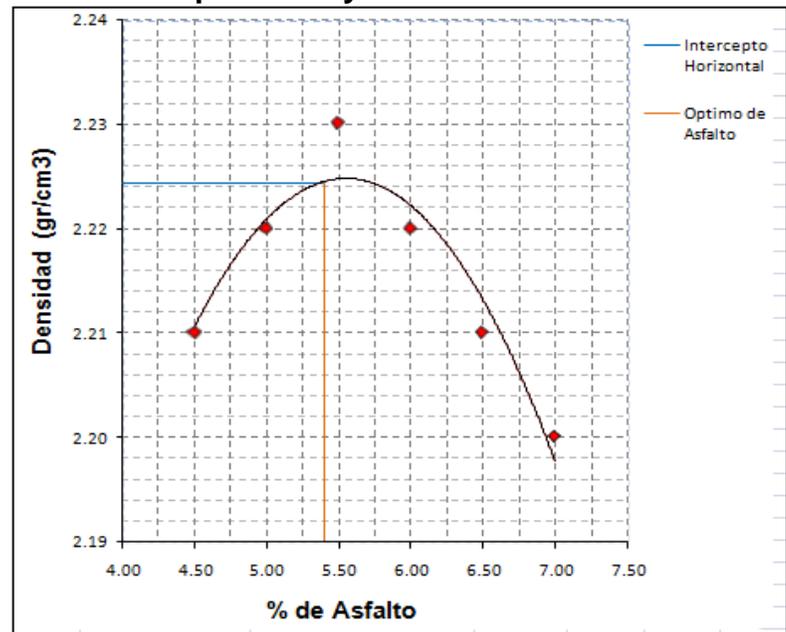
**GRÁFICO No. 2 % de vacios en el agregado mineral VMA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



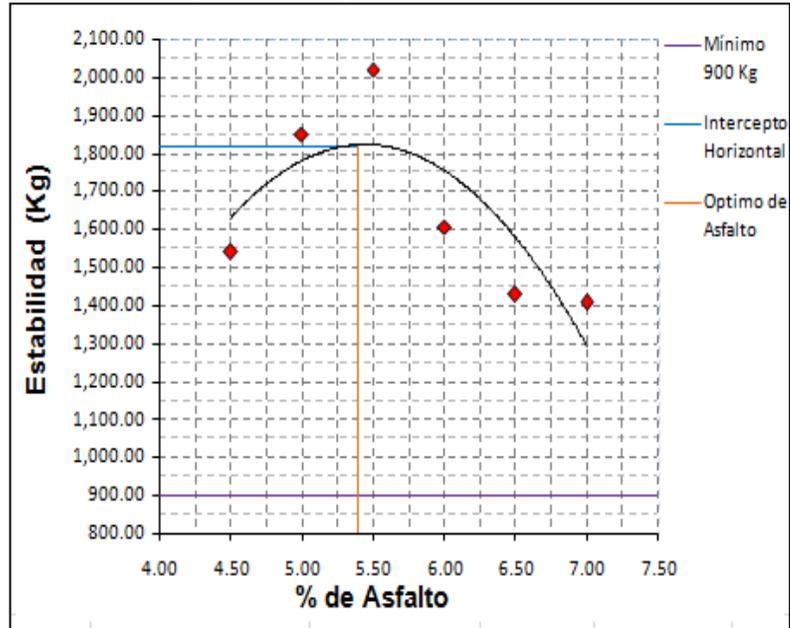
**GRÁFICO No. 3 % de vacios llenos de Asfalto VFA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



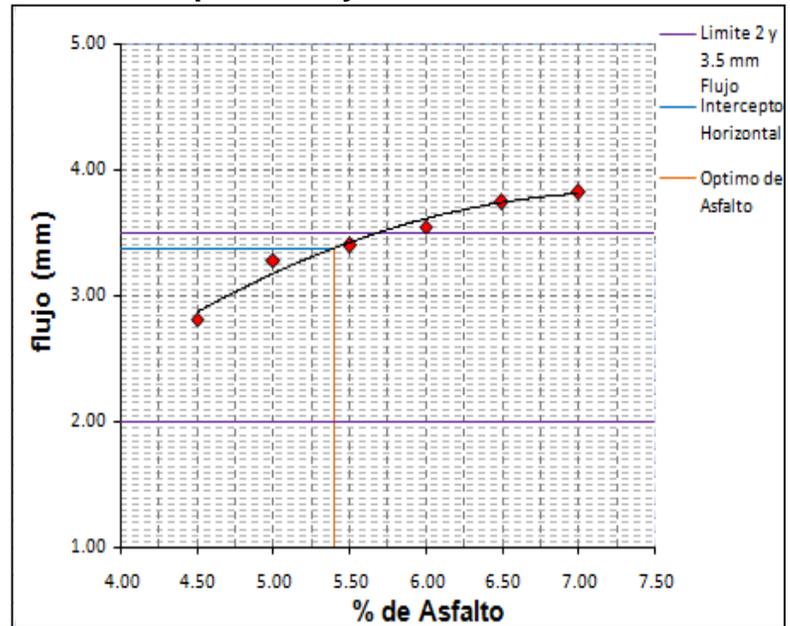
**GRÁFICO No. 4 Densidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



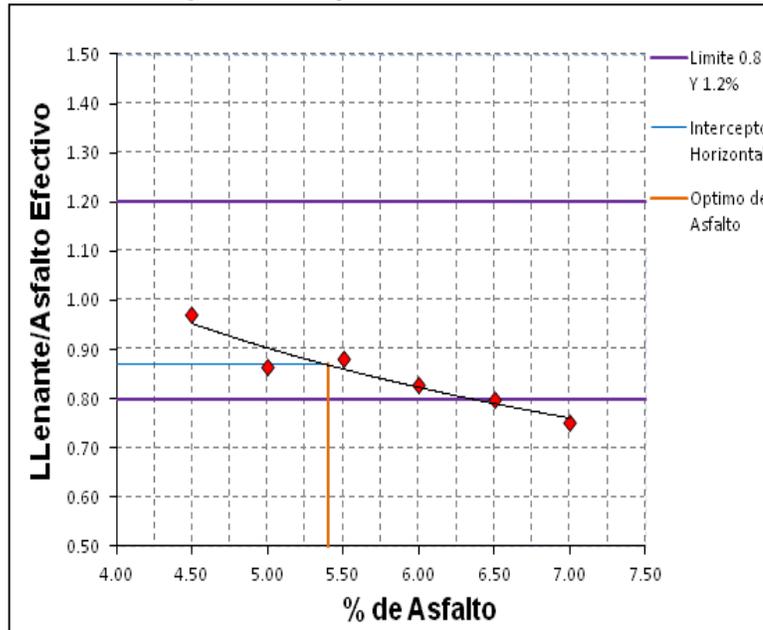
**GRÁFICO No. 5 Estabilidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



**GRÁFICO No. 6 Flujo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



**GRÁFICO No. 7 Llenante / Asfalto Efectivo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 1**



Los gráficos anteriores proporcionan los resultados de los ensayos Marshall. Cada gráfica tiene trazados los resultados de los diferentes ensayos, los valores de estos resultados están representados por los puntos de contenido de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%.

#### 8.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO.

El contenido óptimo de cemento asfáltico para el diseño de mezcla se determina a partir del análisis de los resultados del gráfico No. 1. El requisito del método Marshall para vacíos en mezclas asfálticas diseñadas en laboratorio es de 4 a 6%, para analizar las gráficas primeramente se obtiene el valor promedio de dichos vacíos que es 5% de vacíos, con este valor son comprobadas todos los parámetros. Se traza una línea horizontal que corte el valor de 5% de vacíos en el eje de las ordenadas e intercepte la gráfica, desde este punto de intersección se traza una línea vertical que corte el eje horizontal (abscisas) y se registra el valor de porcentaje de cemento asfáltico en dicha intersección; el valor determinado de esta forma será tomado como el contenido óptimo de cemento asfáltico. Luego, con este contenido óptimo de cemento asfáltico se evalúa todos los gráficos para encontrar todos los parámetros de control y luego compararlos con las especificaciones de diseño del método Marshall para tráfico alto, para verificar si los valores encontrados cumplen. La manera para encontrar todos los parámetros es trazando una línea vertical desde el contenido

óptimo de cemento asfáltico encontrado anteriormente, hasta que esta línea intercepte la gráfica; luego a partir de esta intercepción se traza una línea horizontal que intercepte el eje vertical, de esta manera se pueden obtener cada uno de los parámetros de control que serán comparados con las especificaciones. Si se cumplen todos los criterios de las especificaciones, el contenido de cemento asfáltico encontrado con el cual se evaluaron todos los parámetros, será considerado el contenido de asfalto óptimo para el diseño de la mezcla. Con uno de los criterios que no cumpla será necesario hacer algunos ajustes o volver a rediseñar la mezcla.

**8.4.1 Parámetros de diseño encontrados para el ensayo Marshall No. 1.** Del procedimiento de análisis del gráfico No. 1, se obtuvieron los siguientes datos: para un contenido de 5% de vacíos se determinó un 5.4 % de cemento asfáltico, luego con este contenido de cemento asfáltico se determinaron los valores de las otras propiedades:

Cemento asfáltico = **5.4 %**  
Porcentaje de VMA (Gráfico 2) = **17.07%**  
Porcentaje de VFA (Gráfico 3) = **71.00%**  
Densidad (Gráfico 4) = **2.224 gr/cm<sup>3</sup>**  
Estabilidad (Gráfico 5) = **1,820 Kg**  
Fluencia (Gráfico 6) = **3.3 mm**  
Llenante / Ae (Gráfico 7) = **0.87%**

Ahora estos valores son comparados con los criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall recomendados por el Instituto Nacional de Vías en los criterios de diseño Marshall para tránsito alto NT3; la Tabla 19 contiene un resumen de la comparación entre los valores obtenidos a partir de los gráficos y los establecidos en el diseño Marshall.

**Tabla 19. Comparación de resultados obtenidos con los criterios del método Marshall para el ensayo Marshall No. 1**

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL METODO MARSHALL	VALORES OBTENIDOS	TRANSITO NT3 CARPETA Y BASE	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Compactación (golpes/cara)	-	75	75
Estabilidad mínima (Kg)	1820	900	-
Flujo (mm)	3.37	2	3.5
% de vacios	5	4	6
% VMA	17.07	Para 5.0% de contenido de vacios. Se toma un valor mínimo del 14% para agregado de 3/4", según Tabla Anexo E	
% VFA	71	65	75
Llenante / Asfalto efectivo	0.87	0.8	1.2
% Optimo de asfalto	5.4		

En la tabla 19, se puede observar que todos los valores cumplen con los criterios de diseño Marshall en el ensayo Marshall No. 1, por lo que se concluye que el porcentaje óptimo de asfalto para el Ensayo Marshall No. 1 es de 5.4%.

### 8.5 CÁLCULO DE VALORES DEL ENSAYO MARSHALL No 2.

A continuación, se presenta los formatos de entrada, tablas y gráficas del ensayo Marshall No. 2.

**Tabla 20. Formato de datos de entrada ensayo Marshall No. 2**

Diámetro de la Briqueta: 10.16 cm

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA:</b>	<b>4.50 %</b>
--	---------------

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum		6.44	6.52	6.39	6.43		Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,200.9	1,205.9	661.8	544.1	6.44	6.52	6.39	6.43	<b>6.45</b>	1,200.0	1,504.5	2.50
2	1,200.5	1,205.2	660.3	544.9	6.43	6.50	6.44	6.41	<b>6.45</b>	1,460.0	1,825.1	3.00
3	1,188.3	1,195.3	656.1	539.2	6.36	6.35	6.32	6.31	<b>6.34</b>	960.0	1,206.9	2.25

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA:</b>	<b>5.00 %</b>
--	---------------

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum		6.41	6.39	6.38	6.42		Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,199.4	1,202.9	664.1	538.8	6.41	6.39	6.38	6.42	<b>6.40</b>	1,830.0	2,278.1	3.80
2	1,195.9	1,201.4	663.8	537.6	6.52	6.56	6.54	6.54	<b>6.54</b>	1,350.0	1,689.3	2.75
3	1,196.7	1,201.7	663.9	537.8	6.42	6.47	6.39	6.42	<b>6.43</b>	1,670.0	2,084.9	3.10

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 5.50 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,201.3	1,206.2	667.1	539.1	6.38	6.38	6.37	6.35	<b>6.37</b>	1,860.0	2,314.8	3.25
2	1,195.3	1,205.1	667.9	537.2	6.36	6.37	6.32	6.31	<b>6.34</b>	1,620.0	2,024.1	3.60
3	1,186.2	1,199.9	667.1	532.8	6.49	6.47	6.39	6.38	<b>6.43</b>	1,780.0	2,217.8	3.40

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 6.00 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,202.9	1,211.9	668.1	543.8	6.35	6.34	6.36	6.33	<b>6.35</b>	1,420.0	1,775.5	3.75
2	1,195.0	1,208.5	669.2	539.3	6.32	6.31	6.35	6.38	<b>6.34</b>	1,430.0	1,787.8	3.30
3	1,192.4	1,207.8	669.1	538.7	6.36	6.32	6.35	6.34	<b>6.34</b>	1,270.0	1,590.8	3.75

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 6.50 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,189.4	1,209.5	670.2	539.3	6.36	6.35	6.31	6.30	<b>6.33</b>	1,170.0	1,467.4	3.80
2	1,189.8	1,207.9	668.1	539.8	6.31	6.36	6.28	6.27	<b>6.31</b>	1,340.0	1,677.0	3.50
3	1,201.4	1,213.6	668.7	544.9	6.50	6.43	6.36	6.36	<b>6.41</b>	1,210.0	1,516.9	3.75

**PORCENTAJE DE ASFALTO EN LA MEZCLA: 7.00 %**

Briq #	PESO (gr)			Volumen cm3	Altura (cm)				h (cm) prom	Lecturas		
	seca	sss	sum							Estabilidad	Carga	Flujo
1	1,195.3	1,214.9	670.1	544.8	6.31	6.31	6.31	6.31	<b>6.31</b>	1,130.0	1,417.9	4.25
2	1,200.1	1,216.9	670.4	546.5	6.27	6.16	6.19	6.15	<b>6.19</b>	1,125.0	1,411.7	4.10
3	1,187.5	1,211.2	670.1	541.1	6.29	6.27	6.34	6.31	<b>6.30</b>	980.0	1,231.9	3.40

(sss): Peso de la briqueta saturada con superficie seca  
 (sum): Peso de la briqueta sumergida en agua.  
 (h): Valor promedio de la altura de la briqueta.  
 El valor de la carga está dado en Kilogramos.  
 El valor del Flujo está dado en milímetros

**8.6 GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO MARSHALL No. 2**

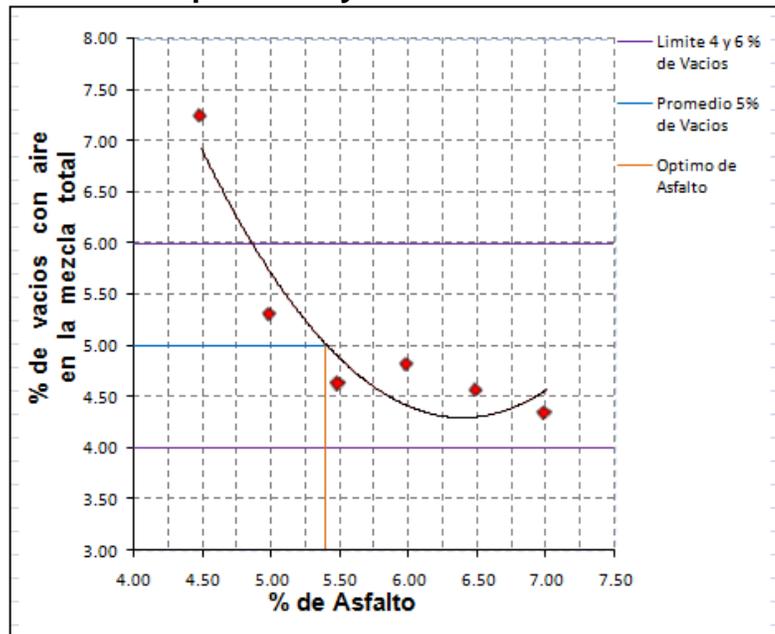
Finalmente, con todos los datos necesarios se procede a la elaboración de los gráficos contemplados por el método Marshall para el ensayo Marshall No. 2. A continuación se presenta la tabla 21, en donde se resumen los datos necesarios para la generación de los gráficos.

**Tabla 21. Resumen para el trazado de los gráficos del Método Marshall para Ensayo Marshall No. 2**

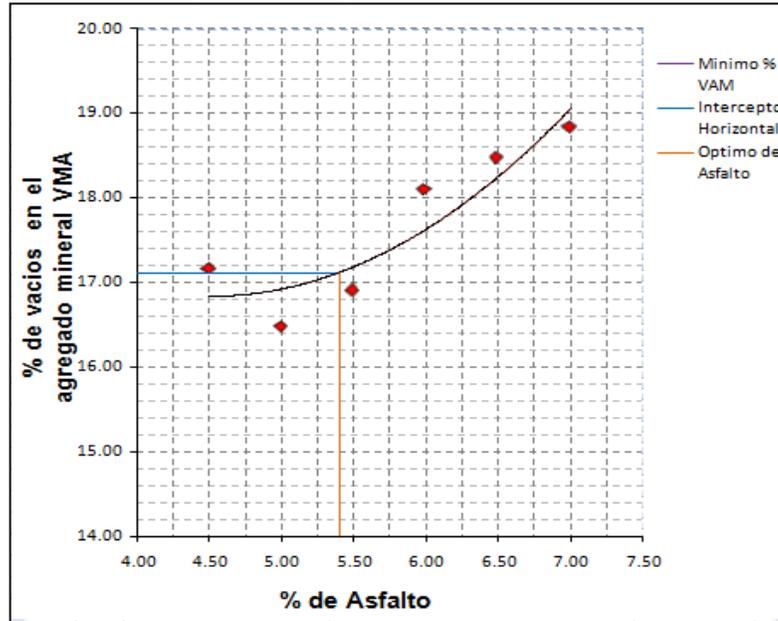
Contenido de Asfalto	Densidad (gr/cm3)	% Vacíos	% VMA	% VFA	Llenante/Ae	Estabilidad (kg)	Flujo (mm)
4.50%	2.200	7.2	17.2	57.8	0.97	1,496.74	2.58
5.00%	2.230	5.3	16.5	67.9	0.87	1,968.53	3.22
5.50%	2.230	4.6	16.9	72.7	0.88	2,168.93	3.42
6.00%	2.210	4.8	18.1	73.5	0.83	1,721.43	3.60
6.50%	2.200	4.6	18.5	75.3	0.80	1,554.76	3.68
7.00%	2.190	4.3	18.8	77.0	0.75	1,384.60	3.92

Después de la realización de los ensayos y obtener sus resultados, estos son trazados en los gráficos del 8 al 14, para poder entender las características particulares de cada briqueta usada en la serie.

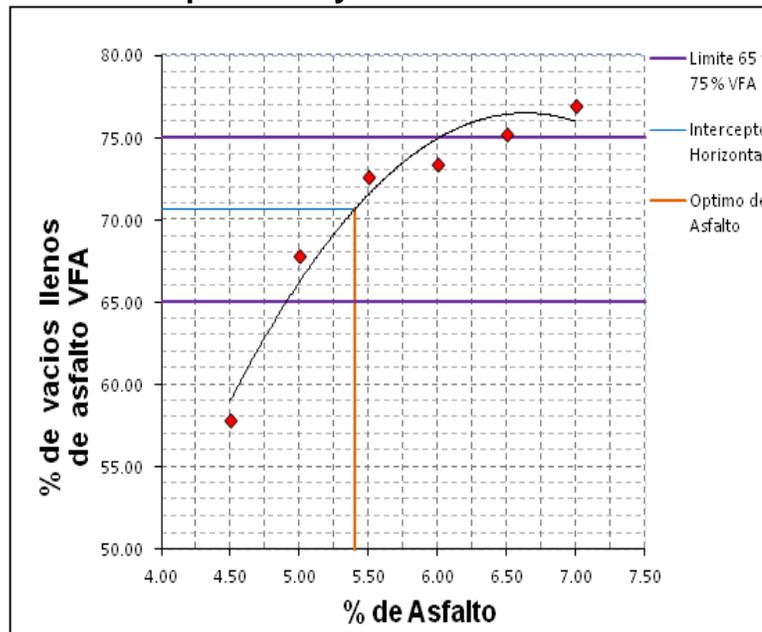
**GRÁFICO No. 8 % de vacios con aire en la mezcla total Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



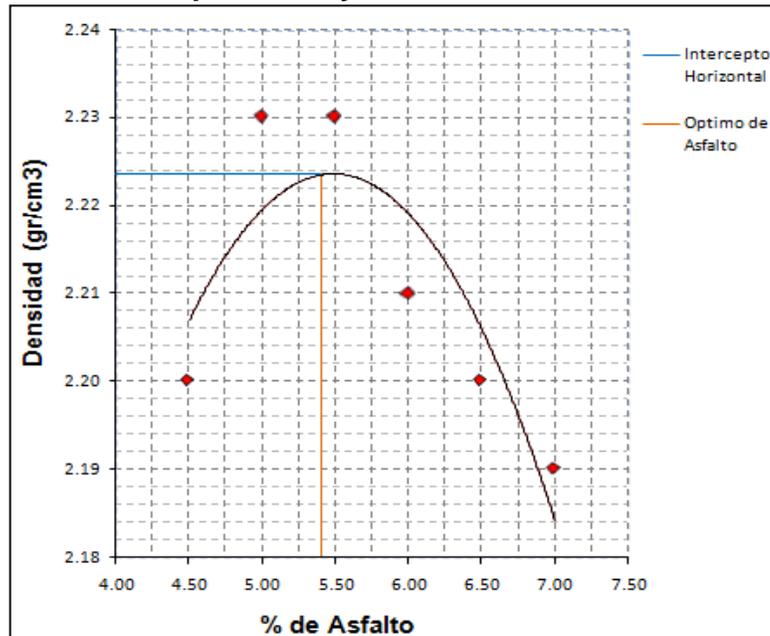
**GRÁFICO No. 9 % de vacios en el agregado mineral VMA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



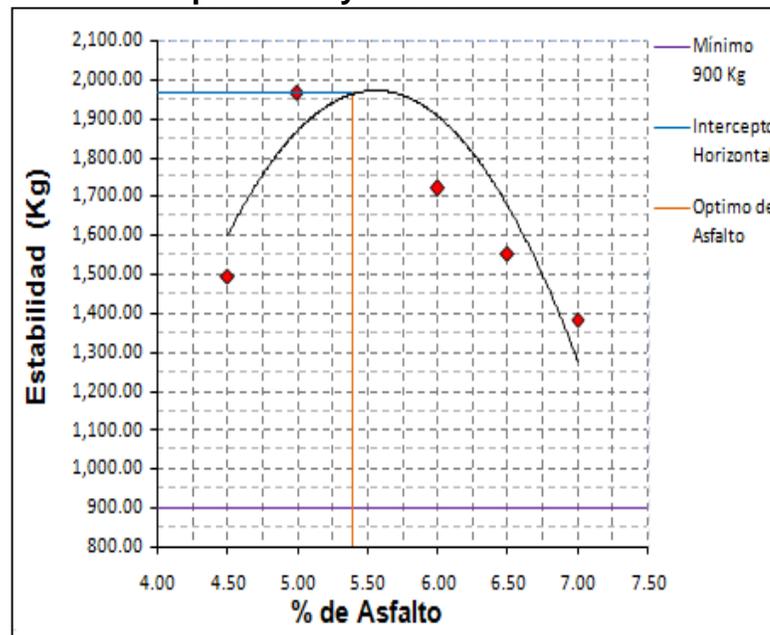
**GRÁFICO No. 10 % de vacios llenos de Asfalto VFA Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



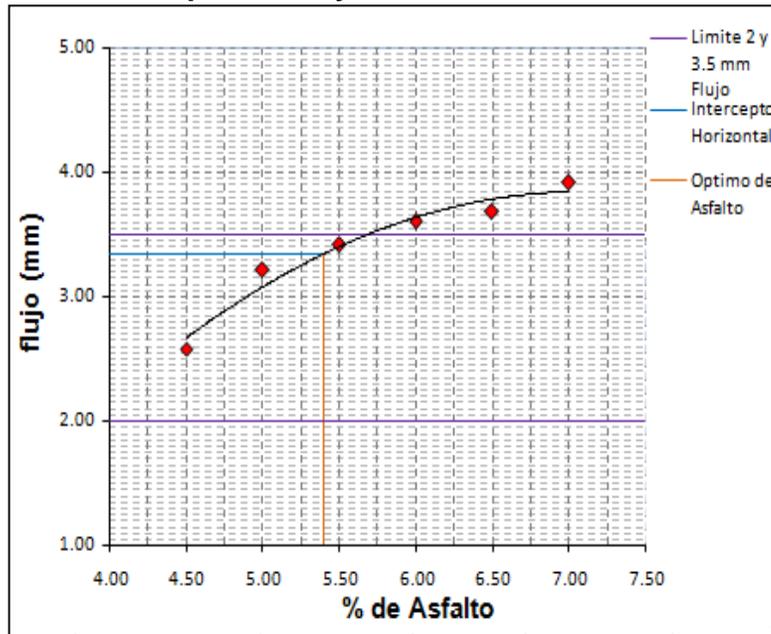
**GRÁFICO No. 11 Densidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



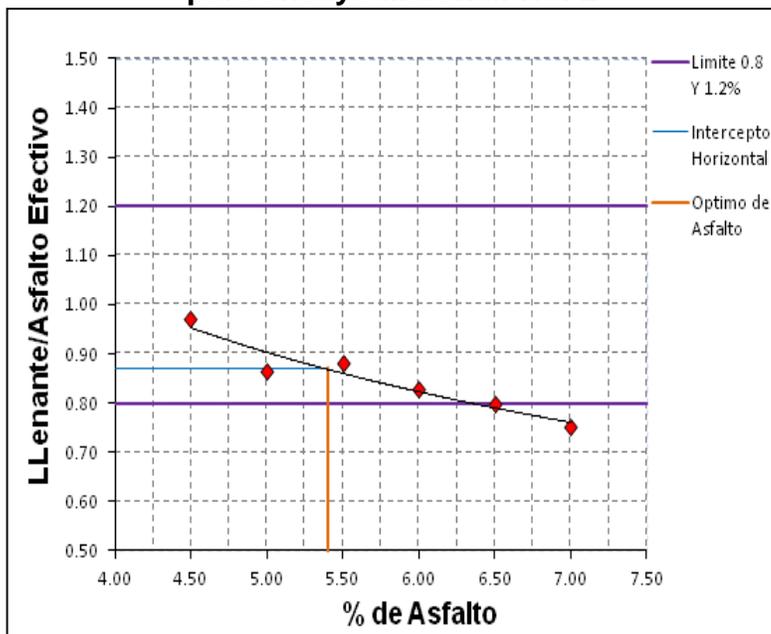
**GRÁFICO No. 12 Estabilidad Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



**GRÁFICO No. 13 Flujo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



**GRÁFICO No. 14 Llenante / Asfalto Efectivo Vs % de Asfalto para ensayo Marshall No. 2**



Los gráficos anteriores proporcionan los resultados de los ensayos Marshall. Cada gráfica tiene trazados los resultados de los diferentes ensayos, los valores

de estos resultados están representados por los puntos de contenido de asfalto de 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0%.

