

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
SEDE JAÉN



**INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN EN EL
MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN LA CARRETERA
PERICOS - SAN IGNACIO - CAJAMARCA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR:

BACHILLER: MADELENYN JUDITH SÁNCHEZ LÓPEZ

ASESOR: ING. WILLIAM PRÓSPERO QUIROZ GONZÁLES

JAÉN - CAJAMARCA - PERÚ

2014

COPYRIGHT © 2014 by
MADELEYNY JUDITH SÁNCHEZ LÓPEZ
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A MI DIOS PADRE:

Por haberme guiado en cada momento y por permitirme alcanzar este logro académico.

A MI MADRE

El tiempo que me ha absorbido y quitado la elaboración de esta investigación está compensado por el orgullo del trabajo final obtenido. El tiempo restado a la dedicación a mi familia, quedará siempre en el debe, no podré nunca compensar la balanza, por lo que les dedico todo este esfuerzo y mi trabajo a mi madre Margarita López Campos por su amor incondicional, por su apoyo, sus consejos, su disciplina y todo esfuerzo que realiza para forjarme, la amo y agradezco al Señor por su vida y a mi hermana y demás familiares y amigos que me han ayudado y apoyado en los momentos difíciles por los que se pasa durante la elaboración de una tesis.

A MI PADRE

Moisés Orlando Sánchez Díaz, que siempre quiso que sea una excelente profesional y puede sentirse orgulloso de mí.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso que me ha llevado por todo este caminar guiándome con su Espíritu de sabiduría y fortaleza para poder cumplir cada una de las metas de mi vida.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, que me dio la oportunidad de tener una educación integral que me formó como profesional de bien para un mundo mejor.

Al Ing. Dusko Andelejic, por permitir hacer el uso del Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Empresa Energoprojekt Niskogradnja S.A, que me facilitó las instalaciones, equipos, materiales para el desarrollo de la parte experimental del ensayo del trabajo de graduación y especialmente al Téc. Ytalo Daniel Cauper Sajami por su apoyo, colaboración y disponibilidad y a todos mis compañeros de laboratorio por su desinteresada ayuda en la ejecución y gestión de numerosos ensayos realizados.

Al asesor Ing. William Próspero Quiroz Gonzáles y al Dr. Valentín Paredes Oliva por sus valiosas colaboraciones para la interpretación de los resultados obtenidos de los ensayos.

ÍNDICE

Contenido	Página
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE ABREVIACIONES.....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	4
2.1.1 Internacionales.....	4
2.1.2 Nacionales.....	6
2.2 BASES TEÓRICAS.....	6
2.2.1 MEZCLA ASFÁLTICA.....	6
2.2.1.1 Propiedades consideradas en la mezcla asfáltica.....	7
2.2.1.1.1 Estabilidad.....	7
2.2.1.1.2 Durabilidad.....	7
2.2.1.1.3 Impermeabilidad.....	7
2.2.1.1.4 Trabajabilidad.....	7
2.2.1.1.5 Flexibilidad.....	7
2.2.1.1.6 Resistencia a la fatiga.....	8
2.2.1.1.7 Resistencia al deslizamiento.....	8
2.2.1.2 Tipología de las mezclas asfálticas.....	8
2.2.1.2.1 Mezclas asfálticas en caliente.....	8
2.2.1.2.2 Mezclas asfálticas en frío.....	9
2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	10
2.2.2.1 Método Marshall.....	10
2.2.2.2 Parámetros Marshall.....	11
2.2.2.2.1 Gravedad específico Bulk.....	11
2.2.2.2.2 Gravedad específico teórico máxima – Rice.....	12
2.2.2.2.3 Densidad.....	12
2.2.2.2.4 Porcentaje de vacíos en mezcla compactada.....	13
2.2.2.2.5 Estabilidad Marshall.....	14
2.2.2.2.6 Flujo Marshall.....	15
2.2.3 MÓDULO DINÁMICO.....	15
2.2.3.1 Factores que afectan al módulo dinámico.....	16
2.2.3.1.1 Tipo y contenido de asfalto.....	16
2.2.3.1.2 Temperatura.....	17
2.2.3.1.3 Tipo de agregado.....	17

2.2.3.2	Método para la obtención del módulo dinámico.....	17
2.2.3.2.1	Compresión Edométrica.....	18
2.3	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.....	18
2.4	DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS.....	19
	CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
3.1	UBICACIÓN.....	21
3.2	MATERIALES Y EQUIPOS.....	24
3.2.1	Materiales.....	24
3.2.2	Equipos.....	24
3.3	DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	26
3.4.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	27
3.4.1.1	Agregados pétreos.....	27
3.4.1.1.1	Ensayos realizados al agregado.....	27
3.4.1.2	Cemento asfáltico.....	27
3.4.1.3	Filler mineral.....	28
3.4.1.4	Aditivo de adherencia.....	28
3.4.2	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	28
3.4.3	ELABORACIÓN DE BRIQUETAS.....	28
3.4.3.1	Gravedad específico bulk.....	29
3.4.3.2	Estabilidad y flujo Marshall.....	30
3.4.3.3	Densidad y vacíos - RICE.....	30
3.4.4	ENSAYO DE COMPRESIÓN EDOMÉTRICA.....	30
	CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.1	Análisis.....	31
4.2	Discusión.....	43
	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1	Conclusiones.....	44
5.2	Recomendaciones.....	44
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
	ANEXO A - TABLAS.....	47
	ANEXO B - FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
	ANEXO C - FIGURAS.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Título	Página.
Tabla 1. Clases de MAC.....	9
Tabla 2. Criterios para el diseño Marshall.....	11
Tabla 3. Selección del tipo de cemento asfáltico.....	27
Tabla 4. Gravedad específico máximo de la mezcla – RICE.....	31
Tabla 5. Densidad, Vacíos, Estabilidad y Flujo Marshall.....	32
Tabla 6. Geometría de briquetas Marshall	35
Tabla 7. Módulo dinámico (20°C).....	36
Tabla 8. Módulo dinámico (30°C).....	37
Tabla 9. Módulo dinámico (40°C)	38
Tabla 10. Módulo dinámico (50°C)	39
Tabla 11. Módulo dinámico (60°C)	40
Tabla 12. Cuadro resumen de módulo dinámico.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Título	Página.
Figura 1. Plano de ubicación.....	22
Figura 2. Plano localización.....	23
Figura 3. Diagrama de la metodología de la investigación.....	26
Figura 4. Codificación de briquetas Marshal.....	29
Figura 5. Variación de la densidad con respecto a la temperatura de compactación.....	33
Figura 6. Variación de vacíos con respecto a la temperatura de compactación.....	33
Figura 7. Variación de la estabilidad con respecto a la temperatura de compactación.....	34
Figura 8. Variación del flujo con respecto a la temperatura de compactación.....	35
Figura 9. Variación del módulo dinámico con respecto a la temperatura de compactación.....	42
Figura 10. Variación del módulo dinámico con respecto a la temperatura de compactación.....	43

LISTA DE ABREVIACIONES

- AASHTO : Asociación Americana de Autopistas y Transportes (American Association of State and Highway Transportation).
- AASHTO T 166 : Bulk Specific Gravity of Compacted Asphalt Mixture Vring Saturated Surface _DRY Specimens.
- ASTM : Asociación Americana de Ensayo y Materiales (American Society Testing and Material)
- ASTM D 1559 : Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture Using Marshall Apparatus.
- ASTM D 2435 : Standard Test Method for One-Dimensional consolidation Properties of Soils.
- ASTMD D 3549 : Standard Test Method for Thickness or Height of Compacted Bituminous Paving Mixture Specimens
- MTC. : Ministerio de Transportes y Comunicaciones
- MTC E 504 : Resistencia de Mezcla Bituminosas empleando el aparato Marshall
- MTC 508 : Peso Específico Teórico de Mezclas Asfálticas para Pavimentos.
- MTC 514 : Peso Especifico Aparente y Peso Unitario de Mezclas Asfálticas Compactadas Empleando Especímenes Saturados con Superficie Seca.

RESUMEN

Se tuvo como objetivo determinar los valores del módulo dinámico para las temperaturas de 100 y 150°C y el porcentaje de variación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica de la carretera San Ignacio – Pericos, se siguió el procedimiento de la Norma ASTM D1559, mediante el método Marshall se fabricaron 18 briquetas, de un tipo de mezcla que contiene los mismos agregados, granulometría, contenido de asfalto, tipo de energía de compactación (75 golpes por cara), variando sólo en la temperatura de compactación a 100, 110, 120, 130, 140 y 150°C. Se determinó las deformaciones de las briquetas, mediante el ensayo de compresión edométrica a temperaturas de 20, 30, 40, 50 y 60°C según lo especificado en la Norma ASTM D 2435. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyó que para las temperaturas de 100 y 150°C sus valores son 8,38 y 9,15 MPA respectivamente y asimismo el módulo dinámico varía descendiendo un 13% para la temperatura de compactación de 100°C.

Palabras clave: mezcla asfáltica, módulo dinámico, temperatura de compactación.

ABSTRACT

It aimed to determine the dynamic modulus values for temperatures of 100 and 150, and the percentage change in the dynamic modulus of asphalt road from San Ignacio - Pericos, the procedure of ASTM D1559 was followed by the method 18 Marshall briquettes were manufactured, one kind of mixture containing the same aggregate, grain size, asphalt content, type of compaction energy (75 strokes per side), varying only in the compaction temperature to 100, 110, 120, 130, 140 and 150°C. Deformation of the briquettes was determined by compression testing edometric at temperatures of 20, 30, 40, 50 and 60°C as specified in ASTM D 2435. According to the results obtained it was concluded that for temperatures of 100 150°C and their values are 8.38 and 9.15 MPA respectively and also the dynamic modulus varies down 13% for the compaction temperature of 100°C.

Keywords: asphalt, dynamic modulus, temperature compaction

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, el asfalto en sus diferentes formas de aplicación mantiene un liderazgo como alternativa válida en todos los campos de su utilización. Durante el proceso de transporte, extendido y compactación de la mezcla asfáltica puede ocasionar fallas y deterioros, por ejemplo escurrimiento del asfalto, segregación de agregado grueso, enfriamiento de la mezcla y que pueden influir en la calidad final de la mezcla y consecuentemente en su comportamiento.

En la compactación del asfalto es muy importante la incidencia que tiene la temperatura sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica, porque en un cambio en la temperatura de compactación genera problemas de segregación, resistencia y fatiga, por lo tanto se debe establecer un criterio para la fijación del porcentaje de compactación que debe exigirse en la mezcla asfáltica, con la relación a su densidad de diseño Marshall, al ser colocada y compactada en la carretera.

El diseño de las estructuras de pavimentos es preciso el estudio de sus propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas, como elemento individual y como parte ella, dominando el modulo dinámico, el ahuellamiento y la ley de fatiga. Evaluar ampliamente las propiedades dinámicas de las mezclas asfálticas calientes conduce a obtener combinaciones de materiales económicos y resistentes, enfocándose 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.

El problema identificado ha sido que en el diseño de mezclas asfálticas se realizan de manera empírica de tal manera que no se brinda el interés necesario en la investigación sobre la influencia de la temperatura en el comportamiento de las mezclas, esto conlleva a no garantizar un buen desempeño de la carpeta asfáltica ante condiciones de altas temperaturas, elevadas cargas vehiculares y bajas velocidades de circulación que son las principales causas de deterioro en los pavimentos, razón por la cual es necesario la presente investigación en la carretera Pericos – San Ignacio, donde actualmente se viene ejecutando la colocación de la carpeta asfáltica. Los valores del módulo dinámico de la mezcla asfáltica son altamente sensibles a la temperatura y a la aplicación de carga debido a la naturaleza visco-elástica del asfalto, por lo que identificado el problema, éste se ha formulado de la siguiente manera ¿cuál es la influencia de la temperatura de compactación en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica?

La hipótesis planteada fue que la temperatura de compactación influye en el módulo dinámico teniendo como valores extremos de 3.25 y 4.56 MPA, generando un descenso en un 25% en el módulo dinámico para la temperatura de compactación de 110°C.

La investigación se justifica debido que en la construcción de carreteras se debe tener en cuenta la importancia de la temperatura ya que es una de las variables más significativas que determina la resistencia de la mezcla desde el momento de su producción hasta la compactación, de lo contrario esto genera segregación, micro fisuras, superficies onduladas, desgarramientos y especialmente cambios en las propiedades dinámicas de la mezcla, por lo anterior, es claro de desarrollar estudios de investigación que permitan analizar la influencia que tiene la temperatura de compactación en la mezcla asfáltica.

La información obtenida de los ensayos realizados a las briquetas de la mezcla evaluada servirá para futuras investigaciones relacionadas con el tema.

El alcance de la investigación se detalla el estudio de los efectos de la temperatura de la energía de compactación en el módulo dinámico de la mezcla asfáltica a manera experimental junto con un análisis de sus resultados que aporta respuestas al problema planteado.

El objetivo es determinar los valores del módulo dinámico para las temperaturas de 100 y 150°C y el porcentaje de variación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica de la carretera San Ignacio – Pericos.

La investigación consta de cinco capítulos, en el primer capítulo se describe el problema, la pregunta principal, la justificación, los objetivos.

En el segundo capítulo se describe los resultados de investigaciones internacionales y nacionales relacionados con el tema a investigar, se plantean bases teóricas la cual tiene como propósito suministrar un sistema coordinado y coherente de conceptos, que permitan abordar, a manera de establecer un marco teórico para la interpretación de los resultados del estudio planteado.

En el tercer capítulo, se describe la metodología, los materiales y los ensayos realizados, se detalla las características de las briquetas desde sus ensayos efectuados después de compactadas, indicando su nomenclatura utilizada.

En el cuarto capítulo, se analiza y se discute los resultados de los ensayos que se realizaron.

En el quinto capítulo se presenta las conclusiones del desarrollo y recomendaciones para mejorar próximas investigaciones.

En el Anexo A se presentan tablas.

En el Anexo B se presentan fichas de recolección de datos.

En el Anexo C se presentan figuras.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1.1 Internacionales

La temperatura de una mezcla asfáltica siempre varía significativamente desde su producción en la planta hasta la conformación de la estructura de pavimento, sobre todo en el proceso de compactación. Estas diferencias de temperatura de la mezcla asfáltica de un punto a otro generan muchos cambios en las propiedades mecánicas y dinámicas de la mezcla.

El estudio de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas calientes se han estudiado ampliamente y todas conducen a obtener combinaciones de materiales más económicos y resistentes. Se han realizado grandes esfuerzos para establecer índices o factores que relacionen empíricamente la temperatura del asfalto con su penetración, densidad, estabilidad, viscosidad y punto de ablandamiento.

Reyes (2006), en su estudio Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y variación en la granulometría, hace uso de dos granulometrías: 0/10 y 0/20, éstas son empleadas en la construcción de carreteras en Bogotá, se utilizó un asfalto 60/70, mediante la caracterización de los materiales granulométricos y asfalto procede a la construcción de las muestras Marshall, pero en el caso de esta investigación varió el nivel de energía de compactación de 50, 65, 75, 85, 95 y 105 golpes por cara, construyendo así tres muestras por cada energía de compactación. El autor explica que el comportamiento de las propiedades dinámicas de las mezclas asfálticas si dependen de la energía de compactación de la mezcla y de la granulometría que se utilice, determinándose que no necesariamente a

mayor energía de compactación, la muestra presenta mayor resistencia al módulo dinámico y menor deformación en el ensayo de ahuellamiento.

