

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN EN ASFALTOS DE
BARRANCABERMEJA EN ESTADO NORMAL Y MODIFICADO E
IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE PENETRACION Y PUNTO DE
ABLANDAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE ASFALTOS DE LA
UNIVERSIDAD DE NARIÑO.**

**RAUL POVEDA ORTEGA
FERNANDO ANDRES RUIZ MADROÑERO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN EN ASFALTOS DE
BARRANCABERMEJA EN ESTADO NORMAL Y MODIFICADO E
IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE PENETRACION Y PUNTO DE
ABLANDAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE ASFALTOS DE LA
UNIVERSIDAD DE NARIÑO.**

**RAUL POVEDA ORTEGA
FERNANDO ANDRES RUIZ MADROÑERO**

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

**Asesor:
Ing. MSc. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor”

Artículo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanada del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Presidente de Tesis

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Septiembre de 2011

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en forma especial al Ing. Jorge Luis Argoty, Director del presente trabajo de grado, por su valiosa asesoría y orientación durante su desarrollo.

A cuantos fueran participes en las diversas etapas de este trabajo, su colaboración ha sido de gran valor para nosotros.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. TÍTULO.....	20
2. ALCANCE Y DELIMITACIÓN.....	21
3. MARCO TEÓRICO.....	22
3.1 ANTECEDENTES	22
3.2 DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	22
3.2.1 Generalidades del asfalto.....	23
3.2.1.1 Producción del asfalto	23
3.2.1.2 Composición química del asfalto.....	24
3.2.1.3 Estructura fisicoquímica del asfalto	24
3.2.1.4 Proceso de obtención del cemento asfáltico.	25
3.2.1.5 Ensayos para determinación de la calidad del asfalto:.....	27
3.2.2 Materiales asfálticos obtenidos a partir de los crudos del petróleo	32
3.2.2.1 Asfaltos para pavimentación:	32
3.2.2.2 Asfaltos mejorados industriales:.....	33
3.2.3 Asfalto producido en Colombia.....	34
3.2.3.1 Características físicas	34
3.2.3.2 Asfalto de Barrancabermeja.....	34
3.2.3.3 Características reológicas	35
3.2.3.4 Especificaciones para cementos asfálticos	38
3.2.4 Asfaltos modificados:	38
3.2.5 Mezclas asfálticas	47
3.2.6 Comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas	50
3.2.7 Pavimentos de concreto asfáltico:.....	51
3.3 EQUIPOS	53
3.3.1 Equipo utilizado para determinar penetración:	53

3.4	OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES	55
3.5	ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	56
3.6	DISEÑO MARSHALL	56
3.6.1	Fórmula de trabajo.	56
3.6.2	Peso específico y absorción de agregados.....	57
3.6.3	Gravedad específica del asfalto	59
3.6.4	Equivalente de arena	59
3.6.5	Gravedad específica Bulk. (Gb).....	60
3.6.6	Determinación del peso específico máximo teórico. (Gmt).	61
3.6.7	Cálculo del peso específico máximo medido. (Gmm).....	61
3.6.8	Cálculo del porcentaje de asfalto absorbido. (Aa).	62
3.6.9	Determinación del contenido de asfalto, tipo normal.....	62
3.6.10	Determinación de valores de penetración asfalto tipo normal.	66
3.6.11	Determinación de valores de punto de ablandamiento asfalto tipo normal	67
3.6.12	Determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto normal).	67
3.6.13	Determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto modificado).....	92
4.	RESULTADOS.....	95
5.	CONCLUSIONES.....	98
6.	RECOMENDACIONES	100
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura del asfalto.....	25
Figura 2. Proceso de obtención del cemento asfáltico	26
Figura 3. Ensayo de penetración.....	27
Figura 4. Ensayo de punto de ablandamiento	28
Figura 5. Ensayo de ductilidad	29
Figura 6. Ensayo de punto de inflamación	30
Figura 7. Ensayo de película delgada	31
Figura 8. Materiales asfálticos	33
Figura 9. Localización geográfica fuentes de Producción de cemento asfáltico.	34
Figura 10. Relación de viscosidad Vs temperatura asfalto de Barrancabermeja .	36
Figura 11. Nomograma de heukelon, asfalto de Barrancabermeja	37
Figura 12. Susceptibilidad térmica de un betún ideal y uno convencional.....	39
Figura 13. Efecto del asfalto modificado con polímeros sobre la rigidez y la temperatura.	45
Figura 14. Comportamiento de una carpeta de pavimento asfáltico en la estructura de un pavimento flexible	52
Figura 15. Calculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, asfalto modificado.	92
Figura 16. Calculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, asfalto modificado.	93

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Diagrama de flujo de la metodología	53
Gráfica 2. Curva media para trabajo	57
Gráfica 3. Peso unit. Vs contenido de asfalto.....	64
Gráfica 4. Estabilidad Vs contenido de asfalto.	64
Gráfica 5. Vacios de aire Vs contenido de asfalto.	64
Gráfica 6. Flujo de mezcla Vs contenido de asfalto.....	64
Gráfica 7. Vacios en agregad.Vs contenido de asfalto	64
Gráfica 8. Vacios llenos de asfall. Vs contenido de asfalto.	64
Gráfica 9. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres espesor de carpeta 7 cm.	68
Gráfica 10. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta 15 cm.	69
Gráfica 11. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Remolino espesor de carpeta 7 cm.	70
Gráfica 12. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Remolino espesor de carpeta 15 cm.	71
Gráfica 13. Determinación del Índice de penetración.....	72
Gráfica 14. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz, velocidad 10 KPH	73

Gráfica 15. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz, velocidad 60 KPH	74
Gráfica 16. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz, velocidad 90 KPH.	75
Gráfica 17. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz, velocidad 10 KPH.	76
Gráfica 18. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz, velocidad 60 KPH.	77
Gráfica 19. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz, velocidad 90 KPH.	78
Gráfica 20. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz, velocidad 10 KPH.	79
Gráfica 21. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz, velocidad 60 KPH.	80
Gráfica 22. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz, velocidad 90 KPH.	81
Gráfica 23. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz, velocidad 10 KPH.	82

Gráfica 24. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz, velocidad 60 KPH.	83
Gráfica 25. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz, velocidad 90 KPH.	84
Gráfica 26. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz.	86
Gráfica 27. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz.	87
Gráfica 28. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz.	88
Gráfica 29. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz.	89
Gráfica 30. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz.	90
Gráfica 31. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz.	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características físicas - cemento asfáltico de Barrancabermeja	35
Tabla 2. Especificaciones para cementos asfálticos INV 400 / 410	38
Tabla 3. Clases de modificadores	40
Tabla 4. Especificaciones técnicas Penetrómetro digital.....	54
Tabla 5. Resumen de ensayos para recolección de información	56
Tabla 6. Gradación media para trabajo y cantidades requeridas de material granular para la elaboración de una briqueta.	57
Tabla 7. Resultados peso específico y absorción agregados gruesos.....	58
Tabla 8. Resultados peso específico y absorción agregados finos.....	58
Tabla 9. Equivalente de arena de ensayos a los agregados	59
Tabla 10. Porcentaje de caras fracturadas.....	60
Tabla 11. Peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica.....	61
Tabla 12. Determinación del peso específico máximo medido (G_{mm})	62
Tabla 13. Resultados de las ecuaciones Volumétricas	63
Tabla 14. Fórmula de trabajo	65
Tabla 15. Parámetros definitivos para determinación de módulo dinámico (asfalto normal).....	66
Tabla 16. Valores de ensayo de penetración y punto de ablandamiento.....	66
Tabla 17. Valores de módulo dinámico del asfalto normal	85
Tabla 18. Ensayos de penetración y punto de ablandamiento, (asfalto modificado).....	93
Tabla 19. Valores de módulo dinámico del asfalto modificado.....	94
Tabla 20. Valores de módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto normal) ..	95
Tabla 21. Valores de módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto modificado).....	96

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. RECURSOS.....	103
Anexo B. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	104
Anexo C. REGISTRO FOTOGRAFICO ENSAYOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.	105
Anexo D. FICHA TÉCNICA ASFALTO MODIFICADO.	108

RESUMEN

Es importante verificar que la calidad del asfalto que proviene de las plantas productoras es igual al certificado de la calidad expedido por ellas, esto garantiza que la mezcla asfáltica instalada en una vía con dicho asfalto tendrá la respuesta estructural necesaria para un número de vehículos en un determinado tiempo, tal como lo exige el diseño del pavimento para cada caso.

En este trabajo se realizan los ensayos de punto de penetración a una determinada temperatura y punto de ablandamiento a muestras de asfalto 80 -100 proveniente de Barrancabermeja y asfalto modificado cariphalte PM III producido por Shell con el fin de calcular el módulo de rigidez del asfalto y el módulo dinámico de mezclas asfálticas producidas con agregados pétreos del río Tellez en plantas productoras ubicadas en la Vereda San José, Municipio de Funes.

El módulo dinámico se calculará para un clima frío como es el de la cabecera municipal de Túquerres y para un clima cálido como es el de Remolino, municipio de Taminango a diferentes velocidades (tiempo de aplicación de carga) con dos espesores de carpeta y mezcla asfáltica producida con un solo tipo de agregados.

Para el presente trabajo se utilizará como referencias la planta de Incoequipos donde se produce mezcla asfálticas tipo MSC-1 con asfalto modificado de la Shell y la planta del Ingeniero Raul Poveda donde se produce mezcla asfáltica tipo MDC-2 con asfalto 80 -100 proveniente de Barrancabermeja, para cada caso se obtiene de cada diseño Marshall, la caracterización de los agregados y el porcentaje óptimo de asfalto.

Los ensayos de penetración y punto de ablandamiento a los asfaltos se realizó con equipos donados al Departamento de Ingeniería Civil teniendo en cuenta que el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad adolece de estos y otros equipos de gran importancia en la aplicación y conocimiento en la pavimentación de vías.

ABSTRACT

It is important to verify that the quality of asphalt production comes from plants is equal to the quality certificate issued by them, this ensures that the asphalt installed on an asphalt road with the structural response will be necessary for a number of vehicles in a certain time, as required pavement design for each case.

In the present study the point of penetration testing at a certain temperature and a softening point of asphalt samples from 80 -100 Barrancabermeja cariphalte PM III asphalt produced by Shell in order to calculate the stiffness modulus of asphalt and dynamic modulus of asphalt mixtures produced with river rock aggregates Tellez in manufacturing plants located in the village of San José, municipality of Funes.

The dynamic modulus is calculated for a cold climate such as the municipal seat of Túquerres and a warm climate such as the Whirlwind, municipality of Taminango at different speeds (time of load application) with two thick folder and asphalt produced a single type of aggregates.

For this work will be used as references Incoequipos plant where mixing occurs MSC-1 asphalt with asphalt from Shell and the Engineer Raul Poveda plant which produces asphalt mix type asphalt MDC-2 from 80 -100Barrancabermeja, in each case obtained from each Marshall design, the characterization of the aggregates and the optimum percentage of asphalt.

Tests of penetration and softening point of asphalts was performed with equipment donated to the Department of Civil Engineering taking into account that the soils lab and floor of the University suffers from these and other important equipment in the application and knowledge in street paving.

GLOSARIO

AHUELLAMIENTO: para un pavimento, el ahuellamiento se refiere a la falla ocasionada por las cargas repetidas y de gran peso sobre la superficie de un pavimento, las cuales dejan sobre el una serie de canalizaciones de similar sección a las de un neumático.

BITUMINOSO: variedad de carbón cuya constitución y propiedades son intermedias entre la antracita y el lignito.

CEMENTOS ASFALTICOS: son hidrocarburos que se obtienen durante la destilación del petróleo luego de que los aceites lubricantes han sido removidos.

ELASTOMEROS: cualquier polímero sintético que presenta en alguna medida las propiedades del caucho, en particular su elasticidad y su flexibilidad.

EMULSIONES ASFALTICAS: son aquellas que se emplean en la ejecución de riegos y mezclas asfálticas.

PETROLEO: un recurso mineral mezcla compleja de hidrocarburos, un líquido aceitoso bituminoso inflamable, que aparece en muchos lugares del estrato superior de la tierra.

PLASTICOS DEGRADABLES: son desarrollados específicamente para la obtención de productos especiales, que se proyectan para romperse después de su exposición a la luz del sol o a los microbios.

PLASTICOS NO SELECCIONADOS: un plástico no seleccionado consiste en una mezcla de plásticos normalmente incompatibles, pero que aparecen mezclados en las basuras.

POLIMEROS: sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros.

RECICLABLE: solución compleja para el tratamiento de los plásticos mezclados de la basura, que constituyen una parte muy visible, si bien relativamente pequeña, de los residuos sólidos.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desarrollo y la comercialización de productos de la región se ha visto reflejado en el incremento del volumen vehicular sobre todo de carga pesada, por lo cual la construcción de vías se ha convertido en uno de los componentes de mayor influencia, exigiendo una mejor calidad de los pavimentos asfálticos que se construyen garantizando un determinada vida útil y brindando un buen servicio a los usuarios; por lo que se hace necesario conocer las características y propiedades del asfalto tanto para diseñar con base en datos reales como para la producción de las mezclas asfálticas y posteriormente su aplicación en el pavimento dentro de un proyecto de desarrollo.

La importancia del presente trabajo radica en que nos permitirá construir estructuras de pavimento con datos obtenidos de la mezcla asfáltica elaborada con materiales de la región y asfaltos convencionales y modificados, mediante la evaluación del índice de penetración y punto de ablandamiento donde se podrá determinar el módulo de rigidez del asfalto y el módulo dinámico de la mezcla asfáltica para sectores de máximas y mínimas temperaturas y diferentes tiempos de aplicación de carga, según la localización del proyecto a ejecutar. Para el cálculo de estos módulos se utilizarán monogramas establecidos por el AASHTO y un programa de computador elaborado por la SHELL.

- GENERALIDADES DEL PROYECTO

Nombre del proyecto: Evaluación del índice de penetración en asfaltos de Barrancabermeja en estado normal y modificado e implementación del equipo de penetración y punto de ablandamiento para el laboratorio de asfaltos de la Universidad de Nariño.

- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Antecedentes. El asfalto es un material indispensable y útil en el campo de la infraestructura vial y por ende es necesario conocer muy bien sus propiedades físico-mecánicas, sin embargo el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño no cuenta con los equipos necesarios para realizar los respectivos ensayos, que para el presente trabajo es la determinación del índice de Penetración y el punto de ablandamiento del asfalto.

Con el valor de estos parámetros podemos calcular el Módulo de rigidez del asfalto y el Módulo dinámico de la mezcla asfáltica a diferentes temperaturas, espesores de carpeta y diferentes tiempos de aplicación de carga, con materiales de la región.

La mayoría de las principales vías de los Departamentos de Nariño y Putumayo son vías pavimentadas cuya carpeta de rodadura es en material asfáltico, mezcla que en su totalidad ha sido producida con asfalto proveniente de la planta de Barrancabermeja (**ECOPETROL**) y que a pesar de venir de una fábrica reconocida a nivel nacional, siendo además monopolio del gobierno, no es posible determinar, si el asfalto que llega a nuestras plantas cumple con los niveles de calidad por ellos certificados en los correspondientes despachos. La verificación de los parámetros de penetración y puntos de ablandamiento sería de gran importancia tanto como para comparar y verificar si la información enviada por los proveedores es igual a la tomada en la refinería como para diseñar estructuras de pavimento con datos reales y propios de los materiales de nuestra región.

Formulación. En los proyectos de pavimentación de vías en nuestra región se implementa un diseño estructural, dentro del cual se establece el valor del módulo dinámico de la mezcla asfáltica con base a valores establecidos por la AASHTO o la SHELL; valor que se presume y no se puede comprobar al momento de realizar los diseños; el único parámetro de control que actualmente se tiene de acuerdo a la temperatura del sitio es el índice de penetración del asfalto certificado por Ecopetrol, para temperaturas altas, asfalto 60-80 y para temperaturas bajas, asfalto 80-100; de ahí la importancia de obtener el Índice de Penetración y el punto de ablandamiento del asfalto normal utilizado en la planta que permita calcular el módulo dinámico de la mezcla asfáltica con materiales de nuestra región y asfalto producido en Barrancabermeja.

Ahora bien, en concordancia con la evolución en nuestro país en la aplicación de asfaltos modificados en la pavimentación de vías es necesario verificar también la calidad de este tipo de asfalto.

Descripción. Para verificar u obtener los valores del módulo de rigidez y del módulo dinámico de la mezcla asfáltica empleada en la pavimentación de vías con materiales de nuestra región y asfalto convencional producidos en Barrancabermeja y asfalto modificado producido por la Shell, es necesario la implementación en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño del penétrometro y el conjunto de anillo y bola necesarios para determinar los valores de penetración y punto de ablandamiento respectivamente.

Además se debe tener en cuenta que el laboratorio de asfaltos es una herramienta importante en la investigación que puede contribuir al desarrollo y mejoramiento de las condiciones actuales de los pavimentos utilizados en el momento.

JUSTIFICACIÓN

Con la implementación de los equipos en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño para la determinación del índice de penetración y punto de ablandamiento en asfaltos normales y modificados, la facultad de Ingeniería Civil puede desarrollar y complementar investigaciones relacionadas con concretos asfálticos, siendo los más beneficiados los estudiantes y profesores, sin dejar a tras el servicio que puede prestar a los profesionales dedicados a esta rama de la ingeniería civil. El Cálculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica con materiales de nuestra región y asfalto producido por Ecopetrol y la Shell, a bajas y altas temperaturas como a bajos, medios y altos tiempos de aplicación de carga a partir del índice de penetración y el punto de ablandamiento, nos permite diseñar una estructura de pavimento con datos reales sin necesidad de asumir o tomar datos de los ábacos o monogramas establecidos por el AASHTO o la SHELL, además podemos verificar si la mezcla asfáltica cumple con los valores establecidos en el diseño estructural y si el asfalto suministrado por Ecopetrol cumple con los datos certificados por ellos, de igual manera se puede establecer el factor o los factores que afectan el comportamiento y la durabilidad del pavimento en caso de presentarse problemas en la ejecución de estos proyectos.

OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluación del índice de penetración en asfaltos provenientes de Barrancabermeja, en estado normal y modificado e implementación del penétrometro como del conjunto para determinar el punto de ablandamiento para determinar el módulo dinámico de las mezclas asfálticas producidas en nuestra región.