**8.6.1 Parámetros de diseño encontrados para el ensayo Marshall No. 2.** Del procedimiento de análisis del Gráfico 8, se obtuvieron los siguientes datos: para un contenido de 5% de vacíos se determinó un 5.4 % de cemento asfáltico, luego con este contenido de cemento asfáltico se determinaron los valores de las otras propiedades:

Cemento asfáltico = **5.4 %**  
 Porcentaje de VMA (Gráfico 9) = **17.10%**  
 Porcentaje de VFA (Gráfico 10) = **70.7%**  
 Densidad (Gráfico 11) = **2.223 gr/cm<sup>3</sup>**  
 Estabilidad (Gráfico 12) = **1,965 Kg**  
 Fluencia (Gráfico 13) = **3.34 mm**  
 Llenante / Ae (Gráfico 14) = **0.87%**

Ahora estos valores son comparados con los criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall recomendados por el Instituto Nacional de Vías en los criterios de diseño Marshall para tránsito alto NT3; la tabla 22 contiene un resumen de la comparación entre los valores obtenidos a partir de los gráficos y los establecidos en el diseño Marshall.

**Tabla 22. Comparación de resultados obtenidos con los criterios del Método Marshall para el ensayo Marshall No. 2**

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL METODO MARSHALL	VALORES OBTENIDOS	TRANSITO NT3 CARPETA Y BASE	
		MÍNIMO	MÁXIMO
Compactación (golpes/cara)	-	75	75
Estabilidad mínima (Kg)	1965	900	-
Flujo (mm)	3.34	2	3.5
% de vacíos	5	4	6
% VMA	17.1	Para 5.0% de contenido de vacíos. Se toma un valor mínimo del 14% para agregado de 3/4", según Tabla Anexo E	
% VFA	70.7	65	75
Llenante / Asfalto efectivo	0.87	0.8	1.2
% Optimo de asfalto	5.4		

De la tabla 22, se puede observar que todos los valores cumplen con los criterios de diseño Marshall en el ensayo Marshall No. 2, por lo que se concluye que el porcentaje óptimo de asfalto para el Ensayo Marshall No. 2 es de 5.4%.

## CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio efectuados a la mezcla compactada en briquetas según la metodología Marshall, podemos concluir que:

El equipo necesario para la elaboración del ensayo Marshall para el diseño de mezclas de agregados con cemento asfáltico se constituye de un juego de elementos, que fueron mejorados, complementados y donados para la realización del ensayo, al Laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño, para que luego sea utilizado por los estudiantes de Ingeniería civil, reforzando sus conocimientos teóricos con los prácticos.

Para realizar un buen control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente, se debe cumplir con las especificaciones y normas establecidas en el Invias 2007, teniendo en cuenta la zona donde se construirá, el clima, el número de ejes equivalentes para su diseño, la calidad de los materiales a emplear, la operación en planta, los equipos, el personal idónea en el área, y sobre todo un buen laboratorio dotado de todos los equipos para el diseño y control de mezclas asfálticas.

El cemento asfáltico empleado para el desarrollo de la presente investigación procede del complejo industrial de Barrancabermeja, y de acuerdo a las características climáticas de nuestra zona en la Ciudad de Pasto, con una temperatura media anual de 19°C y tomando un tráfico alto NT3, el asfalto a emplear es de grado de penetración 60-70 correspondiente a las especificaciones generales de construcción de carreteras.

Se realizaron los ensayos correspondientes para la caracterización de los materiales pétreos procedentes de la cantera de Briceño Bajo, de acuerdo con las especificaciones de la norma INVIAS 2007 en cuanto a su composición, dureza, durabilidad, limpieza y geometría. Los agregados caracterizados cumplen con las especificaciones de la norma INVIAS 2007.

Los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación de briquetas en el método Marshall, se obtuvieron haciendo incrementos de 0.5% al porcentaje estimado de asfalto obtenido mediante la relación propuesta por el Instituto del Asfalto, tres incrementos arriba y dos abajo de 5.5%, por lo tanto, los porcentajes de cemento asfáltico que utilizamos para el diseño de la mezcla asfáltica fueron de: 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 %, 6.5% y 7.0%; de manera que las curvas del método Marshall en donde se presentaron los resultados de los distintos ensayos realizados mostraron un valor óptimo de asfalto de 5.4%, tanto para el ensayo Marshall No. 1 como para el ensayo Marshall No. 2.

En la construcción de un pavimento en concreto asfáltico, el porcentaje de vacíos con aire debe permanecer dentro de los límites fijados por las especificaciones, ya que si es muy bajo habrá tendencia hacia la exudación del asfalto de la mezcla, mientras que si es muy alto puede producir un envejecimiento prematuro del asfalto por cuanto la capa de rodadura queda más expuesta a los agentes atmosféricos, lo que traduce en la desintegración del pavimento.

Se calibró el anillo de carga "CONTROLS" de 30 KN cumpliendo con la norma para ese tipo de procedimiento en conjunto con los estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad de Nariño, ratificando los resultados con los enviados por el fabricante.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar la calibración del equipo Marshall una vez cada año para tener plena confianza de los resultados obtenidos con dicho equipo.

Tener un control minucioso con la temperatura en el proceso de mezclado y compactación en el ensayo Marshall para que no afecte lo resultados.

Infundir el aprendizaje en las nuevas generaciones de ingenieros el conocimiento de un buen control de calidad a los materiales que son empleamos en nuestra región en todas las actividades que involucren la construcción de obras civiles, especialmente cuando son mezclas asfálticas utilizadas en la construcción de pavimentos flexibles que cumplan las normas y especificaciones establecidas.

Capacitar al personal encargado en laboratorios de nuestra zona, en cuanto a las exigencias y procedimientos de las normas y especificaciones vigentes. Aunque los conceptos son claros, se carece de la experiencia para detectar los problemas de funcionamiento.

Implementar y dotar el laboratorio de la Universidad con equipos que hacen falta para realizar ensayos a los cementos asfálticos.

## BIBLIOGRAFIA

- ARENAS LOZANO, Hugo León. Tecnología del cemento asfáltico. Popayán: Litocenco Ltda., 5ª edición., 2006. 253p.
- MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2001. 733p.
- MUÑOZ RICAURTE, Guillermo. Pavimentos en concreto Asfáltico. Universidad de Nariño, 3ª edición, 2005.
- LARSON D, Thomas. Concretos de Cementos Portland y Asfálticos. México: Compañía editorial continental S.A. 2ª edición, 1977. 189p.
- Instituto Nacional de Vías, INVIAS. Especificaciones generales de construcción de carreteras, Artículo 400, Artículo 450. 2007.
- ASOPAC, Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia. Cartilla del pavimento asfáltico. Bogotá: 1994. 52p.
- Normas de ensayo de materiales para carreteras, Método de Diseño Marshall, INV. E- 748.2002.
- Universidad Nacional de Ingeniería Manual de Laboratorio de Ensayos para Pavimentos Facultad de Ingeniería Civil Volumen I Laboratorio No.2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos, pág. 135
- ORTIZA REYES, Óscar Javier. CAMACHO TAUTA, Javier Fernando y LIZCANO, B. Freddy. Influencia de la Temperatura y Nivel de Compactación en las Propiedades Dinámicas de un mezcla Asfáltica. Medellín: Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 2006.130p.
- RONDON QUINTANA, Hugo Alexander. Serie de guías: Fundamentos 1. Bogotá D.C. Universidad Católica de Colombia. Edición 1, 2009. 126P.
- SABOGAL SÁNCHEZ, Fernando. Introducción al uso de asfaltos modificados con polímeros en la construcción y mantenimiento de carreteras. Bogotá. 1996.

- AFANASJEVA, Natalia y ALVAREZ, Cifuentes Mario, Estudio del envejecimiento de los asfaltos colombianos bajo la acción de algunos factores climáticos. Bucaramanga: Editorial y publicaciones UIS universidad Industrial de Santander, 2004.403p.

# ANEXOS

ANEXO A  
CARTA DE CALIBRACIÓN DEL  
FABRICANTE DEL ANILLO DE CARGA  
“CONTROLS” DE 30 KN DE  
CAPACIDAD



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N. **T1007** SERIAL **06020921**

PAG. **1**

DATA/DATA **20.02.06**

TEMPERATURA/TEMPERATURE **20**

DEFLESSIONE/DEPLESSION **2471**

CARICO / LOAD **30 KN**

LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD
1	0,0124	36	0,4477	71	0,8830	106	1,3184	141	1,7537	176	2,1890	211	2,6243				
2	0,0248	37	0,4601	72	0,8955	107	1,3308	142	1,7661	177	2,2014	212	2,6368				
3	0,0373	38	0,4726	73	0,9079	108	1,3432	143	1,7786	178	2,2139	213	2,6492				
4	0,0497	39	0,4850	74	0,9203	109	1,3557	144	1,7910	179	2,2263	214	2,6616				
5	0,0621	40	0,4975	75	0,9328	110	1,3681	145	1,8034	180	2,2388	215	2,6741				
6	0,0746	41	0,5099	76	0,9452	111	1,3805	146	1,8159	181	2,2512	216	2,6865				
7	0,0870	42	0,5223	77	0,9577	112	1,3930	147	1,8283	182	2,2636	217	2,6990				
8	0,0995	43	0,5348	78	0,9701	113	1,4054	148	1,8407	183	2,2761	218	2,7114				
9	0,1119	44	0,5472	79	0,9825	114	1,4179	149	1,8532	184	2,2885	219	2,7238				
10	0,1243	45	0,5597	80	0,9950	115	1,4303	150	1,8656	185	2,3009	220	2,7363				
11	0,1368	46	0,5721	81	1,0074	116	1,4427	151	1,8781	186	2,3134	221	2,7487				
12	0,1492	47	0,5845	82	1,0199	117	1,4552	152	1,8905	187	2,3258	222	2,7611				
13	0,1616	48	0,5970	83	1,0323	118	1,4676	153	1,9029	188	2,3383	223	2,7736				
14	0,1741	49	0,6094	84	1,0447	119	1,4800	154	1,9154	189	2,3507	224	2,7860				
15	0,1865	50	0,6218	85	1,0572	120	1,4925	155	1,9278	190	2,3631	225	2,7985				
16	0,1990	51	0,6343	86	1,0696	121	1,5049	156	1,9402	191	2,3756	226	2,8109				
17	0,2114	52	0,6467	87	1,0820	122	1,5174	157	1,9527	192	2,3880	227	2,8233				
18	0,2238	53	0,6592	88	1,0945	123	1,5298	158	1,9651	193	2,4004	228	2,8358				
19	0,2363	54	0,6716	89	1,1069	124	1,5422	159	1,9776	194	2,4129	229	2,8482				
20	0,2487	55	0,6840	90	1,1194	125	1,5547	160	1,9900	195	2,4253	230	2,8606				
21	0,2611	56	0,6965	91	1,1318	126	1,5671	161	2,0024	196	2,4378	231	2,8731				
22	0,2736	57	0,7089	92	1,1442	127	1,5796	162	2,0149	197	2,4502	232	2,8855				
23	0,2860	58	0,7213	93	1,1567	128	1,5920	163	2,0273	198	2,4626	233	2,8980				
24	0,2985	59	0,7338	94	1,1691	129	1,6044	164	2,0398	199	2,4751	234	2,9104				
25	0,3109	60	0,7462	95	1,1815	130	1,6169	165	2,0522	200	2,4875	235	2,9228				
26	0,3233	61	0,7587	96	1,1940	131	1,6293	166	2,0646	201	2,5000	236	2,9353				
27	0,3358	62	0,7711	97	1,2064	132	1,6417	167	2,0771	202	2,5124	237	2,9477				
28	0,3482	63	0,7835	98	1,2189	133	1,6542	168	2,0895	203	2,5248	238	2,9601				
29	0,3606	64	0,7960	99	1,2313	134	1,6666	169	2,1019	204	2,5373	239	2,9726				
30	0,3731	65	0,8084	100	1,2437	135	1,6791	170	2,1144	205	2,5497	240	2,9850				
31	0,3855	66	0,8208	101	1,2562	136	1,6915	171	2,1268	206	2,5621	241	2,9975				
32	0,3980	67	0,8333	102	1,2686	137	1,7039	172	2,1393	207	2,5746	242	3,0099				
33	0,4104	68	0,8457	103	1,2810	138	1,7164	173	2,1517	208	2,5870	243	3,0223				
34	0,4228	69	0,8582	104	1,2935	139	1,7288	174	2,1641	209	2,5995	244	3,0348				
35	0,4353	70	0,8706	105	1,3059	140	1,7412	175	2,1766	210	2,6119	245	3,0472				



TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO  
CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING

CAT. N. T1007 SERIAL 06020921

CARICO / LOAD 30 KN DEFLESSIONE / MAX. DEFLECTION 2471 TEMPERATURA / TEMPERATURE 20 DATA / DATE 20.02.06 PAG. 2

LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD
246	3,0597	281	3,4950	316	3,9303	351	4,3656	386	4,8009	421	5,2328	456	5,6617
247	3,0721	282	3,5074	317	3,9427	352	4,3781	387	4,8134	422	5,2450	457	5,6740
248	3,0845	283	3,5199	318	3,9552	353	4,3905	388	4,8258	423	5,2573	458	5,6862
249	3,0970	284	3,5323	319	3,9676	354	4,4029	389	4,8383	424	5,2696	459	5,6985
250	3,1094	285	3,5447	320	3,9800	355	4,4154	390	4,8507	425	5,2818	460	5,7107
251	3,1218	286	3,5572	321	3,9925	356	4,4278	391	4,8631	426	5,2941	461	5,7230
252	3,1343	287	3,5696	322	4,0049	357	4,4402	392	4,8756	427	5,3063	462	5,7352
253	3,1467	288	3,5820	323	4,0174	358	4,4527	393	4,8880	428	5,3186	463	5,7475
254	3,1592	289	3,5945	324	4,0298	359	4,4651	394	4,9004	429	5,3308	464	5,7598
255	3,1716	290	3,6069	325	4,0422	360	4,4776	395	4,9129	430	5,3431	465	5,7720
256	3,1840	291	3,6194	326	4,0547	361	4,4900	396	4,9253	431	5,3553	466	5,7843
257	3,1965	292	3,6318	327	4,0671	362	4,5024	397	4,9378	432	5,3676	467	5,7965
258	3,2089	293	3,6442	328	4,0796	363	4,5149	398	4,9502	433	5,3799	468	5,8088
259	3,2213	294	3,6567	329	4,0920	364	4,5273	399	4,9626	434	5,3921	469	5,8210
260	3,2338	295	3,6691	330	4,1044	365	4,5398	400	4,9751	435	5,4044	470	5,8333
261	3,2462	296	3,6815	331	4,1169	366	4,5522	401	4,9875	436	5,4166	471	5,8455
262	3,2587	297	3,6940	332	4,1293	367	4,5646	402	5,0000	437	5,4289	472	5,8578
263	3,2711	298	3,7064	333	4,1417	368	4,5771	403	5,0122	438	5,4411	473	5,8700
264	3,2835	299	3,7189	334	4,1542	369	4,5895	404	5,0245	439	5,4534	474	5,8823
265	3,2960	300	3,7313	335	4,1666	370	4,6019	405	5,0367	440	5,4656	475	5,8946
266	3,3084	301	3,7437	336	4,1791	371	4,6144	406	5,0490	441	5,4779	476	5,9068
267	3,3208	302	3,7562	337	4,1915	372	4,6268	407	5,0612	442	5,4901	477	5,9191
268	3,3333	303	3,7686	338	4,2039	373	4,6393	408	5,0735	443	5,5024	478	5,9313
269	3,3457	304	3,7810	339	4,2164	374	4,6517	409	5,0857	444	5,5147	479	5,9436
270	3,3582	305	3,7935	340	4,2288	375	4,6641	410	5,0980	445	5,5269	480	5,9558
271	3,3706	306	3,8059	341	4,2412	376	4,6766	411	5,1102	446	5,5392	481	5,9681
272	3,3830	307	3,8184	342	4,2537	377	4,6890	412	5,1225	447	5,5514	482	5,9803
273	3,3955	308	3,8308	343	4,2661	378	4,7014	413	5,1348	448	5,5637	483	5,9926
274	3,4079	309	3,8432	344	4,2786	379	4,7139	414	5,1470	449	5,5759	484	6,0049
275	3,4203	310	3,8557	345	4,2910	380	4,7263	415	5,1593	450	5,5882	485	6,0171
276	3,4328	311	3,8681	346	4,3034	381	4,7388	416	5,1715	451	5,6004	486	6,0294
277	3,4452	312	3,8805	347	4,3159	382	4,7512	417	5,1838	452	5,6127	487	6,0416
278	3,4577	313	3,8930	348	4,3283	383	4,7636	418	5,1960	453	5,6250	488	6,0539
279	3,4701	314	3,9054	349	4,3407	384	4,7761	419	5,2083	454	5,6372	489	6,0661
280	3,4825	315	3,9179	350	4,3532	385	4,7885	420	5,2205	455	5,6495	490	6,0784



TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO  
CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING

CAT. N. T1007 SERIAL 06020921

CARICO / LOAD 30 KN DEFLESSIONE / DEVIATION 247.1 TEMPERATURA / TEMPERATURE 20 DATA / DATE 20.02.06 PAG. 3

LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD
491	6,0906	526	6,5196	561	6,9485	596	7,3774	631	7,8063	666	8,2352	701	8,6642
492	6,1029	527	6,5318	562	6,9607	597	7,3897	632	7,8186	667	8,2475	702	8,6764
493	6,1151	528	6,5441	563	6,9730	598	7,4019	633	7,8308	668	8,2598	703	8,6887
494	6,1274	529	6,5563	564	6,9852	599	7,4142	634	7,8431	669	8,2720	704	8,7009
495	6,1397	530	6,5686	565	6,9975	600	7,4264	635	7,8553	670	8,2843	705	8,7132
496	6,1519	531	6,5808	566	7,0098	601	7,4387	636	7,8676	671	8,2965	706	8,7254
497	6,1642	532	6,5931	567	7,0220	602	7,4509	637	7,8799	672	8,3088	707	8,7377
498	6,1764	533	6,6053	568	7,0343	603	7,4632	638	7,8921	673	8,3210	708	8,7500
499	6,1887	534	6,6176	569	7,0465	604	7,4754	639	7,9044	674	8,3333	709	8,7622
500	6,2009	535	6,6299	570	7,0588	605	7,4877	640	7,9166	675	8,3455	710	8,7745
501	6,2132	536	6,6421	571	7,0710	606	7,5000	641	7,9289	676	8,3578	711	8,7867
502	6,2254	537	6,6544	572	7,0833	607	7,5122	642	7,9411	677	8,3700	712	8,7990
503	6,2377	538	6,6666	573	7,0955	608	7,5245	643	7,9534	678	8,3823	713	8,8112
504	6,2500	539	6,6789	574	7,1078	609	7,5367	644	7,9656	679	8,3946	714	8,8235
505	6,2622	540	6,6911	575	7,1200	610	7,5490	645	7,9779	680	8,4068	715	8,8357
506	6,2745	541	6,7034	576	7,1323	611	7,5612	646	7,9901	681	8,4191	716	8,8480
507	6,2867	542	6,7156	577	7,1446	612	7,5735	647	8,0024	682	8,4313	717	8,8602
508	6,2990	543	6,7279	578	7,1568	613	7,5857	648	8,0147	683	8,4436	718	8,8725
509	6,3112	544	6,7401	579	7,1691	614	7,5980	649	8,0269	684	8,4558	719	8,8848
510	6,3235	545	6,7524	580	7,1813	615	7,6102	650	8,0392	685	8,4681	720	8,8970
511	6,3357	546	6,7647	581	7,1936	616	7,6225	651	8,0514	686	8,4803	721	8,9093
512	6,3480	547	6,7769	582	7,2058	617	7,6348	652	8,0637	687	8,4926	722	8,9215
513	6,3602	548	6,7892	583	7,2181	618	7,6470	653	8,0759	688	8,5049	723	8,9338
514	6,3725	549	6,8014	584	7,2303	619	7,6593	654	8,0882	689	8,5171	724	8,9460
515	6,3848	550	6,8137	585	7,2426	620	7,6715	655	8,1004	690	8,5294	725	8,9583
516	6,3970	551	6,8259	586	7,2549	621	7,6838	656	8,1127	691	8,5416	726	8,9705
517	6,4093	552	6,8382	587	7,2671	622	7,6960	657	8,1250	692	8,5539	727	8,9828
518	6,4215	553	6,8504	588	7,2794	623	7,7083	658	8,1372	693	8,5661	728	8,9950
519	6,4338	554	6,8627	589	7,2916	624	7,7205	659	8,1495	694	8,5784	729	9,0073
520	6,4460	555	6,8750	590	7,3039	625	7,7328	660	8,1617	695	8,5906	730	9,0196
521	6,4583	556	6,8872	591	7,3161	626	7,7450	661	8,1740	696	8,6029	731	9,0318
522	6,4705	557	6,8995	592	7,3284	627	7,7573	662	8,1862	697	8,6151	732	9,0441
523	6,4828	558	6,9117	593	7,3406	628	7,7696	663	8,1985	698	8,6274	733	9,0563
524	6,4950	559	6,9240	594	7,3529	629	7,7818	664	8,2107	699	8,6397	734	9,0686
525	6,5073	560	6,9362	595	7,3651	630	7,7941	665	8,2230	700	8,6519	735	9,0808



TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO  
CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING

CAT. N. T1007 SERIAL 06020921

CARICO / LOAD 30 kN DEFLESSIONE / DEFORMATION 2471 TEMPERATURA / TEMPERATURE 20 DATA / DATE 20.02.06 PAG. 4

LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. / SERIAL READING	CARICO / LOAD
736	9,0931	771	9,5220	806	9,9509	841	10,3799	876	10,8088	911	11,2377	946	11,6666
737	9,1053	772	9,5343	807	9,9632	842	10,3921	877	10,8210	912	11,2500	947	11,6789
738	9,1176	773	9,5465	808	9,9754	843	10,4044	878	10,8333	913	11,2622	948	11,6911
739	9,1299	774	9,5588	809	9,9877	844	10,4166	879	10,8455	914	11,2745	949	11,7034
740	9,1421	775	9,5710	810	10,0000	845	10,4289	880	10,8578	915	11,2867	950	11,7156
741	9,1544	776	9,5833	811	10,0122	846	10,4411	881	10,8700	916	11,2990	951	11,7279
742	9,1666	777	9,5955	812	10,0245	847	10,4534	882	10,8823	917	11,3112	952	11,7401
743	9,1789	778	9,6078	813	10,0367	848	10,4656	883	10,8946	918	11,3235	953	11,7524
744	9,1911	779	9,6200	814	10,0490	849	10,4779	884	10,9068	919	11,3357	954	11,7647
745	9,2034	780	9,6323	815	10,0612	850	10,4901	885	10,9191	920	11,3480	955	11,7769
746	9,2156	781	9,6446	816	10,0735	851	10,5024	886	10,9313	921	11,3602	956	11,7892
747	9,2279	782	9,6568	817	10,0857	852	10,5147	887	10,9436	922	11,3725	957	11,8014
748	9,2401	783	9,6691	818	10,0980	853	10,5269	888	10,9558	923	11,3848	958	11,8137
749	9,2524	784	9,6813	819	10,1102	854	10,5392	889	10,9681	924	11,3970	959	11,8259
750	9,2647	785	9,6936	820	10,1225	855	10,5514	890	10,9803	925	11,4093	960	11,8382
751	9,2769	786	9,7058	821	10,1348	856	10,5637	891	10,9926	926	11,4215	961	11,8504
752	9,2892	787	9,7181	822	10,1470	857	10,5759	892	11,0049	927	11,4338	962	11,8627
753	9,3014	788	9,7303	823	10,1593	858	10,5882	893	11,0171	928	11,4460	963	11,8750
754	9,3137	789	9,7426	824	10,1715	859	10,6004	894	11,0294	929	11,4583	964	11,8872
755	9,3259	790	9,7549	825	10,1838	860	10,6127	895	11,0416	930	11,4705	965	11,8995
756	9,3382	791	9,7671	826	10,1960	861	10,6250	896	11,0539	931	11,4828	966	11,9117
757	9,3504	792	9,7794	827	10,2083	862	10,6372	897	11,0661	932	11,4950	967	11,9240
758	9,3627	793	9,7916	828	10,2205	863	10,6495	898	11,0784	933	11,5073	968	11,9362
759	9,3750	794	9,8039	829	10,2328	864	10,6617	899	11,0906	934	11,5196	969	11,9485
760	9,3872	795	9,8161	830	10,2450	865	10,6740	900	11,1029	935	11,5318	970	11,9607
761	9,3995	796	9,8284	831	10,2573	866	10,6862	901	11,1151	936	11,5441	971	11,9730
762	9,4117	797	9,8406	832	10,2696	867	10,6985	902	11,1274	937	11,5563	972	11,9852
763	9,4240	798	9,8529	833	10,2818	868	10,7107	903	11,1397	938	11,5686	973	11,9975
764	9,4362	799	9,8651	834	10,2941	869	10,7230	904	11,1519	939	11,5808	974	12,0098
765	9,4485	800	9,8774	835	10,3063	870	10,7352	905	11,1642	940	11,5931	975	12,0220
766	9,4607	801	9,8897	836	10,3186	871	10,7475	906	11,1764	941	11,6053	976	12,0343
767	9,4730	802	9,9019	837	10,3308	872	10,7598	907	11,1887	942	11,6176	977	12,0465
768	9,4852	803	9,9142	838	10,3431	873	10,7720	908	11,2009	943	11,6299	978	12,0588
769	9,4975	804	9,9264	839	10,3553	874	10,7843	909	11,2132	944	11,6421	979	12,0710
770	9,5098	805	9,9387	840	10,3676	875	10,7965	910	11,2254	945	11,6544	980	12,0833

**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N. **T1007** SERIAL **06020921**

CARICO / LOAD **30 kN** DEFLESSIONE / DEPLETION **2471** TEMPERATURA / TEMPERATURE **20** DATA / DATE **20.02.06** PAG. **5**

LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	DEFLESSIONE / DEPLETION	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	DEFLESSIONE / DEPLETION	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	TEMPERATURA / TEMPERATURE	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	DEFLESSIONE / DEPLETION	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD	TEMPERATURA / TEMPERATURE	LETT. COMP. / DIAL READING	CARICO / LOAD
981	12,0955	1016	12,5242	1051	12,9490	1086	13,3737	1121	13,7985	1156	14,2233	1191	14,6480			
982	12,1078	1017	12,5364	1052	12,9611	1087	13,3859	1122	13,8106	1157	14,2354	1192	14,6601			
983	12,1200	1018	12,5485	1053	12,9733	1088	13,3980	1123	13,8228	1158	14,2475	1193	14,6723			
984	12,1323	1019	12,5606	1054	12,9854	1089	13,4101	1124	13,8349	1159	14,2597	1194	14,6844			
985	12,1446	1020	12,5728	1055	12,9975	1090	13,4223	1125	13,8470	1160	14,2718	1195	14,6966			
986	12,1568	1021	12,5849	1056	13,0097	1091	13,4344	1126	13,8592	1161	14,2839	1196	14,7087			
987	12,1691	1022	12,5970	1057	13,0218	1092	13,4466	1127	13,8713	1162	14,2961	1197	14,7208			
988	12,1813	1023	12,6092	1058	13,0339	1093	13,4587	1128	13,8834	1163	14,3082	1198	14,7330			
989	12,1936	1024	12,6213	1059	13,0461	1094	13,4708	1129	13,8956	1164	14,3203	1199	14,7451			
990	12,2058	1025	12,6334	1060	13,0582	1095	13,4830	1130	13,9077	1165	14,3325	1200	14,7572			
991	12,2181	1026	12,6456	1061	13,0703	1096	13,4951	1131	13,9199	1166	14,3446	1201	14,7694			
992	12,2303	1027	12,6577	1062	13,0825	1097	13,5072	1132	13,9320	1167	14,3567	1202	14,7815			
993	12,2426	1028	12,6699	1063	13,0946	1098	13,5194	1133	13,9441	1168	14,3689	1203	14,7936			
994	12,2549	1029	12,6820	1064	13,1067	1099	13,5315	1134	13,9563	1169	14,3810	1204	14,8058			
995	12,2671	1030	12,6941	1065	13,1189	1100	13,5436	1135	13,9684	1170	14,3932	1205	14,8179			
996	12,2794	1031	12,7063	1066	13,1310	1101	13,5558	1136	13,9805	1171	14,4053	1206	14,8300			
997	12,2916	1032	12,7184	1067	13,1432	1102	13,5679	1137	13,9927	1172	14,4174	1207	14,8422			
998	12,3039	1033	12,7305	1068	13,1553	1103	13,5800	1138	14,0048	1173	14,4296	1208	14,8543			
999	12,3161	1034	12,7427	1069	13,1674	1104	13,5922	1139	14,0169	1174	14,4417	1209	14,8665			
1000	12,3284	1035	12,7548	1070	13,1796	1105	13,6043	1140	14,0291	1175	14,4538	1210	14,8786			
1001	12,3406	1036	12,7669	1071	13,1917	1106	13,6165	1141	14,0412	1176	14,4660	1211	14,8907			
1002	12,3529	1037	12,7791	1072	13,2038	1107	13,6286	1142	14,0533	1177	14,4781	1212	14,9029			
1003	12,3651	1038	12,7912	1073	13,2160	1108	13,6407	1143	14,0655	1178	14,4902	1213	14,9150			
1004	12,3774	1039	12,8033	1074	13,2281	1109	13,6529	1144	14,0776	1179	14,5024	1214	14,9271			
1005	12,3897	1040	12,8155	1075	13,2402	1110	13,6650	1145	14,0898	1180	14,5145	1215	14,9393			
1006	12,4019	1041	12,8276	1076	13,2524	1111	13,6771	1146	14,1019	1181	14,5266	1216	14,9514			
1007	12,4142	1042	12,8398	1077	13,2645	1112	13,6893	1147	14,1140	1182	14,5388	1217	14,9635			
1008	12,4264	1043	12,8519	1078	13,2766	1113	13,7014	1148	14,1262	1183	14,5509	1218	14,9757			
1009	12,4387	1044	12,8640	1079	13,2888	1114	13,7135	1149	14,1383	1184	14,5631	1219	14,9878			
1010	12,4509	1045	12,8762	1080	13,3009	1115	13,7257	1150	14,1504	1185	14,5752	1220	15,0000			
1011	12,4632	1046	12,8883	1081	13,3131	1116	13,7378	1151	14,1626	1186	14,5873	1221	15,0120			
1012	12,4754	1047	12,9004	1082	13,3252	1117	13,7499	1152	14,1747	1187	14,5995	1222	15,0241			
1013	12,4877	1048	12,9126	1083	13,3373	1118	13,7621	1153	14,1868	1188	14,6116	1223	15,0362			
1014	12,5000	1049	12,9247	1084	13,3495	1119	13,7742	1154	14,1990	1189	14,6237	1224	15,0483			
1015	12,5121	1050	12,9368	1085	13,3616	1120	13,7864	1155	14,2111	1190	14,6359	1225	15,0603			



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD RING**

CAT. N.  SERIAL

CARICO / LOAD  DEFLESSIONE / DEPLETION  TEMPERATURA / TEMPERATURE  DATA / DATE  PAG.

LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD												
1226	15,0724	1261	15,4951	1296	15,9178	1331	16,3405	1366	16,7632	1401	17,1859	1436	17,6097
1227	15,0845	1262	15,5072	1297	15,9299	1332	16,3526	1367	16,7753	1402	17,1980	1437	17,6219
1228	15,0966	1263	15,5193	1298	15,9420	1333	16,3647	1368	16,7874	1403	17,2101	1438	17,6341
1229	15,1086	1264	15,5314	1299	15,9541	1334	16,3768	1369	16,7995	1404	17,2222	1439	17,6463
1230	15,1207	1265	15,5434	1300	15,9661	1335	16,3888	1370	16,8115	1405	17,2342	1440	17,6585
1231	15,1328	1266	15,5555	1301	15,9782	1336	16,4009	1371	16,8236	1406	17,2463	1441	17,6707
1232	15,1449	1267	15,5676	1302	15,9903	1337	16,4130	1372	16,8357	1407	17,2584	1442	17,6829
1233	15,1570	1268	15,5797	1303	16,0024	1338	16,4251	1373	16,8478	1408	17,2705	1443	17,6951
1234	15,1690	1269	15,5917	1304	16,0144	1339	16,4371	1374	16,8599	1409	17,2826	1444	17,7073
1235	15,1811	1270	15,6038	1305	16,0265	1340	16,4492	1375	16,8719	1410	17,2946	1445	17,7195
1236	15,1932	1271	15,6159	1306	16,0386	1341	16,4613	1376	16,8840	1411	17,3067	1446	17,7317
1237	15,2053	1272	15,6280	1307	16,0507	1342	16,4734	1377	16,8961	1412	17,3188	1447	17,7439
1238	15,2173	1273	15,6400	1308	16,0628	1343	16,4855	1378	16,9082	1413	17,3309	1448	17,7560
1239	15,2294	1274	15,6521	1309	16,0748	1344	16,4975	1379	16,9202	1414	17,3429	1449	17,7682
1240	15,2415	1275	15,6642	1310	16,0869	1345	16,5096	1380	16,9323	1415	17,3550	1450	17,7804
1241	15,2536	1276	15,6763	1311	16,0990	1346	16,5217	1381	16,9444	1416	17,3671	1451	17,7926
1242	15,2657	1277	15,6884	1312	16,1111	1347	16,5338	1382	16,9565	1417	17,3792	1452	17,8048
1243	15,2777	1278	15,7004	1313	16,1231	1348	16,5458	1383	16,9685	1418	17,3913	1453	17,8170
1244	15,2898	1279	15,7125	1314	16,1352	1349	16,5579	1384	16,9806	1419	17,4033	1454	17,8292
1245	15,3019	1280	15,7246	1315	16,1473	1350	16,5700	1385	16,9927	1420	17,4154	1455	17,8414
1246	15,3140	1281	15,7367	1316	16,1594	1351	16,5821	1386	17,0048	1421	17,4275	1456	17,8536
1247	15,3260	1282	15,7487	1317	16,1714	1352	16,5942	1387	17,0169	1422	17,4396	1457	17,8658
1248	15,3381	1283	15,7608	1318	16,1835	1353	16,6062	1388	17,0289	1423	17,4516	1458	17,8780
1249	15,3502	1284	15,7729	1319	16,1956	1354	16,6183	1389	17,0410	1424	17,4637	1459	17,8902
1250	15,3623	1285	15,7850	1320	16,2077	1355	16,6304	1390	17,0531	1425	17,4758	1460	17,9024
1251	15,3743	1286	15,7971	1321	16,2198	1356	16,6425	1391	17,0652	1426	17,4879	1461	17,9146
1252	15,3864	1287	15,8091	1322	16,2318	1357	16,6545	1392	17,0772	1427	17,5000	1462	17,9268
1253	15,3985	1288	15,8212	1323	16,2439	1358	16,6666	1393	17,0893	1428	17,5121	1463	17,9390
1254	15,4106	1289	15,8333	1324	16,2560	1359	16,6787	1394	17,1014	1429	17,5243	1464	17,9512
1255	15,4227	1290	15,8454	1325	16,2681	1360	16,6908	1395	17,1135	1430	17,5365	1465	17,9634
1256	15,4347	1291	15,8574	1326	16,2801	1361	16,7028	1396	17,1256	1431	17,5487	1466	17,9756
1257	15,4468	1292	15,8695	1327	16,2922	1362	16,7149	1397	17,1376	1432	17,5609	1467	17,9878
1258	15,4589	1293	15,8816	1328	16,3043	1363	16,7270	1398	17,1497	1433	17,5731	1468	17,9999
1259	15,4710	1294	15,8937	1329	16,3164	1364	16,7391	1399	17,1618	1434	17,5853	1469	18,0121
1260	15,4830	1295	15,9057	1330	16,3285	1365	16,7512	1400	17,1739	1435	17,5975	1470	18,0243



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N. **T1007** SERIAL **06020921**

CARICO / LOAD **30 KN** DEFLESSIONE / DEFLATION **2471** TEMPERATURA / TEMPERATURE **20** DATA / DATE **20.02.06** PAG. **7**

LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	DEFLESSIONE / DEFLATION	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	TEMPERATURA / TEMPERATURE	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	DATA / DATE	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD		
1471	18,0365	1506	18,4634	1541	18,8902	1576	19,3170	20.02.06	1611	19,7439	1646	20,1658	1681	20,5805
1472	18,0487	1507	18,4756	1542	18,9024	1577	19,3292		1612	19,7560	1647	20,1777	1682	20,5924
1473	18,0609	1508	18,4878	1543	18,9146	1578	19,3414		1613	19,7682	1648	20,1895	1683	20,6042
1474	18,0731	1509	18,4999	1544	18,9268	1579	19,3536		1614	19,7804	1649	20,2014	1684	20,6161
1475	18,0853	1510	18,5121	1545	18,9390	1580	19,3658		1615	19,7926	1650	20,2132	1685	20,6279
1476	18,0975	1511	18,5243	1546	18,9512	1581	19,3780		1616	19,8048	1651	20,2251	1686	20,6398
1477	18,1097	1512	18,5365	1547	18,9634	1582	19,3902		1617	19,8170	1652	20,2369	1687	20,6516
1478	18,1219	1513	18,5487	1548	18,9756	1583	19,4024		1618	19,8292	1653	20,2488	1688	20,6635
1479	18,1341	1514	18,5609	1549	18,9878	1584	19,4146		1619	19,8414	1654	20,2606	1689	20,6753
1480	18,1463	1515	18,5731	1550	18,9999	1585	19,4268		1620	19,8536	1655	20,2725	1690	20,6872
1481	18,1585	1516	18,5853	1551	19,0121	1586	19,4390		1621	19,8658	1656	20,2843	1691	20,6990
1482	18,1707	1517	18,5975	1552	19,0243	1587	19,4512		1622	19,8780	1657	20,2962	1692	20,7109
1483	18,1829	1518	18,6097	1553	19,0365	1588	19,4634		1623	19,8902	1658	20,3080	1693	20,7227
1484	18,1951	1519	18,6219	1554	19,0487	1589	19,4756		1624	19,9024	1659	20,3199	1694	20,7345
1485	18,2073	1520	18,6341	1555	19,0609	1590	19,4878		1625	19,9146	1660	20,3317	1695	20,7464
1486	18,2195	1521	18,6463	1556	19,0731	1591	19,4999		1626	19,9268	1661	20,3436	1696	20,7582
1487	18,2317	1522	18,6585	1557	19,0853	1592	19,5121		1627	19,9390	1662	20,3554	1697	20,7701
1488	18,2439	1523	18,6707	1558	19,0975	1593	19,5243		1628	19,9512	1663	20,3672	1698	20,7819
1489	18,2560	1524	18,6829	1559	19,1097	1594	19,5365		1629	19,9634	1664	20,3791	1699	20,7938
1490	18,2682	1525	18,6951	1560	19,1219	1595	19,5487		1630	19,9756	1665	20,3909	1700	20,8056
1491	18,2804	1526	18,7073	1561	19,1341	1596	19,5609		1631	19,9878	1666	20,4028	1701	20,8175
1492	18,2926	1527	18,7195	1562	19,1463	1597	19,5731		1632	20,0000	1667	20,4146	1702	20,8293
1493	18,3048	1528	18,7317	1563	19,1585	1598	19,5853		1633	20,0118	1668	20,4265	1703	20,8412
1494	18,3170	1529	18,7439	1564	19,1707	1599	19,5975		1634	20,0236	1669	20,4383	1704	20,8530
1495	18,3292	1530	18,7560	1565	19,1829	1600	19,6097		1635	20,0355	1670	20,4502	1705	20,8649
1496	18,3414	1531	18,7682	1566	19,1951	1601	19,6219		1636	20,0473	1671	20,4620	1706	20,8767
1497	18,3536	1532	18,7804	1567	19,2073	1602	19,6341		1637	20,0592	1672	20,4739	1707	20,8886
1498	18,3658	1533	18,7926	1568	19,2195	1603	19,6463		1638	20,0710	1673	20,4857	1708	20,9004
1499	18,3780	1534	18,8048	1569	19,2317	1604	19,6585		1639	20,0829	1674	20,4976	1709	20,9123
1500	18,3902	1535	18,8170	1570	19,2439	1605	19,6707		1640	20,0947	1675	20,5094	1710	20,9241
1501	18,4024	1536	18,8292	1571	19,2560	1606	19,6829		1641	20,1066	1676	20,5213	1711	20,9360
1502	18,4146	1537	18,8414	1572	19,2682	1607	19,6951		1642	20,1184	1677	20,5331	1712	20,9478
1503	18,4268	1538	18,8536	1573	19,2804	1608	19,7073		1643	20,1303	1678	20,5450	1713	20,9597
1504	18,4390	1539	18,8658	1574	19,2926	1609	19,7195		1644	20,1421	1679	20,5568	1714	20,9715
1505	18,4512	1540	18,8780	1575	19,3048	1610	19,7317		1645	20,1540	1680	20,5687	1715	20,9834



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N. **T1007** SERIAL **06020921**

CARICO / CARICO / LOAD **30 kN** DEFLESSIONE / DEFECTION / DEVIATION **2471** TEMPERATURA / TEMPERATURE **20** DATA / DATE **20.02.06** PAG. **8**

LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL READING	CARICO / LOAD
1716	20,9952	1751	21,4099	1786	21,8246	1821	22,2393	1856	22,6570	1891	23,0797	1926	23,5024
1717	21,0071	1752	21,4218	1787	21,8364	1822	22,2511	1857	22,6690	1892	23,0917	1927	23,5144
1718	21,0189	1753	21,4336	1788	21,8483	1823	22,2630	1858	22,6811	1893	23,1038	1928	23,5265
1719	21,0308	1754	21,4454	1789	21,8601	1824	22,2748	1859	22,6932	1894	23,1159	1929	23,5386
1720	21,0426	1755	21,4573	1790	21,8720	1825	22,2867	1860	22,7053	1895	23,1280	1930	23,5507
1721	21,0545	1756	21,4691	1791	21,8838	1826	22,2985	1861	22,7173	1896	23,1400	1931	23,5628
1722	21,0663	1757	21,4810	1792	21,8957	1827	22,3104	1862	22,7294	1897	23,1521	1932	23,5748
1723	21,0781	1758	21,4928	1793	21,9075	1828	22,3222	1863	22,7415	1898	23,1642	1933	23,5869
1724	21,0900	1759	21,5047	1794	21,9194	1829	22,3341	1864	22,7536	1899	23,1763	1934	23,5990
1725	21,1018	1760	21,5165	1795	21,9312	1830	22,3459	1865	22,7657	1900	23,1884	1935	23,6111
1726	21,1137	1761	21,5284	1796	21,9431	1831	22,3578	1866	22,7777	1901	23,2004	1936	23,6231
1727	21,1255	1762	21,5402	1797	21,9549	1832	22,3696	1867	22,7898	1902	23,2125	1937	23,6352
1728	21,1374	1763	21,5521	1798	21,9668	1833	22,3815	1868	22,8019	1903	23,2246	1938	23,6473
1729	21,1492	1764	21,5639	1799	21,9786	1834	22,3933	1869	22,8140	1904	23,2367	1939	23,6594
1730	21,1611	1765	21,5758	1800	21,9905	1835	22,4052	1870	22,8260	1905	23,2487	1940	23,6714
1731	21,1729	1766	21,5876	1801	22,0023	1836	22,4170	1871	22,8381	1906	23,2608	1941	23,6835
1732	21,1848	1767	21,5995	1802	22,0142	1837	22,4289	1872	22,8502	1907	23,2729	1942	23,6956
1733	21,1966	1768	21,6113	1803	22,0260	1838	22,4407	1873	22,8623	1908	23,2850	1943	23,7077
1734	21,2085	1769	21,6232	1804	22,0379	1839	22,4526	1874	22,8743	1909	23,2971	1944	23,7198
1735	21,2203	1770	21,6350	1805	22,0497	1840	22,4644	1875	22,8864	1910	23,3091	1945	23,7318
1736	21,2322	1771	21,6469	1806	22,0616	1841	22,4763	1876	22,8985	1911	23,3212	1946	23,7439
1737	21,2440	1772	21,6587	1807	22,0734	1842	22,4881	1877	22,9106	1912	23,3333	1947	23,7560
1738	21,2559	1773	21,6706	1808	22,0853	1843	22,5000	1878	22,9227	1913	23,3454	1948	23,7681
1739	21,2677	1774	21,6824	1809	22,0971	1844	22,5120	1879	22,9347	1914	23,3574	1949	23,7801
1740	21,2796	1775	21,6943	1810	22,1090	1845	22,5241	1880	22,9468	1915	23,3695	1950	23,7922
1741	21,2914	1776	21,7061	1811	22,1208	1846	22,5362	1881	22,9589	1916	23,3816	1951	23,8043
1742	21,3033	1777	21,7180	1812	22,1327	1847	22,5483	1882	22,9710	1917	23,3937	1952	23,8164
1743	21,3151	1778	21,7298	1813	22,1445	1848	22,5603	1883	22,9830	1918	23,4057	1953	23,8285
1744	21,3270	1779	21,7417	1814	22,1563	1849	22,5724	1884	22,9951	1919	23,4178	1954	23,8405
1745	21,3388	1780	21,7535	1815	22,1682	1850	22,5845	1885	23,0072	1920	23,4299	1955	23,8526
1746	21,3507	1781	21,7654	1816	22,1800	1851	22,5966	1886	23,0193	1921	23,4420	1956	23,8647
1747	21,3625	1782	21,7772	1817	22,1919	1852	22,6086	1887	23,0314	1922	23,4541	1957	23,8768
1748	21,3744	1783	21,7890	1818	22,2037	1853	22,6207	1888	23,0434	1923	23,4661	1958	23,8888
1749	21,3862	1784	21,8009	1819	22,2156	1854	22,6326	1889	23,0555	1924	23,4782	1959	23,9009
1750	21,3981	1785	21,8127	1820	22,2274	1855	22,6449	1890	23,0676	1925	23,4903	1960	23,9130



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N. **T1007** SERIAL **06020921**

CARICO / LOAD **30 KN** DEFLESSIONE / DEPRESSION **247.1** TEMPERATURA / TEMPERATURE **20** DATA / DATE **20-02-06** PAG. **9**