Reyes (2009), en el desarrollo de la investigación Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por la propiedades del asfalto y la energía de compactación, hace uso de la metodología Marshall para diferentes asfaltos estudiados, con estas características fabrica muestras compactadas a 50 y 75 golpes por cara para ser ensayadas mediante el ensayo de tracción directa, de los resultados realizados pudo concluir que el asfalto modificado presenta mejores propiedades mecánicas en cuanto a la resistencia a la tracción indirecta, al ahuellamiento. El autor explica que el asfalto 60/70 en los ensayos de módulo resiliente mostró mayores valores de resistencia.

Aguirre y sus colaboradores (2009), en su investigación Evaluación de la incidencia de la temperatura en el diseño de las carpetas asfálticas en caliente en el salvador, detectó este problema en la construcción de varias vías en Estados Unidos, las cuales estudió en detalle con la ayuda de cámaras termográfica, determinando que se presentaban diferenciales de temperatura en el habitáculo de los volquetes, en las pavimentadoras y en proceso de extendido y compactado. En el año 1998, al sur de Blaine, Washington, se realizó un seguimiento con cámara termográfica a la construcción de una vía, donde la mezcla asfáltica se acarreó por 89 km, se colocó en una pavimentadora y se compactó. Analizaron las fotos termográfica, se extrajeron núcleos en las zonas de temperatura de compactación ideal y en las zonas de bajas temperaturas, obteniéndose resultados donde la relación de vacíos y deformaciones se incrementaba a bajas temperaturas. Como también el Ministerios de Obras Publicas de El Salvador, en la investigación titulada “Efecto de la temperatura de compactación en la resistencia al flujo plástico” concluye que la temperatura de compactación de las mezclas era directamente proporcional a la resistencia deformación y densidad.

Minaya (2006), en su libro Diseño moderno de pavimentos asfálticos describe que en Arizona State University, comparan módulos dinámicos de ensayos

de compresión triaxial cíclicos confinados y no confinados, realizados sobre mezclas Asphalt Rubber Asphalt Concrete (ARAC) Gap Graded Mixture y Asphalt Rubber Concrete Friction Course 9AR-ACFC) Open Graded Mixture. Sus resultados indicaron que en ensayos no confinados las mezclas tendrían menores valores de rigidez que los determinados de ensayos confinados, y que las mezclas AR-ACFC Graded tuvieron la más alta rigidez seguidas de las ARAC, cuando los ensayos fueron confinados. De esta manera resaltaron la importancia de realizar ensayos de compresión confinada para determinar el modulo dinámico.

2.1.2 Nacionales

Minaya (2006), en su investigación Diseño moderno de pavimentos asfálticos, realizó ensayos de compresión confinada y compresión edométrica haciendo uso del equipamiento del ensayo de CBR. Se prepararon especímenes de mezclas asfálticas densas convencionales. Para el desarrollo utilizó una metodología de tablas y gráficos comparativos para módulos dinámicos, llegando a resaltar los parámetros volumétricos de cada espécimen utilizando las relaciones volumétricas de las mezclas asfálticas convencionales, calculo promedio de modulo dinámico, para una mezcla preparada con asfalto PEN 60/70.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas, reciben el nombre de aglomerados, están constituidas aproximadamente por agregados pétreos grueso y fino, polvo mineral (filler) y de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.1.1 Propiedades consideradas en la mezcla asfáltica

2.2.1.1.1 Estabilidad

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla, (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.1.2 Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es la capacidad de resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de las películas de asfalto, (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.1.3 Impermeabilidad

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él, (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.1.4 Trabajabilidad

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar, aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar, (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.1.5 Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante, sin agrietarse. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido

a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo), (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.1.6 Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo cargas de tránsito, (Asphalt Institute. 2001).

Los vacíos y viscosidad del asfalto, tienen un efecto considerable en la resistencia a la fatiga.

2.2.1.1.7 Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento, (Asphalt Institute. 2001).

2.2.1.2 Tipología de las mezclas asfálticas

2.2.1.2.1 Mezclas asfálticas en caliente

Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150°C, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos y a 160°C si el asfalto está modificado con polímeros. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes, (Minaya & Ordoñez. 2006).

Existen tres clases de mezcla asfáltica en caliente o normal (MAC), cuya gradación responden a algunos de los siguientes husos granulométricos.

Tabla 1. Clases de MAC

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80-100	100	-
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	-
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N°4)	abr-54	51-68	65-87
2,00 mm (N°10)	29-45	38-52	43-61
425 mm (N°40)	14-25	17-28	16-29
180 mm (N°80)	8-17	8-17	9-19
75 mm (N°200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008).

2.2.1.2.2 Mezclas asfálticas en frío

En estas mezclas se usan líquidos, la cual se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Se obtienen de la dosificación de agregados gruesos, finos, filler, emulsión asfáltica y agua. Se recomienda su puesta en obra a temperaturas no inferiores a los 20°C ni superiores a los 40°C. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo período de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios,

haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante.

Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.2 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

2.2.2.1 Método Marshall

El ensayo Marshall es un método ideado para dosificar las mezclas asfálticas empleando asfalto sólido y material granular que no supere un tamaño máximo de 2,54 cm. Mediante la prueba, se obtiene la cantidad apropiada de asfalto para poder garantizar la suficiente estabilidad y así mismo las exigencias del servicio sin desplazamientos o distorsiones, un buen recubrimiento de partículas para obtener un pavimento durable incluyendo el factor de la compactación. Los datos más importantes del diseño de las mezclas por el método Marshall son: un análisis de densidad, relación de vacíos y una prueba de estabilidad y flujo, sobre muestras compactadas.

De acuerdo a la Norma ASTM D1559, el diseño Marshall es obtener las cantidades óptimas de los contenidos que hacen parte de la mezcla asfáltica, con el fin de satisfacer las exigencias de servicio teniendo en cuenta diferentes criterios de análisis como son el flujo, la estabilidad, vacíos con aire en la mezcla y vacíos en los agregados minerales, garantizando un pavimento durable, con un contenido de asfalto óptimo que recubra, impermeabilice y ligue el material pétreo.

La temperatura de ensayo es de 60°C seleccionada por considerarse que es la temperatura promedio del pavimento en el verano. El valor de la estabilidad Marshall es la máxima carga que produce la falla en el espécimen, (Reyes, Madrid & Salas. 2007). En la tabla 2, describe los criterios para el diseño Marshall.

Tabla 2. Criterios para el diseño Marshall.

Criterios	Tránsito Liviano Carpeta y Base		Tránsito Mediano Carpeta y Base		Tránsito Pesado Carpeta y Base	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
	Compactación, números de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75
Estabilidad (N)	3336	-	5338	-	8006	-
(Lb.)	750	-	1200	-	1800	-
Fluencia, 0,25mm (0,01 pulg)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	7	9	11	13

Fuente: Serie de Manuales N°22 del Instituto del asfalto (MS-22).

2.2.2.2 Parámetros Marshall

2.2.2.2.1 Gravedad específico Bulk

La gravedad específico Bulk de la mezcla compactada (G_{mb}), se determina siguiendo el procedimiento que indica la Norma AASHTO T166, ASTM D1188. Para el cálculo de la gravedad específico se emplea la siguiente formula: (Minaya & Ordoñez. 2006)

$$G_{mb} = \frac{W_D}{W_{SSD} - W_{SUB}} \quad (1)$$

En donde:

G_{mb} = Gravedad específica Bulk de la muestra compactada

W_D = Masa del espécimen en el aire (g)

W_{SSD} = Masa del espécimen en su condición saturada superficialmente seca
(g)

W_{SUB} = Masa del espécimen sumergido (g)

$W_{SSD} - W_{SUB}$ = Masa del volumen de agua correspondiente al volumen de la
briqueta a 25°C.

2.2.2.2.2 Gravedad específico teórico máxima - Rice

La gravedad específico teórico máxima (G_{mm}), de acuerdo a la Norma AASHTO T209, ASTM D2041 o MTC 508, se emplea en el cálculo de los vacíos. Para el cálculo de la gravedad específico teórico se emplea la siguiente formula: (Minaya & Ordoñez. 2006)

$$G_{mm} = \frac{W_m}{W_{fm} - W_{fma}} \quad (2)$$

En donde:

G_{mm} = Gravedad específico teórico máxima

W_m = Masa neta de la muestra en el aire (g)

W_{fm} = (Masa del frasco + muestra) (g)

W_{fma} = (Masa del frasco + muestra + agua) (g)

2.2.2.2.3 Densidad

La densidad de la mezcla compactada, D , está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante en el control de calidad debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. A veces un exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).

La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. (Asphalt Institute. 2001)

Para calcular la densidad se utilizará la siguiente fórmula:

$$D = G_{mb} \times \delta_w \quad (3)$$

En donde:

D = Densidad (g/cm^3)

G_{mb} = Gravedad específico Bulk de la muestra compactada

δ_w = Densidad del agua (1g/cm^3)

2.2.2.2.4 Porcentaje de vacíos en mezcla compactada

Los vacíos, V_a , en el total de la mezcla compactada consisten de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregados recubiertos.

El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) es del 3 a 5% dependiendo del diseño específico.

El porcentaje de vacíos en la mezcla compactada puede determinarse usando: (Minaya & Ordoñez. 2006).

$$V_a = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \quad (4)$$

En donde:

V_a = Vacíos de aire en la muestra compactada (%)

G_{mb} = Peso específico Bulk de la muestra compactada (g/cm^3)

G_{mm} = Peso específico máximo (g/cm^3)

2.2.2.2.5 Estabilidad Marshall

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica es la carga máxima en Kg que soporta la mezcla para resistir desplazamientos y deformaciones. El valor de la estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y esta efectuada principalmente por el contenido del asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado.

El método Marshall, representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral, desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfaltos) y su interacción cuando están mezclados. Esto debido a que el desempeño de la mezcla es afectado tanto por las propiedades individuales de los componentes, como su reacción combinada en el sistema.

Una muestra de mezcla de pavimentación en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado considerando, las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado, o más simplemente, parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y cohesión interna. La fricción interna entre las partículas de agregado se relaciona con sus características geométricas y textura. La cohesión proviene de la capacidad del ligante para mantener unidas las partículas, (Minaya & Ordoñez. 2006).

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación, ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integran la mezcla, (Minaya & Ordoñez. 2006).

Para obtener unos datos más precisos se multiplicará por un factor de estabilidad, que es un número que corrige la estabilidad con alturas diferentes de 2,5". Este factor se observa en la Tabla 14(Anexo A).

2.2.2.2.6 Flujo Marshall

El valor del flujo es la deformación vertical total del espécimen sometido a la máxima carga, punto en el cual la carga empieza a decrecer. Este valor es una indicación de la resistencia que ofrecerá la carpeta al deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

Un flujo mayor que 0,16 pulgadas puede indicar que la mezcla puede ser inestable bajo cargas de tráfico, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.3 MÓDULO DINÁMICO

Se puede considerar como la propiedad más importante debido a que suministra información sobre el comportamiento dinámico de la mezcla, básicamente es la relación entre la deformación del material bajo una carga aplicada y el esfuerzo y en la magnitud del módulo complejo de una mezcla.

Está relacionado con la temperatura y la velocidad a la que se aplica el esfuerzo, más concretamente, a altas temperaturas y tiempos de aplicación largos el módulo es bajo, mientras que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de la carga el módulo será alto. (Minaya & Ordoñez. 2006)

Las mezclas asfálticas al ser materiales viscoelásticos lineales definen el módulo complejo dinámico (E^*) como la relación esfuerzo – deformación bajo una carga sinusoidal continua.

El módulo dinámico se define como la razón de amplitud del esfuerzo sinusoidal (a cualquier tiempo t , y frecuencia de carga angular, ω), $\sigma = \sigma_0 \text{ Sen}(\omega t)$ y la amplitud de la deformación sinusoidal al mismo tiempo y frecuencia, esto se observa en la siguiente ecuación:

$$E^* = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma_0 \times \text{Sen}(\omega t)}{\varepsilon_0 \times \text{Sen}(\omega t - \phi)} \quad (5)$$

En donde:

E^* = Módulo dinámico (MPa)

σ_0 = Esfuerzo máximo (Kg/cm²)

ϕ = Ángulo de fase (radianes)

ε_0 = Deformación máxima

ω = Velocidad angular (rad/seg)

T = tiempo (seg.)

Para este tipo de ensayo la deformación será calculada directamente con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \quad (6)$$

En donde:

ε = Deformación del espécimen

Δh = Asentamiento debido a la carga (cm)

h = Altura original del espécimen (cm)

2.2.3.1 Factores que afectan al módulo dinámico

2.2.3.1.1 Tipo y contenido de asfalto

El asfalto es un factor influyente en el módulo dinámico, debido a su comportamiento visco-elástico a las diferentes temperaturas e intensidades de carga a la que es sometida la mezcla. Igualmente el aumento del contenido de asfalto dentro de una mezcla cambia la rigidez, ya que el asfalto tiene una menor resistencia que el agregado y al existir un aumento en el contenido tiende a disminuir el módulo, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.3.1.2 Temperatura

La temperatura de servicio afecta principalmente al asfalto que es uno de los componentes de la mezcla. A bajas temperaturas se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptibles de fisuraciones. A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.3.1.3 Tipo de agregado

Las mezclas asfálticas están constituidas en su mayoría por agregado grueso y fino proveniente de distintas fuentes o yacimientos contando con características únicas de resistencia. Este componente es de gran importancia para el correcto funcionamiento del conjunto y juega un papel importante en la determinación del módulo dinámico, sin embargo la falta de calidad en alguno de los agregados puede afectar significativamente la rigidez de la mezcla, además el agregado debe ser capaz de soportar la carga del tráfico y transmitirla a la subbase en unidades, con el fin de garantizar un buen funcionamiento mecánico de la estructura del pavimento, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.2.3.2 Método para la obtención del Módulo Dinámico

Para determinar el módulo dinámico de una mezcla asfáltica existen diferentes metodologías, entre las cuales están: ensayos de laboratorio, monogramas y fórmulas o correlaciones.

Dentro de los ensayos se encuentran el de la tracción indirecta, el de la tracción por comprensión directa o endométrica y el de tracción de flexión de una viga cargada en el tercio central.

Cada uno de estos ensayos tiene sus características particulares, y el uso comúnmente en Perú, es el de tracción por compresión directa y de tracción de flexión de una viga cargada en el tercio central.

2.2.3.2.1 Compresión Edométrica

El ensayo de compresión edométrica se realizan en mezclas asfálticas, consiste en aplicar una carga sinusoidal sin periodo de descanso a un espécimen confinado lateralmente. La carga de velocidad aplicada transmite una presión uniforme entre 5 y 10 Kg/cm².

La carga de velocidad lenta, equivalente a un tiempo por ciclo de 5 segundos, dado que no se cuenta con prensa de carga cíclica, se aplica con el de carga a un disco metálico del diámetro del espécimen, (Minaya & Ordoñez. 2006).

El proceso de preparación de la mezcla es similar al método Marshall. El ensayo Marshall y el de compresión edométrica son diferentes, puesto que con el primero se puede determinar el óptimo contenido de asfalto siguiendo un método aun empírico, el segundo método nos permite determinar módulos dinámicos, que son parámetros de diseños de pavimentos. El ensayo de compresión se realiza sobre el espécimen en posición vertical.

