

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA, INGENIERIA CIVIL Y DEL AMBIENTE

PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



“EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL MODULO RESILIENTE EN MEZCLAS ASFALTICAS DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA”

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil presentada por:

Carlos Cesar Ramos Guerra

Asesor:

Dr. Néstor Tupa Fernández

AREQUIPA - PERU

2014

***A Dios y a la Virgen María:
Por todo lo que me han dado.***

***A mis padres:
Carlos y Sandra por el esfuerzo y sacrificio que tuvieron para criarme,
enseñarme y ser mi ejemplo de vida.***

***A mis hermanos:
Estefany y Juan Pablo que son el amor de mi vida y siempre están a mi
lado y caminaron conmigo siempre.***

***Al colegio San José y a la Universidad Católica de Santa María:
Por formarme para ser un hombre para servir a los demás.***

***A mi enamorada,
Que siempre estuvo apoyándome para culminar la tesis.***

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento Especial a mi asesor el Doctor Néstor Tupa Fernández de tesis que aportó su conocimiento para el aprendizaje y mejoramiento de este trabajo.

A la empresa Marquisa S.A.C. que brindó los agregados pétreos y mezclas Asfálticas para el presente trabajo.

A la Universidad Católica de Santa María que brindó el servicio del Laboratorio de Suelos para el desarrollo de la presente tesis.

Al Ingeniero Roberto Cáceres Flores que apoyó con equipos de su Laboratorio de asfaltos para los ensayos para el presente trabajo.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL MODULO RESILIENTE EN MEZCLAS ASFALTICAS DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

RESUMEN

Las necesidades y exigencias en las ciudades modernas demandan pavimentos de calidad que cumplan satisfactoriamente con su población. Los ensayos de mezclas asfálticas tienen muchas variables al estar conformado por varios materiales, cada uno tiene sus propias características y dependen de diversos factores. En los ensayos se busca un estudio de todos los materiales y su comportamiento ante factores que se analizan en la presente tesis como la temperatura del asfalto, clima y cemento asfáltico.

En la actualidad existen diversos métodos de diseño de mezclas asfálticas, cada uno con su respectiva resistencia, durabilidad y características físicas. Cada diseño es requerido para cierta demanda de tránsito, con diversas propiedades que serán escogidas por un Ingeniero para un proyecto. El estudio de las mezclas debe de simular un comportamiento semejante a la realidad para que el desempeño del pavimento en el campo sea el idóneo. En esta ocasión nos enfocaremos en el comportamiento resiliente de la mezcla asfáltica.

Se conoce como comportamiento resiliente a la deformación recuperable que tiene el asfalto ante cargas y descargas de los vehículos que lo transitan. Este Módulo muestra la calidad y duración del pavimento ante cargas cíclicas trabajando a deformaciones permanentes produciendo fatiga. Los valores de módulo resiliente pueden emplearse para evaluar la calidad de los materiales y generar datos para el diseño, evaluación y análisis de los pavimentos. El método utilizado para hallar los valores de Módulo Resiliente es el ensayo de tracción indirecta con carga cíclica.

La primera parte del trabajo consiste en analizar a temperaturas elevadas los resultados del ensayo Marshall a partir de 60°C, al no poder analizar la resiliencia en estas temperaturas por falta de equipo. La segunda parte del trabajo consiste en el análisis del comportamiento resiliente con diferentes porcentajes de asfalto trabajando a diferentes temperaturas. Para realizar el ensayo de Módulo Resiliente, se caracterizaron los agregados pétreos y se diseñó mediante el método Marshall, cumpliendo con estándares del MTC.

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL MODULO RESILIENTE EN MEZCLAS ASFALTICAS DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

ABSTRACT

The needs and demands in modern cities require quality flooring satisfactorily meet its population. The tests of asphalt mixtures have many variables to be composed of various materials, each has its own characteristics and depend on several factors. In a study testing of all materials and their behavior to factors discussed in this thesis as the track temperature, weather and asphalt cement is sought.

At present there are several methods of design of asphalt mixes, each with its respective resistance, durability, and physical characteristics. Each design is required for certain traffic demand, with various properties which will be chosen by an Engineer for a project. The study of mixtures should behave similarly to simulate reality to pavement performance in the field is ideal. This time we will focus on the resilient behavior of the asphalt mix.

It is known as resilient behavior recoverable deformation that has asphalt to loading and unloading of vehicles that pass. This module shows the quality and duration of cyclic loading to pavement permanent deformation producing working fatigue. The resilient modulus values can be used to assess the quality of materials and generate data for design, evaluation and analysis of pavements. The method used to find the values of resilient modulus is the indirect tensile test with cyclic loading.

The first part of the paper is to analyze at high temperatures Marshall Test results from 60°C, unable to analyze the resilience in these temperatures for lack of equipment. The second part of the work consists in analyzing the resilient behavior with different percentages of asphalt working at different temperatures. To perform the resilient modulus test, the aggregate were characterized and designed by Marshall Method, complying with standards MTC.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INDICE GENERAL.....	VI
INDICE TABLAS	IX
INDICE FIGURAS.....	XII
INDICE DE GRAFICAS.....	XIV
CAPITULO I –TEORIA	
1.1. MEZCLAS ASFALTICAS.....	2
1.1.1. COMPONENTES DE MEZCLAS ASFALTICAS	2
1.1.1.1. CARACTERISTICAS DE MATERIALES PETREOS.....	3
1.1.1.2. CARACTERISTICAS DEL ASFALTO	4
1.1.1.3. CEMENTOS ASFALTICOS.....	4
a. CLASIFICACION POR PENETRACION.....	4
b. CLASIFICACION POR VISCOSIDAD.....	5
c. CLASIFICACION POR DESEMPEÑO PG.....	6
1.1.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS.....	7
1.1.2.1. MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.....	7
1.1.2.2. MEZCLAS ASFALTICAS TIBIAS	7
a. ADITIVOS ORGANICOS	8
b. ADITIVOS QUIMICOS.....	8
c. PROCESO DE ESPUMACION.....	8
1.1.2.3. MEZCLAS ASFALTICAS EN FRIO	8
1.1.2.4. MEZCLAS ASFALTICAS ESPECIALES.....	9
1.2. EFECTOS AMBIENTALES.....	9
1.2.1. TEMPERATURA.....	10
1.2.1.1. CONDICIONES CLIMATICAS EN AREQUIPA.....	10
1.2.2. CALOR ESPECIFICO DE MASA	13

1.2.3.	EFFECTOS EN EL DISEÑO DE GRADIENTE TERMICO	13
1.3.	MODULO RESILIENTE.....	14
1.3.1.	INTRODUCCION	14
1.3.2.	CONCEPTO	14
1.3.3.	FACTORES QUE AFECTAN EL MODULO RESILIENTE.....	17
a.	NIVEL DE ESFUERZO	17
b.	CONTENIDO DE ASFALTO	18
c.	CONTENIDO DE VACIOS DE MEZCLA	19
d.	INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MEZCLA	20
e.	TEMPERATURA.....	22
1.3.4.	ENSAYO.....	23
1.4.	DISEÑO DE MEZCLA.....	25
1.4.1.	CARACTERISTICAS DEL DISEÑO MARSHALL.....	26
1.4.2.	VACIOS EN EL AIRE	26
1.4.3.	VACIOS EN EL AGREGADO MINERAL.....	27
1.4.4.	CANTIDAD DE ASFALTO.....	27

CAPITULO II- LABORATORIO

2.	PRUEBAS DE LABORATORIO	29
2.1.	INTRODUCCION	29
2.2.	MATERIALES UTILIZADOS	29
2.3.	PRUEBAS REALIZADAS AL AGREGADO PETREO	29
2.3.1.	COMPOSICION GRANULOMETRICA	30
2.3.2.	EQUIVALENTE DE ARENA	33
2.3.3.	PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS	34
2.3.4.	CARAS FRACTURADAS.....	34
2.3.5.	DESGASTE MEDIANTE LA MAQUINA DE LOS ANGELES	35
2.3.6.	DENSIDAD RELATIVA DE MATERIALES PETREOS	35
2.4.	PRUEBAS REALIZADAS AL ASFALTO	36
2.5.	PRUEBAS REALIZADAS A LA MEZCLA ASFALTICA	37
2.5.1.	PRUEBAS MARSHALL.....	37
2.6.	ENSAYO MARSHALL REALIZADO A PROBETAS CON ASFALTO 80/100	43
2.6.1.	ENSAYO MARSHALL A 65°C.....	44
2.6.2.	ENSAYO MARSHALL A 70°C.....	46

2.6.3. ENSAYO MARSHALL A 75°C.....	47
2.7. ENSAYO MARSHALL ELABORADO CON ASFALTO PEN 60/70.....	49

CAPITULO III-ANALISIS DE RESULTADOS

3. ANALISIS DE RESULTADOS	52
3.1. RESULTADOS MARSHALL A TEMPERATURAS ELEVADAS	52
3.1.1. ESTABILIDAD	52
3.1.2. FLUENCIA	55
3.2. RESULTADOS DE RESILIENCIA.....	60
3.2.1. VALORES DE PROGRAMACION DEL ENSAYO.....	60
3.2.2. GRAFICAS DE RESILIENCIA CON CONTENIDO DE ASFALTO.....	61
3.2.3. GRAFICAS DE RESILIENCIA CON TEMPERATURA	68
3.2.4. GRAFICAS DE RESILIENCIA CON CONTENIDO DE VACIOS.....	73

CAPITULO IV-CONCLUSIONES

4. CONCLUSIONES	78
4.1. TEMPEERATURA EN LA CIUDD DE AREQUIPA.....	78
4.2. ENSAYOS MARSHALL PEN 80/100	78
4.3. COMPARACION PEN 80/100 - PEN60/70.....	79
4.4. MODULO DE RESILIENCIA.....	79
4.5. RECOMENDACIONES FUTURAS	80
5. ANEXOS.....	81
6. BIBLIOGRAFIA.....	123

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

TABLA 1.1 Especificaciones para grado de penetración de cementos asfálticos, fuente (Instituto de Asfalto, Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Serie de manuales N°22)

TABLA 1.2 Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por su viscosidad a 60 °C, fuente (Instituto de Asfalto, Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Serie de manuales N°22)

TABLA 1.3 Grados asfálticos por desempeño, fuente (Meléndez Acurio, R. (2010)), Ingeniería de Pavimentos, 4ta Edición, ICG, Lima-Perú)

TABLA 1.4 Calor específico de materiales de la construcción, fuente (Raymond A., Serway; Jewet, John W. (2003). «Calor específico». Física 1. México D.F.: Thomson

TABLA 1.5 Fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de investigación americano)

TABLA 1.6 Fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americano)

TABLA 1.7 Fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americana)

TABLA 1.8 Fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americano)

TABLA 1.9 Esfuerzos ensayados en psi para módulos resilientes axiales y diametrales, fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americano)

TABLA 1.10 Modulo resiliente axial, fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, Rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americano)

TABLA 1.11 Modulo resiliente diametral, fuente (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994, rigidez de mezclas asfálticas mixtas, Programa Estratégico de Investigación Americano)

TABLA 1.12 Parámetros de diseño Marshall, (Fuente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfáltico en caliente))

TABLA 1.13 Vacíos mínimos en el agregado mineral, (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfáltico en caliente)

CAPITULO II

TABLA 2.1 Ensayos agregado grueso, Fuente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfaltico en caliente)

TABLA 2.2 Ensayos Agregado Fino, Fuente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfaltico en caliente)

TABLA 2.3 Grafica MAC-1 Fuente, (Ministerio de Transportes y comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfaltico en caliente)

TABLA 2.4 Granulometría del Agregado Grueso, Fuente (Carlos Ramos Guerra- Ensayo Granulométrico UCSM)

TABLA 2.5 Granulometría del Agregado Fino, Fuente (Carlos Ramos Guerra- Ensayo Granulométrico UCSM)

TABLA 2.6 Granulometría Combinada de Agregados, Fuente (Carlos Ramos Guerra- Ensayo Granulométrico UCSM)

TABLA 2.7 Equivalente de Arena (EG2000) Fuente (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfaltico en caliente)

TABLA 2.8 Pesos representativos según el tamaño del agregado, Fuente (Ministerio de Transportes y comunicaciones, EG2000, Sección 410, Pavimento de concreto asfaltico en caliente)

TABLA 2.9 Densidad Relativa del agregado grueso: 2.78 gr/cm³

TABLA 2.10 Densidad Relativa del agregado Fino: 2.68 gr/cm³

TABLA 2.11 Especificaciones técnicas PEN-PERU, Fuente (PETROPERU)

TABLA 2.12 Tabla de proporciones de agregados del diseño asfaltico MARSHALL

TABLA 2.13 Porcentajes de asfalto del segundo ensayo MARSHALL

CAPITULO III

TABLA 3.1 Cuadro de comparación estabilidad valores máximos

TABLA 3.2 Cuadro de comparación estabilidad PEN 80/100 – 60/70 valores máximos

TABLA 3.3 Cuadro de comparación estabilidad valores promedio

TABLA 3.4 Cuadro de comparación estabilidad PEN 60/70 – 85/100 valores promedio

TABLA 3.5 Cuadro comparación flujo temperaturas valores máximos

TABLA 3.6 Cuadros de comparación fluencia 70°C valores máximos

TABLA 3.7 Graficas de comparación fluencia valores promedio

TABLA 3.8 Grafica de comparación PEN60/70 – 85/100 valores promedio

TABLA 3.9 Cuadro de deformaciones a 24 pulsos

TABLA 3.10 Cuadro de esfuerzos a 24 pulsos

TABLA 3.11 Cuadro de deformaciones a 48 pulsos

TABLA 3.12 Cuadro de esfuerzos a 48 pulsos

TABLA 3.13 Cuadro de deformaciones a 72 pulsos

TABLA 3.14 Cuadro de esfuerzos a 72 pulsos

TABLA 3.15 Cuadro de deformaciones 92 pulsos

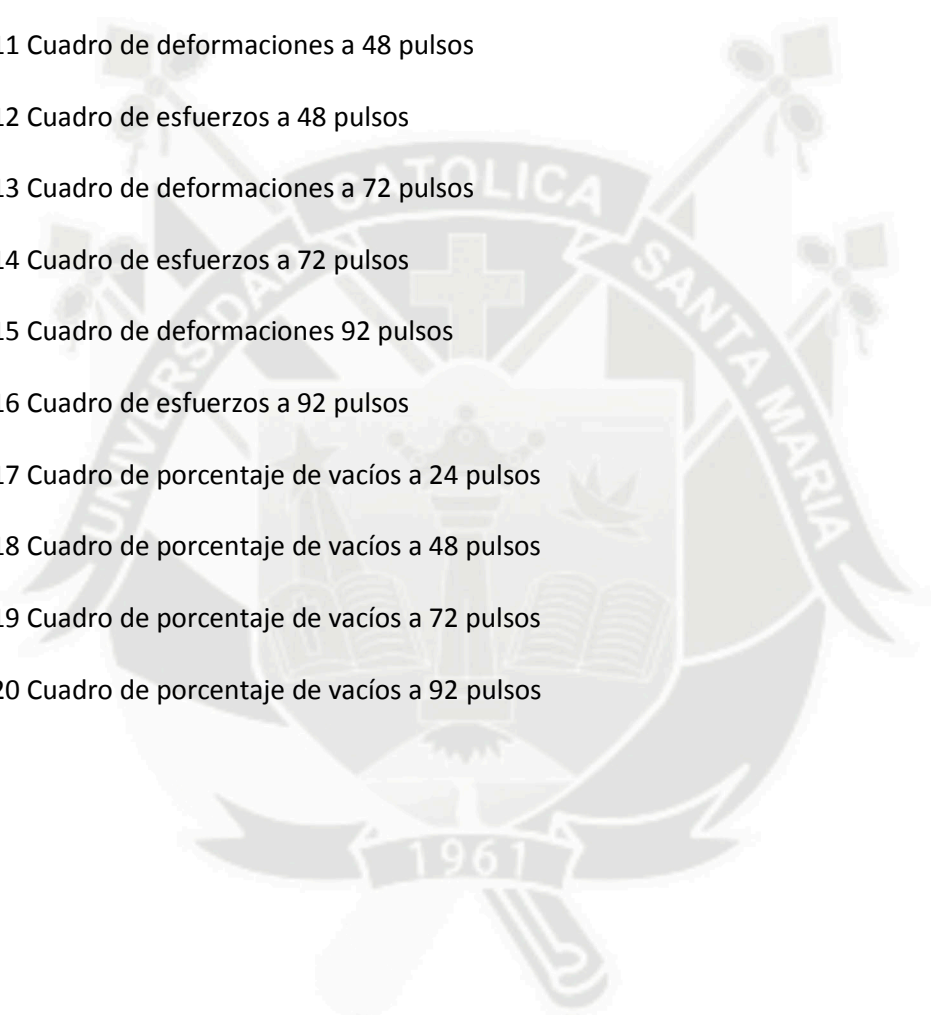
TABLA 3.16 Cuadro de esfuerzos a 92 pulsos

TABLA 3.17 Cuadro de porcentaje de vacíos a 24 pulsos

TABLA 3.18 Cuadro de porcentaje de vacíos a 48 pulsos

TABLA 3.19 Cuadro de porcentaje de vacíos a 72 pulsos

TABLA 3.20 Cuadro de porcentaje de vacíos a 92 pulsos



INDICE FIGURAS

CAPITULO I

FIGURA 1.1 Agregados Pétreos Angulosos Fuente (Fotografía: Carlos Ramos Guerra)

FIGURA 1.2 Mapa climático zona sierra sur Fuente (Senamhi, Mayo 2012, Mapa climático del Perú)

FIGURA 1.3 LEYENDA, Fuente (Meléndez Acurio, R. (2010)), Ingeniería de Pavimentos, 4ta Edición, ICG, Lima-Perú)

FIGURA 1.4 Mapa de temperaturas máximas en la Sierra Sur del Perú, Fuente (Senamhi, Mayo 2012, Mapa climático del Perú)

FIGURA 1.5 Mapa de temperatura mínima promedio, Fuente (Senamhi, Mayo 2012, Mapa climático del Perú)

FIGURA 1.6 UMATTA – Maquina de ensayos de módulo resiliente con cámara de temperatura en el MTC, Fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de Estudios Especiales)

FIGURA 1.7 Grafica con esfuerzo de deformación cíclica, Fuente (Mena Leon, C. 2008, Tesis Medición de Módulos Resilientes en Mezclas Asfálticas con Asfaltos Modificados Grado PG-76-PG-82)

FIGURA 1.8 Graficas de Heydinger de módulo resiliente, Fuente (Heydenger, A. 1996, Análisis del Módulo Resiliente de Agregados Densos)

FIGURA 1.9 Graficas de resiliencia diametral y axial, Fuente (Mena León, C. 2008, Tesis Medición de Módulos Resilientes en Mezclas Asfálticas con Asfaltos Modificados Grado PG-76-PG-82)

FIGURA 1.10 Valores de Resiliencia para % de vacíos, Fuente (Mena León, C. 2008, Tesis Medición de Módulos Resilientes en Mezclas Asfálticas con Asfaltos Modificados Grado PG-76-PG-82)

FIGURA 1.11 Influencia de saturación sobre el módulo resiliente, Fuente (Marshall Thomson,R. (1998), Revisión literaria del módulo de mezclas granulares con asfalto, Universidad de Illinois)

FIGURA 1.12 Valores medios de Modulo de Resiliencia obtenidos para diferentes contenidos de agua, Fuente (Instituto Mexicano de Transportes, 2001, Módulos de Resiliencia en Suelos Finos y Granulares)

FIGURA 1.13 Diagrama de Resiliencia para Asfaltos a Esfuerzos Axiales y Diametrales, Fuente (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994, Rigidez de Mezclas asfálticas Mixtas, Programa estratégico de Investigación Americano)

FIGURA 1.14 UMATTA – Maquina de ensayos de módulo resiliente con cámara de temperatura en el MTC, Fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de Estudios Especiales)

FIGURA 1.15 Maquina de transductores de medición y molde de probeta en el MTC, Fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de Estudios Especiales)

CAPITULO II

FIGURA 2.1 Muestras ensayadas de equivalente de arena, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-Laboratorio RFC)

FIGURA 2.2 Máquina de los ángeles, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio UCSM)

FIGURA 2.3 Moldes del Marshall para la elaboración de probetas, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.4 Quince unidades de probetas para su peso al aire, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.5 Equipo compactador Marshall con control de funcionamiento, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.6 Probetas pesada sumergida, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.7 Baño maría calentando a los 60°C, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.8 Ensayo Marshall en probeta de mezcla asfáltica, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.9 Desmolde del segundo juego de probetas del diseño Marshall, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.10 Imágenes de la elaboración de probetas asfálticas, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

FIGURA 2.11 Cuarenta y cinco probetas PEN 80/100, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra – Laboratorio RFC)

CAPITULO III

FIGURA 3.1 Cuadro de datos del software UMATTA en el MTC, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de estudios especiales)

FIGURA 3.2 Cámara de refrigeración UMATTA en el MTC, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de estudios especiales)

INDICE DE GRAFICAS

CAPITULO I

CAPITULO II

GRAFICA 2.1 Granulometría del agregado MAC 1 (Carlos Ramos Guerra- Ensayo Granulométrico UCSM)

GRAFICA 2.2 Estabilidad Marshall A 65°C

GRAFICA 2.3 Flujo Marshall a 65°C

GRAFICA 2.4 Estabilidad Marshall 70°C

GRAFICA 2.5 Flujo Marshall 70°C

GRAFICA 2.6 Estabilidad Marshall 75°C

GRAFICA 2.7 Flujo Marshall 75°C

GRAFICA 2.8 Estabilidad Marshall PEN 60-70

GRAFICA 2.9 Flujo Marshall 75°C

CAPITULO III

GRAFICA 3.1 Comparación de estabilidad temperaturas valores máximos

GRAFICA 3.2 Comparación estabilidad PEN 80/100 - 60/70 valores máximos

GRAFICA 3.3 Comparación estabilidad de temperaturas valores promedio

GRAFICA 3.4 Comparación estabilidad PEN 80/100 - 60/70 valores promedio

GRAFICA 3.5 Flujo temperaturas PEN 85-100 valores máximos

GRAFICA 3.6 Gráficas de fluencia a 70°C valores máximos

GRAFICA 3.7 Gráficas de fluencia PEN 85-100 valores promedio

GRAFICA 3.8 Gráfica de fluencia PEN 60/70 – 85/100 valores promedio

GRAFICA 3.9 Módulo de resiliencia- contenido de asfalto a 24 pulsos

GRAFICA 3.10 Módulo de resiliencia-contenido de Asfalto a 48 pulsos

GRAFICA 3.11 Gráfica de resiliencia-contenido de asfalto a 72 pulsos

GRAFICA 3.12 Módulo de resiliencia-contenido de asfalto a 92 pulsos

GRAFICA 3.13 Módulo de resiliencia-temperatura a 24 pulsos

GRAFICA 3.14 Módulo de resiliencia – temperatura a 48 pulsos

GRAFICA 3.15 Módulo de resiliencia-temperatura a 72 pulsos

GRAFICA 3.16 Módulo de resiliencia-temperatura a 92 pulsos





CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1. MEZCLAS ASFALTICAS

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la combinación de un cemento asfáltico (ligante hidrocarburoado) y agregados pétreos, se utiliza conformando una carpeta en la capa superior de una estructura de pavimentos y funciona como una superficie de rodadura de la vía que será puesta en servicio.

Para diseñar correctamente una mezcla asfáltica se debe seleccionar agregados de buena calidad debiendo analizarse la granulometría, dureza, capacidad de absorción y adherencia con el cemento asfáltico. Además se debe elegir el tipo de cemento asfáltico de acuerdo al clima y desempeño, las cantidades se determinarán de acuerdo a las propiedades de los agregados.

Es importante un buen diseño de mezcla asfáltica con la que vamos a conformar la carpeta, ya que toma los esfuerzos principales y transfiere los esfuerzos producidos por los vehículos a las capas inferiores que tiene la estructura del pavimento.

La evaluación de las propiedades de la mezcla asfáltica es el módulo de resiliencia, estabilidad y fluencia. Todas estas propiedades se estudian para una caracterización ideal de la reología del material al tener factores externos, como tiempo de la duración de la carga aplicada y temperatura.

Los aspectos que se buscan en calidad de asfalto son los siguientes:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Trabajabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento

Los estudios de la reología, con diferentes variaciones de los aspectos expuestos anteriormente, son estudiados a nivel teórico y experimental, con una consecuencia inmediata, que es la aplicación de las fórmulas de trabajo a condiciones reales, determinando factores de ajuste en los métodos para diseño de pavimentos, como factores de clima o velocidad de los vehículos.

1.1.1. COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFALTICA

Las mezclas asfálticas están compuestas por materiales pétreos seleccionados y cementos asfálticos. Generalmente una caracterización de mezcla asfáltica está compuesta de 5% a 7% de asfalto y el 95% restante de material pétreo.

1.1.1.1. Características de los Materiales Pétreos

La selección de agregados pétreos, debe de ser la adecuada, la mala elección puede perjudicar al proyecto. Los agregados se clasifican como agregados ígneos, metamórficos o sedimentarios, dependiendo de su formación geológica. También encontramos agregados procesados, sintéticos y rellenos minerales.

En la selección de agregados se busca una textura rugosa y angulosa (figura 1.1), generalmente es producto del crivado y tamizado de piedra en plantas chancadoras, estos agregados crivados trabajan mejor que los agregados redondeados, canto rodado, que son explotados en lechos fluviales.

El comportamiento de los agregados angulares tiene una buena respuesta mecánica al ser comprimidos, tienden a cerrarse generando una mezcla compacta de material. Caso contrario en los agregados redondeados que al recibir cargas de compresión tienden a deslizarse generándose planos de falla de deslizamiento o de cizalla en la mezcla de material.



FIGURA 1.1 Agregados pétreos angulosos

Algunas propiedades esenciales en los agregados pétreos deben ser analizadas como la granulometría, dureza, capacidad de absorción, adherencia con el asfalto. Todos los ensayos de caracterización son importantes pero toma mayor importancia la granulometría, para la correcta combinación de agregados finos con agregados gruesos.

1.1.1.2. Características del asfalto

El asfalto es un material bituminoso de color negro o café oscuro, complejo químicamente al ser un residuo de la refinación del crudo. En la mezcla química predominan los hidrocarburos con grupos funcionales de azufre, nitrógeno y átomos oxígeno. También en su composición existen metales como vanadio, níquel, hierro, magnesio y calcio los cuales se encuentran en forma de sales inorgánicas y óxidos en estructura de parafina.

Un análisis elemental de asfaltos contiene:

- Carbón 82% -88%
- Hidrogeno 8% - 11%
- Azufre 0 – 6%
- Oxígeno y Nitrógeno

Este material está constituido por asfáltenos, resinas y aceites que son materiales que le brindan características de consistencia, aglutinación y ductilidad.

Por sus características, en la Ingeniería Civil el cemento asfáltico tiene diversos usos, en mezclas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, etc.

Tomando mayor importancia en el uso de carpetas asfálticas, al ser el material principal y más empleado por su buen comportamiento al intemperismo, hidrofribroicidad, además de su bajo costo.

1.1.1.3. Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos se obtienen por el proceso de destilación del petróleo para eliminar algunos solventes y aceites de su composición. Estos tienen una clasificación de acuerdo a sus características de penetración y viscosidad.

a. Clasificación por penetración

Utilizado en nuestro país para clasificar asfaltos es un ensayo que data desde el siglo XIX. Es un ensayo empírico utilizado por la AASHTO T49 (Tabla 1.1).

En el ensayo una aguja cargada con 100 gramos, se le permite penetrar una muestra de cemento asfáltico a 25°C durante 5 segundos. La unidad de medida es de 0.1 mm de penetración.

TABLA 1.1 Especificaciones para grado de penetración de cementos asfálticos, (Instituto de Asfalto, 2007)

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

b. Clasificación por viscosidad

La viscosidad se puede definir como la resistencia del fluido a fluir, esta característica del cemento asfáltico es fundamental ya que determina como se comportara a una temperatura indicada o en que rango de temperatura.

La viscosidad absoluta se ensaya a 60°C por viscosímetro capilar vacío, se determina mediante AASHTO T202 (ASTM D22171).

En la década del sesenta en USA comienzan a clasificar el asfalto a través de la viscosidad mediante la norma ASTM D3381. Lo clasifican los dos tipos de viscosidad, una clasificación AC que cuenta con 6 tipos que va desde dura hasta suave y una clasificación en función del residuo envejecido AR que cuenta con 5 tipos. Se muestra en la siguiente tabla (Tabla 1.2) el grado de viscosidad:

TABLA 1.2 Especificaciones para cementos asfálticos clasificados por su viscosidad a 60 °C.
(Instituto de Asfalto, 2007)

CARACTERISTICA	UNIDADES	METODO ASTM	GRADO DE VISCOCIDAD					
			AC-25	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 60°C	N s/m ²	D-2170	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 135°C, mínimo	mm ² /s	D-92	125	175	250	300	350	400
Penetración, 25°C, 100 g, 5s, mínimo	1/10 mm	D-5	220	140	80	60	50	40
Punto de Inflamación Cleveland Copa Abierta Mínimo	°C	D-92	163	177	219	232	232	232
Solubilidad de tricloroetileno, mínimo	%	D-2042	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre residuo del ensayo de horno sobre película delgada		D-1754						
Viscosidad, 60°C, max	N s/m ²	D-2171	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, mínimo	cm	D-113	100	100	75	50	40	25

c. Clasificación por desempeño PG

Es un sistema de clasificación de los cementos asfálticos desarrollado por el Strategic Highway Research Program (SHRP) en 1990 sometiendo a ensayos de variación de temperaturas. El cemento asfáltico tiene un desempeño en temperaturas máximas y mínimas, en el lugar de aplicación asegurándose un comportamiento adecuado ante agrietamiento y deformaciones, por temperaturas bajas o fatiga en condiciones de trabajo.

El sistema especifica los asfaltos mediante la temperatura más alta y la más baja, como un PG 64-22 siendo 64°C el valor máximo para un promedio de 7 días mientras que -22°C para un valor mínimo (Tabla 1.3). Se requieren tres ensayos para su clasificación los cuales se trabajan con pruebas originales, poco envejecidas y envejecidas a largo plazo.

Para pruebas en condición original se toma un primer conjunto de prueba siendo el primero una prueba de punto de inflamación, una segunda prueba de viscosidad rotacional funcional a 135°C y la tercera es una prueba DSR (reómetro dinámico de corte) a 64°C. En el segundo conjunto de pruebas para una muestra de envejecimiento solo se toma el DSR. Para un tercer conjunto de

pruebas para muestras con envejecimiento se toma un DSR, una prueba de reómetro de reflexión (BBR) y una prueba de tracción indirecta.

TABLA 1.3 Grados asfálticos por desempeño, (Meléndez Acurio, R, 2010)

Grados de Alta temperatura (°C)	Grados de baja temperatura (°C)
PG 46	-34, -40, -46
PG 52	-10, -16, -22, -28, -34, -40, -46
PG 58	-16, -22, -28, -34, -40
PG 64	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 70	-10, -16, -22, -28, -34, -40
PG 76	-10, -16, -22, -28, -34
PG 82	-10, -16, -22, -28, -34

1.1.2. TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS

Las principales mezclas asfálticas son las siguientes:

1.1.2.1. Mezclas asfálticas en caliente (HMA)

Mezclas donde se caliente los agregados y el asfalto, a fin que no hayan variaciones térmicas, se emplean diversas granulometrías para mezclas densas, mezclas abiertas o escalonadas.

Son elaboradas en plantas estacionarias o móviles, que están provistas de equipos para calentar los materiales. Se utiliza en carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, re nivelaciones.

1.1.2.2. Mezclas asfálticas tibias (WMA)

Adhieren modificadores para reducir la viscosidad del asfalto y poder mezclarlo con los agregados para no llegar a temperaturas elevadas.

Esta mezcla trata de reducir la viscosidad del asfalto para no elevar la temperatura de este a 150°C.

En los últimos años a nivel mundial se observa la presión al cuidado del medio ambiente, siendo la construcción una impulsora de nuevas técnicas para su cuidado. En una mezcla asfáltica caliente convencional requiere temperaturas

entre 150°C y 180°C para el calentamiento de los agregados, en las mezclas asfálticas tibias solo se requieren temperaturas entre 100°C y 130°C.

a. Aditivos Orgánicos

Basada en la adición de diversos tipos de ceras que mejoran la trabajabilidad del ligante, debido a una combinación de efectos de disminución de la viscosidad y lubricación, tanto en las temperaturas de mezcla como de compactación. Las ceras usadas son moléculas formadas por cadenas hidrocarbonadas que se funden a temperaturas entre los 80°C y 120°C, modificando las propiedades del ligante. Se dosifican aproximadamente entre el 2% y 4% de cera del total de masa.

b. Aditivos Químicos

Los aditivos químicos son productos que no dependen de ningún proceso de espumación o de reducción de la viscosidad, para reducir las temperaturas de mezclado y compactación. En lugar de ello, estos productos incluyen una combinación de modificadores de asfalto que mejoran la envuelta de los áridos por un ligante, la trabajabilidad y compactación de la mezcla así como promotores de adhesión ligante - agregado.

c. Procesos de Espumación

Basado en el uso de pequeñas cantidades de agua que se inyectan directamente en el ligante asfáltico o con los áridos en el tambor de mezclado. Cuando el agua entra en el bitumen, las altas temperaturas provocan su evaporación y el vapor queda atrapado en la matriz del betún. Se genera un volumen de vapor que aumenta de manera temporal el volumen del ligante y disminuye su viscosidad facilitando la envoltura de los áridos y la trabajabilidad de la muestra a menores temperaturas.

1.1.2.3. Mezclas asfálticas en frío

Se utilizan solventes o emulsificantes, para que no se afecte la temperatura del cemento asfáltico y pueda tener una buena combinación con el material pétreo.

Las emulsiones asfálticas deben de ser suficientemente estables para el bombeo de mezcla y almacenamiento prolongado. El agente emulsionante mantiene los glóbulos de cemento asfáltico separados antes de su aplicación, la emulsión debe romper rápidamente al contacto con el agregado en un mezclador. Al

evaporarse el agua el residuo de cemento asfáltico ejercerá su función de adherencia, durabilidad y resistencia al agua del producto original.

Existen tres tipos de emulsiones.

- Emulsiones aniónicas.
- Emulsiones catiónicas.
- Emulsiones asfálticas no iónicas.

1.1.2.4. Mezclas asfálticas especiales

Son mezclas producidas para asfaltos con alto tránsito y cargas pesadas. Son del tipo de asfalto con matriz de piedra o superficie friccionante, ambas mezclas son producidas en caliente con materiales de la más alta calidad.

Estas mezclas son producidas al tener muchas limitaciones las mezclas convencionales, como la resistencia, la deformación permanente y el fisuramiento, al tratar cargas mayores como tránsito canalizado o climas severos.

Los asfaltos modificados han sido utilizados los últimos 60 años. Sin embargo el nacimiento de los asfaltos de grado de desempeño dio un nuevo impulso a los asfaltos modificados con polímeros. Los asfaltos especiales mejoran la resistencia a la deformación permanente, fisuramiento térmico, grietas por fatiga y daños por humedad.

1.2. EFECTOS AMBIENTALES

Las condiciones ambientales tienen un efecto significativo sobre el rendimiento en los asfaltos flexibles como rígidos. La humedad y temperatura son las dos variables del medio ambiente que afectan significativamente la capa asfáltica alterando el desempeño del pavimento.

Los materiales de los pavimentos flexibles son sensibles a los cambios de temperatura, debido a su comportamiento viscoso. La resistencia de estos materiales es inversamente proporcional a la temperatura la cual afecta el módulo elástico ocasionando fatigas y daños en los pavimentos. A temperaturas de congelación se produce la formación y posterior descongelación de lentes de hielo reduciendo la resistencia de la estructura del pavimento.

La humedad, otra variable fundamental que afecta la estructura del asfalto introduciendo partículas de agua, produciendo un factor erosivo que afecta de 20 a 50 veces el deterioro de la capa siendo un factor peligroso. El agua afecta la resistencia a través de la succión o presión de poros presentando cambios de hasta 5 veces el módulo en estado seco.

1.2.1. Temperatura

Los pavimentos flexibles son altamente sensibles a gradientes térmicos combinados a aplicaciones de cargas, siendo los factores más importantes en las fallas de la carpeta asfáltica. Las temperaturas elevadas como las temperaturas bajas afectan los materiales asfálticos de la carpeta de rodadura, reduciendo la estabilidad y el módulo de rigidez.

Las estaciones en la ciudad de Arequipa no son muy marcadas, presentando diferencias en las estaciones de otoño y verano. En otoño las temperaturas son bajas llegando a grados bajo cero en la misma ciudad mientras que en verano la temperatura es elevada y las precipitación fluviales características durante 2 a 3 meses, alterando el clima.