LETT. COMP. DIAL. READING	CARICO / LOAD	DEFLESSIONE / DEPRESSION	LETT. COMP. DIAL. READING	CARICO / LOAD	TEMPERATURA / TEMPERATURE	LETT. COMP. DIAL. READING	CARICO / LOAD	DATA / DATE	LETT. COMP. DIAL. READING	CARICO / LOAD	LETT. COMP. DIAL. READING	CARICO / LOAD	
1961	23,9251	1996	24,3478	2031	24,7705	2066	25,1913	2101	25,6100	2136	26,0287	2171	26,4473
1962	23,9371	1997	24,3599	2032	24,7826	2067	25,2033	2102	25,6220	2137	26,0406	2172	26,4593
1963	23,9492	1998	24,3719	2033	24,7946	2068	25,2153	2103	25,6339	2138	26,0526	2173	26,4712
1964	23,9613	1999	24,3840	2034	24,8067	2069	25,2272	2104	25,6459	2139	26,0645	2174	26,4832
1965	23,9734	2000	24,3961	2035	24,8188	2070	25,2392	2105	25,6578	2140	26,0765	2175	26,4952
1966	23,9855	2001	24,4082	2036	24,8309	2071	25,2511	2106	25,6698	2141	26,0885	2176	26,5071
1967	23,9975	2002	24,4202	2037	24,8429	2072	25,2631	2107	25,6818	2142	26,1004	2177	26,5191
1968	24,0096	2003	24,4323	2038	24,8550	2073	25,2751	2108	25,6937	2143	26,1124	2178	26,5311
1969	24,0217	2004	24,4444	2039	24,8671	2074	25,2870	2109	25,7057	2144	26,1244	2179	26,5430
1970	24,0338	2005	24,4565	2040	24,8792	2075	25,2990	2110	25,7177	2145	26,1363	2180	26,5550
1971	24,0458	2006	24,4685	2041	24,8913	2076	25,3110	2111	25,7296	2146	26,1483	2181	26,5669
1972	24,0579	2007	24,4806	2042	24,9033	2077	25,3229	2112	25,7416	2147	26,1602	2182	26,5789
1973	24,0700	2008	24,4927	2043	24,9154	2078	25,3349	2113	25,7535	2148	26,1722	2183	26,5909
1974	24,0821	2009	24,5048	2044	24,9275	2079	25,3468	2114	25,7655	2149	26,1842	2184	26,6028
1975	24,0942	2010	24,5169	2045	24,9396	2080	25,3588	2115	25,7775	2150	26,1961	2185	26,6148
1976	24,1062	2011	24,5289	2046	24,9516	2081	25,3708	2116	25,7894	2151	26,2081	2186	26,6267
1977	24,1183	2012	24,5410	2047	24,9637	2082	25,3827	2117	25,8014	2152	26,2200	2187	26,6387
1978	24,1304	2013	24,5531	2048	24,9758	2083	25,3947	2118	25,8133	2153	26,2320	2188	26,6507
1979	24,1425	2014	24,5652	2049	24,9879	2084	25,4066	2119	25,8253	2154	26,2440	2189	26,6626
1980	24,1545	2015	24,5772	2050	25,0000	2085	25,4186	2120	25,8373	2155	26,2559	2190	26,6746
1981	24,1666	2016	24,5893	2051	25,0119	2086	25,4306	2121	25,8492	2156	26,2679	2191	26,6866
1982	24,1787	2017	24,6014	2052	25,0239	2087	25,4425	2122	25,8612	2157	26,2799	2192	26,6985
1983	24,1908	2018	24,6135	2053	25,0358	2088	25,4545	2123	25,8732	2158	26,2918	2193	26,7105
1984	24,2028	2019	24,6256	2054	25,0478	2089	25,4665	2124	25,8851	2159	26,3038	2194	26,7224
1985	24,2149	2020	24,6376	2055	25,0598	2090	25,4784	2125	25,8971	2160	26,3157	2195	26,7344
1986	24,2270	2021	24,6497	2056	25,0717	2091	25,4904	2126	25,9090	2161	26,3277	2196	26,7464
1987	24,2391	2022	24,6618	2057	25,0837	2092	25,5023	2127	25,9210	2162	26,3397	2197	26,7583
1988	24,2512	2023	24,6739	2058	25,0956	2093	25,5143	2128	25,9330	2163	26,3516	2198	26,7703
1989	24,2632	2024	24,6859	2059	25,1076	2094	25,5263	2129	25,9449	2164	26,3636	2199	26,7822
1990	24,2753	2025	24,6980	2060	25,1196	2095	25,5382	2130	25,9569	2165	26,3755	2200	26,7942
1991	24,2874	2026	24,7101	2061	25,1315	2096	25,5502	2131	25,9688	2166	26,3875	2201	26,8062
1992	24,2995	2027	24,7222	2062	25,1435	2097	25,5622	2132	25,9808	2167	26,3995	2202	26,8181
1993	24,3115	2028	24,7342	2063	25,1555	2098	25,5741	2133	25,9928	2168	26,4114	2203	26,8301
1994	24,3236	2029	24,7463	2064	25,1674	2099	25,5861	2134	26,0047	2169	26,4234	2204	26,8421
1995	24,3357	2030	24,7584	2065	25,1794	2100	25,5980	2135	26,0167	2170	26,4354	2205	26,8540



**TABELLA DI TARATURA PER ANELLO DINAMOMETRICO**  
**CALIBRATION CHART FOR LOAD MEASURING RING**

CAT. N.  SERIAL

CARICO / LOAD  DEFLESSIONE / DEFL. PLATEAU  TEMPERATURA / TEMPERATURE  DATA DATE  PAG.

LETT. COMP. LOAD READING	CARICO/LOAD												
2206	26,8660	2241	27,2846	2276	27,7014	2311	28,1161	2346	28,5308	2381	28,9454	2416	29,3601
2207	26,8779	2242	27,2966	2277	27,7132	2312	28,1279	2347	28,5426	2382	28,9573	2417	29,3720
2208	26,8899	2243	27,3086	2278	27,7251	2313	28,1398	2348	28,5545	2383	28,9691	2418	29,3838
2209	26,9019	2244	27,3205	2279	27,7369	2314	28,1516	2349	28,5663	2384	28,9810	2419	29,3957
2210	26,9138	2245	27,3325	2280	27,7488	2315	28,1635	2350	28,5781	2385	28,9928	2420	29,4075
2211	26,9258	2246	27,3444	2281	27,7606	2316	28,1753	2351	28,5900	2386	29,0047	2421	29,4194
2212	26,9377	2247	27,3564	2282	27,7725	2317	28,1872	2352	28,6018	2387	29,0165	2422	29,4312
2213	26,9497	2248	27,3684	2283	27,7843	2318	28,1990	2353	28,6137	2388	29,0284	2423	29,4431
2214	26,9617	2249	27,3803	2284	27,7962	2319	28,2109	2354	28,6255	2389	29,0402	2424	29,4549
2215	26,9736	2250	27,3923	2285	27,8080	2320	28,2227	2355	28,6374	2390	29,0521	2425	29,4668
2216	26,9856	2251	27,4043	2286	27,8199	2321	28,2345	2356	28,6492	2391	29,0639	2426	29,4786
2217	26,9976	2252	27,4162	2287	27,8317	2322	28,2464	2357	28,6611	2392	29,0758	2427	29,4905
2218	27,0095	2253	27,4282	2288	27,8436	2323	28,2582	2358	28,6729	2393	29,0876	2428	29,5023
2219	27,0215	2254	27,4401	2289	27,8554	2324	28,2701	2359	28,6848	2394	29,0995	2429	29,5142
2220	27,0334	2255	27,4521	2290	27,8672	2325	28,2819	2360	28,6966	2395	29,1113	2430	29,5260
2221	27,0454	2256	27,4641	2291	27,8791	2326	28,2938	2361	28,7085	2396	29,1232	2431	29,5379
2222	27,0574	2257	27,4760	2292	27,8909	2327	28,3056	2362	28,7203	2397	29,1350	2432	29,5497
2223	27,0693	2258	27,4880	2293	27,9028	2328	28,3175	2363	28,7322	2398	29,1469	2433	29,5616
2224	27,0813	2259	27,5000	2294	27,9146	2329	28,3293	2364	28,7440	2399	29,1587	2434	29,5734
2225	27,0933	2260	27,5118	2295	27,9265	2330	28,3412	2365	28,7559	2400	29,1706	2435	29,5853
2226	27,1052	2261	27,5236	2296	27,9383	2331	28,3530	2366	28,7677	2401	29,1824	2436	29,5971
2227	27,1172	2262	27,5355	2297	27,9502	2332	28,3649	2367	28,7796	2402	29,1943	2437	29,6090
2228	27,1291	2263	27,5473	2298	27,9620	2333	28,3767	2368	28,7914	2403	29,2061	2438	29,6208
2229	27,1411	2264	27,5592	2299	27,9739	2334	28,3886	2369	28,8033	2404	29,2180	2439	29,6327
2230	27,1531	2265	27,5710	2300	27,9857	2335	28,4004	2370	28,8151	2405	29,2298	2440	29,6445
2231	27,1650	2266	27,5829	2301	27,9976	2336	28,4123	2371	28,8270	2406	29,2417	2441	29,6563
2232	27,1770	2267	27,5947	2302	28,0094	2337	28,4241	2372	28,8388	2407	29,2535	2442	29,6682
2233	27,1889	2268	27,6066	2303	28,0213	2338	28,4360	2373	28,8507	2408	29,2654	2443	29,6800
2234	27,2009	2269	27,6184	2304	28,0331	2339	28,4478	2374	28,8625	2409	29,2772	2444	29,6919
2235	27,2129	2270	27,6303	2305	28,0450	2340	28,4597	2375	28,8744	2410	29,2890	2445	29,7037
2236	27,2248	2271	27,6421	2306	28,0568	2341	28,4715	2376	28,8862	2411	29,3009	2446	29,7156
2237	27,2368	2272	27,6540	2307	28,0687	2342	28,4834	2377	28,8981	2412	29,3127	2447	29,7274
2238	27,2488	2273	27,6658	2308	28,0805	2343	28,4952	2378	28,9099	2413	29,3246	2448	29,7393
2239	27,2607	2274	27,6777	2309	28,0924	2344	28,5071	2379	28,9218	2414	29,3364	2449	29,7511
2240	27,2727	2275	27,6895	2310	28,1042	2345	28,5189	2380	28,9336	2415	29,3483	2450	29,7630



ANEXO B  
CERTIFICADO Y CARTA DE  
CALIBRACIÓN DEL ANILLO DE CARGA  
“CONTROLS” DE 30 KN DE  
CAPACIDAD REALIZADO POR  
ROSSEMBERG & REINGENIERÍA S.A.S



*Rosseberg  
&  
Reingeniería S.A.S.*



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
Certificate of Calibration

NUMERO : F 2252  
Number  
PAG: 1 de 3

INSTRUMENTO Apparatus	Anillo deCarga
FABRICANTE Manufacturer	Controls
MODELO Model	T 1007
NUMERO DE SERIE Serial Number	602094
INDICACIÓN Indication	Análoga
RANGO DE MEDICIÓN Measurement Range	1,20 kN ..... 30,00 kN
SOLICITANTE Customer	Universidad de Nariño
DIRECCIÓN Address	Universidad de Nariño
FECHA DE CALIBRACIÓN Calibration Date	23 de Agosto de 2012

NUMERO DE PAGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS : 3  
Number of pages of this Certificate and Documents Attached

Este certificado de calibración solo puede ser reproducido totalmente con la autorización del laboratorio de metrología de Rosseberg & Representaciones Ltda. Los certificados de calibración no son válidos sin las firmas y estampilla de calibración.

*This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory of metrology Rosseberg & Representaciones Ltda. Calibration certificates without signature and seal are not valid.*

Los resultados contenidos en el presente certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

*The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made. The issuing laboratory no responsibility for damages ensuing mis use of the calibrated instruments.*

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

*The user is responsible for having the apparatus calibrated at appropriate intervals*



Certificate of Calibration  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NUMERO: F 2252  
Number  
PAG: 2 de 3

FECHA DE CALIBRACIÓN: 23 de Agosto de 2012

Temperatura Ambiente Inicial 16,0 °C  
Final 16,0 °C

Dirección de la carga: Compresión						Limite inferior de la escala del instrumento de medición		Errores encontrados %					
Indicación de la máquina: Análoga						Resolución (r)		Resolución relativa de la máquina de ensayo (a) %					
Indicación del Instrumento Patrón (F) en: kN						Resolución (r)		Resolución relativa de la máquina de ensayo (a) %					
CARGA (%)	L1	Girar Celda 120° L2	Girar Celda 120° L3	L4	Reversibilidad F0 F1 L2 Descendente	PROMEDIO L1, L2 Y L3	Indicación del instrumento a calibrar (Fi)	Errores encontrados %					
								Resolución relativa (a)	Reversibilidad (v)	Repetibilidad (b)	Exactitud (q)	Accesorios	
4	1,3	1,3	1,3			1,3	1,20	1,0					
6	2,6	2,6	2,6			2,6	2,55	0,5		0,0		-3,4	
13	3,9	3,9	3,9			3,9	3,81	0,3		0,4		-1,3	
17	5,1	5,1	5,1			5,1	5,06	0,3		0,0		-1,1	
21	6,3	6,3	6,3			6,3	6,31	0,2		0,0		-0,1	
25	7,5	7,5	7,5			7,5	7,55	0,2		0,0		0,0	
29	8,8	8,8	8,8			8,8	8,79	0,1		0,1		0,3	
33	10,0	10,0	10,0			10,0	10,01	0,1		0,1		0,2	
41	12,5	12,5	12,5			12,5	12,45	0,1		0,0		0,0	
50	14,9	14,9	14,9			14,9	14,85	0,1		0,0		-0,1	

Indicación Residual de la máquina de ensayo sin carga (F <sub>0</sub> ):	L1	L2	L3	L4
	0,00	0,00	0,00	

	Cero F <sub>0</sub>	Reversibilidad (v)	Repetibilidad (b)	Exactitud (q)	Accesorios
Máximos errores encontrados (%)	0,000	No se determino	0,4	-3,36	No se determino
Máximos errores permitido para clase : 1	± 0,1	± 1,5	1,0	± 1,0	1,50
Norma Técnica Colombiana NTC 3761 Primera actualización 2002-09-18 Numeral:	6.4.5	6.4.8	6.5.2	6.5.1	6.4.6



# Rosseberg & Reingeniería S.A.S.



INTERNACIONAL

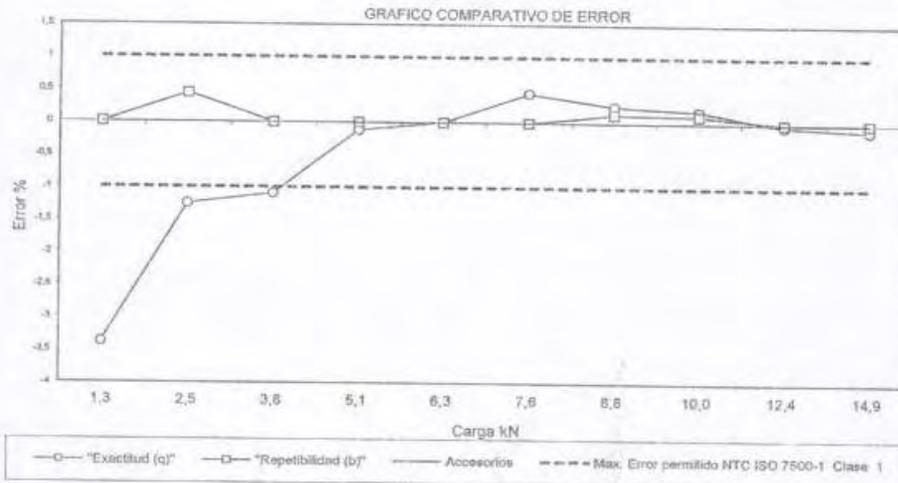
CERTIFICADO DE CALIBRACION  
Certificate of Calibration

NUMERO: F 2252

Number:

PAG: 3 de 3

FECHA DE CALIBRACION: 23-ago-12



ACORDE A LOS ERRORES RELATIVOS MAXIMOS PRESENTADOS Y SEGUN LAS PRESCRIPCIONES DE LA NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 3751, LA MAQUINA DE ENSAYO CALIBRADA SE CLASIFICA COMO:

CLASE 1 DE 20 % HASTA EL 100 % DE SU CAPACIDAD MAXIMA

**TRAZABILIDAD :**

EL LABORATORIO DE METROLOGIA DE R & R LTDA, ASEGURA EL MANTENIMIENTO DE LA TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES DE TRABAJO UTILIZADOS EN LAS MEDICIONES.  
EL LABORATORIO DE METROLOGIA DE R & R LTDA, CUSTODIA Y MANTIENE ESTOS PATRONES, LOS CUALES HAN SIDO CERTIFICADOS POR CENAM, ACORDE A LO ESTABLECIDO EN LA NORMA EUROPEA EN-10.002-3.

Equipos utilizados en la calibración

Equipo	Fabricante	Modelo	Serie	Capacidad	Cert. No	Fecha Cal.	Entidad Cert.
Celda de carga	ELE	HP1 0HB	2378-05-1211	50 kN	CNM-210-298/20	2011/06/02	CENAM

**OBSERVACIONES :**

- De acuerdo con los resultados anteriores se concede el sello: F 2252
- La próxima calibración deberá efectuarse dependiendo del standard de mantenimiento, su frecuencia de uso y el tipo de material ensayado y deberá efectuarse en intervalos inferiores a 12 meses.
- La máquina de ensayos deberá ser calibrada inmediatamente despues de cualquier reparación ya que la sustitución de elementos del sistema mecánico o eléctrico afectan la operación del sistema de medida.
- Si la máquina de ensayos es reubicada, se deberá repetir la calibración. Igualmente, cuando exista razón de duda con respecto a la exactitud de la carga, independientemente del tiempo transcurrido desde la última calibración.
- Los datos emitidos en el presente certificado, se ajustan al momento y condiciones dadas en la calibración R & R LTDA. no se hace responsable por daños ocasionados al equipo debido al uso inadecuado.

FIRMA(S) AUTORIZADA(S)  
AUTHORIZED SIGNATURE (S)

REVISADO POR

*Rosseberg & Reingeniería S.A.S.*  
*R & R*  
Rosseberg Indaburo M.  
JEFE LABORATORIO

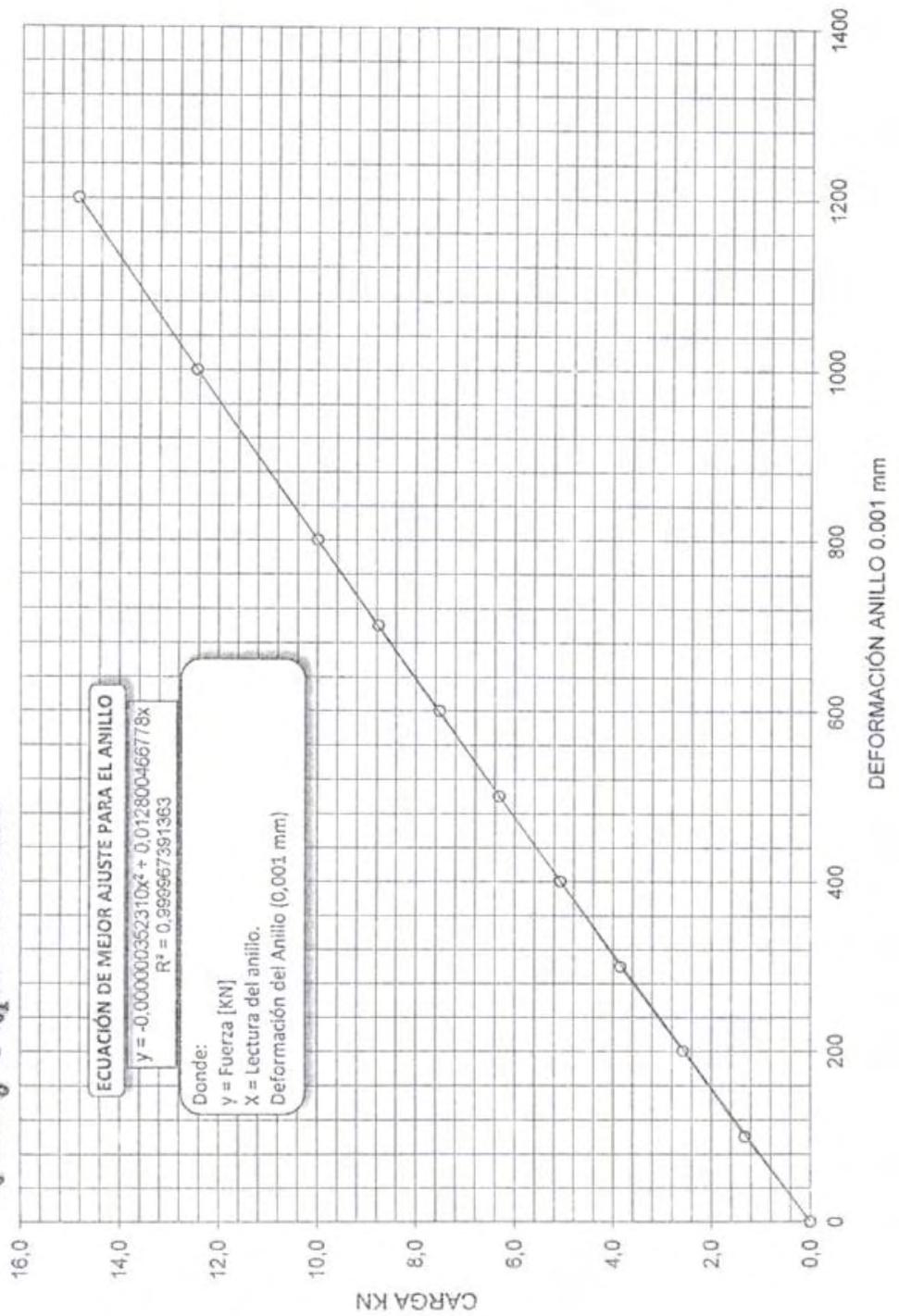
*Rosseberg & Reingeniería S.A.S.*  
LABORATORIO DE METROLOGIA  
Rodrigo González M.  
TÉCNICO LABORATORIO

Carrera 85 No. 70 - 09 - PBX: 225 51 43 - Tels: 225 1309 - 660 2493 - 240 1735  
E-mail:ventasryrsas@hotmail.com - www.ryr.com.co • Bogotá, D. C. - Colombia



Rosenberg & Representaciones Ltda.

GRÁFICO COMPARATIVO CARGA VS DEFORMACIÓN  
ANILLO DE CARGA CONTROLS SERIE 0602094  
CAPACIDAD MÁXIMA 30 KN



**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante  
Capacidad

Def. Máxima

2200 Divisiones

Control

30 kN

Serie

Fecha de calibración

Modelo

23 de Agosto de 2012

602094

T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN												
10	0,128	41	0,524	72	0,920	103	1,315	134	1,709	165	2,102		
11	0,141	42	0,537	73	0,933	104	1,327	135	1,722	166	2,115		
12	0,154	43	0,550	74	0,945	105	1,340	136	1,734	167	2,128		
13	0,166	44	0,563	75	0,958	106	1,353	137	1,747	168	2,141		
14	0,179	45	0,575	76	0,971	107	1,366	138	1,760	169	2,153		
15	0,192	46	0,588	77	0,984	108	1,378	139	1,772	170	2,166		
16	0,205	47	0,601	78	0,996	109	1,391	140	1,785	171	2,179		
17	0,218	48	0,614	79	1,009	110	1,404	141	1,798	172	2,191		
18	0,230	49	0,626	80	1,022	111	1,417	142	1,811	173	2,204		
19	0,243	50	0,639	81	1,035	112	1,429	143	1,823	174	2,217		
20	0,256	51	0,652	82	1,047	113	1,442	144	1,836	175	2,229		
21	0,269	52	0,665	83	1,060	114	1,455	145	1,849	176	2,242		
22	0,281	53	0,677	84	1,073	115	1,467	146	1,861	177	2,255		
23	0,294	54	0,690	85	1,085	116	1,480	147	1,874	178	2,267		
24	0,307	55	0,703	86	1,098	117	1,493	148	1,887	179	2,280		
25	0,320	56	0,716	87	1,111	118	1,506	149	1,899	180	2,293		
26	0,333	57	0,728	88	1,124	119	1,518	150	1,912	181	2,305		
27	0,345	58	0,741	89	1,136	120	1,531	151	1,925	182	2,318		
28	0,358	59	0,754	90	1,149	121	1,544	152	1,938	183	2,331		
29	0,371	60	0,767	91	1,162	122	1,556	153	1,950	184	2,343		
30	0,384	61	0,780	92	1,175	123	1,569	154	1,963	185	2,356		
31	0,396	62	0,792	93	1,187	124	1,582	155	1,976	186	2,369		
32	0,409	63	0,805	94	1,200	125	1,595	156	1,988	187	2,381		
33	0,422	64	0,818	95	1,213	126	1,607	157	2,001	188	2,394		
34	0,435	65	0,831	96	1,226	127	1,620	158	2,014	189	2,407		
35	0,448	66	0,843	97	1,238	128	1,633	159	2,026	190	2,419		
36	0,460	67	0,856	98	1,251	129	1,645	160	2,039	191	2,432		
37	0,473	68	0,869	99	1,264	130	1,658	161	2,052	192	2,445		
38	0,486	69	0,882	100	1,277	131	1,671	162	2,064	193	2,457		
39	0,499	70	0,894	101	1,289	132	1,684	163	2,077	194	2,470		
40	0,511	71	0,907	102	1,302	133	1,696	164	2,090	195	2,483		