Objetivos específicos:

- ✓ Implementar el penétrometro y el conjunto para determinar el punto de ablandamiento y el índice de penetración de asfalto 80 - 100 y modificado tipo III en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño
- ✓ Evaluación del índice de penetración en asfalto normal (80 -100) y modificados con polímeros.
- ✓ Obtener los valores del módulo de rigidez del asfalto y del módulo dinámico de las mezclas asfálticas a partir del índice de penetración y el punto de ablandamiento del asfalto con materiales de nuestra región a temperaturas bajas y altas combinadas con velocidades bajas, medias y altas, y con el diseño Marshall de dos plantas de asfalto de nuestra región.
- ✓ Comparar el T800 obtenido con los ensayos del índice de penetración y el punto de ablandamiento.

1. TÍTULO

EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE PENETRACIÓN EN ASFALTOS DE BARRANCABERMEJA EN ESTADO NORMAL Y MODIFICADO E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO DE PENETRACION Y PUNTO DE ABLANDAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE ASFALTOS DE LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

2. ALCANCE Y DELIMITACIÓN

El proyecto denominado “Evaluación del índice de penetración en asfaltos de Barrancabermeja en estado normal y modificado e implementación del equipo de penetración y punto de ablandamiento para el laboratorio de asfaltos de la universidad de Nariño”, contiene:

- ✓ La implementación del equipo de penetración y punto de ablandamiento con el cual podremos adelantar nuestro estudio.
- ✓ Determinar el índice de penetración y el punto de ablandamiento de los asfaltos de Barrancabermeja, en estado normal y modificado.
- ✓ Con la fórmula de trabajo del diseño Marshall de las plantas de asfaltos de la región, se calculará el porcentaje de asfalto y agregados que componen la mezcla asfáltica.
- ✓ Clasificando dos zonas de nuestro Departamento, con temperaturas bajas y altas y junto con velocidades bajas, medias y altas, podemos determinar el tipo de asfalto a utilizar en la producción de la mezcla asfáltica para el diseño del pavimento requerido con las condiciones mencionadas.
- ✓ A partir del índice de penetración, el punto de ablandamiento, el volumen y el porcentaje óptimo de asfalto y el volumen de agregados en la mezcla asfáltica, las temperaturas de las zonas, tiempo de aplicación de carga, espesor de la carpeta y datos complementarios como la relación de Poisson, determinamos el módulo dinámico de la mezcla asfáltica utilizada para nuestro estudio.
- ✓ Para el estudio se utilizará: Asfalto en estado normal. 80 – 100 y asfalto en estado modificado con polímeros de la Shell que para este caso es Cariphalte PM III.
- ✓ Presupuesto del estudio.
- ✓ Especificaciones para la ejecución y la implementación del proyecto.
- ✓ Conclusiones y observaciones.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

Este trabajo surge de la necesidad de fomentar la investigación sobre temas relacionados con concretos asfálticos, los cuales son de gran importancia en el Departamento de Nariño, su desarrollo radica en la implementación de los equipos penétrometro digital y el conjunto de anillo y bola para determinar el punto de ablandamiento y el índice de penetración de asfalto normal y modificado en el laboratorio de suelos y pavimentos de la Universidad de Nariño, además obtener los valores del módulo dinámico de las mezclas asfálticas a partir del índice de penetración y el punto de ablandamiento del asfalto empleando materiales granulares de la región y asfalto de convencional 80 -100 y modificado, a temperaturas bajas y altas combinadas con tiempos de aplicación de carga altos, medios y bajos.

En muchos casos las consideraciones de diseño en la construcción de pavimentos se han mantenido separadas en el caso de nuestra región, dado que la mayoría de los parámetros de diseño han sido tomados de ábacos, de tablas o de textos establecidos por el AASHTO o la SHELL y no determinados de los materiales empleados para el diseño de las mezclas asfálticas en las diferentes plantas de mezcla asfáltica, con el desarrollo del presente trabajo podremos diseñar la estructura de un pavimento con datos reales sin necesidad de asumir o tomar los datos certificados por las plantas productoras de asfalto o textos dedicados a la pavimentación de vías.

De igual manera nos será posible verificar los valores de índice de penetración y el punto de ablandamiento suministrados por ECOPEPETROL dado que nada nos asegura que dichos valores se mantendrán constantes después de variables tales como la condiciones de transporte, variaciones de temperatura, condiciones de almacenaje, etc.

3.2 DEFINICIONES CONCEPTUALES

Para una mayor comprensión del desarrollo del presente trabajo se definirán los siguientes conceptos fundamentales:

- ✓ Generalidades del asfalto.
- ✓ Asfalto producido en Colombia.
- ✓ Asfaltos modificados.
- ✓ Mezclas asfálticas.

- ✓ Diseño de mezclas asfálticas.
- ✓ Comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas.
- ✓ Pavimentos asfálticos.

3.2.1 Generalidades del asfalto. El asfalto se define como una mezcla de hidrocarburos, derivado del petróleo naturalmente o por destilación.

El término asfalto, se deriva del vocablo acadio *asphatu* o *asphallo*, que significa dividirse, resquebrajarse. Posteriormente, fue adoptado por los griegos como adjetivo cuyo significado es estable, seguro y al verbo estabilizar o asegurar.

“De, donde se supone que el primer uso del asfalto en las civilizaciones antiguas es que fue utilizado en forma de cemento, para asegurar o unir objetos. Del griego pasó al latín, después al francés (asphalte) y finalmente al inglés (asphalt)”¹.

Desde la antigüedad hasta hoy en día, el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre. A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dio lugar al aumento en el consumo de este y fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones.

3.2.1.1 Producción del asfalto. El asfalto se obtiene de la refinación por destilación del crudo de petróleo. Es un proceso en el cual las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo, por medio de un aumento en etapas de la temperatura. Existen dos procesos de destilación con los cuales puede ser producido después de haber combinado los crudos de petróleo:

- ✓ Destilación por vacío.
- ✓ Extracción con solventes.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados mas pesados, mejor conocidos como gasóleos, pueden ser separados solamente mediante una combinación de calor y vacío. Puede ser producido usando destilación por vacío a una temperatura aproximada de 480°C (900°F), esta puede variar un poco dependiendo del crudo de petróleo que se esté refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. En el proceso de extracción con solventes, se remueven mas gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

¹ MUÑOZ RICAURTE Guillermo, Pavimentos de Concreto Asfáltico. Pasto: Universidad de Nariño, 2002.p.80.

Dependiendo del uso, en las refinerías existen diferentes formas de controlar las propiedades de los asfaltos que se producen para poder cumplir con ciertos requisitos. Para obtener un asfalto con cierta viscosidad se debe mezclar varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos y así lograr grados intermedios de este material.

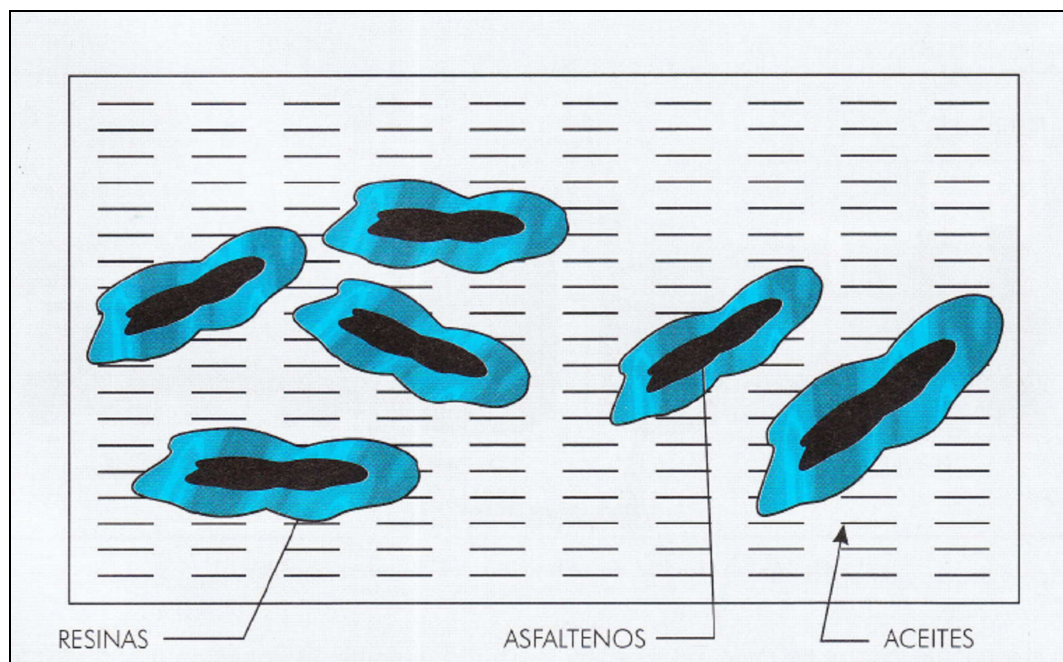
3.2.1.2 Composición química del asfalto. Está constituido por tres grupos básicos: asfaltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o agregado es el asfalteno.

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una proporción apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80- 85% de los asfaltenos son átomos de carbono, la relación C: H se encuentra entre 0.8 y 0.87. Los asfaltenos son producto de la condensación de las resinas.

3.2.1.3 Estructura fisicoquímica del asfalto. Al eliminar por destilación los hidrocarburos más ligeros de un crudo, los más pesados no pueden mantenerse en disolución y se van uniendo por absorción a las partículas coloidales ya existentes (en forma de "espaguetis"), o aumentando su volumen tanto más cuando más se extrema la destilación. Las moléculas más livianas constituyen el medio dispersante o fase continuo.

Los hidrocarburos constituyentes del asfalto forman una solución coloidal en la que un grupo de moléculas de los hidrocarburos más pesados (asfaltenos) están rodeados por moléculas de hidrocarburos más ligeros (resinas), sin que exista una separación entre ellos, sino una transición gradual y finalmente ocupando el espacio restante, se encuentran los aceites.

Figura 1. Estructura del asfalto



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Los asfaltenos son los encargados de las características estructurales y dureza del asfalto, las resinas les proporcionan sus propiedades cementantes o aglutinantes y los aceites la consistencia adecuada para mantenerlos trabajables.

3.2.1.4 Proceso de obtención del cemento asfáltico. Se pueden obtener por destilación donde las cantidades de asfalto residual varían según las características del crudo, pudiendo oscilar 10 y 70%.

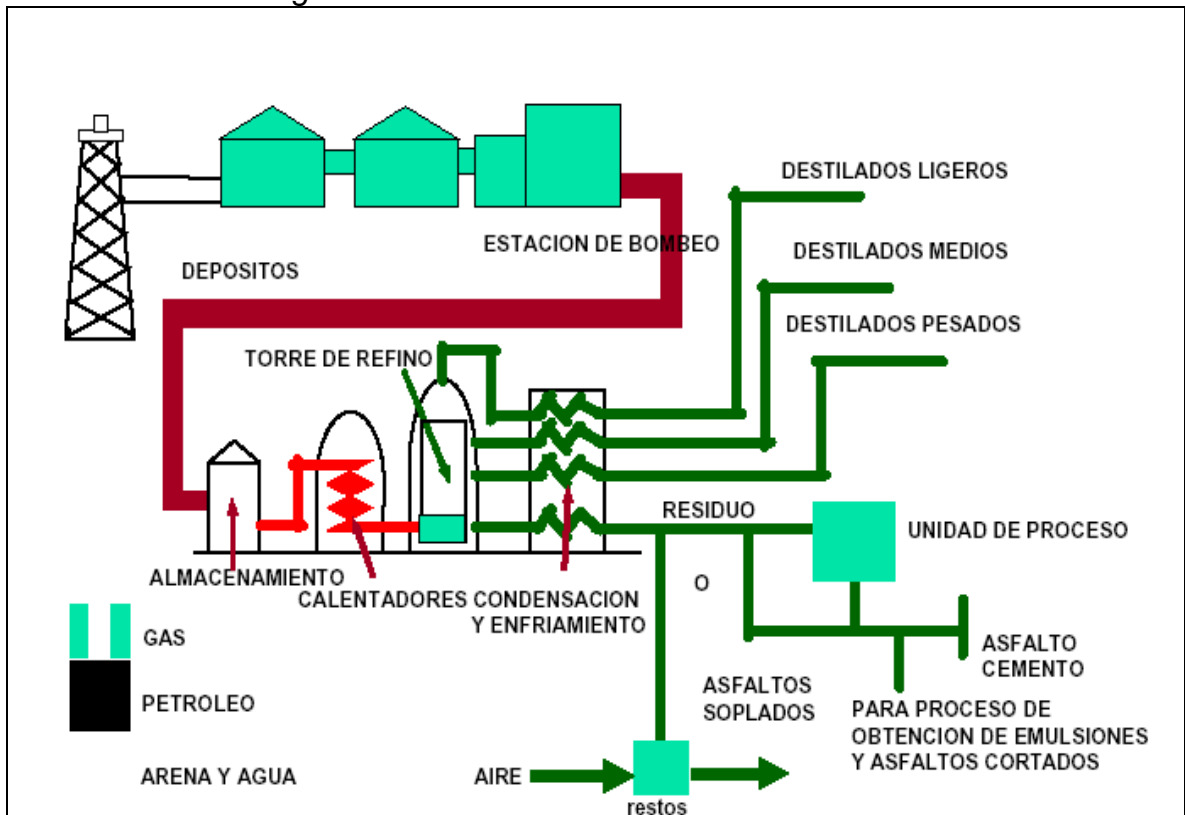
Actualmente más del 90% de los asfaltos utilizados como ligante de mezcla asfáltica son obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo crudo.

El crudo que llega a las refinerías se somete a una serie compleja de procesos fisicoquímicos para separar sus constituyentes y transformarlos en otros de uso específicos.

El proceso de refinación del petróleo comienza con su recibo en tanques cilíndricos, desde donde es bombeado a las unidades de destilación primaria previo deshidratación y desalación. El petróleo se hace circular por el interior de un horno alcanzando elevadas temperaturas, donde se vaporiza parcialmente para luego pasar a la torre atmosférica, en la cual, por diferencia de temperaturas de condensación (punto inicial y punto final de ebullición), se obtienen las fracciones más livianas como los gases de cima, la nafta, el JP-A (combustible para avión), el

queroseno, el A.C.P.M. y el gasóleo atmosférico. Los elementos más volátiles alcanzan los niveles más altos de las torres y los más pesados no logran ascender. El crudo residual constituido por los componentes más pesados del petróleo y que no se logró vaporizar a estas condiciones de presión y temperatura, pasa a una destilación al vacío donde se recuperan los gasóleos de vacío.

Figura 2. Proceso de obtención del cemento asfáltico



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

En el fondo de la torre de vacío, se obtienen los residuos finales de esta destilación que se conocen con el nombre de fondos de vacío. Si los característicos del crudo de alimentación son adecuados, estos fondos de vacío son empleados directamente como asfalto para pavimentación: en caso contrario son sometidos a procesos tales como:

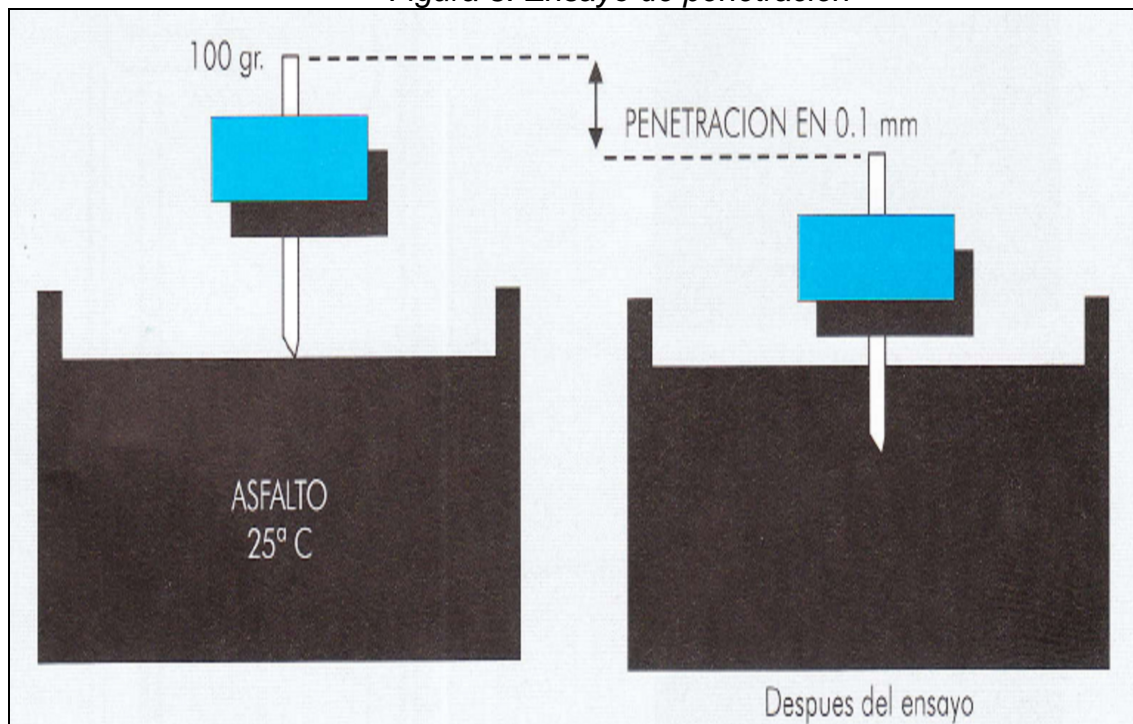
- ✓ Tratamiento con solventes.
- ✓ Soplado con aire (oxidación).
- ✓ Adición de gasóleo pesado, para cumplir con la penetración.

3.2.1.5 Ensayos para determinación de la calidad del asfalto:

Ensayo de penetración: el ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo (Pa*s), equivalentes a 0.036 a 200,000 Pa.

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal. Esta se hace a 25 °C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro. Algunas veces se requiere una penetración adecuada al clima.