El módulo dinámico varía con la temperatura y la frecuencia de carga. Se debe tener en cuenta que el ensayo se debe realizar a la frecuencia que simule las cargas de tráfico para el diseño, el módulo dinámico así determinado, será equivalente al módulo resiliente para fines de diseño, (Minaya & Ordoñez. 2006).

2.3 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Para lograr una buena precisión en el análisis de los datos se elaboraron 3 briquetas para cada temperatura a ser evaluada, siendo un total de 18, según establecido en la norma MTC E 504, con la técnica Marshall compactadas a

75 golpes por cada cara, para ser ensayadas el modulo dinámico, estabilidad, flujo, densidad y vacíos para cada unidad de análisis.

Para realizar estos ensayos se hace uso de todos los materiales y equipos del laboratorio de suelos y pavimentos

El análisis estadístico de datos se realiza en gabinete utilizando la estadística descriptiva, con los datos obtenidos se realiza gráficos estadísticos para ello se usará el software Excel.

2.4 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008), define los siguientes términos:

Agregado grueso: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas.

Agregado fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas.

Briqueta: Conglomerado de mezcla asfáltica en forma de cilindro.

Compactación: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos en mezclas bituminosas.

Densidad: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Dial: Disco giratorio.

Ensayo de compresión: Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

Ensayo Marshall: Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

Estabilidad: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas.

Filler: Material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla o como mejorador de adherencia.

Granulometría: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

Grava: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

Mezcla asfáltica: Mezcla de asfalto y agregados preparada en planta de asfalto y que debe ser tendida y compactada cuando todavía está con la temperatura especificada.

Módulo complejo (E^*): Es un número complejo que define la relación entre esfuerzo y deformación.

Módulo dinámico [E^*]: Es el valor absoluto del valor del módulo complejo que define las propiedades elásticas de la mezcla asfáltica.

Gravedad específico: Relación de la masa del espécimen en el aire y la masa del volumen del agua correspondiente al volumen de la briqueta a 25°C.

Volumen de vacíos: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN

Los ensayos se realizaron entre los meses de setiembre a octubre del 2014, en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la pavimentación de la carretera Pericos – San Ignacio, con una longitud de 51+618.467 km y la Vía de Evitamiento con una longitud de 2+962.353 km, conecta la frontera con el Ecuador, políticamente se encuentra ubicada en la distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca.

Ubicación Geográfica

Las coordenadas geográficas del lugar de Pericos son:

Latitud Sur = $05^{\circ}18'50.61''$, Longitud Oeste = $78^{\circ}47'56''$.

Las coordenadas de la carretera son:

Punto inicial:

Este = 721432.9490, Norte = 9410208.0900, Altitud = 437.4550 m.s.n.m

Punto final:

Este = 723026.1600, Norte = 9431757.2690, Altitud = 1384.4430 m.s.n.m

Datum = WGS 84, Huso = 17, Zona = Sur

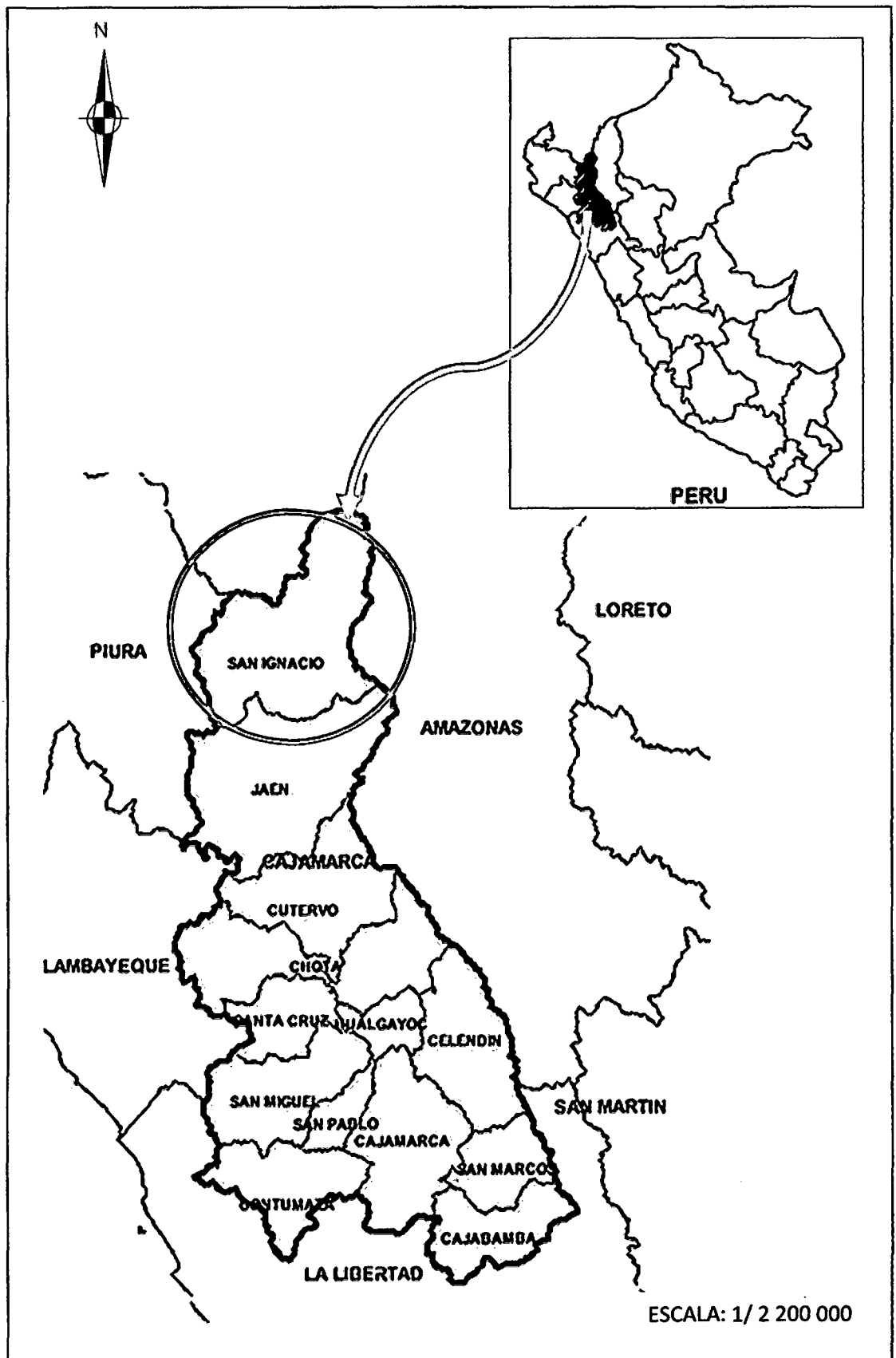


Figura 1. Plano de ubicación.

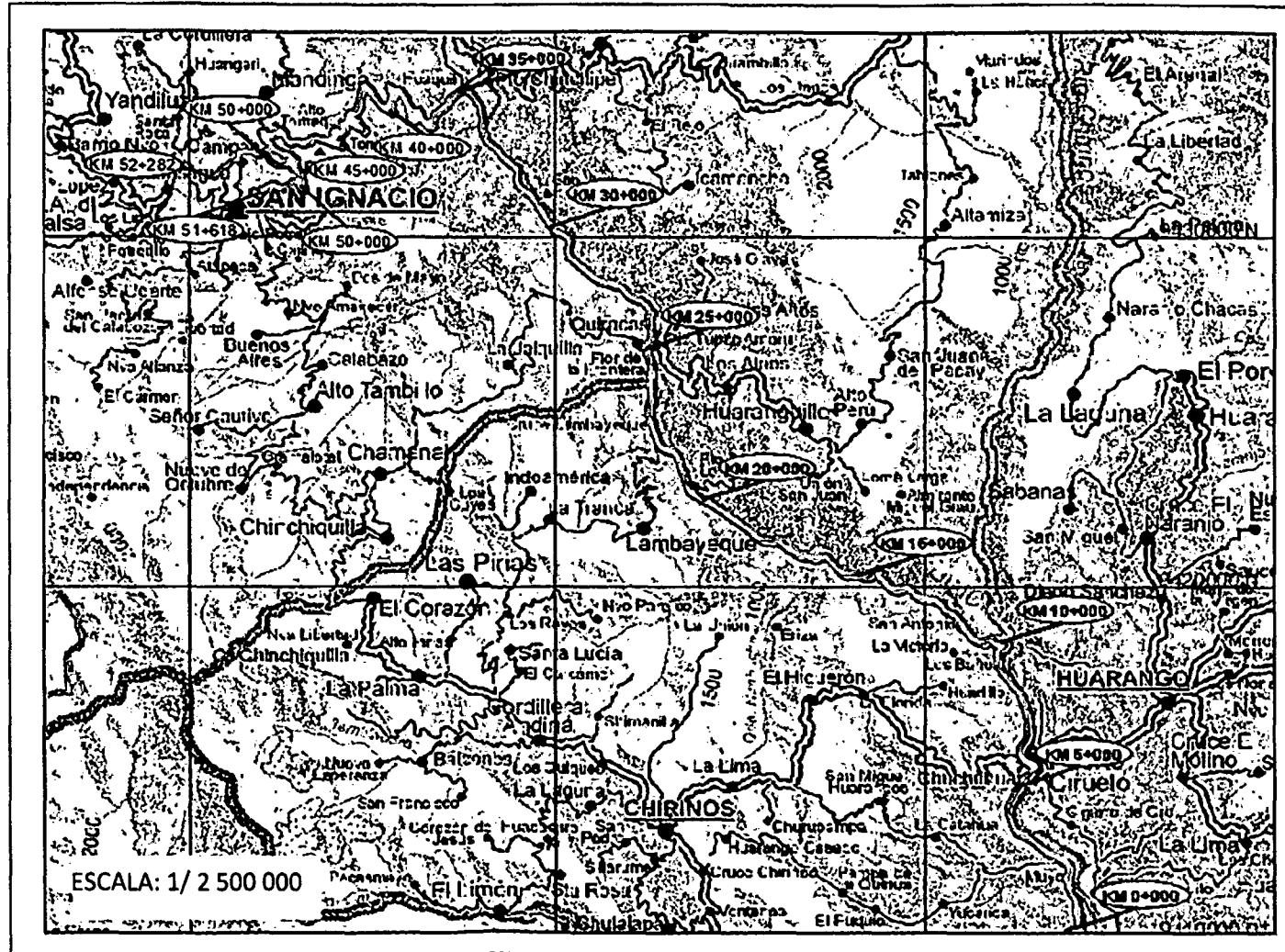


Figura 2. Plano de localización.

3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1 Materiales

1. 0,077 m³ de mezcla asfáltica.
2. Termómetros blindados.
3. Balanza de 6 kg. de capacidad.
4. Balanza de 2 kg. de capacidad.
5. Guantes de cuero.
6. Crayolas.
7. Vernier.
8. Bandejas taradas.
9. Discos de papel filtrante de 4 pulg.
10. Espátulas.

3.2.2 Equipos

1. Martillo de compactación, con base plana circular de apisonado de 98,4 mm (37/8") de diámetro, equipado con un pistón de 4,54 kg (10lb.) de peso total, cuya altura de caída es de 457,2 mm (18"). Sus componentes son las siguientes:
 - Pedestal de compactación. Base de madera cuadrada de 200,3 mm de lado y 457,2 mm de altura (8"x8"x18"), en su cara superior tiene platina cuadrada de acero de 304,8 mm de lado por 25,4 mm de espesor (12"x12"x1"), firmemente sujeta a la base.
 - Molde de compactación. Consiste en una placa de base plana, molde y collar de extensión cilíndrico. El molde tiene un diámetro interior de 101,6 mm (4") y altura de 76,2 mm (3").
 - Soporte para molde o portamolde
2. Extractor de muestras de asfaltos. Forma de disco con diámetro de 100 mm (3,95") y 12,7 mm (1/2") de espesor
3. Prensa Marshall. Sus componentes son las siguientes:

- Mordaza. Consiste de dos semi-cilindros, con un radio de curvatura interior de 50,8 mm (2") de acero enchapado para facilitar su fácil limpieza.
 - Medidor de deformación. Está dividido en centésimas de milímetro.
4. Prensa CBR. Contamos con una prensa automática, donde la carga se aplica de manera cíclica, un ciclo está formado por una carga y una descarga.
 5. Dial de carga. La fuerza aplicada se medirá con un anillo acoplado a la prensa, de 5 Tn de capacidad.
 6. Horno. Mantiene la temperatura requerida con un error de 3°C (5°F)
 7. Baño. El baño de agua con 150 mm (6") de profundidad mínima y controlado termostáticamente, para mantener la temperatura a 60°C ± 1°C.
 8. Bomba de vacíos.

3.3 DIAGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología empleada se empieza con la caracterización granular, cemento asfáltico, aditivo y filler mineral, cabe señalar que no se realizó ningún ensayo para el diseño de la mezcla asfáltica ya que existen estudios de estos. Siguiendo con el procedimiento se elabora briquetas Marshall (Norma ASTM D1559) para luego calcular el módulo dinámico con el Ensayo de Compresión Edométrica.

En la Figura 3, se presenta el diagrama de la metodología empleada.

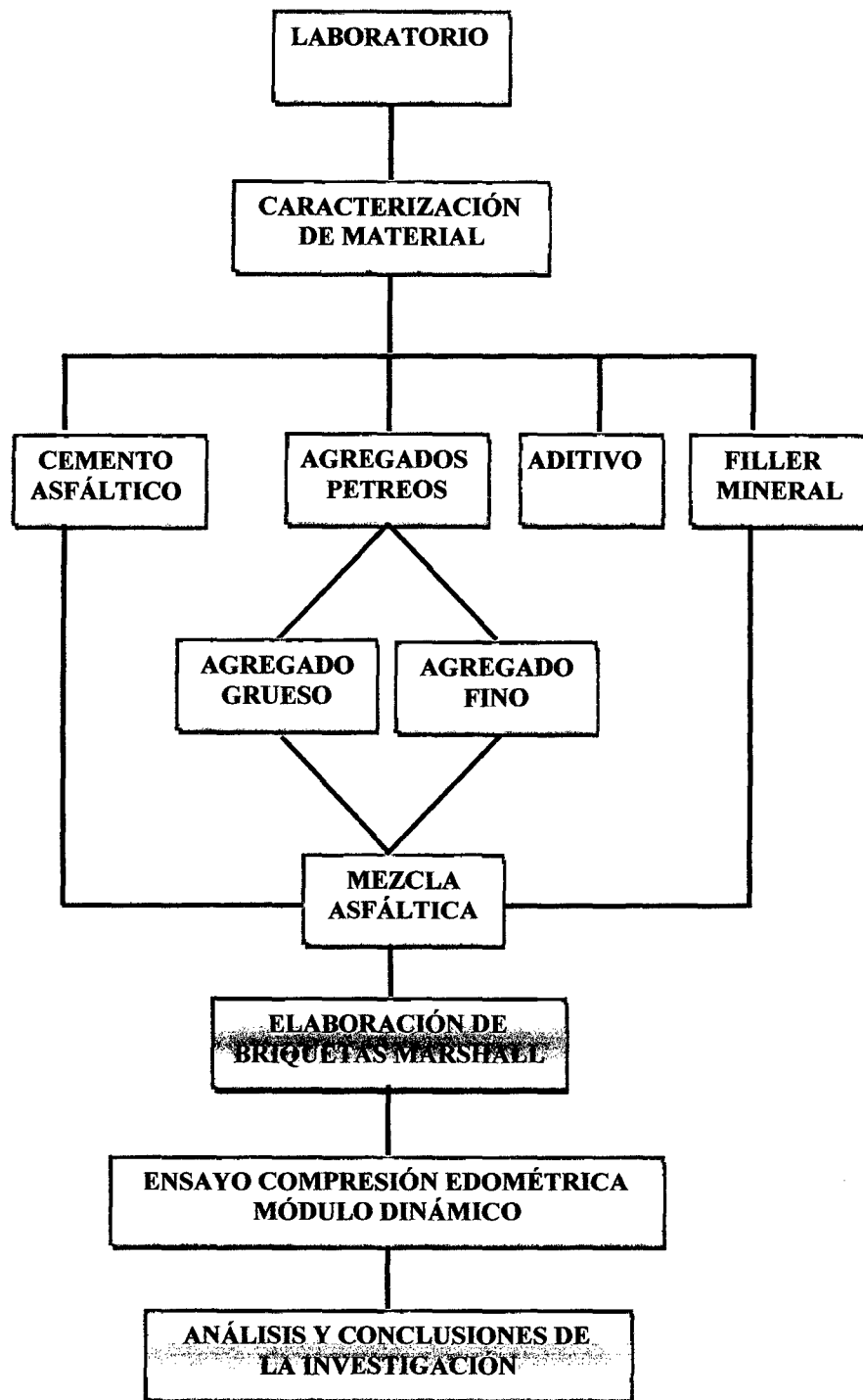


Figura 3. Diagrama de la metodología de la investigación

3.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.4.1.1 Agregados pétreos

Los materiales pétreos son explotados de los depósitos aluviales del río Chinchipe y compuestas por depósitos consolidados ubicados en el km 00 + 150 lado derecho de la carretera Pericos - San Ignacio, en el lugar denominado Poronguito.