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**

**Rosenberg & Representaciones Ltda.**  
 Fabricante  
 Capacidad 30 kN  
 Def. Máxima 2200 Divisiones  
 Controls  
 Fecha de calibración 23 de Agosto de 2012  
 Modelo 602094 T:1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
196	2,495	227	2,888	258	3,279	289	3,670	320	4,060	351	4,450
197	2,508	228	2,900	259	3,292	290	3,683	321	4,073	352	4,462
198	2,521	229	2,913	260	3,304	291	3,695	322	4,085	353	4,475
199	2,533	230	2,925	261	3,317	292	3,708	323	4,098	354	4,487
200	2,546	231	2,938	262	3,330	293	3,720	324	4,110	355	4,500
201	2,559	232	2,951	263	3,342	294	3,733	325	4,123	356	4,512
202	2,571	233	2,963	264	3,355	295	3,745	326	4,136	357	4,525
203	2,584	234	2,976	265	3,367	296	3,758	327	4,148	358	4,537
204	2,597	235	2,989	266	3,380	297	3,771	328	4,161	359	4,550
205	2,609	236	3,001	267	3,393	298	3,783	329	4,173	360	4,563
206	2,622	237	3,014	268	3,405	299	3,796	330	4,186	361	4,575
207	2,635	238	3,027	269	3,418	300	3,808	331	4,198	362	4,588
208	2,647	239	3,039	270	3,430	301	3,821	332	4,211	363	4,600
209	2,660	240	3,052	271	3,443	302	3,834	333	4,223	364	4,613
210	2,673	241	3,064	272	3,456	303	3,846	334	4,236	365	4,625
211	2,685	242	3,077	273	3,468	304	3,859	335	4,249	366	4,638
212	2,698	243	3,090	274	3,481	305	3,871	336	4,261	367	4,650
213	2,711	244	3,102	275	3,493	306	3,884	337	4,274	368	4,663
214	2,723	245	3,115	276	3,506	307	3,897	338	4,286	369	4,675
215	2,736	246	3,128	277	3,519	308	3,909	339	4,299	370	4,688
216	2,748	247	3,140	278	3,531	309	3,922	340	4,311	371	4,700
217	2,761	248	3,153	279	3,544	310	3,934	341	4,324	372	4,713
218	2,774	249	3,165	280	3,557	311	3,947	342	4,337	373	4,726
219	2,786	250	3,178	281	3,569	312	3,959	343	4,349	374	4,738
220	2,799	251	3,191	282	3,582	313	3,972	344	4,362	375	4,751
221	2,812	252	3,203	283	3,594	314	3,985	345	4,374	376	4,763
222	2,824	253	3,216	284	3,607	315	3,997	346	4,387	377	4,776
223	2,837	254	3,229	285	3,620	316	4,010	347	4,399	378	4,788
224	2,850	255	3,241	286	3,632	317	4,022	348	4,412	379	4,801
225	2,862	256	3,254	287	3,645	318	4,035	349	4,424	380	4,813
226	2,875	257	3,266	288	3,657	319	4,047	350	4,437	381	4,826

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



**Rosenberg & Representaciones Ltda.**

Fabricante  
Capacidad

30 kN  
Def. Máxima

2200 Divisiones  
Serie

Fecha de calibración  
23 de Agosto de 2012

Modelo  
I1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
568	7,157	599	7,541	630	7,924	661	8,307	692	8,689	723	9,071
569	7,169	600	7,553	631	7,937	662	8,320	693	8,702	724	9,083
570	7,182	601	7,566	632	7,949	663	8,332	694	8,714	725	9,095
571	7,194	602	7,578	633	7,962	664	8,344	695	8,726	726	9,107
572	7,207	603	7,591	634	7,974	665	8,357	696	8,738	727	9,120
573	7,219	604	7,603	635	7,986	666	8,369	697	8,751	728	9,132
574	7,231	605	7,615	636	7,999	667	8,381	698	8,763	729	9,144
575	7,244	606	7,628	637	8,011	668	8,394	699	8,775	730	9,157
576	7,256	607	7,640	638	8,023	669	8,406	700	8,788	731	9,169
577	7,269	608	7,652	639	8,036	670	8,418	701	8,800	732	9,181
578	7,281	609	7,665	640	8,048	671	8,430	702	8,812	733	9,193
579	7,293	610	7,677	641	8,060	672	8,443	703	8,825	734	9,206
580	7,306	611	7,690	642	8,073	673	8,455	704	8,837	735	9,218
581	7,318	612	7,702	643	8,085	674	8,467	705	8,849	736	9,230
582	7,331	613	7,714	644	8,097	675	8,480	706	8,862	737	9,243
583	7,343	614	7,727	645	8,110	676	8,492	707	8,874	738	9,255
584	7,355	615	7,739	646	8,122	677	8,504	708	8,886	739	9,267
585	7,368	616	7,751	647	8,134	678	8,517	709	8,898	740	9,279
586	7,380	617	7,764	648	8,147	679	8,529	710	8,911	741	9,292
587	7,392	618	7,776	649	8,159	680	8,541	711	8,923	742	9,304
588	7,405	619	7,788	650	8,171	681	8,554	712	8,935	743	9,316
589	7,417	620	7,801	651	8,184	682	8,566	713	8,948	744	9,329
590	7,430	621	7,813	652	8,196	683	8,578	714	8,960	745	9,341
591	7,442	622	7,826	653	8,208	684	8,591	715	8,972	746	9,353
592	7,454	623	7,838	654	8,221	685	8,603	716	8,985	747	9,365
593	7,467	624	7,850	655	8,233	686	8,615	717	8,997	748	9,378
594	7,479	625	7,863	656	8,245	687	8,628	718	9,009	749	9,390
595	7,492	626	7,875	657	8,258	688	8,640	719	9,021	750	9,402
596	7,504	627	7,887	658	8,270	689	8,652	720	9,034	751	9,414
597	7,516	628	7,900	659	8,283	690	8,665	721	9,046	752	9,427
598	7,529	629	7,912	660	8,295	691	8,677	722	9,058	753	9,439

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante  
Capacidad

Def. Máxima

Series

602064 Modelo

Fecha de calibración  
23 de Agosto de 2012

T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
382	4,838	413	5,226	444	5,614	475	6,001	506	6,387	537	6,772
383	4,851	414	5,239	445	5,626	476	6,013	507	6,399	538	6,785
384	4,863	415	5,252	446	5,639	477	6,026	508	6,412	539	6,797
385	4,876	416	5,264	447	5,651	478	6,038	509	6,424	540	6,810
386	4,888	417	5,277	448	5,664	479	6,051	510	6,437	541	6,822
387	4,901	418	5,289	449	5,676	480	6,063	511	6,449	542	6,834
388	4,914	419	5,302	450	5,689	481	6,076	512	6,461	543	6,847
389	4,926	420	5,314	451	5,701	482	6,088	513	6,474	544	6,859
390	4,939	421	5,327	452	5,714	483	6,100	514	6,486	545	6,872
391	4,951	422	5,339	453	5,726	484	6,113	515	6,499	546	6,884
392	4,964	423	5,352	454	5,739	485	6,125	516	6,511	547	6,896
393	4,976	424	5,364	455	5,751	486	6,138	517	6,524	548	6,909
394	4,989	425	5,377	456	5,764	487	6,150	518	6,536	549	6,921
395	5,001	426	5,389	457	5,776	488	6,163	519	6,549	550	6,934
396	5,014	427	5,402	458	5,789	489	6,175	520	6,561	551	6,946
397	5,026	428	5,414	459	5,801	490	6,188	521	6,573	552	6,959
398	5,039	429	5,427	460	5,814	491	6,200	522	6,586	553	6,971
399	5,051	430	5,439	461	5,826	492	6,213	523	6,598	554	6,983
400	5,064	431	5,452	462	5,839	493	6,225	524	6,611	555	6,996
401	5,076	432	5,464	463	5,851	494	6,237	525	6,623	556	7,008
402	5,089	433	5,477	464	5,864	495	6,250	526	6,636	557	7,021
403	5,101	434	5,489	465	5,876	496	6,262	527	6,648	558	7,033
404	5,114	435	5,502	466	5,889	497	6,275	528	6,660	559	7,045
405	5,126	436	5,514	467	5,901	498	6,287	529	6,673	560	7,058
406	5,139	437	5,527	468	5,913	499	6,300	530	6,685	561	7,070
407	5,151	438	5,539	469	5,926	500	6,312	531	6,698	562	7,083
408	5,164	439	5,552	470	5,938	501	6,325	532	6,710	563	7,095
409	5,176	440	5,564	471	5,951	502	6,337	533	6,723	564	7,107
410	5,189	441	5,576	472	5,963	503	6,349	534	6,735	565	7,120
411	5,201	442	5,589	473	5,976	504	6,362	535	6,747	566	7,132
412	5,214	443	5,601	474	5,988	505	6,374	536	6,760	567	7,145



Rosenberg & Representaciones Ltda.

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**

Fabricante: Controls  
 Capacidad: 30 kN Def. Máxima: 2200 Divisiones Serie: 602094 Modelo: T1007  
 Fecha de calibración: 23 de Agosto de 2012

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
754	9,451	785	9,831	816	10,211	847	10,569	878	10,967	909	11,345
755	9,464	788	9,844	817	10,223	848	10,501	879	10,979	910	11,357
756	9,476	787	9,856	818	10,235	849	10,614	880	10,992	911	11,369
757	9,488	788	9,868	819	10,247	850	10,626	881	11,004	912	11,381
758	9,500	789	9,880	820	10,259	851	10,638	882	11,016	913	11,393
759	9,513	790	9,892	821	10,272	852	10,650	883	11,028	914	11,405
760	9,525	791	9,905	822	10,284	853	10,662	884	11,040	915	11,417
761	9,537	792	9,917	823	10,296	854	10,675	885	11,052	916	11,430
762	9,549	793	9,929	824	10,308	855	10,687	886	11,065	917	11,442
763	9,562	794	9,941	825	10,321	856	10,699	887	11,077	918	11,454
764	9,574	795	9,954	826	10,333	857	10,711	888	11,089	919	11,466
765	9,586	796	9,966	827	10,345	858	10,723	889	11,101	920	11,478
766	9,598	797	9,978	828	10,357	859	10,736	890	11,113	921	11,490
767	9,611	798	9,990	829	10,369	860	10,748	891	11,126	922	11,503
768	9,623	799	10,003	830	10,382	861	10,760	892	11,138	923	11,515
769	9,635	800	10,015	831	10,394	862	10,772	893	11,150	924	11,527
770	9,647	801	10,027	832	10,406	863	10,784	894	11,162	925	11,539
771	9,660	802	10,039	833	10,418	864	10,797	895	11,174	926	11,551
772	9,672	803	10,052	834	10,431	865	10,809	896	11,186	927	11,563
773	9,684	804	10,064	835	10,443	866	10,821	897	11,199	928	11,575
774	9,697	805	10,076	836	10,455	867	10,833	898	11,211	929	11,588
775	9,709	806	10,088	837	10,467	868	10,845	899	11,223	930	11,600
776	9,721	807	10,101	838	10,479	869	10,858	900	11,235	931	11,612
777	9,733	808	10,113	839	10,492	870	10,870	901	11,247	932	11,624
778	9,746	809	10,125	840	10,504	871	10,882	902	11,259	933	11,636
779	9,758	810	10,137	841	10,516	872	10,894	903	11,272	934	11,648
780	9,770	811	10,149	842	10,528	873	10,906	904	11,284	935	11,660
781	9,782	812	10,162	843	10,540	874	10,918	905	11,296	936	11,673
782	9,795	813	10,174	844	10,553	875	10,931	906	11,308	937	11,685
783	9,807	814	10,186	845	10,565	876	10,943	907	11,320	938	11,697
784	9,819	815	10,198	846	10,577	877	10,955	908	11,332	939	11,709

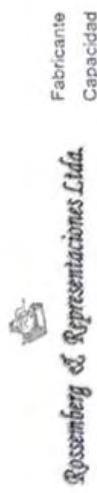


**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**

Fabricante: Centrols      Fecha de calibración: 23 de Agosto de 2012  
 Capacidad: 30 kN      Def. Máxima: 2200 Divisiones      Serie: 602064      Modelo: T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
940	11,721	971	12,097	1002	12,472	1033	12,847	1064	13,221	1095	13,594
941	11,733	972	12,109	1003	12,484	1034	12,859	1065	13,233	1096	13,606
942	11,745	973	12,121	1004	12,497	1035	12,871	1066	13,245	1097	13,618
943	11,758	974	12,133	1005	12,509	1036	12,883	1067	13,257	1098	13,630
944	11,770	975	12,146	1006	12,521	1037	12,895	1068	13,269	1099	13,642
945	11,782	976	12,158	1007	12,533	1038	12,907	1069	13,281	1100	13,654
946	11,794	977	12,170	1008	12,545	1039	12,919	1070	13,293	1101	13,666
947	11,806	978	12,182	1009	12,557	1040	12,931	1071	13,305	1102	13,678
948	11,818	979	12,194	1010	12,569	1041	12,943	1072	13,317	1103	13,690
949	11,830	980	12,206	1011	12,581	1042	12,956	1073	13,329	1104	13,702
950	11,842	981	12,218	1012	12,593	1043	12,968	1074	13,341	1105	13,714
951	11,855	982	12,230	1013	12,605	1044	12,980	1075	13,353	1106	13,726
952	11,867	983	12,242	1014	12,617	1045	12,992	1076	13,365	1107	13,738
953	11,879	984	12,255	1015	12,630	1046	13,004	1077	13,377	1108	13,750
954	11,891	985	12,267	1016	12,642	1047	13,016	1078	13,389	1109	13,762
955	11,903	986	12,279	1017	12,654	1048	13,028	1079	13,402	1110	13,774
956	11,915	987	12,291	1018	12,666	1049	13,040	1080	13,414	1111	13,786
957	11,927	988	12,303	1019	12,678	1050	13,052	1081	13,426	1112	13,798
958	11,940	989	12,315	1020	12,690	1051	13,064	1082	13,438	1113	13,810
959	11,952	990	12,327	1021	12,702	1052	13,076	1083	13,450	1114	13,823
960	11,964	991	12,339	1022	12,714	1053	13,088	1084	13,462	1115	13,835
961	11,976	992	12,351	1023	12,726	1054	13,100	1085	13,474	1116	13,847
962	11,988	993	12,363	1024	12,738	1055	13,112	1086	13,486	1117	13,859
963	12,000	994	12,376	1025	12,750	1056	13,124	1087	13,498	1118	13,871
964	12,012	995	12,388	1026	12,762	1057	13,136	1088	13,510	1119	13,883
965	12,024	996	12,400	1027	12,774	1058	13,149	1089	13,522	1120	13,895
966	12,036	997	12,412	1028	12,787	1059	13,161	1090	13,534	1121	13,907
967	12,049	998	12,424	1029	12,799	1060	13,173	1091	13,546	1122	13,919
968	12,061	999	12,436	1030	12,811	1061	13,185	1092	13,558	1123	13,931
969	12,073	1000	12,448	1031	12,823	1062	13,197	1093	13,570	1124	13,943
970	12,085	1001	12,460	1032	12,835	1063	13,209	1094	13,582	1125	13,955

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante: **Rosenberg & Representaciones Ltda.**  
 Capacidad: **30 kN**  
 Def. Máxima: **2200 Divisiones**  
 Modelo: **602094**  
 Fecha de calibración: **23 de Agosto de 2012**  
 Serie: **T1007**

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
1126	13,967	1157	14,339	1188	14,710	1219	15,080	1250	15,450	1281	15,819
1127	13,979	1158	14,351	1189	14,722	1220	15,092	1251	15,462	1282	15,831
1128	13,991	1159	14,362	1190	14,734	1221	15,104	1252	15,474	1283	15,843
1129	14,003	1160	14,374	1191	14,746	1222	15,116	1253	15,486	1284	15,855
1130	14,015	1161	14,386	1192	14,758	1223	15,128	1254	15,498	1285	15,867
1131	14,027	1162	14,398	1193	14,770	1224	15,140	1255	15,510	1286	15,879
1132	14,039	1163	14,410	1194	14,781	1225	15,152	1256	15,522	1287	15,891
1133	14,051	1164	14,422	1195	14,793	1226	15,164	1257	15,534	1288	15,903
1134	14,063	1165	14,434	1196	14,805	1227	15,176	1258	15,545	1289	15,914
1135	14,075	1166	14,446	1197	14,817	1228	15,188	1259	15,557	1290	15,926
1136	14,087	1167	14,458	1198	14,829	1229	15,200	1260	15,569	1291	15,938
1137	14,099	1168	14,470	1199	14,841	1230	15,212	1261	15,581	1292	15,950
1138	14,111	1169	14,482	1200	14,853	1231	15,223	1262	15,593	1293	15,962
1139	14,123	1170	14,494	1201	14,865	1232	15,235	1263	15,605	1294	15,974
1140	14,135	1171	14,506	1202	14,877	1233	15,247	1264	15,617	1295	15,986
1141	14,147	1172	14,518	1203	14,889	1234	15,259	1265	15,629	1296	15,998
1142	14,159	1173	14,530	1204	14,901	1235	15,271	1266	15,641	1297	16,010
1143	14,171	1174	14,542	1205	14,913	1236	15,283	1267	15,653	1298	16,021
1144	14,183	1175	14,554	1206	14,925	1237	15,295	1268	15,665	1299	16,033
1145	14,195	1176	14,566	1207	14,937	1238	15,307	1269	15,676	1300	16,045
1146	14,207	1177	14,578	1208	14,949	1239	15,319	1270	15,688	1301	16,057
1147	14,219	1178	14,590	1209	14,961	1240	15,331	1271	15,700	1302	16,069
1148	14,231	1179	14,602	1210	14,973	1241	15,343	1272	15,712	1303	16,081
1149	14,243	1180	14,614	1211	14,985	1242	15,355	1273	15,724	1304	16,093
1150	14,255	1181	14,626	1212	14,997	1243	15,367	1274	15,736	1305	16,105
1151	14,267	1182	14,638	1213	15,009	1244	15,379	1275	15,748	1306	16,116
1152	14,279	1183	14,650	1214	15,021	1245	15,390	1276	15,760	1307	16,128
1153	14,291	1184	14,662	1215	15,032	1246	15,402	1277	15,772	1308	16,140
1154	14,303	1185	14,674	1216	15,044	1247	15,414	1278	15,784	1309	16,152
1155	14,315	1186	14,686	1217	15,056	1248	15,426	1279	15,795	1310	16,164
1156	14,327	1187	14,698	1218	15,068	1249	15,438	1280	15,807	1311	16,176

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante: **Rosenberg & Representaciones Ltda.**  
 Capacidad: **30 kN**  
 Def. Máxima: **2200 Divisiones**  
 Controls: **Serie**  
 Fecha de calibración: **23 de Agosto de 2012**  
 Modelo: **602094**  
 T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
1312	16,186	1343	16,556	1374	16,923	1405	17,289	1436	17,655	1467	18,020
1313	16,200	1344	16,567	1375	16,935	1406	17,301	1437	17,667	1468	18,032
1314	16,212	1345	16,579	1376	16,946	1407	17,313	1438	17,679	1469	18,044
1315	16,223	1346	16,591	1377	16,958	1408	17,325	1439	17,690	1470	18,055
1316	16,235	1347	16,603	1378	16,970	1409	17,336	1440	17,702	1471	18,067
1317	16,247	1348	16,615	1379	16,982	1410	17,348	1441	17,714	1472	18,079
1318	16,259	1349	16,627	1380	16,994	1411	17,360	1442	17,726	1473	18,091
1319	16,271	1350	16,639	1381	17,006	1412	17,372	1443	17,737	1474	18,102
1320	16,283	1351	16,650	1382	17,017	1413	17,384	1444	17,749	1475	18,114
1321	16,295	1352	16,662	1383	17,029	1414	17,395	1445	17,761	1476	18,126
1322	16,306	1353	16,674	1384	17,041	1415	17,407	1446	17,773	1477	18,138
1323	16,318	1354	16,686	1385	17,053	1416	17,419	1447	17,785	1478	18,149
1324	16,330	1355	16,698	1386	17,065	1417	17,431	1448	17,796	1479	18,161
1325	16,342	1356	16,710	1387	17,076	1418	17,443	1449	17,808	1480	18,173
1326	16,354	1357	16,721	1388	17,088	1419	17,454	1450	17,820	1481	18,185
1327	16,366	1358	16,733	1389	17,100	1420	17,466	1451	17,832	1482	18,197
1328	16,378	1359	16,745	1390	17,112	1421	17,478	1452	17,844	1483	18,208
1329	16,390	1360	16,757	1391	17,124	1422	17,490	1453	17,855	1484	18,220
1330	16,401	1361	16,769	1392	17,136	1423	17,502	1454	17,867	1485	18,232
1331	16,413	1362	16,781	1393	17,147	1424	17,513	1455	17,879	1486	18,244
1332	16,425	1363	16,793	1394	17,159	1425	17,525	1456	17,891	1487	18,255
1333	16,437	1364	16,804	1395	17,171	1426	17,537	1457	17,902	1488	18,267
1334	16,449	1365	16,816	1396	17,183	1427	17,549	1458	17,914	1489	18,279
1335	16,461	1366	16,828	1397	17,195	1428	17,561	1459	17,926	1490	18,291
1336	16,473	1367	16,840	1398	17,206	1429	17,572	1460	17,938	1491	18,302
1337	16,484	1368	16,852	1399	17,218	1430	17,584	1461	17,949	1492	18,314
1338	16,496	1369	16,864	1400	17,230	1431	17,596	1462	17,961	1493	18,326
1339	16,508	1370	16,875	1401	17,242	1432	17,608	1463	17,973	1494	18,338
1340	16,520	1371	16,887	1402	17,254	1433	17,620	1464	17,985	1495	18,349
1341	16,532	1372	16,899	1403	17,266	1434	17,631	1465	17,997	1496	18,361
1342	16,544	1373	16,911	1404	17,277	1435	17,643	1466	18,008	1497	18,373

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Capacidad: 30 kN      Def. Máxima: 2200 Divisiones      Modelo: T1007  
 Fabricante:      Controls:      Fecha de calibración: 23 de Agosto de 2012  
 Rosenberg & Representaciones Ltda.

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
1498	18,385	1529	18,748	1560	19,111	1591	19,474	1622	19,835	1653	20,197
1499	18,396	1530	18,760	1561	19,123	1592	19,485	1623	19,847	1654	20,208
1500	18,408	1531	18,772	1562	19,135	1593	19,497	1624	19,859	1655	20,220
1501	18,420	1532	18,783	1563	19,146	1594	19,509	1625	19,870	1656	20,231
1502	18,431	1533	18,795	1564	19,158	1595	19,520	1626	19,882	1657	20,243
1503	18,443	1534	18,807	1565	19,170	1596	19,532	1627	19,894	1658	20,255
1504	18,455	1535	18,819	1566	19,182	1597	19,544	1628	19,905	1659	20,266
1505	18,467	1536	18,830	1567	19,193	1598	19,555	1629	19,917	1660	20,278
1506	18,478	1537	18,842	1568	19,205	1599	19,567	1630	19,929	1661	20,290
1507	18,490	1538	18,854	1569	19,217	1600	19,579	1631	19,940	1662	20,301
1508	18,502	1539	18,865	1570	19,228	1601	19,591	1632	19,952	1663	20,313
1509	18,514	1540	18,877	1571	19,240	1602	19,602	1633	19,964	1664	20,324
1510	18,525	1541	18,889	1572	19,252	1603	19,614	1634	19,975	1665	20,336
1511	18,537	1542	18,901	1573	19,263	1604	19,626	1635	19,987	1666	20,348
1512	18,549	1543	18,912	1574	19,275	1605	19,637	1636	19,999	1667	20,359
1513	18,561	1544	18,924	1575	19,287	1606	19,649	1637	20,010	1668	20,371
1514	18,572	1545	18,936	1576	19,298	1607	19,661	1638	20,022	1669	20,383
1515	18,584	1546	18,947	1577	19,310	1608	19,672	1639	20,034	1670	20,394
1516	18,596	1547	18,959	1578	19,322	1609	19,684	1640	20,045	1671	20,406
1517	18,608	1548	18,971	1579	19,334	1610	19,696	1641	20,057	1672	20,417
1518	18,619	1549	18,983	1580	19,345	1611	19,707	1642	20,068	1673	20,429
1519	18,631	1550	18,994	1581	19,357	1612	19,719	1643	20,080	1674	20,441
1520	18,643	1551	19,006	1582	19,369	1613	19,731	1644	20,092	1675	20,452
1521	18,654	1552	19,018	1583	19,380	1614	19,742	1645	20,103	1676	20,464
1522	18,666	1553	19,029	1584	19,392	1615	19,754	1646	20,115	1677	20,476
1523	18,678	1554	19,041	1585	19,404	1616	19,766	1647	20,127	1678	20,487
1524	18,690	1555	19,053	1586	19,415	1617	19,777	1648	20,138	1679	20,499
1525	18,701	1556	19,065	1587	19,427	1618	19,789	1649	20,150	1680	20,510
1526	18,713	1557	19,076	1588	19,439	1619	19,800	1650	20,162	1681	20,522
1527	18,725	1558	19,088	1589	19,450	1620	19,812	1651	20,173	1682	20,534
1528	18,737	1559	19,100	1590	19,462	1621	19,824	1652	20,185	1683	20,545

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante: 30 kN Def. Máxima: 2200 Divisiones Serie: 602094 Modelo: T1007  
 Capacidad: 30 kN Fecha de calibración: 23 de Agosto de 2012