Figura 3. Ensayo de penetración



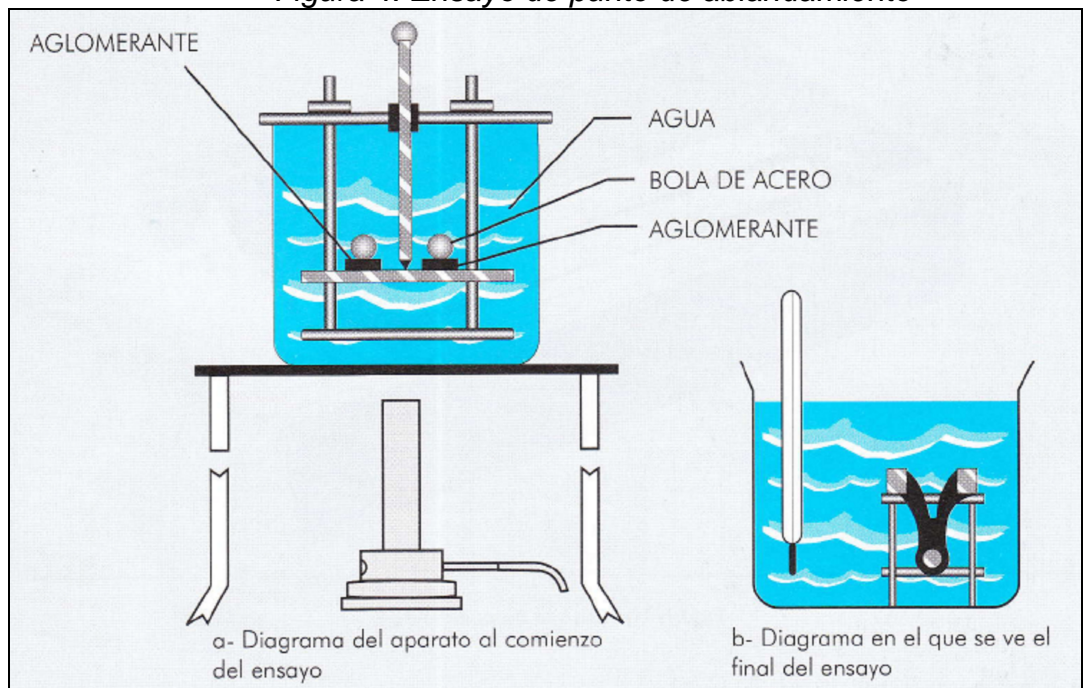
Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Ensayo de punto de ablandamiento. Este ensayo indica la temperatura a la que puede calentarse el material, sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura, usualmente, es muy inferior a aquella a la que el material ardería o su punto de fuego.

Los asfaltos son materiales termoplásticos, por lo cual no puede hablarse de un punto de fusión en el término estricto de la palabra. Se establece entonces un punto de ablandamiento, determinado por la temperatura a la que alcanza un determinado estado de fluidez. Los asfaltos de diferentes tipos reblandecen a diferentes temperaturas. El punto de reblandecimiento se determina usualmente por el método de ensayo del anillo y bola.

Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas, se deja enfriar a la temperatura ambiente durante cuatro horas. Sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específicos, casi siempre de 9.51mm de diámetro. Una vez lista, se suspende la muestra sobre un baño de agua y se calienta el baño de tal manera que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esta temperatura es el punto de ablandamiento.

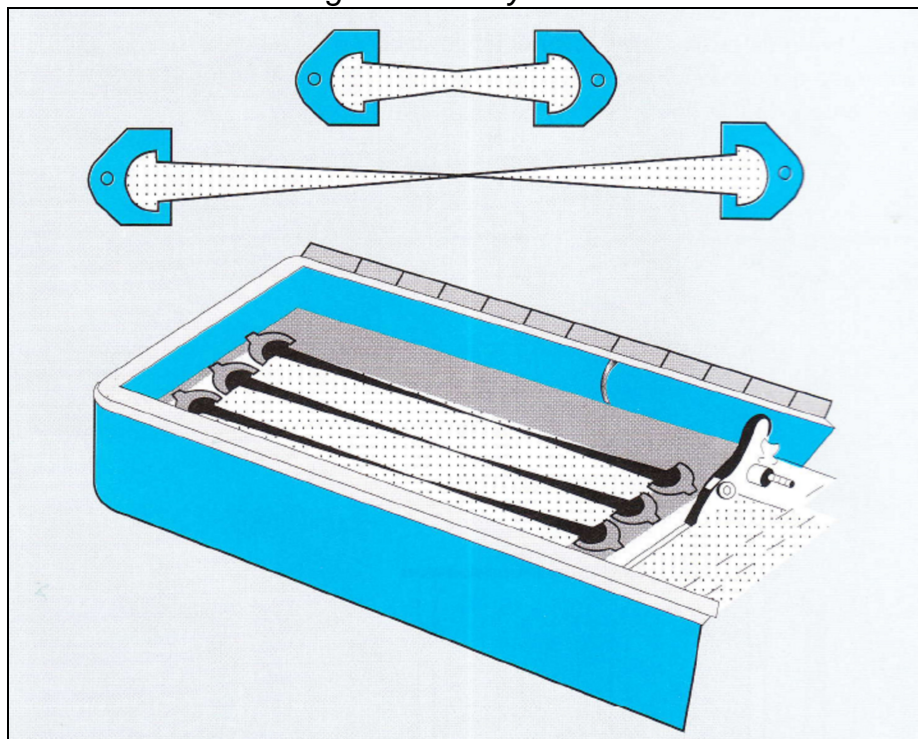
Figura 4. Ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Ductilidad. Una propiedad que tienen los asfaltos es su gran capacidad de mantenerse coherente bajo los grandes deformaciones inducidos por el tránsito, Lo ductilidad se mide en un equipo denominado ductilímetro. En el ensayo se mide lo resistencia a la ruptura por medio del alargamiento de una probeta de cemento asfáltico, estirado en sus extremos a velocidad de alargamiento de 5cm/min. (Ver figuro No. 10). Los asfaltos que poseen alto ductilidad normalmente son más adhesivos que aquellos que tienen en menor grado esto característica, pero pueden variar su consistencia rápidamente al cambiar la temperatura

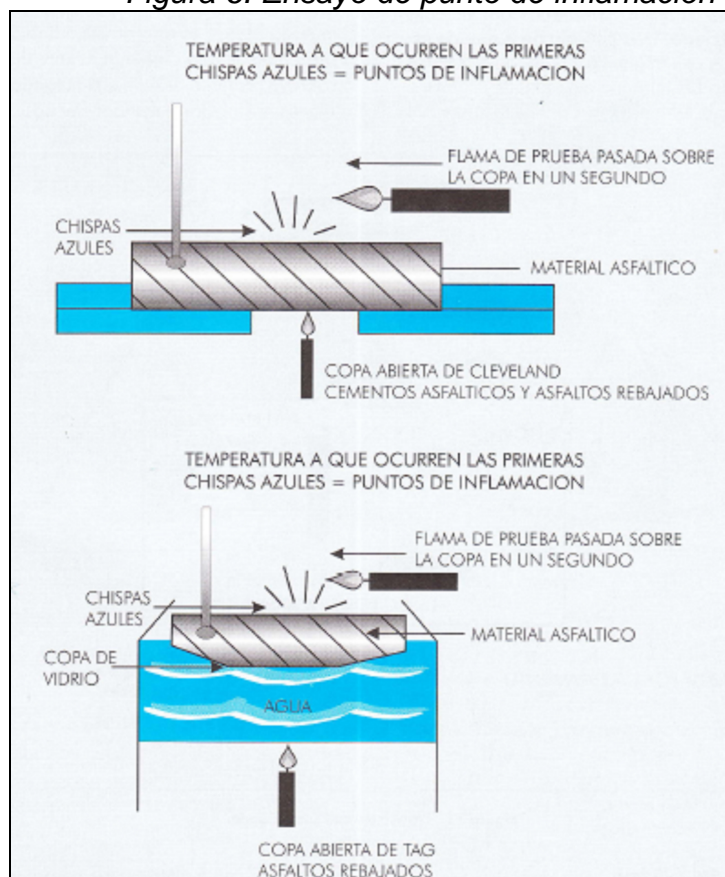
Figura 5. Ensayo de ductilidad



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Punto de inflamación. El punto de inflamación corresponde a la temperatura a la que el asfalto puede ser calentado con seguridad sin peligro a que se inflame en presencia de una llama. Esta temperatura es mas baja que la necesaria para que el material entre en combustión: por lo tanto este análisis sirve como prueba de seguridad en las plantas de asfalto.

Figura 6. Ensayo de punto de inflamación

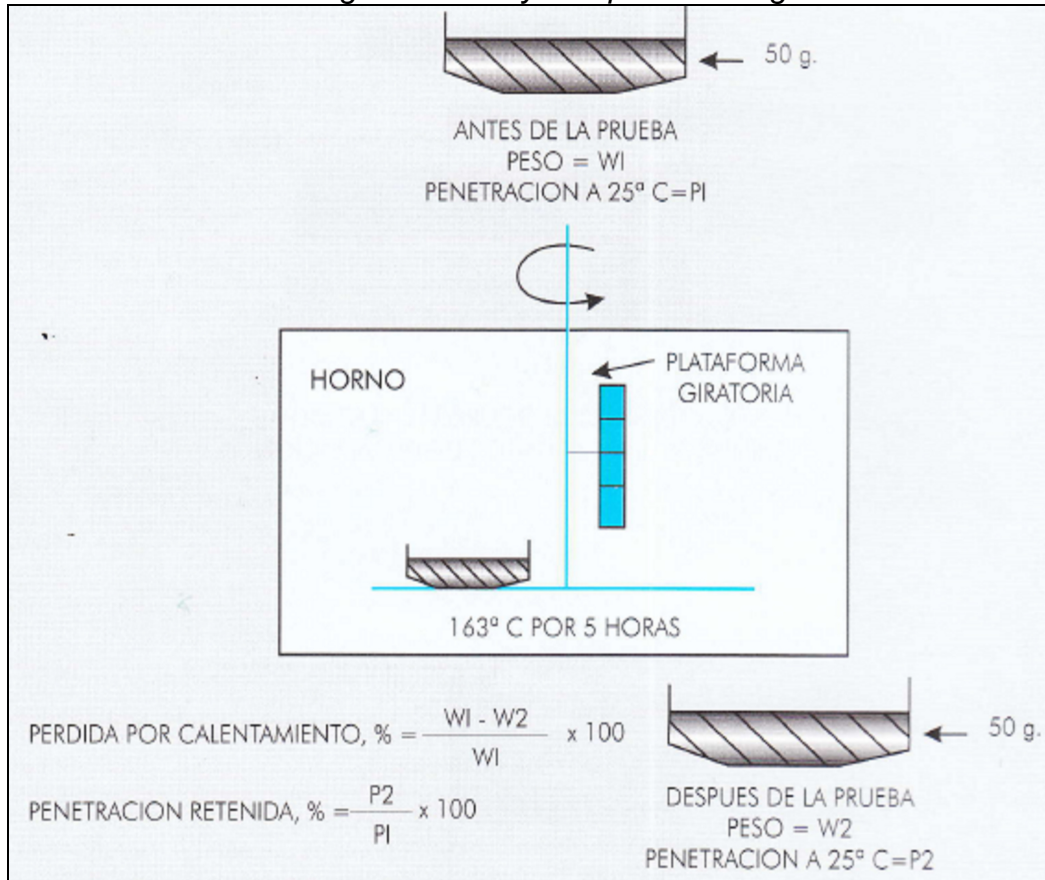


Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Ensayo en horno de película delgada. Este ensayo se emplea para prever el endurecimiento que puede esperarse se produzca en el asfalto durante las operaciones de mezclado. Esta tendencia al endurecimiento se mide por ensayos de penetración realizados antes y después del tratamiento en el horno.

Este ensayo se realiza colocando una muestra de 50 g de asfalto en un recipiente cilíndrico de 13.97cm de diámetro y 9.525mm de profundidad, con fondo plano. Así se obtiene una probeta de asfalto de un espesor aproximado a 3mm. El recipiente con la probeta se coloca en un soporte giratorio en un horno bien ventilado y se mantiene una temperatura de 163 °C durante 5 horas. Después se vierte el asfalto en un recipiente normal empleado en el ensayo de penetración. El ensayo en horno de película delgada ha sustituido al ensayo de pérdida por calentamiento.

Figura 7. Ensayo de película delgada



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Solubilidad. El ensayo de solubilidad determina el contenido de betún en el betún asfáltico. La porción de betún asfáltico soluble en sulfuro de carbono está constituida por los elementos aglomerantes activos. La mayor parte de los betunes asfálticos se disuelve en sulfuro de carbono y en tetracloruro de carbono. Como el tetracloruro de carbono no es inflamable, es el disolvente preferido en la mayor parte de los casos. La determinación de la solubilidad es sencillamente un proceso de disolución del betún asfáltico en un disolvente separando la materia insoluble. Aunque normalmente no se especifica, es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea, también, como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentaciones compactadas. El peso específico es la relación de peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos a temperaturas especificadas. O sea, la cantidad de veces que pesa más que el agua a igual temperatura. El peso específico se determina normalmente por el método del pignómetro.

Destilación. El ensayo de destilación se emplea para determinar las proporciones relativas de asfaltos y disolventes presentes en el cutback. Se emplea también para medir las cantidades de disolvente que destilan a diversas temperaturas, que indican las características de evaporación del disolvente. Estas, a su vez, indican la velocidad a que el material curará después de su aplicación. El asfalto recuperado en el ensayo puede emplearse para realizar los ensayos descritos al hablar de betunes asfálticos.

El ensayo se realiza colocando una cantidad específica de cutback en un matraz de destilación conectado a un condensador. El cutback se calienta gradualmente hasta una temperatura especificada y se anota la cantidad de disolvente destilado a diversas temperaturas. Cuando se alcanza la temperatura de 360 °C se mide la cantidad de asfalto restante y se expresa como porcentaje en un volumen de la muestra original. Para los asfaltos líquidos de curado lento el ensayo es el mismo, sólo que se hace una única medición a 360 °C.

Contenido de humedad. Se coloca en una retorta de metal un volumen medido de asfalto que se mezcla perfectamente con un disolvente de tipo nafta. La retorta está provista de un condensador de reflujo y que descarga en un colector graduado. Se aplica calor a la retorta y el agua contenida en la muestra se recoge en el colector. El volumen de agua se mide y se expresa en porcentaje del volumen de la mezcla original.

3.2.2 Materiales asfálticos obtenidos a partir de los crudos del petróleo. Lo mayor parte de los asfaltos fabricados (más del 90%) son utilizados en trabajos de pavimentación, destinando una pequeña parte a las aplicaciones industriales.

Los materiales asfálticos, de acuerdo con su aplicación se clasifican en dos grupos:

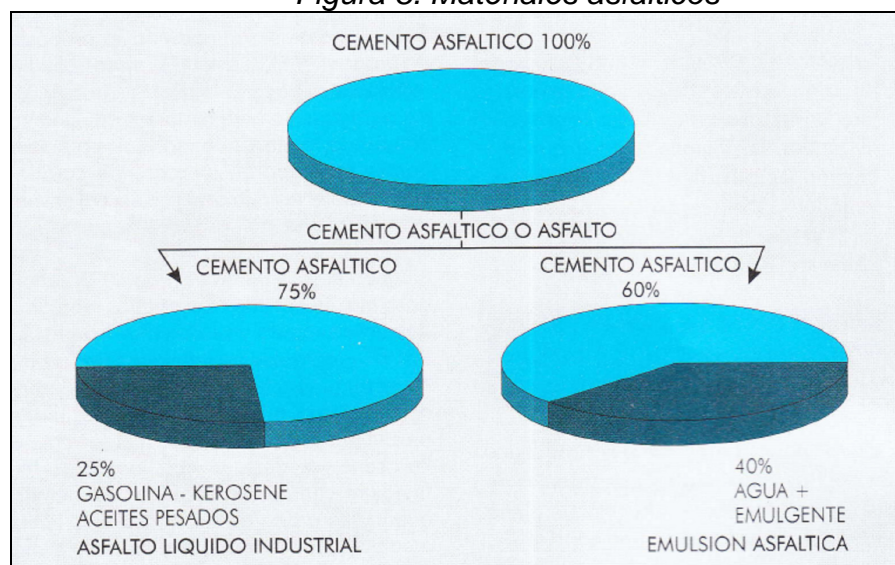
3.2.2.1 Asfaltos para pavimentación:

- a. Cementos asfálticos sólidos:** Se designan generalmente por las letras AC y son asfaltos refinados o una combinación de un asfalto refinado y un aceite fluidificante (gasóleo), de una viscosidad apropiada para los trabajos de pavimentación. Es considerado como un material ideal para los trabajos de pavimentación, pues además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de ácidos, sales y alcoholes.
- b. Asfaltos líquidos:** También llamados rebajados o cut backs, se define como material asfáltico cuya consistencia blanda o fluida hace que se salga del campo en que se aplica el ensayo de penetración cuyo límite máximo es 300.

Está compuesto por cemento asfáltico y fluidificante volátil. Se puede trabajar con los agregados a bajas temperaturas, una vez elaborada la mezcla los solvente se evaporan quedando el residuo asfáltico, el cual envuelve al agregado.

- c. **Emulsiones asfálticas:** Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles, como son el asfalto (60 70V") y el agua, al que se le incorporan una pequeña cantidad de un agente activador de superficies (0.2 – 1 %), tensoactivo o emulsificante, básico o ácido, el cual mantiene en dispersión el sistema, siendo lo fase continuo el agua y la discontinua los glóbulos de asfalto de tamaño entre 1 y 10 micrones.

Figura 8. Materiales asfálticos



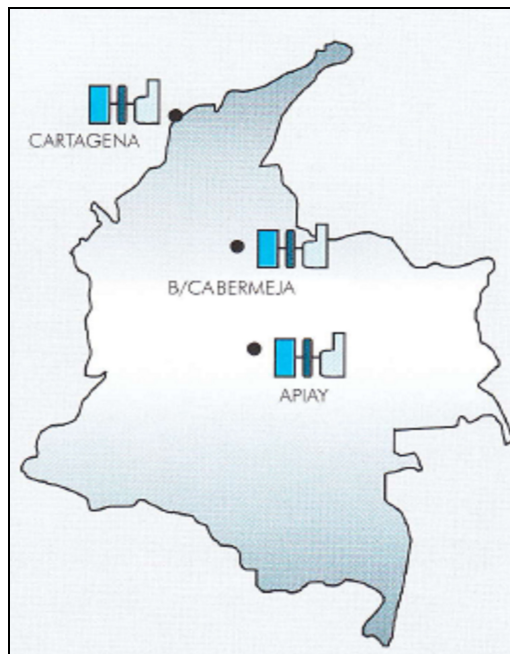
Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

3.2.2.2 Asfaltos mejorados industriales:

- a. **Asfaltos oxidados:** Los asfaltos oxidados o soplados son ligantes sometidos a un proceso de deshidrogenación y posterior polimerización, por lo acción de una corriente de aire, con el objetivo de mejorar sus características y adoptarlos o aplicaciones más especializados. Son usados generalmente poro fines industriales como impermeabilizantes, películas protectoras, etc.
- b. **Asfaltos modificados:** Generalmente se obtienen por lo combinación de polímeros y asfaltos para fines entre sí, con el propósito de obtener mezclas de mayor durabilidad y elasticidad. Más adelante se hondara sobre información para este tipo de asfaltos.