El país está conformado por regiones naturales las cuales tienen características climáticas de cada zona presentando temperaturas medias mensuales, humedad, estaciones hidrológicas. Su estudio es necesario para tomar en consideración los problemas y utilizar otras soluciones como asfaltos modificados, estructuras de drenaje o el reconformado y mejoramiento completo del suelo de fundación de la zona para evitar en todo momento fallas estructurales.

1.2.1.1. Condiciones Climáticas en Arequipa

La ciudad de Arequipa se ubica en la provincia de Arequipa en el departamento de Arequipa ubicada a 2,335 msnm. Su clima es predominantemente seco en invierno, otoño y primavera debido a su humedad atmosférica, es semiárido debido a su precipitación efectiva y templada por la condición térmica. Carente de rigores de invierno y abrumadores estíos en la costa aseguran presencia de sol con 300 días del año.

La clasificación para la ciudad de Arequipa corresponde D(o,i,p) B2H2 siendo un tipo de clima semiárido, otoño seco, invierno seco, primavera seca, verano templado (Figura 1.2). En la región de la sierra se presentan dos estaciones bien definidas, una de estiaje entre abril y octubre caracterizada por noches frías y ausencia de lluvias. La segunda estación es la de lluvias entre noviembre y marzo en que las precipitaciones son regulares debido al verano. Las oscilaciones térmicas varían entre -3°C y 24°C.



FIGURA 1.2 Mapa climático zona sierra sur (Meléndez Acurio, R. 2010)



FIGURA 1.3 Leyenda mapa climático, (Meléndez Acurio, R. 2010)

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú tiene datos históricos de temperaturas máximas y mínimas que podemos observar en los siguientes mapas de la Sierra Sur del Perú. Las temperaturas máximas están entre 20°C y 24°C en la ciudad de Arequipa mientras que las mínimas llegan a los 0°C (Figura 1.4 - 1.5).

En el presente estudio se realizaron mediciones térmicas del asfalto en los meses de enero y junio para poder ver el comportamiento específicamente al medio día. Se escoge la hora de estudio debido a que presenta las temperaturas más elevadas en ese intervalo. Se realizó en la UPIS Mercado Mayorista en la construcción de un asfalto en la zona a cargo de la empresa Consorcio Vial, se ubica en el distrito de cerro colorado ubicado a espaldas del Aeropuerto Alejandro Rodríguez Ballón.

Se adjuntan datos de muestreo y graficas en los anexos.

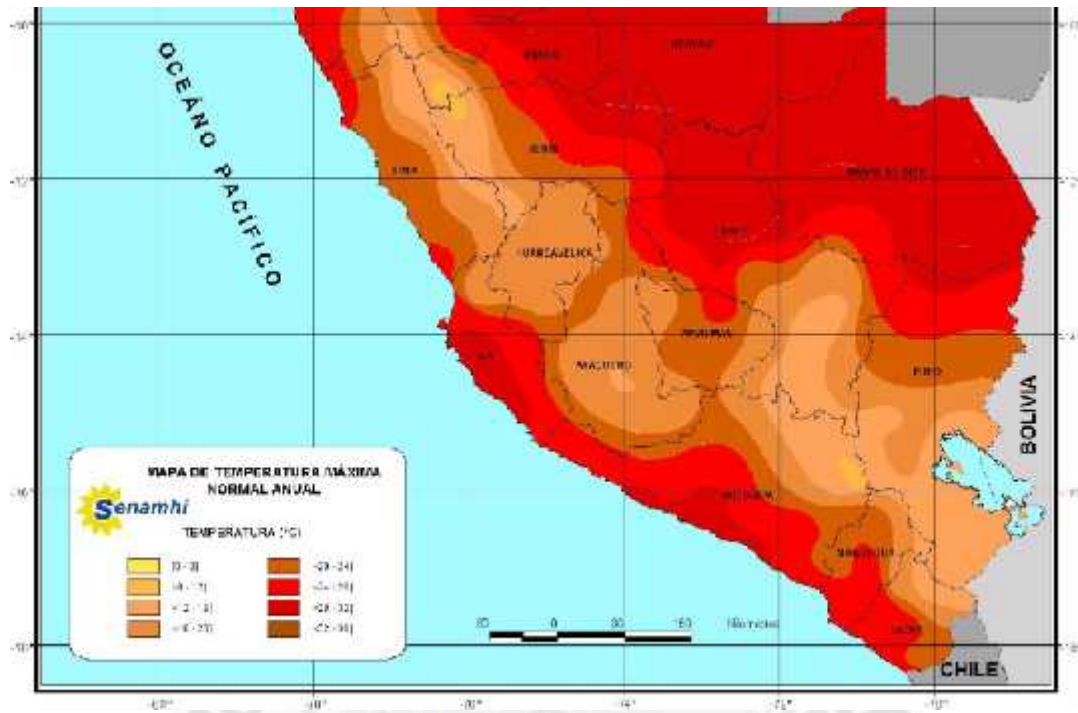


FIGURA 1.4 Mapa de temperaturas máximas en la sierra sur del Perú, (Senamhi, Mayo 2012)

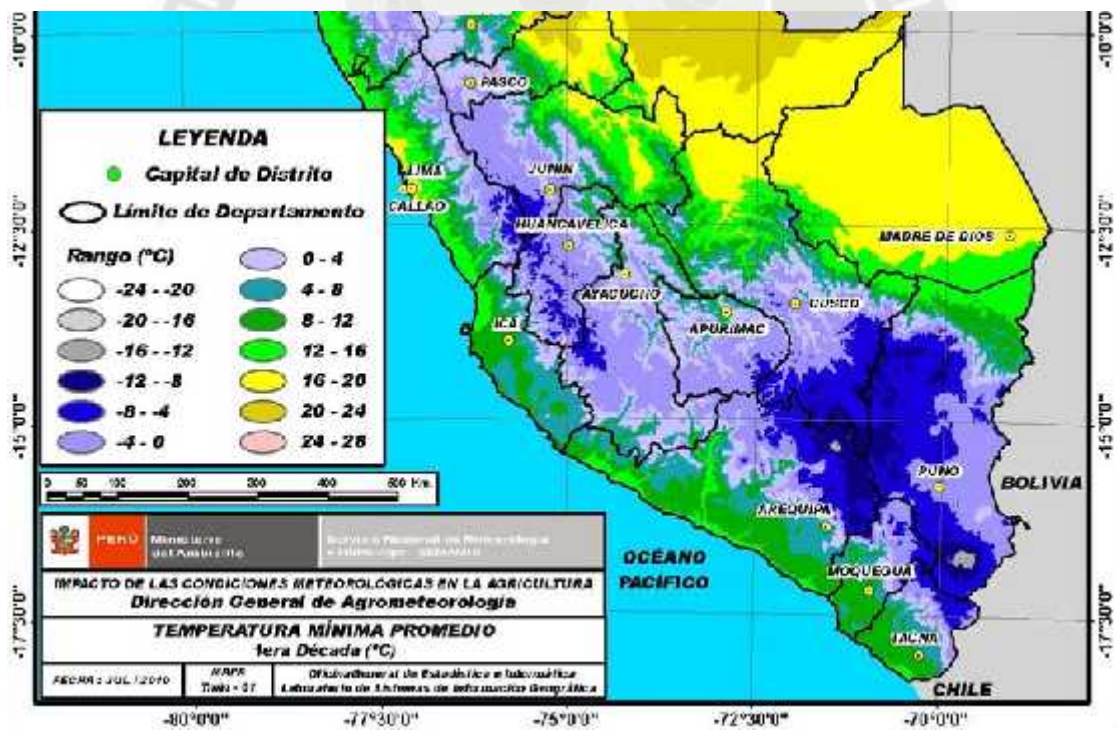


FIGURA 1.5 Mapa de temperatura mínima promedio, (Senamhi, Mayo 2012)

1.2.2. Calor específico de masa

El calor específico es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad. El calor específico es una propiedad intensiva, en cuanto mayor es el calor específico de un material, mayor energía se necesitara para aumentar la temperatura, sus unidades son J/g/°C.

TABLA 1.4 Calor específico de materiales de la construcción (Raymond A., Serway; Jewet, (2003).

Material	Estado de agregación	C_p J g ⁻¹ K ⁻¹
Asfalto	sólido	0,92
Ladrillo	sólido	0,84
Hormigón	sólido	0,88
Vidrio, sílice	sólido	0,84
Granito	sólido	0,790
Mármol, mica	sólido	0,880
Arena	sólido	0,835
Suelo	sólido	0,80

El calor específico del volumen denominado C, definido como la cantidad de calor requerido para incrementar 1°C en una unidad de volumen se expresa en J/m³/°C y se obtiene al multiplicar el calor específico de masa por la densidad de la masa (Tabla 1.4).

1.2.3. Efectos en el diseño del gradiente térmico

En la década de los ochenta el gobierno comienza con la construcción y rehabilitación de los principales ejes viales del país como son la panamericana sur, panamericana norte y la carretera central. En la carretera central, una zona accidentada y de altitud comenzó a mostrar fallas inmediatas por diversos factores como hidrometeorológicos (bajas temperaturas, exposición solar, precipitaciones pluviales y nivel freático), dichos factores comprometen las diversas capas como son las granulares y asfálticas.

Se realizaron estudios en la década del ochenta por el ingeniero Greenstein concluyendo que los cementos asfálticos no cumplían con las especificaciones ASTM, AASHTO y AI. Se hacen recomendaciones de control de calidad, procesos constructivos y una mención entre las fisuras y las grandes deflexiones que presentaba el asfalto.

1.3. MODULO DE RESILENCIA

1.3.1. Introducción

El asfalto es un material bituminoso y termoplástico, conformado por diversos materiales que se ven sometidos a cargas dinámicas transmitidas por el tránsito de los vehículos. Para una idealización adecuada del material representando las cargas cíclicas naturales que presenta, se han realizado diversos estudios a escala natural y ensayos de laboratorio para el análisis de su esfuerzo – deformación.

Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y son denominadas plásticas, ya que se recuperan después de la carga aplicada en el pavimento. Las cargas móviles son permanentes y se van acumulando pero a ciclos intermedios comienza a disminuir hasta el punto de desaparecer y recuperar toda la deformación mostrando un comportamiento resiliente.

Todas las deformaciones resilientes han sido estudiadas caracterizando su módulo de rigidez ante cargas constantes y variaciones térmicas. De acuerdo al Instituto del Asfalto los ensayos tradicionales para las propiedades del asfalto como ductilidad, viscosidad y penetración, se relacionaron a medición de agrietamiento transversal, sin embargo son pruebas insuficientes. La rigidez del asfalto introducida por el Dr. Van der Poel tiene dos métodos, el directo y el indirecto.

1.3.2. Concepto

El módulo Resiliente se define como el cociente entre esfuerzo desviador aplicado dividido por la deformación recuperable. Este ensayo se mide mediante repetidos ensayos triaxiales de compresión de carga siendo normalizado por la AASHTO T307 99.

En una estructura de pavimento flexible cada eje de carga genera en las capas de base y sub-base deformaciones resilientes como permanentes. Sin embargo, para el cálculo de esfuerzos y deformaciones gran parte de los métodos de diseño mecánico de pavimentos emplean ecuaciones elásticas lineales. Suponer que el comportamiento de materiales granulares es completamente elástico conduce a una respuesta aproximada, correspondiente quizás a un nivel muy bajo de esfuerzos.

El módulo de resiliencia se mide mediante ensayos triaxiales (Figura 1.6) de cargas cíclicas con una duración de carga con 0.1 segundos dentro de un ciclo de duración entre 1,0 y 3,1 segundos. Los esfuerzos axiales son aplicados a un cierto nivel de confinamiento.

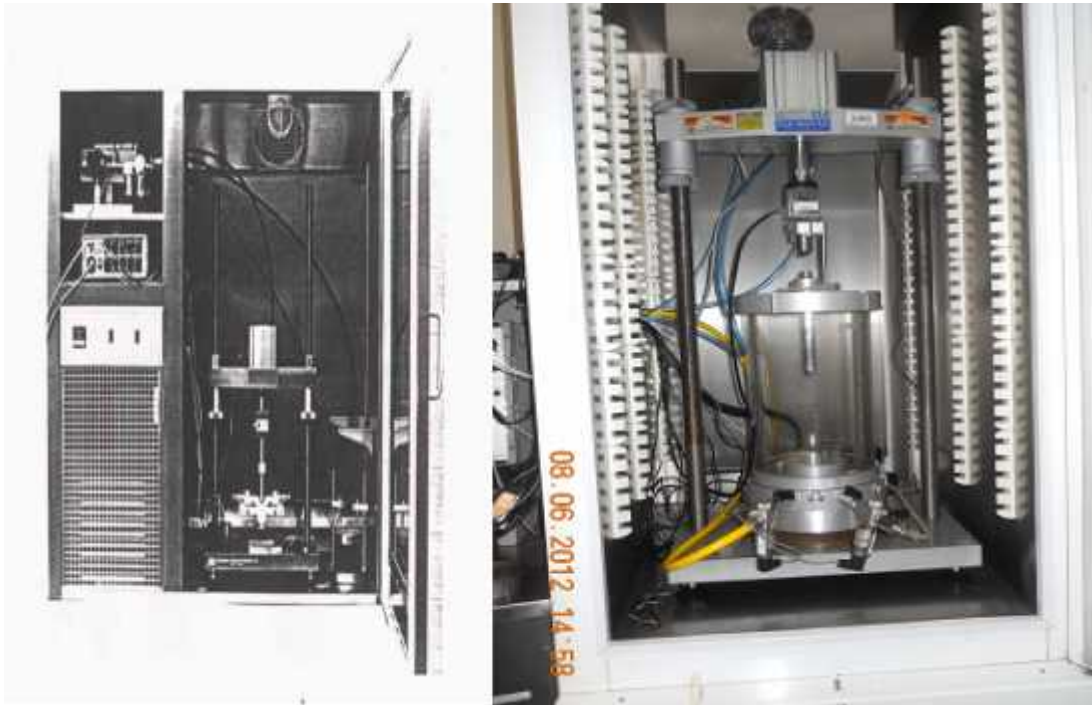


FIGURA 1.6 UMATTA – Máquina de módulo resiliente con cámara de temperatura en el MTC

El módulo de resiliencia se representa en la siguiente ecuación:

$$Mr = \frac{\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)}{\varepsilon_{1,r}} = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_{1,r}}$$

Donde:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{3,r}}{\varepsilon_{1,r}}$$

σ_d = esfuerzo desviador

σ_1 = esfuerzo principal mayor (esfuerzo ciclico axial)

σ_3 = esfuerzo principal menor (esfuerzo de la presión de confinamiento)

$\varepsilon_{1,r}$ = deformación principal

$\varepsilon_{3,r}$ = deformación secundaria

Se obtienen dos valores del módulo Resiliente, uno instantáneo y otro total, debido a que se registran dos deformaciones, una al finalizar el ciclo de carga llamada deformación

instantánea y otra al terminar el periodo de relajación llamada deformación total. Se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo:

$$Ei = \frac{P * (v + 0,027)}{t * Di}$$

$$Et = \frac{P * (v + 0,027)}{t * Dt}$$

Donde:

Ei : Modulo resiliente instantaneo

Et : Modulo resiliente total

v : Coeficiente de poisson

t : Espesor de la probeta

Di : Deformacion resiliente instantanea

Dt : Deformacion resiliente total

Los materiales que conforman una estructura asfáltica son sometidos a cargas cíclicas (Figura 1.7) produciendo esfuerzos de compresión y tracción de capa a capa produciendo fatiga mostrando fisuras y deformaciones prematuramente. Las curvas en el módulo Resiliente tienen una forma especial:

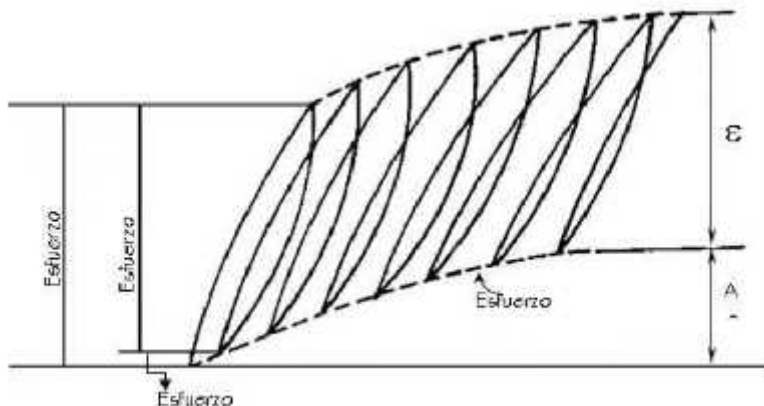


FIGURA 1.7 Grafica con esfuerzo de deformación cíclica, (Mena León, C., 2008)

En la imagen podemos observar que cada esfuerzo tiene una deformación recuperable volviendo a un ciclo de deformaciones donde siempre queda deformación permanente. Esta deformación va disminuyendo conforme aumentan los ciclos, para fines de análisis el comportamiento es elástico en cada ciclo de carga caracterizando el módulo Resiliente.

En la actualidad este dato del módulo Resiliente viene siendo indispensable para los nuevos métodos de diseño de asfaltos por el método mecanístico - empírico como parámetro estructural. En el diseño en la ciudad se utilizan otros datos más sencillos de hallar como el CBR (California Bearing Ratio) y granulometría.

La utilización del CBR como capacidad estructural se debe a que su obtención es más simple y económica que el ensayo del módulo Resiliente. Por tal motivo existen relaciones entre el módulo Resiliente y el CBR pero fueron halladas para situaciones puntuales por lo tanto no pueden ser aplicadas en todos los casos. Por otro lado el CBR es un valor empírico que se puede interpretar como una medida de resistencia al corte en condiciones especiales pero no representa el comportamiento real de la carga.

1.3.3. Factores que afectan al Módulo Resiliente

El asfalto es una mezcla de materiales que trabajan en conjunto, teniendo cada uno sus características y propiedades las cuales definen el módulo resiliente del asfalto.

Esto lo convierte en un parámetro único en cada proyecto, teniendo diversos factores determinantes los cuales son mencionados:

a. Nivel de esfuerzo

Valor del módulo resiliente depende principalmente de la presión de confinamiento y mantiene una relación de proporcionalidad directa con la suma de esfuerzos principales ($\Theta = \sigma_1 + 2\sigma_3$) (Figura 1.8).

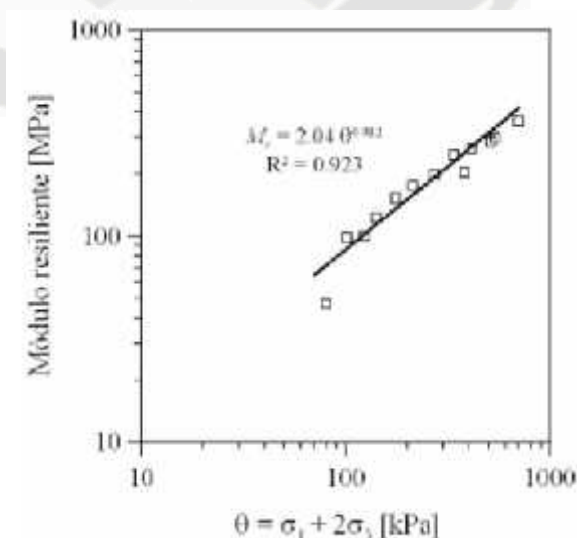


FIGURA 1.8 Graficas de Heydinger de módulo resiliente, (Heydenger, A. 1996)

b. Contenido de asfalto

En el año 1991 Almudaiheen y Al-Sugair analizaron el efecto del contenido del cemento asfáltico en la mezcla asfáltica para módulos resilientes. Al tener mayor contenido de cemento asfáltico el módulo resiliente disminuye como lo demuestra su estudio.

En el ensayo que realiza el ingeniero Almudaiheen, utiliza el contenido óptimo más bajo de asfalto mediante el método de Hveen y una variación adicional del 0.6% aumentando a la mezcla asfáltica mediante el método Marshall. En el ensayo se realizó axialmente (Tabla 1.5), diametralmente (Tabla 1.6) y una variación de temperaturas de 0°C, 20°C y 40°C (Figura 1.9).

TABLA 1.5 (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

Módulo resiliente axial, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Contenido de asfalto	óptimo	2,130,000	663,000	78,100
	alto	2,190,000	722,000	77,200

TABLA 1.6 (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

Módulo resiliente diametral, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Contenido de asfalto	óptimo	3,100,000	1,040,000	123,000
	alto	2,800,000	804,000	101,000

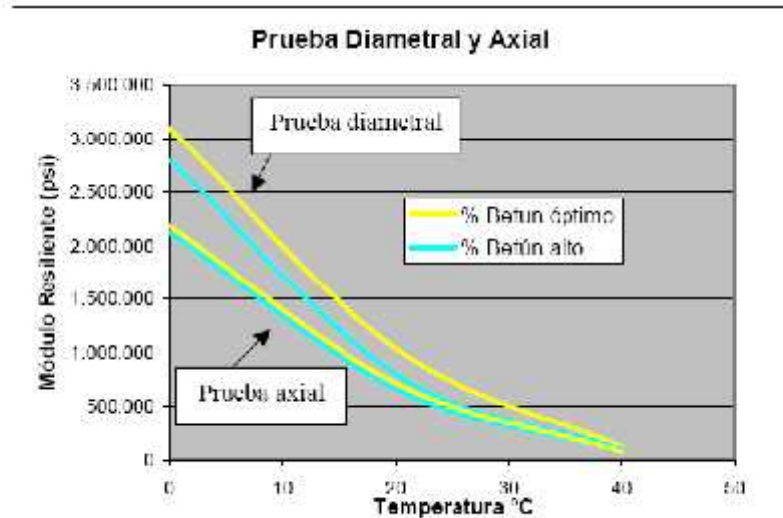


FIGURA 1.9 Gráficas de resiliencia diametral y axial, (Mena León, C. ,2008)

c. Contenido de vacíos de mezclas

En el año 1994 el ingeniero Monismith realizó ensayos variando el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica a partir de un 4% a 8% (Figura 1.10). El ensayo trabajo con variables de temperatura mostrando que a mayor índice de vacíos el módulo Resiliente es mucho menor y que se reduce considerablemente al aumentar la temperatura.

En el siguiente cuadro (Tabla 1.7 – 1.8) se muestra lo expuesto:

TABLA 1.7 (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

Módulo Resiliente axial, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Vacíos de aire	Bajo	2,570,000	876,000	102,000
	Alto	1,750,000	509,000	52,900

TABLA 1.8 (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

Módulo resiliente diametral, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Vacíos de aire	bajo	3,360,000	1,060,000	138,000
	alto	2,530,000	786,000	85,700

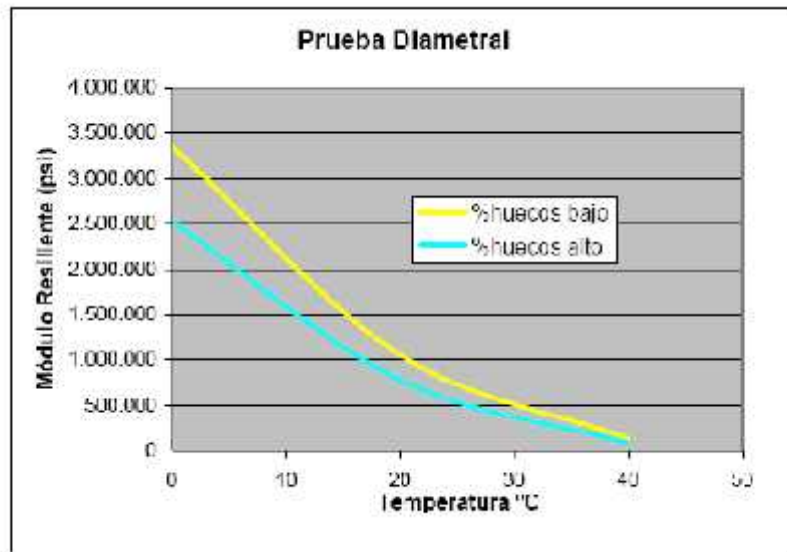


FIGURA 1.10 Valores de resiliencia para % de vacíos, (Mena León, C. 2008)

d. Influencia del contenido de agua

El valor del módulo resiliente disminuye al aumentar la cantidad de agua en el material granular. En el año 1981 los Ingenieros Radak y Witczak sostuvieron que el agua en el material granular trabaja como lubricante entre las partículas incrementando la deformación y reduciendo la rigidez del asfalto.

Se evaluaron 271 pruebas obteniéndose los factores que más afectan al módulo resiliente como el nivel de esfuerzo (Figura 1.11), grado de compactación y contenido de agua.

En el año 1996 El ingeniero Dawson concluye que el material tiene un grado de saturación óptimo para poder obtener el grado del módulo de resiliencia máximo. Si el contenido de agua aumenta con respecto al óptimo, la succión entre las partículas se pierde, seguida por un incremento en la presión de poros lo cual causa disminución en la rigidez.

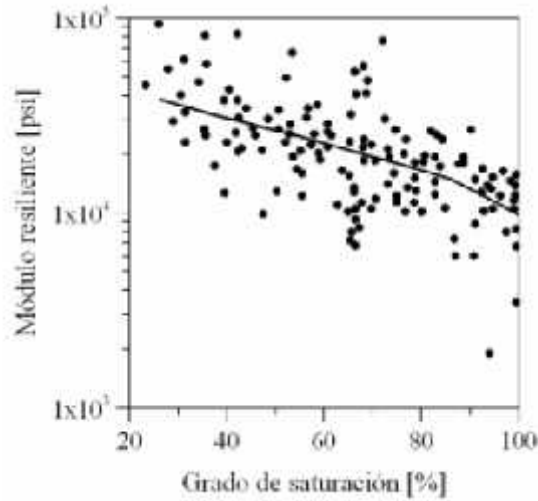


FIGURA 1.11 Saturación sobre el módulo resiliente, (Marshall Thomson,R. (1998)

En el año 2001 el Instituto mexicano de transportes realizo diversos ensayos de resiliencia, para determinar su uso en diseños de pavimentos. En un ensayo variaron en cada muestra el contenido de agua con 2% mayor al óptimo y 2% menor al óptimo (Figura 1.12).

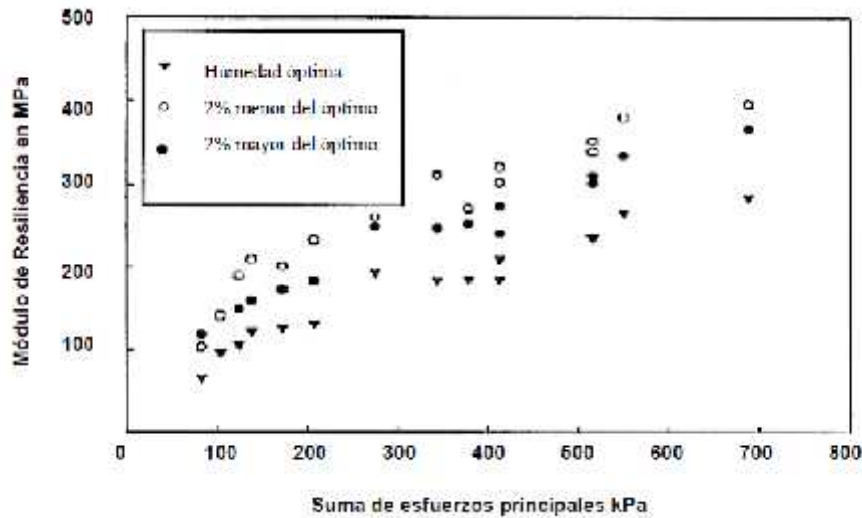


FIGURA 1.12 Valores medios de módulo de resiliencia obtenidos para diferentes contenidos de agua, (Instituto Mexicano de Transportes, 2001)

e. Temperatura

En el año 1994 el ingeniero de la Universidad de California Carl L. Monismith realizó un estudio completo de la rigidez de las mezclas asfálticas ante diversas variaciones como porcentaje de vacíos, cantidad de asfalto, tipo de asfalto y tipo de agregado pétreo. La clasificación de todas estas variaciones eran bajas o altas para simular estados de campo probándolos a diferentes condiciones térmicas y variando la aplicación de la fuerza (Tabla 1.9).

Las variaciones térmicas se establecieron en tres temperaturas, 0°C, 20°C y 40°C con esfuerzos aplicados en forma axial, diametral y a flexión (Figura 1.13). Los esfuerzos aplicados fueron de bajo y alto rango, la frecuencia para el ensayo de bajo rango fue de 0.5 Hz a 0.1s de carga y 1.9s de descanso mientras que el ensayo para alto rango fue de 1 Hz a 0.1s de carga y 0.9s de descanso.

TABLA 1.9 Esfuerzos ensayados en psi para módulos resilientes axiales y diametrales F (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994)

TEMPERATURA	AXIAL		DIAMETRAL	
	Bajo esfuerzo, psi	Alto Esfuerzo, psi	Bajo esfuerzo, psi	Alto Esfuerzo, psi
32°F (0°C)	30.6	60.7	26.9	51.8
68°F (20°C)	15.6	30.9	14.1	27.2
104°F (40°C)	8.1	15.8	6.8	13.8
140°F (60°C)	4.2	10.3	-	-

1 PSI = 6.89 kPa

Los resultados del ensayo del ingeniero Monismith observó el efecto que produce la temperatura en el módulo Resiliente. Los valores disminuyen al incrementar la temperatura en 20°C en cada prueba, teniendo una reducción del 60% al 70% al variar de 0°C a 20°C y del 90% al incrementar del 20°C a 40°C (Tabla 1.10- 1.11). En los siguientes cuadros se muestran los resultados:

TABLA 1.10 Módulo resiliente axial, (Monismith, C., Bor Wen, T. 1994)

Módulo Resiliente Axial, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Nivel de esfuerzo	bajo	2,160,000	698,000	78,600
	alto	2,160,000	687,000	76,700
Frecuencia	bajo	2,150,000	679,000	75,800
	alto	2,170,000	706,000	79,500

TABLA 1.11 Módulo resiliente diametral, (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

Módulo Resiliente diametral, psi				
Variable	Nivel	0°C	20°C	40°C
Nivel de esfuerzo	bajo	2,950,000	948,000	118,000
	alto	2,950,000	900,000	106,000
Frecuencia	bajo	2,930,000	916,000	117,000
	alto	2,970,000	931,000	107,000

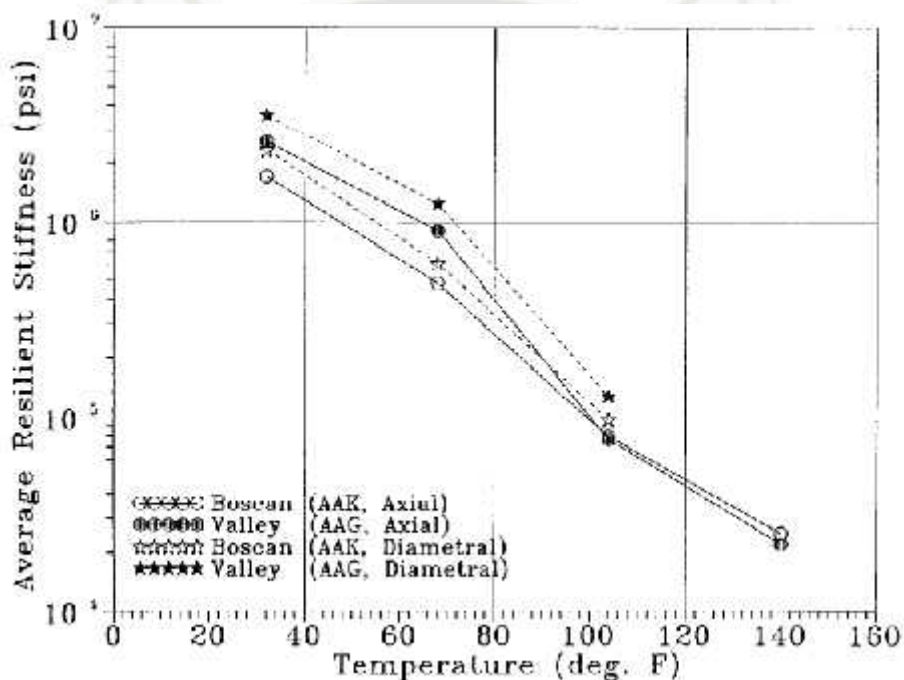


FIGURA 1.13 Diagrama de resiliencia para asfaltos a esfuerzos axiales y diametrales, (Monismith, C., Bor Wen,T. 1994)

1.3.4. Ensayo

El ensayo fue posible realizarlo con el apoyo del Ministerio de Transportes que dio la oportunidad de utilizar la máquina de ensayo de módulo de resiliencia. La máquina es de procedencia inglesa donada por la empresa de instrumentos de laboratorio ELE y acoplada con una cámara térmica de -15°C a 45°C (Figura 1.14). Lamentablemente al no ser utilizada por tres años la maquina no funcionaba adecuadamente, en especial la cámara térmica trabajando a 25°C como temperatura mínima.



FIGURA 1.14 UMATTA – Máquina de módulo resiliente con cámara de temperatura en el MTC

El ensayo consta de una máquina que ejerce esfuerzos continuos a la probeta con un esfuerzo máximo de 200Kpa. La forma de transmisión de la fuerza depende del molde de acoplamiento que se utilice, se contaba un molde para fuerza axial y otro para diametral. Los esfuerzos son producidos por una máquina de aire que trabaja con una compresora, se abre la llave al momento de tener la cámara térmica lista. Se sigue con el acoplamiento de la probeta al molde y su conexión con los transductores que miden las deformaciones a 2.5mm en ambas direcciones (Figura 1.15).

Midiendo las deformaciones todo depende de la probeta y cual sea su margen de deformación, por lo tanto al tener mayores deformaciones el tiempo de ensayo será menor, este medido en pulsaciones de 2000ms.



FIGURA 1.15 Máquina de transductores de medición y molde de probeta en el MTC

La máquina de transductores tiene lecturas de temperaturas, deformaciones y de carga. Los 5 cables se conectaban a esta máquina que posee una memoria interna y procesa los datos para mostrarlos en el programa. El programa es antiguo y funciona a Windows 95 y su extracción de datos se realizó a través de disquete 3 ½.

Los ensayos presentaron problemas a temperaturas de 38°C no cumpliendo tiempos largos y trabajando a 100 pulsaciones, en otros casos inferiores, lo que produjo el reinicio del ensayo y ajustando los transductores de deformación. En las gráficas se puede observar con tendencias de incremento de manera abrupta.

1.4. DISEÑO DE MEZCLA

Para el diseño en asfalto de una mezcla en caliente existen tres tipos de diseño de mezcla normalizados por el AASHTO, cada uno con sus respectivas características y cualidades.

El diseño Hveem fue desarrollado por el Ingeniero Residente de la división de asfaltos de California Francis Hveem en los años 1920 y 1930, por esos años se construían asfaltos en la misma carretera sin un método y simplemente mezclando agregados con mezcla

asfáltica. El Ingeniero Hveem crea un método para la cantidad óptima de asfalto a base de la gradación de los agregados, buscando la cantidad exacta.

El otro método conocido como Superpave es un producto de la Strategic Highway Research Program se desarrolló en el año 1987 en un diseño que se efectúa sobre la base de la volumetría de la mezcla y la norma AASHTO MP2. Este sistema trabaja con asfaltos con nivel de desempeño PG, que trabajan ya con diversas clases de asfalto para características diferentes.

El método de diseño con el que se trabajó fue el diseño Marshall, desarrollado por Bruce Marshall por el departamento de carreteras de Missisipi en el año 1930 y refinado por el cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos en la década de 1940 siendo aprobado por la AASHTO. Fue presentada como diseño para mezclas de tamaño de agregado máximo de 1" pulgada siendo modificado hasta 1.5" pulgadas.

1.4.1. Características del diseño Marshall

El análisis está enfocado en cuatro características de la mezcla y la influencia que pueden tener en su comportamiento (Tabla 1.12).

TABLA 1.12 Parámetros de diseño Marshall, (EG2000, Feb 2013)

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall (MTC E 504)	8 kN (815 Kg)	5.34 kN (544 Kg)	4.45 kN (453 Kg)
1 Estabilidad (min)	8 - 14	8 - 16	8 - 2
2 Flujo 0.25 mm	3 - 5	03 - 5	03 - 5
3 Porcentaje de vacíos con aire (1)	MTC E 505		
4 Vacíos en el agregado mineral	Ver tabla 410-10		
5 Compactación núm. De golpes en cada capa de testigo	75	50	50

1.4.2. Vacíos en el aire

Los vacíos de aire son espacios pequeños que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. En toda mezcla asfáltica es recomendable que el porcentaje de espacios vacíos sea menor del 8% para tener una durabilidad del asfalto y disminuir la permeabilidad de la mezcla. Por otro lado no menor del 3% para que el asfalto tenga una libertad de flujo y no produzca exudación.