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
1684	20,557	1715	20,917	1746	21,276	1777	21,634	1808	21,992	1839	22,349
1685	20,568	1716	20,928	1747	21,287	1778	21,645	1809	22,003	1840	22,360
1686	20,580	1717	20,940	1748	21,299	1779	21,657	1810	22,015	1841	22,372
1687	20,592	1718	20,951	1749	21,310	1780	21,669	1811	22,026	1842	22,383
1688	20,603	1719	20,963	1750	21,322	1781	21,680	1812	22,038	1843	22,395
1689	20,615	1720	20,975	1751	21,333	1782	21,692	1813	22,049	1844	22,406
1690	20,627	1721	20,986	1752	21,345	1783	21,703	1814	22,061	1845	22,418
1691	20,638	1722	20,998	1753	21,357	1784	21,715	1815	22,072	1846	22,429
1692	20,650	1723	21,009	1754	21,368	1785	21,726	1816	22,084	1847	22,441
1693	20,661	1724	21,021	1755	21,380	1786	21,738	1817	22,095	1848	22,452
1694	20,673	1725	21,032	1756	21,391	1787	21,749	1818	22,107	1849	22,464
1695	20,685	1726	21,044	1757	21,403	1788	21,761	1819	22,118	1850	22,475
1696	20,696	1727	21,056	1758	21,414	1789	21,772	1820	22,130	1851	22,487
1697	20,708	1728	21,067	1759	21,426	1790	21,784	1821	22,141	1852	22,498
1698	20,719	1729	21,079	1760	21,438	1791	21,796	1822	22,153	1853	22,510
1699	20,731	1730	21,090	1761	21,449	1792	21,807	1823	22,164	1854	22,521
1700	20,743	1731	21,102	1762	21,461	1793	21,819	1824	22,176	1855	22,533
1701	20,754	1732	21,114	1763	21,472	1794	21,830	1825	22,187	1856	22,544
1702	20,766	1733	21,125	1764	21,484	1795	21,842	1826	22,199	1857	22,556
1703	20,777	1734	21,137	1765	21,495	1796	21,853	1827	22,210	1858	22,567
1704	20,789	1735	21,148	1766	21,507	1797	21,865	1828	22,222	1859	22,579
1705	20,801	1736	21,160	1767	21,518	1798	21,876	1829	22,233	1860	22,590
1706	20,812	1737	21,171	1768	21,530	1799	21,888	1830	22,245	1861	22,602
1707	20,824	1738	21,183	1769	21,542	1800	21,899	1831	22,257	1862	22,613
1708	20,835	1739	21,195	1770	21,553	1801	21,911	1832	22,268	1863	22,624
1709	20,847	1740	21,206	1771	21,565	1802	21,922	1833	22,280	1864	22,636
1710	20,859	1741	21,218	1772	21,576	1803	21,934	1834	22,291	1865	22,647
1711	20,870	1742	21,229	1773	21,588	1804	21,945	1835	22,303	1866	22,659
1712	20,882	1743	21,241	1774	21,599	1805	21,957	1836	22,314	1867	22,670
1713	20,893	1744	21,252	1775	21,611	1806	21,969	1837	22,326	1868	22,682
1714	20,905	1745	21,264	1776	21,622	1807	21,980	1838	22,337	1869	22,693

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante  
Capacidad

30 kN Def. Máxima 2200 Divisiones

Fecha de calibración 23 de Agosto de 2012

Modelo T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
1870	22,705	1901	23,061	1932	23,415	1963	23,770	1994	24,123	2025	24,476
1871	22,716	1902	23,072	1933	23,427	1964	23,781	1995	24,135	2026	24,488
1872	22,728	1903	23,083	1934	23,438	1965	23,793	1996	24,146	2027	24,499
1873	22,739	1904	23,095	1935	23,450	1966	23,804	1997	24,158	2028	24,510
1874	22,751	1905	23,106	1936	23,461	1967	23,815	1998	24,169	2029	24,522
1875	22,762	1906	23,118	1937	23,473	1968	23,827	1999	24,180	2030	24,533
1876	22,774	1907	23,129	1938	23,484	1969	23,838	2000	24,192	2031	24,544
1877	22,785	1908	23,141	1939	23,496	1970	23,850	2001	24,203	2032	24,556
1878	22,797	1909	23,152	1940	23,507	1971	23,861	2002	24,214	2033	24,567
1879	22,808	1910	23,164	1941	23,518	1972	23,872	2003	24,226	2034	24,579
1880	22,820	1911	23,175	1942	23,530	1973	23,884	2004	24,237	2035	24,590
1881	22,831	1912	23,187	1943	23,541	1974	23,895	2005	24,249	2036	24,601
1882	22,843	1913	23,198	1944	23,553	1975	23,907	2006	24,260	2037	24,613
1883	22,854	1914	23,209	1945	23,564	1976	23,918	2007	24,271	2038	24,624
1884	22,866	1915	23,221	1946	23,576	1977	23,930	2008	24,283	2039	24,635
1885	22,877	1916	23,232	1947	23,587	1978	23,941	2009	24,294	2040	24,647
1886	22,889	1917	23,244	1948	23,598	1979	23,952	2010	24,306	2041	24,658
1887	22,900	1918	23,255	1949	23,610	1980	23,964	2011	24,317	2042	24,670
1888	22,911	1919	23,267	1950	23,621	1981	23,975	2012	24,328	2043	24,681
1889	22,923	1920	23,278	1951	23,633	1982	23,987	2013	24,340	2044	24,692
1890	22,934	1921	23,290	1952	23,644	1983	23,998	2014	24,351	2045	24,704
1891	22,946	1922	23,301	1953	23,656	1984	24,009	2015	24,362	2046	24,715
1892	22,957	1923	23,312	1954	23,667	1985	24,021	2016	24,374	2047	24,726
1893	22,969	1924	23,324	1955	23,678	1986	24,032	2017	24,385	2048	24,738
1894	22,980	1925	23,335	1956	23,690	1987	24,044	2018	24,397	2049	24,749
1895	22,992	1926	23,347	1957	23,701	1988	24,055	2019	24,408	2050	24,760
1896	23,003	1927	23,358	1958	23,713	1989	24,066	2020	24,419	2051	24,772
1897	23,015	1928	23,370	1959	23,724	1990	24,078	2021	24,431	2052	24,783
1898	23,026	1929	23,381	1960	23,735	1991	24,089	2022	24,442	2053	24,794
1899	23,038	1930	23,393	1961	23,747	1992	24,101	2023	24,454	2054	24,806
1900	23,049	1931	23,404	1962	23,758	1993	24,112	2024	24,465	2055	24,817

**CARTA DE CALIBRACIÓN ANILLO DE CARGA**



Fabricante  
Capacidad

Def. Máxima

2200 Divisiones

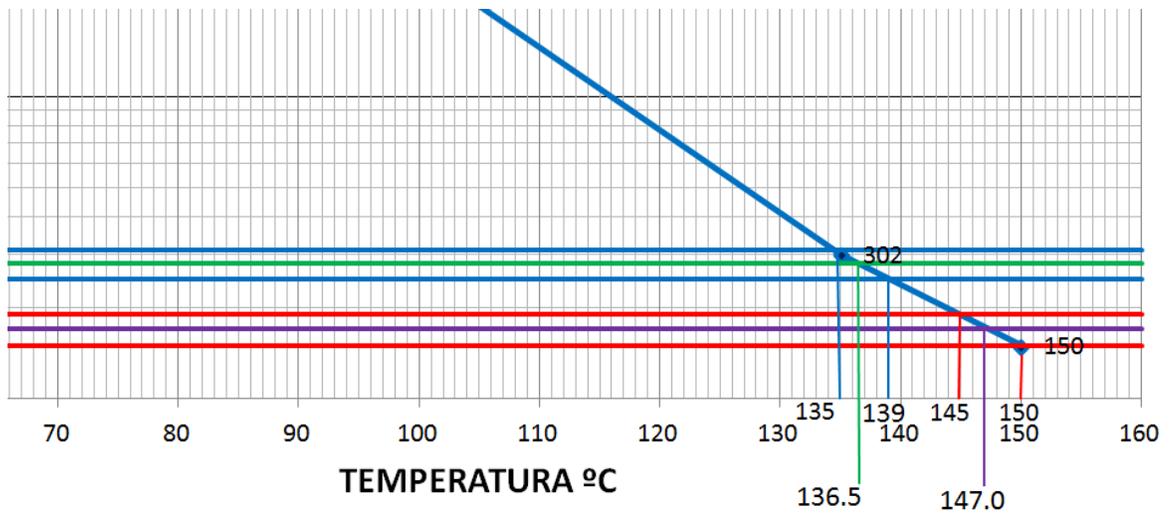
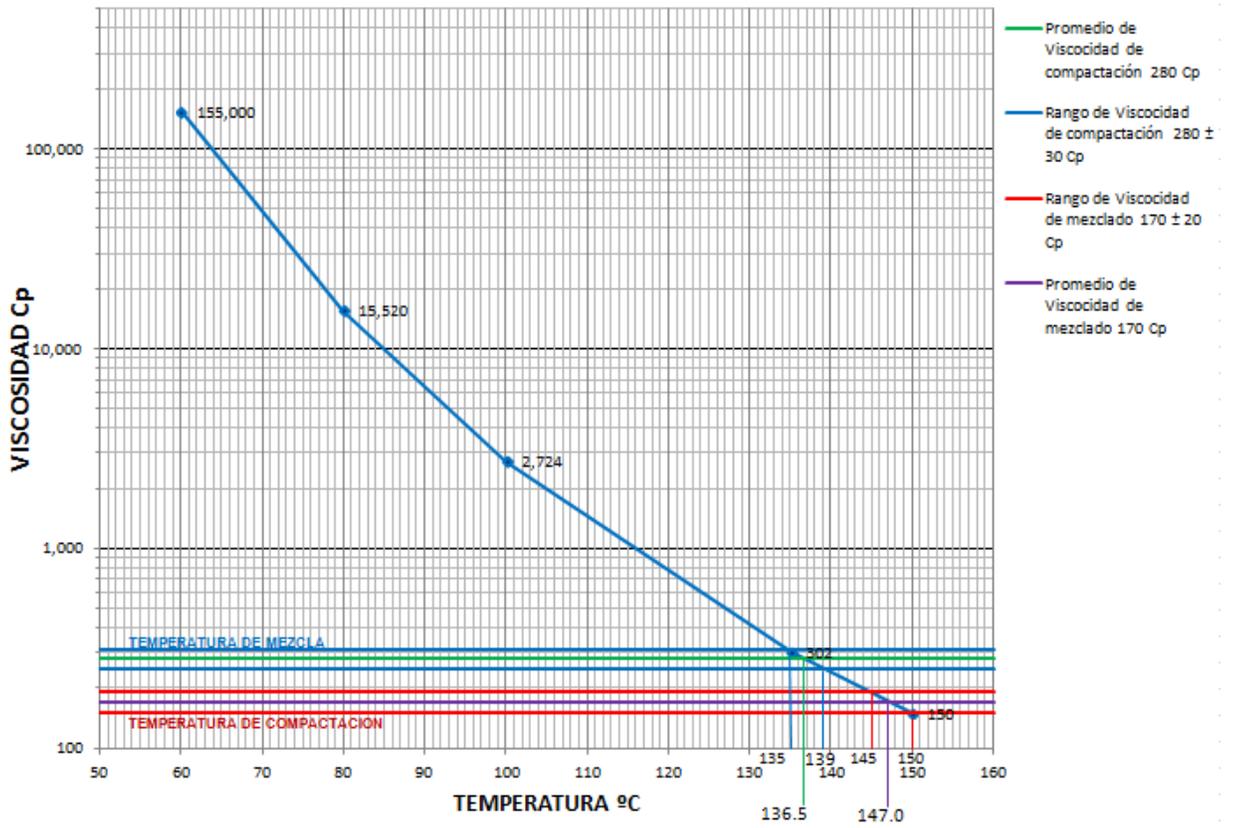
Fecha de calibración  
Serie

23 de Agosto de 2012  
602094 Modelo  
T1007

Lectura Dial 0,001 mm	Fuerza kN										
2056	24,820	2087	25,180	2118	25,531	2149	25,881	2180	26,231		
2057	24,840	2088	25,191	2119	25,542	2150	25,892	2181	26,242		
2058	24,851	2089	25,203	2120	25,554	2151	25,904	2182	26,253		
2059	24,863	2090	25,214	2121	25,565	2152	25,915	2183	26,264		
2060	24,874	2091	25,225	2122	25,576	2153	25,926	2184	26,276		
2061	24,885	2092	25,237	2123	25,587	2154	25,938	2185	26,287		
2062	24,897	2093	25,248	2124	25,599	2155	25,949	2186	26,298		
2063	24,908	2094	25,259	2125	25,610	2156	25,960	2187	26,310		
2064	24,919	2095	25,271	2126	25,621	2157	25,971	2188	26,321		
2065	24,931	2096	25,282	2127	25,633	2158	25,983	2189	26,332		
2066	24,942	2097	25,293	2128	25,644	2159	25,994	2190	26,343		
2067	24,953	2098	25,305	2129	25,655	2160	26,005	2191	26,355		
2068	24,965	2099	25,316	2130	25,667	2161	26,017	2192	26,366		
2069	24,976	2100	25,327	2131	25,678	2162	26,028	2193	26,377		
2070	24,987	2101	25,339	2132	25,689	2163	26,039	2194	26,388		
2071	24,999	2102	25,350	2133	25,700	2164	26,050	2195	26,400		
2072	25,010	2103	25,361	2134	25,712	2165	26,062	2196	26,411		
2073	25,021	2104	25,373	2135	25,723	2166	26,073	2197	26,422		
2074	25,033	2105	25,384	2136	25,734	2167	26,084	2198	26,433		
2075	25,044	2106	25,395	2137	25,746	2168	26,095	2199	26,445		
2076	25,055	2107	25,407	2138	25,757	2169	26,107	2200	26,456		
2077	25,067	2108	25,418	2139	25,768	2170	26,118				
2078	25,078	2109	25,429	2140	25,780	2171	26,129				
2079	25,089	2110	25,440	2141	25,791	2172	26,141				
2080	25,101	2111	25,452	2142	25,802	2173	26,152				
2081	25,112	2112	25,463	2143	25,813	2174	26,163				
2082	25,123	2113	25,474	2144	25,825	2175	26,174				
2083	25,135	2114	25,486	2145	25,836	2176	26,186				
2084	25,146	2115	25,497	2146	25,847	2177	26,197				
2085	25,157	2116	25,508	2147	25,859	2178	26,208				
2086	25,169	2117	25,520	2148	25,870	2179	26,219				

ANEXO C  
CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD  
TÉRMICA DEL CEMENTO ASFALTICO  
PROCEDENTE DE LA REFINERIA DE  
BARRANCABERMEJA

## ANEXO C. CURVA DE SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA DEL CEMENTO ASFALTO PROCEDENTE DE LA REFINERIA DE BARRANCABERMEJA



ANEXO D  
FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA  
ESTABILIDAD

## ANEXO D. FACTOR DE CORRECIÓN DE LA ESTABILIDAD

ESPESOR ( mm )	FACTOR	ESPESOR ( mm )	FACTOR	ESPESOR ( mm )	FACTOR
31,5	3.902	36,5	3.030	41,5	2.246
31,6	3.884	36,6	3.014	41,6	2.234
31,7	3.867	36,7	2.999	41,7	2.223
31,8	3.850	36,8	2.983	41,8	2.211
31,9	3.833	36,9	2.968	41,9	2.199
32,0	3.815	37,0	2.952	42,0	2.187
32,1	3.798	37,1	2.936	42,1	2.175
32,2	3.780	37,2	2.921	42,2	2.163
32,3	3.763	37,3	2.905	42,3	2.151
32,4	3.745	37,4	2.889	42,4	2.139
32,5	3.728	37,5	2.874	42,5	2.128
32,6	3.710	37,6	2.858	42,6	2.116
32,7	3.693	37,7	2.843	42,7	2.104
32,8	3.675	37,8	2.827	42,8	2.092
32,9	3.658	37,9	2.811	42,9	2.080
33,0	3.640	38,0	2.796	43,0	2.070
33,1	3.623	38,1	2.780	43,1	2.060
33,2	3.605	38,2	2.763	43,2	2.050
33,3	3.588	38,3	2.745	43,3	2.040
33,4	3.570	38,4	2.728	43,4	2.030
33,5	3.554	38,5	2.710	43,5	2.020
33,6	3.538	38,6	2.693	43,6	2.010
33,7	3.522	38,7	2.675	43,7	2.000
33,8	3.506	38,8	2.658	43,8	1.990
33,9	3.490	38,9	2.640	43,9	1.980
34,0	3.474	39,0	2.623	44,0	1.970
34,1	3.458	39,1	2.605	44,1	1.960
34,2	3.442	39,2	2.588	44,2	1.950
34,3	3.426	39,3	2.570	44,3	1.940
34,4	3.410	39,4	2.553	44,4	1.930
34,5	3.394	39,5	2.535	44,5	1.920
34,6	3.378	39,6	2.517	44,6	1.912
34,7	3.362	39,7	2.500	44,7	1.904
34,8	3.346	39,8	2.486	44,8	1.896
34,9	3.330	39,9	2.471	44,9	1.888
35,0	3.311	40,0	2.457	45,0	1.879
35,1	3.293	40,1	2.443	45,1	1.871
35,2	3.274	40,2	2.428	45,2	1.863
35,3	3.255	40,3	2.414	45,3	1.855
35,4	3.236	40,4	2.399	45,4	1.847
35,5	3.218	40,5	2.385	45,5	1.839
35,6	3.199	40,6	2.371	45,6	1.831
35,7	3.180	40,7	2.356	45,7	1.823
35,8	3.161	40,8	2.342	45,8	1.814
35,9	3.143	40,9	2.328	45,9	1.806
36,0	3.124	41,0	2.313	46,0	1.798
36,1	3.105	41,1	2.299	46,1	1.790
36,2	3.086	41,2	2.284	46,2	1.782
36,3	3.068	41,3	2.270	46,3	1.774
36,4	3.049	41,4	2.258	46,4	1.766

ESPEJOR ( mm )	FACTOR	ESPEJOR ( mm )	FACTOR	ESPEJOR ( mm )	FACTOR
46,5	1.758	51,5	1.435	56,5	1.216
46,6	1.750	51,6	1.430	56,6	1.213
46,7	1.742	51,7	1.425	56,7	1.209
46,8	1.734	51,8	1.420	56,8	1.205
46,9	1.726	51,9	1.415	56,9	1.201
47,0	1.718	52,0	1.410	57,0	1.198
47,1	1.710	52,1	1.405	57,1	1.194
47,2	1.702	52,2	1.400	57,2	1.190
47,3	1.694	52,3	1.395	57,3	1.187
47,4	1.686	52,4	1.390	57,4	1.184
47,5	1.678	52,5	1.386	57,5	1.181
47,6	1.670	52,6	1.381	57,6	1.178
47,7	1.663	52,7	1.377	57,7	1.174
47,8	1.656	52,8	1.373	57,8	1.171
47,9	1.649	52,9	1.368	57,9	1.168
48,0	1.643	53,0	1.364	58,0	1.165
48,1	1.636	53,1	1.359	58,1	1.162
48,2	1.629	53,2	1.355	58,2	1.159
48,3	1.622	53,3	1.351	58,3	1.156
48,4	1.615	53,4	1.346	58,4	1.153
48,5	1.608	53,5	1.342	58,5	1.149
48,6	1.601	53,6	1.338	58,6	1.146
48,7	1.594	53,7	1.333	58,7	1.143
48,8	1.588	53,8	1.329	58,8	1.140
48,9	1.581	53,9	1.324	58,9	1.137
49,0	1.574	54,0	1.320	59,0	1.134
49,1	1.567	54,1	1.316	59,1	1.131
49,2	1.560	54,2	1.311	59,2	1.128
49,3	1.554	54,3	1.307	59,3	1.124
49,4	1.549	54,4	1.303	59,4	1.121
49,5	1.543	54,5	1.298	59,5	1.118
49,6	1.538	54,6	1.294	59,6	1.115
49,7	1.532	54,7	1.289	59,7	1.112
49,8	1.526	54,8	1.285	59,8	1.109
49,9	1.521	54,9	1.281	59,9	1.106
50,0	1.515	55,0	1.276	60,0	1.103
50,1	1.509	55,1	1.272	60,1	1.099
50,2	1.504	55,2	1.268	60,2	1.096
50,3	1.498	55,3	1.263	60,3	1.093
50,4	1.493	55,4	1.259	60,4	1.090
50,5	1.487	55,5	1.254	60,5	1.087
50,6	1.481	55,6	1.250	60,6	1.084
50,7	1.476	55,7	1.246	60,7	1.081
50,8	1.470	55,8	1.243	60,8	1.078
50,9	1.465	55,9	1.239	60,9	1.074
51,0	1.460	56,0	1.235	61,0	1.071
51,1	1.455	56,1	1.231	61,1	1.068
51,2	1.450	56,2	1.228	61,2	1.065
51,3	1.445	56,3	1.224	61,3	1.062
51,4	1.440	56,4	1.220	61,4	1.059

ESPEJOR ( mm )	FACTOR	ESPEJOR ( mm )	FACTOR	ESPEJOR ( mm )	FACTOR
61,5	1,056	66,4	0,936	71,3	0,834
61,6	1,053	66,5	0,934	71,4	0,832
61,7	1,049	66,6	0,932	71,5	0,830
61,8	1,046	66,7	0,930	71,6	0,829
61,9	1,043	66,8	0,928	71,7	0,828
62,0	1,040	66,9	0,925	71,8	0,826
62,1	1,037	67,0	0,923	71,9	0,825
62,2	1,035	67,1	0,920	72,0	0,824
62,3	1,032	67,2	0,918	72,1	0,823
62,4	1,029	67,3	0,915	72,2	0,821
62,5	1,027	67,4	0,913	72,3	0,820
62,6	1,024	67,5	0,910	72,4	0,819
62,7	1,021	67,6	0,908	72,5	0,818
62,8	1,019	67,7	0,905	72,6	0,816
62,9	1,016	67,8	0,903	72,7	0,815
63,0	1,013	67,9	0,900	72,8	0,814
63,1	1,011	68,0	0,898	72,9	0,813
63,2	1,008	68,1	0,895	73,0	0,811
63,3	1,005	68,2	0,893	73,1	0,810
63,4	1,003	68,3	0,890	73,2	0,808
63,5	1,000	68,4	0,888	73,3	0,806
63,6	0,998	68,5	0,886	73,4	0,804
63,7	0,995	68,6	0,884	73,5	0,802
63,8	0,993	68,7	0,883	73,6	0,800
63,9	0,990	68,8	0,881	73,7	0,798
64,0	0,988	68,9	0,879	73,8	0,796
64,1	0,985	69,0	0,877	73,9	0,794
64,2	0,983	69,1	0,875	74,0	0,792
64,3	0,980	69,2	0,873	74,1	0,790
64,4	0,978	69,3	0,871	74,2	0,788
64,5	0,975	69,4	0,869	74,3	0,786
64,6	0,973	69,5	0,868	74,4	0,784
64,7	0,970	69,6	0,866	74,5	0,782
64,8	0,968	69,7	0,864	74,6	0,780
64,9	0,965	69,8	0,862	74,7	0,779
65,0	0,963	69,9	0,860	74,8	0,778
65,1	0,960	70,0	0,858	74,9	0,776
65,2	0,958	70,1	0,856	75,0	0,775
65,3	0,956	70,2	0,854	75,1	0,774
65,4	0,954	70,3	0,853	75,2	0,773
65,5	0,953	70,4	0,851	75,3	0,771
65,6	0,951	70,5	0,849	75,4	0,770
65,7	0,949	70,6	0,847	75,5	0,769
65,8	0,947	70,7	0,845	75,6	0,768
65,9	0,945	70,8	0,843	75,7	0,766
66,0	0,943	70,9	0,841	75,8	0,765
66,1	0,941	71,0	0,839	75,9	0,764
66,2	0,939	71,1	0,838	76,0	0,763
66,3	0,938	71,2	0,836	76,1	0,761

Nota: La estabilidad medida de la probeta multiplicada por el factor correspondiente a su altura, es igual a la estabilidad corregida para una probeta de 63.5 mm.