3.2.3 Asfalto producido en Colombia. Ecopetrol a través del proceso de refinación de petróleo produce una gama alta de productos entre los cuales se encuentran los cementos asfálticos. Las refinerías que producen cemento asfáltico en Colombia son: Barrancabermeja, con una capacidad de 215 mil barriles de crudo por día, Cartagena, con una capacidad de 70 mil barriles de crudo por día y Apiay con una capacidad de 2500 barriles por día.

Figura 9. Localización geográfica fuentes de Producción de cemento asfáltico



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

3.2.3.1 Características físicas. En Colombia existen tres productores de asfalto, los cuales son Barrancabermeja, Cartagena y Apiay. Las propiedades vienen estipuladas por las pruebas de penetración, punto de inflamación y punto de ablandamiento, los cuales han sido complementados con las medidas de otras características.

En general se puede afirmar que los crudos utilizados son de características apropiadas para obtener materiales asfálticos de calidad satisfactoria y que las especificaciones de calidad de los asfaltos colombianos son las mismas que se aplican a los asfaltos norteamericanos.

3.2.3.2 Asfalto de Barrancabermeja. El asfalto proviene de la mezcla de fondo de vacío de base nafténica y fondos de vacío de base intermedia, ajustando la penetración, punto de ablandamiento y punto de chispa, mediante la adición de

gasóleo de los mismos crudos. En la tabla 1 se indican las principales características físicas promedias del asfalto que se obtiene en la refinería de Barrancabermeja.

Tabla 1. Características físicas - cemento asfáltico de Barrancabermeja

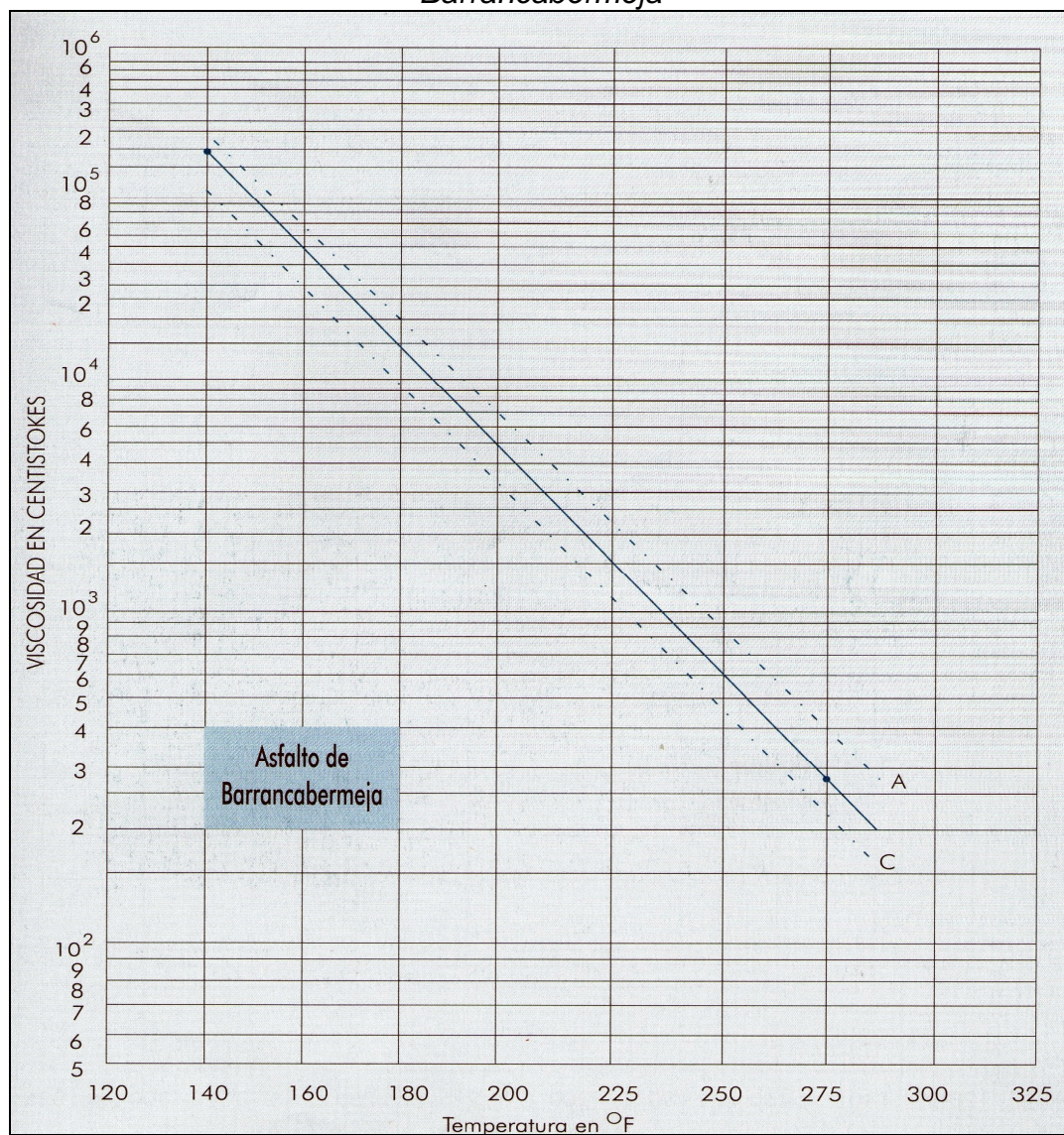
ENSAYO	METODO DE ENSAYO (ASTM)	VALORES PROMEDIO
Peso específico a °c	D 70	10,141
Penetración, 100 g, a °25c, (0.1 mm)	D 5	64,75
Punto de chispa, (°c)	D 92	335
Ductilidad a 25 °c, (cm)	D 113	100
Punto de ablandamiento (anillo y bola) °c	D 36	45,2
Viscosidad cinemática, 135 °c (cst)	D 2170	303, 01
Viscosidad absoluta a 60 °c (poises)	D 2171	1370,64
Efecto de mezclado en planta		
Ensayo al horno de película delgado	D 1754	
Penetración, 100 g, a °25c, (0.1 mm)		36,33
Punto de ablandamiento °c		50,60
Viscosidad absoluta a 60 °c (poises)		3313,11
Variación de masa (%)		0,63

Fuente: Manual del asfalto. Instituto norteamericano del asfalto.

3.2.3.3 Características reológicas. La reología hace referencia a la variación de las propiedades de flujo a través del tiempo de aplicación de una carga e incluye una propiedad muy importante como es la viscosidad.

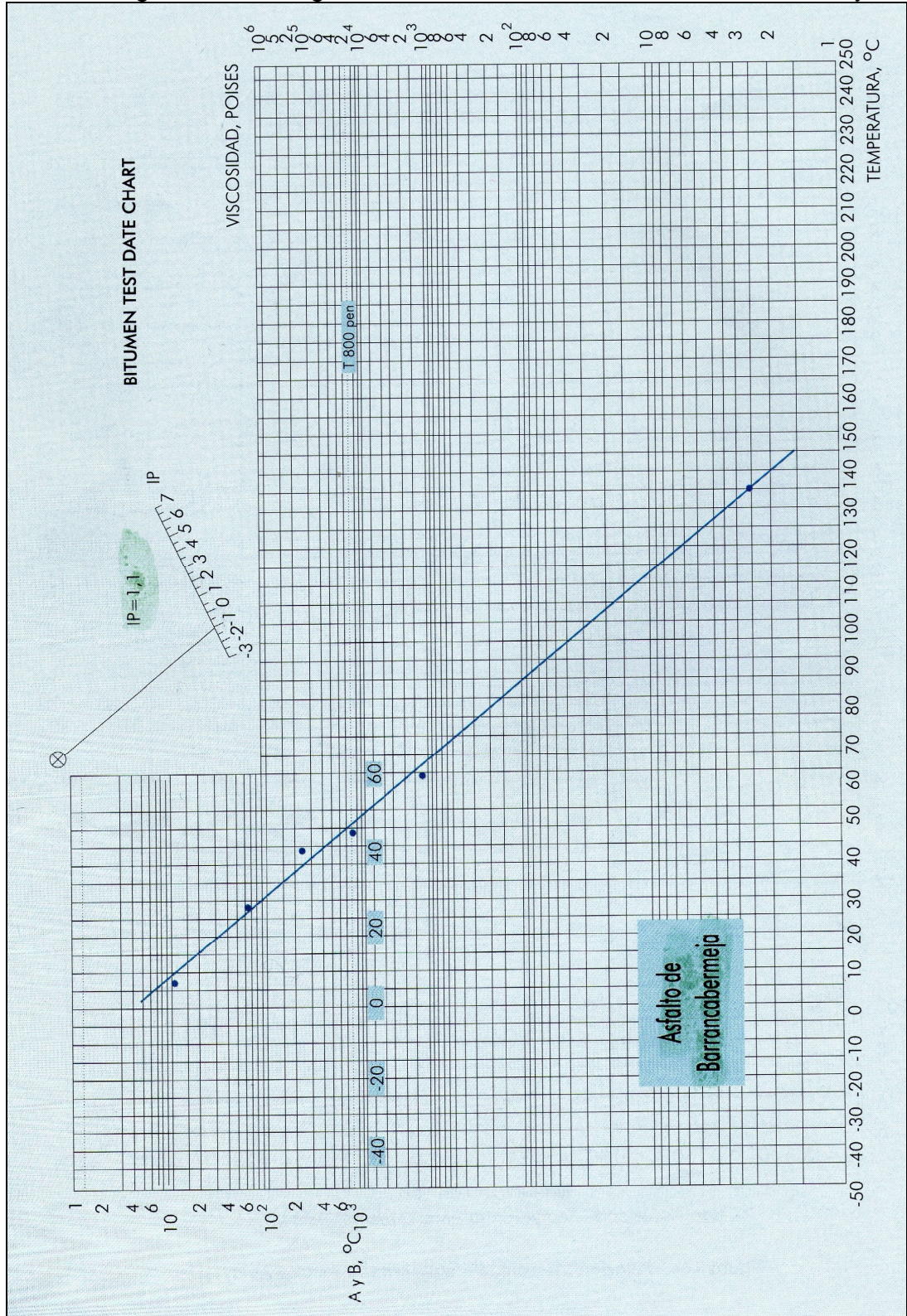
La viscosidad del asfalto varia con la temperatura, a altas temperaturas el asfalto se considera como un fluido viscoso, mientras que a temperaturas bajas se considera un material solido con propiedades elásticas. En la figura No 10 se indica la variación de la viscosidad del asfalto con la temperatura.

Figura 10. Relación de viscosidad Vs temperatura asfalto de Barrancabermeja



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

Figura 11. Nomograma de heukelon, asfalto de Barrancabermeja



Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

3.2.3.4 Especificaciones para cementos asfálticos. El cemento asfáltico que se produce en Colombia se encuentra dentro de las exigencias del Instituto Nacional De Vías, basadas en el ensayo de penetración a 25 °C.

En la tabla No 2 se pueden observar las especificaciones para cementos asfálticos por parte del Instituto Nacional de Vías.

Tabla 2. Especificaciones para cementos asfálticos INV 400 / 410

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO INV	60-70		80-100	
		MIN	MAX	MIN	MAX
Penetración 25 C, 100 g, 5 seg (0.1 mm)	E-706	60	70	80	100
Índice de penetración	E-724	-1	1	-1	1
Pérdida por calentamiento en película delgada (163 C, 5 h) (%)	E-721	-	1.0	-	1.0
Ductilidad 25 C, 5 cm/min) (cm)	E-702	100	-	100	-
Penetración al residuo luego de la perdida por calentamiento en % de la penetración original (%)		75	-	75	-
Solubilidad en tricloroetileno, (%)	E-713	99	-	99	-
Contenido de agua, (%)	E-704	-	0.2	-	0.2

Fuente: Instituto Nacional de Vías.

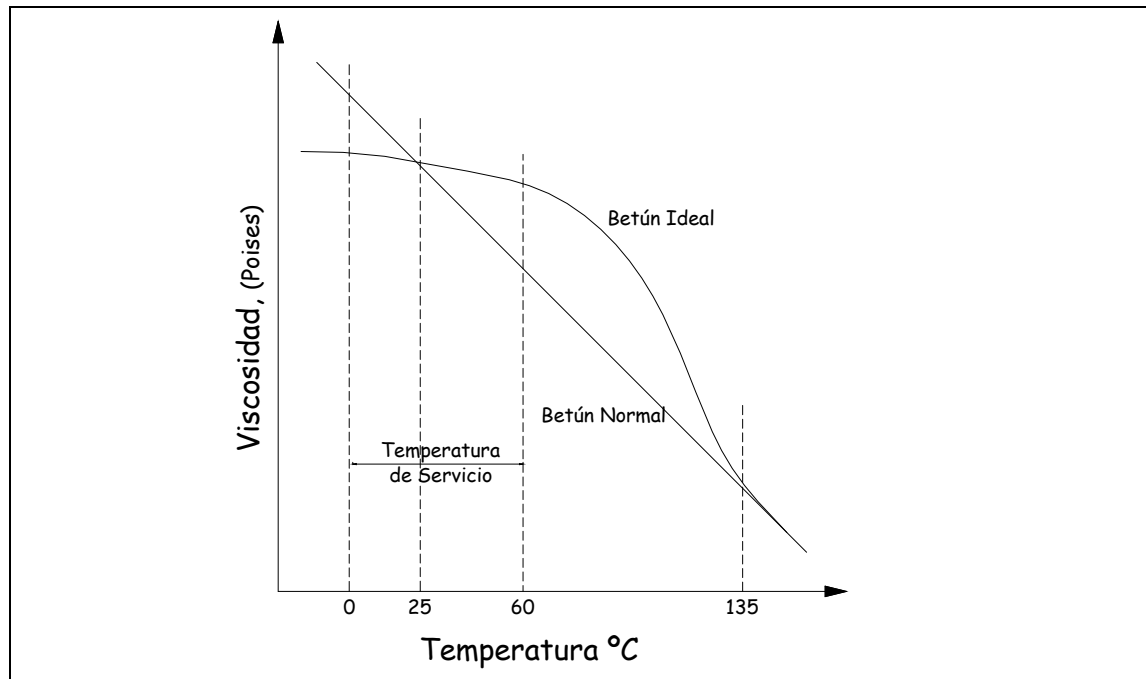
3.2.4 Asfaltos modificados:

Generalidades: Pese a las bondades del asfalto empleado en la pavimentación de vías terrestres, se busca alternativas de mejoramiento de sus características, esto, debido a las solicitudes climáticas y de tránsito de cualquier carretera.

El asfalto ideal sería aquél que mantuviera su consistencia, se mantenga más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio y luego redujera drásticamente su consistencia, convirtiéndose en un fluido de baja viscosidad, que facilita las operaciones de fabricación y de compactación de las mezclas. Los asfaltos convencionales distan mucho de presentar un comportamiento ideal con respecto a la temperatura, de ahí que se han hecho numerosos intentos para

modificar sus propiedades, mediante la incorporación de materiales de distinta naturaleza.² (Ver figura 11).

Figura 12. Susceptibilidad térmica de un betún ideal y uno convencional



Fuente: AGNUSDEI, Jorge. *Asfaltos modificados y sus aplicaciones*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997.

Requisitos de los modificadores:

- ✓ Debe ser compatible con el asfalto.
- ✓ Térmicamente estable con las temperaturas óptimas, para conseguir un mezclado efectivo con el asfalto y posteriormente con los agregados.
- ✓ No debe incrementar la viscosidad del ligante a altas temperaturas que dificulten la fabricación de la mezcla asfáltica.
- ✓ El agente modificador debe poseer resistencia al envejecimiento por acción del tiempo y, además, no debe interferir en las propiedades de envejecimiento del propio asfalto.

² AGNUSDEI, Jorge. *Asfaltos modificados y sus aplicaciones*. En: Primer simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997

Clases de modificadores:

Existen muchas clases de modificadores para los cementos asfálticos y sus aplicaciones como ligante e impermeabilizante; a continuación, se presentan algunos de los más empleados: (Ver tabla 3).

Tabla 3. Clases de modificadores

TIPO		EJEMPLO	
RELLENOS		Filler mineral	Calcáreo Cemento Pórtland Cenizas Volantes
		Negro de humo	
		Fibras	Asbestos Polipropileno Vidrio
P O L I M E R O S	CAUCHOS	Látex natural Látex sintético Copolímeros en Block Caucho regenerado	Caucho natural Estireno Butadieno (SBR) Estireno Butadieno Estireno (SBS) Peladura de Neumáticos
	PLASTICOS		Polietileno (PE) Polipropileno (PP) Etil Vinil Acetato (EVA) Polivinilo de cloruro (PVC)
HIDROCARBUROS		Asfaltos naturales	Asfaltitas

Fuente: AGNUSDEI, Jorge. *Asfaltos modificados y sus aplicaciones*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997.

ASFALTO CARIPHALTE PM III

Tipo: Cemento asfáltico modificado con polímeros grado de penetración 0,1mm.

Uso: Confección de mezclas asfálticas en caliente para pavimentación.

Naturaleza Química: Combinación completa de compuestos orgánicos de alto peso molecular, principalmente hidrocarburos obtenidos a través de procesos realizados a residuos de refinación de crudos de petróleo, el cual ha sido mezclado con polímeros del tipo SBS.

Características principales:

- ✓ Cariphalte PM cumple con las especificaciones vigentes según norma INVIAS 2007, arti 400, y especificaciones IDU – ET – 2005. Tabla 202.1
- ✓ Es un asfalto modificado con polímeros y aditivos los cuales le confieren propiedades elásticas, mejoran la resistencia a la fatiga, aumenta la adhesividad.
- ✓ Menor susceptibilidad térmica lo cual determina mejor comportamiento en un amplio rango de temperaturas de servicio. Así, a bajas temperaturas de servicio Cariphalte Pm es flexible, elástico y resistente al agrietamiento. Para temperaturas de servicio elevadas este ligante es más viscoso, con lo cual resiste mejor las deformaciones.
- ✓ Mezclas estables que ofrecen una mayor resistencia a deformaciones permanentes por ahuellamiento.
- ✓ Mejora la resistencia a la reflexión de grietas en caso de colocación de carpetas asfálticas sobre superficies rígidas y agrietadas.
- ✓ Mayor adhesividad sobre los agregados pétreos.
- ✓ Almacenamiento estable.

Aplicaciones.