1.4.3. Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

Este vacío representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el vacío mineral más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado (Figura 1.13). Estos valores se basan en el hecho que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

TABLA 1.13 Vacíos mínimos en el agregado mineral, (EG2000, Feb 2013)

TAMIZ	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2.36 mm (N°8)	21	-
4.75 mm (N°4)	18	-
9.50 mm (3/8")	16	15
12.5 mm (1/2")	15	14
19.0 mm (3/4")	14	13
25.0 mm (1")	13	12
7.5 mm (1 1/2")	12	11
50.0 mm (2")	11.5	10.5

Para lograr un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de vacío mineral. Un aumento en la densidad de la gradación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de vacío de agregado mineral por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca, perjudicando su durabilidad.

1.4.4. Cantidad del asfalto

Cantidad dosificada en laboratorio mediante el diseño de mezcla asfáltica Marshall, debe tener una cantidad adecuada de asfalto para el buen funcionamiento de la estructura, así como un control adecuado en la mezcla en la planta asfáltica. El contenido óptimo del asfalto depende de dos características físicas del agregado pétreo, la granulometría de partículas y el contenido de absorción. La granulometría de partículas está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto, si se tienen más finos en el material requerirá más asfalto caso contrario con material de mayor diámetro necesitando menor cemento asfáltico.



CAPITULO II

LABORATORIO

2. PRUEBAS DE LABORATORIO

2.1. Introducción

Para la realización del presente trabajo se llevaron a cabo diversos ensayos de los materiales utilizados en las mezclas asfálticas. En la ciudad de Arequipa se trabajó en el laboratorio SPC&C a cargo del Ingeniero Roberto Cáceres Flores los ensayos referidos a asfaltos y en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María los ensayos de agregados pétreos a cargo del Ingeniero Fernando Garnica Cuba. En la ciudad del Lima en el laboratorio del Ministerio de Transportes y Comunicaciones a cargo del Ingeniero Mario Gamarra Rivera.

2.2. Materiales utilizados

El material utilizado para el presente trabajo fue agregado triturado proveniente de la cantera La Poderosa propiedad de la Empresa YURA ubicada en la ruta de acceso a la Sociedad Minera Cerro Verde, el material fue donado por la empresa MARQUISA S.A.C.

En la elaboración de probetas de mezcla asfáltica, se utilizó el cemento asfáltico PEN 85-100 que convencionalmente se utiliza en la zona. Se diseñó la mezcla asfáltica por el método Marshall, con diferentes porcentajes de contenidos asfálticos y con variaciones de temperatura, para así poder determinar diferentes comportamientos. El mismo trabajo se desarrolló con el PEN 60-70, cemento asfáltico de mayor viscosidad.

2.3. Pruebas realizadas al agregado pétreo

En laboratorio se procede a ensayar el material para determinar sus propiedades y caracterizarlo físicamente, determinando si es apto para la utilización en mezclas asfálticas de los diseños.

En la siguiente Tabla (Tabla 2.1-2.2) se muestra los parámetros que debe cumplir el material para poder ajustarse con la Norma Técnica Peruana para vías de tránsito pesado.

ENSAYOS AGREGADO GRUESO		
		Altitud (m.s.n.m.)
		< 3000
Abrasión Los Angeles	MTC E 207	40% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	Según Tabla 410-4
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.00%

TABLA 2.1 Ensayos agregado grueso, (EG2000)

ENSAYOS AGREGADO FINO		
Ensayos	Norma	Requerimiento
		Altitud (m.s.n.m.)
		< 3000
Equivalente de Arena	MTC E 209	Según Tabla 410-5
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.50%

TABLA 2.2 Ensayos agregado fino, (EG2000)

2.3.1. Composición Granulométrica

Este ensayo determina la composición de partículas de mayor a menor tamaño correspondiente al orden de las aberturas que se colocan progresivamente. Las muestras son secadas para obtener pesos adecuados en cada malla para la caracterización del material y su utilización en el diseño asfáltico. El material tiene diámetros nominales que van de ¾" a menores diámetros, necesarios para una intensidad de pavimento altamente transitado o pesado.

La composición Granulométrica se caracterizó por los límites de las curvas MAC- 1 (Tabla 2.3) la cual es una clasificación para asfaltos de tránsito pesado basado en los tamaños nominales del agregado.

TABLA 2.3 Gráfica MAC-1 fuente, (Ministerio de Transportes y comunicaciones, EG2000)

MALLA		ASFALTO	
Designación	Abertura(mm)	MAC - 1 (mm)	
1"	25.4	100	100
3/4"	19.1	80	100
1/2"	12.7	67	85
3/8"	9.52	60	77
N°4	4.76	43	54
N°10	2	29	45
N°40	0.425	14	25
N°80	0.18	8	17
N°200	0.074	4	8

En las siguientes tablas se muestra la clasificación granulométrica del agregado y sus respectivas gráficas.

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO

TABLA 2.4 Granulometría del agregado grueso

TAMIZ	DIAMETRO	W RET+TARA	W RET.	% RET	% PAS. ACUM
1"	25.4				100
3/4"	19.1	1004.50	666.50	7.73	92.27
1/2"	12.7	3394.50	3056.50	35.45	56.82
3/8"	9.52	2354.00	2016.00	23.38	33.45
N°4	4.76	2797.00	2459.00	28.52	4.93
FINOS	2.38	763.00	425.00	4.93	0.00

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO

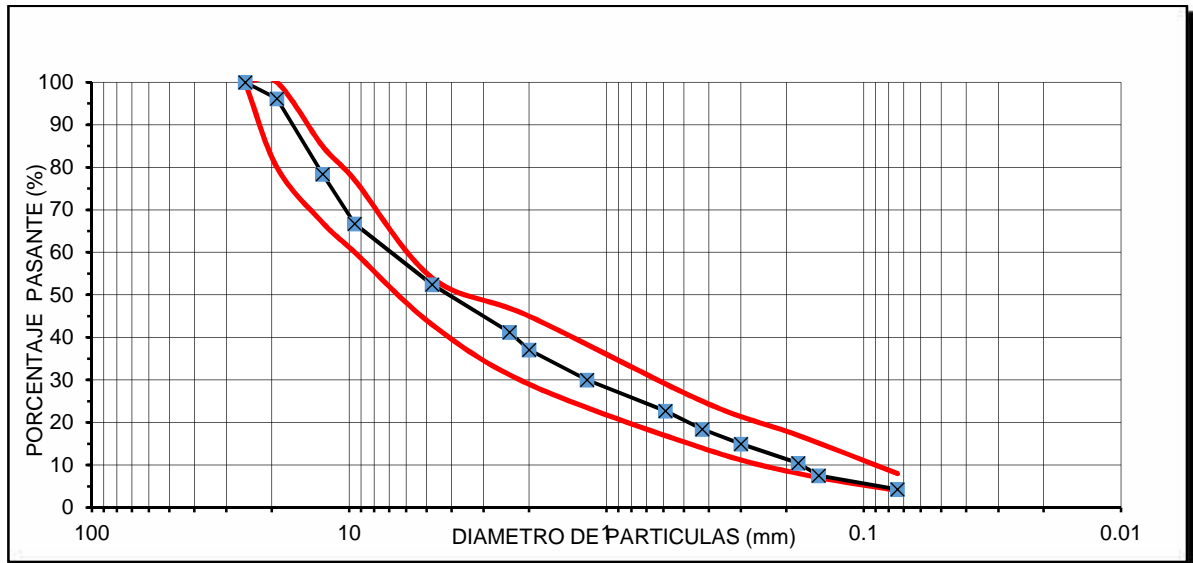
TABLA 2.5 Granulometría del agregado fino

TAMIZ	DIAMETRO	W RET.	% RET	% PAS. ACUM
N°4	4.760			100.00
N°8	2.380	151.0	17.62	82.38
N°10	2.000	70.0	8.17	74.21
N°16	1.190	121.0	14.12	60.09
N°30	0.590	126.0	14.70	45.39
N°40	0.425	73.0	8.52	36.87
N°50	0.300	59.0	6.88	29.99
N°80	0.180	78.0	9.10	20.89
N°100	0.150	50.0	5.83	15.05
N°200	0.074	55.0	6.42	8.63
FONDO		74.0	8.63	0.00

Ambas clasificaciones granulométricas son utilizadas para el huso granulométrico MAC 1 y poder observar si cumplía con las curvas características.

TABLA 2.6 Granulometría Combinada de Agregados

TAMIZ	DIAMETRO	W RET.+TARA	W RET.	% RET	% PAS. ACUM
1"	25.4				100
3/4"	19.1	7.73		3.86	96.14
1/2"	12.7	35.45		17.72	78.41
3/8"	9.52	23.38		11.69	66.72
N°4	4.76	28.52		14.26	52.46
N°8	2.38	4.93	17.62	11.27	41.19
N°10	2.00		8.17	4.08	37.11
N°16	1.19		14.12	7.06	30.05
N°30	0.59		14.70	7.35	22.70
N°40	0.425		8.52	4.26	18.44
N°50	0.30		6.88	3.44	14.99
N°80	0.18		9.10	4.55	10.44
N°100	0.15		5.83	2.92	7.53
N°200	0.074		6.42	3.21	4.32
FONDO			8.63	4.32	0



GRAFICA 2.1 Granulometría del Agregados MAC-1

Con las curvas establecidas se demuestra que el material de trabajo cumple con las determinaciones MAC-1 para asfaltos (Gráfica 2.1).

2.3.2. Equivalente de Arena

El equivalente de arena es un ensayo de laboratorio (Figura 2.1) que se realiza con el objeto de determinar qué porcentaje de una se puede considerar como arena. De manera muy simple se separa por medio de una solución química las partículas finas o polvillo de la arena.

La prueba consiste en agitar el cilindro que contiene un material pétreo tamizado por la malla N°4 mezclada con una solución STOCK para separación de partículas. Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90%. El presente ensayo esta normado por el MTC 114 E-2000 (Tabla 2.7).

TABLA 2.7 Equivalente de arena (EG2000)

Requerimientos del Equivalente de Arena	
Trafico en Ejes Equivalentes (millones)	Porcentaje de Equivalente de Arena (mínimo)
<=3	45
>3-30	50
>30	55

Siendo la ecuación del equivalente de arena:

$$Eq. Arena = \frac{\text{lectura de arena}}{\text{lectura de arcilla}} * 100$$



FIGURA 2.1 Muestras ensayadas de equivalente de arena

2.3.3. Partículas alargadas y lajeadas

Ensayo que permite la determinación de porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso. La prueba consiste en separar el peso retenido en la malla N°4 de la muestra de nuestro material pétreo.

2.3.4. Caras fracturadas

Ensayo que describe el procedimiento para conocer el porcentaje en peso de material con una o dos caras fracturadas del agregado. Ensayo normado por MTC E210-2000 (Tabla 2.8). Se selecciona el material de acuerdo a la granulometría del agregado pétreo, indicado en la presente tabla.

TABLA 2.8 Pesos representativos según el tamaño del agregado, (EG2000)

TAMAÑO DEL AGREGADO		Peso (gr)
37.5 a 25.0 mm	(1 1/2" a 1")	2000
25.4 a 19.0 mm	(1" a 3/4")	1500
19.0 a 12.5 mm	(3/4" a 1/2")	1200
12.5 a 9.5 mm	(1/2" a 3/8")	300

2.3.5. Desgaste mediante la prueba de los ángeles

Ensayo que determina el porcentaje de trituración del agregado grueso ante el impacto de esferas metálicas. El ensayo consiste en seleccionar cierta cantidad de material de acuerdo a la clasificación técnica para someterlo a una maquina giratoria (Figura 2.2) durante 500 ciclos finalizando con el tamizado del material ensayado por la malla N°12. El ensayo esta normado por MTC E207-2000.

$$\text{Desgaste} = \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100$$



FIGURA 2.2 Máquina de los Ángeles

2.3.6. Densidad Relativa de Materiales Pétreos

Esta prueba permite determinar la densidad relativa de los materiales pétreos empleados con el fin de conocer la masa de solidos por unidad de volumen sin vacíos en cada una de sus fracciones, respecto a la densidad del agua. Se procede a mostrar los resultados en las siguientes tablas para obtener la densidad relativa del agregado fino y agregado grueso.

Agregado Gueso

TABLA 2.9 Densidad relativa del agregado grueso: 2.78 gr/cm³

ITEM	DESCRIPCION	DATOS
1	Peso de muestra seca (gr)	750.00
2	Peso de picnometro + agua (gr)	1214.40
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	1695.00
4	Volumen de muestra (cm ³)	269.40
5	Temperatura C ^o	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm ³)	1.000
7	Gravedad Especifica	2.78

Agregado Fino

TABLA 2.10 Densidad Relativa del agregado Fino: 2.68 gr/cm³

ITEM	DESCRIPCION	DATOS
1	Peso de muestra seca (gr)	700.00
2	Peso de picnometro + agua (gr)	1429.70
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	1868.30
4	Volumen de muestra (cm ³)	261.40
5	Temperatura C ^o	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm ³)	1.000
7	Gravedad Especifica	2.68

2.4. Pruebas realizadas al asfalto

Se realizaron con el cemento asfáltico PEN 80/100, un asfalto de uso convencional, normalmente se emplea en las mezclas asfálticas que se colocan en la ciudad de Arequipa. Complementariamente han realizado pruebas de mezcla asfáltica con PEN 60/70 que se utiliza en la costa y especialmente en la ciudad de Lima (Tabla 2.11).

TABLA 2.11 Especificaciones técnicas PEN-PERU, (PETROPERU)

CARACTERISTICA	GRADO DE PENETRACION - PEN										METODO DE ENSAYO		
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300		ASTM	AASHTO	ISO
	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max	Min.	Max			
Penetración, 25°C, 100g, 5s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	D5: 97	T49	
Punto de inflamación, Cleveland Copa Abierta	232	.....	232	.....	232	.....	218	.....	177	.....	D 92: 98s	T48	2592:73
Ductilidad, 25°C, 5cm/min	100	.....	100	.....	100	.....	100	.....	100 ^A	.....	D 113:99	T51	
Solubilidad de tricoroetileno	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....	99	.....	D2042:97	T44	
Prueba de Calentamiento sobre película fina 3.2 mm, 163°C, 5horas											D1754:97	T179	
Penetración retenida después de la prueba del horno sobre película descargada	55+	.....	52+	.....	47+	.....	42+	.....	37+	.....	D5: 97	T49	
Ductilidad de 25°C, 5 cm(min, después de prueba de horno sobre película delgada)	.....	.....	50	.....	75	.....	100	.....	100 ^A	.....	D 113:99	T51	

2.5. Pruebas realizadas a la mezcla asfáltica

2.5.1. Prueba Marshall

Al realizar los ensayos del material pétreo y de estar conformes, se procede elaborar el diseño de la mezcla, con el fin encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico. El ensayo consiste en la elaboración de probetas de mezcla asfáltica, variando el contenido de cemento asfáltico iterativamente hasta encontrar el contenido óptimo.

El primer paso para hallar el contenido óptimo de asfalto se hizo por el método de Hveem, trabajando con la granulometría del material. Se buscan proporciones de la cantidad del agregado fino y agregado grueso adicionando un Filler en pequeños porcentajes no superiores al 5%. Al hallar las proporciones se procede trabajar con las áreas superficiales de los porcentajes retenidos en cada malla, trabajando con la relación de pesos específicos de los agregados y el índice asfáltico para obtener un porcentaje de asfalto inicial en el ensayo.

Para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico, se inició el diseño con 4.0%, incrementando progresivamente en 0.5%, hasta llegar al 6% (Tabla 2.12). Se

ensayaron 3 probetas de cada porcentaje obteniendo una variedad de datos que serán utilizados en las gráficas características del ensayo Marshall.

TABLA 2.12 Tabla de proporciones de agregados del diseño asfáltico MARSHALL

% asfáltico	4	4.5	5	5.5	6
ARENA	534.02	530.95	527.89	524.82	521.76
GRAVA 3/4"	595.72	592.30	588.87	585.46	582.04
Puzolana	17.23	17.13	17.03	16.93	16.83
ASFALTO	53.03	59.62	66.21	72.79	79.37

La temperatura es un factor importante para la elaboración homogénea de las probetas, esta debe ser elevada por tratarse de un asfalto en caliente, elevando la temperatura de los anillos, que posteriormente se introducen en la máquina Marshall de compactación (Figura 2.3).



FIGURA 2.3 Moldes del Marshall para la elaboración de probetas

La compactación la producimos con un martillo, aplicando 75 golpes continuos en una cara de la probeta, posteriormente se retira, se voltea y se aplican 75 golpes a la cara de la probeta. La cantidad de golpes esta normada para tránsito pesado. El equipo funciona a control remoto y produce demasiado ruido, por lo que es indispensable el uso de los EPPs adecuados (Figura 2.5).



FIGURA 2.4 Quince unidades de probetas para su peso al aire



FIGURA 2.5 Equipo compactador Marshall con control de funcionamiento

Después de la compactación se procede al enfriamiento de las probetas, pasando a hacer la caracterización física (Figura 2.4). Las probetas se pesan sumergidas en

agua siendo cubiertas con parafina para poder hallar el porcentaje de vacíos (Figura 2.6).

Luego de pesar y medir las alturas de las probetas, se procede a calentar las muestras al baño María a 60°C (Figura 2.7), posteriormente se procede a realizar los ensayos en la Maquina Marshall.

Con el ensayo Marshall, se obtiene el contenido óptimo de asfalto, midiendo la estabilidad de la probeta ante una carga de tracción indirecta que trabaja a través del diámetro de la muestra, por otro lado también se mide el flujo de la mezcla asfáltica para poder analizar la deformación bajo carga que presenta la mezcla asfáltica.



FIGURA 2.6 Probetas pesada sumergida



FIGURA 2.7 Baño María calentando a los 60°C

La tracción indirecta reproduce el estado de tensiones de la fibra inferior de la capa asfáltica o zona de tracción. Es un método sencillo y práctico con el que se caracteriza las propiedades de las mezclas asfálticas. Se carga una probeta de mezcla asfáltica a compresión diametral a lo largo de dos generatrices opuestas (Figura 2.8).



FIGURA 2.11 Ensayo Marshall en probeta de mezcla asfáltica

En la primera ronda de ensayos se obtuvo un contenido de cemento asfáltico de 5.25%, luego se procedió a realizar una segunda ronda de ensayos Marshall para ajustar la cantidad de cemento asfáltico y así poder tener mayor aproximación del contenido óptimo (Figura 2.9). La variación del contenido óptimo continua siendo 0.5% a partir de 4.75% de cemento asfáltico hasta 6.25% para el nuevo ensayo Marshall, presentando la siguiente distribución (Tabla 2.13).

TABLA 2.13 Porcentajes de asfalto del segundo ensayo MARSHALL

% asfalto	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
ARENA	523.26	520.44	517.63	514.82	512.0
GRAVA 3/4"	596.70	593.49	590.28	587.08	583.87
Puzolana	27.54	27.39	27.24	27.10	26.9
ASFALTO	52.51	58.68	64.84	71.01	77.2

En el segundo ensayo Marshall el contenido de asfalto óptimo resulto 5.40% de asfalto.



FIGURA 2.9 Desmolde del segundo juego de probetas del diseño Marshall

2.6. Ensayo Marshall a probetas elaboradas con asfalto PEN 80/100

La presente tesis estudia los efectos de la temperatura en el asfalto convencional, diseñado por el método Marshall, trabajando con los contenidos de asfalto óptimo para el diseño. El modo convencional del ensayo Marshall aplica a las probetas un baño María de aproximadamente treinta minutos a 60°C de temperatura, progresivamente se hace variaciones térmicas de 5°C por cada juego de muestras, hasta llegar a los 75°C.

Se ha ensayado juegos de 15 probetas por cada temperatura de prueba, las tres temperaturas de ensayo son las siguientes.

- 65°C
- 70°C
- 75°C

Las 45 probetas (Figura 2.11) elaboradas tuvieron temperaturas de trabajo de 160°C en el agregado pétreo y temperatura de asfalto de 100°C, necesario para la mezcla del asfalto con el agregado, logrando una cobertura total de todas las partículas pétreas en la mezcla. Se calientan los agregados en una cocina a gas y el mezclado del asfalto con el agregado pétreo se realizó manualmente (Figura 2.10). La medición de temperatura se hizo con un termómetro de aguja de asfaltos, previamente calibrado.



FIGURA 2.10 Imágenes de la elaboración de probetas asfálticas

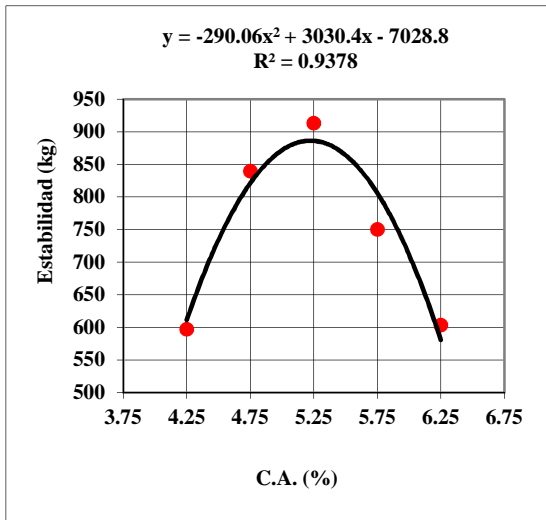


FIGURA 2.11 Cuarenta y cinco probetas PEN 80/100

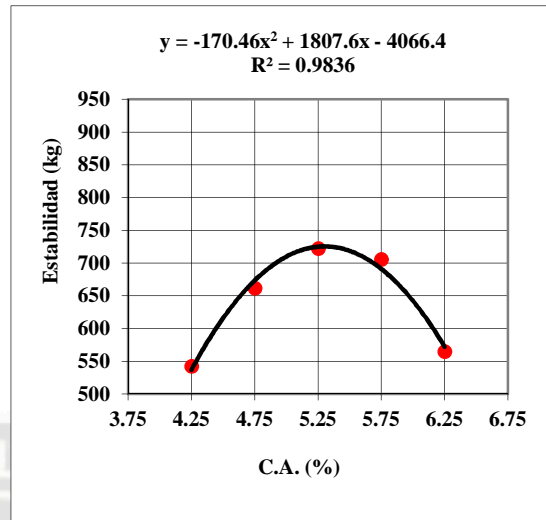
2.6.1. Ensayo Marshall a 65°C

Al realizar el ensayo Marshall a 65° grados centígrados en baño María, se trata de observar cual es el efecto producido en los factores más importantes en un diseño, como la fluencia y la estabilidad, los valores se obtienen directamente. Cabe mencionar que en el ensayo se tomaron valores para ser utilizados en los cuadros, uno ideal que indica el valor máximo y uno promedio de las tres probetas con la misma cantidad de asfalto.

La estabilidad adquiere un valor máximo de 875.04 Kg de tracción indirecta, siendo un valor elevado y ofreciendo una resistencia adecuada para el diseño de cargas de tránsito pesado, en el valor promedio obtenemos un valor máximo de 722.48 Kg que es menor, ya que en una de las probetas obtuvo un valor más bajo del ideal (Grafica 2.2)



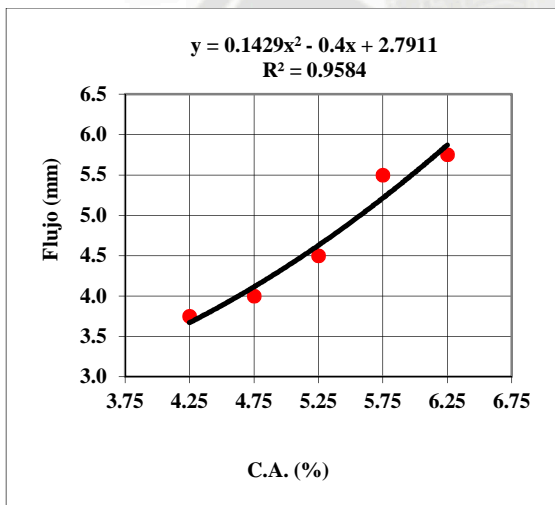
Estabilidad valor máximo



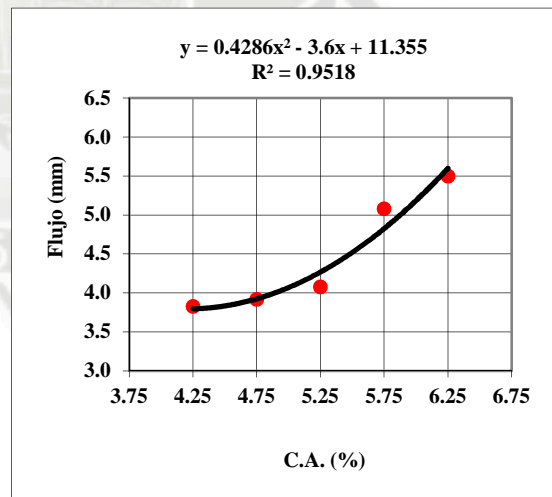
Estabilidad con valor promedio

GRAFICA 2.2 Estabilidad Marshall A 65°C

Los valores de fluencia teóricamente deberían aumentar, haciendo la comparación, ofreciendo una fluencia del contenido de asfalto óptimo medido en el valor máximo y valor promedio. En el valor máximo la fluencia dio un valor de 4.8 mm mientras que para valor promedio dio 4.3 mm (Grafica 2.3).



Flujo valor máximo



Flujo de valor promedio

GRAFICA 2.3 Flujo Marshall a 65°C

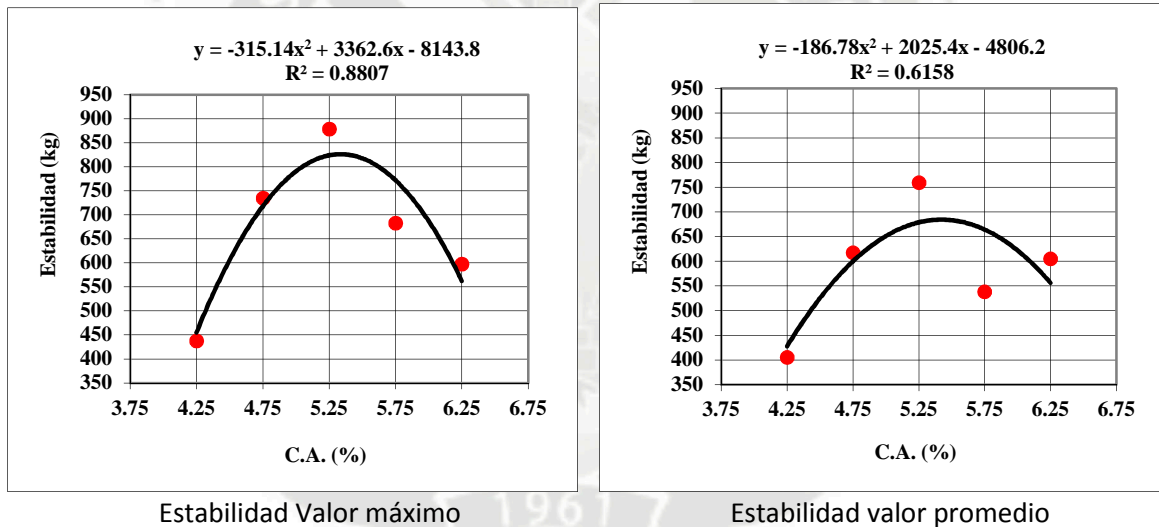
Todos los datos fueron hallados en relación al contenido óptimo de asfalto para el valor máximo de 5.42% de asfalto y en valor promedio de 5.25%.

Los datos del ensayo Marshall se adjuntan en los anexos.

2.6.2. Ensayo Marshall a 70°C

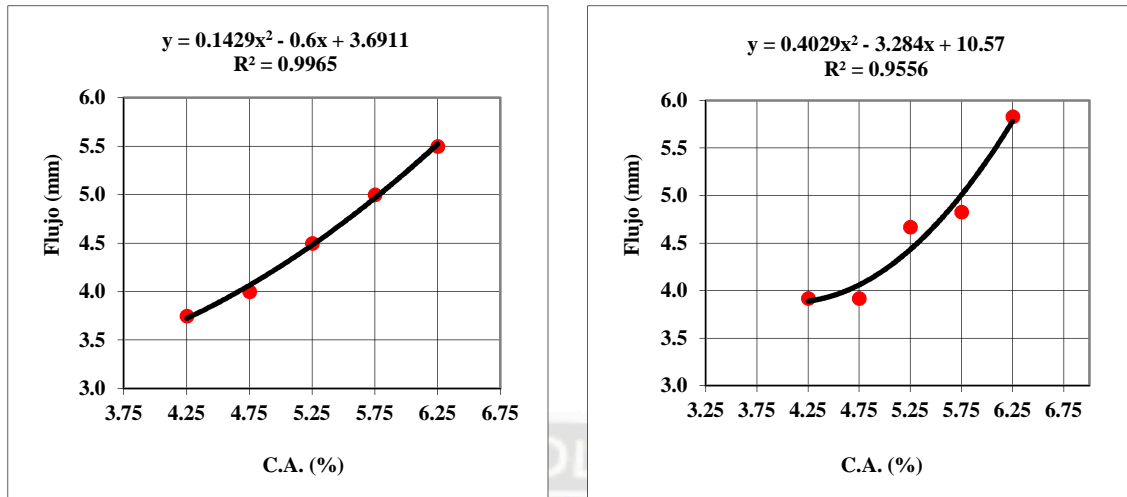
Al realizar el ensayo Marshall a 70 grados centígrados en el baño María se trata de observar cual es el efecto producido en los factores más importantes en un diseño como la fluencia y la estabilidad, al ser valores que se obtienen directamente. Cabe mencionar que de los ensayos se tomaron valores para elaborar los cuadros, uno ideal que indica el valor máximo y otro promedio de las tres probetas con la misma cantidad de asfalto.

La estabilidad adquiere un valor máximo de 823 Kg de tracción indirecta siendo un valor elevado y ofreciendo una resistencia adecuada para el diseño de cargas de tránsito pesado, en el valor promedio obtenemos un valor máximo de 670 Kg siendo menor ya que una de las probetas obtuvo un valor más bajo del ideal (Grafica 2.4).



GRAFICA 2.4 Estabilidad Marshall 70°C

Haciendo la comparación los valores de fluencia, teóricamente deberían aumentar, ofreciendo una fluencia del contenido de asfalto óptimo medido en el valor máximo y valor promedio. En el valor máximo la fluencia dio un valor de 4.3mm mientras que para valor promedio dio 4.7mm (Grafica 2.5).



Fluencia valor máximo

Fluencia valor promedio

GRAFICA 2.5 Flujo Marshall 70°C

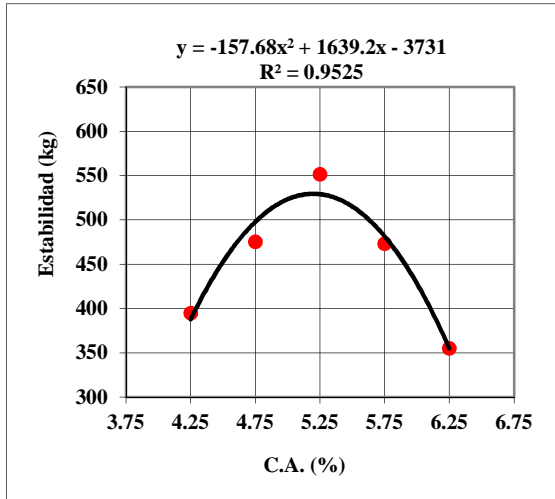
Todos los datos fueron hallados en relación al contenido óptimo de asfalto para el valor máximo de 5.42% de asfalto y en valor promedio de 5.48%.

Los datos del ensayo Marshall se adjuntan en los anexos

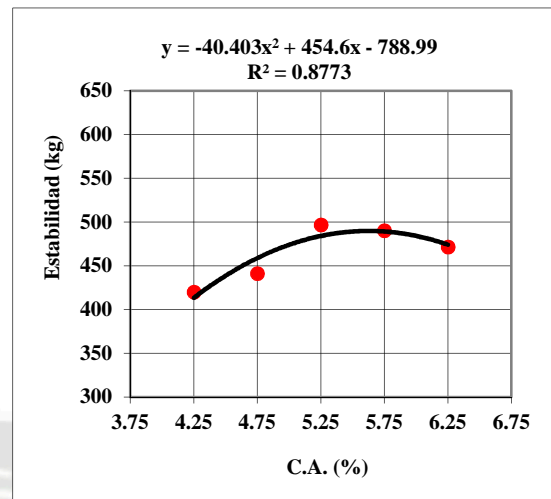
2.6.3. Ensayo Marshall a 75°C

Al realizar el ensayo Marshall a 75 grados centígrados en el baño María, se trata de observar cual es el efecto producido en los factores más importantes en un diseño como la fluencia y la estabilidad al ser valores que se obtienen directamente. Cabe mencionar que del ensayo se tomaron valores para elaborar los cuadros, uno ideal que indica el valor máximo y otro un promedio de las tres probetas con la misma cantidad de asfalto.

La estabilidad adquiere un valor máximo de 526.98 Kg de tracción indirecta siendo un valor elevado y ofreciendo una resistencia adecuada para el diseño de cargas de tránsito pesado, en el valor promedio obtenemos un valor máximo de 496 Kg siendo menor ya que una de las probetas obtuvo un valor más bajo del ideal (Grafica 2.6).



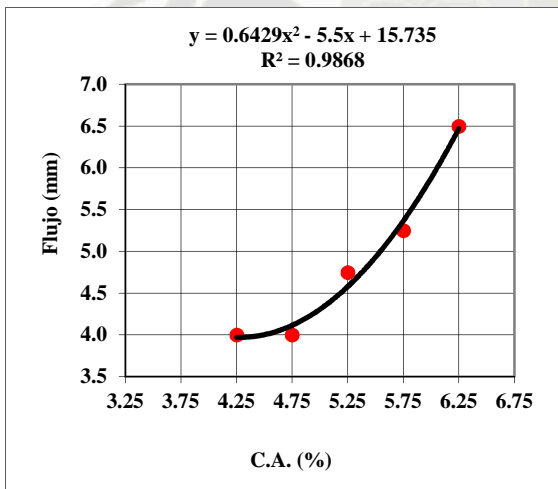
Estabilidad de valor máximo



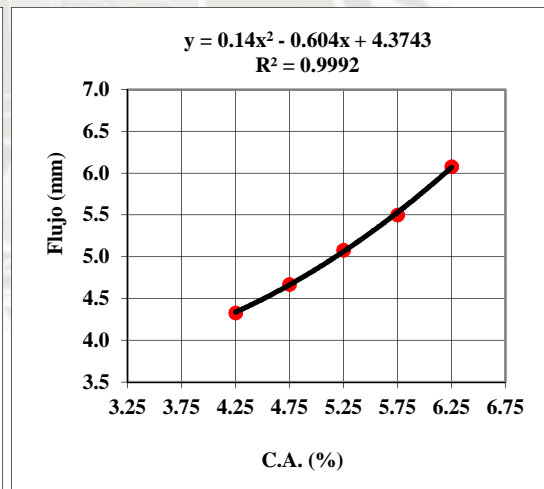
Estabilidad de valor promedio

GRAFICA 2.6 Estabilidad Marshall 75°C

Haciendo la comparación los valores de fluencia, teóricamente deberían aumentar, ofreciendo una fluencia del contenido de asfalto óptimo medido en el valor máximo y valor promedio. En el valor máximo la fluencia arrojó un valor de 4.38mm mientras que para valor promedio dio 4.32mm (Grafica 2.7).



Fluencia valor máximo



Fluencia valor promedio

GRAFICA 2.7 Flujo Marshall 75°C

Todos los datos fueron hallados en relación al contenido óptimo de asfalto para el valor máximo de 5.08% de asfalto y en valor promedio de 5.25%.