3.4.1.1.1 Ensayos realizados al agregado

No se realizó ninguna caracterización de los agregados debido a que han sido evaluadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos.

El agregado grueso presenta un diámetro máximo \varnothing máx. 3/4", arena chancada presenta \varnothing máximo de 1/4" y equivalente de arena en la orden de 68%, arena zarandeado presentando \varnothing máximo de 1/4", granulometría estipulada en el diseño de obra.

3.4.1.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente son clasificados por viscosidad absoluta y por penetración, su empleo será según las características climáticas de la región, en la tabla 3 se detalla el tipo de cemento asfáltico clasificado según su penetración.

Tabla 3. Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Medio Anual			
24°C o más	24°C a 15°C	15°C a 5°C	Menos de 5°C
40 - 50 ó		85 -100	Asfalto
60 - 70 ó	60 - 70	120 - 150	modificado

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008).

Tabla 5. Densidad, Vacíos, Estabilidad y Flujo Marshall.

MÉTODO MARSHALL																				
ASTM D 1559																				
Temperatura		100 °C			110 °C			120 °C			130 °C			140 °C			150 °C			
N° Briqueta		1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	1D	2D	3D	1E	2E	3E	1F	2F	3F	
ITEM	Descripción	Unidad de medida																		
1	Números de golpes	75			75			75			75			75			75			
2	Masa de la briqueta en el aire	g.	1242,50	1243,80	1242,90	1244,40	1245,80	1244,20	1241,90	1244,10	1243,20	1244,50	1241,00	1242,40	1245,90	1246,70	1247,20	1243,20	1244,10	1243,20
3	Masa de la briqueta en el aire (condicion saturada superficialmente seca)	g.	1245,80	1246,70	1246,30	1246,30	1248,10	1247,50	1244,30	1245,60	1244,10	1247,40	1242,30	1245,10	1247,30	1247,90	1248,30	1244,10	1244,90	1244,10
4	Masa de la briqueta en el agua	g.	713,20	716,10	716,10	718,60	719,80	716,80	719,40	719,60	717,80	723,20	720,30	722,80	725,30	725,30	725,80	724,30	724,50	723,90
5	Masa del volumen de la briqueta (4)-(3)	g.	532,60	530,60	530,20	527,70	528,30	530,70	524,90	526,00	528,30	524,20	522,00	522,30	522,00	522,60	522,50	519,80	520,40	520,20
6	Gravedad especifica Bulk de la briqueta (2)/(5)		2,333	2,344	2,344	2,358	2,358	2,344	2,366	2,365	2,362	2,374	2,377	2,379	2,3868	2,3856	2,3870	2,3917	2,3907	2,3899
7	Gravedad especifica Bulk de la briqueta (promedio)		2,34			2,35			2,36			2,38			2,39			2,39		
8	Densidad de agua	g/cm ³	1,00			1,00			1,00			1,00			1,00			1,00		
9	Densidad	g/cm ³	2,34			2,35			2,36			2,38			2,39			2,39		
10	Gravedad especifico teórico máximo de la muestra (Rice)		2,48			2,48			2,48			2,48			2,48			2,48		
11	Vacíos de mezcla compactada	%	6,02	5,57	5,57	5,01	5,01	5,56	4,69	4,72	4,84	4,36	4,23	4,18	3,65	3,90	3,84	3,66	3,70	3,73
12	Vacíos de mezcla compactada (promedio)	%	5,72			5,19			4,75			4,26			3,87			3,69		
13	Estabilidad sin corregir	kg	908,50	910,30	933,20	961,80	972,50	981,80	1017,20	1022,60	1011,40	1019,90	1059,10	1102,20	1242,30	1156,20	1235,70	1266,10	1258,20	1273,70
14	Factor de estabilidad		0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	Estabilidad corregida	kg	872,16	873,89	895,87	923,33	933,60	942,53	976,51	981,70	970,94	979,10	1059,10	1102,20	1242,30	1156,20	1235,70	1266,10	1258,20	1273,70
16	Estabilidad corregida (promedio)	kg	880,64			933,15			976,38			1046,80			1211,40			1266,00		
17	Lectura del fleximetro	pulg.	13,84	14,25	14,42	14,10	13,95	14,20	13,92	14,35	13,85	13,80	14,00	14,20	13,80	14,20	13,90	14,00	13,89	13,86
18	Lectura del fleximetro	m.m.	3,52	3,62	3,66	3,58	3,54	3,61	3,54	3,64	3,52	3,51	3,56	3,61	3,51	3,61	3,53	3,56	3,53	3,52
19	Flujo (promedio)	m.m.	3,60			3,58			3,57			3,56			3,55			3,53		

En la figura 5, se observa que los valores de densidades se mantienen casi estables en todas las temperaturas, con una mínima variación, por lo tanto estos valores se encuentran entre el rango establecido del diseño, siendo el valor máximo 2,39 Kg/cm³ para la temperatura de 150°C.

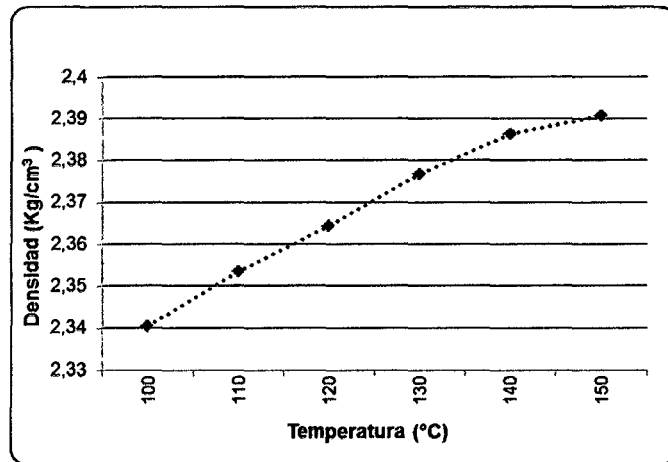


Figura 5: Variación de la densidad con respecto a la temperatura de compactación.

En la figura 6, se observa que los valores de vacíos de la mezcla en las temperaturas de 120, 130, 140 y 150°C se encuentran dentro del rango satisfactorio entre 3-5% de acuerdo al diseño dado. A si mismo se observa que el porcentaje de vacíos aumenta a medida que la temperatura de compactación disminuye, esto se debe porque relativamente el agregado se vuelve más denso y está siendo desplazado y empujado separadamente por el cemento asfáltico ya que este es un material menos denso.

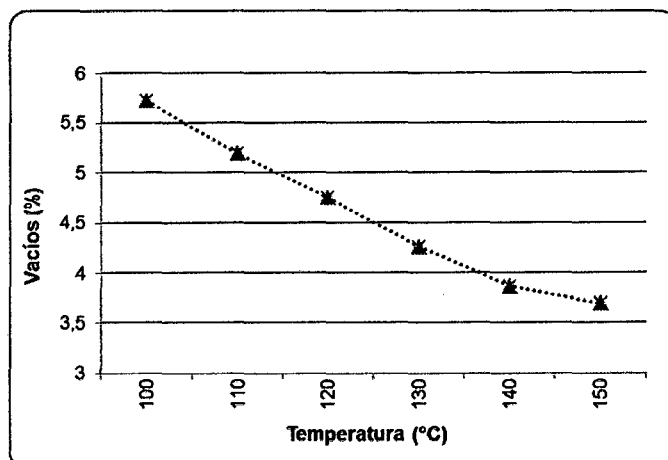


Figura 6: Variación de vacíos con respecto a la temperatura de compactación.

En la figura 7, se observa en la temperatura de 150°C la estabilidad presenta un valor de 1266 Kg, la cual cumple con lo especificado del diseño donde nos dice que el valor de la estabilidad debe ser mayor o igual a 1240,7 Kg y para los temperaturas 100, 110, 120, 130, 140°C los valores obtenidos no cumplen con lo establecido.

A si mismo se observa que a medida que la temperatura de compactación aumenta la estabilidad se incrementa, esto se debe a que la estabilidad de la mezcla depende de la fricción y la cohesión interna, de tal manera que las partículas del agregado se desplacen una respecto a otra debido a la temperatura de compactación, de acuerdo a esto, la estabilidad con el módulo dinámico son directamente proporcionales en relación a sus valores.

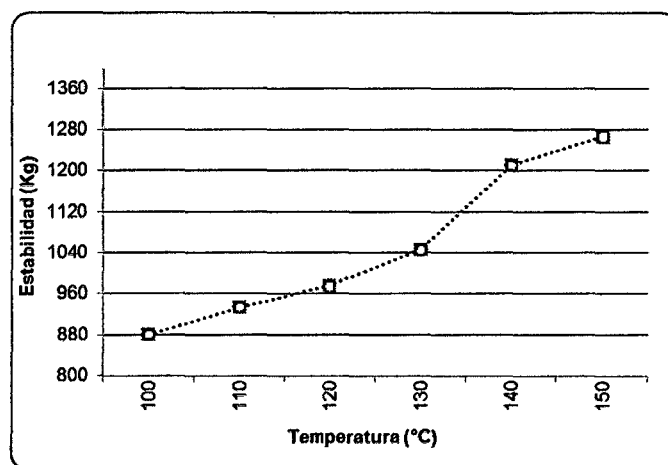


Figura 7: Variación de la estabilidad con respecto a la temperatura de compactación.

En la figura 8, se observa que el flujo solo cumple con la temperatura de 130, 140 y 150°C ya que estos valores se encuentran dentro del rango establecido en el diseño (2,032-3,556mm) y para las temperaturas de 100, 110 y 120°C, los valores obtenidos son más altos del rango establecido, por lo tanto no cumplen con ellas.

Se observa que la curva del flujo de la mezcla asfáltica compactada desciende con valores mínimos al aumentar la temperatura de compactación, esto se debe a la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Si los valores del flujo son muy altos, la mezcla es considerada demasiado plástica la cual conlleva a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

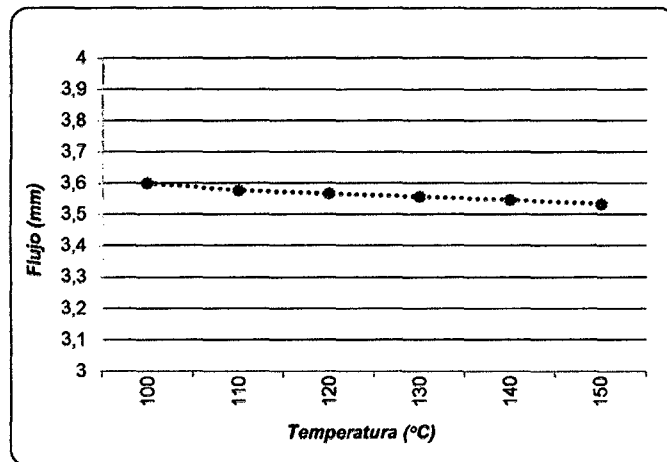


Figura 8: Variación del flujo con respecto a la temperatura de compactación.

En la tabla 6, se observa que los valores de altura son variables esto se da porque la mezcla es sometida a diferentes temperaturas de compactación la cual hace que la mezcla asfáltica sea más denso a medida que se aumente la temperatura.

El diámetro promedio es 10 cm y su altura promedio 6,75 cm.

Tabla 6. Geometría de briquetas Marshall.

Características	TEMPERATURAS °C																	
	100			110			120			130			140			150		
	1A	2A	3A	1B	2B	3B	1C	2C	3C	1D	2D	3D	1E	2E	3E	1F	2F	3F
Diámetro (cm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Altura promedio (cm)	6,7	6,70	6,73	6,70	6,7	6,75	6,8	6,8	6,75	6,74	6,75	6,74	6,77	6,77	6,76	6,76	6,75	6,77
Diámetro promedio (cm)	10																	
Altura promedio (cm)	6,75																	

En la tabla 7, 8, 9, 10 y 11 sus temperaturas de ensayo son 20, 30, 40, 50, 60°C respectivamente, se observa que en el primer ciclo de carga el valor de la lectura del dial es 189 y para el segundo, tercero y cuarto ciclo el valor es constante igual a 95, esto se debe porque se aplica cargas que simulan las del tráfico, que transmite una presión uniforme entre 5 y 10 Kg/cm². Los valores de las deformaciones decrecen a medida que el número de ciclos sea mayor, esto se debe porque la biqueta se deforma al máximo en el primer ciclo con una mayor presión.