ANEXO E  
PORCENTAJE MÍNIMO DE VACIOS EN  
EL AGREGADO MINERAL (VMA)

## ANEXO E. PORCENTAJE MÍNIMO DE VMA

Tamaño máximo nominal		Porcentaje de VMA mínimo		
Milímetros	pulgadas	Porcentaje de vacíos (%)		
		3	4	5
1.18	Nº 16	21.5	22.5	23.5
2.36	Nº 8	19	20	21
4.75	Nº 4	16	17	18
9.5	3/8	14	15	16
12.5	½	13	14	15
19	¾	12	13	14
25	1	11	12	13
37	1.5	10	11	12
50	2	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9	10	11

ANEXO F  
FORMATO DE ENSAYO MARSHALL  
MUESTRA No. 1 Y  
FORMATO DE ENSAYO MARSHALL  
MUESTRA No. 2

# ENSAYO MARSHALL No. 1

BRIQUETA		DISEÑO DE MEZCLA BITUMINOSA Método (Marshall) MDC - 2										Presento : Ing. Milton Jesús Bolaños Delgado Ing. Jesús Alexander Trejos Cerón								
		Proyecto: TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS" DE CARRETERAS"										BARRANCA BERMEDA								
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS G <sub>sAggr</sub> =		2.536 gr/cm <sup>3</sup>		Gs Asf = 0.998		gr/cm <sup>3</sup>		VOLUMEN % TOTAL		GRADO DE PENETRACION ASFALTO:		60-70								
No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS (g)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	PESO ESPECIFICO			% VACIOS			MEDIDA		CORREGIDA	FLUJO (mm)					
		seca	sum	sss		BULK	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO	ABSORBIDO %	AGREGADOS	LLENOS DE ASFALTO	% ASFALTO EFECTIVO	LLENANTE/LIGANTE			ESTABILIDAD - Kg				
	ESPOR DE LA BRIQUETA (cm)																			
A	B	C	D	E	E'	F	G	H	I	J	K	L	M	N	N'	O	P	Q	R	S
1-1	4.5	6.57	1,192.10	657.70	1,196.40	538.70	2.213											1,057.0	1,003.1	2.80
1-2		6.57	1,201.80	660.10	1,205.00	544.90	2.206											2,097.0	1,990.0	2.95
1-3		6.43	1,190.20	658.80	1,197.00	538.20	2.211											1,664.7	1,631.4	2.70
PROMEDIO							2.210	2.372	2.375	0.06	83.2	6.8	10.0	16.3	59.4	4.4	0.97		1,541.5	2.82
1-1	5.0	6.46	1,194.30	662.10	1,199.00	536.90	2.224											1,763.2	1,715.6	3.1
1-2		6.44	1,187.40	660.20	1,197.20	537.00	2.211											1,874.9	1,833.6	3.3
1-3		6.39	1,192.30	660.10	1,196.70	536.60	2.222											2,024.1	2,003.8	3.5
PROMEDIO							2.220	2.355	2.356	0.03	83.2	5.7	11.1	16.8	66.1	5.0	0.87		1,851.0	3.28
1-1	5.5	6.45	1,195.20	665.40	1,199.90	534.50	2.236											1,949.5	1,900.7	3.30
1-2		6.44	1,198.30	667.00	1,203.20	536.20	2.235											2,084.9	2,039.0	3.50
1-3		6.32	1,195.20	665.50	1,201.80	536.30	2.229											2,109.1	2,125.9	3.40
PROMEDIO							2.230	2.338	2.372	0.64	83.1	4.6	12.3	16.9	72.7	4.9	0.88		2,021.9	3.40
1-1	6.0	6.39	1,193.70	667.20	1,202.10	534.90	2.232											1,677.0	1,660.2	3.25
1-2		6.63	1,201.40	667.20	1,208.40	541.20	2.220											1,516.9	1,422.8	3.60
1-3		6.41	1,196.60	667.10	1,206.40	539.30	2.219											1,763.2	1,736.7	3.80
PROMEDIO							2.220	2.321	2.365	0.85	82.3	4.4	13.3	17.7	75.3	5.2	0.83		1,606.6	3.55
1-1	6.5	6.33	1,190.50	668.00	1,207.50	539.50	2.207											1,119.4	1,125.0	3.00
1-2		6.31	1,184.00	667.90	1,202.50	534.60	2.215											1,541.6	1,558.5	3.75
1-3		6.41	1,186.50	665.50	1,199.40	533.90	2.222											1,627.7	1,603.3	4.50
PROMEDIO							2.210	2.305	2.365	1.18	81.9	4.1	14.0	18.1	77.2	5.4	0.80		1,429.0	3.75
1-1	7.0	6.31	1,199.80	668.90	1,212.70	543.80	2.206											1,356.0	1,370.9	4.21
1-2		6.19	1,201.50	669.70	1,215.80	546.10	2.200											1,541.6	1,607.8	4.00
1-3		6.30	1,198.40	668.80	1,212.60	543.80	2.204											1,231.9	1,247.9	3.25
PROMEDIO							2.200	2.289	2.358	1.38	81.5	3.9	14.6	18.5	78.9	5.7	0.75		1,408.9	3.82

OBSERVACIONES:

ING. MILTON JESUS BOLANOS DELGADO  
ING. ALEXANDER TREJOS CERON

EJECUTO

REVISO



ANEXO G  
PESO ESPECIFICO MÁXIMO MEDIDO  
(Rice)

## ANEXO G. PESO ESPECIFICO MAXIMO MEDIDO (Rice)

Es el método utilizado para determinar la densidad de la parte solida de la briqueta, se lo deduce para cada porcentaje de asfalto en el ensayo Marshall y no se tienen en cuenta los vacíos del aire que se encuentran en las partículas cubiertas de asfalto.

### EQUIPO

**TAZA DE VACIO:** Recipiente metálico o plástico con tapa transparente conectado al vacio la cual permita observar la salida de burbujas.

**RECIPIENTE DE VACIO:** Matraz con capacidad entre 200 y 1000 ml acompañado de los elementos para aplicarle el vacio necesario para el ensayo.

**BOMBA DE VACIO:** Para aplicarle el vacio a el recipiente de vacío.

**MANÓMETRO:** para medir la presión residual que no debe sobrepasar los 4 Kpa.

**BALANZA:** con sensibilidad de 0.1 gr con al menos 3 decimales.

**HORNO:** con capacidad de temperatura de  $110 \pm 5$  °C.

**EQUIPO ADICIONAL:** termómetro, guantes y agua.

### PROCEDIMIENTO

Se lo determina siguiendo la norma INV – E 735 - 07 la siguiente expresión:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde

- A = Peso de la muestra*
- D = Peso del envase (Matraz + agua)*
- E = Peso del envase (Matraz + agua + muestra)*

Los datos obtenidos del ensayo se indican en la siguiente tabla:

**PESO ESPECÍFICO MAXIMO MEDIDO DE MEZCLAS CON CEMENTO  
ASFALTICO CONVENCIONAL PARA PAVIMENTO**

**METODO RICE**

PROCEDENCIA: BRICEÑO BAJO

DESCRIPCIÓN: MEZCLA TIPO MDC-2(INV-2007)

Prueba N°	1	2	3	4	5	6
Temperatura del agua °C	25	25	25	25	25	25
Factor de corrección	1	1	1	1	1	1
<b>Asfalto (%)</b>	<b>4.5</b>	<b>5.0</b>	<b>5.5</b>	<b>6.0</b>	<b>6.5</b>	<b>7.0</b>
Peso muestra (g)	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00	2,000.00
Peso matraz + muestra + agua (g)	6,384.60	6,383.20	6,388.70	6,386.40	6,386.50	6,383.90
Peso matraz + agua (g)	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00	5,232.00
Volumen muestra (cm <sup>3</sup> )	843.50	886.50	845.30	843.80	846.10	844.60
Volumen corregido a 25 °C (cm <sup>3</sup> )	843.50	886.50	845.30	843.80	846.10	844.60
<b>Peso específico máximo medido (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.360</b>	<b>2.356</b>	<b>2.372</b>	<b>2.365</b>	<b>2.365</b>	<b>2.358</b>

ANEXO H  
CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO  
ASFALTICO PROCEDENTE DE LA  
REFINERIA DE BARRANCABERMEJA  
EMPLEADO EN EL DISEÑO DE LA  
MEZCLA



GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA  
COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD  
Reporte de resultados de ensayo de laboratorio

11/06/2011 10:44:04 AM

Producto: ASFALTO 60/70  
Número de muestra: 203.021.972  
Fecha de Vo.Bo: 09-06-2011 21:08:15  
Almacenamiento: K0200

Vo Bo: SI

ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	METODO
VISCOSIDAD A 60 C	cP	155000	REPORTAR	ASTM D 4402
VISCOSIDAD A 60 C	cP	155000	REPORTAR	ASTM D 4402
VISCOSIDAD A 80 C	cP	15520	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 100 C	cP	2764	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 135 C	cP	302.5	REPORTAR	
VISCOSIDAD A 150 C	cP	150.5	REPORTAR	
DUCTILIDAD	cm	140	100 MINIMO	ASTM D 113 D
GRAVEDAD API	Grados API	7.2	REPORTAR	ASTM D 4052
GRAVEDAD API	Grados API	7.2	REPORTAR	ASTM D 4052
DENSIDAD A 15 °C	kg/m3	1019.6	REPORTAR	
PENETRACION A 25 C (77 F)	mm/10	70	60 MINIMO -70 MAXIM	ASTM D 5
PENETRACION A 25 C (77 F)	mm/10	70	60 MINIMO -70 MAXIM	ASTM D 5
INDICE DE PENETRACION	N/A	-1	REPORTAR	
PERDIDA DE MASA (RTFOT)	g/100g	0.33	1 MAXIMO	ASTM D 2872
PUNTO ABLANDAMIENTO	°C	47.6	45 MINIMO -55 MAXIM	ASTM D 36
PUNTO DE INFLAMACION	°C	302	232 MINIMO	ASTM D 92
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO	%	99.9	99 MINIMO	ASTM D 2042
VoBo	N/A	SI	REPORTAR	VISTO BUENO
VoBo	N/A	SI	REPORTAR	VISTO BUENO
COMENTARIO	N/A	NINGUNO	REPORTAR	

VoBo. Nombre:

Claudia Patricia Martínez Sarmiento

NOTA: Si tiene alguna duda en cuanto al producto favor comunicarse con la Gerencia de Comercialización:  
\* COORDINACIÓN DE COMERCIALIZACION BARRANCABERMEJA: (097620) 9900/9907 FAX (097620) 9071 Refinería ECOPETROL  
\* COORDINACIÓN DE PETROQUIMICOS E INDUSTRIALES BOGOTA: (091234) 5001/5091/5668/4670/5671/5666 FAX. (091231) 5665/5538 Calle 37 No. 7-43 Piso 8  
\* COORDINACIÓN DE COMBUSTIBLES BOGOTA: (091234) 5001/5091/5667/5491. FAX (091231) 5665/5538. Calle 37 N.O. 7-43 Piso 8.  
Para tramitar un reclamo se requiere comunicación escrita informando producto, No. de Factura y Objeto del Reclamo, además muestra del producto (Líquidos un galón, Sólidos 3 Kilos) Para el Polietileno añadir el número de lote.  
>>

Los Métodos ASTM D 1126, ASTM D 1262, UNE-EN 14111, ASTM D 2710, ASTM D 2590, ASTM D 5773, ASTM D 6371, EN 14078, ASTM D 3588, BS EN 14107, NF EN 14638, UNE EN 14103, ASTM D 3338, ASTM D6079, ASTM D127, ASTM D874, ASTM D5708, BS EN 12669, ASTM E 203, ISO 3961, ASTM D5900, ASTM E223, STANDARD METHODS 4500 Cl - C, STANDARD METHODS 4600 Cl - D, ASTM D 512A, STANDARD METHODS 4500 Nf3, STANDARD METHODS 4500 C02, STANDARD METHODS 5520 C, STANDARD METHODS 5520 B, STANDARD METHODS 5520 F, ASTM C 1111, ASTM D 1087, ASTM D 1128, ASTM D 1283, ASTM D 1978, SM 2540 B, SM 2540 C, SM 2540 D, ASTM D-3279, ASTM D 1180, ASTM D 1783, ASTM D 5, ASTM D 36, ASTM D 4402, ASTM D 2042, ASTM D 2872, ASTM D 113, ASTM D 8045, ASTM D 4176, ASTM D6584, ASTM D 1977, ASTM D4969, ASTM D 1500, ASTM D 92, ASTM D 1209, ASTM D 848, ASTM D 4492, ASTM D 852, ASTM D 1798, ASTM D 4377, ASTM D 4007, ASTM D 7169, ASTM D 3054 A y B, ASTM D 1078, ASTM D 2887, ASTM D 850, ASTM D 813, ASTM D 8468, ASTM D 4737, ASTM D 8217, ASTM D 8352, ASTM D1159, ASTM D1133, UNE-EN 14112, ASTM D2158, ASTM D2183, ASTM D-3279, ASTM D5904, ASTM D2420, ASTM D 909, ASTM D 873, ASTM D 2392, ASTM D 525, ASTM D 5059, UOP 262, ASTM D 5191, ASTM D 5580, ASTM D 2700, ASTM D 2699, ASTM D 1838, ASTM D 2526, ASTM D 6887, ASTM D 130, ASTM D 5453, ASTM D 6560, ASTM D 381, ASTM D 1094, ASTM D 4529, UOP 803, ASTM D 1218, ASTM D 5948, ASTM D 93, ASTM D 462, ASTM D 4530, ASTM D 4092, ASTM D 6002, ASTM D 97, ASTM D 446 procedimiento A y B, ASTM D 2270, ASTM D 664, ASTM D 86, ASTM D 3227, ASTM D 4294, ASTM D 2822, ASTM D 5708 Procedimiento A y B, ASTM D 5972, ASTM D 1840, ASTM D 3797, ASTM D 1401, ASTM D 87, ASTM D 721, ASTM D3230, CID-CID-136 de ECP, ASTM D 3351, DOW CP-32 Modificado ECP, ASTM D5776, ASTM D2712, ASTM D 1238, ASTM D 792, ASTM D 6280, ASTM D 1921, ASTM D 5630, ASTM D 1353, ASTM D 158, ASTM D 1319, ASTM D 5196, ASTM D 2380, ASTM D 3242, ASTM D 3048, ASTM D 811, ASTM D 3241, ASTM D 1322, ASTM D1208, ASTM D 2288, ASTM D 8890, ASTM D 56, ASTM D 1321, se encuentran acreditados bajo la norma ISO 17025 VERSION 2005, según certificado de acreditación del 23 de Junio de 2010, emitido por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACION DE COLOMBIA - CNAC.



**GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA**  
**COORDINACION INSPECCION DE CALIDAD**  
**Reporte de resultados de ensayo de laboratorio**

11/06/2011 10:44:04 AM

Producto: ASFALTO 60/70  
 Número de muestra: 203.021.972  
 Fecha de Vo.Bo: 09-06-2011 21:08:15  
 Almacenamiento: K0200

Vo Bo: SI

ANALISIS	UNIDAD	RESULTADO	ESPECIFICACION	METODO
<b>CURVA REOLÓGICA</b> 				
N/A: No Aplica	Comentario: NINGUNO			

VoBo. Nombre:

Claudia Patricia Martínez Sarmiento

NOTA: Si tiene alguna duda en cuanto al producto favor comunicarse con la Gerencia de Comercialización:

\* COORDINACIÓN DE COMERCIALIZACION BARRANCABERMEJA: (097620) 99009907 FAX (097620) 9071 Refinería ECOPETROL

\* COORDINACIÓN DE PETROQUIMICOS E INDUSTRIALES BOGOTÁ: (091234) 5001/5091/5668/4670/5671/5666 FAX. (091231) 5565/5538 Calle 37 No. 7-43 Piso 8.

\* COORDINACIÓN DE COMBUSTIBLES BOGOTÁ: (091234) 5001/5091/5667/5491. FAX (091231) 5565/5538. Calle 37 N.O. 7-43 Piso 8.

Para tramitar un reclamo se requiere comunicación escrita informando producto, No. de Factura y Objeto del Reclamo, además muestra del producto (Líquidos un galón, Sólidos 3 Kilos). Para el Polietileno adicionar el número de lote.

>>

Los Métodos ASTM D 1125, ASTM D 1252, UNE -EN 14111, ASTM D 2710, ASTM D 2500, ASTM D 5773, ASTM D 6371, EN 14078, ASTM D 3688, BS EN 14107, NF EN 14538, UNE EN 14103, ASTM D 3336, ASTM D8078, ASTM D127, ASTM D874, ASTM D5708, BS EN 12682, ASTM E 203, ISO 3961, ASTM D5980, ASTM E223, STANDARD METHODS 4500 Cl - C, STANDARD METHODS 4500 Cl - D, ASTM D 512A, STANDARD METHODS 4500 NF3, STANDARD METHODS 4500 CO2, STANDARD METHODS 5520 C, STANDARD METHODS 5520 B, STANDARD METHODS 5520 F, ASTM D 1111, ASTM D 1067, ASTM D 1126, ASTM D 1293, ASTM D 1976, SM 2540 B, SM 2540 C, SM 2540 D, ASTM D-3276, ASTM D 1180, ASTM D 1783, ASTM D 5, ASTM D 36, ASTM D 4402, ASTM D 2042, ASTM D 2872, ASTM D 113, ASTM D 6045, ASTM D 4176, ASTM D8594, ASTM D 1977, ASTM D4968, ASTM D 1500, ASTM D 92, ASTM D 1209, ASTM D 848, ASTM D 4452, ASTM D 852, ASTM D 1786, ASTM D 4377, ASTM D 4007, ASTM D 7169, ASTM D 3054 A y B, ASTM D 1078, ASTM D 2887, ASTM D 850, ASTM D 813, ASTM D 6486, ASTM D 4737, ASTM D 6217, ASTM D 6352, ASTM D1159, ASTM D1133, UNE-EN 14112, ASTM D2158, ASTM D2163, ASTM D-3276, ASTM D6504, ASTM D2420, ASTM D 909, ASTM D 873, ASTM D 2382, ASTM D 525, ASTM D 5059, UOP 262, ASTM D 5191, ASTM D 5680, ASTM D 2700, ASTM D 2699, ASTM D 1838, ASTM D 2588, ASTM D 6867, ASTM D 130, ASTM D 5483, ASTM D 6550, ASTM D 381, ASTM D 1094, ASTM D 4529, UOP 803, ASTM D 1214, ASTM D 5949, ASTM D 93, ASTM D 482, ASTM D 4530, ASTM D 4852, ASTM D 5002, ASTM D 97, ASTM D 445 procedimiento A y B, ASTM D 2270, ASTM D 964, ASTM D 86, ASTM D 3227, ASTM D 4294, ASTM D 2822, ASTM D 5708 Procedimiento Ay B, ASTM D 5972, ASTM D 1840, ASTM D 3797, ASTM D 1401, ASTM D 87, ASTM D 721, ASTM D3230, CID-CID-138 de ECP, ASTM D 3351, DOW OP 32 Modificado ECP, ASTM D5776, ASTM D2712, ASTM D 1238, ASTM D 782, ASTM D 6290, ASTM D 1821, ASTM D 5930, ASTM D 1353, ASTM D 158, ASTM D 1318, ASTM D 5186, ASTM D 2389, ASTM D 3242, ASTM D 3948, ASTM D 811, ASTM D 3241, ASTM D 1322, ASTM D1286, ASTM D 2386, ASTM D 6688, ASTM D 58, ASTM D 1321, se encuentran acreditados bajo la norma ISO 17025 VERSION 2005, según certificado de acreditación del 23 de Junio de 2010, emitido por el ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA - ONAC.

ANEXO I  
ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO  
MÉCANICOS REALIZADOS A LOS  
MATERIALES PETREOS



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**SECCIÓN DE LABORATORIOS**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO**

INV E-123

1. CODIGO

2. PAGINA

3. VERSIÓN

4. VIGENTE A PARTIR DE

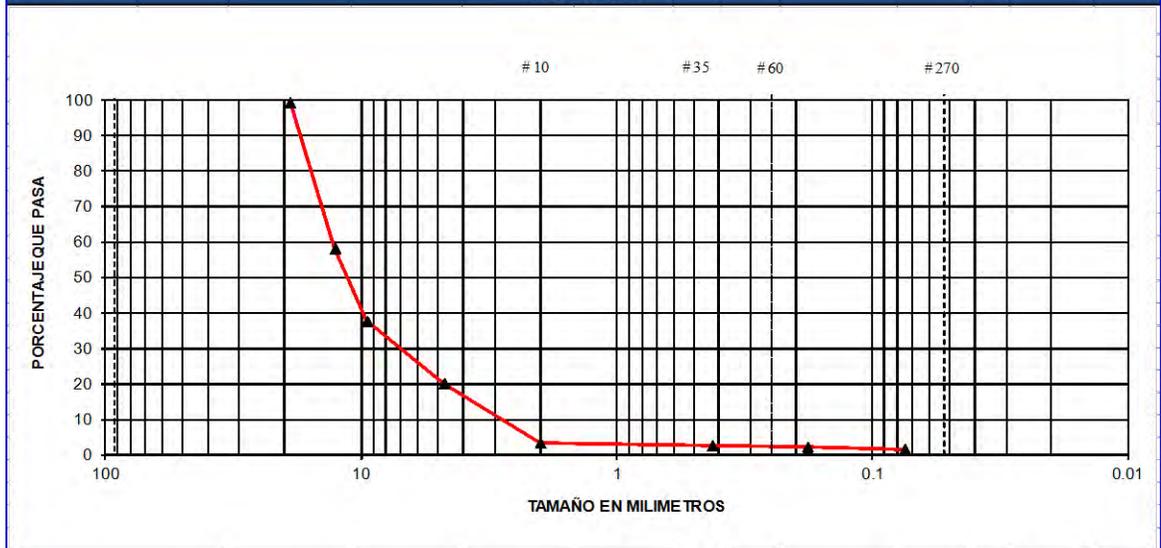
**PROYECTO:** TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS" **MUESTRA No** 1  
**DESCRIPCIÓN:** AGREGADO GRUESO **FUENTE:** CANTERA BRICEÑO BAJO  
**PROPIETARIO:** GERARDO NECTARIO PABON DIAZ

GRADACIÓN					
Peso inicial	27,182.00		Peso lavado		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
3/4	19.05	131.00	0.48	0.48	99.52
1/2	12.70	11,213.00	41.25	41.73	58.27
3/8	9.53	5,562.00	20.46	62.20	37.80
4	4.75	4,777.00	17.57	79.77	20.23
10	2.00	4,570.00	16.81	96.58	3.42
40	0.43	212.00	0.78	97.36	2.64
80	0.18	95.00	0.35	97.71	2.29
200	0.08	167.00	0.61	98.33	1.67
P-200		455.00	1.67	100.00	0.00

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1.90909$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 1.59584$$

**TAMICES**



**OBSERVACIONES:**

**8. DATOS DE ELABORACIÓN**

<b>CARGO:</b>	25.1. ELABORADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.2. APROBADO POR: Director de Dependencia
<b>NOMBRE:</b>			
<b>FIRMA:</b>			





**UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**SECCIÓN DE LABORATORIOS**

**ENSAYO DE GRANULOMETRIA LLENANTE**

INV E-123

1. CODIGO

2. PA GINA

3. V ERSIÓN

4. VIGENTE A PARTIR DE

**PROYECTO:** TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"

**MUESTRA No.** 1

**DESCRIPCIÓN:** AGREGADO FINO

**FUENTE:** CANTERA BRICEÑO BAJO

**PROPIETARIO:** GERARDO NECTARIO PABON DIAZ

**GRADACIÓN**

Peso inicial	100.00		Peso lavado		
Tamiz	Tamiz mm	Peso Retenido	% Retenido	% Ret Acum	% Pasa
3/4	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.00	0.00	0.00	0.00	100.00
40	0.43	48.70	48.70	48.70	51.30
80	0.18	23.20	23.20	71.90	28.10
200	0.08	22.30	22.30	94.20	5.80
P-200		5.80	5.80	100.00	0.00

**TAMICES**



**OBSERVACIONES:**

**8. DATOS DE ELABORACIÓN**

<b>CARGO:</b>	25.1. ELABORADO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.1. REVISA DO POR: Técnico Laboratorio de Suelos	25.2. APROBA DO POR: Director de Dependencia
<b>NOMBRE:</b>			
<b>FIRMA:</b>			

		<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>				1.CODIGO			
		<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>				2.PAGINA			
		<b>DESGASTE EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES</b>				3.VERSIÓN			
		<b>INV E-218 Y INV E-219</b>				4.VIGENTE APARTIR DE:			
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"				<b>MUESTRA No.</b>	1			
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO				<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO			
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ								
<b>ENSAYO No.</b>									
Gradación utilizada					B				
No de revoluciones					500.00	500.00	500.00		
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	5,000.00	5,000.00	5,000.00					
Peso de la muestra después (gr)	Pf	3,792.00	3,805.00	3,789.00					
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$		<b>24.16</b>	<b>23.90</b>	<b>24.22</b>				
Coefficiente de uniformidad									
Observaciones	Muestra del material traída al laboratorio por el interesado.								
<b>Datos sobre Gradación, carga abrasiva y Revoluciones</b>									
Tamiz									
gradación		A	B	C	D	1	2	3	
Pasa	Retenido	fracciones de agregado a pesar en gramos							
3	2 1/2					2,500 ± 50			
2 1/2	2					2,500 ± 50			
2	1 1/2					5,000 ± 50	5,000 ± 50		
1 1/2	1	1,250 ± 25					5,000 ± 25	5,000 ± 25	
1	3/4	1,250 ± 25						5,000 ± 25	
3/4	1/2	1,250 ± 25	2,500 ± 10						
1/2	3/8	1,250 ± 25	2,500 ± 10						
3/8	1/4			2,500 ± 10					
1/4	No 4			2,500 ± 10					
No 4	No 8				5,000 ± 10				
Peso total de muestra (gr)		5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	10,000 ± 100	10,000 ± 75	10,000 ± 50	
No. de esferas		12	11	8	6	12	12		
Peso de esferas (gr)		5000 ± 25	4,584 ± 25	3,330 ± 20	2,500 ± 10	5,000 ± 25	5,000 ± 25	5,000 ± 25	
No. de Revoluciones		500	500	500	500	1,000	1,000	1,000	
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>									
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>	<b>25.1. REVISADO POR:</b>			<b>25.2. APROBADO POR:</b>				
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio			Director de Dependencia				
<b>NOMBRE:</b>									
<b>FIRMA:</b>									