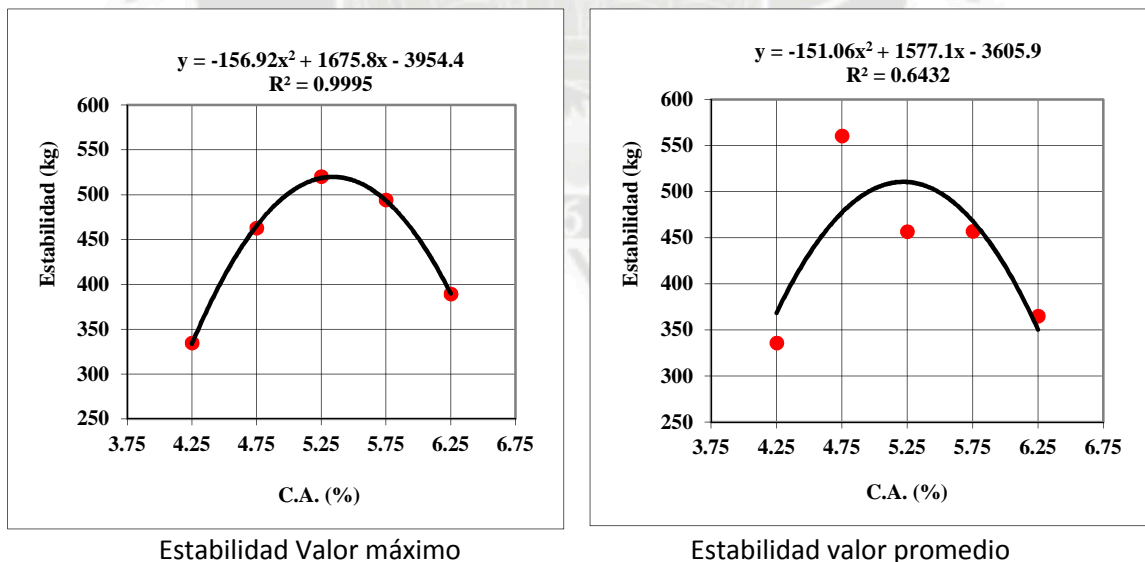
Los datos del ensayo Marshall se adjuntan en los anexos.

2.7. Ensayo Marshall a probetas elaboradas con asfalto PEN 60/70

En la presente investigación se ensayaron probetas de mezcla asfáltica a diferentes temperaturas para observar su comportamiento con asfalto PEN 80/100 pero se hizo una hipótesis si tendría el mismo comportamiento con otro tipo de cemento asfáltico. El cemento asfáltico de trabajo para nuestra hipótesis fue el PEN 60/70, que es un asfalto más duro al tener menor penetración, de allí la denominación 60-70.

Al realizar el ensayo Marshall a 70 grados centígrados en el baño María se trata de observar cual es el efecto producido en los factores más importantes en un diseño como la fluencia y la estabilidad al ser valores que se obtienen directamente. Cabe mencionar que en el ensayo se tomaron valores para elaborar los cuadros, uno ideal que indica el valor máximo y otro promedio de las tres probetas con la misma cantidad de asfalto.

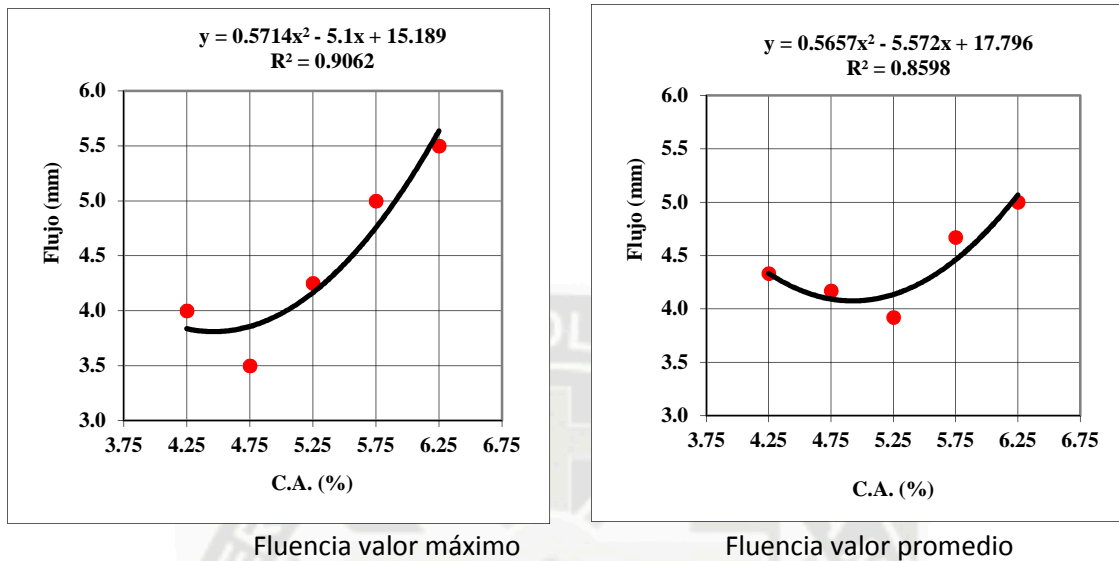
La estabilidad adquiere un valor máximo de 509.12 Kg de tracción indirecta siendo un valor elevado y ofreciendo una resistencia adecuada para el diseño de cargas de tránsito pesado, en el valor promedio obtenemos un valor máximo de 496.81Kg siendo menor ya que una de las probetas obtuvo un valor más bajo del ideal (Grafica 2.8).



GRAFICA 2.8 Estabilidad Marshall PEN 60-70

Haciendo la comparación los valores de fluencia teóricamente deberían aumentar, ofreciendo una fluencia del contenido de asfalto óptimo medido en el valor

máximo y valor promedio. En el valor máximo la fluencia dio un valor de 5.3mm mientras que para valor promedio dio 5.3mm (Grafica 2.9).



GRAFICA 2.9 Flujo Marshall 75°C

Todos los datos fueron hallados en relación al contenido óptimo de asfalto para el valor máximo de 4.0 % de cemento asfáltico y en valor promedio de 4.1 %.

Los datos del ensayo Marshall se adjuntan en los anexos.



CAPITULO III

ANALISIS DE RESULTADOS

3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1. Resultados del Marshall a temperaturas elevadas

3.1.1. Estabilidad

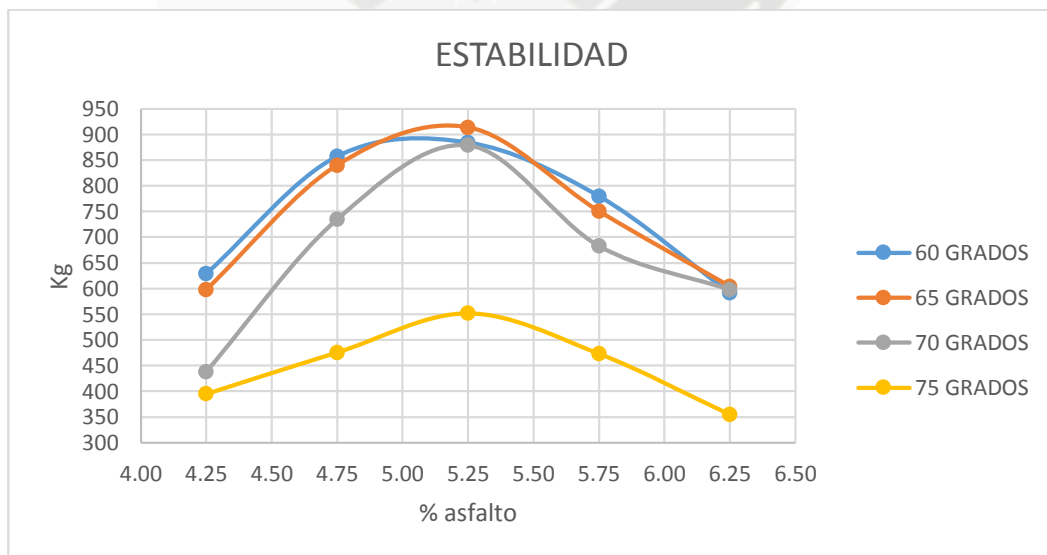
Valores de resultados Máximo

Los ensayos ofrecieron un resultado previsible demostrando que la temperatura reduce la estabilidad del asfalto, este es un factor determinante de debilitamiento (Gráfica 3.1). Como ya se indicó, se trabajaron con dos valores en los ensayos, uno de valores ideales y otro de valores promedio de resultados.

En los valores ideales podemos observar que al aumentar la temperatura, la estabilidad decrece, teniendo un comportamiento similar en 65°C y 70°C.

A 65°C de temperatura la estabilidad decrece en un porcentaje de 1.06%, mostrando un comportamiento similar y en algún caso superior de estabilidad a los 60°C, temperatura que se toma como referencia.

A 70°C la estabilidad disminuye en 11.34%, esto significa una disminución apreciable de sus valores. A 75°C la disminución de la estabilidad ya es notoria con una porcentaje de 39.70%, este proceso debilita la mezcla asfáltica y se demuestra que la temperatura influye en la estabilidad.

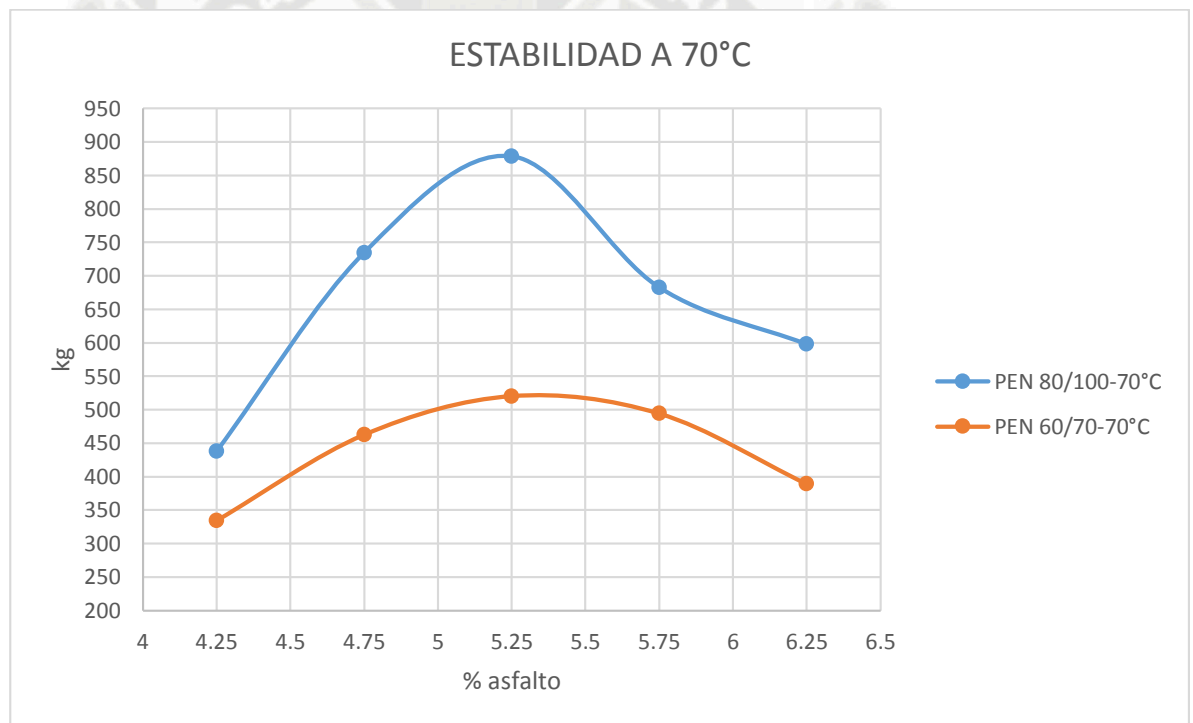


GRAFICA 3.1 Comparación de estabilidad temperaturas valores máximos

TABLA 3.1 Cuadro de comparación estabilidad valores máximos

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
60	628.8	857	883.9	779.8	591.7		
65	94.99%	98.00%	103.37%	96.24%	102.07%	98.94%	1.06%
70	69.63%	85.69%	99.39%	87.56%	101.03%	88.66%	11.34%
75	62.82%	55.51%	62.42%	60.71%	60.05%	60.30%	39.70%

En comparación con otro tipo de mezcla asfáltica, preparada con PEN 60-70 se realizaron los ensayos de probetas a 70°C, los resultados se compararon con los obtenidos de la mezcla asfáltica preparada con PEN 80-100 (Gráfica 3.2). Como se puede apreciar con la mezcla asfáltica preparada con PEN 80-100 obtiene mejores resultados, esta mezcla asfáltica es menos afectada por la temperatura, tiene una estabilidad superior en 32.78%.



GRAFICA 3.2 Comparación estabilidad PEN 80/100 - 60/70 valores máximos

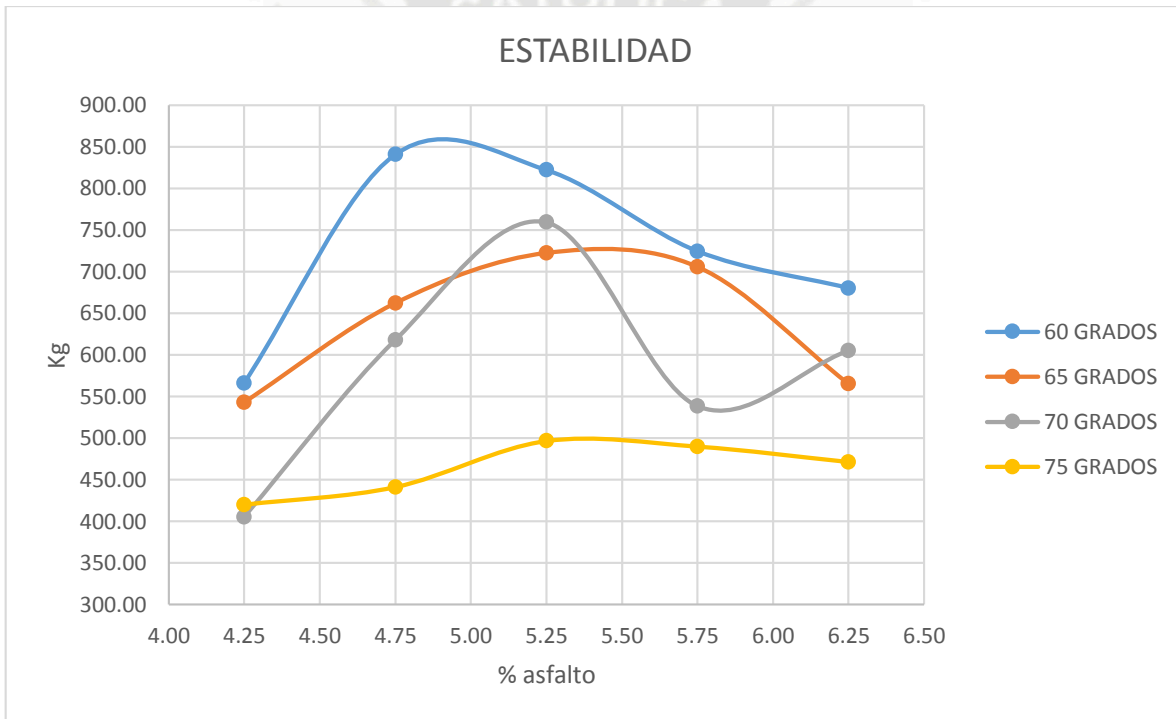
TABLA 3.2 Cuadro de comparación estabilidad PEN 80/100 – 60/70 valores máximos

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
80-100	437.835	734.4	878.514	682.76	597.765		
60-70	334.656	462.58	520.127	494.172	389.232		
%	76.43%	62.99%	59.21%	72.38%	65.11%	67.22%	32.78%

Valores de resultados promedio

En los resultados de valores promedio se observa que son similares, tienen una reducción ya que se consideran todos los datos ensayados, pero el comportamiento es similar (Gráfica 3.3).

A 65°C la estabilidad tuvo una reducción de 11.37% variando con la estabilidad de valores ideales, a 70°C la estabilidad tuvo una reducción de 19.82% teniendo un comportamiento parecido con el anterior cuadro. A 75°C la el comportamiento tuvo la misma tendencia 35.18% (Tabla 3.3).

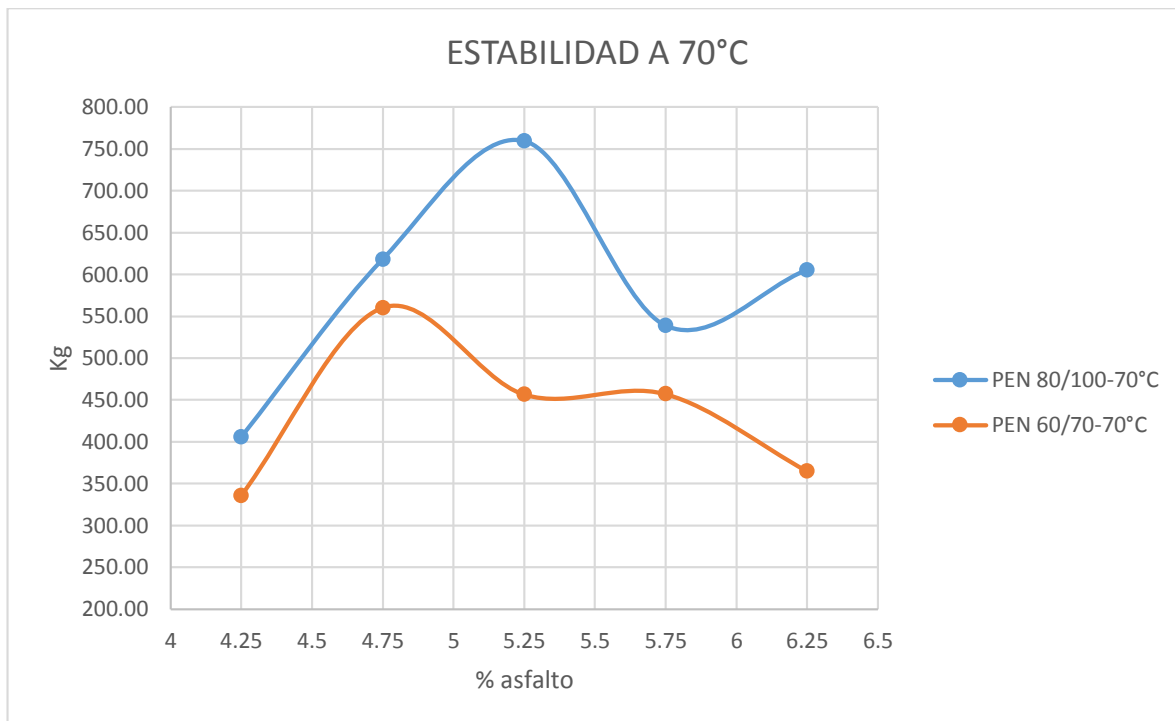


GRAFICA 3.3 Comparación estabilidad de temperaturas valores promedio

TABLA 3.3 Cuadro de comparación estabilidad valores promedio

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
60	565.70	840.59	822.13	724.52	680.20		
65	95.97%	78.77%	87.88%	97.43%	83.10%	88.63%	11.37%
70	71.67%	73.50%	92.36%	74.36%	88.99%	80.18%	19.82%
75	74.25%	52.48%	60.41%	67.63%	69.32%	64.82%	35.18%

En comparación con otro tipo de asfalto como el PEN 60-70 se realizó el ensayo de probetas a 70°C comparando con nuestro PEN 80-100 (Gráfica 3.4). El PEN 80-100 obtiene mejores resultados, es menos afectado por la temperatura teniendo una estabilidad superior al 24.25% (Tabla 3.4).



GRAFICA 3.4 Comparación estabilidad PEN 80/100 - 60/70 valores promedio

TABLA 3.4 Cuadro de comparación estabilidad PEN 60/70 – 85/100 valores promedio

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
80-100	405.42	617.85	759.33	538.73	605.33		
60-70	335.83	560.18	456.58	456.98	364.98		
%	82.84%	90.67%	60.13%	84.83%	60.29%	75.75%	24.25%

3.1.2. Fluencia

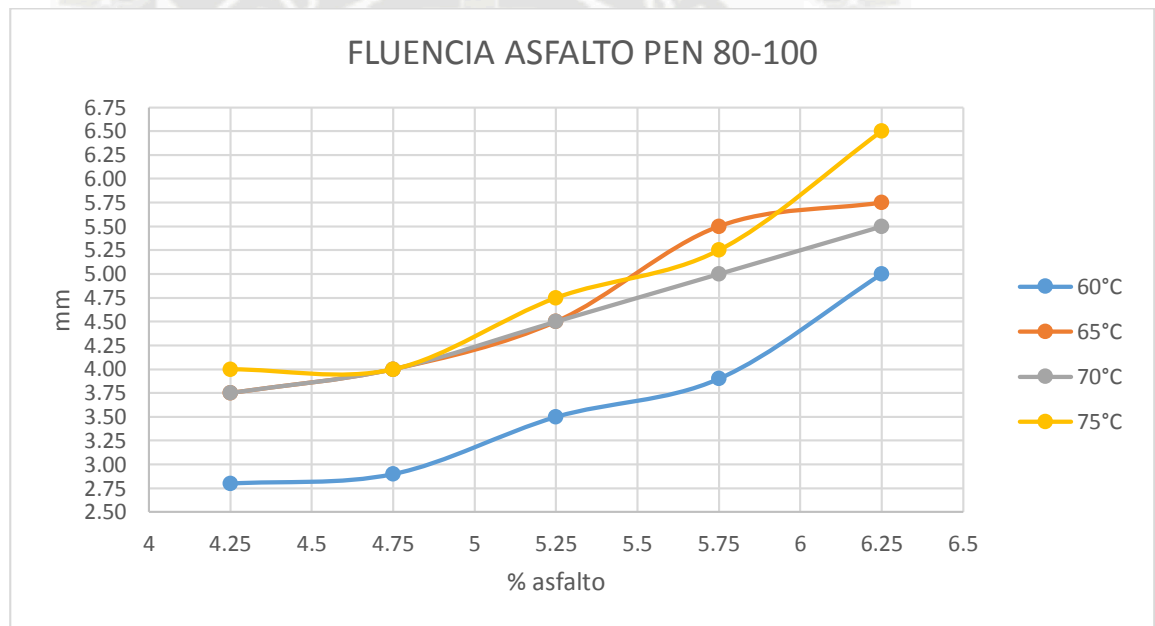
Valores de resultados máximo

La fluencia, medida por el ensayo Marshall indica la deformación ante la carga de tracción que recibe la probeta de mezcla asfáltica. Los resultados son los esperados, al poder observar los ensayos en probetas preparadas con el mismo

cemento asfáltico PEN 80 -100, las deformaciones presentan un incremento al aumentar la temperatura del ensayo.

Estos valores de fluencia indican que ante mayor cantidad de cemento asfáltico y aumento de temperatura las deformaciones aumentan produciendo fallas en la carpeta asfáltica volviéndola plástica, estas fallas son irreversibles.

A 60°C las deformaciones no superan los 5.0 mm, con una tendencia normal de mayor deformación al incrementar el contenido de asfalto. Al incrementar la temperatura, la deformación es prácticamente similar para temperaturas de 65°C, 70°C y 75°C, excepto a los 75°C que brinda deformaciones hasta 6.50mm (Gráfica 3.5).



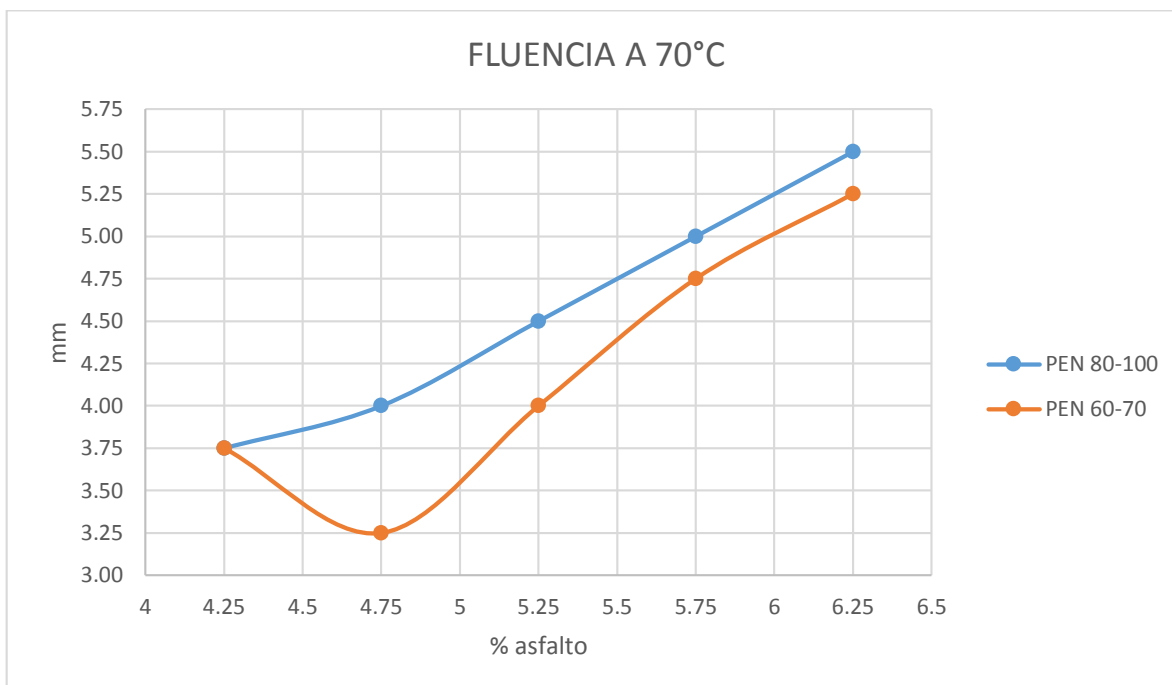
GRAFICA 3.5 Flujo temperaturas PEN 85-100 valores máximos

Los aumentos de temperatura hasta 65°C ofrecen un incremento de 31.29% de deformación con respecto a 60°C, temperatura de comparación para todas las deformaciones. A 70°C un incremento de 27.73% y a 75°C un incremento de 36.22% mostrando la similitud de resultados en la deformación (Tabla 3.5).

TABLA 3.5 Cuadro comparación flujo temperaturas valores máximos

T °/ % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	AUMENTO
	60	2.80	2.90	3.50	3.90			5.00
65	133.93%	137.93%	128.57%	141.03%	115.00%	131.29%	31.29%
70	133.93%	137.93%	128.57%	128.21%	110.00%	127.73%	27.73%
75	142.86%	137.93%	135.71%	134.62%	130.00%	136.22%	36.22%

En otro estudio se realizó una comparación entre la fluencia de la mezcla asfáltica preparada con PEN 80 – 100 y otra preparada con PEN 60 – 70 para determinar si en verdad el asfalto con penetración 60-70 es más duro, reflejándose en el ensayo (Gráfica 3.6). La reducción con respecto al PEN 80 – 100 es de un 7.88% a 70°C teniendo un margen hasta de 18.75% de reducción de deformación (Tabla 3.6).



GRAFICA 3.6 Gráficas de fluencia a 70°C valores máximos

TABLA 3.6 Cuadros de comparación fluencia 70°C valores máximos

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
80-100	3.75	4	4.5	5	5.5		
60-70	3.75	3.25	4	4.75	5.25		
%	100.00%	81.25%	88.89%	95.00%	95.45%	92.12%	-7.88%

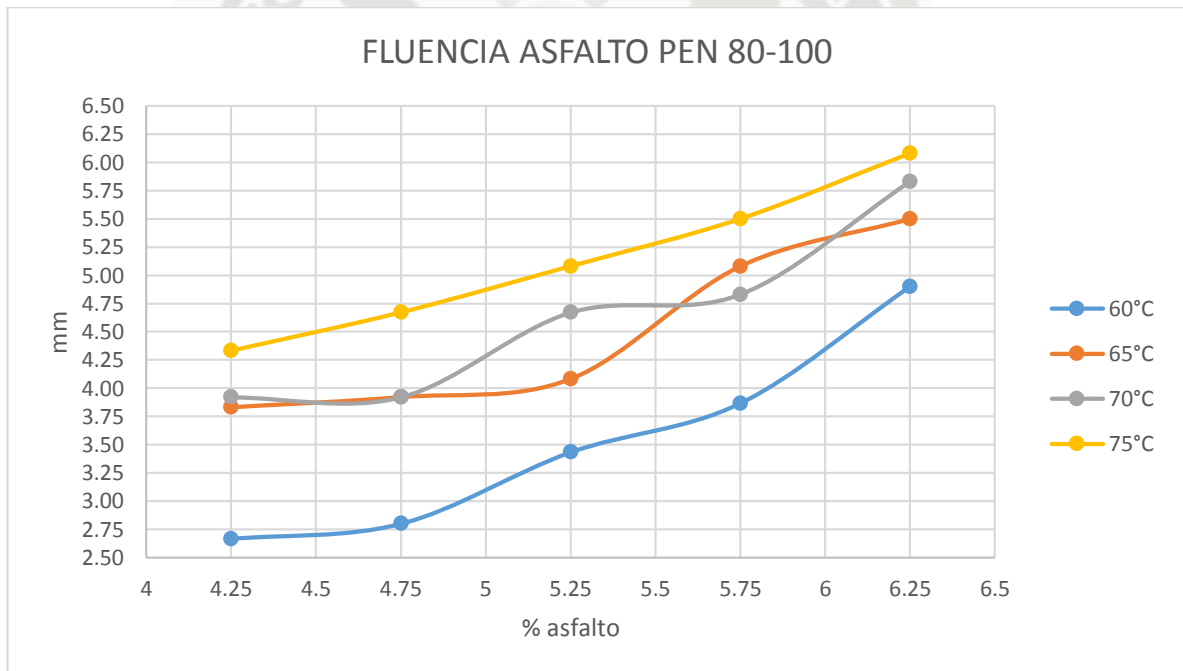
Valores de resultado promedio

La fluencia, medida por el ensayo Marshall indica la deformación ante la carga de tracción que recibe la probeta asfáltica. Los resultados son los esperados al poder observar en probetas preparadas con el mismo asfalto PEN 80 -100, deformaciones que presentan un incremento al aumentar la temperatura de ensayo.

Estos valores de fluencia indican que ante mayor cantidad de asfalto y aumento de temperatura, las deformaciones aumentan produciendo fallas en la carpeta asfáltica, volviéndola plástica, falla que es irre recuperable.

A temperatura promedio la tendencia de las deformaciones es similar a las producidas por la temperatura máxima, donde las temperaturas de 60°C y 75°C claramente se diferencian de las otras las temperaturas de 65°C y 70°C.

A 60°C las deformaciones no superaban los 5.0 mm teniendo una tendencia normal de mayor deformación al incrementar el contenido de cemento asfáltico. A partir de incrementar la temperatura, la deformación es prácticamente similar para temperaturas de 65°C, 70°C, con deformaciones similares representadas en la curva. A 75°C las deformaciones se incrementan superando los 6.00mm de deformación (Gráfica 3.7).



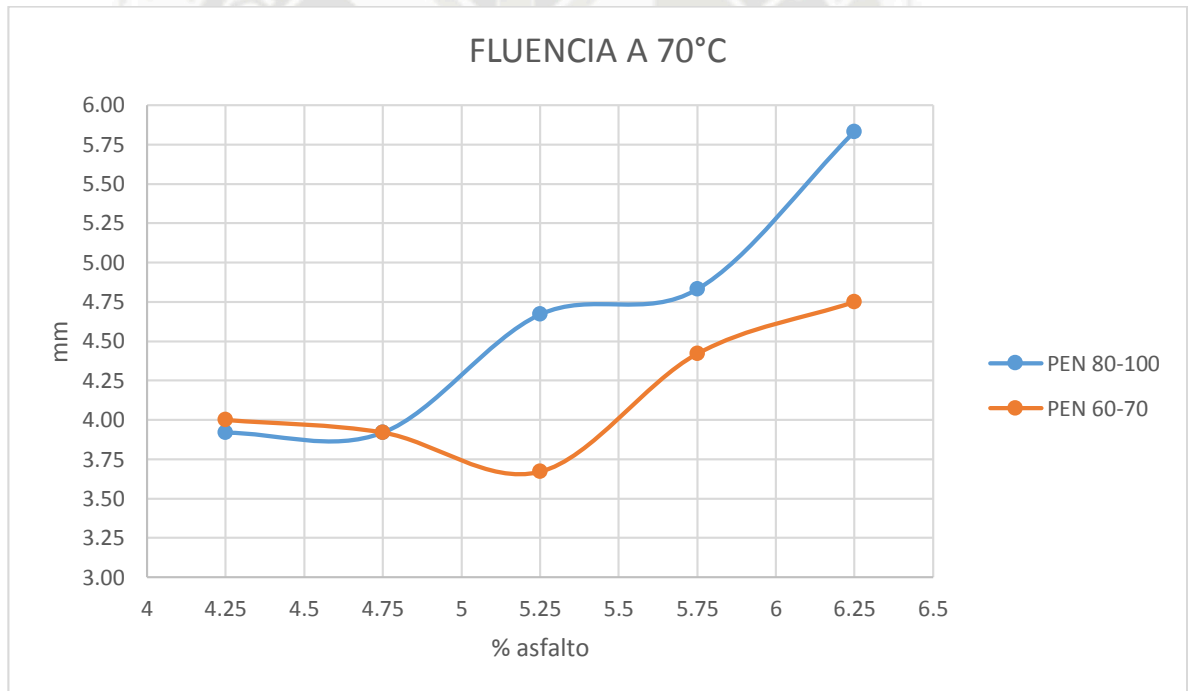
GRAFICA 3.7 Gráfica de fluencia PEN 85-100 valores promedio

Los variaciones de temperatura hasta 65°C ofrecen un incremento de 29.22% de deformación con respecto a 60°C, temperatura de comparación para todas las deformaciones. A 70°C un incremento de 33.38% y a 75°C un incremento de 48.69% mostrando la similitud de resultados en la deformación (Tabla 3.7).

TABLA 3.7 Gráficas de comparación fluencia valores promedio

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	AUMENTO
60	2.67	2.80	3.43	3.87	4.90		
65	143.63%	140.00%	118.83%	131.38%	112.24%	129.22%	29.22%
70	147.00%	140.00%	136.02%	124.91%	118.98%	133.38%	33.38%
75	162.38%	166.79%	147.96%	142.24%	124.08%	148.69%	48.69%

En otro estudio se realizó una comparación entre la fluencia de la mezcla preparada con cemento asfáltico PEN 80 – 100, con la preparada con el cemento asfáltico PEN 60 – 70, para determinar si el cemento asfáltico con penetración 60-70 es más duro viéndose reflejado en el ensayo (Gráfica 3.8). La reducción con respecto al PEN 80 – 100 es de un 9.28% a 70°C teniendo un margen de 18.75% de reducción de deformación (Tabla 3.8).



GRAFICA 3.8 Gráfica de fluencia PEN 60/70 – 85/100 valores promedio

TABLA 3.8 Gráfica de comparación PEN60/70 – 85/100 valores promedio

T ° / % C.A.	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	PROMEDIO	REDUCCIÓN
80-10	3.92	3.92	4.67	4.83	5.83		
60-70	4	3.92	3.67	4.42	4.75		
%	102.04%	100.00%	78.59%	91.51%	81.48%	90.72%	-9.28%

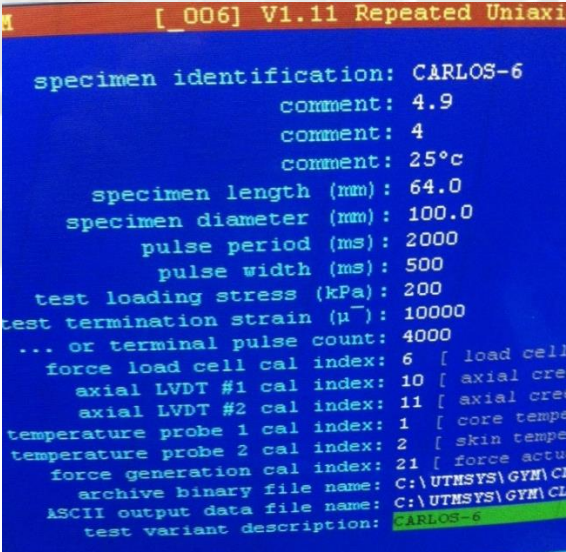
3.2. Resultados Resiliencia

Los ensayos de resiliencia se realizaron en la Dirección de Estudios Especiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones ubicado en la ciudad de Lima, Distrito del Rímac. La máquina del ensayo de resiliencia es de la Fabrica ELE, del año 1998 y trabaja para ensayos de suelos y pavimentos. Todo el funcionamiento de presiones es ejercido por una compresora de aire, utilizada para pavimentos, mientras que para suelos tiene mismo funcionamiento adicionando aceite siliconado para acondicionamiento térmico.

Se ensayaron 20 probetas a temperaturas de 23°C, 33°C, 38°C, 42°C para el comportamiento en diferentes escenarios. El valor de carga estándar para todas las probetas fue de un rango de 0 a 200kPa siendo una carga axial indirecta o diametral en las probetas.