Tabla 7. Módulo dinámico a 20°C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EDMÉTRICO - 20 °C											
			Carga = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$			X = Lectura del dial					
Donde :			$A_0 = 0,058$	$A_1 = 4,265$	$A_2 = 8,6E-05$	$A_3 = 0,0000$					
Temperatura	Código de briquea	Ciclo carga - descarga	Lectura del dial de la carga	Lectura de deflexión	Carga (Kg)	Presión (Kg/cm ²)	Deflexión (cm)	Deformación	Módulo Dinámico (MPa)	Módulo Dinámico (MPa) - Promedio	
100 °C	1A	1°	0	0	0	0	0,00	0,120	8,15	9,32	
			189	45,2	809,2	10	1,15				
		0	14	0	0	0,36	0,051				9,66
		95	22,6	406	5	0,57					
		0	9,4	0	0	0,24	0,051				9,66
		95	22,8	406	5	0,58					
	0	9,6	0	0	0,24	0,050	9,81				
	95	22,8	406	5	0,58						
	0	9,8	0	0	0,25	0,115	8,52				
	95	23,4	406	5	0,59						
	0	9,8	0	0	0,25	0,052	9,43				
	95	23,5	406	5	0,60						
0	10,2	0	0	0,26	0,051	9,65					
95	23,5	406	5	0,60							
0	10,4	0	0	0,26	0,050	9,79					
95	23,5	406	5	0,60							
110 °C	1B	1°	0	0	0	0	0,00	0,108	9,10	9,35	
			189	43,8	809,2	10	1,11				
		0	13,8	0	0	0,35	0,053				9,33
		95	23,4	406	5	0,59					
		0	9,8	0	0	0,25	0,052				9,43
		95	23,5	406	5	0,60					
	0	10,2	0	0	0,26	0,051	9,65				
	95	23,5	406	5	0,60						
	0	10,4	0	0	0,26	0,050	9,79				
	95	23,5	406	5	0,60						
	120 °C	1C	1°	0	0	0	0	0,00	0,106	9,28	9,40
				189	46	809,2	10	1,17			
0			18	0	0	0,46	0,053	9,33			
95			26,9	406	5	0,68					
0			13,2	0	0	0,34	0,052	9,40			
95			27	406	5	0,69					
0		13,4	0	0	0,34	0,051	9,54				
95		27	406	5	0,69						
0		13,6	0	0	0,35	0,106	9,28				
95		28,6	406	5	0,73						
0		14,9	0	0	0,38	0,053	9,35				
95		28,7	406	5	0,73						
0	15,1	0	0	0,38	0,052	9,42					
95	29	406	5	0,74							
0	15,6	0	0	0,40	0,051	9,56					
95	29	406	5	0,74							
130 °C	1D	1°	0	0	0	0	0,00	0,107	9,29	9,43	
			189	48,5	809,2	10	1,23				
		0	21	0	0	0,53	0,053				9,39
		95	27,2	406	5	0,69					
		0	13,3	0	0	0,34	0,053				9,46
		95	27,3	406	5	0,69					
	0	13,5	0	0	0,34	0,052	9,60				
	95	27,4	406	5	0,70						
	0	13,8	0	0	0,35	0,104	9,52				
	95	27,4	406	5	0,70						
	140 °C	1E	1°	0	0	0	0	0,00	0,104	9,52	9,78
				189	52	809,2	10	1,32			
0			24	0	0	0,61	0,051	9,70			
95			27,2	406	5	0,69					
0			13,3	0	0	0,34	0,051	9,70			
95			27,3	406	5	0,69					
0		13,5	0	0	0,34	0,051	9,77				
95		27,4	406	5	0,70						
0		13,8	0	0	0,35	0,049	10,14				
95		27,4	406	5	0,70						
0		14	0	0	0,36	0,049	10,14				
95		27	406	5	0,69						

Tabla 8. Módulo dinámico a 30°C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EDMÉTRICO - 30 °C										
Carga = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$					X = Lectura del dial					
Donde : $A_0 = 0,058$					$A_1 = 4,265$		$A_2 = 8,6E-05$		$A_3 = 0,0000$	
Temperatura	Código de briqueta	Ciclo carga - descarga	Lectura del dial de la carga	Lectura de deflexión	Carga (Kg)	Presión (Kg/cm ²)	Deflexión (cm)	Deformación	Módulo Dinámico (MPA)	Módulo Dinámico (MPA) - Promedio
100 °C	1A	1°	0	0	0	0	0,00	0,111	8,77	8,84
			189	42	809,2	10	1,07			
		0	13	0	0	0,33				
		95	24,8	406	5	0,63				
		0	10,2	0	0	0,26				
		95	25	406	5	0,64				
	0	10,5	0	0	0,27					
	95	25,6	406	5	0,65					
	0	11,5	0	0	0,29					
	0,056	8,80								
	0,054	9,05								
	110 °C	1B	1°	0	0	0	0	0,00	0,117	
189				44,0	809,2	10	1,12			
0			13,5	0	0	0,34				
95			25,0	406	5	0,64				
0			11,0	0	0	0,28				
95			25,2	406	5	0,64				
0		11,3	0	0	0,29					
95		25,3	406	5	0,64					
0		11,7	0	0	0,30					
0,053		9,23								
0,052		9,43								
120 °C		1C	1°	0	0	0	0	0,00	0,111	8,78
	189			42,6	809,2	10	1,08			
	0		13,6	0	0	0,35				
	95		27,3	406	5	0,69				
	0		13,2	0	0	0,34				
	95		27,5	406	5	0,70				
	0	13,5	0	0	0,34					
	95	27,7	406	5	0,70					
	0	14,2	0	0	0,36					
	0,054	9,13								
	0,052	9,47								
	130 °C	1D	1°	0	0	0	0	0,00	0,110	8,96
189				42,8	809,2	10	1,09			
0			14,3	0	0	0,36				
95			25	406	5	0,64				
0			11,2	0	0	0,28				
95			25,1	406	5	0,64				
0		11,4	0	0	0,29					
95		25,1	406	5	0,64					
0		11,5	0	0	0,29					
0,053		9,35								
0,052		9,42								
140 °C		1E	1°	0	0	0	0	0,00	0,108	9,16
	189			48,5	809,2	10	1,23			
	0		20,1	0	0	0,51				
	95		26,8	406	5	0,68				
	0		12,7	0	0	0,32				
	95		27	406	5	0,69				
	0	13	0	0	0,33					
	95	27,4	406	5	0,70					
	0	13,5	0	0	0,34					
	0,054	9,26								
	0,053	9,32								
	0,053	9,39								
150 °C	1F	1°	0	0	0	0	0,00	0,110	9,03	9,54
			189	49,6	809,2	10	1,26			
		0	20,5	0	0	0,52				
		95	27	406	5	0,69				
		0	12,8	0	0	0,33				
		95	27,1	406	5	0,69				
	0	13,4	0	0	0,34					
	95	27,3	406	5	0,69					
	0	14,4	0	0	0,37					
	0,054	9,29								
	0,052	9,63								
	0,049	10,22								

Tabla 9. Módulo dinámico a 40°C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EDOMÉTRICO - 40 °C												
Carga = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$					X = Lectura del dial							
Donde : $A_0 = 0,058$					$A_1 = 4,265$		$A_2 = 8,6E-05$		$A_3 = 0,0000$			
Temperatura	Código de briqueta	Ciclo carga - descarga	Lectura del dial de la carga	Lectura de deflexión	Carga (Kg)	Presión (Kg/cm ²)	Deflexión (cm)	Deformación	Módulo Dinámico (MPA)	Módulo Dinámico (MPA) - Promedio		
100 °C	1A	1°	0	0	0	0	0,00	0,120	8,15	8,50		
			189	43	809,2	10	1,09					
		0	11,8	0	0	0,30	0,057					
		95	24,7	406	5	0,63						
		0	9,8	0	0	0,25	0,057					
		95	24,9	406	5	0,63						
	0	10,1	0	0	0,26	0,056						
	95	25,3	406	5	0,64							
	0	10,6	0	0	0,27	8,68						
	110 °C	1B	1°	0	0	0	0	0,00	0,117		8,38	8,55
				189	42,5	809,2	10	1,08				
			0	12	0	0	0,30	0,058				
95			25	406	5	0,64						
0			10	0	0	0,25	0,057					
95			25,2	406	5	0,64						
0		10,4	0	0	0,26	0,057						
95		25,5	406	5	0,65							
0		10,6	0	0	0,27	8,61						
120 °C		1C	1°	0	0	0	0	0,00	0,119	8,22	8,70	
				189	44,6	809,2	10	1,13				
			0	13,6	0	0	0,35	0,056				
	95		27,5	406	5	0,70						
	0		12,9	0	0	0,33	0,055					
	95		27,8	406	5	0,71						
	0	13,4	0	0	0,34	0,055						
	95	28	406	5	0,71							
	0	13,7	0	0	0,35	8,94						
	130 °C	1D	1°	0	0	0	0	0,00	0,123	8,00		8,83
				189	47,9	809,2	10	1,22				
			0	16	0	0	0,41	0,055				
95			29	406	5	0,74						
0			14,8	0	0	0,38	0,054					
95			29,2	406	5	0,74						
0		15,1	0	0	0,38	0,053						
95		29,3	406	5	0,74							
0		15,4	0	0	0,39	9,21						
140 °C		1E	1°	0	0	0	0	0,00	0,121	8,15	8,92	
				189	52	809,2	10	1,32				
			0	20,1	0	0	0,51	0,055				
	95		27,2	406	5	0,69						
	0		12,7	0	0	0,32	0,054					
	95		27,3	406	5	0,69						
	0	13	0	0	0,33	0,053						
	95	27,4	406	5	0,70							
	0	13,5	0	0	0,34	9,39						
	150 °C	1F	1°	0	0	0,058	0	0,00	0,109	9,13		9,30
				189	49,6	809,2	10	1,26				
			0	20,8	0	0	0,53	0,054				
95			27	406	5	0,69						
0			12,7	0	0	0,32	0,053					
95			27,1	406	5	0,69						
0		13	0	0	0,33	0,052						
95		27,3	406	5	0,69							
0		13,4	0	0	0,34	9,49						

Tabla 10. Módulo dinámico a 50°C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EDOMÉTRICO - 50 °C											
			Carga = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$			X = Lectura del dial					
			Donde: $A_0 = 0,058$		$A_1 = 4,265$		$A_2 = 8,62E-05$		$A_3 = 0,0000$		
Temperatura	Código de briqueta	Ciclo carga - descarga	Lectura del dial de la carga	Lectura de deflexión	Carga (Kg)	Presión (Kg/cm ²)	Deflexión (cm)	Deformación	Módulo Dinámico (MPa)	Módulo Dinámico (MPa) - Promedio	
100 °C	2A	1°	0	0	0	0	0,00	0,132	7,41	7,78	
			189	46,5	809,2	10	1,18				
		0	12,5	0	0	0,32	0,063				7,80
		95	27,8	406	5	0,71					
		0	11,6	0	0	0,29	0,062				7,85
		95	27,8	406	5	0,71					
	0	11,7	0	0	0,30	0,061	8,05				
	95	27,6	406	5	0,70						
	2B	1°	0	0	0,058	0	0,00	0,127	7,73	7,87	
			189	44,6	809,2	10	1,13				
		0	11,9	0	0	0,30	0,063				7,78
		95	27,8	406	5	0,71					
0		11,5	0	0	0,29	0,062	7,93				
95		28,1	406	5	0,71						
0	12,1	0	0	0,31	0,061	8,03					
95	28,1	406	5	0,71							
120 °C	2C	1°	0	0	0,058	0	0,00	0,121	8,11	8,24	
			189	43,2	809,2	10	1,10				
		0	12	0	0	0,30	0,059				8,40
		95	27	406	5	0,69					
		0	11	0	0	0,28	0,058				8,52
		95	27,1	406	5	0,69					
0	12	0	0	0,30	0,137	7,20					
95	27,4	406	5	0,70							
130 °C	2D	1°	0	0	0,058	0	0,00	0,137	7,23	8,26	
			189	47,2	809,2	10	1,20				
		0	12	0	0	0,30	0,058				8,48
		95	25,5	406	5	0,65					
		0	10,5	0	0	0,27	0,057				8,59
		95	25,8	406	5	0,66					
0	11	0	0	0,28	0,056	8,77					
95	26	406	5	0,66							
140 °C	2E	1°	0	0	0,058	0	0,00	0,137	7,23	8,48	
			189	48	809,2	10	1,22				
		0	12	0	0	0,30	0,057				8,70
		95	26	406	5	0,66					
		0	11	0	0	0,28	0,056				8,88
		95	26,2	406	5	0,67					
0	11,5	0	0	0,29	0,054	9,13					
95	26,3	406	5	0,67							
150 °C	2F	1°	0	0	0	0	0,00	0,118	8,43	8,92	
			189	53	809,2	10	1,35				
		0	22	0	0	0,56	0,057				8,74
		95	27	406	5	0,69					
		0	12	0	0	0,30	0,054				9,23
		95	27,2	406	5	0,69					
0	13	0	0	0,33	0,053	9,30					
95	27,3	406	5	0,69							
0	13,2	0	0	0,34							

Tabla 11. Módulo dinámico a 60°C.

ENSAYO DE COMPRESIÓN EDMÉTRICO - 60 °C													
Carga = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$					X = Lectura del dial								
Donde : $A_0 = 0,058$					$A_1 = 4,265$		$A_2 = 8,6E-05$		$A_3 = 0,0000$				
Temperatura	Código de briqueta	Código de briqueta	Lectura del dial de la carga	Lectura de deflexión	Carga (Kg)	Presión (Kg/cm ²)	Deflexión (cm)	Deformación	Módulo Dinámico (MPa)	Módulo Dinámico (MPa) - Promedio			
100 °C	1C	1°	0	0	0	0	0,00	0,162	6,04	7,46			
			189	53,3	809,2	10	1,35						
		0	11,1	0	0	0,28	0,063				7,75		
		95	26,5	406	5	0,67							
		0	10	0	0	0,25	0,061				7,99		
		95	26,6	406	5	0,68							
	0	10,6	0	0	0,27	0,061	8,09						
	95	27,2	406	5	0,69								
	0	11,4	0	0	0,29	0,143	6,85						
	110 °C	1C	1°	0	0			0	0	0,00	0,067	7,35	7,47
				189	49,8			809,2	10	1,26			
			0	12,6	0			0	0,32	0,063			
95			28,9	406	5			0,73					
0			11,5	0	0			0,29	0,062	7,94			
95			29	406	5	0,74							
0	12,5	0	0	0,32	0,062	7,94							
95	29,1	406	5	0,74									
0	13	0	0	0,33	0,131	7,51							
120 °C	3C	1°	0	0			0	0	0,00	0,065	7,53	7,63	
			189	46			809,2	10	1,17				
		0	12	0			0	0,30	0,064				7,67
		95	28,6	406			5	0,73					
		0	11,6	0			0	0,29	0,063				7,81
		95	29,5	406	5	0,75							
0	12,8	0	0	0,33	0,061	8,19							
95	29,7	406	5	0,75									
0	13,3	0	0	0,34	0,135	7,34							
130 °C	3D	1°	0	0			0	0	0,00	0,066	7,52	7,73	
			189	46,1			809,2	10	1,17				
		0	11	0			0	0,28	0,063				7,89
		95	28	406			5	0,71					
		0	10,8	0			0	0,27	0,061				8,19
		95	28,2	406	5	0,72							
0	11,8	0	0	0,30	0,058	8,44							
95	28,4	406	5	0,72									
0	12,6	0	0	0,32	0,133	7,35							
140 °C	3E	1°	0	0			0,058	0	0,00	0,059	8,28	8,02	
			187	47			800,6	10	1,19				
		0	12	0			0	0,30	0,058				8,44
		94	27,8	402			5	0,71					
		0	11,7	0			0	0,30	0,058				8,44
		94	28,4	402	5	0,72							
0	12,8	0	0	0,33	0,122	8,00							
94	28,8	402	5	0,73									
0	13,5	0	0	0,34	0,122	8,00							
150 °C	3F	1°	0	0			0	0	0,00	0,061	8,01	8,21	
			187	42,9			800,6	10	1,09				
		0	10,6	0			0	0,27	0,059				8,31
		94	26,7	402			5	0,68					
		0	10,5	0			0	0,27	0,058				8,53
		94	26,8	402	5	0,68							
0	11,2	0	0	0,28	0,058	8,53							
94	27,1	402	5	0,69									
0	11,9	0	0	0,30	0,058	8,53							

En la tabla 12, se observa el resumen de los valores promedios de los módulos dinámicos ensayados a temperaturas para cada temperatura de compactación y temperatura de ensayo.