Las características especiales que confieren los polímeros a Cariphalte Pm permite la producción de mezclas asfálticas con aplicaciones como:

- ✓ Pavimentos asfálticos sometidos a severas temperaturas de servicio, tales como zonas de alta montaña
- ✓ Carpetas asfálticas sobre pavimentos rígidos agrietados o sobre bases tratadas con cemento.
- ✓ Carpetas sometidas a grandes repeticiones de carga en que se proveen altas deformaciones por tracción.
- ✓ Se puede utilizar para fabricar emulsiones asfálticas, con la ayuda de tensoactivos adecuados.
- ✓ Es utilizado como materia prima en la elaboración de impermeabilizantes.

Usos de los asfaltos modificados:

- ✓ Mezclas drenantes. Son mezclas caracterizadas por un alto contenido de vacíos, superior al 20%, que se emplean como carpeta de rodamiento. Su alta porosidad permite que el agua fluya a través de forma tal que, en épocas lluviosas, se evita la formación de una película continua de agua sobre la superficie del pavimento. Adicionalmente, los pavimentos porosos absorben parte del ruido producido por el contacto neumático-pavimento por lo que la sonoridad, tanto en el interior de los vehículos como en el exterior, se ve claramente reducida.

- ✓ Micropavimentos. Son mezclas de granulometría discontinua destinadas a ser empleadas como finas carpetas de rodamiento inferiores a 3 centímetros. Se debe tener un gran cuidado en la selección del tipo y tamaño de los agregados minerales. Estas mezclas por lo reducido de su espesor y los esfuerzos tangenciales que han de soportar, necesitan cementos asfálticos con gran capacidad de resistencia ante solicitaciones de deformación elástica.
- ✓ Riegos de sellado, de impermeabilización o de liga. Similares a los sellados tradicionales, los asfaltos modificados permiten alcanzar mejores niveles de modificación del cemento asfáltico, por lo que su empleo está indicado en situaciones donde la exigencia del tránsito sea extrema.
- ✓ Mezclas de módulo elástico más alto. Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales en las que el cemento asfáltico empleado les confiere un módulo elástico superior al normal. La principal ventaja que se deriva del empleo de estas mezclas es que para un mismo espesor de capa, aportan una mayor capacidad portante.
- ✓ Mezclas resistentes a las deformaciones plásticas. Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales donde el cemento asfáltico empleado minimiza el problema de las deformaciones plásticas, esto es, de la formación de ahuellamientos.
- ✓ Mezclas resistentes a la fatiga. La mejora de la resistencia a la fatiga es una cualidad buscada en todo tipo de mezclas, dado que implica directamente una mayor durabilidad. Para mejorar esto, el método más adecuado es aumentar el contenido de asfalto en las mezclas y disminuir la viscosidad del cemento asfáltico.
- ✓ Soluciones antireflexión de fisuras. Constituyen un conjunto de técnicas de interposición destinadas a eliminar o minimizar el problema de la reflexión de las fisuras de las capas inferiores a través de las capas asfálticas superiores.
- ✓ Además de todos los usos anteriores, los asfaltos modificados se emplean en: riegos de impregnación de geotextiles, sellado de fisuras por técnicas de puenteado y/o colmatación, tratamientos superficiales, simples o dobles, lechadas asfálticas y microaglomerados en frío, capas de rodamiento de macrotextura profunda, juntas elásticas de puentes.

Polímeros:

El término proviene del griego poli (muchos) y meros (parte), un polímero es una sustancia compuesta de muchas unidades repetidas (meros) conectadas por enlaces covalentes. La materia prima para la producción de un polímero es un monómero, es decir una molécula con una unidad de repetición. Para que un

polímero exista es necesario que los monómeros se agrupen para formar una cadena polimérica, así cada monómero debe ser capaz de combinarse con otros dos monómeros como mínimo para que exista una reacción de polimerización. La mayoría de los polímeros están basados en un esqueleto de carbono, por lo que son materiales orgánicos. En el siglo XVI con el descubrimiento de América, españoles y portugueses tuvieron el primer contacto con un material extraído del árbol nativo (*Vahea Brasiliensis*), este era producto de la coagulación del caucho, el cual presentaba características de gran elasticidad y flexibilidad desconocidas en ese entonces, al ser llevado a Europa adquiere el nombre de hule o caucho. En 1846 Christian Schönbien (químico alemán) mezcla algodón con ácido nítrico dando origen a la nitrocelulosa que fue el primer polímero semisintético. Años más tarde, (1862) Alexander Parker (inglés) patenta la nitrocelulosa, también conocida como parqueta.

El primer polímero sintético fue producido por Leo Baekeland en 1912 a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, dando origen a un producto sólido (resina fenólica) conocido como baquelita. Todos estos compuestos fueron tratados como macromoléculas y en 1953 el creador de esta teoría el científico alemán Hermann Staudinger obtuvo el Premio Nobel de Química.

En Norteamérica, (1910) los laboratorios de la casa Du Pont, el químico W. H. Carothers descubre por medio de reacciones de condensación de poliamidas un polímero al que bautiza con el nombre de Nylon. Con la segunda guerra mundial (1939 – 1945) hubo un gran auge en el campo de investigación de los polímeros sintéticos, un ejemplo es el descubrimiento del hule sintético (SBR) en Alemania.

Hoy en día, el uso de los polímeros se ha expandido a varias aplicaciones debido a su baja densidad, alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y otras propiedades importantes.

Definición:

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización. Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas.

Elaboración de los polímeros:

La utilización comercial de un nuevo producto como el caso de los polímeros depende del costo y sus propiedades. El costo, depende básicamente de su proceso de polimerización y la disponibilidad de los monómeros. Así, las principales fuentes de materia prima para la producción de monómeros son:

- ✓ Productos Naturales.
- ✓ Hulla o Carbón Mineral.
- ✓ Petróleo.

Asfaltos modificados con polimeros:

La más antigua referencia que se encuentra está en las patentes británicas publicadas en el año de 1843, siendo una de las más requeridas la del señor Thomas Hancock, famoso por su descubrimiento de la vulcanización del caucho. En 1943, se listaron más de 116 referencias entre patentes y artículos técnicos acerca de mezclas asfálticas con elastómeros. El mayor uso de estas mezclas es en capas de rodadura, juntas sellantes e impermeabilizaciones. En términos de vías pavimentadas con adición de plásticos para aumentar la resistencia, se puede nombrar varias construidas en Ámsterdam, Holanda, en 1936, las cuales soportaron todo el tránsito pesado de la invasión a territorios germanos y su posterior retirada en la segunda guerra mundial, la cual impresionó por su perfecto desempeño hasta el punto de crear exhaustivas recomendaciones para su construcción posterior en Europa y Norteamérica.³

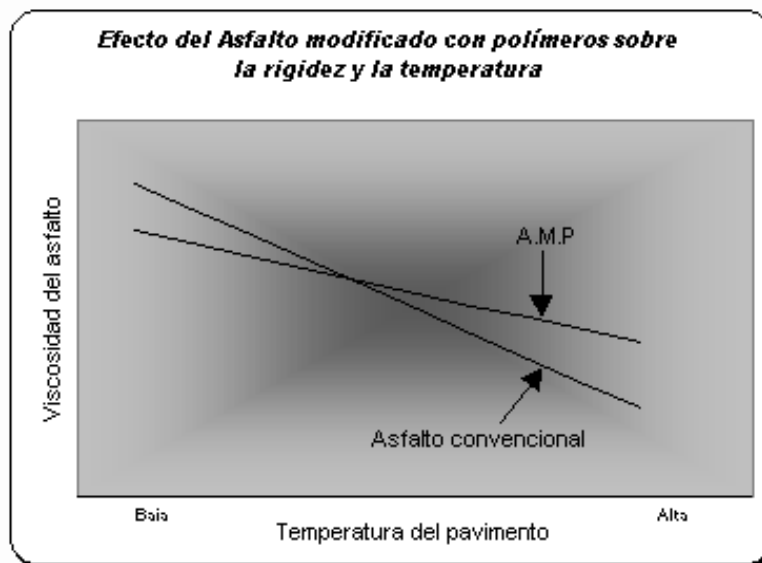
Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones, provocan que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros, se asume el riesgo de causar fisuras por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas. Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo, las nuevas capas superficiales delgadas serían menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de tránsito.

³ REYES LIZCANO Fredy y REYES ORTIZ Oscar. Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una capa de asfalto con desperdicios plásticos. En: Décimo primer simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997

La idea de modificación se basa en la incorporación de moléculas poliméricas en asfalto y la creación de una nueva estructura elástica dentro del asfalto debido a la distribución de las sustancias mencionadas, a un nivel molecular. El asfalto modificado obtiene las propiedades más adecuadas y la mayor resistencia contra el proceso de envejecimiento por lo tanto hace rentable su producción.

En las figuras 18 y 19, se muestra la relación general entre viscosidad y temperatura y el efecto del asfalto modificado con polímeros sobre la rigidez y la temperatura.

Figura 13. Efecto del asfalto modificado con polímeros sobre la rigidez y la temperatura.



Fuente: monografías. Ibíd.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta el polímero sólo actúa como un filler; y, por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia. Pero la modificación con polímeros tiene algunos problemas adicionales, los cuales se reflejan en la estabilidad y compatibilidad de un polímero con asfalto; por esa razón, se han incrementado las investigaciones de modificación química, ya que los asfaltos modificados químicamente son más estables y presentan mejores características físico mecánicas. Las tecnologías de este tipo de modificación se siguen desarrollando. Paralelamente, se crean nuevos copolímeros con grupos funcionales activos y se escogen los activadores para mejorar la compatibilidad asfalto polímero.

La adición de polímeros mejorados químicamente, provoca un aumento de los maltenos (aceites), que se refleja en la reducción de la viscosidad y un incremento

de la penetración; por lo tanto, en su mayor parte, pasa la modificación física, es decir no se forman enlaces químicos.

Estos polímeros mezclados con materiales asfálticos producen cambios importantes que se reflejan en un aumento de la plasticidad, es decir, facilidad al momento de la aplicación; reducción de la susceptibilidad térmica (soporta el aumento o disminución de las temperaturas) y aumentos de adhesividad.

Finalmente, aumenta su elasticidad a temperaturas bajas, aumenta su viscosidad a temperaturas de compactación y mezclado y reduce la deformabilidad.

“Los métodos para adicionar polímeros a los asfaltos y lograr su modificación son dos: en forma de látex y en estado sólido. Este último método requiere de la molienda del polímero o su acondicionamiento y el sometimiento a temperaturas y agitación para producir una mezcla uniforme con el asfalto”⁴.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas (pellets) o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

Ventajas⁵

- ✓ Disminuye la susceptibilidad térmica, es decir, se obtienen mezclas más rígidas a Altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento y se tienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- ✓ Disminuye la exudación del asfalto debido a la mayor viscosidad de la mezcla, su menor tendencia a fluir y su mayor elasticidad.
- ✓ Mayor elasticidad debido a los polímeros de cadenas largas.
- ✓ Mayor adherencia debido a los polímeros de cadenas cortas.
- ✓ Mayor cohesión debido a que el polímero refuerza la cohesión de la mezcla.
- ✓ Mejora la trabajabilidad y la compactación por la acción lubricante del polímero o de los aditivos incorporados para el mezclado.
- ✓ Mayor impermeabilización en los sellados bituminosos, pues absorbe mejor los esfuerzos tangenciales, evitando la propagación de las fisuras.

⁴ ASFALTOS MODIFICADOS.

⁵ TONDA Mauricio. Asfaltos modificados con polímeros. Disponible en Internet, www.monografías.com

- ✓ Mayor resistencia al envejecimiento ya que mantiene las propiedades del ligante, pues los sitios mas activos de la mezcla asfáltica son ocupados por el polímero.
- ✓ Mayor durabilidad, los ensayos de envejecimiento acelerado en laboratorio demuestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades.
- ✓ Mejora la vida útil de las mezclas con menos trabajos de conservación, con un menor costo en su mantenimiento.
- ✓ Permiten mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- ✓ Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- ✓ Disminuye el nivel de ruidos, sobre todo en mezclas abiertas.
- ✓ Permite la reducción de hasta el 20% de los espesores debido a su mayor módulo de rigidez.
- ✓ Permite mejor sellado de las fisuras.
- ✓ Brinda mayor resistencia a la flexión en la cara inferior de la carpeta asfáltica.
- ✓ No requiere equipos especiales para su puesta en obra.

Desventajas⁶

- ✓ Alto costo del polímero.
- ✓ Dificultades del mezclado, no todo los polímeros son compatibles con el asfalto base; sin embargo existen aditivos correctores.
- ✓ Se debe extremar los cuidados al momento de elaborar la mezcla.
- ✓ Los agregados no deben estar húmedos ni sucios.
- ✓ La temperatura mínima de puesta en obra es de 145 °C, debido a su rápido endurecimiento.

3.2.5 Mezclas asfálticas. Una mezcla asfáltica se compone de la combinación de agregados mezclados uniformemente y recubiertos con cemento asfáltico.

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

Las mezclas asfálticas pueden ser en caliente o en frío, y para que tengan un buen desempeño, deben presentar las siguientes propiedades:

- ✓ Estabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir las deformaciones impuestas por las cargas vehiculares.
- ✓ Durabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir los efectos dañinos del aire, el agua, la temperatura y el tránsito.
- ✓ Flexibilidad: Es la capacidad de la mezcla de flexionarse levemente, sin agrietarse y acomodarse a los movimientos de la base o la subrasante.

⁶ TONDA. Op. cit., p. 60.

- ✓ Resistencia a la fatiga: Es la capacidad de la mezcla de resistir la flexión repetida generada por el paso de los vehículos.
- ✓ Resistencia al deslizamiento: Es la capacidad de la mezcla para ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos al frenar.
- ✓ Permeabilidad: Es la resistencia de la mezcla al paso del aire y del agua a través de la capa asfáltica.
- ✓ Trabajabilidad: Es la facilidad que ofrece la mezcla para ser extendida y compactada.

Componentes de una mezcla asfáltica:

Las mezclas asfálticas están compuestas por agregados, asfalto y vacíos de aire. La calidad de la mezcla asfáltica está directamente ligada con las propiedades y dosificación de los agregados y del cementante, como también a la cantidad de los vacíos de aire.

Las mezclas asfálticas constituyen la parte superior de los pavimentos flexibles y proporcionan un medio de distribución de carga y de impermeabilización que protege la estructura de pavimento de los efectos adversos del agua y de la acción del tránsito. Se emplean para la construcción de pavimentos nuevos, para incrementar la resistencia o mantener una calidad satisfactoria en la superficie de un pavimento existente, o para mejorar la resistencia al deslizamiento.

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

a. Agregados. Es una mezcla, natural o no, de piedra o gravas trituradas, escorias, arenas finas, arenas gruesas y llenante mineral. Puede contener todos o algunos de estos materiales. Los agregados deben ser limpios, duros y durables. Los agregados son los responsables de la capacidad de carga o resistencia de la mezcla y constituyen entre el 90% y 95% en peso de la mezcla y entre el 75% y 85% en volumen de la misma.

La idoneidad de los agregados para su empleo en mezclas asfálticas se determina por sus características de: granulometría, resistencia al desgaste, estabilidad, limpieza, fricción, propiedades de la superficie (rugosidad), forma de las partículas (trabajabilidad y compactabilidad), absorción y afinidad con el asfalto.

b. Asfalto. El asfalto es útil dado que es un cementante altamente impermeable y durable. Es resistente a la acción de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. También es altamente viscoso a temperatura ambiente y puede licuarse aplicando calor, un disolvente o emulsificándolo en agua.

El uso del asfalto en vías puede tener dos campos de aplicación, el diseño de mezclas asfálticas y la elaboración y colocación de las mismas. Francis N. Hveem clasificó las propiedades de los materiales asfálticos de acuerdo con:

- ✓ La Consistencia (fluidez, viscosidad o plasticidad).
- ✓ La Durabilidad o resistencia al envejecimiento.
- ✓ La Velocidad de Curado.
- ✓ La Resistencia a la acción del agua.

Así mismo, el asfalto debe ser puro y se deben tener las precauciones de seguridad adecuadas para su manejo.

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

Diseño de mezclas asfálticas:

El diseño de una mezcla asfáltica consiste en establecer las proporciones óptimas de los agregados y el ligante que producirán una mezcla que pueda ser extendida y compactada en una superficie uniforme de textura adecuada, que sea resistente a la deformación, que soporte sin agrietarse las deflexiones elásticas repetidas del pavimento, y que sea impermeable al agua y durable.

La cantidad de asfalto está influenciada por la cantidad de arena y, en especial, del llenante (filler). Se ha encontrado que bajo condiciones normales y entre límites razonables, la adición del llenante reduce la cantidad de asfalto para la mezcla. El filler puede ser natural o de aporte, en este último caso puede ser cemento Pórtland, polvo calizo de trituración o cualquier material inerte. La adición de un llenante satisfactorio incrementa la estabilidad de la mezcla asfáltica. Cantidades excesivas de llenante pueden reducir la durabilidad de la mezcla asfáltica debido a la reducción de la película de asfalto sobre los agregados.

Los contenidos de llenante nunca deben exceder el 10% del peso total de los agregados en mezclas asfálticas y el 20% para mezclas de arena asfalto. Usualmente, consideraciones prácticas y ejecuciones óptimas indican cantidades de llenante del 5% para mezclas asfálticas y del 10% para mezclas de arena asfalto. Las mezclas deben diseñarse empleando un llenante comercial que cumpla con las especificaciones ASTM.

La granulometría está establecida por normas o especificaciones que determinan husos o bandas granulométricas, aunque el diseño está basado más en

consideraciones volumétricas y en las características de compactación y empaquetamiento de los agregados.

Los métodos de diseño primordialmente son empíricos, entre los más conocidos se tienen el Marshall, Hveem, el derivado del SHRP, Superpave (EEUU); y el Duriez (Francia), entre otros.

3.2.6 Comportamiento dinámico de las mezclas asfálticas. El módulo dinámico del pavimento es una propiedad importante del material en cualquier procedimiento mecanístico de diseño y análisis de pavimentos flexibles. De hecho, el módulo resiliente es la propiedad del material requerida en el procedimiento empírico de diseño de la Guía de Diseño AASHTO 1993 (Ref. 1) y es uno de los principales parámetros de entrada en la Guía de Diseño Mecanístico – Empírico 2002 (Ref. 2). El módulo se ha constituido como un elemento fundamental en el diseño de pavimentos; por lo que ha sido introducido como un elemento que caracteriza de manera racional el comportamiento esfuerzo – deformación de los materiales que conforman la estructura.