3.2.1. Valores de programación del ensayo

La programación de la máquina para el ensayo fue una de las dificultades de la presente investigación, ya que el equipo no se utilizó durante 3 años y se tuvo que realizar su mantenimiento, limpieza de transductores y descarga de data. Los datos se procesan en el formato CSV (delimitación por comas) y la descarga por disquete 3 ½.



```
[_006] V1.11 Repeated Uniaxial  
specimen identification: CARLOS-6  
comment: 4.9  
comment: 4  
comment: 25°C  
specimen length (mm): 64.0  
specimen diameter (mm): 100.0  
pulse period (ms): 2000  
pulse width (ms): 500  
test loading stress (kPa): 200  
test termination strain (µ): 10000  
... or terminal pulse count: 4000  
force load cell cal index: 6 [ load cell  
axial LVDT #1 cal index: 10 [ axial cree  
axial LVDT #2 cal index: 11 [ axial cree  
temperature probe 1 cal index: 1 [ core temper  
temperature probe 2 cal index: 2 [ skin temper  
force generation cal index: 21 [ force actua  
archive binary file name: C:\UTMSYS\GYM\CL  
ASCII output data file name: C:\UTMSYS\GYM\CL  
test variant description: CARLOS-6
```

FIGURA 3.1 Cuadro de datos del software UMATTA en el MTC, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de Estudios Especiales)



FIGURA 3.2 Cámara de refrigeración UMATTA en el MTC, fuente (Fotografía Carlos Ramos Guerra-MTC, Dirección de Estudios Especiales)

Los datos que se colocan son comentarios para reconocimiento de la probeta, altura y diámetro del espécimen, temperatura del ensayo, período y amplitud de pulso, carga de ensayo y niveles finales del ensayo ya sean pulsos o deformación (Figura 3.1).

Adicionalmente muestra la forma de descarga de los archivos en formato ASCII que luego se convierte en CSV.

3.2.2. Graficas resiliencia-contenido de asfalto

El contenido de cemento asfáltico, teóricamente es un factor determinante en el módulo de resiliencia, reduciendo su valor. Analizaremos el módulo de todas las probetas ensayadas a diferentes temperaturas que se han visto anteriormente, para hacer un análisis del comportamiento al incrementar la temperatura.

Cada análisis de módulo de resiliencia con el contenido de cemento asfáltico esta medido en pulsos, para hacer un resumen del ensayo ya que cada prueba tiene más de 100 pulsos.

Módulo de resiliencia-contenido de asfalto-24 Pulsos

Gráfica de 24 pulsos (Gráfica 3.9) muestra el módulo de resiliencia de 4 temperaturas mostradas en la leyenda con su respectivo contenido de cemento asfáltico que varía 0.5% de peso. La gráfica tiene dos comportamientos de trabajo con respecto al contenido de asfalto, pero ninguno consigue un patrón definido ya que la carga de aplicación del equipo varía y produce diferentes comportamientos. Todos estos comportamientos se proceden a analizar con su esfuerzo de aplicación y deformación.

TABLA 3.9 Cuadro de deformaciones a 24 pulsos

	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	24	2.961	5.17	8.136	7.18
33	24	5.707	3.599	5.774	6.145
38	24	3.195	11.085	10.403	10.745
42	24	6.786	7.42	8.776	10.38

En 23°C el asfalto tiene una tendencia descendente, en 4.90% de cemento asfáltico el valor del módulo es el mayor valor, y en el último valor de 6.40% el módulo decrece debido al incremento del cemento asfáltico. La tendencia descendente se atribuye a una mayor deformación en 5.40% (Tabla 3.9). Las deformaciones en 23°C para la temperatura son mayores aumentando la cantidad de asfalto, observamos diferencias de más de 2.21mm para 5.40%, 5.17mm para 5.90% y 4.22mm para 6.40%.

En 33°C el módulo es alto por el bajo contenido de asfalto, logra tener un esfuerzo de 352.15KPa. Las deformaciones marcan su comportamiento descendente (Tabla 3.9) en 5.40% pero al tener un bajo esfuerzo su módulo sigue siendo elevado. El menor valor de 32.80 MPa se debe a que presenta la deformación más alta con 6.145mm.

En 38°C tenemos valores bajos debido a las elevadas deformaciones a 38°C con tres datos superiores a los 10mm, produciendo módulos bajos.

En 42°C observamos una tendencia decreciente que va acompañada con el comportamiento de sus deformaciones incrementando al tener mayor porcentaje de cemento asfáltico (Tabla 3.9).

GRAFICA 3.9 Módulo de resiliencia- contenido de asfalto a 24 pulsos

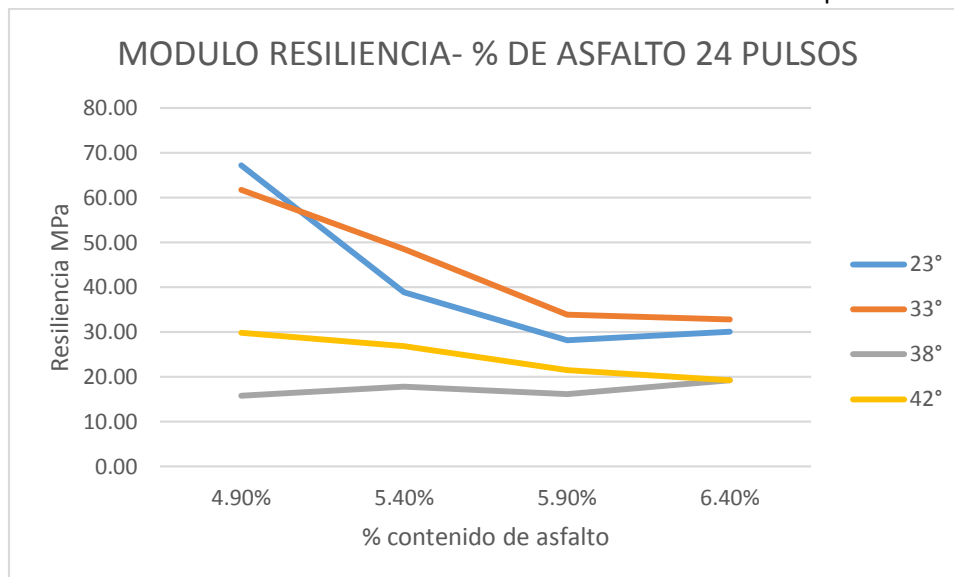
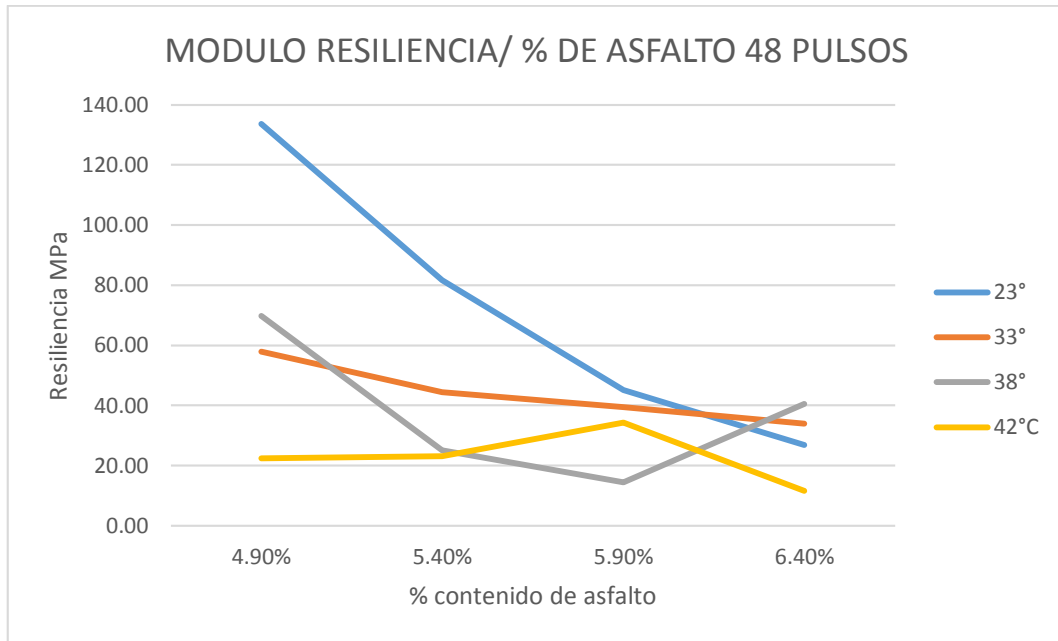


TABLA 3.10 cuadro de esfuerzos a 24 pulsos

C°	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
		24	198.91	200.80	228.87	216.21
33	24	352.15	174.60	195.50	201.70
38	24	197.15	197.87	167.90	206.39
42	24	202.60	199.30	188.68	200.20

Módulo de resiliencia-contenido de asfalto-48 Pulsos

Gráfica de 48 pulsos (Grafica 3.10) muestra el módulo de resiliencia de 4 temperaturas mostradas en la leyenda con su respectivo contenido de cemento asfáltico que varía 0.5% de peso. La gráfica muestra dos curvas con el comportamiento esperado, sin embargo hay otras dos que a pesar de tener diferencias de módulo entre 4.90% y 6.40% tiene datos que se comportan de manera impredecible (Tabla 3.11).



GRAFICA 3.10 Módulo de resiliencia-contenido de asfalto a 48 pulsos

En 23°C el módulo vuelve a tener el comportamiento de la gráfica anterior con deformaciones que incrementan al aumentar el contenido de cemento asfáltico (Tabla 3.11) con diferencia de módulos de 106.79MPa.

En 33°C la tendencia similar pero los valores tienen una repentina caída de más de 60MPa en 4.90% debido a una diferencia de deformaciones de 1.90mm. El ritmo decreciente va de acuerdo al incremento de la deformación con una diferencia entre 4.90% y 6.40% de 28.88MPa

TABLA 3.11 Cuadro de deformaciones a 48 pulsos

C °	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	48	1.49	2.43	4.40	7.41
33	48	3.39	4.74	5.29	5.86
38	48	2.74	7.99	13.23	4.91
42	48	8.97	8.54	5.53	16.42

En 38 °C tendencia irregular, el valor más bajo de módulo es de 5.90% debido a una deformación de 13.23mm produciendo un valor de módulo bajo de 14.48MPa (Tabla 3.12). El ritmo decreciente continua hasta 5.90% y luego el módulo eleva el valor hasta 40.47MPa debido a la deformación de 4.91mm. Diferencia entre 4.90% y 6.40% de 29.33MPa.

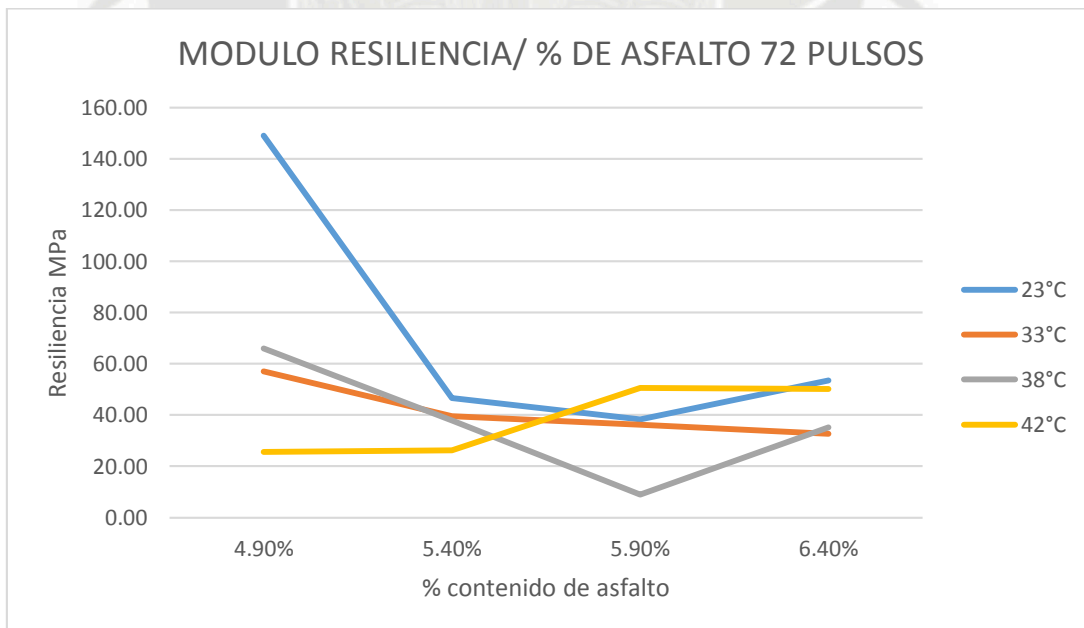
En 42°C tenemos una tendencia irregular con los dos primeros valores apenas encima de 20MPa por sus deformaciones de más de 8mm, los demás valores se incrementan debido a la reducción de deformación en 5.90%. En 6.40% tenemos el valor más bajo de módulo al tener una deformación de 16.42mm. La diferencia entre 4.9% y 6.4% es de 10.78MPa.

TABLA 3.12 Cuadro de esfuerzos a 48 pulsos

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	48	198.40	198.40	198.20	198.70
33	48	196.00	210.50	208.20	199.30
38	48	191.39	200.80	191.60	198.70
42	48	200.20	197.90	189.30	189.60

Módulo de resiliencia-contenido de asfalto-72 Pulsos

Gráfica de 48 pulsos (Gráfica 3.11) muestra el módulo de resiliencia de 4 temperaturas mostradas en la leyenda con su respectivo contenido de cemento asfáltico que varía 0.5%. La gráfica tiene dos comportamientos que cumplen con la tendencia decreciente, en cambio las otras dos curvas tienen comportamiento irregular.



GRAFICA 3.11 Gráfica de resiliencia-contenido de asfalto a 72 pulsos

En 23°C se tiene una tendencia decreciente, pero los puntos en 5.40% y 5.90% tienen los valores más bajos debido a las deformaciones las cuales marcan la tendencia en el comportamiento de la gráfica. La diferencia entre 4.90% y 6.40% es de 95.59 MPa.

En 33°C la tendencia es decreciente debido y similar a las gráficas anteriores, el módulo se comporta de una forma adecuada en la que observamos deformaciones (Tabla 3.13) similares en 4.90% y 6.40% y con valores de módulo esperados. La diferencia entre 4.90% y 6.40% es de 24.38MPa.

TABLA 3.13 Cuadro de deformaciones a 72 pulsos

C °	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	72	1.34	5.14	5.19	3.74
33	72	3.77	4.88	5.70	3.85
38	72	3.33	5.24	17.50	5.41
42	72	7.76	7.69	3.93	3.95

En 38°C se tiene un comportamiento inestable, en 5.90% tiene un valor bajo debido a una de las deformaciones más altas presentadas con 17.50mm. Las demás deformaciones presentan un comportamiento similar decreciente hasta el tercer punto y repentina recuperación en el último. La diferencia entre 4.90% y 6.40% es de 30.86MPa

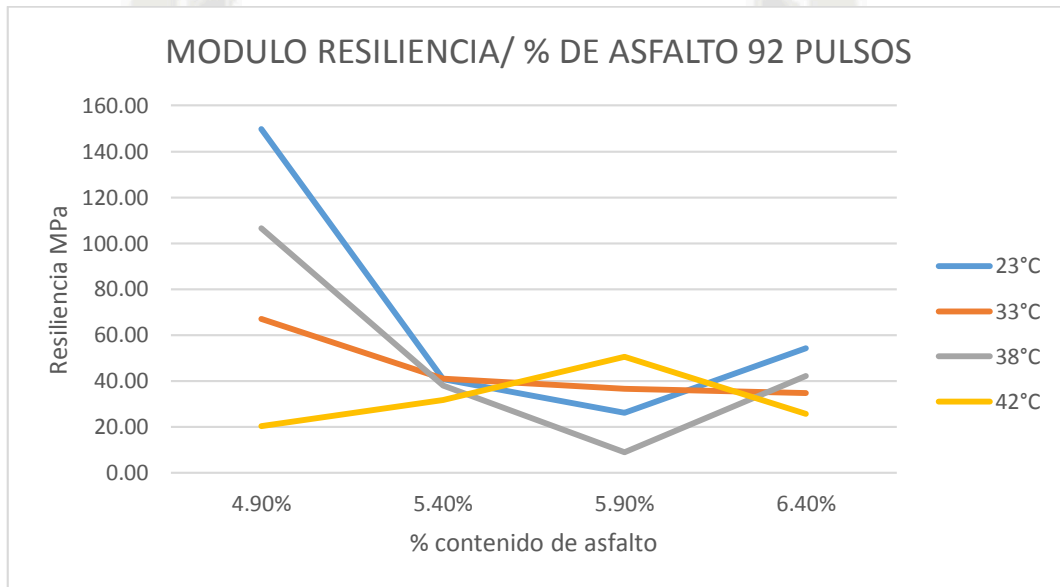
En 42°C se tiene un comportamiento inestable, dos gráficas mantienen su comportamiento mientras que las dos restantes trabajan de forma inusual. Se puede observar que tiene valores bajos en los dos primeros porcentajes, mientras que los dos siguientes son superiores. Las deformaciones marcan la tendencia de la gráfica y es notorio el comportamiento pues las dos primeras son de valores de 7mm mientras que las dos restantes son de 3.90mm (Tabla 3.13).

TABLA 3.14 Cuadro de esfuerzos a 72 pulsos

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
		23	72	199.90	239.60	198.42	199.90
33	72	215.40	193.40	206.70	126.00
38	72	219.60	198.20	156.60	189.90
42	72	198.70	201.40	198.70	198.40

Módulo de resiliencia-contenido de asfalto-92 Pulsos

Gráfica de 48 pulsos (Gráfica 3.12) muestra el módulo de resiliencia de 4 temperaturas mostradas en la leyenda con su respectivo contenido de cemento asfáltico que varía 0.5% de peso. La gráfica muestra tres curvas con comportamiento descendente y una con un comportamiento irregular. El comportamiento es similar a la gráfica de 72 pulsos (Gráfica 3.11).



GRAFICA 3.12 Modulo de resiliencia-contenido de asfalto a 92 pulsos

En 23°C tenemos un comportamiento decreciente con dos valores inferiores a 6.40% debido a las deformaciones presentadas a 92 pulsos (Tabla 3.15). Tendencia similar a la gráfica anterior y tenemos una diferencia entre 4.9% y 6.40% de 95.63MPa.

TABLA 3.15 Cuadro de deformación a 92 pulsos

C °	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	92	1.332	5.69	7.65	3.68
33	92	2.87	5.652	5.88	2.58
38	92	1.92	5.26	17.84	4.71
42	92	9.84	6.31	3.94	7.84

En 33°C tenemos un comportamiento decreciente debido al incremento de deformaciones o reducción de esfuerzos de aplicación que afectan el módulo y su

comportamiento. Diferencias no tan marcadas entre contenidos de cemento asfáltico entre 4.90% y 6.40% de 32.30MPa.

En 38°C se tiene un comportamiento inestable, similar al anterior con tendencia decreciente pero con puntos bajos debido a las deformaciones elevadas que presenta. Tiene la deformación más elevada de las mediciones con 17.84mm. La diferencia entre 4.90% y 6.40% es de 64.10MPa.

En 42°C tenemos un comportamiento irregular, presentamos al principio deformaciones elevadas y tienden una tendencia decreciente. El comportamiento es inusual ya que debería tener una tendencia decreciente en la mayoría de los puntos. La diferencia entre 4.90% y 6.40% es negativa de 5.45MPa.

TABLA 3.16 Cuadro de esfuerzos a 92 pulsos

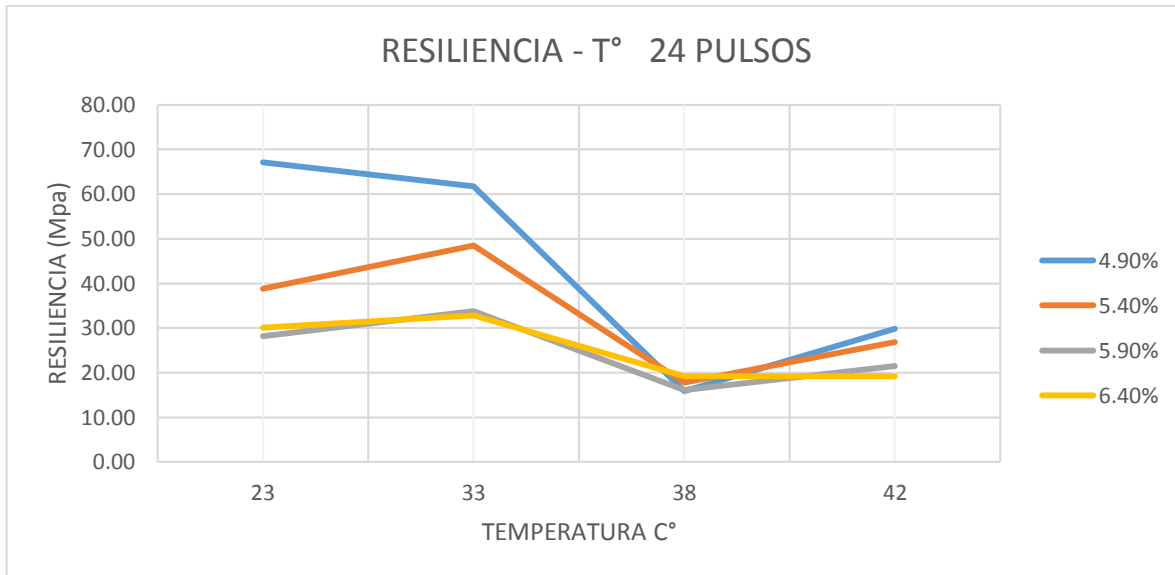
C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	92	199.60	231.70	200.50	199.60
33	92	192.50	232.70	215.42	89.52
38	92	204.10	200.50	160.70	199.60
42	92	200.50	201.10	199.00	202.30

3.2.3. Graficas Resiliencia – Temperatura

Gráfica temperatura – contenido de asfalto a 24 pulsos

Las gráficas de módulo resiliente se realizaron a través de puntos aislados de cada probeta con su respectivo contenido de cemento asfáltico a cierta temperatura. Los datos tienen variabilidad con comportamiento inestable en ciertos puntos. El comportamiento en la gráfica (Gráfica 3.13) tiene un comportamiento decreciente pero con puntos inestable ya que el valor a 42°C debe ser menor que a 38°C. Aun así la temperatura produce diferencias de módulo.

En 4.90% podemos observar la tendencia decreciente, en todas las curvas hasta 38°C, sin embargo tiene una recuperación en 42°C, pero la diferencia de módulos es notoria. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 37.32MPa.



GRAFICA 3.13 Módulo de resiliencia-temperatura a 24 pulsos

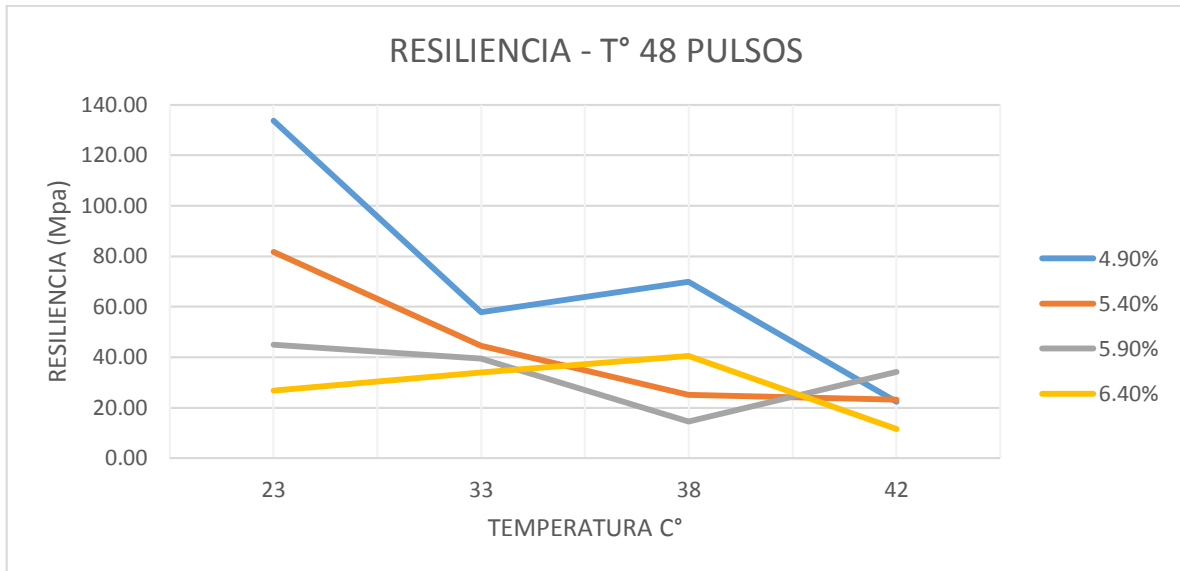
En 5.40% tendencia irregular los valores presentan dos caídas en el módulo, debido a una deformación de 5.17mm. Los demás valores incrementan deformación a medida que incrementa la temperatura por lo tanto los valores de módulo decrecen. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 11.98 MPa.

En 5.90% tendencia similar a las otras gráficas, es uno de los valores más bajos por tener contenido de cemento asfáltico más alto. Presenta una deformación de 10.40mm en 38°C, una deformación alta. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 6.63MPa.

En 6.40% tendencia similar con puntos bajos al presentar mayor deformación en 38°C. Tiene los valores más bajos de módulo al presentar deformaciones mayores a los 10mm en 38°C y 42°C. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 10.83MPa.

Gráfica temperatura – contenido de asfalto a 48 pulsos

Las gráficas de módulo resiliente se realizaron a través de puntos aislados de cada probeta con su respectivo contenido de cemento asfáltico a cierta temperatura. Los datos tienen variabilidad con comportamiento inestable en ciertos puntos. En esta gráfica una curva ya no se comporta adecuadamente (Gráfica 3.14) pero las otras tres aún tienen comportamiento decreciente.



GRAFICA 3.14 Módulo de resiliencia – temperatura a 48 pulsos

En 4.90% de tenemos un comportamiento decreciente, con el valor más elevado de módulo en 23°C. La tendencia continúa con la gráfica anterior y la diferencia entre 23°C y 42°C es de 111.28MPa.

En 5.90% la tendencia es similar al gráfico anterior, con tendencia decreciente. Los valores son más bajos debido al incremento del porcentaje del módulo asfáltico, se presentan incrementos de deformación razón principal para disminución del módulo Tabla (3.11). La diferencia entre 23°C y 42°C es de 10.84MPa.

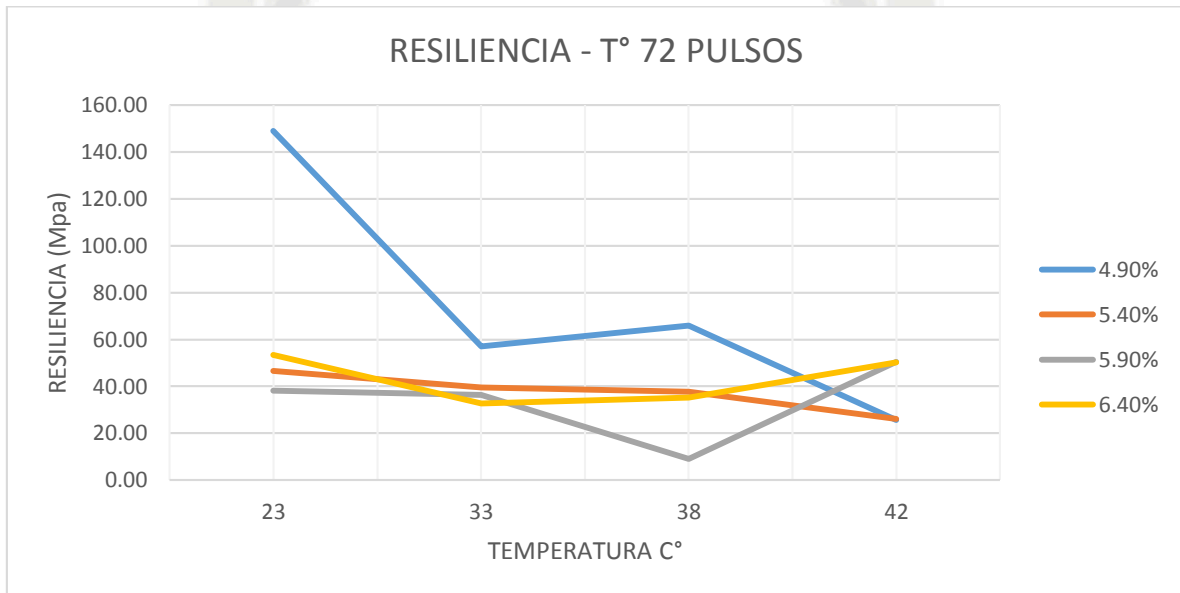
En 6.40% tendencia inestable, contradictoria a las anteriores. Las deformaciones marcan el comportamiento ascendente al tener valores de bajos en 33°C y 38°C, se tiene el valor más alto de deformación con 16.42mm. Pero aún tenemos diferencia entre 23°C y 42°C con 15.27MPa.

Gráfica temperatura – contenido de asfalto a 72 pulsos

Las gráficas de módulo resiliente se realizaron a través de puntos aislados de cada probeta con su respectivo contenido de cemento asfáltico a cierta temperatura. Los datos tienen variabilidad con comportamiento inestable en ciertos puntos. El comportamiento en la gráfica (Gráfica 3.15) ya presenta dos curvas con comportamientos inestables, se presentan valores negativos y se analizará las deformaciones en este caso.

En 4.90% tenemos el comportamiento decreciente, las deformaciones (Tabla 3.13) tienen una tendencia ascendente al incrementar temperatura. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 123.46MPa.

En 5.40% tenemos una tendencia similar a las anteriores gráficas. Los valores bajan al incrementar el cemento asfáltico y se presentan mayores deformaciones (Tabla 3.13). La diferencia entre 23°C y 42°C es de 20.45MPa.



GRAFICA 3.15 Modulo de resiliencia-temperatura a 72 pulsos

En 5.90% tenemos una tendencia inestable, la gráfica debería tener un comportamiento descendente, sin embargo muestra lo contrario. Al analizar las deformaciones (Tabla 3.13) podemos observar que a 38°C tenemos la mayor deformación de 17.50mm por lo tanto el módulo es bajo. La diferencia entre 23°C y 42°C es negativa de 12.30Mpa.

En 6.40% tenemos una tendencia inestable, empieza descendente pero al final comienza a incrementar el valor del módulo, analizando las deformaciones (Tabla 3.13) comienzan con valores de 3mm, 5mm y al final se recupera el valor. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 3.28MPa.

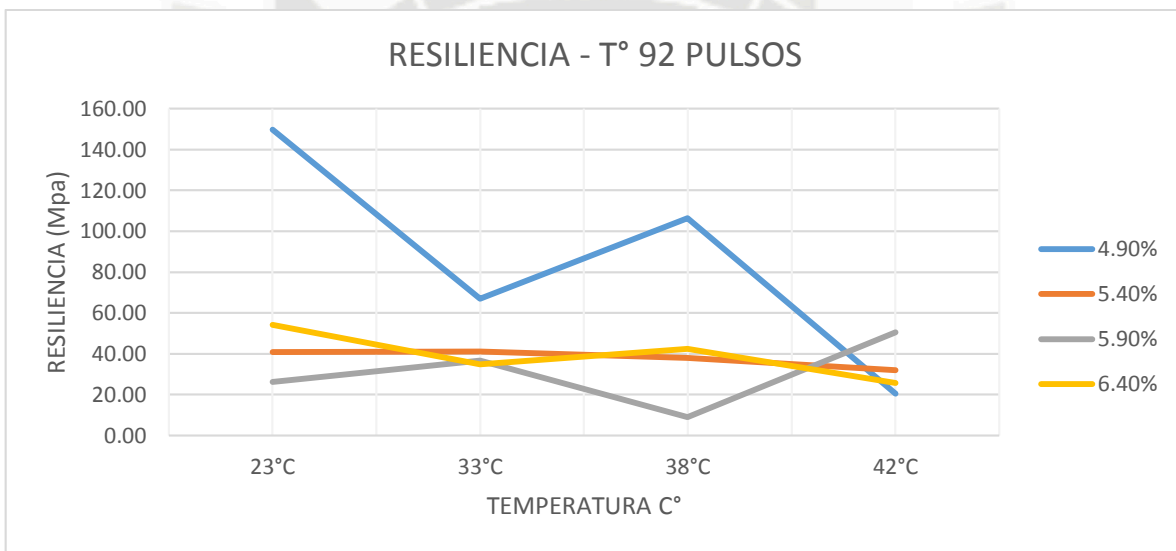
Gráfica temperatura – contenido de asfalto a 92 pulsos

Las gráficas de módulo resiliente se realizaron a través de puntos aislados de cada probeta con su respectivo contenido de cemento asfáltico a cierta temperatura. Los datos tienen variabilidad con comportamiento inestable en ciertos puntos.

El comportamiento en la gráfica (Gráfica 3.16) ya presenta una curva con comportamiento inestable, presenta valores negativos y se analizará las deformaciones en este caso.

En 4.90% tenemos el mismo comportamiento que las curvas anteriores, las deformaciones marcan el comportamiento de la gráfica (Tabla 3.15) al incrementar la temperatura. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 129.48 MPa.

En 5.40% comportamiento similar al anterior, los valores son más bajos al disminuir 10°C. La tendencia es descendente pero con pequeñas diferencias entre puntos, la diferencia entre 23°C y 42°C es de 8.88MPa.



GRAFICA 3.16 Módulo de resiliencia-temperatura a 92 pulsos

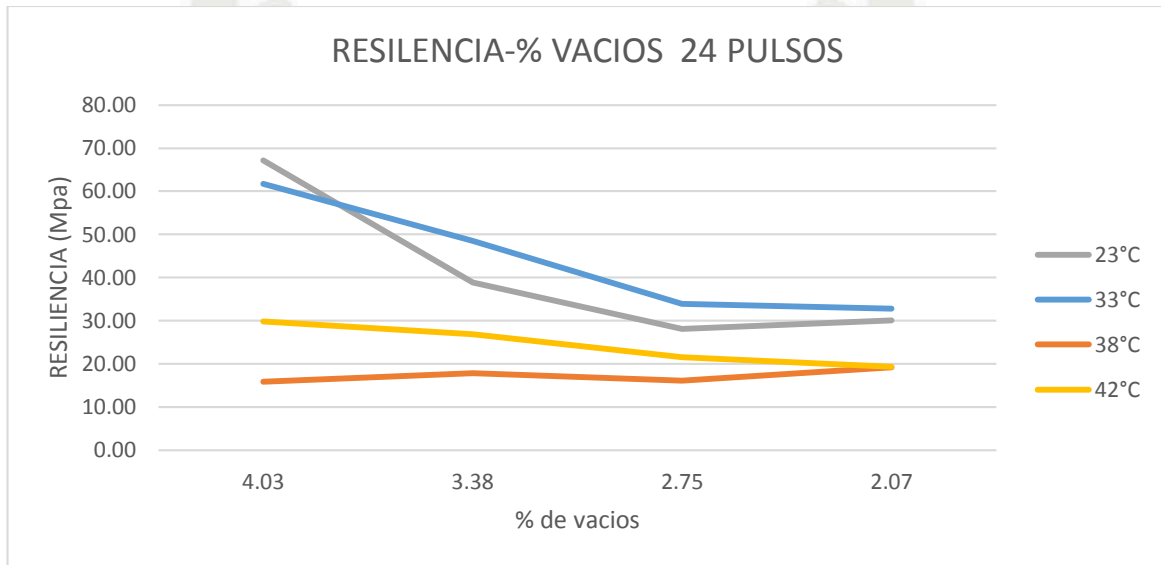
En 5.90% comportamiento similar a la anterior gráfica. Los valores tienen una tendencia ascendente debido a las deformaciones que no marcan un comportamiento. Presentamos la deformación más alta de todos los ensayos con 17.84mm por lo tanto con módulo más bajo. La diferencia entre 23°C y 42°C es negativa con un valor de 24.31MPa.

En 6.40% comportamiento descendente, el incremento de la temperatura marca la tendencia en las deformaciones. La diferencia entre 23°C y 42°C es de 28.40MPa.

3.2.4. GRAFICA RESILIENCIA – CONTENIDO DE VACIOS

Gráfica temperatura – porcentaje de vacíos a 24 pulsos

Las mezclas bituminosas al tener varios datos calculados mediante el ensayo Marshall, fue posible trabajar con su módulo resiliente y porcentaje de vacíos. En las relaciones observamos (Grafica 3.17) que el porcentaje de vacíos si influye en el valor del módulo resiliente.



GRAFICA 3.17 Módulo de resiliencia - porcentaje de vacíos

Las normativas del MTC indican que el porcentaje de vacíos óptimo para un diseño de mezcla asfáltica debe contener un valor del 3% al 5%. Podemos complementar tales valores (Tabla 3.17) que demuestra lo siguiente.