Las temperaturas más representativas en pista están entre las temperaturas de 20 y 30°C, sin embargo estas presentan un alto nivel de módulo dinámico de 9,78 y 9,54MPA respectivamente, la cual indica una buena rigidez en la mezcla asfáltica.

Tabla 12. Cuadro resumen del módulo dinámico.

Temperatura °C	Números de golpes	Módulo Dinámico (MPA)				
		Temperatura -Baño María				
		20°C	30°C	40°C	50°C	60°C
100	75	9,32	8,84	8,50	7,78	7,46
110	75	9,35	9,05	8,55	7,87	7,47
120	75	9,34	9,11	8,70	8,24	7,63
130	75	9,40	9,25	8,83	8,26	7,73
140	75	9,43	9,28	8,92	8,48	8,02
150	75	9,78	9,54	9,30	8,92	8,21

En la figura 9, con los valores de la tabla 12 se graficó el comportamiento del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, con respecto a la temperatura de compactación, para cada temperatura ensayada.

Para el cálculo del módulo dinámico se realizó a temperaturas de ensayos 20, 30, 40, 50 y 60°C ya que estas representan las temperaturas reales en pista, se puede observar que los valores del módulo dinámico incrementan a medida que la temperatura de ensayo desciende y aumenta a medida que la temperatura de compactación incrementa, esto se debe porque el porcentaje de vacíos incrementa a medida que la temperatura de compactación sea menor y hace que la mezcla sea más plástica, al aumentar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada, disminuye el módulo dinámico como también que éste aumenta al incrementar la densidad.

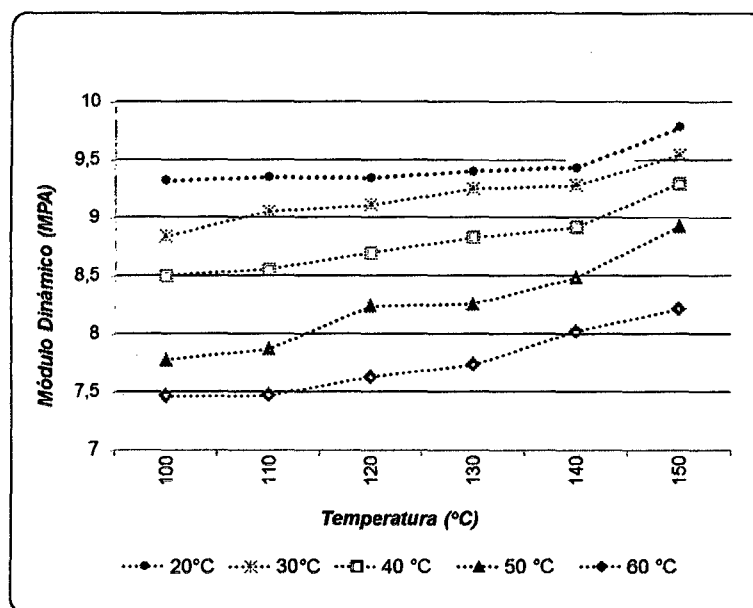


Figura 9: Variación del módulo dinámico con respecto a la temperatura de compactación.

En la figura 10, corresponde a la comparación del decremento en porcentaje de los módulos dinámicos de la mezcla asfáltica teniendo como patrón la temperatura de 150°C, con un nivel de energía de compactación de 75 golpes, el descenso en la temperatura de compactación entre 100 y 140°C siempre genera disminución del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, y la temperatura de ensayo (20, 30, 40, 50 y 60°C) influye en la variación, obteniendo un 13% de descenso para la temperatura de compactación de 100°C, esto se da porque en la mezcla compactada para 100°C existe mayores valores de vacíos y menor densidad.

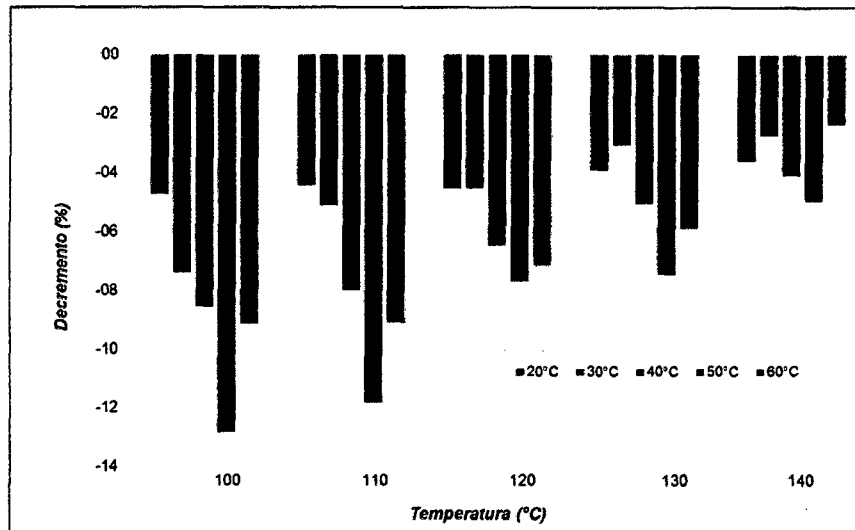


Figura 10: Variación del módulo dinámico con respecto a la temperatura de compactación.

4.2 Discusión

Según la investigación realizada por Minaya (2006), en sus ensayos hace uso de una mezcla asfáltica con 7% de cemento asfáltico PEN 60/70, briquetas elaboradas según el método Marshall, para el cálculo de las deformaciones somete a la temperatura de ensayo de 60°C y a temperatura de compactación de 150°C, obteniendo un valor promedio del módulo dinámico de 98 MPA. Los valores encontrados del módulo dinámico para la temperatura de compactación de 150°C en esta investigación con respecto a Minaya (2006), puede explicarse por diferentes factores, los cuales son el nivel de esfuerzos, % de cemento asfáltico, tipo de agregado, temperatura de compactación y el uso de % de fibras celulósicas Viatop, la cual hace que aumente el valor del módulo dinámico.

De acuerdo a la hipótesis planteada, se verificó (tabla 10), que los valores del módulo dinámico entre las temperatura de 100 y 150°C son 8,38 y 9,15 MPA respectivamente. En el intervalo de temperatura de compactación 100 - 150°C y para temperaturas de ensayo entre los valores 20 - 60°C, el modulo dinámico desciende en un 13% para la temperatura de 100°C, considerando que a 150°C su valor es de 9,15 MPA al 100%, por lo tanto los valores hallados no contrastan con la hipótesis planteada.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para un nivel de energía de 75 golpes, los mayores valores del módulo dinámico están a 140 y 150°C, para las temperaturas de 100 y 150°C sus valores son 8,38 y 9,15 MPA respectivamente.

La temperatura de ensayo de 20, 30, 40, 50 y 60°C influye en la variación en % del módulo dinámico, obteniendo un descenso de 13% del módulo dinámico para la temperatura de compactación de 100°C.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda para futuras investigaciones, realizar briquetas Marshall con niveles de energía de compactación para valores de 25 y 50 golpes por cara, para asegurar una mejor precisión en el comportamiento del módulo dinámico de la mezcla asfáltica.

Se debe tener en cuenta factores como la temperatura ambiente, distancia de acarreo, tipos de cemento asfáltico, utilizar otros métodos de ensayo para determinar módulos dinámicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- Aguirre R., Calderón I., & Salazar I. (2009). *Evaluación de la incidencia de la temperatura en el diseño de las carpetas asfálticas en caliente en el salvador*. Universidad de el Salvador. Chile.
- Asphalt Institute. (Edi.). (2001). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente*. Consultado 14 jul. 2014. Recuperado de http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_130_181_83_11_81.pdf
- Minaya S. & Ordoñez A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_1556.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *Especificaciones técnicas generales para construcción*. [https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/EG-2013/Manual%20de%20Carreteras%20-%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20\(Versi%C3%B3n%20Final%20-%20Enero%202013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/EG-2013/Manual%20de%20Carreteras%20-%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construcci%C3%B3n%20-%20EG-2013%20-%20(Versi%C3%B3n%20Final%20-%20Enero%202013).pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2000). *Manual de ensayos de materiales para carreteras*. https://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/EM-2000/index.htm
- Reyes O., O. (2009). Cambios dinámicos y mecánicos de una mezcla asfáltica densa por las propiedades del asfalto y la energía de compactación. *Ingeniería y desarrollo*, (26), 139-155.

- Reyes O., Camacho J., & Nieto A. (2006, 31 de julio). Cambios en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica por energía de compactación y variación en la granulometría. *Ciencia e ingeniería neogranadina*, 16(1), 72-79.
- Valencia V.J (2006, 09 de agosto). Comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas. *Universidad EAFIT*. 42 (143), 72-88.

ANEXOS A

TABLAS

Tabla 13. Diseño de mezcla asfáltica en caliente.

CONTRATISTA	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES		SUPERVISION
CONSORCIO PERICOS - SAN IGNACIO	PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL PROVIAS NACIONAL		
FORMULA DE TRABAJO			
ITEM:			
Agregados			
Gradacion de Agregados	% De Agregados		
Composicion de Mezcla			
Grava Chancada < 1"	0	%	
Grava Chancada < 3/4"	47	%	
Arena Chancada < 3/16"	22	%	
Arena Zarandeada < 1/4"	30	%	
Filler	1	%	
% Total	100	%	
% De Aditivo Quimibond 5000	0,5	%	
Propiedades (Combinacion)			
% Con Una Cara Fracturada < 3/4" > 3/8"	98,1	%	(85 min)
% Con Dos Caras Fracturada < 3/4" > 3/8"	93,9	%	(50 min)
% Partículas Chatas Y Alargadas < 3/4" > 1/4"	3,6	%	(10 max)
% Equivalente de Arena	60	%	(50 min)
Limite Liquido (LL) < N° 40	N.L.	%	
Indice Plasticidad (IP) < N° 40	N.P.	%	
Limite Liquido (LL) < N° 200	21,6	%	(25 max(LL))
Indice Plasticidad (IP) < N° 200	N.P.	%	
% De Angularidad De la Arena < N° 8 > N° 200	55,6	%	
% Durabilidad Sulfato Magnesio Grava	5,2	%	
% Indice de Durabilidad Grava	54,27	%	
% Indice de Durabilidad Arena	61,09	%	
% Lotman	83,4	%	
% C.Finos	—	%	
% Sales Solubles Grava	0,09	%	
% Sales Solubles Arena	0,063	%	
% Los Angeles Abrasion (LAA)	19,6	%	
Riedel Weber	>4	%	
Adherencia agregado Grueso	95	%	
COMBINACION DE AGREGADOS			
GRAVEDAD ESPECIFICA GRAVA			
PE Bulk (Base seca)	2,676		
PE Aparente (Base Seca)	2,739		
% Absorción	0,855		
GRAVEDAD ESPECIFICA ARENA			
PE Bulk (Base seca)	2,683		
PE Aparente (Base Seca)	2,746		
% Absorción	0,861		
Mezcla Asfáltica			
Gravedad Especifica Del Cemento Asfaltico	1,078	Fórmula de Trabajo	
	Diseño	Planta De Asfalto	
% De Cemento Asfaltico	5,70%	+/- 0.3	
Mezcla Asfaltica			
N° De Golpes	75		
Máxima Temperatura	150 °C		
Mínima Temperatura	140 °C		
Propiedades de Marshall			
Peso Unitario	2,385	gr/cc	
Estabilidad (kg)	1240,7	(> 815)	
Flujo (mm)	3,56	(2.032 - 3.556)	(8 - 14)
Indice De Rigidez (Estab/Flujo)	3489	(2000 - 4000)	
% Vacios De La Mezcla	3,37	(3 - 5)	
% Vacios Del Agregado Mineral (VMA)	16,91	(14 min)	
% Vacios Llenos de Cemento Asfaltico	80,05	(70 - 82)	
% De Estabilidad Retenida	88,02	(70 min)	
% De Indice De Compactabilidad	6,85	(5 min)	
% C.A Absorbido Por El Peso Del Agregado Seco	0,47		
% C.A Efectivo De La Mezcla	5,26		
Máxima Gravedad Especifica (RICE - ASTM D2041)	2,468		
Peso Especifico Bulk Del Agregado Total	2,680		
Peso Especifico Efectivo Del Agregado Total	2,711		

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)

Tabla 14. Factor de corrección de estabilidad.

Volumen de la muestra (m³)	Altura aproximada de la muestra (cm)	Factor de corrección
200-213	2,54	5,56
214-225	2,70	5,00
226-237	2,86	4,55
238-250	3,02	4,17
251-264	3,18	3,85
265-276	3,34	3,57
277-289	3,49	3,33
290-301	3,65	3,03
302-316	3,81	2,78
317-328	3,97	2,50
329-340	4,13	2,57
341-353	4,29	2,08
354-367	4,45	1,92
368-379	4,61	1,79
380-392	4,76	1,67
393-405	4,92	1,56
406-420	5,08	1,47
421-431	5,24	1,39
432-443	5,40	1,32
444-456	5,56	1,25
457-470	5,72	1,19
471-482	5,87	1,14
483-495	6,03	1,09
496-508	6,19	1,04
509-522	6,35	1,00
523-535	6,51	0,96
536-546	6,67	0,93
547-559	6,83	0,89
560-573	6,99	0,86
574-585	7,14	0,83
586-598	7,30	0,81
299-610	7,46	0,78
611-625	7,62	0,76

Fuente: Minaya S. & Ordoñez A. (2006).

ANEXOS B
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Ficha 1. Certificado de calidad – Cemento asfáltico PEN 60/70.

PETROLEOS DEL PERÚ PETROPERÚ S.A.
LABORATORIO DE REFINERÍA TALARA



INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO : PETROPERU ASFALTO SOLIDO 60/70 PEN

RFTL-LAB-5205-2014

CARRO TANQUE FIS-942 D1J-976		FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA 12/09/14			
TANQUE DE DESPACHO: 468		FECHA DE REPORTE: 18/09/14			
CLIENTE: ENERGOPROJEKT		DIRECCION DEL CLIENTE: JAEN			
Codigo de la Muestra : 200015929-2014		OTRA INFORMACION DE LA MUESTRA: Despacho coordinado por el Departamento Comercial y la Unidad de SSI-Especialidades			
Cantidad de muestra : 750 mL					
Tipo de Envase : VITRIO					
ENSAYO	Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES MINIMO MAXIMO	
PENETRACION					
A 25°C, 102 g 5s	0.1mm	D5-06e1	61	60	70
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta	°C	D92-25a	300	292	-
Gravedad especifica @ 15.6/15.6°C		D70-03	1.0143	REPORTAR	
DUCTILIDAD					
A 25°C, 5 cm/min	cm	D113-99	> 150	100	-
SOLUBILIDAD					
En benceno	%masa	D2042-01	99.7	99.0	-
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas		D1754-02			
Perdida por calentamiento	%masa	D1754-02	0.30	-	0.6
Penetración retenida, del original	%	D5-06e1	78.7	50+	-
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	D113-99	> 150	50	-
Índice de susceptibilidad termica	-	Norma Venezolana	-0.72	-1.0	+1.0
FLUIDEZ					
Viscosidad cinemática a 103°C	cSt	D2170-01a(2006)	4117	REPORTAR	
Viscosidad cinemática a 135°C	cSt	D2170-01a(2006)	350	200	-
ADHERENCIA					
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado bitumen,	%	D3925-96(2005)	95	REPORTAR	
Prueba desprendimiento del agua	-	D 3925-96(2005)	Pasa	REPORTAR	
PUNTO DE ABLANDAMIENTO	°C	D35-05	50.0	REPORTAR	
PRUEBA DE LA MANCHA (OLIENSIS) 30% XILENO		AASHTO T-102-83(04)	NEGATIVO	REPORTAR	
OBSERVACIONES: 1. Los resultados corresponden a la muestra analizada. 2. Gravedad API @ 15.6°C = 8.0 3. El código de la muestra de chequeo: 200015921-2014					
PREPARADO POR: NOMBRE: FUNCION: FIRMA:		APROBADO POR: NOMBRE: VICTOR SERNAQUE A. FUNCION: JEFE DE LABORATORIO FIRMA:			

R1LAB-1-30, Version 01

FBI DE INFORME

Pag 011

ENERGOPROJEKT
NISKOGRADNJA S A
19 SEP 2014
RECEPCION REPUESTOS

Av. Grau S/N - Portón N° 1, Talara - Piura - Perú
Teléfono: (51) 73-284200 Anexo: 3310
Fax: (51) 73-284265

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION DE PETROPERU S.A.