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>			1. CODIGO
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>			2. PAGINA
	<b>DESGASTE EN MICRO-DEVAL</b>			3. VERSIÓN
	<b>INV E-238</b>			4. VIGENTE A PARTIR DE:
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"		<b>MUESTRA No.</b>	1
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO		<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ			
<b>Gradación Tabla 1</b>	Pasante Tamiz	Retenido Tamiz	Masa g	
	3/4"	5/8"	375.60	
	5/8"	1/2"	375.80	
	1/2"	3/8"	750.20	<b>1,501.60</b>
<b>ENSAYO No.</b>				
Gradación utilizada		TABLA 1		
No de revoluciones		12,000 ± 100		
Peso de la muestra inicial (gr)	Pi	1,501.60		
Peso de la muestra después (gr)	Pf	1,345.40		
% Desgaste =	$\{(Pi - Pf) / Pi\} * 100$	<b>10.40</b>		
<b>Coefficiente de uniformidad</b>				
<b>Observaciones</b>				
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>				
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>	<b>25.1. REVISADO POR:</b>	<b>25.2. APROBADO POR:</b>	
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio	Director de Dependencia	
<b>NOMBRE:</b>				
<b>FIRMA:</b>				

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>				1.CODIGO	
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>				2.PAGINA	
	<b>ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO POR SULFATO DE SODIO</b>				3.VERSION	
	INV E-220				4.VIGENTE A PARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b>		TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"			<b>MUES TRA No:</b> 1	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		AGREGADO FINO			<b>FUENTE:</b> CANTERA BRICEÑO BAJO	
<b>PROPIETARIO:</b>		GERARDO NECTARIO PABON DIAZ				
<b>ANALISIS CUANTITATIVO</b>						
<b>Fraciones</b>		<b>Peso inicial</b>	<b>Peso final</b>	<b>% Perdida</b>	<b>Granulometria</b>	<b>% Perdida</b>
<b>Pasa</b>	<b>Retenido</b>	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100.0	80.3	19.7	17.3	3.9
No 4	No 8	100.0	89.3	10.7	35.3	4.3
No 8	No 16	100.0	90.6	9.4	30.1	3.2
No 16	No 30	100.0	90.9	9.1	5.2	0.5
No 30	No 50	-	-	-	-	-
<b>PERDIDA TOTAL CORREGIDA</b>						<b>11.9</b>
<b>SOLUCIÓN UTILIZADA:</b> Sulfato de sodio						
<b>OBSERVACIONES</b>						
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>		<b>25.1. REVISADO POR:</b>		<b>25.2. APROBADO POR:</b>	
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
<b>NOMBRE:</b>						
<b>FIRMA:</b>						

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>			1.CODIGO		
	SECCIÓN DE LABORATORIOS			2.PAGINA		
	<b>ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO FINO PORSULFATO DE MAGNECIO</b>			3.VERSION		
	INV E-220			4.VIGENTE APARTIR DE:		
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"		<b>MUESTRA No.</b>	1		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO FINO		<b>FUENTE</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO		
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ					
<b>ANALISIS CUANTITATIVO</b>						
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida
3/8"	No 4	100.0	72.1	27.9	17.3	5.5
No 4	No 8	100.0	75.3	24.7	35.3	9.9
No 8	No 16	100.0	95.5	4.5	30.1	1.5
No 16	No 30	100.0	90.5	9.5	5.2	0.6
No 30	No 50	-	-	-	-	-
<b>PERDIDA TOTAL CORREGIDA</b>						<b>17.5</b>
<b>SOLUCIÓN UTILIZADA:</b>					Sulfato de magnesio	
<b>OBSERVACIONES</b>						
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>		<b>25.1. REVISADO POR:</b>		<b>25.2. APROBADO POR:</b>	
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
<b>NOMBRE:</b>						
<b>FIRMA:</b>						

		<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>  <b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b> <b>ENSAYO DE DURABILIDAD AGREGADO GRUESO</b> <b>CON SULFATO DE MAGNECIO</b> <b>INV E - 220</b>				1. CODIGO	
						2. PAGINA	
						3. VERSIÓN	
						4. VIGENTE A PARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"			<b>MUESTRA No.</b>	1		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO			<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO		
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ						
ANALISIS CUANTITATIVO							
Fracciones		Peso inicial	Peso final	% Perdida	Granulometria	% Perdida	
Pasa	Retenido	P1 (gr)	P2 (gr)	$\{(P1-P2)/P1\} * 100$	original	Corregida	
		0	0	0			
3/4"	1/2"	670.1	623.8	6.9	41.3	2.9	
1/2"	3/8"	330.3	309.0	6.4	20.5	1.3	
3/8"	No 4	300.0	296.0	1.3	34.4	0.5	
<b>Perdida total corregida:</b>					$\Sigma$	<b>4.63</b>	
ANALISIS CUALITATIVO							
Fracciones		No inicial de	Numero de particulas despues del ensayo				
Pasa	Retenido	particulas	Enteras	Partidas	Porosas	Foliadas	Agrietadas
2 1/2"	1 1/2"						
1 1/2"	3/4"	43	42	0	0	1	1
<b>Otras Fracciones</b>				Si _____	Si _____	Si _____	Si _____
				No _____	No _____	No _____	No _____
<b>Observaciones</b>		<b>Solución Utilizada:</b>	<b>No de Ciclos</b>				
Fracciones a ensayar y cantidades a pesar en gramos							
Fracción No 1		Fracción No 2		Fracción No 3		Fracción No 4	
2 1/2" - 2"	3,000 ± 300	1 1/2" - 1"	1,000 ± 50	3/4" - 1/2"	670 ± 10	3/8" - No 4	300 ± 5
2" - 1 1/2"	2,000 ± 200	1" - 3/4"	500 ± 30	1/2" - 3/8"	330 ± 5		
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia		
<b>NOMBRE:</b>							
<b>FIRMA:</b>							

	<b>UNIVERSIDAD DE MARIÑO</b>				1.CODIGO	
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>				2.PAGINA	
	<b>ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS</b>				3.VERSIÓN	
	<b>INVE - 227102</b>				4.VIGENTE APARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b> TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS" MUESTRA No. 1						
<b>DESCRIPCIÓN:</b> AGREGADO GRUESO FUENTE: CANTERA BRICEÑO BAJO						
<b>PROPIETARIO:</b> GERARDO NECTARIO PABON DIAZ						
<b>TAMIZ</b>		<b>PESO DE LA MUESTRA</b>	<b>PESO MATERIAL CON CARAS FRAC.</b>	<b>PORCENT. CON CARAS FRACTUR.</b>	<b>PORCENT. RETENIDO GRADAC. ORIGINAL</b>	<b>CÁLCULO FINAL</b>
<b>PASA</b>	<b>RETENIDO</b>	<b>(Grs)</b>	<b>(Grs)</b>	<b>(B/A X 100)</b>	<b>(%)</b>	<b>(C X D)</b>
		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
3/4"	1/2"	1,200.0	1,185.0	98.8	58.3	5,753.8
1/2"	3/8"	300.0	297.0	99.0	37.8	3,742.6
<b>TOTAL</b>		<b>1,500.0</b>	<b>1,482.0</b>	<b>197.8</b>	<b>96.1</b>	<b>9,496.5</b>
<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS =</b>			<b>TOTAL E</b>	<b>98.8 %</b>		
			<b>TOTAL D</b>			
<b>ESPECIFICACIÓN</b>		<b>BASE GRANULAR</b>		<b>50% MÍNIMO</b>		
		<b>MEZCLA ASFÁLTICA</b>		<b>75% MÍNIMO</b>		
		<b>CONCRETO</b>		<b>60% MÍNIMO</b>		
<b>OBSERVACIONES:</b>						
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>	<b>25.1. REVISADO POR:</b>	<b>25.2. APROBADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
<b>NOMBRE:</b>						
<b>FIRMA:</b>						

		<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>				1.CODIGO	
		<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>				2.PAGINA	
		<b>INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE AGREGADOS</b>				3.VERSIÓN	
		INV E-230 Y 240 (5:1)				4.VIGENTE A PARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b>		TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"			<b>MUESTRA No.</b> 1		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>		AGREGADO GRUESO			<b>FUENTE:</b> CANTERA BRICEÑO BAJ		
<b>PROPIETARIO:</b>		GERARDO NECTARIO PABON DIAZ					
INDICE DE ALARGAMIENTO							
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Alargadas	PORCENTAJE Part. Alargadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL	
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E= (Cx D)	
2"	1-1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1-1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3/4"	1/2"	1,080.5	407.5	37.7	41.3	1,555.8	
1/2"	3/8"	490.7	372.0	75.8	20.5	1,551.2	
3/8"	1/4"	204.9	177.6	0.0	17.6	0.0	
<b>TOTAL</b>		<b>1,776.1</b>	<b>957.1</b>	<b>113.5</b>	<b>79.3</b>	<b>3,107.0</b>	
<b>ÍNDICE DE ALARGAMIENTO =</b>			<b>TOTAL E / TOTAL D</b>		<b>39 %</b>		
INDICE DE APLANAMIENTO							
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	PESO MATERIAL Part. Aplanadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas	% RETENIDO Gradación Original	CÁLCULO FINAL	
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (g)	B (g)	C= (B/Ax100)	D	E=(Cx D)	
2"	1-1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1-1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
3/4"	1/2"	1,080.5	360.9	33.4	41.3	1,377.9	
1/2"	3/8"	490.7	129.7	26.4	20.5	540.8	
3/8"	1/4"	204.9	70.0	34.2	17.6	600.4	
<b>TOTAL</b>		<b>1,776.1</b>	<b>560.6</b>	<b>94.0</b>	<b>79.3</b>	<b>2,519.1</b>	
<b>ÍNDICE DE APLANAMIENTO =</b>			<b>TOTAL E / TOTAL D</b>		<b>32 %</b>		
INDICE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS							
TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTRA	CANTIDAD MATERIAL Part. Aplanadas y alargadas	PORCENTAJE Part. Aplanadas y alargadas			
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	A (Und)	B (Und)	C= (B/Ax100)			
3/4"	1/2"	100.0	10	10.0			
1/2"	3/8"	100.0	9	9.0			
<b>PORCENTAJE DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS ( 5:1 )</b>				<b>9.5</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b>		NO SE RECOMIENDA PARA TRATAMIENTO SUPERFICIAL SIMPLE Y DOBLE					
8. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:		
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia		
<b>NOMBRE:</b>							
<b>FIRMA:</b>							

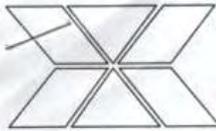
	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>						1.CODIGO	
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>						2.PAGINA	
	<b>ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA</b>						3.VERSIÓN	
	<b>INV E - 133/07</b>						4.VIGENTE A PARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"				<b>MUESTRA No.</b>	1		
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO				<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO		
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ							
<b>ENSAYO N°.</b>		<b>1</b>			<b>2</b>			
<b>PROBETA</b>	<b>No.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>LECTURA ARCILLA</b>	<b>(mm)</b>	118.0	129.0	123.0	128.0	113.0	124.0	
<b>LECTURA ARENA</b>	<b>(mm)</b>	79.0	89.0	90.0	98.0	83.0	93.0	
<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>	<b>(%)</b>	67	69	73	77	73	75	
<b>PROMEDIO</b>	<b>(%)</b>	<b>70</b>			<b>75</b>			
<b>Condiciones de la arena para el ensayo</b>								
<b>Húmeda</b>		<b>Seca al aire</b>	<b>x</b>		<b>Seca al homo</b>			
<b>Observaciones</b>								
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>								
	<b>25.1. ELABORADO POR:</b>		<b>25.1. REVISADO POR:</b>		<b>25.2. APROBADO POR:</b>			
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia			
<b>NOMBRE:</b>								
<b>FIRMA:</b>								

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>						1.CODIGO
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>						2.PAGINA
	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS</b>						3.VERSIÓN
	<b>INV E - 223</b>						4.VIGENTE APARTIR DE:
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS" MUESTRA No. 1						
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO			<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO		
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ						
<b>ENSAYO No.</b>							
			1	2	3	4	Promedio
Temperatura de ensayo	°C	-	-	-	-	-	
Peso de la muestra sss	W <sub>sss</sub>	gr	907.3	986.3	1,148.5	1,352.4	
Peso de la muestra en el agua	W <sub>a</sub>	gr	566.0	613.6	716.3	842.1	
Peso de la muestra seca	W <sub>s</sub>	gr	896.9	959.6	1,096.5	1,321.4	
W <sub>s</sub> - W <sub>a</sub>		gr	330.9	346.0	380.2	479.3	
W <sub>sss</sub> - W <sub>a</sub>		gr	341.3	372.7	432.2	510.3	
<b>Densidad Nominal</b>	= W <sub>s</sub> / W <sub>s</sub> -W <sub>a</sub>	gr/cm <sup>3</sup>	2.710	2.773	2.884	2.757	<b>2.781</b>
<b>Densidad Aparente</b>	= W <sub>s</sub> / W <sub>sss</sub> - W <sub>a</sub>	gr/cm <sup>3</sup>	2.628	2.575	2.537	2.589	<b>2.582</b>
<b>Densidad Aparente SSS</b>	= W <sub>sss</sub> / W <sub>sss</sub> - W <sub>a</sub>	gr/cm <sup>3</sup>	2.658	2.646	2.657	2.650	<b>2.653</b>
<b>Absorción</b>	= ( W <sub>sss</sub> - W <sub>s</sub> / W <sub>s</sub> ) * 100	%	1.160	2.782	2.435	2.346	<b>2.181</b>
Peso canastilla		gr	142.5	143.5	112.9	148.2	
peso canastilla + muestra sss		gr	1,049.8	1,129.8	1,261.4	1,500.6	
peso muestra sss		gr	907.3	986.3	1,148.5	1,352.4	
peso canastilla + muestra en el agua		gr	614.1	661.7	764.4	890.2	
Peso canastilla en el agua		gr	48.1	48.1	48.1	48.1	
Peso muestra en el agua		gr	566.0	613.6	716.3	842.1	
Peso muestra seca + recipiente		gr	1,030.2	1,107.2	1,237.5	1,470.0	
Peso recipiente		gr	133.3	147.6	141.0	148.6	
Peso muestra seca		gr	896.9	959.6	1,096.5	1,321.4	
<b>Observaciones</b>							
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:				
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia				
<b>NOMBRE:</b>							
<b>FIRMA:</b>							

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>				1.CODIGO	
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>				2.PAGINA	
	<b>GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS</b>				3.VERSIÓN	
	<b>INV E - 222</b>				4.VIGENTE APARTIR DE:	
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"			<b>MUESTRA No</b>	1	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO FINO			<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO	
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ					
<b>ENSAYO No.</b>			1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo		°C	21	21	22	
Peso de la muestra sss	W <sub>sss</sub>	gr	250.1	250.1	250.1	
Peso matraz + agua	W <sub>ma</sub>	gr	633.6	643.1	645.9	
Peso matraz + agua + muestra	W <sub>nam</sub>	gr	788.8	798.4	801.3	
Peso muestra seca	W <sub>s</sub>	gr	243.4	243.5	243.0	
<b>Densidad Nominal = <math>W_s / W_s + W_{ma} - W_{nam}</math></b>		gr/cm <sup>3</sup>	2.760	2.761	2.774	2.765
<b>Densidad Aparente = <math>W_s / W_{sss} + W_{ma} - W_{nam}</math></b>		gr/cm <sup>3</sup>	2.565	2.569	2.566	2.566
<b>Densidad Aparente SSS = <math>W_{sss} / W_{sss} + W_{ma} - W_{nam}</math></b>		gr/cm <sup>3</sup>	2.635	2.638	2.641	2.638
<b>Absorción = <math>(W_{sss} - W_s / W_s) * 100</math></b>		%	2.753	2.710	2.922	2.795
Peso muestra seca + recipiente		gr	386.90	391.70	376.30	
Peso recipiente		gr	143.50	148.20	133.30	
Peso muestra seca		gr	243.40	243.50	243.00	
<b>Observaciones</b>						
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
<b>NOMBRE:</b>						
<b>FIRMA:</b>						

	<b>UNIVERSIDAD DE NARIÑO</b>			1.CODIGO
	<b>SECCIÓN DE LABORATORIOS</b>			2.PAGINA
	<b>DETERMINACION DE LA LIMPIEZA SUPERFICIAL DE LAS PARTICULAS DE AGREGADO GRUESO</b>			3.VERSIÓN
	<b>INV E - 237</b>			4.VIGENTE A PARTIR DE:
<b>PROYECTO:</b>	TESIS DE GRADO "POSTGRADO EN INGENIERIA DE CARRETERAS"	MUESTRA No.	1	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	AGREGADO GRUESO	<b>FUENTE:</b>	CANTERA BRICEÑO BAJO	
<b>PROPIETARIO:</b>	GERARDO NECTARIO PABON DIAZ			
<b>ENSAYO No.</b>				
		1	2	3
Peso de la muestra para humedad inicial	Mh	gr	2054.3	
Peso de la muestra para humedad final	Ms	gr	2033.1	
Peso de la muestra para ensayo inicial	Mhe	gr	1937.8	
Peso de la muestra para ensayo final	M	gr	1885.4	
Humedad de la muestra	$w = \frac{Mh - Ms}{Ms}$	gr/cm <sup>3</sup>	0.010	
Cantidad de Masa seca	$Mse = \frac{Mhe}{1 + w}$	gr/cm <sup>3</sup>	1,917.802	
<b>Impurezas</b>	$= Mse - M$	gr/cm <sup>3</sup>	32.402	
<b>Coef. De impurezas</b>	$= \frac{Mse - M}{Mse} * 100$	%	1.690	
<b>Observaciones</b>				
<b>8. DATOS DE ELABORACIÓN</b>				
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:	
<b>CARGO:</b>	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia	
<b>NOMBRE:</b>				
<b>FIRMA:</b>				

ANEXO J  
FACTURA DE COMPRA DE LOS  
EQUIPOS



**DIRIMPEX** LTDA.

BOGOTA, D.C. Carrera 38A No. 25 -66  
PBX:(57-1) 268 8496 - 268 6834  
268 2815 Fax: (57 - 1 ) 268 2254  
www.dirimpex.com  
BOGOTA, D.C. - COLOMBIA

MEDELLÍN:  
Cra. 79A No. 45D - 91 PBX: (57-4) 250 9928  
Tel.: 411 8121 - 411 0950

SEÑOR(S)

Javier Enriquez Bravo  
Nit. 98.379.545  
Carrera 32A No. 1 Oeste - 84 Barrio Primavera  
092 7297747 / 315 3383064  
Pasto

**FACTURA DE VENTA** Nº **17847**  
Bogotá D.C. Julio 07 de 2011

Fecha: \_\_\_\_\_ Contado  
Condiciones de pago: \_\_\_\_\_

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN	CANT.	V. UNITARIO	TOTAL
AP-168	Dispositivo para extraer las briquetas del molde Marshall.	1	38.500	38.500
AP-167C	Sujetador para el molde Marshall. montado sobre base metálica de 30 cm x 30 cm x 25.4 mm con pedestal de madera con angulos para fijarlo al piso. soporte-guia para el martillo y martillo compactador Marshall.	1	1.021.000	1.021.000
AP-166	Molde metálico para compactar las briquetas de asfalto para el ensayo Marshall. de 4" ( 101.6 mm ) de diámetro con collar y base.	1	107.500	107.500
82-T1007	Anillo de carga "Controls" de 30 kN de capacidad, con comparador de carátula y carta de calibración.	1	1.883.800	1.883.800
H-1344M	Medidor de flujo para ensayo Marshall, con comparador de carátula de 2-1/4", con rango de 25 mm x 0.25 mm, en el sentido de las agujas del reloj, con freno para detección de la lectura máxima y soporte para montaje.	1	644.300	644.300
Codigo vendedor 11 Javier Erazo				
Remisión No: 15177				

Favor realizar consignación y/o transferencia en nuestras siguientes cuentas corrientes:

**BANCOLOMBIA No. 20217500655 - CITIBANK No. 651895022**

Nit. 860.516.281-9 - Impoventas Régimen Común - Reg 03 - 1643 - 12  
Actividad Económica I.C.A. - Comercial 5269; Servicios 5170

Facturación del No. 12.373 al 20.000 - Resolución DIAN No. 320000582047 de Julio 7 de 2009  
**SIRVASE PAGAR ESTA FACTURA CON CHEQUE CRUZADO A NOMBRE DE DIRIMPEX LTDA.**

Esta factura de venta se asimila en todos sus efectos a la letra de cambio y presta mérito ejecutivo de conformidad con los artículos 774 y subsiguientes del Código de Comercio.  
IGUALMENTE LA FIRMA DE ESTA FACTURA EQUIVALE A LA CONSTANCIA DE ENTREGA REAL Y MATERIAL DE LOS PRODUCTOS RELACIONADOS EN LA MISMA

Aceptada

\_\_\_\_\_  
Firma y Sello

SUB TOTAL \$

3.695.100

IMPOVENTAS 16% \$

591.216

TOTAL \$

4.286.316

**DIRIMPEX** LTDA  
www.dirimpex.com

\_\_\_\_\_  
Firma Autorizada

IMPRESO POR GRAFICOS MAMANI SUTTA E CIA S.C. TEL. 41.716.1014 TEL. 2390645



# DIRIMPEX LTDA. NIT: 860.516.281-9

Principal: Carrera 38A N° 25 - 66 PBX(1) 268 84 96 - Fax: (1) 268 22 54 - Bogota D.C. - Colombia

Regional Medellin: Carrera 79A N° 45D - 91 - Teléfonos: 250 99 28 - 411 81 21 - 411 09 50

Servicio Técnico: Carrera 32 N° 15 - 87 - Teléfonos: 247 15 64 - 201 47 48 - Bogotá D.C.

REGIMEN COMUN - NO SOMOS GRANDES CONTRIBUYENTES - ACTIVIDAD ICA COMERCIAL 5246 ACTIVIDAD ICA SERVICIOS 5170

<b>CLIENTE:</b> JAVIER ENRIQUEZ BRAVO	<b>FACTURA DE VENTA N°F1-55</b>	
<b>NIT:</b> 98379545	<b>FECHA FACTURA</b>	<b>FECHA VENCIMIENTO</b>
<b>DIRECCION:</b> CARRERA 32A # 1 OESTE - 84 BARRIO PRIMAVERA	2011/08/17	2011/08/17
<b>TELEFONO:</b> 0927297747	<b>CONDICIONES DE PAGO</b>	<b>ORDEN N°</b>
<b>CIUDAD:</b> PASTO	CONTADO	

FACTURA POR COMPUTADOR - RESOLUCION DIAN 320000796926 DEL 17-JUN-2011. RANGO AUTORIZADO DEL F1-0 AL 2000

CODIGO	DESCRIPCION	CAN.	VLR. UNIT.	TOTAL
020516100879	Termómetro bi-metálico de carátula de 1-3/4" y bulbo de 8" de longitud con punta para penetración, graduado de 0 a 250 x 2 grados centígrados.	1	89,200.00	89,200.00
GT-100R-8	Termómetro bi-metálico de carátula de 1-3/4" y bulbo de 8" de longitud con punta para penetración, graduado de 100 a 400 x 5 grados centígrados.	1	89,200.00	89,200.00
AP-166	Molde metálico para compactar las briquetas de asfalto para el ensayo Marshall. de 4" ( 101.6 mm ) de diámetro con collar y base.	1	95,000.00	95,000.00
SM-1010	Pistón para penetración CBR de 2" ( 50.8 mm) diámetro por 4" ( 101.6 mm) de altura, con rosca según pedido, para conectarlo al anillo o la celda de carga.	1	45,000.00	45,000.00

SON: TRESCIENTOS SESENTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y CUATRO PESOS CON 00/100	<b>SUBTOTAL</b>	<b>318,400.00</b>
	<b>IVA</b>	<b>50,944.00</b>
Remisiones: .110.	<b>RETE FUENTE</b>	<b>0.00</b>
	<b>RETE IVA</b>	<b>0.00</b>
	<b>RETE ICA</b>	<b>0.00</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>369,344.00</b>

FAVOR REALIZAR CONSIGNACION Y/O TRANSFERENCIA EN NUESTRAS SIGUIENTES CUENTAS CORRIENTES:  
 BANCOLOMBIA N° 20217500655 - CITIBANK N° 651895022  
 SIRVASE PAGAR ESTA FACTURA CON CHEQUE CRUZADO A NOMBRE DE DIRIMPEX LTDA.  
 ESTA FACTURA DE VENTA SE ASIMILA EN TODOS SUS EFECTOS A LA LETRA DE CAMBIO Y PRESTA MERITO EJECUTIVO DE CONFORMIDAD CON LOS ARTICULOS 774 Y SUBSIGUIENTES DEL CODIGO DE COMERCIO.  
 IGUALMENTE LA FIRMA DE ESTA FACTURA EQUIVALE A LAS CONSTANCIA DE ENTREGA REAL Y MATERIAL DE LOS PRODUCTOS RELACIONADOS EN LA MISMA.

DIRIMPEX LTDA

ACEPTADA COMPRADOR

FECHA DE RECIBIDO