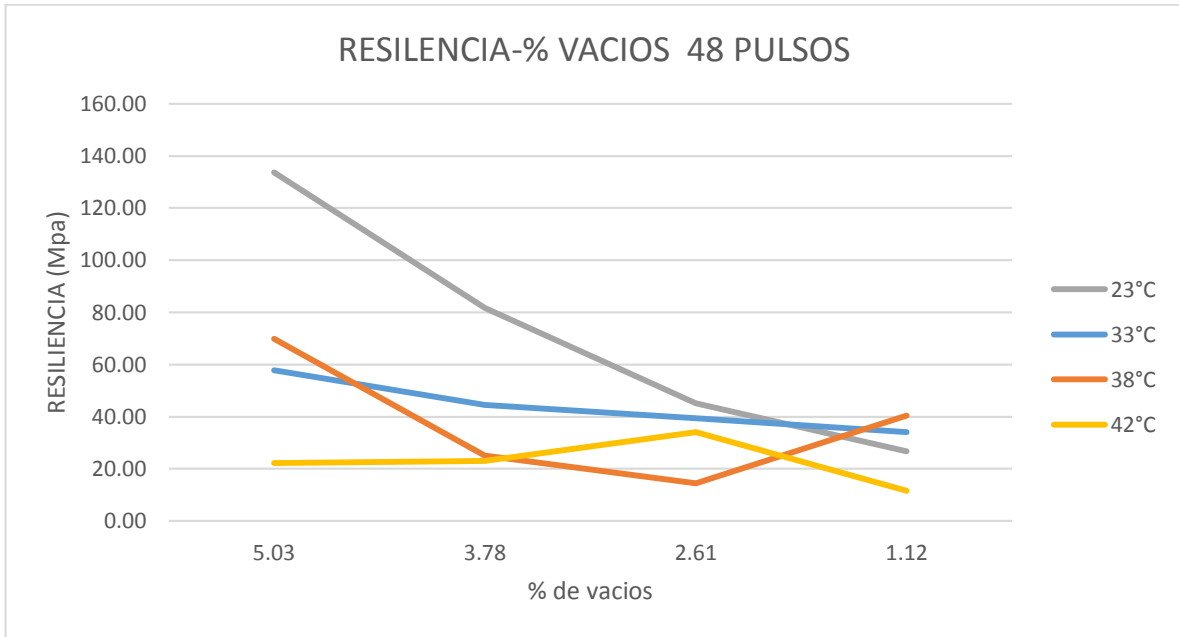
Tomando valores de la gráfica a 24 pulsos el 4.03% presenta los mejores valores en cada gráfica. Sin embargo tenemos datos como 38°C que el módulo resiliente se comporta mejor en 2.07%.

TABLA 3.17 Cuadro Módulo resiliencia-porcentaje de vacíos 24 pulsos

		4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C°	Pulso	Módulo Resiliente (MPa)			
23	24	67.18	38.84	28.13	30.11
33	24	61.71	48.51	33.86	32.82
38	24	15.86	17.85	16.14	19.21
42	24	29.86	26.86	21.50	19.29
	% vacíos	4.03	3.38	2.75	2.07

Gráfica temperatura-porcentaje de vacíos a 48 pulsos

Las mezclas bituminosas al tener varios datos calculados mediante el ensayo Marshall, fue posible trabajar con su módulo resiliente y porcentaje de vacíos. En las relaciones observamos (Gráfica 3.18) que el porcentaje de vacíos si influye en el valor del módulo resiliente.



GRAFICA 3.18 Modulo de Resiliencia- Porcentaje de vacíos

Las normativas del MTC indican que el porcentaje de vacíos óptimo para un diseño de mezcla asfáltica debe contener un valor del 3% al 5%. Podemos complementar tales valores (Tabla 3.18) que demuestra lo siguiente.

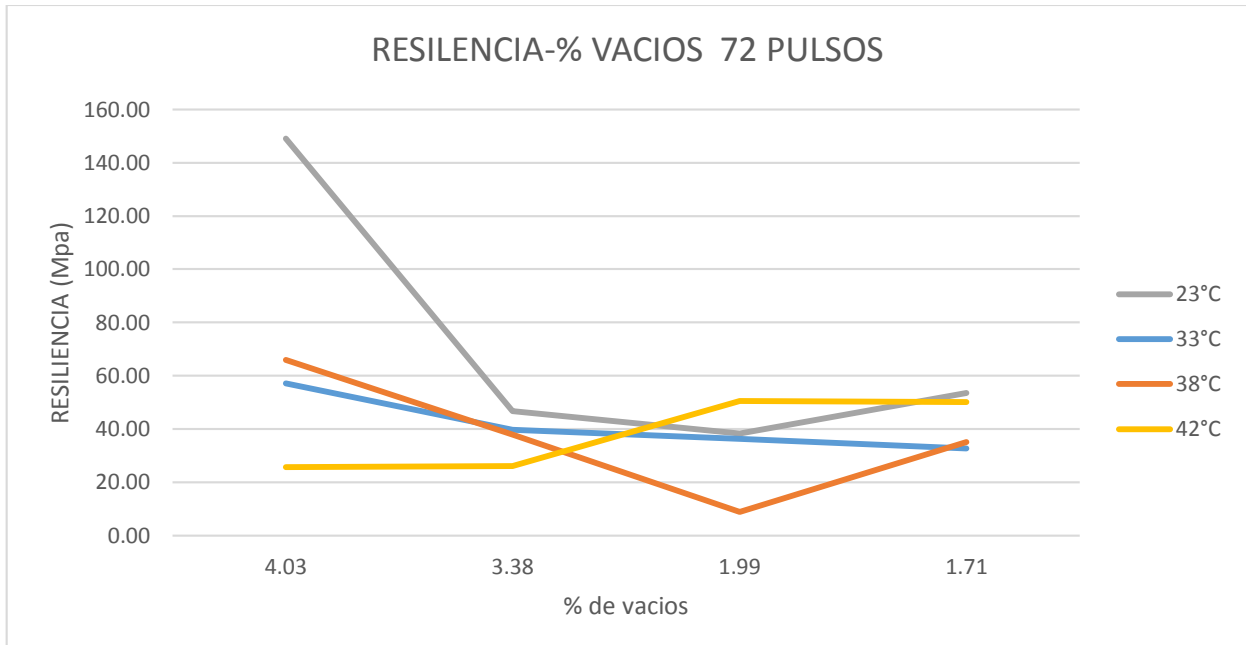
El comportamiento en 23°C y 33°C demuestra que el módulo tiene valores altos en 5.03%, igual que en la gráfica anterior. Sin embargo tenemos curvas con comportamientos inestables y no presentan tendencia clara. Todos los valores son mayores en 5.03% de porcentaje de vacíos a comparación de 1.12%.

TABLA 3.18 Cuadro Módulo resiliencia-porcentaje de vacíos 48 pulsos

C°	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23	48	133.60	81.74	45.05	26.82
33	48	57.87	44.44	39.37	34.01
38	48	69.80	25.13	14.48	40.47
42	48	22.32	23.17	34.21	11.55
	% vacíos	5.03	3.78	2.61	1.12

Gráfica temperatura – porcentaje de vacíos

Las mezclas bituminosas al tener varios datos calculados mediante el ensayo Marshall, fue posible trabajar con su módulo resiliente y porcentaje de vacíos. En las relaciones observamos (Grafica 3.19) que el porcentaje de vacíos si influye en el valor del módulo resiliente.



GRAFICA 3.19 Modulo de resiliencia - porcentaje de vacíos

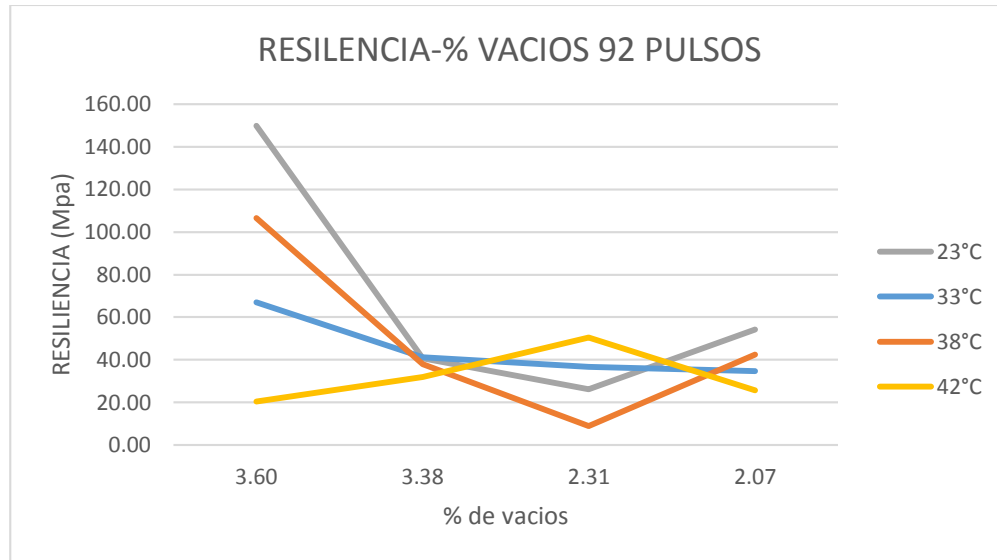
En la gráfica podemos observar de igual manera que los mayores datos de módulo se ubican en 4.03% de porcentaje de vacíos. Sin embargo tenemos una curva que no cumple con el comportamiento, su tendencia es inesperada debido a las deformaciones que presenta (Tabla 3.13).

TABLA 3.19 Cuadro Módulo resiliencia-porcentaje de vacíos 72 pulsos

C °	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23°C	72	149.07	46.63	38.24	53.48
33°C	72	57.07	39.62	36.25	32.69
38°C	72	65.99	37.82	8.95	35.12
42°C	72	25.61	26.18	50.53	50.20
	% vacíos	4.03	3.38	1.99	1.71

Gráfica temperatura – porcentaje de vacíos a 92 pulsos

Las mezclas bituminosas al tener varios datos calculados mediante el ensayo Marshall, fue posible trabajar con su módulo resiliente y porcentaje de vacíos. En las relaciones observamos (Gráfica 3.20) que el porcentaje de vacíos si influye en el valor del módulo resiliente.



GRAFICA 3.20 Módulo de resiliencia - porcentaje de vacíos

El comportamiento en tres gráficas si concuerda con lo planteado, los mayores valores se ubican en 3.60% pero aún tenemos recuperación de módulo en 2.07%. Aunque las diferencias son bajas podemos afirmar que el módulo trabaja mejor con porcentaje de vacíos entre 3% al 5%. En 42°C tenemos comportamiento similar a la anterior gráfica, debido a las deformaciones presentadas (Tabla3.15)

TABLA 3.20 Cuadro Módulo resiliencia-porcentaje de vacíos 92 pulsos

		4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	Pulso	Módulo Resiliente (MPa)			
23°C	92	149.85	40.75	26.21	54.22
33°C	92	67.05	41.17	36.62	34.75
38°C	92	106.47	38.10	9.01	42.37
42°C	92	20.37	31.87	50.52	25.82
% vacíos		3.60	3.38	2.31	2.07



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FUTURAS

CONCLUSIONES

Las conclusiones de la presente tesis se basan en los estudios realizados con datos de laboratorio. Estas conclusiones son netamente producto de ensayos experimentales. En la presente tesis se realizaron dos ensayos en tres partes, ya que se buscan los efectos de la temperatura en el rendimiento del asfalto convencional producido por el método Marshall en la ciudad de Arequipa.

1.1. TEMPERATURA EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

- Las temperaturas medidas en la ciudad alcanzan valores hasta de 67.4°C en la carpeta asfáltica a una profundidad de 2cm. Se realizaron en el mes de enero al ser estación de verano y registrar temperaturas ambiente elevadas en la ciudad.
- La medición térmica se realizó en el intervalo de 11:00 a.m. a 2:00 p.m. temperaturas elevadas en el día, en un intervalo de los 40°C hasta los 67.4°C.

1.2. ENSAYOS MARSHALL PEN 80/100

La experimentación a temperaturas elevadas superiores a 60°C en el ensayo Marshall dio resultados como se planteó en la hipótesis que a mayor temperatura la estabilidad tiende a decrecer en valores perjudicando la deformación que puede tener y la carga que puede recibir.

- Las reducciones de estabilidad tienen valores de 2%, 11% y 40% para temperaturas de 65°C, 70°C y 75°C. Al tener las reducciones presentadas los ensayos no cumplen con la norma MTC E504 no superando los 815Kg de carga mínima.
- Para la fluencia del asfalto los valores son incrementados notablemente al aumentar 5°C de temperatura para incrementos de 31.29%, 27.73% y 36.22% a temperaturas de 65°C, 70°C y 75°C. Los valores no cumplen con la norma MTC E504 que indican que la deformación máxima es de 5mm, teniendo deformaciones más bajas a partir de 4mm y con valores máximos de 7mm.

Los ensayos Marshall a temperaturas superiores a 60°C nos indican que la temperatura a esos niveles es un factor determinante en la resistencia del asfalto. En la ciudad se supera dicha temperatura, por lo tanto la carpeta asfáltica puede tener mayores deformaciones comprometiendo su estado y desempeño.

1.3. COMPARACION PEN 80/100 – 60/70

- Los valores no son los esperados en la estabilidad teniendo reducciones de 32.78% de carga en el ensayo a 70°C. La fluencia si presento los resultados propuestos en la hipótesis teniendo reducción de deformación en un 8%.
- No es aconsejable utilizar el PEN 60/70 en la ciudad al tener menor capacidad de soportar cargas pesadas, a menos que se utilice incrementando el espesor de la capa asfáltica.

1.4. MODULO RESILIENTE

En los ensayos en Lima se ensayó a 4 temperaturas para poder observar el comportamiento a 23°C, 33°C, 38°C y 42°C. A mayor temperatura el módulo de resiliencia disminuye, no solo en valores sino incrementa deformaciones en ciertos casos. Se indica que el comportamiento resiliente es inestable. A temperaturas mayores de 38°C se cuenta con ensayos que difícilmente sobrepasan los 100 pulsos mientras que a 23°C la temperatura más bajas tienen módulos que llegan a 500 pulsos.

Temperatura

- Las temperaturas ensayadas de 23°C a 42°C son escenarios que pueden suceder en la ciudad en un gradiente térmico en la duración del día. Se encuentran deformaciones superiores a los 10mm hasta los 17.84mm, datos peligrosos para el comportamiento del asfalto ante cargas continuas.
- A 38°C y 42°C tenemos mayores deformaciones debido a que el asfalto se vuelve blando y absorbe los esfuerzos de carga, por lo tanto tiende a deformar y el módulo resiliente en la mayoría de casos disminuye.
- Las temperaturas ensayadas de 23°C y 42°C presentan diferencias hasta de 129.43MPa de módulo resiliente, la temperatura afecta el comportamiento resiliente del asfalto en la ciudad de Arequipa.

Contenido de asfalto

- El módulo tiene diversos factores, uno de ellos es el contenido de cemento asfáltico. Este es perjudicial en la mayoría de casos incrementando las deformaciones en 5.90% y 6.40%. En estos dos valores se presentaron deformaciones superiores a los 10mm.
- Las diferencias entre 4.90% y 6.40% de cemento asfáltico se ven reflejadas en el módulo resiliente, con diferencias hasta de 106.79MPa.

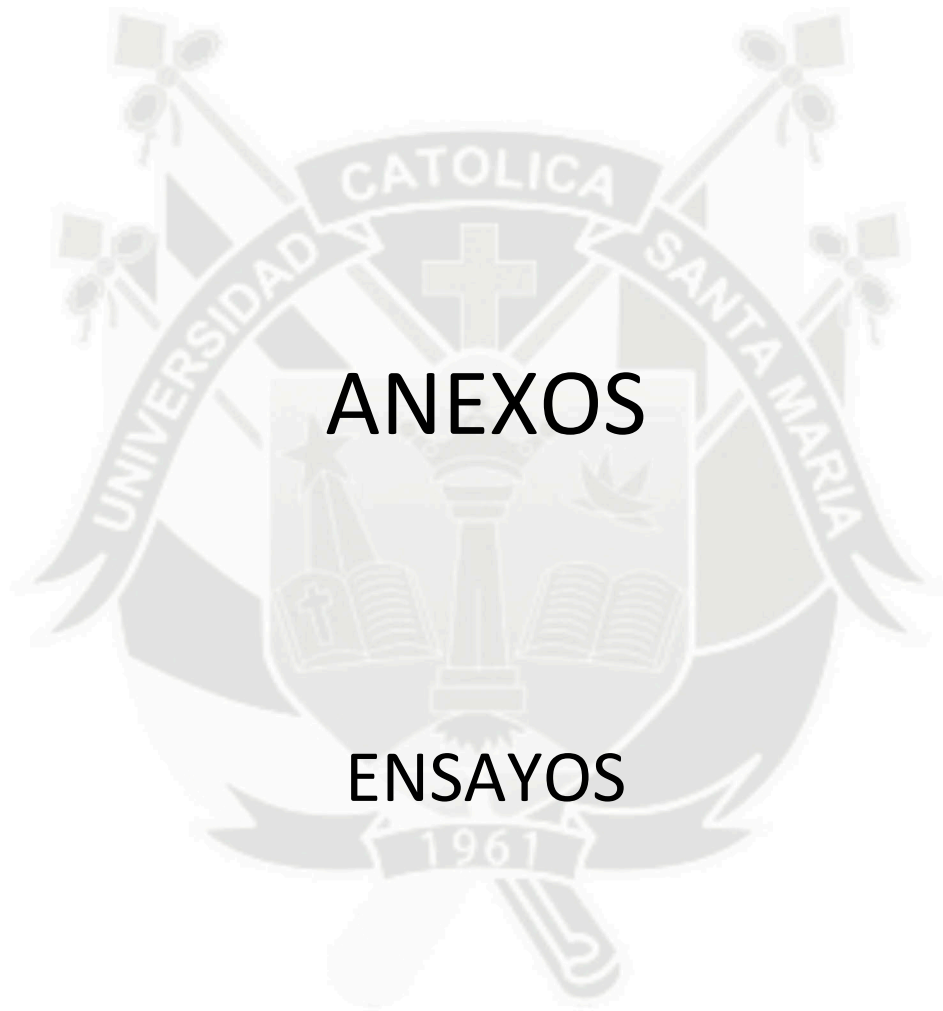
- El incremento de cemento asfáltico desde 5.90% hasta 6.40% presenta las mayores deformaciones en general. Este cemento asfáltico reduce considerablemente el módulo por lo tanto es una de las fallas principales de ahuellamiento en la ciudad de Arequipa ante cargas pesadas.

Porcentaje de Vacíos

- El porcentaje de vacíos no es una tendencia clara del comportamiento, sin embargo podemos concluir que los valores más elevados del módulo resiliente se ubican en porcentajes inferiores a 5% y superiores a 3%. Se cumple con los requerimientos MTC.

1.5. RECOMENDACIONES FUTURAS

- En la elaboración de probetas de concreto asfáltico utilizar maquina mezcladora vertical de mezclas bituminosas, ofrece mejores consistencias y mezclado más uniforme que el manual.
- Medición de la Fluencia del ensayo Marshall con equipos electrónicos, los relojes de precisión tienden a ofrecer ciertas fallas de lectura lo que producía la repetición del ensayo.
- Realizar ensayos de módulo de resiliencia en equipo térmico con variaciones desde -20°C hasta 75°C siendo temperaturas que puede trabajar el asfalto.
- Realizar ensayos de módulos de resiliencia a más de 5000 pulsos para poder tener mayor información del comportamiento resiliente.
- Se realizaron 16 ensayos en el módulo de resiliencia ya que el laboratorio se ubicaba en la ciudad de Lima, realizar un análisis estadístico con un muestreo de más de 60 ensayos para la corrección de datos.



ANEXOS

ENSAYOS

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
PROGRAMA PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

1. TEMPERATURAS

Ciudad: Arequipa

Distrito: Cerro Colorado

Lugar: UPIS trabajadores Mercado Mayorista

Tesista: Carlos Cesar Ramos Guerra

dia	20/01/2014								
hora	12:00 p.m.								
clima	nublado								
T° amb.	20°C								
1	51.0								
2	54.7								
3	52.0								
4	52.4								
5	54.0								
dia	21/01/2014	dia	21/01/2014	dia	21/01/2014	dia	21/01/2014		
hora	09:30 a.m.	hora	10:30 a.m.	hora	11:30 a.m.	hora	12:30 a.m.		
clima	nublado	clima	nublado	clima	nublado	clima	soleado		
T° amb.	17°C	T° amb.	19°C	T° amb.	21°C	T° amb.	22°C		
1	38.5	1	42.9	1	45.4	1	50.8		
2	39.7	2	41.6	2	47.5	2	52.8		
3	39.9	3	43.4	3	48.9	3	52.4		
4	40.4	4	44.7	4	50.0	4	52.4		
5	34.3	5	40.7	5	48.4	5	51.3		
dia	23/01/2014	dia	23/01/2014	dia	23/01/2014				
hora	11:30 a.m.	hora	12:30 a.m.	hora	01:30 p.m.				
clima	nublado	clima	nublado	clima	nublado				
T° amb.	17°C	T° amb.	16°C	T° amb.	16°C				
1	44.5	1	49.4	1	55.2				
2	48.0	2	54.0	2	55.3				
3	48.4	3	53.9	3	54.7				
4	48.0	4	52.8	4	51.7				
5	48.0	5	53.0	5	53.5				

Ciudad: Arequipa

Distrito: Cerro Colorado

Lugar: UPIS trabajadores Mercado Mayorista

Tesista: Carlos Cesar Ramos Guerra

dia	27/01/2014	dia	27/01/2014	dia	27/01/2014
hora	10:20 a.m.	hora	11:20 a.m.	hora	12:20 a.m.
clima	soleado	clima	soleado	clima	soleado
T° amb.	17°C	T° amb.	19°C	T° amb.	21°C
1	45.6	1	48.0	1	55.0
2	47.7	2	51.6	2	57.2
3	45.6	3	51.3	3	56.9
4	47.3	4	52.0	4	58.0
5	44.0	5	51.4	5	56.6
dia	28/01/2014	dia	28/01/2014	dia	28/01/2014
hora	10:50 a.m.	hora	11:50 a.m.	hora	12:50 a.m.
clima	soleado	clima	soleado	clima	soleado
T° amb.	18°C	T° amb.	19°C	T° amb.	22°C
1	48.0	1	53.2	1	54.7
2	48.3	2	51.7	2	57.5
3	47.0	3	54.7	3	58.0
4	47.6	4	54.0	4	54.4
5	45.8	5	53.6	5	55.6
dia	31/01/2014	dia	31/01/2014	dia	31/01/2014
hora	11:00 a.m.	hora	12:00 p.m.	hora	01:00 p.m.
clima	soleado	clima	soleado	clima	soleado
T° amb.	18°C	T° amb.	19°C	T° amb.	24°C
1	46.0	1	51.0	1	57.6
2	48.2	2	55.0	2	63.8
3	43.5	3	53.7	3	60.2
4	46.2	4	50.8	4	63.5
5	47.6	5	52.4	5	67.4

Ciudad: Arequipa

Distrito: Cerro Colorado

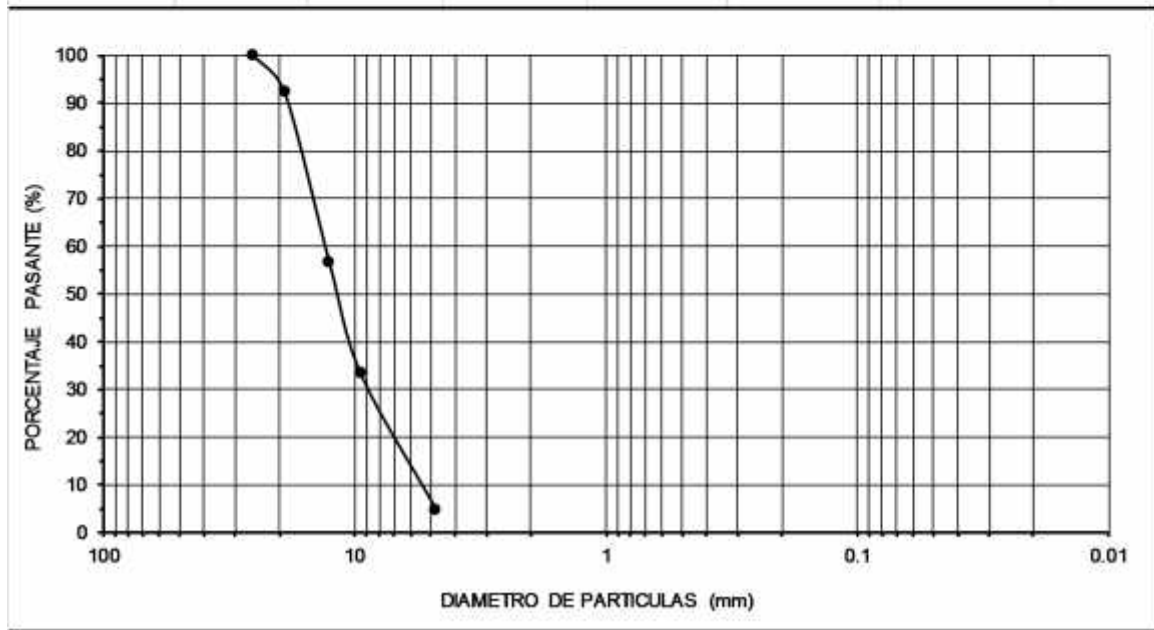
Lugar: UPIS trabajadores Mercado Mayorista

Testista: Carlos Cesar Ramos Guerra

dia	01/02/2014	dia	01/02/2014
hora	10:30 a.m.	hora	11:30 a.m.
clima	soleado	clima	soleado
T° amb.	18°C	T° amb.	19°C
1	45.4	1	51.8
2	46.0	2	50.4
3	45.0	3	51.0
4	44.6	4	50.9
5	46.4	5	54.4
dia	25/06/2014	dia	25/06/2014
hora	12:00 p.m.	hora	01:00 p.m.
clima	soleado	clima	soleado
T° amb.	19°C	T° amb.	20°C
1	41.3	1	43.7
2	41.4	2	43.0
3	41.6	3	43.4
4	37.6	4	40.0
5	39.0	5	41.0
6	38.4	6	40.0
7	40.6	7	42.3

2. GRANULOMETRIA MATERIALES PETREOS

ANALISIS GRANULOMETRICO							
PROYECTO :	TESIS ASFALTOS -UCSM						
MUESTRA :	GRAVA		UBICACIÓN		AREQUIPA		
CANTERA :	YURA		ZONA :		AQP	FECHA :	MAYO
REALIZADO:	CARLOS RAMOS GUERRA						
TAMIZ	DIAMETRO	W RET+TARA	W RET.	% RET	% PAS. ACUM	FRACCIONES	
						GRAVA	95.07%
						ARENA	4.93%
						FINOS	0.00%
3"	76.20						
2"	50.80						
1 1/2"	38.10						
1"	25.40				100.00		
3/4"	19.10	1004.5	666.5	7.73	92.27	CONSISTENCIA	
1/2"	12.70	3394.5	3056.5	35.45	56.82	L LIQUIDO	NP
3/8"	9.52	2354.0	2016.0	23.38	33.45	L PLASTICO	NP
4	4.760	2797.0	2459.0	28.52	4.93	I PLASTICIDAD	NP
8	2.380	763.0	425.0	4.93	0.00		
10	2.000						
16	1.190						
30	0.590						
40	0.425						
50	0.300					CLASIFICACION	
80	0.180					SUCS	GW
100	0.150						
200	0.074						
-200							



Observaciones: GRAVA BIEN GRADUADA GW

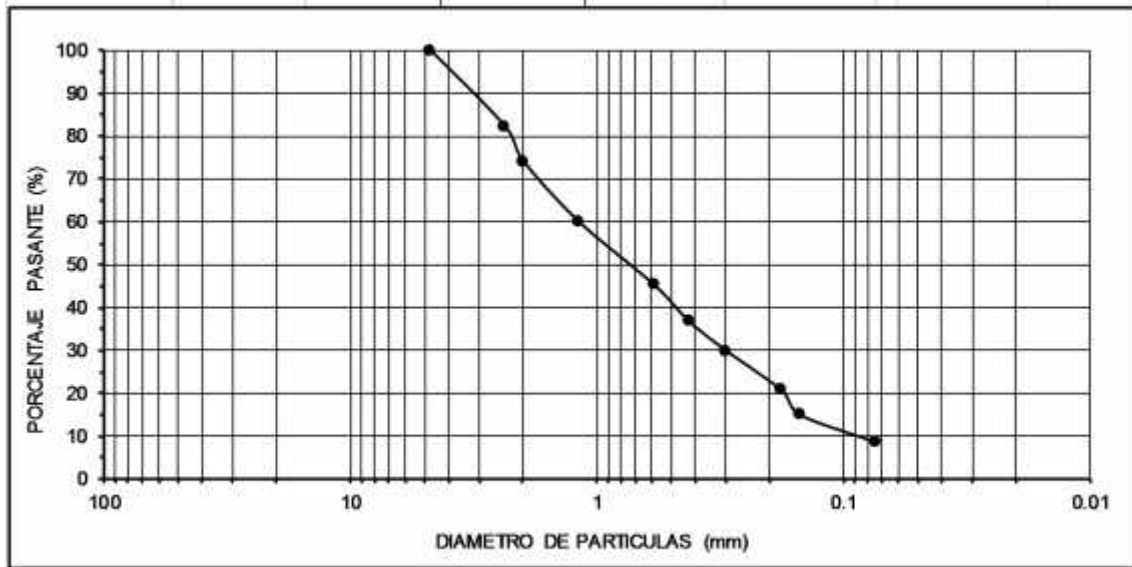
ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO :	TESIS ASFALTO -UCSM				
MUESTRA :	ARENA	UBICACIÓN		AREQUIPA	
CANTERA :	YURA	ZONA :	AQP	FECHA :	MAYO
REALIZADO:	CARLOS RAMOS GUERRA		OBS.		

TAMIZ	DIAMETRO	W RET+TARA	W RET.	% RET	% PAS. ACUM	FRACCIONES	
						GRAVA	0.00%
3"	76.20					ARENA	91.37%
2"	50.80					FINOS	8.63%
1 1/2"	38.10						
1"	25.40						
3/4"	19.10						
1/2"	12.70						
3/8"	9.52						
4	4.760				100.00		
8	2.380	189.6	151.0	17.62	82.38	TAMIZ # 10	74.21%
10	2.000	108.6	70.0	8.17	74.21	TAMIZ # 40	36.87%
16	1.190	159.6	121.0	14.12	60.09	TAMIZ # 200	8.63%
30	0.590	164.6	126.0	14.70	45.39		
40	0.425	111.6	73.0	8.52	36.87		
50	0.300	97.6	59.0	6.88	29.99		
80	0.180	116.6	78.0	9.10	20.89		
100	0.150	88.6	50.0	5.83	15.05		
200	0.074	93.6	55.0	6.42	8.63		
-200		112.6	74.0	8.63	0.00		

CONSISTENCIA	
L LIQUIDO	NP
L PLASTICO	NP
I PLASTICIDAD	NP
PASANTE	
TAMIZ # 10	74.21%
TAMIZ # 40	36.87%
TAMIZ # 200	8.63%

CLASIFICACION	
SUCS	SW-SM



Observacione ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO SW-SM

3. PESO ESPECÍFICO AGREGADOS

3.1. PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO

PESO ESPECIFICO			
PROYECTO :		TESIS ASFALTOS-UCSM	
MUESTRA :	GRAVA	UBICACIÓN:	AREQUIPA
CANTERA :	YURA	ZONA:	AQP
REALIZADO	CARLOS RAMOS GUERRA	FECHA:	MAYO
		OBSV.	
PESO ESPECIFICO			
ITEM	DESCRIPCION		
1	Peso de muestra seca	(gr)	750.00
2	Peso de picnometro + agua	(gr)	1214.40
3	Peso de picn.+agua+muestra	(gr)	1695.00
4	Volumen de muestra	(cm3)	269.40
5	Temperatura	C°	20.00
6	Peso Unitario de Agua	(gr/cm3)	1.000
7	Gravedad Especifica		
RESULTADOS			
ITEM	DESCRIPCION		
8	Peso Especifico de Muestra	(gr/cm3)	2.784



3.2. PESO ESPECIFICO AGREGADO FINO

PESO ESPECIFICO

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : ARENA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV.

PESO ESPECIFICO

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra seca (gr)	700.00
2	Peso de picnometro + agua (gr)	1429.70
3	Peso de picn.+agua+muestra (gr)	1868.30
4	Volumen de muestra (cm3)	261.40
5	Temperatura C°	20.00
6	Peso Unitario de Agua (gr/cm3)	1.000
7	Gravedad Especifica	

RESULTADOS

ITEM	DESCRIPCION	
8	Peso Especifico de Muestra (gr/cm3)	2.678

4. PESO VOLUMETRICO DE AGREGADOS PETREOS

4.1. PESO VOLUMETRICO DE AGREGADOS PROCEDIMIENTO MECANICO

4.1.1. PESO VOLUMETRICO GRAVA

PESO VOLUMETRICO			
PROYECTO :	TESIS ASFALTOS-UCSM		
MUESTRA :	GRAVA	UBICACIÓN:	AREQUIPA
	YURA	ZONA:	AQP
REALIZADO	CARLOS RAMOS GUERRA	FECHA:	MAYO
		OBSV.	
PESO VOLUMETRICO VARILLADO			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9661	9661	9657
Peso de molde (gr)	6340	6340	6340
Peso de muestra (gr)	3321	3321	3317
Volumén de molde (cm3)	2085	2085	2085
Densidad (gr/cm3)	1.593	1.593	1.591
Peso Volumetrico :	1.592 gr/cm3		
PESO VOLUMETRICO SUELTO			
DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	9405	9316	9386
Peso de molde (gr)	6340	6340	6340
Peso de muestra (gr)	3065	2976	3046
Volumén de molde (cm3)	2085	2085	2085
Densidad (gr/cm3)	1.470	1.427	1.461
Peso Volumetrico :	1.453 gr/cm3		

4.1.2. PESO VOLUMETRICO ARENA

PESO VOLUMETRICO

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA
YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO
 REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. _____

PESO VOLUMETRICO VARILLADO

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	10414	10378	10394
Peso de molde (gr)	6340	6340	6340
Peso de muestra (gr)	4074	4038	4054
Volumén de molde (cm3)	2085	2085	2085
Densidad (gr/cm3)	1.954	1.937	1.944

Peso Volumetrico : 1.945 gr/cm3

PESO VOLUMETRICO SUELTO

DESCRIPCION	1	2	3
Peso de molde+muestra (gr)	10007	9961	9967
Peso de molde (gr)	6340	6340	6340
Peso de muestra (gr)	3667	3621	3627
Volumén de molde (cm3)	2085	2085	2085
Densidad (gr/cm3)	1.759	1.737	1.740

Peso Volumetrico : 1.745 gr/cm3

4.2. PESO VOLUMETRICO POR MESA VIBRATORIA

4.2.1. PESO VOLUMETRICO GRAVA

PESO VOLUMETRICO			
PROYECTO :	TESIS ASFALTOS-UCSM		
MUESTRA :	GRAVA	UBICACIÓN:	AREQUIPA
	YURA	ZONA:	AQP
		FECHA:	MAYO
REALIZADO	CARLOS RAMOS GUERRA	OBSV.	

PESO VOLUMETRICO SUELTO		
DESCRIPCION	1	2
Peso de molde+muestra (gr)	27310	
Peso de molde (gr)	9490	
Peso de muestra (gr)	17820	
Volumén de molde (cm3)	12912.254	
Densidad (gr/cm3)	1.380	

Peso Volumetrico : 1.380 gr/cm3

PESO VOLUMETRICO VIBRADO		
DESCRIPCION	1	2
Peso de molde+muestra (gr)	27310	
Peso de molde (gr)	9490	
Peso de muestra (gr)	17820	
Volumén de molde (cm3)	10030.602	
Densidad (gr/cm3)	1.777	

Peso Volumetrico : 1.777 gr/cm3

4.2.2. PESO VOLUMETRICO ARENA

PESO VOLUMETRICO

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA **UBICACION:** AREQUIPA
 YURA **ZONA:** AQP **FECHA:** MAYO
REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA **OBSV.**

PESO VOLUMETRICO VIBRADO

DESCRIPCION	1	2
Peso de molde+muestra (gr)	8490	
Peso de molde (gr)	3570	
Peso de muestra (gr)	4920	
Volumén de molde (cm3)	2269.2441	
Densidad (gr/cm3)	2.168	

Peso Volumetrico : 2.168 gr/cm3

PESO VOLUMETRICO SUELTO

DESCRIPCION	1	2
Peso de molde+muestra (gr)	8490	
Peso de molde (gr)	3570	
Peso de muestra (gr)	4920	
Volumén de molde (cm3)	2780.0064	
Densidad (gr/cm3)	1.770	

Peso Volumetrico : 1.770 gr/cm3

5. ABSORCION

5.1. ABSORCION AGREGADO FINO

ABSORCION		
PROYECTO :	TESIS ASFALTOS-UCSM	
MUESTRA :	ARENA	UBICACIÓN: AREQUIPA
CANtera:	YURA	ZONA: AQP FECHA: MAYO
REALIZADO	CARLOS RAMOS GUERRA	OBSV.
ABSORCION ARENA		
ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra húmeda + tara (gr)	648.40
2	Peso de muestra seca + tara (gr)	644.10
3	Peso de tara (gr)	348.40
4	Contenido de absorcion en %	1.45
HUMEDAD ARENA		
ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra húmeda + tara (gr)	551.90
2	Peso de muestra seca + tara (gr)	545.60
3	Peso de tara (gr)	0.00
4	Contenido de humedad en %	1.15

5.2. AGREGADO GRUESO

ABSORCION

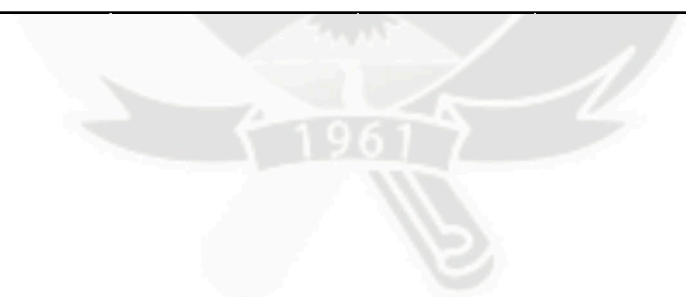
PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM
 MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA
 YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO
 REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV.