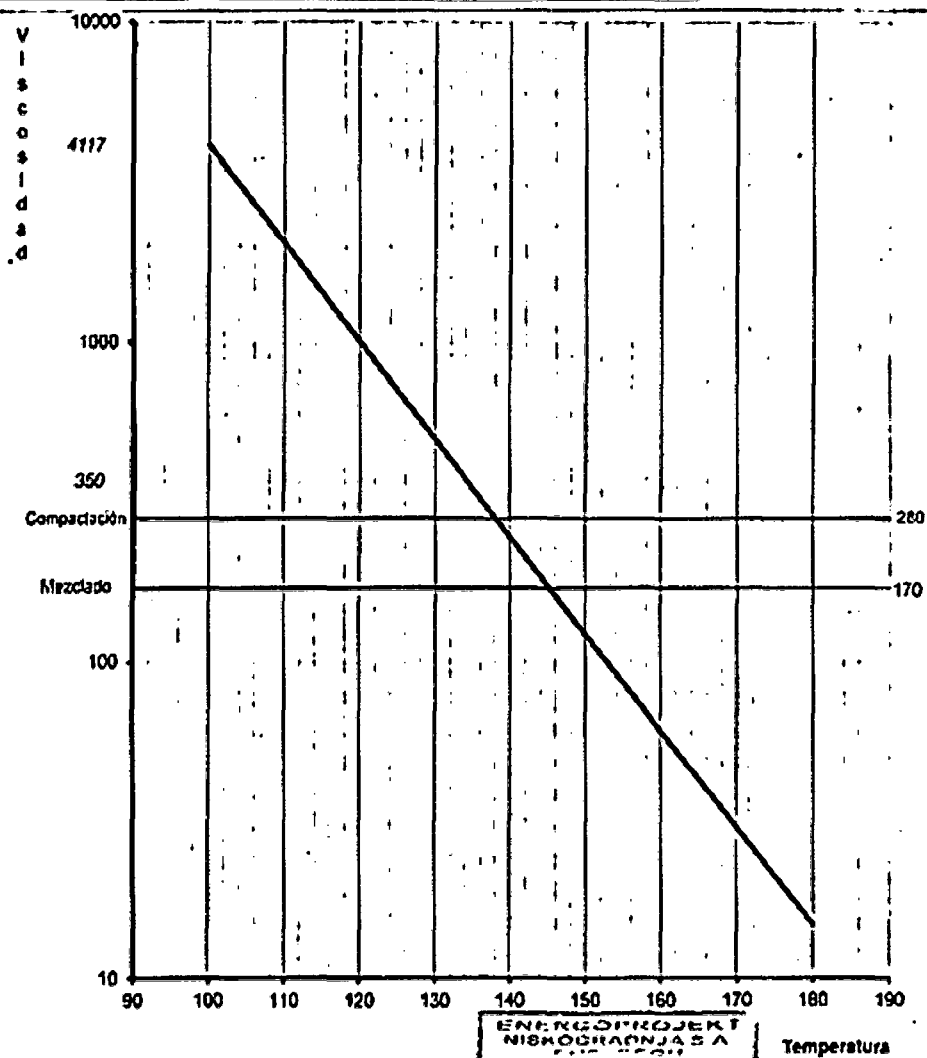
Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)

PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.

PRODUCTO : PETROPERU ASFALTO SOLIDO 60/70 PEN

Laboratorio de Refinería Talara

FECHA:	18/09/2014
TANQUE REFINERIA:	468
CLIENTE	ENERGOPROJEKT
DESTINO	JAEN



ENERGOPROJEKT
NISKOGRAĐNJA S A
19 SEP 2014
RECEPCIÓN REPUESTOS

Av. Grau S/N - Portón N° 1, Talara - Piura - Perú
Telfs.: (51) 73 - 284200 Anexo: 3310
Fax: (51) 73 - 284265

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU S.A.

Ficha 2. Certificado de calidad – Cal.



"INVERSIONES 3MB S.R.L."

Producción, Comercialización y Transporte de Óxido de Calcio y Derivados
RUC: 20465700071

CERTIFICADO DE CALIDAD N° 190480

Nombre del Material: CAL HIDRATADA
 Cliente : Energoprojekt Niskogradnja Sa. Suc. Perú
 RUC : 20102502001
 Dirección : Car. Jaén San Ignacio s/n Chinoso San Ignacio
 Cajamarca.
 Orden de Compra : 014
 Lote : 0004-08-2014
 Guía : 0003-000177
 Cantidad : 20 TM (20.000.00 Kg)
 Fecha de Emisión : Jueves 28 agosto 2014

**1.- ESPECIFICACIONES:
ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO**

DETERMINACION	RESULTADO
Cal activa (CaO+MgO) %	92.62
Dióxido de Carbono CO- %	4.20
Agua Libre(H ₂ O) %	0.83
PPC %	13.60
Peso Específico %	2.91

ANÁLISIS QUÍMICO TÍPICO

		Material Molido
Granulometría		
Retenido Malla 30	%	0.09
Retenido Malla 200	%	0.90
Pasa Malla 200	%	99.00
Color		Blanco Humo Blanco Gris

2.- OBSERVACIONES:

MÉTODO AASTHO 216 (ASTM C 97)
 GRANULOMETRÍA AASTHO 216 (ASTM C 977)

Precauciones de Manipuleo: Al manipular usar equipo de protección personal (guantes, anteojos, respirador)

Precauciones de Almacenaje: Almacenar en lugares secos y techados.


 ING. ANÍBAL MIRES BARCOZA
 O.N.I. N° 27426153

Carretera Bambamarca Chota Km 04 - Bambamarca - Hufgayoc - Cajamarca
 Tel: 098454371/076494450 RPN: #756338 / #257875; e-mail: ventas@energoprojekt.com



Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)

Ficha 3. Certificado de calidad – Aditivo quimibond.



Química Sinza Industrial
del Perú SA
Av. República de Colombia 2577
Lima 15 - Perú
www.qsinza.com.pe

T (+51) 1 720 4793
F (+51) 1 720 4793

CERTIFICADO DE CALIDAD

CIUDAD DE DESPACHO	LIMA – PERU
PRODUCTO	QUIMIBOND 5000
LOTE	41500927
FECHA DE FABRICACION	may-14
FECHA DE EXPIRACION	may-15

PROPIEDAD	ESPECIFICACION		LOTE REAL
ASPECTO OSIPE.C6.GU.003 METODO VISUAL	Líquido marron oscuro		CONFORME
	Mínimo	Máximo	
DENSIDAD (g/mL) (24 ± 1 °C) OSIPE.C6.GU.005 METODO PICNOMETRO	1.030	1.050	1.033

OBSERVACIONES:
Visto los resultados reales comparados con los especificados, se aprueba el producto fabricado. La fecha de expiración es de un año en condiciones normales de almacenamiento.

Ing. Frida Remuzgo López
JEFE DE CONTROL DE CALIDAD

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)

Ficha 3. Certificado de calibración de la prensa CBR



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CFM - 010 - 2014

Pag. 1 de 4

Expediente: 00002-2014
 Solicitante: ENERGOPROJEKT NISKOGRADNJA S.A. SUC PERÚ
 Dirección: Ca. Amador Merino Reyna N° 460. Of. 1601 - San Isidro
 Equipo: PRENSA PARA ENSAYO CBR
 Marca: METROTEST
 Modelo // Serie: MS-9 // 443
 Objeto: Anillo De Carga
 Serie: 6020
 Reloj Comparador / Dial : BAKER
 Modelo: J62A
 Serie: K8214
 Resolución: 0,0001 Inch
 Código Identificación: NO INDICA
 Carga Máxima: 10 000 lb
 Patrón Utilizado: Celda de Carga Tipo "S"
 Trazabilidad: LFP-530-2013 SNM INDECOPI
 Fecha de emisión: 15/01/2014
 Fecha Calibración: 10/01/2014

Procedimiento de Calibración:
 Se emplea el procedimiento de acuerdo con la Norma ASTM E 4 "Standard Practices for Force Verification of Testing Machines"

RESULTADOS DE CALIBRACION

Lectura Unidades.	Lecturas (kgf)			Promedio	Repetibilidad
	L1	L2	L3		
0	0	0	0	0	0
100	431,1	432,3	433,2	432,2	0,49
230	887,6	887,0	887,1	887,2	0,07
370	1 351,9	1 353,1	1 351,6	1 352,2	0,11
500	1 800,1	1 802,2	1 800,2	1 800,8	0,12
630	2 253,3	2 256,1	2 254,8	2 254,7	0,12
760	2 702,6	2 703,8	2 699,1	2 701,8	0,17
890	3 144,2	3 142,1	3 144,5	3 143,6	0,08
1020	3 590,0	3 589,2	3 590,5	3 589,9	0,04

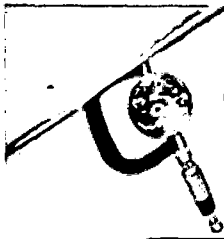
Metrologo:
Firma


Jefe de Metrología



Av. Arceles Solopuren 494 Dpto. 102 Urb. Parques De Villa Sol - Los Olivos www.metrotesteirl.com / metrotestlogistica@hotmail.com / ventas@metrotesteirl.com
 Tel: 526-7898 Telex: 528-3324 Cels: 982809991 / 997045343 N: 127*8069 RPM: #060291
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST E.I.R.L.

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)



Metrotest^{E.I.R.L.}

LABORATORIO DE METROLOGÍA

CERTIFICADO DE CALIBRACION

Consecutivo: **CFM - 010 - 2014**

Pág.2 de 4

Carga (kgf) = $A_0 + A_1 \cdot X + A_2 \cdot X^2 + A_3 \cdot X^3$: X = lectura del dial (")

$A_0 = .058$

$A_1 = 4.2650$

$A_2 = 0.000026200$

$A_3 = 0.00000000$

Desvío estándar del ajuste: 2,12 kgf

Carga en kgf

Loectura	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
100	427,4	431,7	436,0	440,3	444,5	448,8	453,1	457,4	481,7	466,0
110	470,2	474,5	478,8	483,1	487,4	491,7	496,0	500,2	504,5	508,8
120	513,1	517,4	521,7	526,0	530,2	534,5	538,8	543,1	547,4	551,7
130	556,0	560,2	564,5	568,8	573,1	577,4	581,7	586,0	590,3	594,6
140	598,8	603,1	607,4	611,7	616,0	620,3	624,6	628,9	633,2	637,4
150	641,7	646,0	650,3	654,6	658,9	663,2	667,5	671,8	676,1	680,4
160	684,7	688,9	693,2	697,5	701,8	706,1	710,4	714,7	719,0	723,3
170	727,6	731,9	736,2	740,5	744,8	749,1	753,4	757,7	762,0	766,2
180	770,5	774,8	779,1	783,4	787,7	792,0	796,3	800,6	804,9	809,2
190	813,5	817,8	822,1	826,4	830,7	835,0	839,3	843,6	847,9	852,2
200	856,5	860,8	865,1	869,4	873,7	878,0	882,3	886,6	890,9	895,2
210	899,5	903,8	908,1	912,4	916,7	921,0	925,3	929,6	933,9	938,2
220	942,5	946,8	951,1	955,4	959,7	964,0	968,3	972,6	976,9	981,3
230	985,6	989,9	994,2	998,5	1002,8	1007,1	1011,4	1015,7	1020,0	1024,3
240	1028,6	1032,9	1037,2	1041,5	1045,8	1050,1	1054,5	1058,8	1063,1	1067,4
250	1071,7	1076,0	1080,3	1084,6	1088,9	1093,2	1097,5	1101,8	1106,2	1110,5
260	1114,8	1119,1	1123,4	1127,7	1132,0	1136,3	1140,6	1144,9	1149,3	1153,6
270	1157,9	1162,2	1166,5	1170,8	1175,1	1179,4	1183,8	1188,1	1192,4	1196,7
280	1201,0	1205,3	1209,6	1213,9	1218,3	1222,6	1226,9	1231,2	1235,5	1239,8
290	1244,1	1248,5	1252,8	1257,1	1261,4	1265,7	1270,0	1274,4	1278,7	1283,0
300	1287,3	1291,6	1295,9	1300,3	1304,6	1308,9	1313,2	1317,5	1321,8	1326,2
310	1330,5	1334,8	1339,1	1343,4	1347,8	1352,1	1356,4	1360,7	1365,0	1369,3
320	1373,7	1378,0	1382,3	1386,6	1391,0	1395,3	1399,6	1403,9	1408,2	1412,6
330	1416,9	1421,2	1425,5	1429,8	1434,2	1438,5	1442,8	1447,1	1451,5	1455,8
340	1460,1	1464,4	1468,8	1473,1	1477,4	1481,7	1486,1	1490,4	1494,7	1499,0
350	1503,4	1507,7	1512,0	1516,3	1520,7	1525,0	1529,3	1533,6	1538,0	1542,3
360	1546,6	1550,9	1555,3	1559,6	1563,9	1568,2	1572,6	1576,9	1581,2	1585,6
370	1589,9	1594,2	1598,5	1602,9	1607,2	1611,5	1615,9	1620,2	1624,5	1628,9
380	1633,2	1637,5	1641,8	1646,2	1650,5	1654,8	1659,2	1663,5	1667,8	1672,2
390	1676,5	1680,8	1685,2	1689,5	1693,8	1698,2	1702,5	1706,8	1711,2	1715,5



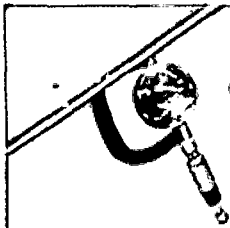
J. Artides Sosp. en 494 Dpto. 102 Urb. Parques De Vía Sol - Los Olivos

www.metrotesteri.com / metrotestlogica@hotmail.com / ventas@metrotesteri.com

Tel.: 528-7898 Telefax 528-3324 Cels.: 982839991 / 997045343 N° 127-8069 RPM. #DE8091