El módulo en mezclas asfálticas es altamente sensible a la temperatura y a la razón de aplicación de carga. Debido a que el asfalto es un material viscoelástico, el módulo de una mezcla asfáltica puede aproximarse a un material granular sin compactar a altas temperaturas y razón lenta de aplicación de carga (por ejemplo, velocidades bajas de vehículos). Por otro lado, a temperaturas bajas y razones pequeñas de aplicación de carga, el material puede tener un comportamiento elástico con valores de módulo cercanos a materiales de concreto de cemento Portland.

De esta manera el módulo es función de la temperatura, razón de carga, envejecimiento y características de la mezcla como viscosidad y contenido del ligante, granulometría del agregado y vacíos. Para contabilizar los efectos de la temperatura y la razón de carga en el módulo de la mezcla asfáltica, se desarrolló el concepto de la curva maestra. La curva maestra del módulo utiliza principios de superposición tiempo de carga (frecuencia)-temperatura, de esta manera puede describirse la dependencia del material con el tiempo; lo cual permite al ingeniero diseñador tomar en cuenta, no solamente la temperatura propia de la zona, sino también la velocidad de los vehículos, en la respuesta estructural que la mezcla asfáltica pueda brindar.

En las consideraciones de diseño, la Guía de Diseño AASHTO 2002 emplea varios niveles para el diseño dependiendo de la calidad de la información existente y conforme a la importancia relativa, magnitud y costos del proyecto. El Nivel 1 involucra normalmente la compresión y análisis de ensayos de laboratorio y campo del proyecto en particular. En contraste, el Nivel 3 requiere una estimación del diseñador de las principales propiedades de los materiales basada en la

experiencia y con pocos o ningún ensayo. El Nivel 2, es un nivel intermedio en el cual se cuenta con estimaciones obtenidas de correlaciones con otros materiales que son medidas en laboratorio o en campo.

3.2.7 Pavimentos de concreto asfáltico:

Generalidades: Las superficies de rodadura asfáltica constituyen la parte superior de un pavimento flexible, la cual estará sometida a la acción directa del tránsito vehicular y a las variaciones permanentes del clima. Se emplean para su construcción, materiales granulares y productos bituminosos tales como: cemento asfáltico, emulsiones asfálticas, asfaltos fluidificados, crudos pesados especiales y asfaltos naturales.

“El asfalto puede definirse como un material oscuro, que puede tener consistencia líquida, semisólida o sólida compuesta principalmente de hidrocarburos casi en su totalidad solubles con sulfuro de carbono. Proceden de yacimientos naturales o como refinación de determinados crudos del petróleo; sus cualidades de aglutinantes y propiedades físicas y químicas los hacen aptos para un sinnúmero de aplicaciones”⁷.

Las características aglutinantes e impermeabilizantes de los materiales bituminosos son aprovechadas desde hace mucho tiempo, se tiene conocimiento de su empleo alrededor del año 3800 a.C. en Mesopotamia.

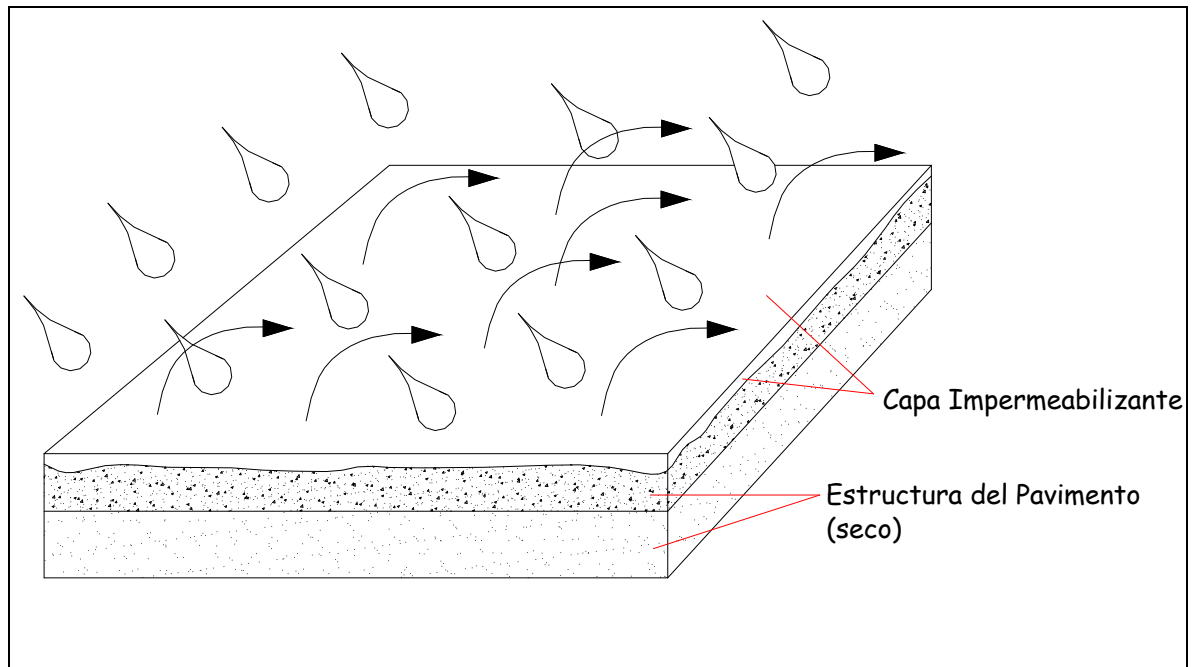
Aprovechando dichas propiedades, los materiales bituminosos cumplen satisfactoriamente las siguientes funciones en la construcción de estructuras de pavimento⁸: (Ver figura 13).

- ✓ Impermeabilizar la superficie de la estructura, evitando la penetración de lluvia.
- ✓ Impermeabilizar la masa de determinadas capas de la estructura del pavimento, haciéndolas poco sensibles a la acción del agua; tal es el caso de las capas de base asfáltica o de pavimentos asfálticos de gran espesor.
- ✓ Proveer cohesión a los materiales granulares empleados, dotando a la capa de una gran resistencia al desgaste, muy útil en capas de superficie, además de una gran resistencia mecánica, mejorando sensiblemente la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

⁷ ECOPETROL Y UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Cartilla para el manejo de los asfaltos colombianos. Popayán. 1997.

⁸ ARENAS LOZANO Hugo, Teoría de los Pavimentos, Parte 1. Universidad del Cauca, Popayán, p.143.

Figura 14. Comportamiento de una carpeta de pavimento asfáltico en la estructura de un pavimento flexible



Fuente: ARENAS, Op. cit., p.144.

Equipos, caracterización de materiales, diseño y evaluación de mezclas:

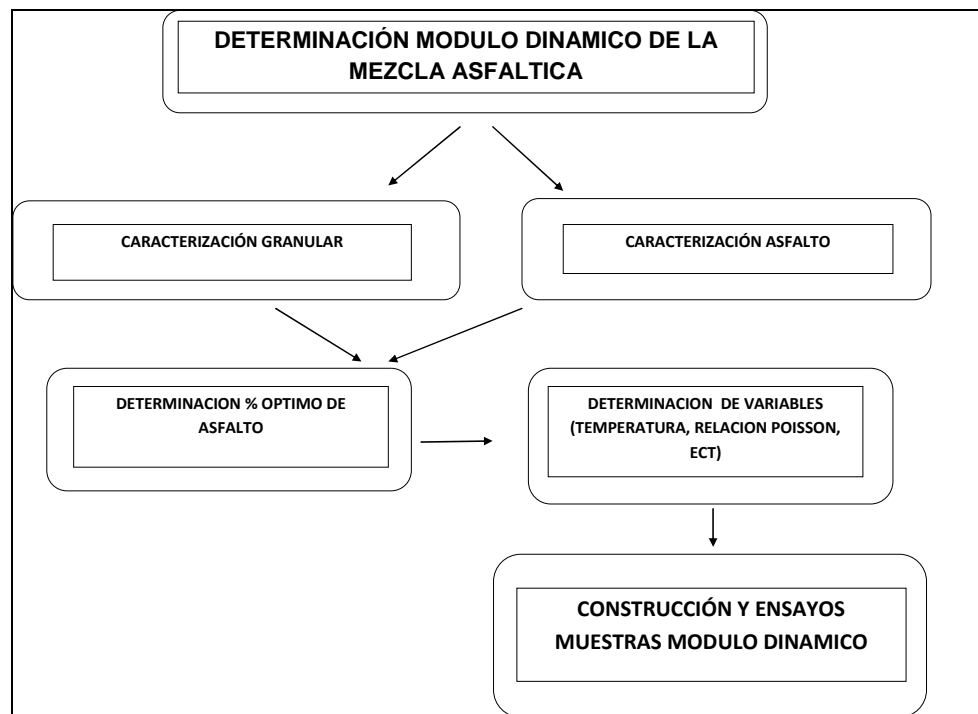
La fase experimental del proyecto se realizó en la Universidad de Nariño con apoyo logístico y técnico del departamento de Ingeniería Civil en el área de laboratorio, empleando el equipo facilitado al laboratorio de suelos.

En el proyecto se realizaron ensayos de laboratorio para la determinación del índice de penetración y punto de ablandamiento de la muestra de asfalto tipo normal y tipo modificado, siguiendo los procedimientos descritos en la norma del Instituto Nacional de Vías I.N.V. E – 706 y I.N.V. E – 712 respectivamente con el fin de determinar módulo dinámico de las mezclas asfálticas producidas con materiales granulares de producidos en la región siguiendo el siguiente procedimiento:

- ✓ Adquisición de los equipos para determinar el punto de ablandamiento y el índice de penetración.
- ✓ Cálculo del índice de penetración y el punto de ablandamiento de las muestras de asfalto 80 - 100 normal y modificado.

- ✓ Determinamos la región a evaluar y los parámetros de diseño para el cálculo del módulo dinámico tales como temperatura del sitio, temperatura de la mezcla, espesor de la carpeta, frecuencia de aplicación de carga.
- ✓ Caracterización de materiales granulares y de asfalto para determinar la cantidad de este y agregados en la mezcla asfáltica.
- ✓ Con la información establecida y con la ayuda de nomogramas de la Shell determinamos el módulo dinámico de las mezclas asfálticas a estudiar.
- ✓ Análisis de resultados obtenidos y comparación con los valores obtenidos con el software para el cálculo del módulo dinámico.

Grafica 1. Diagrama de flujo de la metodología



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.3 EQUIPOS

3.3.1 Equipo utilizado para determinar penetración:

Descripción. Equipo desarrollado para determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o principal componente es el asfalto.

El aparato está constituido por un mecanismo que permite movimiento vertical sin rozamiento apreciable del vástago, va sujeta la aguja de penetración. Además permite la colocación de cargas suplementarias.

El aparato esta calibrado para dar las lecturas directamente en unidades de penetración.

Cuenta con sistema auxiliar de tiempo, cronometro programable entre 1s y 99s, con precisión de 0.1 s.

Tabla 4. Especificaciones técnicas penetrómetro digital

ESPECIFICACIONES PENETROMETRO DIGITAL	
Norma de referencia y cumplimiento	ASTM D5 e I.N.V.E 706
Medición de desplazamiento	Digital, precisión 0.01mm.
Medición del tiempo	Digital, precisión 0.1 s.
Peso del vástago de la aguja	47.5 g +/- 0.05 g.
Peso de aguja y husillo ensamblados	Debe ser 50.0 g +/-0.05 g.
Pesas	50 g y 100 g +/-0.05 g.
Base respecto al cuerpo vertical	90°
Longitud de la aguja	50 mm
Diámetro de la aguja	1 mm a 1.02 mm
Punta de aguja	8° 40' - 9°40 ´
Peso de aguja	2,5 g +/- 0.05 g.
Recipientes para penetración	2

Fuente. Manual de operación penetrómetro Digital. Pinzuar

Instalación. La maquina debe instalarse en lugar rígido, correctamente nivelado y con el espacio necesario para su correcta operación y uso.

El lugar debe estar provisto de una fuente de energía para 110 VAC – 220 VAC 60 Hz. 2 Amperios. Al mismo tiempo debe asegurarse que la energía no presente

picos de voltaje es decir el voltaje debe ser estable, ya que esto puede averiar el sistema electrónico de la máquina.

Al mismo tiempo el equipo debe estar libre de agentes de medio ambiente agresivos como: humedad, luz directa del sol, agua, temperaturas extremas o polución extrema; ya que estos aceleran el deterioro de la maquina y de sus componentes.

Operación:

- Conecte el equipo a una toma de corriente para 110 VAC-220 VAC, 60 Hz, para que el equipo haga el encendido directo, tanto del sistema electrónico como de iluminación.
- Instale la aguja y coloque las pesas adicionales que desea utilizar durante el ensayo. De igual manera se debe ajustar la altura de caída del vástago.
- Ajustar el dispositivo auxiliar de tiempo lo cual se hace de la siguiente forma.
- Pulse la tecla **CONFIGURACION** y con las teclas aumente o disminuya el tiempo de intervalos al cual tomar la lectura y pulse nuevamente la tecla **CONFIGURACION**.
- Tomar el vástago y desplazarlo hacia arriba hasta encontrar tope y presionar la tecla **CERO**.
- Coloque la muestra de acuerdo a la norma de realización del ensayo ya sea sumergida ó únicamente el recipiente.
- Para la caída libre del vástago basta con presionar la tecla **STAR** y el aparato indicara el tiempo y el recorrido de la aguja.

3.4 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES

El material granular es obtenido de la fuente del Río Téllez en la trituradora Monterrey en Pilcuan localizado en la vía panamericana hacia el sur del Departamento de Nariño y el asfalto de fuente de la refinería de Barrancabermeja tipo 80 / 100.

3.5 ENSAYOS PARA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Tabla 5. Resumen de ensayos para recolección de información

ENSAYOS	CANT.	NORMA	DURACION	MATERIALES	CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS
Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.	1	I.N.V.E-213	24 horas	1000 agregados con tamaño < 4.75 mm. 5000 gr agregados con tamaño > 4.75	AASHTO T27 ASTM C 136
Peso específico y absorción de agregado grueso	3	I.N.V.E-222	24 horas	1500 gr agregados con tamaño < 4.75 mm	AASHTO T84 ASTM C 128
Peso específico y absorción de agregado fino	3	I.N.V.E-223	24 horas	5000 gr agregados con tamaño > 4.75 mm	AASHTO T85 ASTM C 127
Peso específico máximo mezcla suelta, densidad Rice.	3	I.N.V.E-735	12 horas	2500 gr mezcla agregados y asfalto	AASHTO T209 ASTM D 2041
Diseño Marshall (18 briquetas estabilidad y flujo.)	1	I.N.V.E-748	7 Dias	23 kg material granular 4 litros de asfalto	AASHTO T245 ASTM D 1559
Tensión indirecta en mezclas asfálticas (Probetas de diseño Marshall)	18	ASTM D 4123	24 horas		
Contenido de vacíos, peso específico y unitario de mezclas compactas (Probetas Marshall)	18	I.N.V.E-734	1 hora		AASHTO T245 ASTM D 2726
Contenido de vacíos, peso específico y unitario de mezclas compactas (Rangos específicos)	9	I.N.V.E-734	1 hora	11 kg material granular 2 litros de asfalto	AASHTO T245 ASTM D2726
Tensión indirecta en mezclas asfálticas (En rangos específicos)	9	ASTM D 4123	24 horas		

Fuente: Cartilla practica para el manejo de asfaltos. Ecopetrol.

3.6 DISEÑO MARSHALL

3.6.1 Fórmula de trabajo. Se realizó como parámetro fijo para la gradación del material granular y la fórmula de trabajo la línea media teniendo en cuenta las

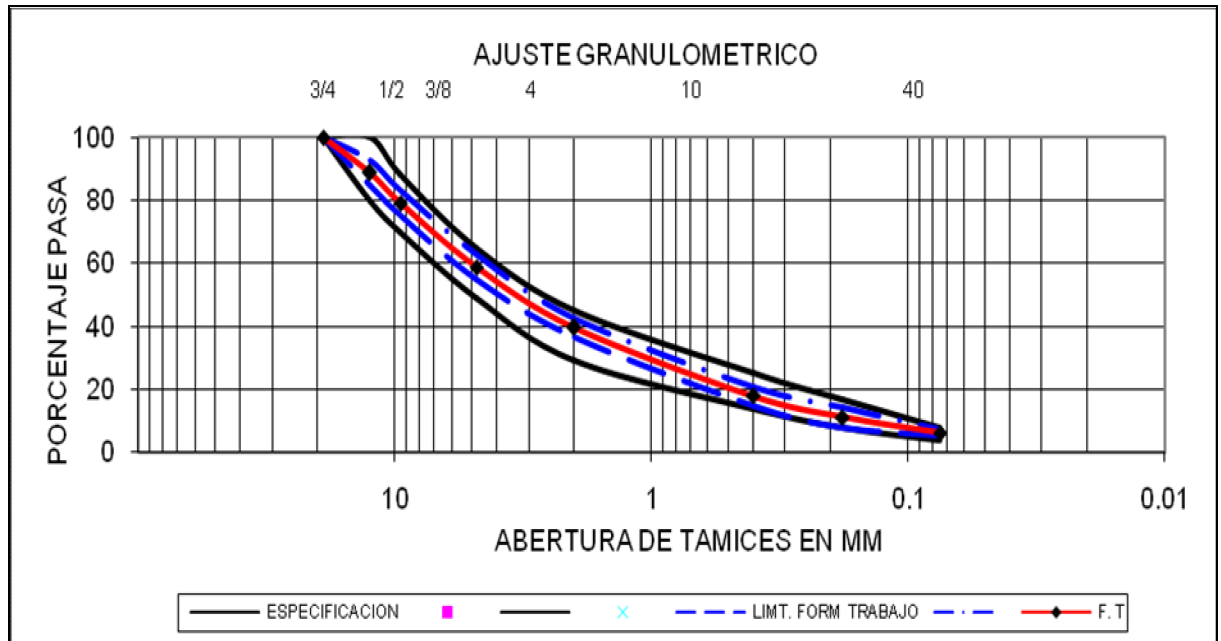
especificaciones INVIAS para una mezcla MDC-2 (Artículo 450-02). Con estos datos se presenta la curva granulométrica para esta gradación particular y los pesos por tamiz para la elaboración de una briqueta de peso total 1200 gr.

Tabla 6. Gradación media para trabajo y cantidades requeridas de material granular para la elaboración de una briqueta.