ABSORCION GRAVA

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra húmeda + tara (gr)	1115.50
2	Peso de muestra seca + tara (gr)	1110.00
3	Peso de tara (gr)	348.40
4	Contenido de absorcion en %	0.72

HUMEDAD GRAVA

ITEM	DESCRIPCION	
1	Peso de muestra húmeda + tara (gr)	946.10
2	Peso de muestra seca + tara (gr)	945.70
3	Peso de tara (gr)	145.70
4	Contenido de humedad en %	0.05



6. EQUIVALENTE DE ARENA

EQUIVALENTE DE ARENA

PROYECTO : _____ **TESIS ASFALTOS-UCSM**
MUESTRA : _____ **GRAVA** **UBICACIÓN:** _____ **AREQUIPA**
CANTERA: _____ **YURA** **ZONA:** _____ **AQP** **FECHA:** _____ **MAYO**
REALIZADO _____ **CARLOS RAMOS GUERRA** **OBSV.** _____

Tamaño maximo (pasa malla # 4)	4,76 mm
Temperatura	20.9 ° C

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	3
Tiempo de saturacion	05:00	05:00	05:00
Tiempo de decantado	20:00:00	20:00:00	20:00:00
Altura maxima arena (cm)	11.8	11.3	11.1
Altura maxima material fino (cm)	15.1	16	15.2
Relacion (%)	78.1	70.6	73.0
Equivalente de Arena (%)	78	71	73

Equivalente de Arena	74 %
-----------------------------	-------------

7. ABRASION-MAQUINA DE LOS ANGELES

ABRASION

PROYECTO : _____ TESIS ASFALTOS-UCSM
MUESTRA : _____ ARENA _____ UBICACIÓN: _____ AREQUIPA
CANTERA: _____ YURA _____ ZONA: _____ AQP _____ FECHA: _____ MAYO
REALIZADO _____ CARLOS RAMOS _____ OBSV. _____

MATERIAL		Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Desgaste (%)
Pasa	Retiene			
1 "	3/4"	2505.1		
3/4"	1/2 "	2501.5		
1/2 "	3/8"			
3/8"	1/4 "			
Gradación				
Total		5006.6	4251.50	15.08

RESUMEN : **15.08%**



8. CARAS FRACTURADAS

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV.

Tamaño		Peso (gr) Muestra	Peso (gr) 2 o mas C. F.	% 2 o mas C. F.	% Retenido	Promedio
Pasa Tamiz	Ret.Tamiz					
1 1/2	1					
1	3/4					
3/4	1/2	1200.0	322.0	26.83	18.79	504
1/2	3/8	304.0	74.0	24.34	12.39	302
TOTAL		1504.0	396.0	51.18	31.18	806

Porcentaje con una cara fracturada %	26
--------------------------------------	-----------

CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

Tamaño		Peso (gr) Muestra	Peso (gr) 2 o mas C. F.	% 2 o mas C. F.	% Retenido	Promedio
Pasa Tamiz	Ret.Tamiz					
1 1/2	1					
1	3/4					
3/4	1/2	1200.0	446.0	37.17	18.79	698
1/2	3/8	304.0	84.0	27.63	12.39	342
TOTAL		1504.0	530.0	64.80	31.18	1041

Porcentaje con dos caras fracturadas %	33
--	-----------

9. PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV.

TAMIZ	Peso Total(gr)	Peso Ch/Al (gr)	% en peso
1 1/2" - 1"	0	0	0
1" - 3/4"	0	0	0
3/4" - 1/2"	1200	44	4
1/2" - 3/8"	304	22	7
TOTAL	1504	66	4

RESUMEN :

% DE PARTICULAS CHATAS/ALARGADA: **4%**



10.2. PROPORCIONES CONTENIDO ASFALTO

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

MTC E504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. _____

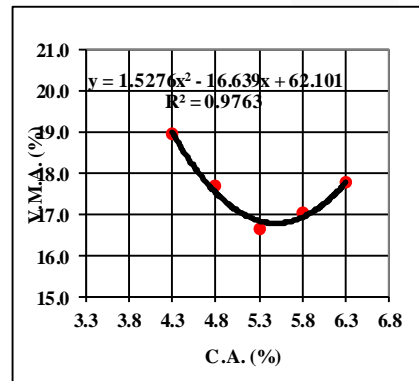
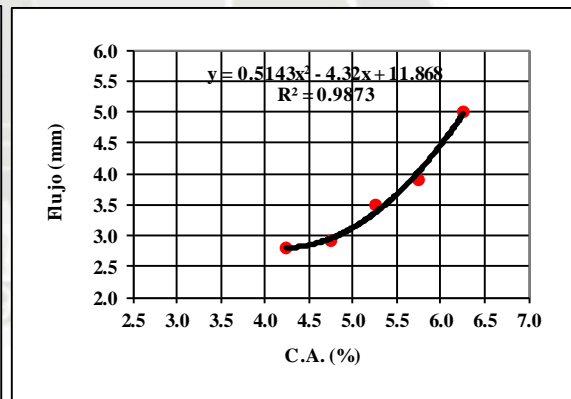
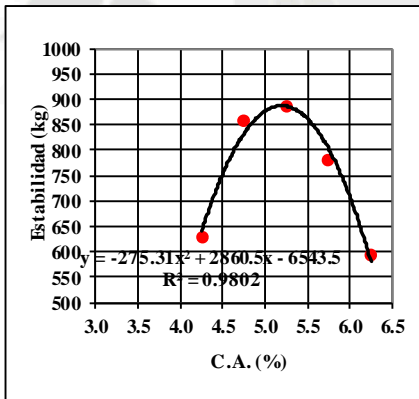
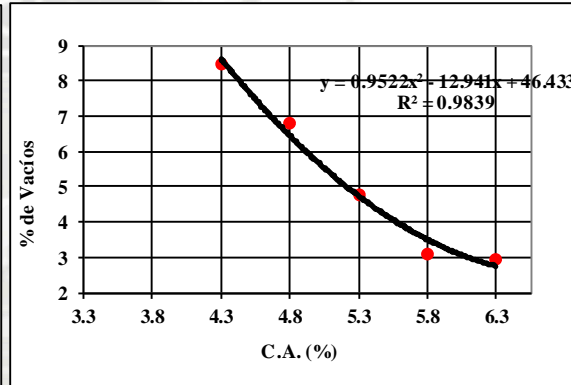
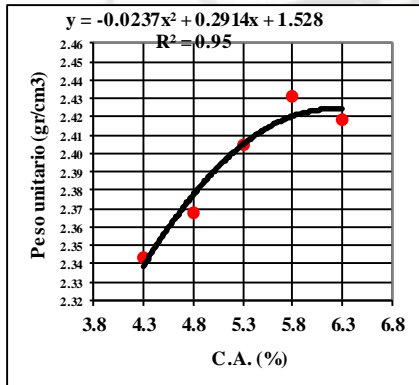
ENSAYO MARSHALL		Nº DE BRIQUETA				
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
2	% de Agregado Grueso	49.72	49.46	49.19	48.92	48.66
3	% de agregado Fino	43.60	43.37	43.14	42.90	42.67
4	% de Filler	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.77	2.77	2.72	2.77	2.77
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.74	2.74	2.77	2.74	2.74
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.74	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.34	2.37	2.40	2.43	2.42
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.56	2.54	2.52	2.50	2.48
12	% de Vacíos	8.44	6.81	4.76	3.10	2.94
13	Estabilidad corregida (Kg)	628.80	857.00	883.90	779.80	591.70
14	Flujo (mm)	2.80	2.90	3.50	3.90	5.00
15	P.e. bulk del agregado total	2.75	2.75	2.74	2.75	2.75
16	V:M.A.	18.93	17.69	16.66	17.03	17.76
17	% de Vacíos llenados por C.A.	52.28	62.46	72.86	81.78	84.91
18	P.e efectivo del agregado total	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
19	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00
20	% Asfalto efectivo	4.25	4.75	5.17	5.75	6.25

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente ENSAYO MARSHALL

MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA
 CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO
 REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. 60° C



Nº GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	5.40
PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)	2.415
ESTABILIDAD (kg)	860
FLUJO (mm)	3.7
VACIOS (%)	4.3
V.M.A. (%)	16.8
ESTABILIDAD / FLUJO	232
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	140°C

11. ENSAYOS DE TEMPERATURA

11.1. MARSHALL 65°C

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente						
ENSAYO MARSHALL						
MTC E 504						
PROYECTO		TESIS ASFALTOS-UCSM				
MUESTRA	GRAVA	UBICACIÓN:		AREQUIPA		
CANTERA:	YURA	ZONA:	AQP	FECHA: MAYO		
REALIZADO	CARLOS RAMOS GUERRA	OBSV.		65°C		
ENSAYO MARSHALL		Nº DE BRIQUETA				
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
2	% de Agregado Grueso	49.46	49.72	49.19	48.92	48.66
3	% de agregado Fino	43.37	43.60	43.14	42.90	42.67
4	% de Filler	2.28	2.29	2.27	2.26	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.74	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.360	2.380	2.410	2.410	2.400
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.54	2.52	2.51	2.48	2.46
12	% de Vacíos	7.29	5.73	4.07	2.99	2.40
13	Estabilidad corregida (Kg)	542.88	662.10	722.48	705.88	565.28
14	Flujo (mm)	3.83	3.92	4.08	5.08	5.50
15	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
16	V:M.A.	17.30	17.02	16.70	16.83	17.42
17	% de Vacíos llenados por C.A.	57.94	66.34	75.75	82.35	86.23
18	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
19	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	% Asfalto efectivo	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25

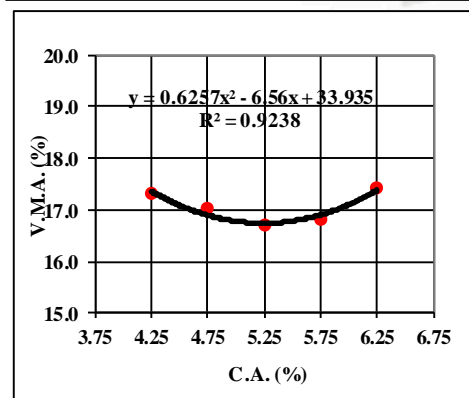
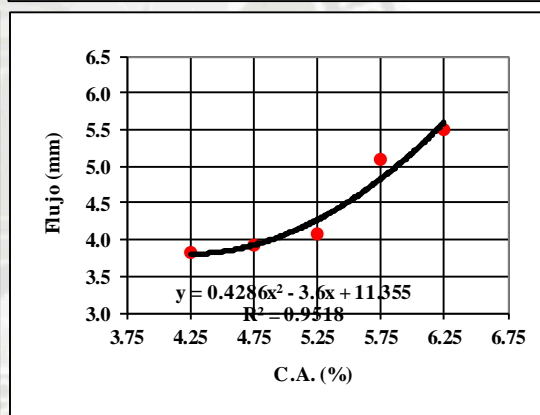
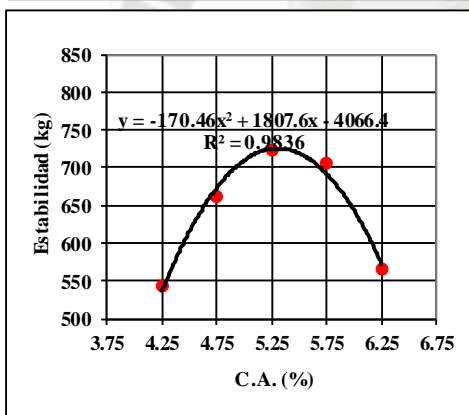
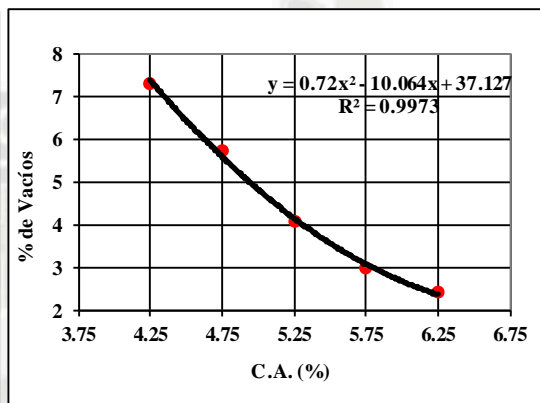
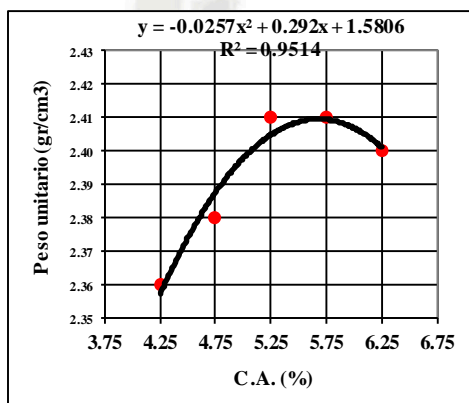
Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

MTC E 504

PROYECTO TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA
 CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO
 REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. 65°C



Nº GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	5.25
PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)	2.410
ESTABILIDAD (kg)	722.48
FLUJO (mm)	4.3
VACIOS (%)	4.25
VM A. (%)	16.7
ESTABILIDAD / FLUJO	170
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	140°C

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA **UBICACIÓN:** AREQUIPA
CANTERA: YURA **ZONA:** AQP **FECHA:** MAYO
REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA **OBSV.** 70°C

		Nº DE BRIQUETA				
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
2	% de Agregado Grueso	49.72	49.46	49.19	48.92	48.66
3	% de agregado Fino	43.60	43.37	43.14	42.90	42.67
4	% de Filler	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.74	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.36	2.40	2.41	2.41	2.42
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.52	2.52	2.51	2.48	2.46
12	% de Vacíos	6.60	4.94	3.72	2.82	1.80
13	Estabilidad corregida (Kg)	405.42	617.85	759.33	538.73	605.33
14	Flujo (mm)	3.92	3.92	4.67	4.83	5.83
15	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
16	V:M.A.	17.25	16.32	16.40	16.69	16.91
17	% de Vacíos llenados por C.A.	61.85	69.74	77.45	83.14	89.50
18	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
19	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	% Asfalto efectivo	4.52	4.75	5.25	5.75	6.25

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

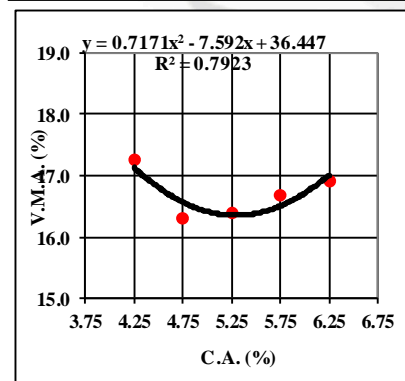
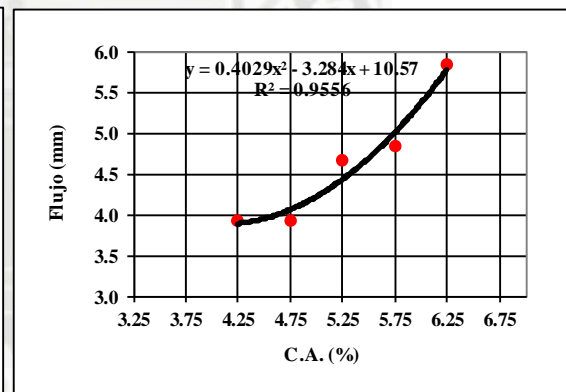
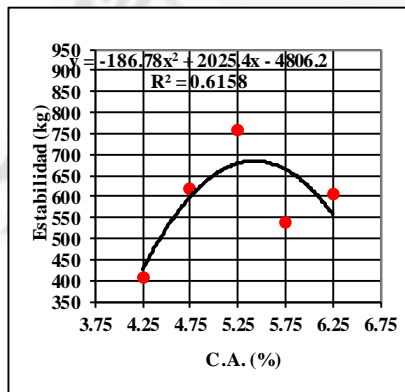
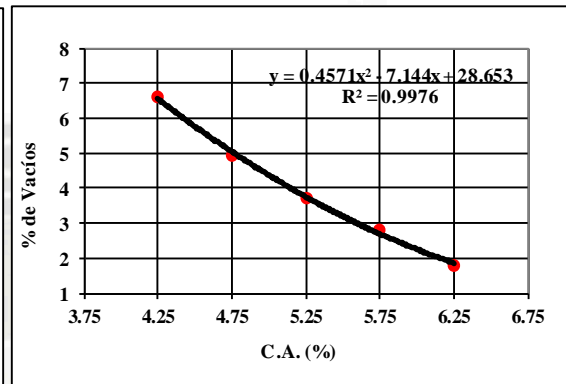
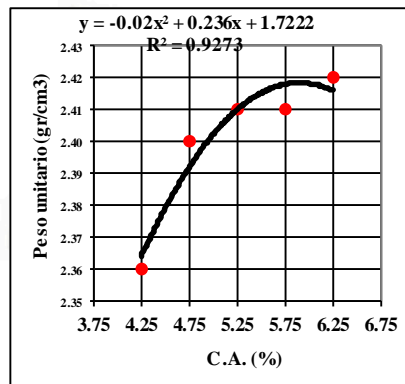
MTC E504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. 70°C



Nº GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	5.48
PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)	2.410
ESTABILIDAD (kg)	670.0
FLUJO (mm)	4.7
VACIOS (%)	3.23
VMA. (%)	16.37
ESTABILIDAD / FLUJO	143
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	140°C

11.3. MARSHALL 75°C

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA **UBICACIÓN:** AREQUIPA

CANTERA: YURA **ZONA:** AQP **FECHA:** MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA **OBSV.** 75°C

		Nº DE BRIQUETA				
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
2	% de Agregado Grueso	49.72	49.46	49.19	48.92	48.66
3	% de agregado Fino	43.60	43.37	43.14	42.90	42.67
4	% de Filler	2.29	2.28	2.27	2.26	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.74	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.38	2.40	2.40	2.42	2.42
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.54	2.52	2.51	2.48	2.46
12	% de Vacíos	6.76	4.49	4.19	2.72	1.85
13	Estabilidad corregida (Kg)	395.01	475.73	551.69	473.39	355.31
14	Flujo (mm)	4.00	4.00	4.75	5.25	6.50
15	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
16	V:M.A.	16.24	16.29	16.80	16.66	17.96
17	% de Vacíos llenados por C.A.	59.81	69.95	75.08	83.24	89.08
18	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
19	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	% Asfalto efectivo	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

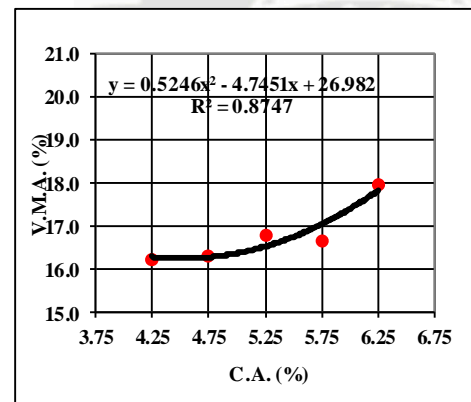
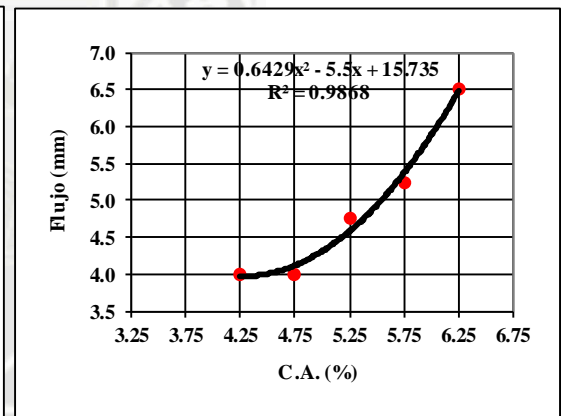
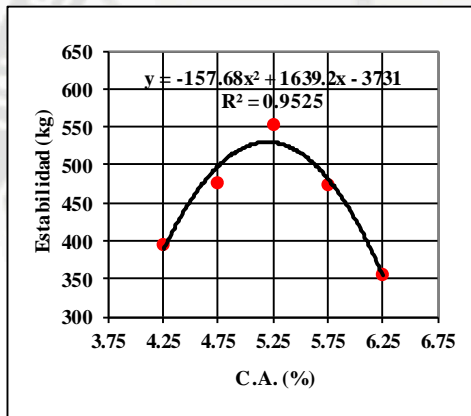
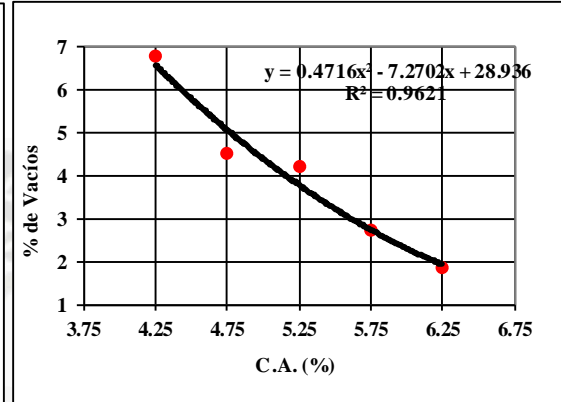
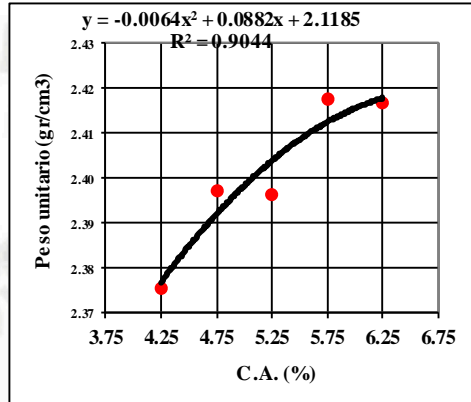
MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA JBICACIÓN AREQUIPA

CANtera: YURA ZONA: AQP FECHA: MAYO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. 75°C



N° GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	5.08
PESO ESPECIFICO (gr/cm ³)	2.401
ESTABILIDAD (kg)	526.98
FLUJO (mm)	4.38
VACIOS (%)	4.17
VM A. (%)	16.40
ESTABILIDAD / FLUJO	120
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	140°C

11.4. MARSHALL PEN 60-70 TEMPERATURA 70°C

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: JUNIO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. PEN 60/70

		Nº DE BRIQUETA				
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25
2	% de Agregado Grueso	49.46	49.72	49.19	48.92	48.66
3	% de agregado Fino	43.37	43.60	43.14	42.90	42.67
4	% de Filler	2.28	2.29	2.27	2.26	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.74	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.400	2.420	2.440	2.440	2.430
11	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.54	2.52	2.51	2.48	2.46
12	% de Vacíos	5.36	3.83	2.91	1.78	1.36
13	Estabilidad corregida (Kg)	335.83	560.18	456.58	456.98	364.98
14	Flujo (mm)	4.00	3.92	3.67	4.42	4.75
15	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
16	V:M.A.	15.58	15.34	15.70	15.80	16.54
17	% de Vacíos llenados por C.A.	65.66	75.07	81.48	88.72	91.92
18	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.73	2.72	2.72
19	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	% Asfalto efectivo	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25

Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente

ENSAYO MARSHALL

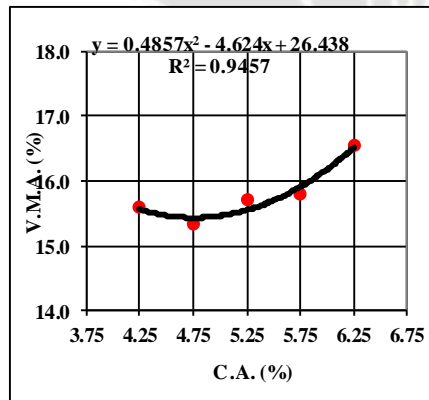
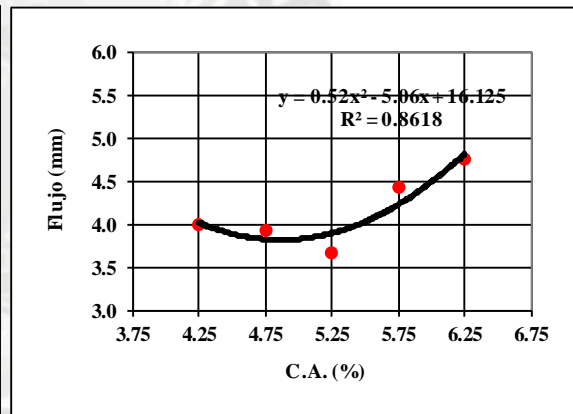
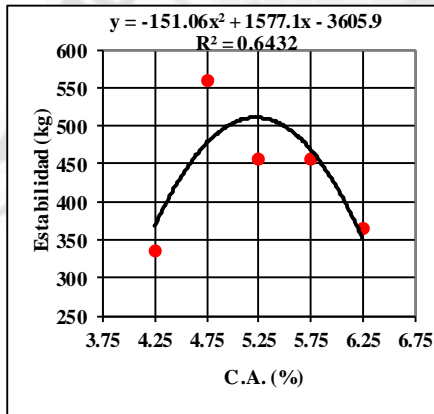
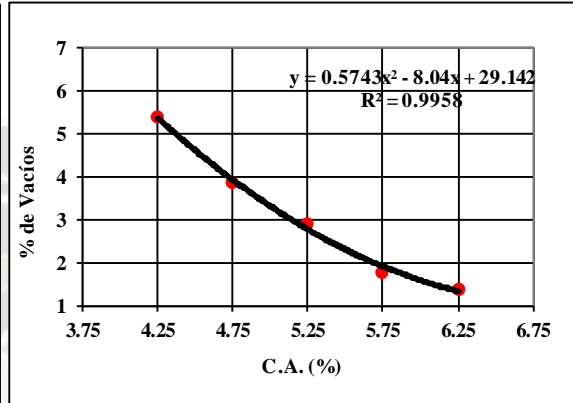
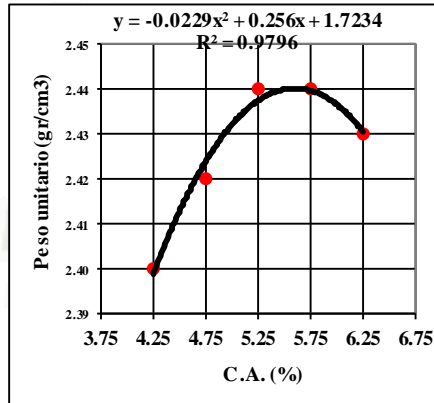
MTC E 504

PROYECTO : TESIS ASFALTOS-UCSM

MUESTRA : GRAVA UBICACIÓN: AREQUIPA

CANTERA: YURA ZONA: AQP FECHA: JUNIO

REALIZADO CARLOS RAMOS GUERRA OBSV. PEN 60/70



Nº GOLPES	75
% DE CEMENTO ASFALTICO	4.92
PESO ESPECÍFICO (gr/cm ³)	2.434
ESTABILIDAD (kg)	496.81
FLUJO (mm)	4.1
VACIOS (%)	3.48
VM A.(%)	15.44
ESTABILIDAD / FLUJO	122
TEMPERATURA DE LA MEZCLA	140°C

12.RESILIENCIA

12.1. CARACTERISTICAS FISICAS PROBETAS ASFALTO

12.1.1. PROBETAS CON 4.90% DE CONTENIDO ASFALTICO

		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
2	% de Agregado Grueso	49.38	49.38	49.38	49.38	49.38
3	% de agregado Fino	43.30	43.30	43.30	43.30	43.30
4	% de Filler	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Funo (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso de la Briqueta al Aire (gr)	1184.60	1092.20	1186.00	1181.50	1183.30
11	Peso de la Briqueta + Parafina al Aire (gr)	1192.30	1097.60	1198.80	1193.10	1191.60
12	Peso de la Briqueta + Parafina al Agua (gr)	695.40	640.80	687.40	684.50	691.70
13	Volumen de la Briqueta + Parafina (cm3)	496.90	456.80	511.40	508.60	499.90
14	Peso de la Parafina (gr)	7.70	5.40	12.80	11.60	8.30
15	Volumen de la Parafina (cm3)	8.89	6.24	14.78	13.39	9.58
16	Volumen de la Briqueta por desplazamiento (cm3)	488.01	450.56	496.62	495.21	490.32
17	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.43	2.42	2.39	2.39	2.41
18	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51
19	% de Vacíos	3.47	3.60	5.03	5.12	4.03
20	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
21	V:M.A.	15.36	15.48	16.73	16.81	15.85
22	% de Vacíos llenados por C.A.	77.43	76.74	69.94	69.55	74.60
23	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
24	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	% Asfalto efectivo	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90

12.1.2. PROBETAS CON 5.40% DE CONTENIDO ASFALTICO

		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
2	% de Agregado Grueso	49.11	49.11	49.11	49.11	49.11
3	% de agregado Fino	43.07	43.07	43.07	43.07	43.07
4	% de Filler	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Funo (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso de la Briqueta al Aire (gr)	1191.70	1192.80	1203.60	1190.00	1188.60
11	Peso de la Briqueta + Parafina al Aire (gr)	1199.50	1203.80	1212.50	1198.70	1195.90
12	Peso de la Briqueta + Parafina al Agua (gr)	697.30	694.20	702.90	690.40	697.90
13	Volumen de la Briqueta + Parafina (cm3)	502.20	509.60	509.60	508.30	498.00
14	Peso de la Parafina (gr)	7.80	11.00	8.90	8.70	7.30
15	Volumen de la Parafina (cm3)	9.01	12.70	10.28	10.05	8.43
16	Volumen de la Briqueta por desplazamiento (cm3)	493.19	496.90	499.32	498.25	489.57
17	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.42	2.40	2.41	2.39	2.43
18	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
19	% de Vacíos	3.15	3.78	3.38	4.27	2.69
20	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
21	V:M.A.	16.20	16.75	16.40	17.17	15.80
22	% de Vacíos llenados por C.A.	80.56	77.41	79.37	75.13	82.99
23	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
24	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	% Asfalto efectivo	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40

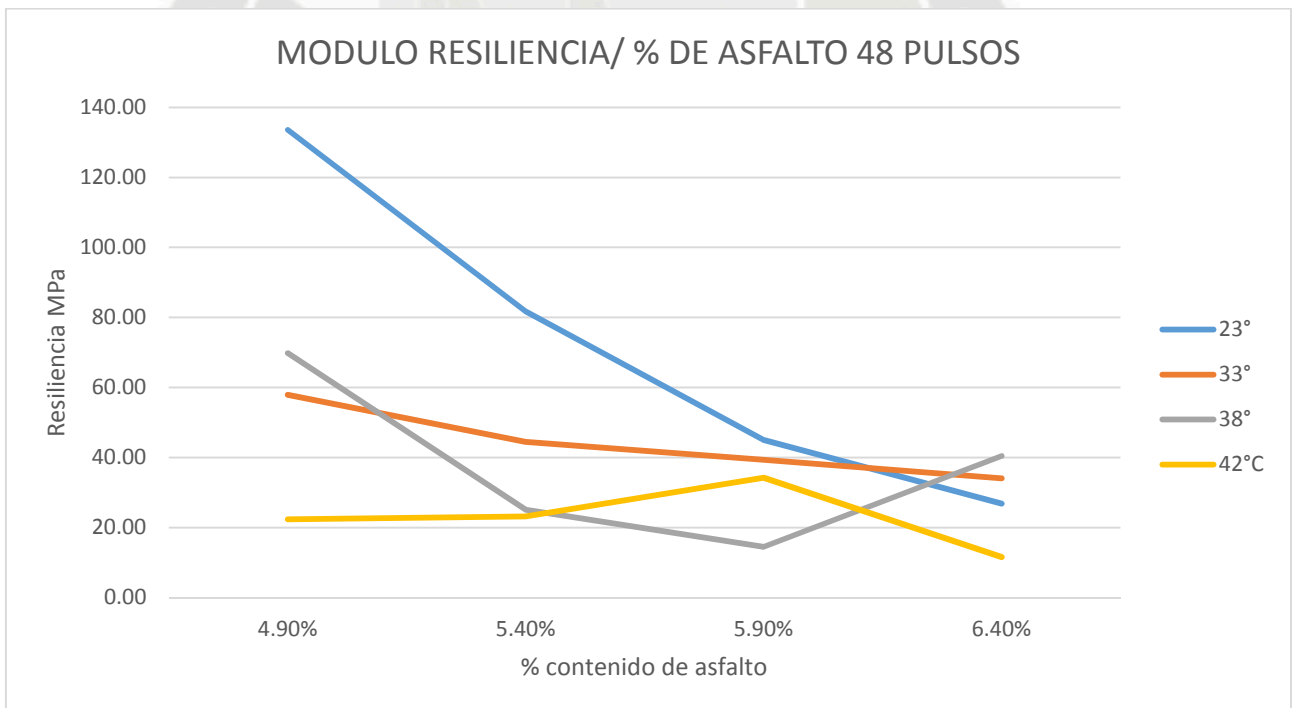
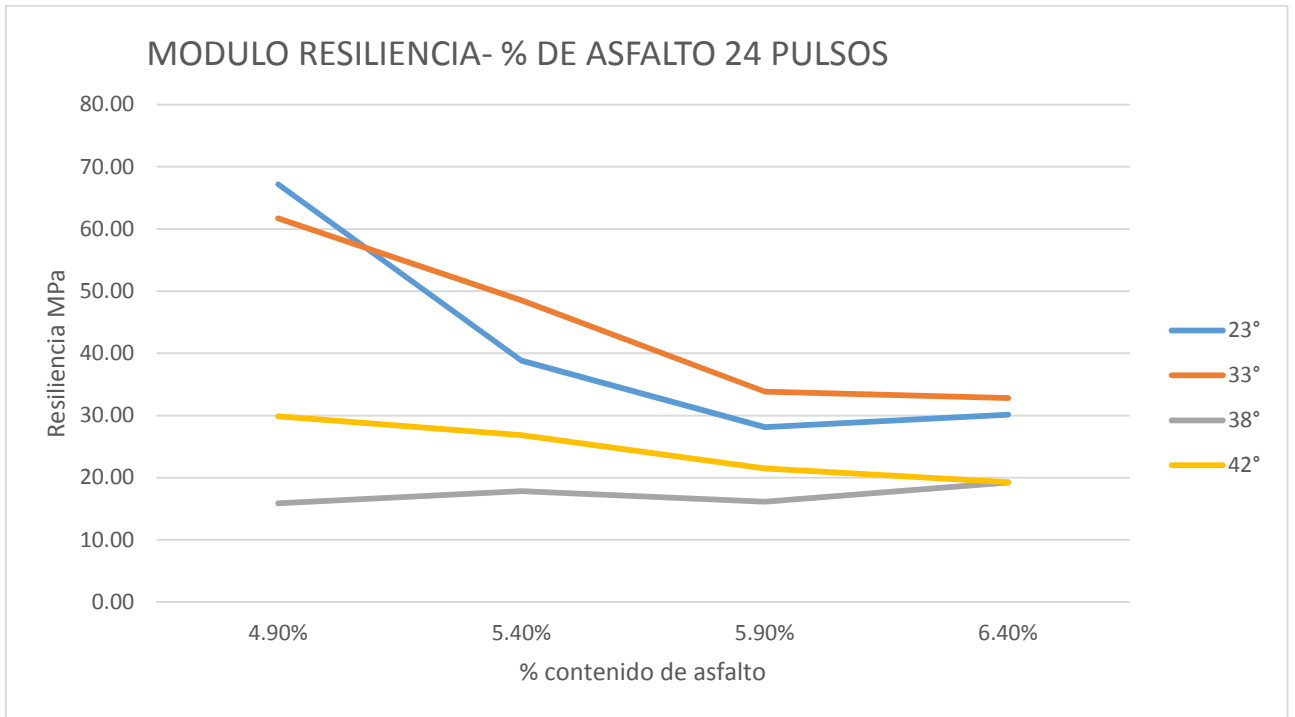
12.1.3. PROBETAS CON 5.90% DE CONTENIDO ASFALTICO