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST EIRL

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)



Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Consecutivo: CFM-010-2014
Pág. 3 de 4

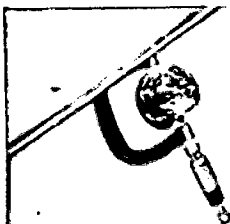
400	1 719,8	1 724,2	1 728,5	1 732,8	1 737,2	1 741,5	1 745,8	1 750,2	1 754,5	1 758,8
410	1 763,2	1 767,5	1 771,8	1 776,2	1 780,5	1 784,9	1 789,2	1 793,5	1 797,9	1 802,2
420	1 806,5	1 810,9	1 815,2	1 819,6	1 823,9	1 828,2	1 832,6	1 836,9	1 841,2	1 845,6
430	1 849,9	1 854,3	1 858,6	1 862,9	1 867,3	1 871,6	1 876,0	1 880,3	1 884,6	1 889,0
440	1 893,3	1 897,7	1 902,0	1 906,3	1 910,7	1 915,0	1 919,4	1 923,7	1 928,1	1 932,4
450	1 936,7	1 941,1	1 945,4	1 949,8	1 954,1	1 958,5	1 962,8	1 967,1	1 971,5	1 975,8
460	1 980,2	1 984,5	1 988,9	1 993,2	1 997,6	2 001,9	2 006,2	2 010,6	2 014,9	2 019,3
470	2 023,6	2 028,0	2 032,3	2 036,7	2 041,0	2 045,4	2 049,7	2 054,1	2 058,4	2 062,7
480	2 067,1	2 071,4	2 075,8	2 080,1	2 084,5	2 088,8	2 093,2	2 097,5	2 101,9	2 106,2
490	2 110,6	2 114,9	2 119,3	2 123,6	2 128,0	2 132,3	2 136,7	2 141,0	2 145,4	2 149,7
500	2 154,1	2 158,4	2 162,8	2 167,1	2 171,5	2 175,8	2 180,2	2 184,5	2 188,9	2 193,3
510	2 197,6	2 202,0	2 206,3	2 210,7	2 215,0	2 219,4	2 223,7	2 228,1	2 232,4	2 236,8
520	2 241,1	2 245,5	2 249,9	2 254,2	2 258,6	2 262,9	2 267,3	2 271,6	2 276,0	2 280,3
530	2 284,7	2 289,1	2 293,4	2 297,8	2 302,1	2 306,5	2 310,8	2 315,2	2 319,6	2 323,9
540	2 328,3	2 332,6	2 337,0	2 341,3	2 345,7	2 350,1	2 354,4	2 358,8	2 363,1	2 367,5
550	2 371,9	2 376,2	2 380,6	2 384,9	2 389,3	2 393,7	2 398,0	2 402,4	2 406,7	2 411,1
560	2 415,5	2 419,8	2 424,2	2 428,5	2 432,9	2 437,3	2 441,6	2 446,0	2 450,4	2 454,7
570	2 459,1	2 463,4	2 467,8	2 472,2	2 476,5	2 480,9	2 485,3	2 489,6	2 494,0	2 498,4
580	2 502,7	2 507,1	2 511,5	2 515,8	2 520,2	2 524,6	2 528,9	2 533,3	2 537,7	2 542,0
590	2 546,4	2 550,8	2 555,1	2 559,5	2 563,9	2 568,2	2 572,6	2 577,0	2 581,3	2 585,7
600	2 590,1	2 594,4	2 598,8	2 603,2	2 607,5	2 611,9	2 616,3	2 620,6	2 625,0	2 629,4
610	2 633,8	2 638,1	2 642,5	2 646,9	2 651,2	2 655,6	2 660,0	2 664,3	2 668,7	2 673,1
620	2 677,5	2 681,8	2 686,2	2 690,6	2 695,0	2 699,3	2 703,7	2 708,1	2 712,4	2 716,8
630	2 721,2	2 725,6	2 729,9	2 734,3	2 738,7	2 743,1	2 747,4	2 751,8	2 756,2	2 760,6
640	2 764,9	2 769,3	2 773,7	2 778,1	2 782,4	2 786,8	2 791,2	2 795,6	2 799,9	2 804,3
650	2 808,7	2 813,1	2 817,4	2 821,8	2 826,2	2 830,6	2 835,0	2 839,3	2 843,7	2 848,1
660	2 852,5	2 856,9	2 861,2	2 865,6	2 870,0	2 874,4	2 878,7	2 883,1	2 887,5	2 891,9
670	2 896,3	2 900,7	2 905,0	2 909,4	2 913,8	2 918,2	2 922,6	2 926,9	2 931,3	2 935,7
680	2 940,1	2 944,5	2 948,8	2 953,2	2 957,6	2 962,0	2 966,4	2 970,8	2 975,1	2 979,5
690	2 983,9	2 988,3	2 992,7	2 997,1	3 001,5	3 005,8	3 010,2	3 014,6	3 019,0	3 023,4
700	3 027,8	3 032,1	3 036,5	3 040,9	3 045,3	3 049,7	3 054,1	3 058,5	3 062,9	3 067,2
710	3 071,6	3 076,0	3 080,4	3 084,8	3 089,2	3 093,6	3 098,0	3 102,3	3 106,7	3 111,1
720	3 115,5	3 119,9	3 124,3	3 128,7	3 133,1	3 137,5	3 141,8	3 146,2	3 150,6	3 155,0
730	3 159,4	3 163,8	3 168,2	3 172,6	3 177,0	3 181,4	3 185,8	3 190,1	3 194,5	3 198,9
740	3 203,3	3 207,7	3 212,1	3 216,5	3 220,9	3 225,3	3 229,7	3 234,1	3 238,5	3 242,9
750	3 247,3	3 251,7	3 256,0	3 260,4	3 264,8	3 269,2	3 273,6	3 278,0	3 282,4	3 286,8
760	3 291,2	3 295,6	3 300,0	3 304,4	3 308,8	3 313,2	3 317,6	3 322,0	3 326,4	3 330,8
770	3 335,2	3 339,6	3 344,0	3 348,4	3 352,8	3 357,2	3 361,6	3 366,0	3 370,4	3 374,8
780	3 379,2	3 383,6	3 388,0	3 392,4	3 396,8	3 401,2	3 405,6	3 410,0	3 414,4	3 418,8
790	3 423,2	3 427,6	3 432,0	3 436,4	3 440,8	3 445,2	3 449,6	3 454,0	3 458,4	3 462,8



Soloizren 434 Dpto. 102 Urb. Parques De Villa Sol - Los Olivos www.metrotestarl.com / metrotestlogistica@hotmail.com / ventas@metrotestarl.com
Tel.: 526-7898 Telefax: 526-3324 Cel.: 982887991 / 097045343 R. 127-8069 RPM: #068091

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST E.I.R.L.

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)



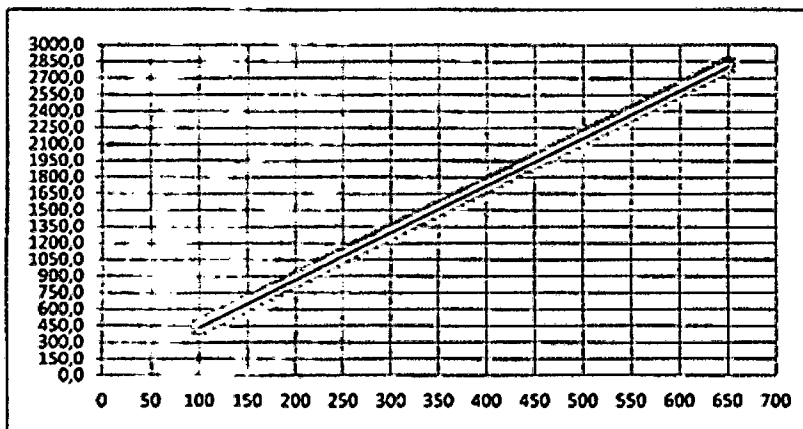
Metrotest E.I.R.L.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

Consecutivo: CFM-010-2014

Pág. 4 de 4

600	3 467,2	3 471,6	3 476,0	3 480,4	3 484,8	3 489,2	3 493,6	3 498,0	3 502,4	3 506,8
610	3 511,2	3 515,6	3 520,0	3 524,4	3 528,8	3 533,2	3 537,6	3 542,0	3 546,4	3 550,8
620	3 555,3	3 559,7	3 564,1	3 568,5	3 572,9	3 577,3	3 581,7	3 586,1	3 590,5	



TRAZABILIDAD:

La empresa METROTEST E.I.R.L. asegura el mantenimiento y la trazabilidad de los patrones de trabajo utilizados en las mediciones, los cuales han sido calibrados, certificados y comparados con un marco de carga calibrado por PINZUAR LTDA., La cual cuenta con una trazabilidad del SNM INDECOPI

OBSERVACIONES.

1. Los informes de calibración sin las firmas no tienen validez.
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición. *El tiempo entre dos verificaciones depende del tipo de máquina de ensayo, de la norma de mantenimiento y de la frecuencia de uso.
A menos que se especifique lo contrario, se recomienda que se realicen verificaciones a intervalos no mayores a 12 meses.* (ISO 7500-1).
3. *En cualquier caso, la máquina debe verificarse si se realiza un cambio de ubicación que requiera desmontaje, o si se somete a ajustes o reparaciones importantes.* (ISO 7500-1).
4. Este informe expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
5. Los resultados contenidos parcialmente en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.



Colombia 454 Depto. 102 Urb. Parque De Villa Sol - Los Cerritos - Bogotá D.C. www.metrotest.com / metrotest@comcast.net / metrotest.com / fuerza@comcast.net

Tel.: 528-7893 Telefax: 528-3324 Cels.: 952229991 / 997045343 H. 127* 8069 RPA: #058091

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN LA AUTORIZACIÓN DE METROTEST E.I.R.L.

Fuente: Laboratorio de Suelos y Pavimentos – Energoprojekt Niskogradnja (2014)

ANEXO C
FIGURAS



Figura 11. Extracción de mezcla.



Figura 12. Acondicionamiento de mezcla

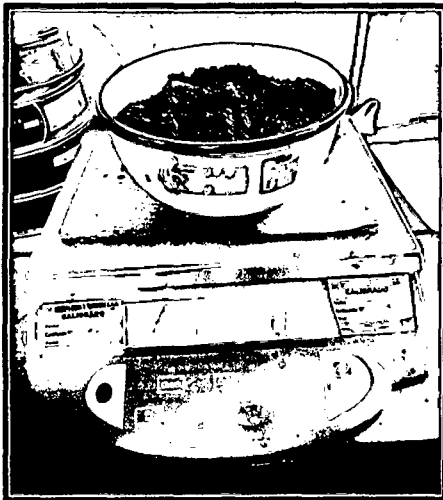


Figura 13. Masa 1250 g. de mezcla



Figura 14. Control de temperatura.

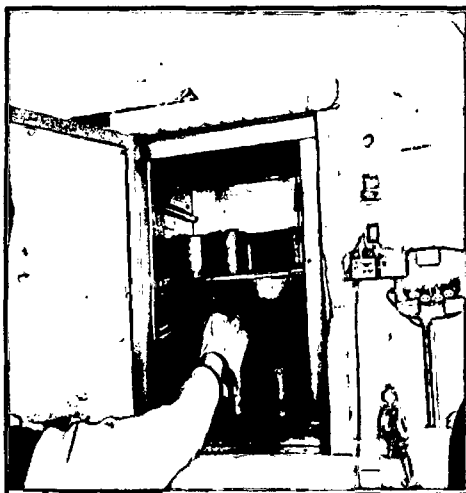


Figura 15. Calentar los moldes a 60°C.

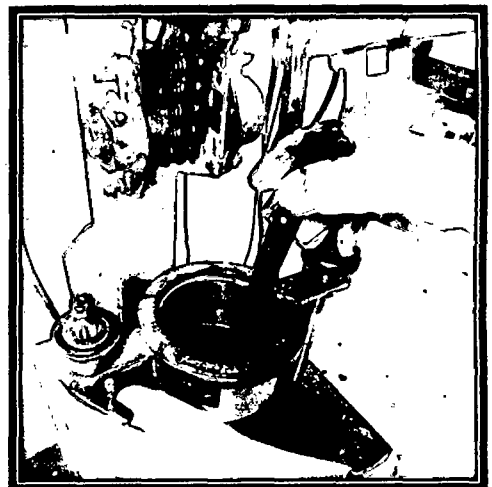


Figura 16. Nivelación de mezcla asfáltica.



Figura 17. Compactación de briquetas



Figura 18. Extracción de briquetas



Figura 19. Briquetas Marshall.



Figura 20. Masa de briquetas

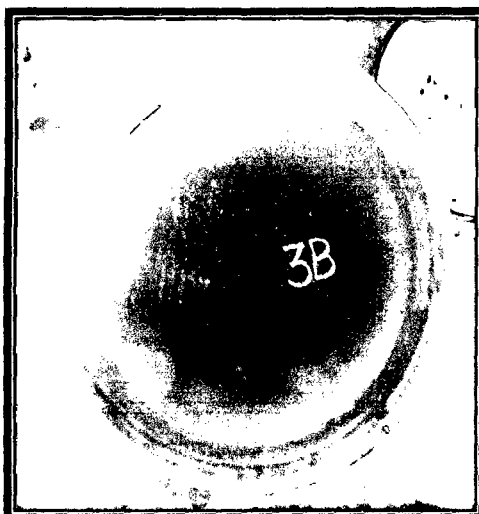


Figura 21. Briquetas sumergidas en agua



Figura 22. Masa de briquetas



Figura 23. Briquetas en baño María.



Figura 24. Medición del diámetro y altura de briquetas.

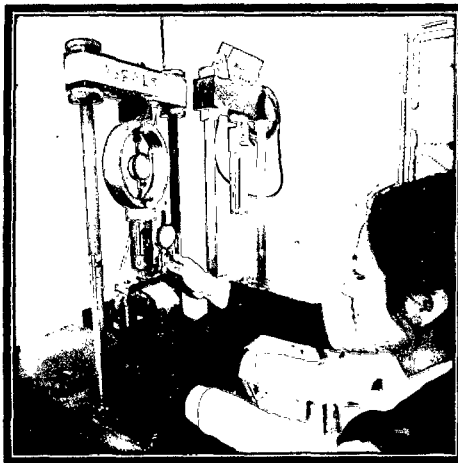


Figura 25. Estabilidad y flujo Marshall.



Figura 26. Colocación de briquetas en el molde.

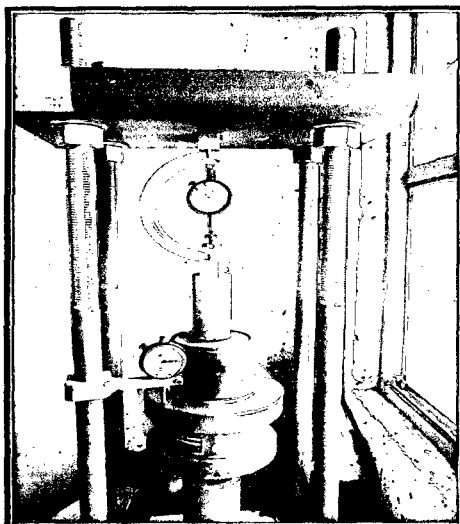


Figura 27. Compresión Edométrica.



Figura 28. Extracción de vacíos.