TAMIZ	PORCENTAJE PASA				LIMT. FORM TRABAJO	FÓRMULA TRABAJO
	ABERTURA mm	NORMA MIN	NORMA MAX	MEDIA TRABAJO		
3/4	100	100	100	100	100	100
1/2	87.6	80	100	90	84.9	92.9
3/8	77.3	70	88	79	75.2	83.2
4	58.9	49	65	57	54.9	62.9
10	38	29	45	37	36.7	42.7
40	17.9	14	25	19.5	15	21
80	10.7	8	17	12.5	8.1	14.1
200	6	4	8	6	5.3	7.3

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 2. Curva media para trabajo



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.2 Peso específico y absorción de agregados. Para determinar estas características se procedió a realizar este ensayo sobre dos muestras para los

agregados finos, dos muestras para los agregados gruesos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7. Resultados peso específico y absorción agregados gruesos

ENSAYO No.	1	2	3
A	989.1	994.7	998.5
B	1001.1	1005	1008.4
C	648.1	650.3	652.3
B - C	353	355.1	356.1
A - C	341	344.4	346.2
B - A	12	10.7	9.9
GS BULK = A/(B-C)	2.80	2.80	2.80
GS BULK SSS = B/(B - C)	2.84	2.83	2.83
GS APARENTE = A/ (A - C)	2.90	2.89	2.88
ABSORCION = ((B-A)/(A))*100	1.21	1.08	0.99
A = P. SECO MUESTRA EN EL AIRE			
B = P. MUESTRA EN ESTADO SSS EN EL AIRE			
C = P. MUESTRA SUMERGIDA EN EL AGUA			
GS = GRAVEDAD ESPECIFICA			

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Tabla 8. Resultados peso específico y absorción agregados finos

ENSAYO No.	1	2
WSSS	200.4	200.5
WPAS	787.3	787
WPA	658.2	658
W	197	197.4
VS = WPA -(WPAS - W)	67.9	68.4
VSSS = VS + (WSSS - W)	71.3	71.5
GS BULK = W/VSSS	2.76	2.76
GS BULK SSS = WSSS/VSSS	2.81	2.80
GS APARENTE W/VS	2.90	2.89
ABSORCION = (WSSS - WS)/W * 100	1.7	1.6
WSSS= PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		
WPAS = PESO PICNOMETRO + AGUA + MUESTRA		
WPA = PESO PICNOMETRO + AGUA A T °C		
W = PESO MUESTRA SECA		
VS = VOLUMEN DE SOLIDOS		
GS = GRAVEDAD ESPECIFICA		

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.3 Gravedad específica del asfalto. La gravedad específica del asfalto se tomará como 1.03 gm/cm³ de acuerdo al valor para un asfalto típico de Barrancabermeja (ECOPETROL, 1994).

3.6.4 Equivalente de arena. Este ensayo tiene por objeto determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo. Puede especificarse un valor mínimo del equivalente de arena, para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en un agregado.

Para efectos de cálculo y control del equivalente de arena en las dosificaciones de agregados minerales para el desarrollo de la presente investigación, se trabaja con la especificación del INV E-133, siendo el valor mínimo de equivalente de arena el 50%, a continuación se indica los resultados del ensayo realizados obteniendo 52.20%, acorde con la norma.

Tabla 9. Equivalente de arena de ensayos a los agregados

PRUEBAS	1	2	3
Probeta Numero.	1	2	3
Lectura de arcilla, (cm).	165	160	160
Lectura de arena, (cm).	85	83	85
Equivalente de arena. (%)	51.5	51.9	53.1
	EQUIVALENTE DE ARENA =		52.2 %

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Partículas fracturadas mecánicamente. Con la realización de este ensayo determinamos la cantidad de partículas con caras fracturadas mecánicamente, es decir para un concreto asfáltico, partículas con superficies aptas para la formación de un esqueleto mineral adecuado para soportar las sollicitaciones de cargas de trabajo impuestas por el tráfico.

En el caso particular de la presente investigación, se toma una muestra representativa obtenida por cuarteo bajo los parámetros de la norma INV E-104 (Procedimientos para la Preparación de Muestras de Suelos por Cuarteo) y se separan 1500 gramos de material retenido en cada intervalo de tamices así: para

los tamices (3/4" a 1/2"), se obtuvieron 1200 g y para el material comprendido entre los tamices (1/2" a 3/8") se pesó 300 g, posteriormente se realizó el ensayo bajo los parámetros de la norma INV E-227, a continuación se indica los resultados del ensayo realizados obteniendo 79.0%, acorde con la norma.

Tabla 10. Porcentaje de caras fracturadas

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO MUESTR A	PESO DE MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS	PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL	PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS
Pasa Tamiz	Retenido en Tamiz	(gr)	(gr)	(B/A)*100	(%)	C*D
		A	B	C	D	
1 1/2"	1"					
1"	3/4"	1854.26	1585.64	85.51		
3/4"	1/2"	1175.56	941.59	80.10	51	4088.6
1/2"	3/8"	268.98	205.65	76.46	22	1711.2
TOTAL					73.4	5799.8
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS					79.0 %	

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

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

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

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

Siendo: Wa: Peso de la briqueta seca en el aire.
Wss: Peso de la briqueta saturada con superficie seca.
Ww: Peso de la briqueta sumergida en agua.

$$G_b = \frac{1200.0}{1211.7 - 776.5} = 2.76 \text{ g/cm}^3$$

3.6.6 Determinación del peso específico máximo teórico. (Gmt). Con los datos del peso específico promedio de los agregados, y el peso específico del asfalto, del presente informe, se calcula el peso específico máximo teórico a través de la siguiente expresión: (Ver tabla 11).

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

Tabla 11. Peso específico máximo teórico de la mezcla asfáltica

PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO	PORCENTAJE DE AGREGADOS	PESO ESPECIFICO MAXIMO TEORICO
(%)	(%)	(g/cm ³)
5.00	95.00	2.569
5.50	94.50	2.547
6.00	94.00	2.526
6.50	93.50	2.506
7.00	93.00	2.485

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.7 Cálculo del peso específico máximo medido. (Gmm). Para calcular el peso específico máximo medido, se debió realizar el ensayo de Rice (véase anexo), por tanto, este peso específico del material sin compactar fue de 2.38 g/cm³.

Tabla 12. Determinación del peso específico máximo medido (G_{mm})

%	Briqueta	Peso de Frasco + Agua	Peso Muestra Seca + Frasco	Peso Muestra + Agua + Frasco	Peso Específico Máximo Medido
	#	G	G	g	g/cm ³
0.00	2	2020	1989.2	2665.2	2.41
0.25	1	2020	1987.9	2662.1	2.39
0.50	3	2020	1947.3	2635.1	2.38
0.75	4	2020	1897.8	2605.0	2.37
1.00	3	2020	1912.5	2610.2	2.35

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.8 Cálculo del porcentaje de asfalto absorbido. (A_a). Este valor indica el porcentaje de absorción de asfalto por peso de agregado seco, se calcula mediante la siguiente expresión:

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

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

Para el valor en estudio, se tiene:

$$A_a = \frac{2.38 - 2.52}{2.38 \cdot 2.52 \cdot 94} * 10000 = 0.18\%$$

3.6.9 Determinación del contenido de asfalto, tipo normal. El Contenido de asfalto para la mezcla asfáltica se realizó por el método Marshall, mediante gráficas obtenidas de ecuaciones volumétricas de la mezcla y de evaluar para la máxima densidad, la máxima estabilidad y para un promedio de vacíos de aire. Las gráficas a realizar se relacionan a continuación:

- Peso unitario vs. Contenido de asfalto.
- Estabilidad vs. Contenido de asfalto.
- Vacíos en el agregado mineral vs. Contenido de asfalto.
- Vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto.
- Vacíos de aire vs. Contenido de asfalto.
- Flujo vs. Contenido de asfalto.

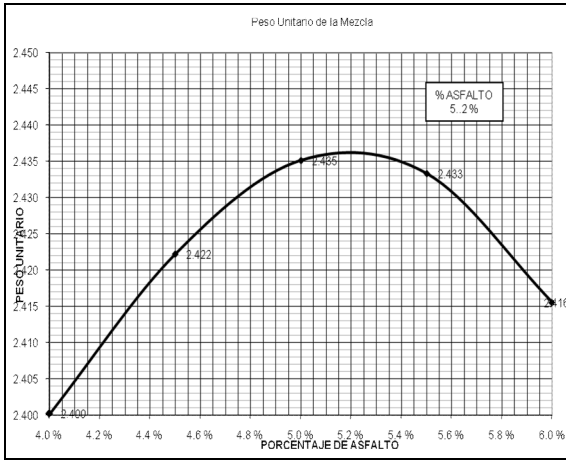
Estos se evaluarán para las tres condiciones de tráfico que se encuentran establecidas en la Norma Colombiana INVIAS (Artículo 450), para tráfico alto, medio y bajo, medidos en función de las repeticiones de ejes sencillos equivalentes de 8.2 toneladas.

Tabla 13. Resultados de las ecuaciones Volumétricas

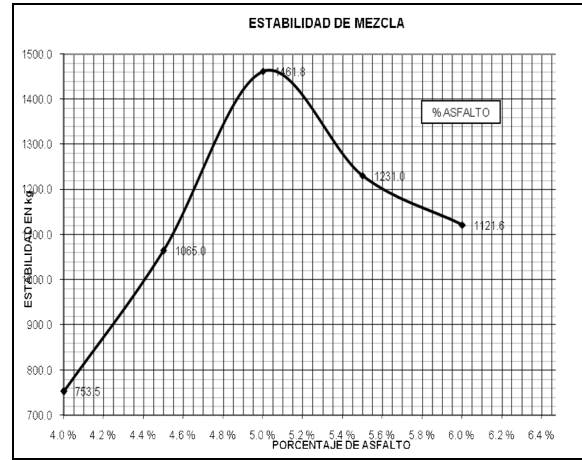
Briqueta Num	% de A	Espes	PESO EN GRAMOS				PESO ESPECIFICO				VOLUMEN - % TOT				% VACIOS				ESTABILIDAD			
			Seca	en Agua	Seca	en Agua	Maxi Teori	Maxi Med	Abso %	Agr	Vacios	Efect	Miner	Agres	Llenos	Unites	Medias	Corregida	Flujo			
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s				
1		6.22	1191.4	1196.9	696.3											64.0	675	2.0				
2		6.2	1185.1	1188.0	694.3											724.3	753.9	2.0				
3	4.0	6.12	1185.9	1189.7	698.9											762.3	831.3	2.2				
PROMEDIO		6.2	1187.5	1191.3	696.5	2.409	2.593	2.62	0.153	83.07	7.4	9.51	16.8	56.1	149.3	753.9	753.9	2.1				
4		6.1	1198.0	1199.6	704.7											933.3	1017	2.5				
5		6.1	1188.9	1190.2	697.3											1046.3	1144	2.8				
6	4.5	6.1	1190.3	1193.4	703.3											951.3	1037.6	2.5				
PROMEDIO		6.1	1192.4	1194.2	701.3	2.422	2.572	2.66	0.157	83.33	5.8	10.73	16.6	65.0	151.1	1065.0	1065.0	2.6				
7		6.1	1198.5	1196.2	697.2											1328.6	1448.2	3.2				
8		6.1	1198.5	1189.7	701.3											1309.8	1427.7	3.0				
9	5.0	6.1	1193.9	1194.7	705.2											1384.9	1509.5	3.0				
PROMEDIO		6.1	1190.3	1190.2	701.3	2.435	2.551	2.64	0.160	83.40	4.5	12.05	16.6	72.6	152.0	1461.8	1461.8	3.1				
10		6.1	1184.9	1185.3	698.0											1178.1	1284.1	3.5				
11		6.0	1180.5	1181.2	700.0											1140.5	1243.1	3.6				
12	5.5	6.0	1184.6	1185.9	696.0											1069.5	1165.8	3.8				
PROMEDIO		6.0	1183.3	1184.3	698.0	2.433	2.551	2.5	0.167	82.90	3.9	13.25	17.4	77.5	151.8	1231.0	1231.0	3.6				
13		6.0	1190.0	1192.3	679.0											1022	1117.3	4.0				
14		6.0	1186.7	1189.3	708.5											1032	1124.9	4.2				
15	6.0	6.1	1181.4	1182.5	703.3											1039	1122.7	4.3				
PROMEDIO		6.0	1186.0	1188.0	697.0	2.418	2.511	2.64	0.163	81.83	3.8	14.35	18.4	79.1	150.7	1121.6	1121.6	4.2				

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

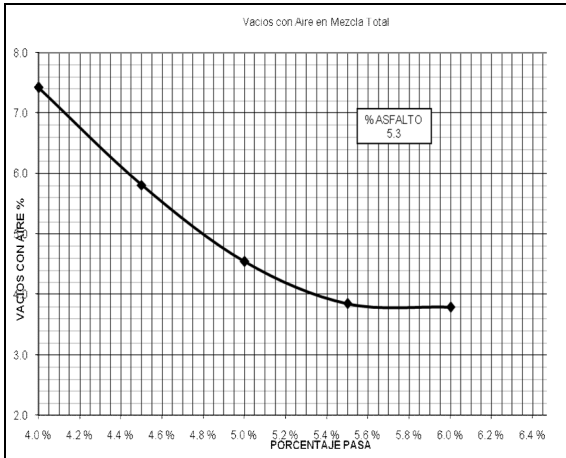
Gráfica 3. Peso unit. Vs contenido de asfalto.



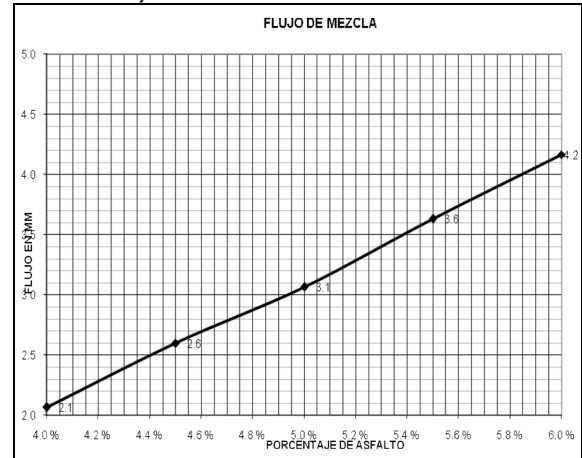
Gráfica 4. Estabilidad Vs contenido de asfalto.



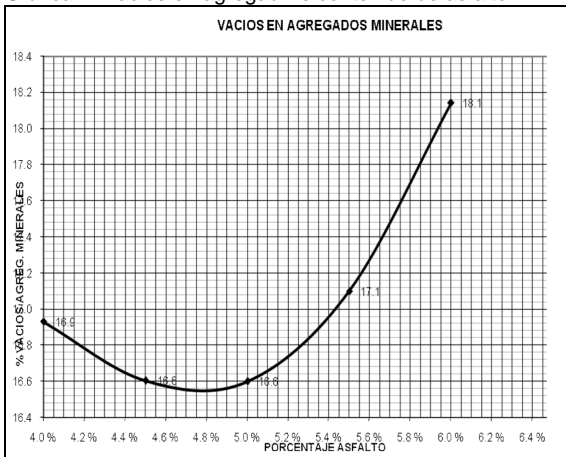
Gráfica 5. Vacios de aire Vs contenido de asfalto.



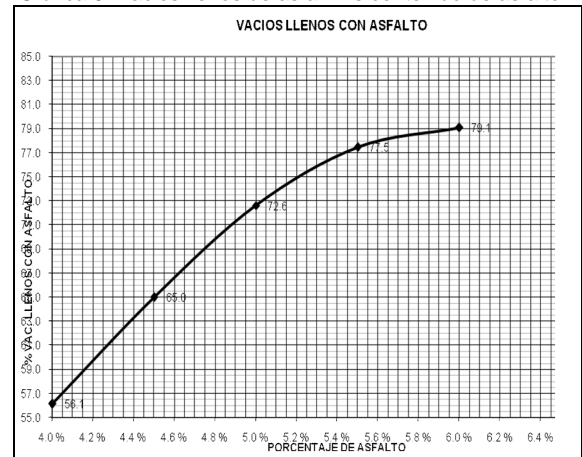
Gráfica 6. Flujo de mezcla Vs contenido de asfalto.



Gráfica 7. Vacios en agregad. Vs contenido de asfalto.



Gráfica 8. Vacios llenos de asf. Vs contenido de asfalto.



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

- ✓ El valor de la estabilidad aumenta al aumentar el contenido de asfalto hasta un punto máximo a partir del cual al incrementarse el asfalto, el valor de la estabilidad decrece.
- ✓ El valor del flujo se reduce hasta un mínimo, luego del cual éste aumenta al aumentar el contenido de asfalto. En muchos casos, el mínimo valor ocurrirá con un contenido de asfalto menor que el mínimo usado en las muestras de ensayo.
- ✓ De forma general la curva para peso unitario de la mezcla total es similar a la curva de estabilidad, excepto que el máximo peso unitario normalmente ocurre en un contenido de asfalto ligeramente mayor que el de máxima estabilidad. Según se observa en el gráfico este comportamiento aunque tiene cierta similitud al enunciado el peso unitario máximo se encuentra en un contenido de asfalto mayor que el determinado para la máxima estabilidad.
- ✓ El porcentaje de vacíos (de aire) se reduce al aumentar el contenido de asfalto, hasta llegar por último al mínimo contenido de vacíos.
- ✓ El porcentaje de vacíos en los agregados minerales, generalmente, se reduce a un mínimo valor y luego aumenta al incrementarse el contenido de asfalto.

Se puede concluir, que el contenido óptimo de asfalto es del orden del 5.2%, se debe tener especial cuidado en la dosificación por peso de los materiales así: (Ver tabla 14).

Tabla 14. Fórmula de trabajo

CARACTERISTICAS DEL DISEÑO	FÓRMULA DE TRABAJO	ESPECIFICACION INV-2007
Porcentaje optimo de asfalto	5.20%	+/- 0,3%
Proporción de agregados	Gruesos 35% Finos 65%	
Estabilidad en kg	1200.0	900
Flujo en mm	3.48	2 - 3,5
Vacios con aire	4.00	4 - 6
Vacios mínimos en agregados minerales (%)	16.5	15 % mínimo
Vacios llenos con asfalto (%)	71.0%	65 - 75 %

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Tabla 15. Parámetros definitivos para determinación de módulo dinámico (asfalto normal)

PARAMETRO	PROCEDE./VALOR
Asfalto 80 -100	Barrancabermeja
Agregados	Rio Téllez (Pilcuan)
Peso específico asfalto grs/cm ³	1.03
Peso específico agregados grs/cm ³	2.60
Densidad Bulk grs/cm ³	2.76
Porcentaje óptimo asfalto	5.20
% volumen de agregados	85.16
% volumen de asfalto	12.51

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.10 Determinación de valores de penetración asfalto tipo normal. Para la determinación de los valores de penetración se siguió lo descrito en el numeral 5.2.1.5., numeral 1, mediante el procedimiento descrito en la especificación I.N.V. E – 706 penetración de materiales asfálticos, el desarrollo se del ensayo se realizo en el laboratorio de pavimentos de la Universidad de Nariño, utilizando asfalto de Barrancabermeja tipo CARIPHALTE PM III y el equipo de penetración descrito en el numeral 6.1.1., a implementar como desarrollo el presente trabajo.