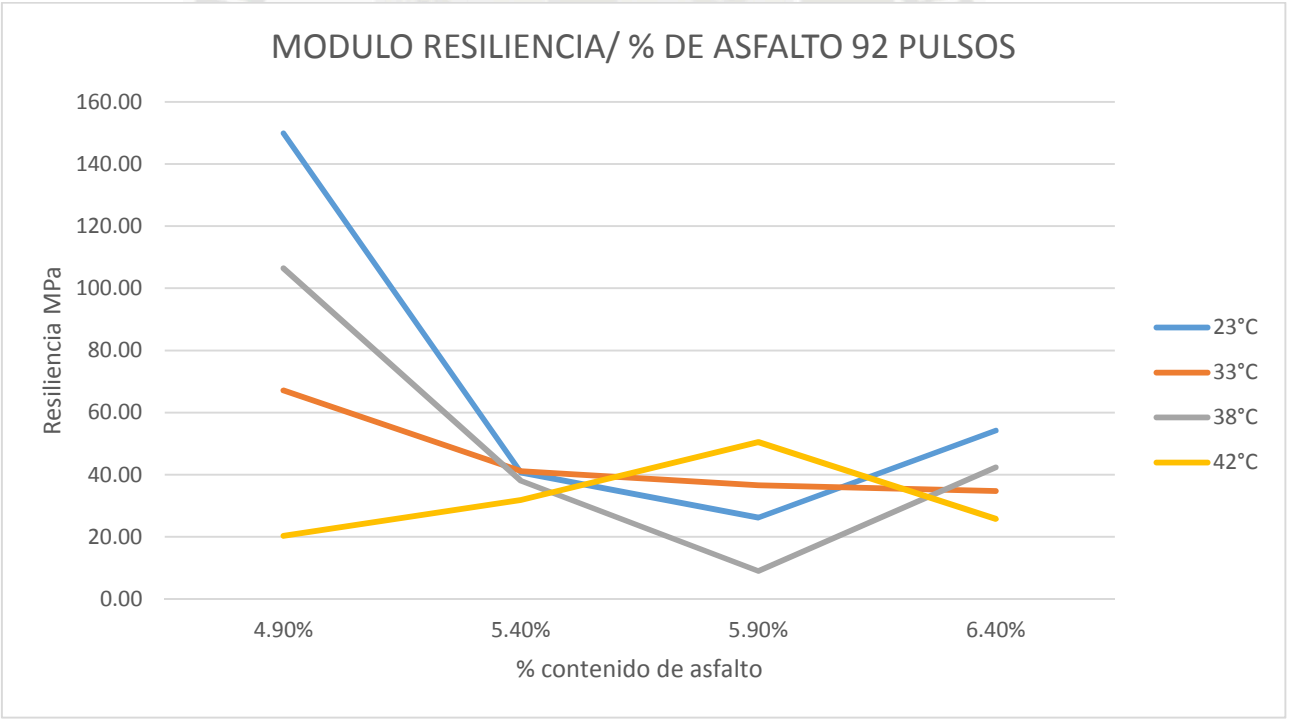
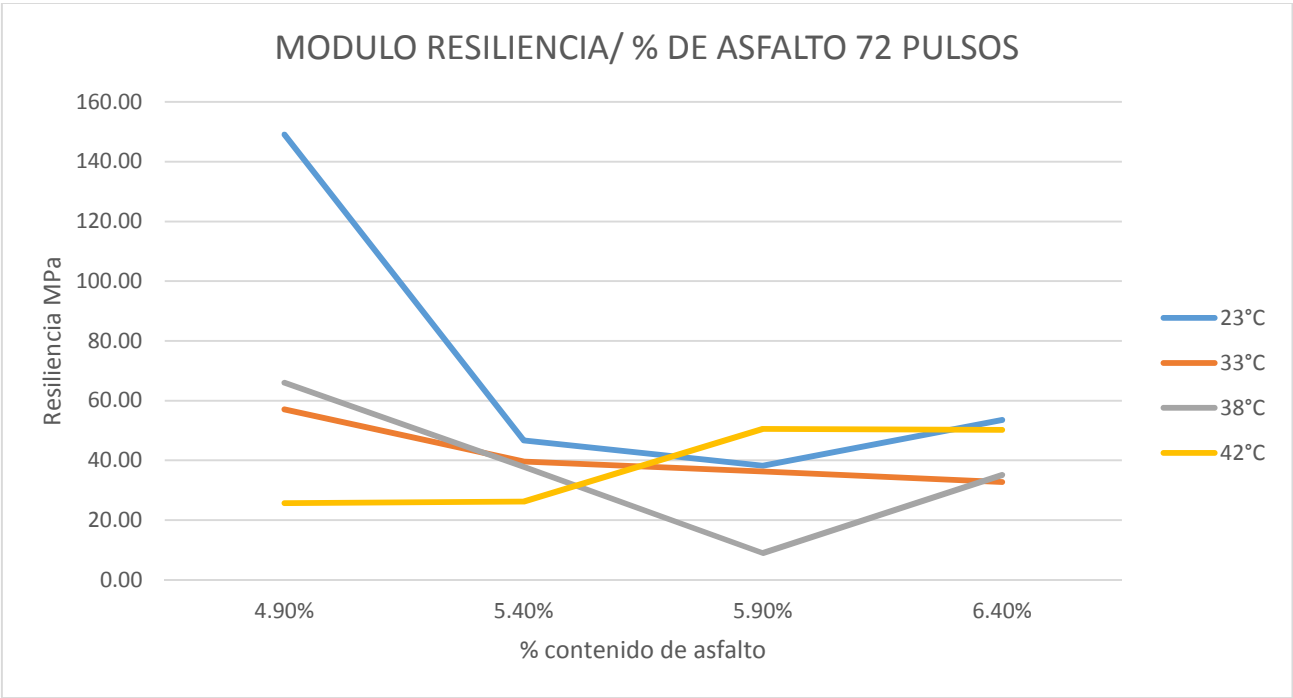
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90
2	% de Agregado Grueso	48.84	48.84	48.84	48.84	48.84
3	% de agregado Fino	42.83	42.83	42.83	42.83	42.83
4	% de Filler	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso de la Briqueta al Aire (gr)	1188.30	1201.80	1195.60	1200.30	1203.6
11	Peso de la Briqueta + Parafina al Aire (gr)	1195.40	1207.80	1200.70	1206.00	1209.40
12	Peso de la Briqueta + Parafina al Agua (gr)	695.90	705.60	701.90	701.60	702.80
13	Volumen de la Briqueta + Parafina (cm3)	499.50	502.20	498.80	504.40	506.60
14	Peso de la Parafina (gr)	7.10	6.00	5.10	5.70	5.80
15	Volumen de la Parafina (cm3)	8.20	6.93	5.89	6.58	6.70
16	Volumen de la Briqueta por desplazamiento (cm3)	491.30	495.27	492.91	497.82	499.90
17	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.42	2.43	2.43	2.41	2.41
18	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
19	% de Vacíos	2.31	1.99	2.03	2.61	2.75
20	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
21	V:M.A.	16.58	16.31	16.34	16.84	16.96
22	% de Vacíos llenados por C.A.	86.08	87.79	87.58	84.48	83.77
23	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
24	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	% Asfalto efectivo	5.90	5.90	5.90	5.90	5.90

12.1.4. PROBETAS CON 6.40% DE CONTENIDO ASFALTICO

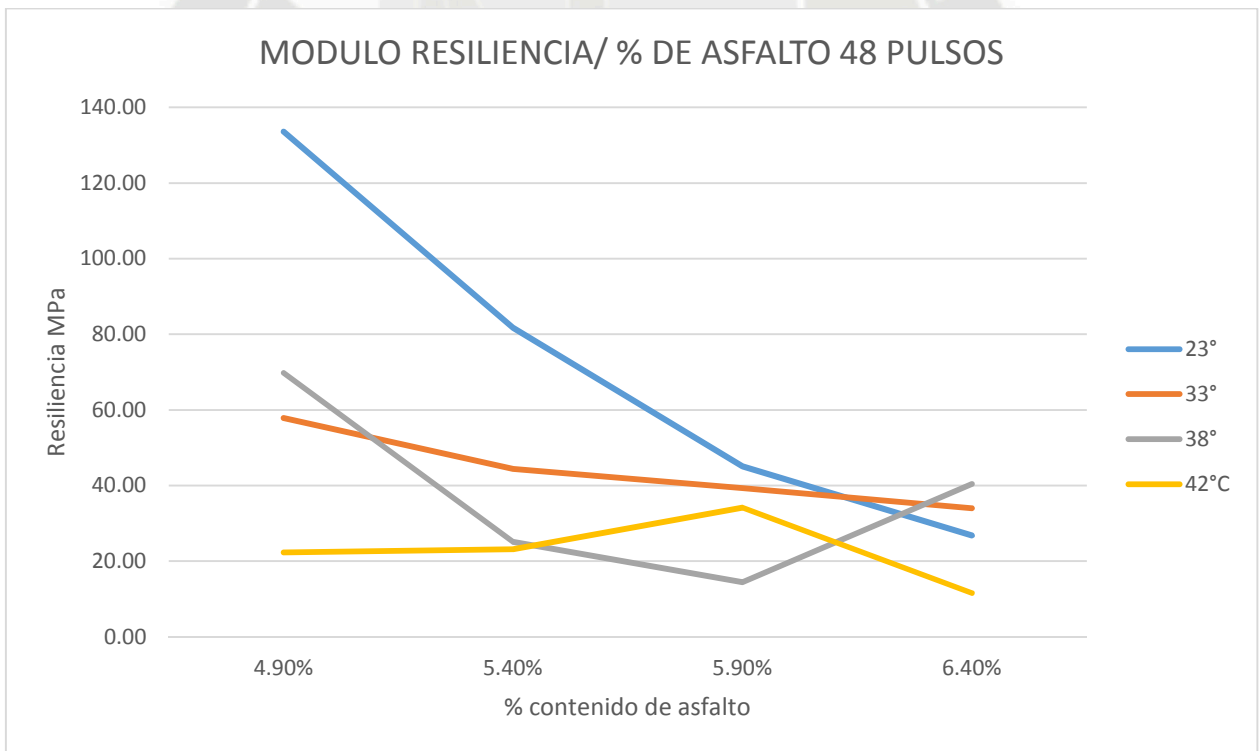
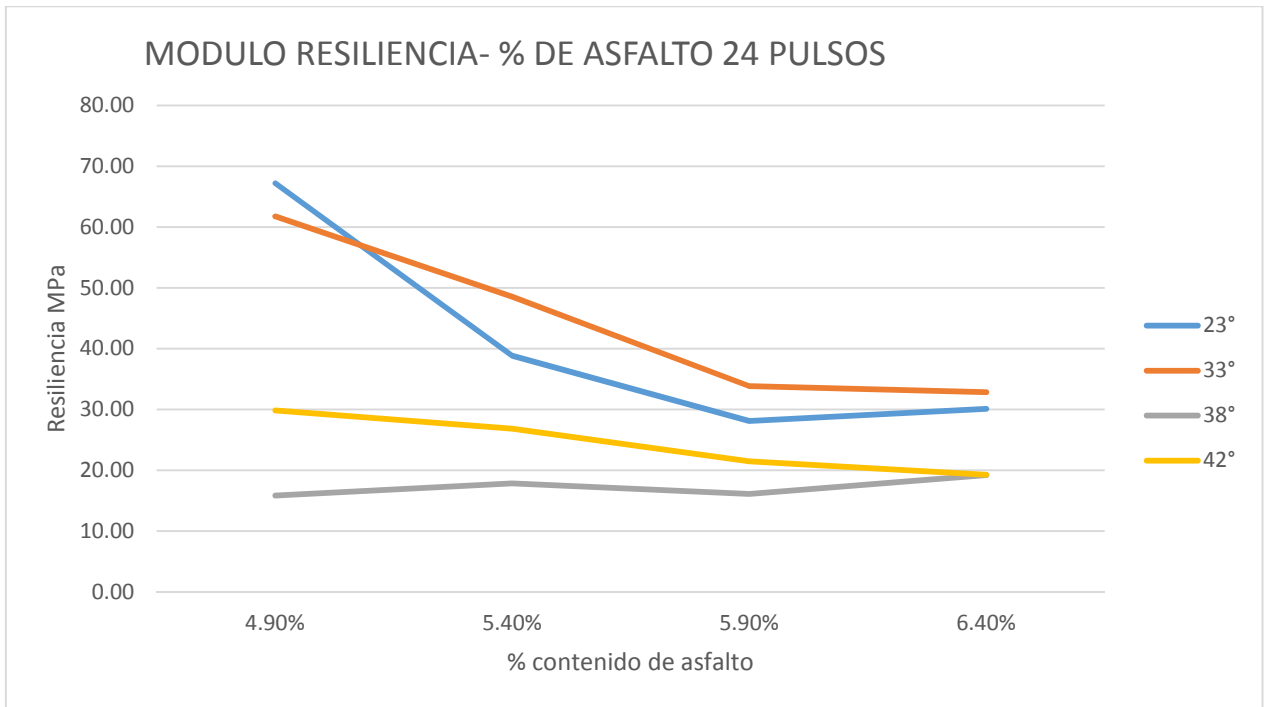
		1	2	3	4	5
1	% C.A. En peso de la mezcla	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
2	% de Agregado Grueso	48.58	48.58	48.58	48.58	48.58
3	% de agregado Fino	42.60	42.60	42.60	42.60	42.60
4	% de Filler	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24
5	P.e. del C.A (gr/cm3)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	P.e. del Agregado Grueso (gr/cm3)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.e. del Agregado Fino (gr/cm3)	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
8	P.e. del Filler (gr/cm3)	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
9	P.e. de la parafina (gr/cm3)	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
10	Peso de la Briqueta al Aire (gr)	1190.40	1186.80	1186.90	1174.90	1194.20
11	Peso de la Briqueta + Parafina al Aire (gr)	1195.20	1192.00	1192.20	1179.90	1200.00
12	Peso de la Briqueta + Parafina al Agua (gr)	694.90	692.60	695.00	690.50	698.80
13	Volumen de la Briqueta + Parafina (cm3)	500.30	499.40	497.20	489.40	501.20
14	Peso de la Parafina (gr)	4.80	5.20	5.30	5.00	5.80
15	Volumen de la Parafina (cm3)	5.54	6.00	6.12	5.77	6.70
16	Volumen de la Briqueta por desplazamiento (cm3)	494.76	493.40	491.08	483.63	494.50
17	Peso Unitario de la Briqueta (gr/cm3)	2.41	2.41	2.42	2.43	2.41
18	Máxima densidad teórica de la mezcla (gr/cm3)	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46
19	% de Vacíos	2.07	2.10	1.63	1.12	1.71
20	P.e. bulk del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
21	V:M.A.	17.47	17.49	17.09	16.67	17.16
22	% de Vacíos llenados por C.A.	88.15	88.01	90.48	93.28	90.06
23	P.e efectivo del agregado total	2.72	2.72	2.72	2.72	2.72
24	% Asfalto absorbido por agregado total	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	% Asfalto efectivo	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40

12.2. ENSAYOS DE RESILIENCIA-CONTENIDO DE ASFALTO

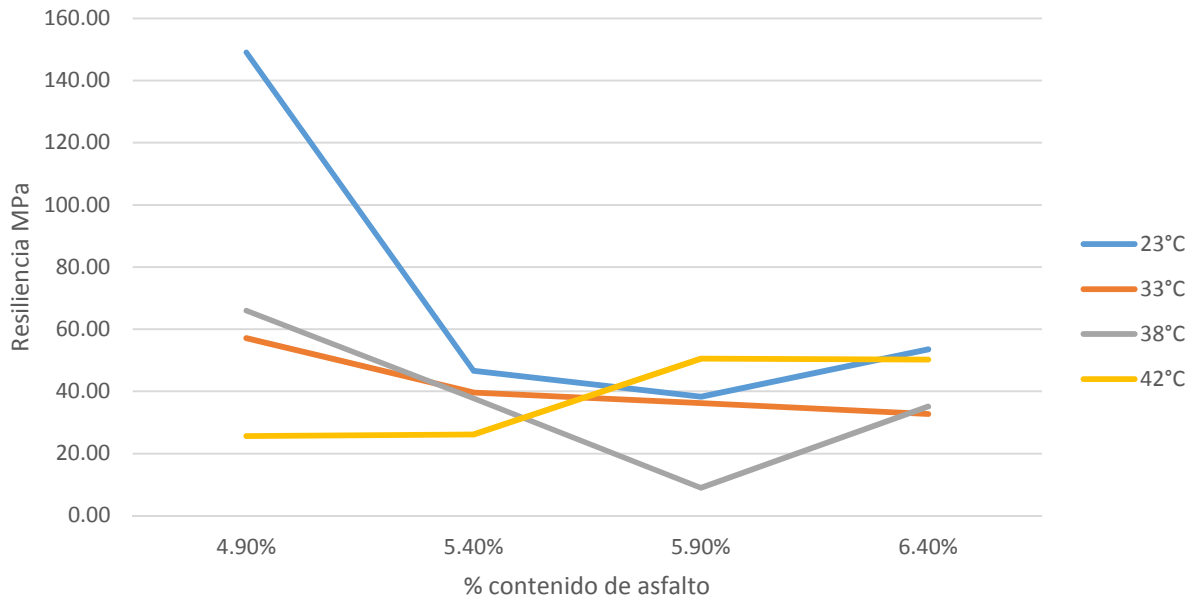




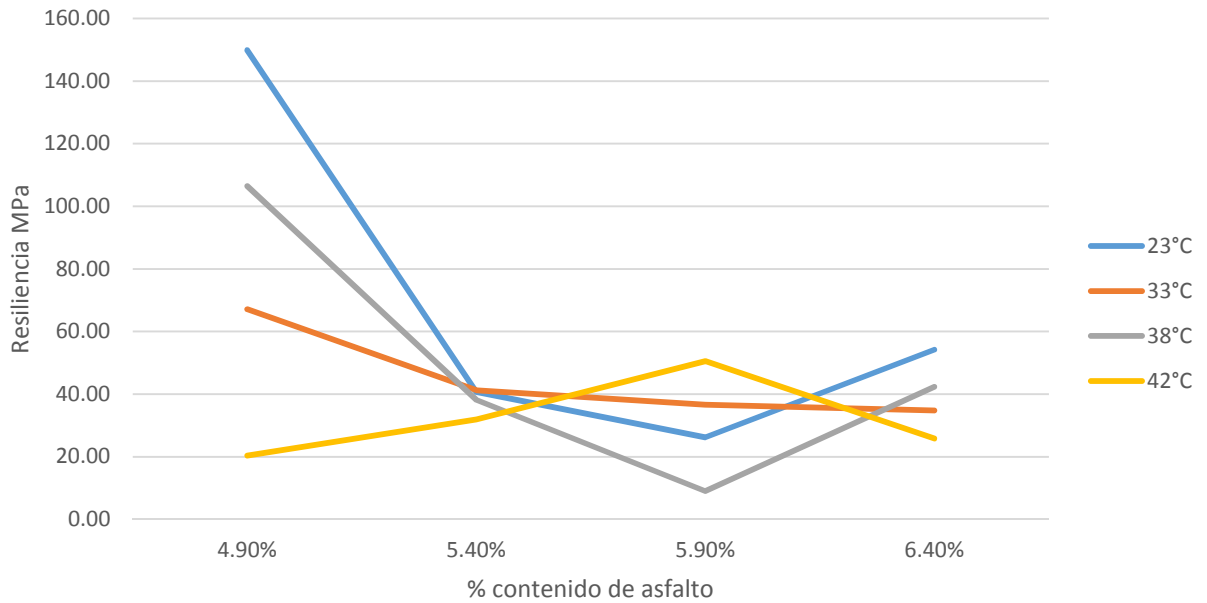
12.3. ENSAYOS DE RESILIENCIA-TEMPERATURA



MODULO RESILIENCIA/ % DE ASFALTO 72 PULSOS



MODULO RESILIENCIA/ % DE ASFALTO 92 PULSOS



12.4. CUADROS ESFUERZOS

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	24	198.91	200.80	228.87	216.21
33	24	352.15	174.60	195.50	201.70
38	24	197.15	197.87	167.90	206.39
42	24	202.60	199.30	188.68	200.20

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	48.00	198.40	198.40	198.20	198.70
33	48.00	196.00	210.50	208.20	199.30
38	48.00	191.39	200.80	191.60	198.70
42	48.00	200.20	197.90	189.30	189.60

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	72.00	199.90	239.60	198.42	199.90
33	72.00	215.40	193.40	206.70	126.00
38	72.00	219.60	198.20	156.60	189.90
42	72.00	198.70	201.40	198.70	198.40

C °	Pulso	Esfuerzo (KPa)			
23	92	199.60	231.70	200.50	199.60
33	92	192.50	232.70	215.42	89.52
38	92	204.10	200.50	160.70	199.60
42	92	200.50	201.10	199.00	202.30

12.5. CUADROS DE DEFORMACIONES

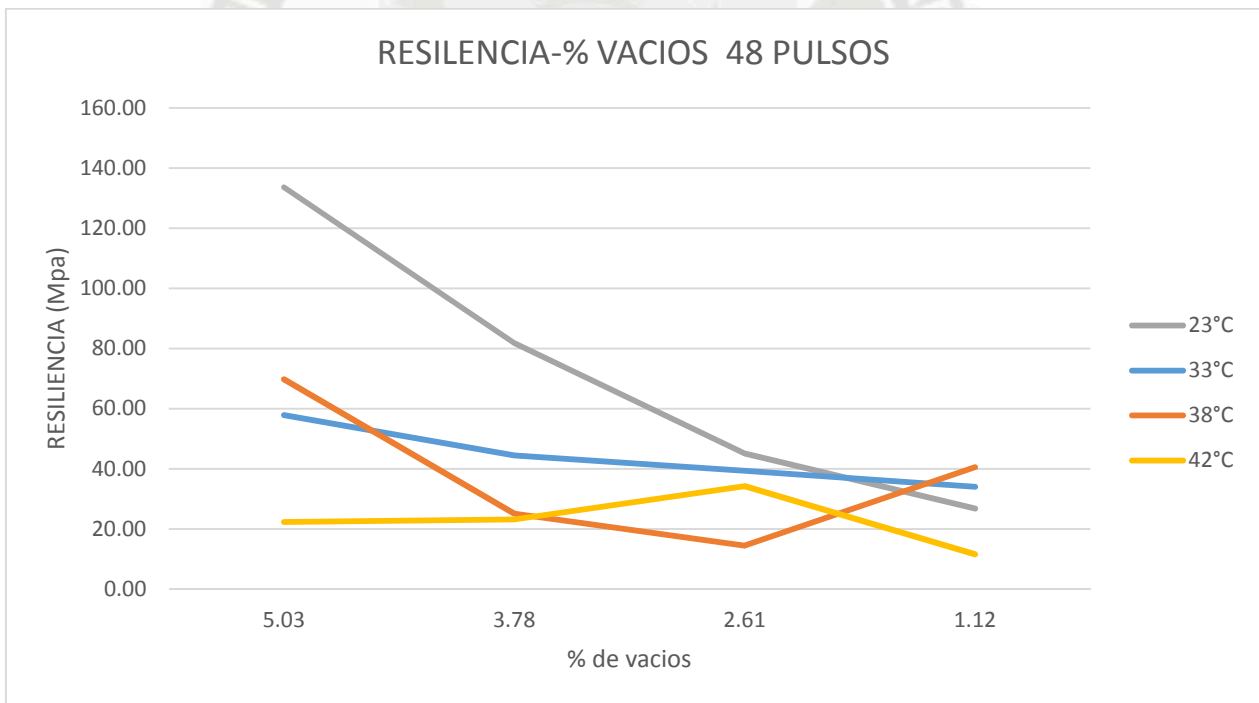
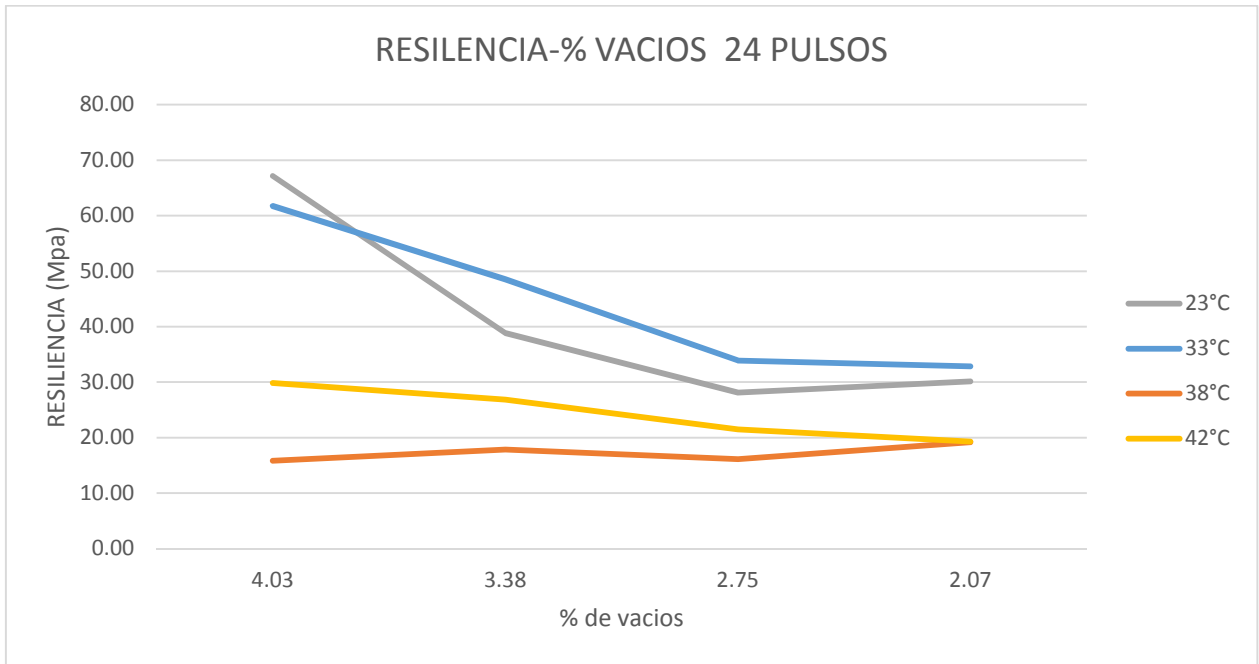
	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	24	2.961	5.17	8.136	7.18
33	24	5.707	3.599	5.774	6.145
38	24	3.195	11.085	10.403	10.745
42	24	6.786	7.42	8.776	10.38

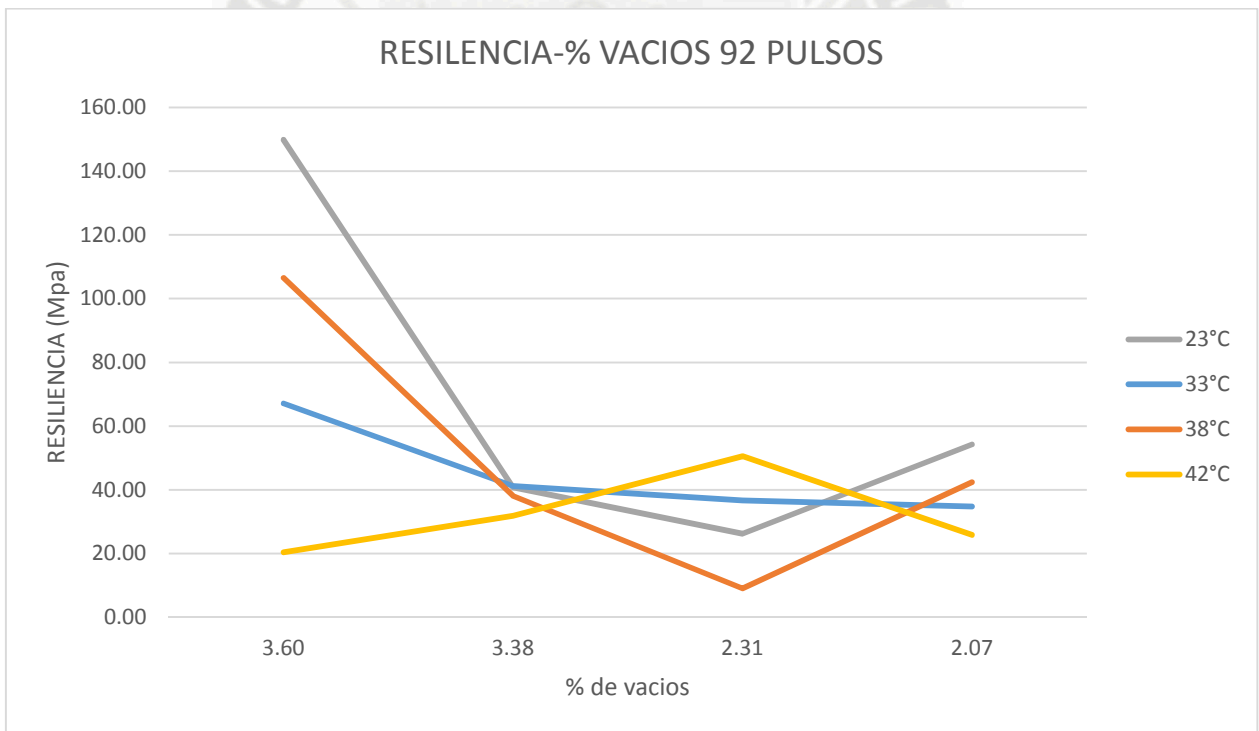
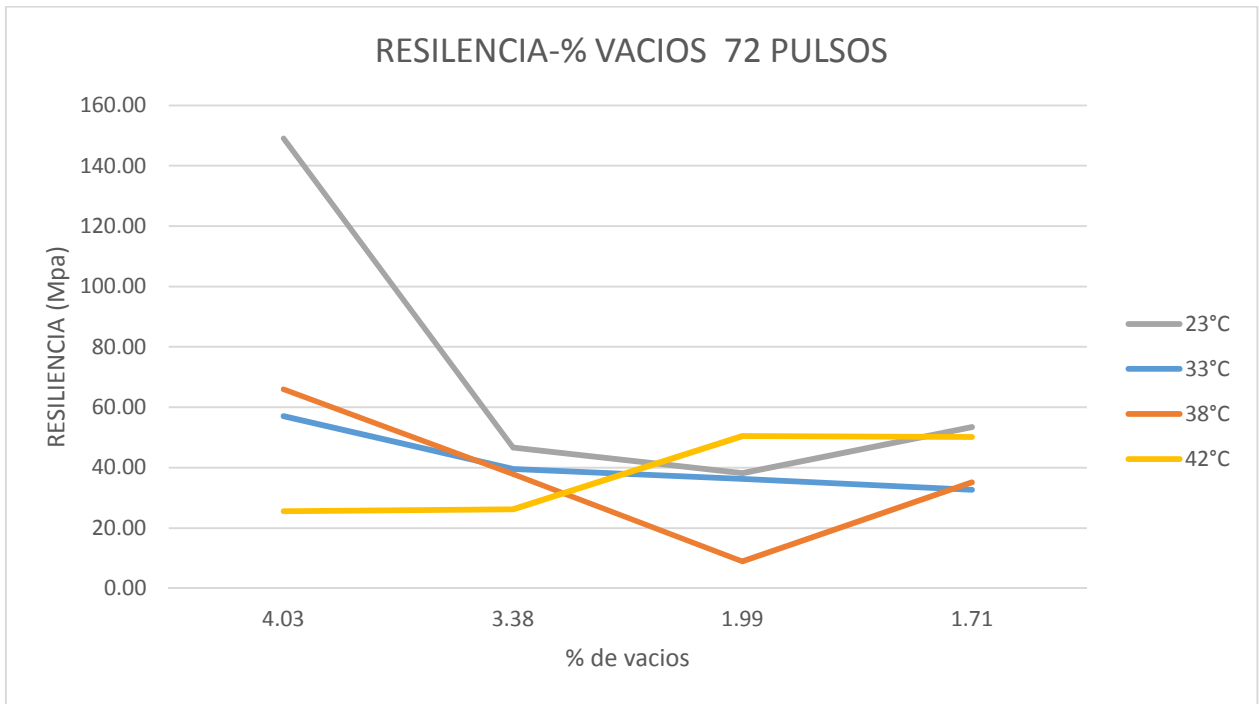
	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	48	1.49	2.43	4.40	7.41
33	48	3.39	4.74	5.29	5.86
38	48	2.74	7.99	13.23	4.91
42	48	8.97	8.54	5.53	16.42

	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	72	1.34	5.14	5.19	3.74
33	72	3.77	4.88	5.70	3.85
38	72	3.33	5.24	17.50	5.41
42	72	7.76	7.69	3.93	3.95

	% C.A.	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
C °	PULSOS	DEFORMACION EN mm			
23	92	1.332	5.69	7.65	3.68
33	92	2.87	5.652	5.88	2.58
38	92	1.92	5.26	17.84	4.71
42	92	9.84	6.31	3.94	7.84

12.6. CUADROS DE MODULO DE RESILIENCIA-PORCENTAJE DE VACIOS





12.7. Cuadros de Resiliencia

C°	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23	24	67.18	38.84	28.13	30.11
33	24	61.71	48.51	33.86	32.82
38	24	15.86	17.85	16.14	19.21
42	24	29.86	26.86	21.50	19.29

C°	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23	48	133.60	81.74	45.05	26.82
33	48	57.87	44.44	39.37	34.01
38	48	69.80	25.13	14.48	40.47
42	48	22.32	23.17	34.21	11.55

C°	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23°C	72	149.07	46.63	38.24	53.48
33°C	72	57.07	39.62	36.25	32.69
38°C	72	65.99	37.82	8.95	35.12
42°C	72	25.61	26.18	50.53	50.20

C°	Pulso	4.90%	5.40%	5.90%	6.40%
		Módulo Resiliente (MPa)			
23°C	92	149.85	40.75	26.21	54.22
33°C	92	67.05	41.17	36.62	34.75
38°C	92	106.47	38.10	9.01	42.37
42°C	92	20.37	31.87	50.52	25.82

BIBLIOGRAFIA

- Melendez Acurio, R. (2013) Ingeniería de Pavimentos, ICG, 4ta Edición.
- Montejo Fonseca, A. (2010) Ingeniería de Pavimentos – Fundamentos, estudios básicos y diseño, 2da Edición, Colombia.
- Mena león, C. (2008) Tesis de Medición de Modulos de resilientes en asfaltos Modificados, Universidad Michoacana San Nicolas de Hidalgo, México.
- Instituto Mexicano de Transportes. (2001) Modulos de Resiliencia en Suelos Finos y Materiales Granulares, publicación técnica N°42
- Angelone, S. , Martinez, F. (2006), Deformacion Permanente en Mezclas Asfálticas, Universidad nacional de Rosario, Argentina.
- Heydinger Andrew, G. Randolph W. Bryan, Analisis del módulo Resiliente de mezclas Densas, Investigacion de Transportes 1547.
- Soheil Nazarian (1996), Aplicaciones del pruebas del Módulo Resiliente en Bases Granulares en Texas, Universidad El Paso, Texas, USA
- Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en Caliente, Instituto del Asfalto, Serie de Manuales N°22
- Polanco Rodriguez, A. Manual de Prácticas de Laboratorio de Pavimentos, Universidad Autonoma de Chihuahua.
- Rondon Quintana, A. ,Lizcano Reyes, F. (2007), Comportamiento de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles, Colombia
- Marshall M. Thompson, Tutumluer Erol (1998), Revision Teorica del Módulo de Materiales Granulares y Asfalto, Universidad Urbana de Illinois, USA
- Monismith, C., Bor Wen, T. (1994), Rigidez de Mezclas asfálticas Mixtas, Programa estratégico de Investigación Americano, Universidad Berkeley, California, USA

- Guevara Palma, M.,Mendez Delgado, H. (2010), Diseño de mezclas Asfálticas Densas en Frio basado en el Metodo Marshall Modificado de la Universidad de Illinois, El Salvador.
- Rodrigues Wulf, F, (2008), Analisis de pavimento Asfaltico con Polimero, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Montiel Mancilla A.(2010), Deterioros en los Pavimentos Flexibles y Rígidos, Valdivia, Chile
- Caceres Morales, A., Análisis de la tecnología Superpave para el diseño de mezclas asfálticas en México.
- Spinle Caro, S. – Garcia Aragon, C. ,Efectos del Clima sobre el Desempeño de Pavimentos, Universidad de los Andes, Bogota, Colombia