Tabla 16. Valores de ensayo de penetración y punto de ablandamiento

ASFALTO	80 - 100		
ENSAYO	PENETRACION		PUNTO DE ABLAND.
MUESTRA	25 oC	30 oC	oC
1	85.00	115.50	44.30
2	85.00	112.60	45.40
3	87.00	111.80	45.60
4	85.00	113.50	46.60
5	100.00	110.70	45.80
6	100.00	113.60	44.40
7	91.00	112.90	44.40
8	98.20	115.00	46.10
9	97.30	114.20	45.70
10	98.50	115.80	44.80
PROMEDIO	92.70	113.56	45.31

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.11 Determinación de valores de punto de ablandamiento asfalto tipo normal. Para la determinación de los valores de punto de ablandamiento se siguió lo descrito en el numeral 5.2.1.5., numeral 2, mediante el procedimiento descrito en la especificación I.N.V. E – 712 punto de ablandamiento de materiales asfálticos (aparato de anillo y bola), el desarrollo del ensayo se realizó en el laboratorio de pavimentos de la Universidad de Nariño, utilizando asfalto de Barrancabermeja tipo CARIPHALTE PM III y el equipo de anillo y bola a implementar como desarrollo del presente trabajo.

3.6.12 Determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto normal). Para el desarrollo del presente trabajo se tuvieron en cuenta dos regiones del Departamento que representen condiciones extremas de temperatura para lo cual se calculó el módulo dinámico de la mezcla asfáltica con las condiciones climáticas de Tuquerres para representar el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica para clima frío, con tiempos de aplicación de carga altos, medios y bajos y distintos espesores y de la misma manera en el sector de Remolino para representar el comportamiento dinámico de la mezcla asfáltica para clima cálido con tiempos de aplicación de carga altos, medios y bajos y distintos espesores.

Parámetros de diseño sector Tuquerres:

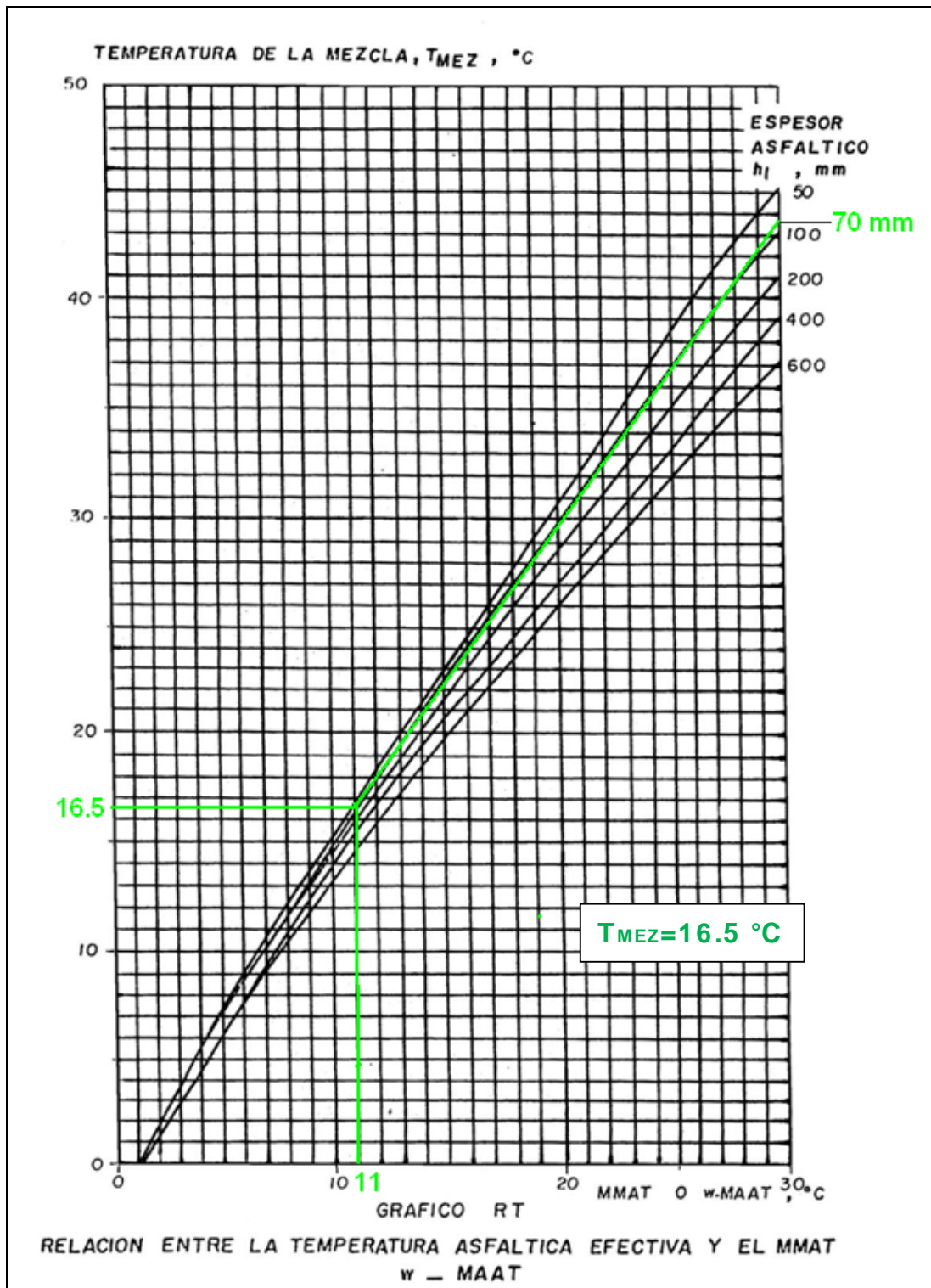
- W – MAAT: 11.0 °C. (Temperatura media mensual del aire)
- Espesor asfáltico 1: 7.0 cm.
- Espesor asfáltico 2: 15.0 cm.
- Temperatura de mezcla 1: 16.5 °C.
- Temperatura de mezcla 2: 16.3 °C.

Parámetros de diseño sector Remolino:

- W – MAAT: 27.0 °C. (Temperatura media mensual del aire)
- Espesor asfáltico 1: 7.0 cm.
- Espesor asfáltico 2: 15.0 cm.
- Temperatura de mezcla 1: 40.5 °C.
- Temperatura de mezcla 2: 38.5 °C.

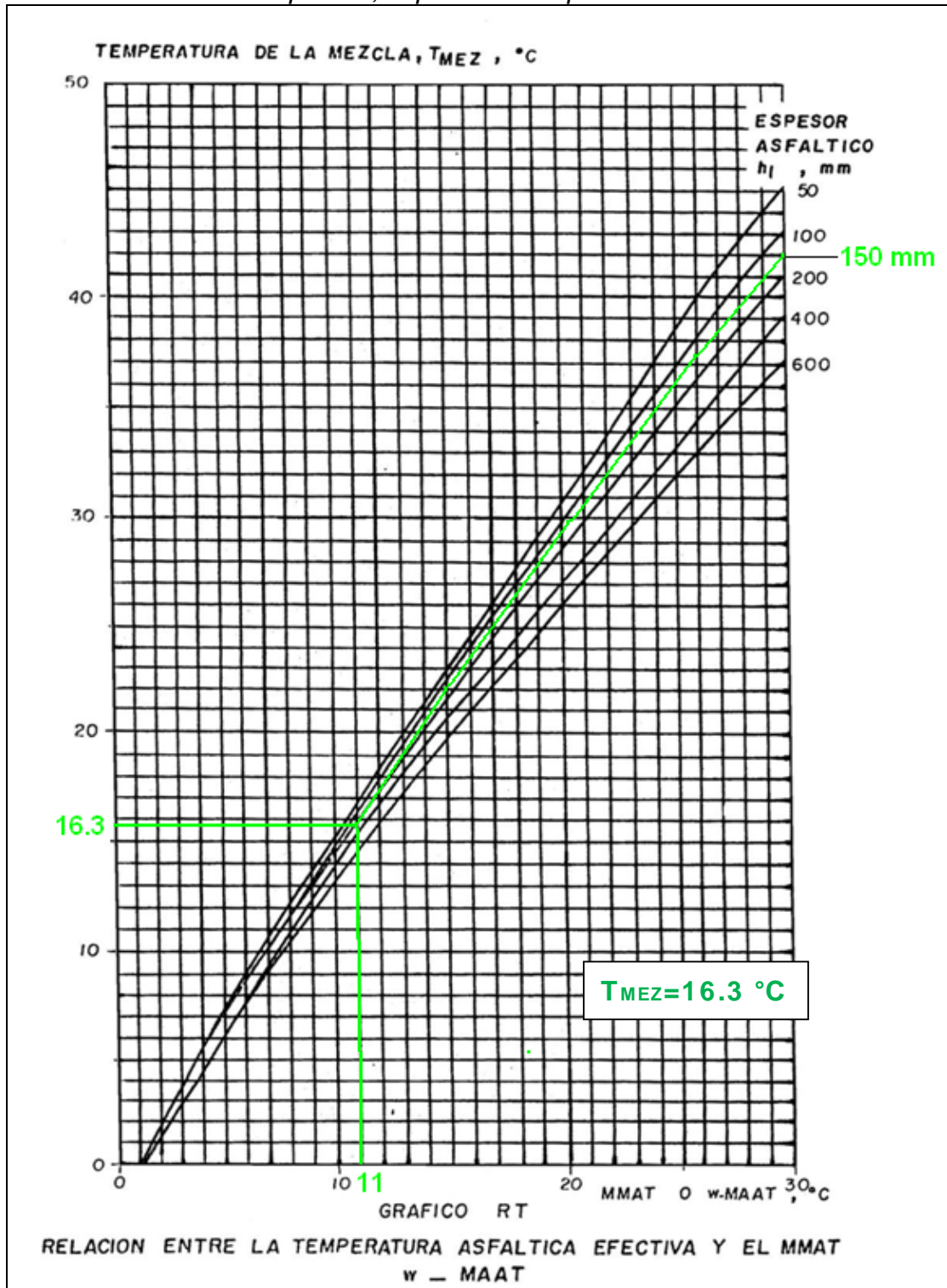
En la tabla 17 se muestran los resultados obtenidos de módulo dinámico del asfalto obtenidos mediante el nomograma de Van Der Poel (gráficas 14 a la 25) y mediante el programa para el cálculo de módulo dinámico de la Shell Bands versión 2.0.

Gráfica 9. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres espesor de carpeta 7 cm.



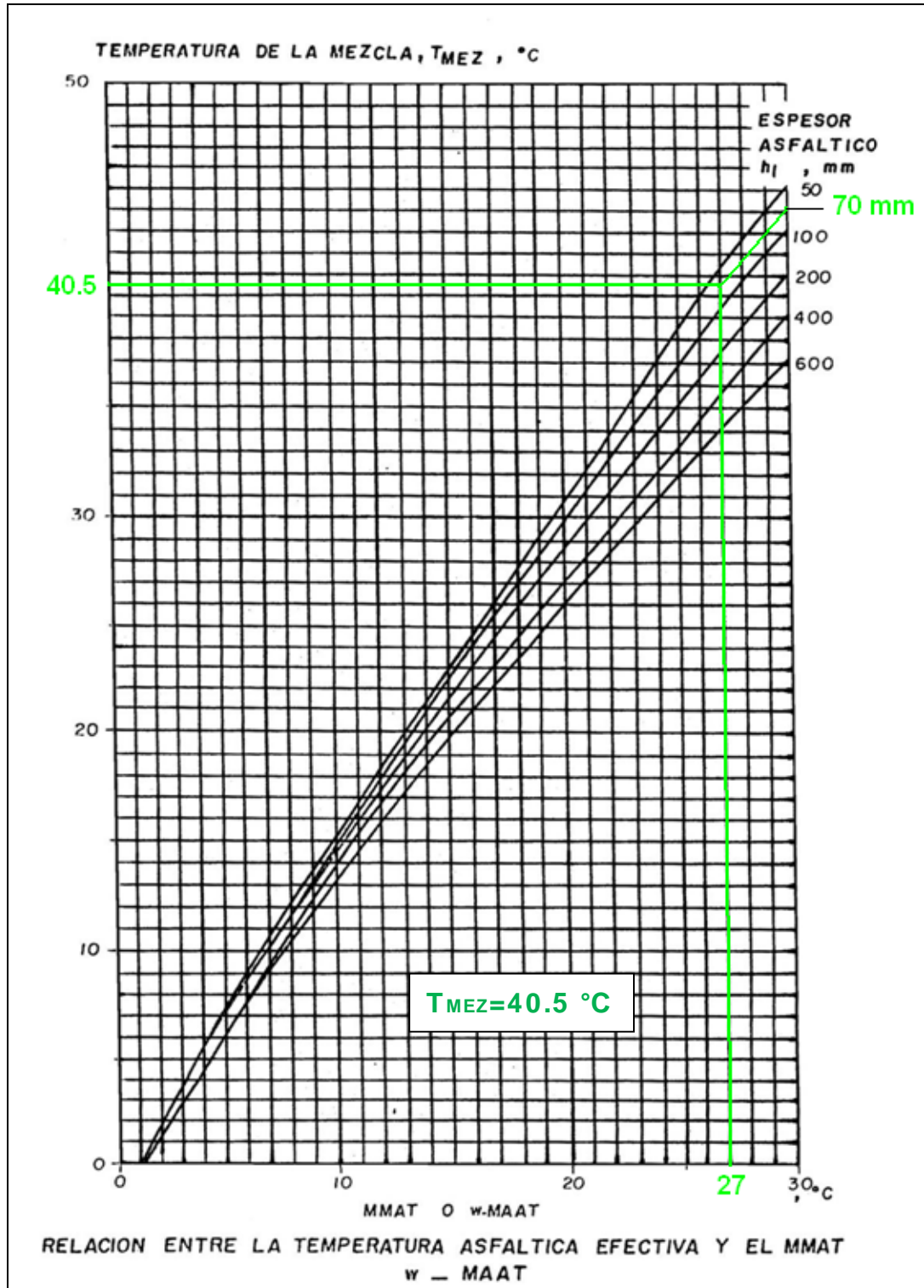
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 10. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta 15 cm.



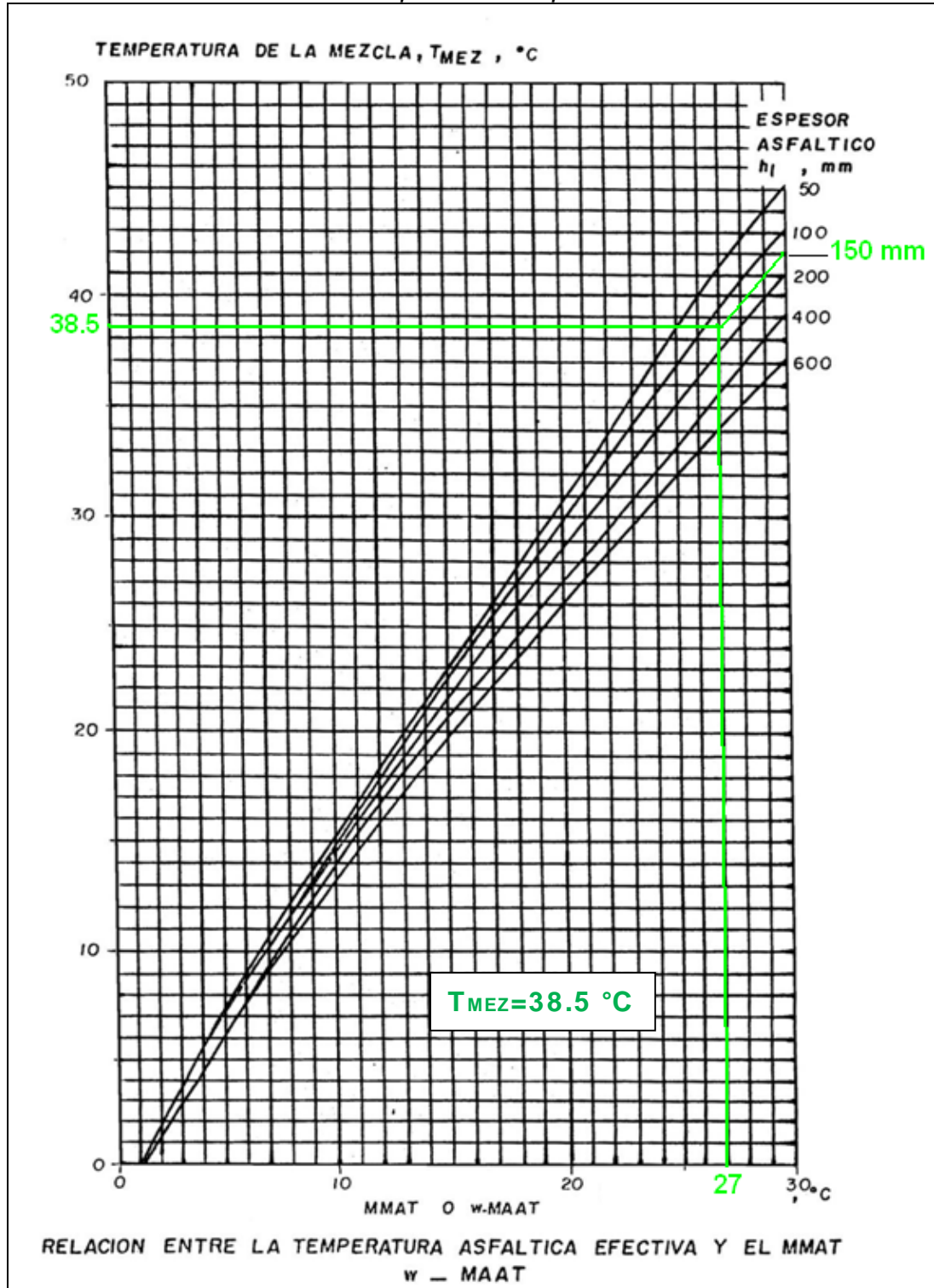
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 11. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Remolino espesor de carpeta 7 cm.



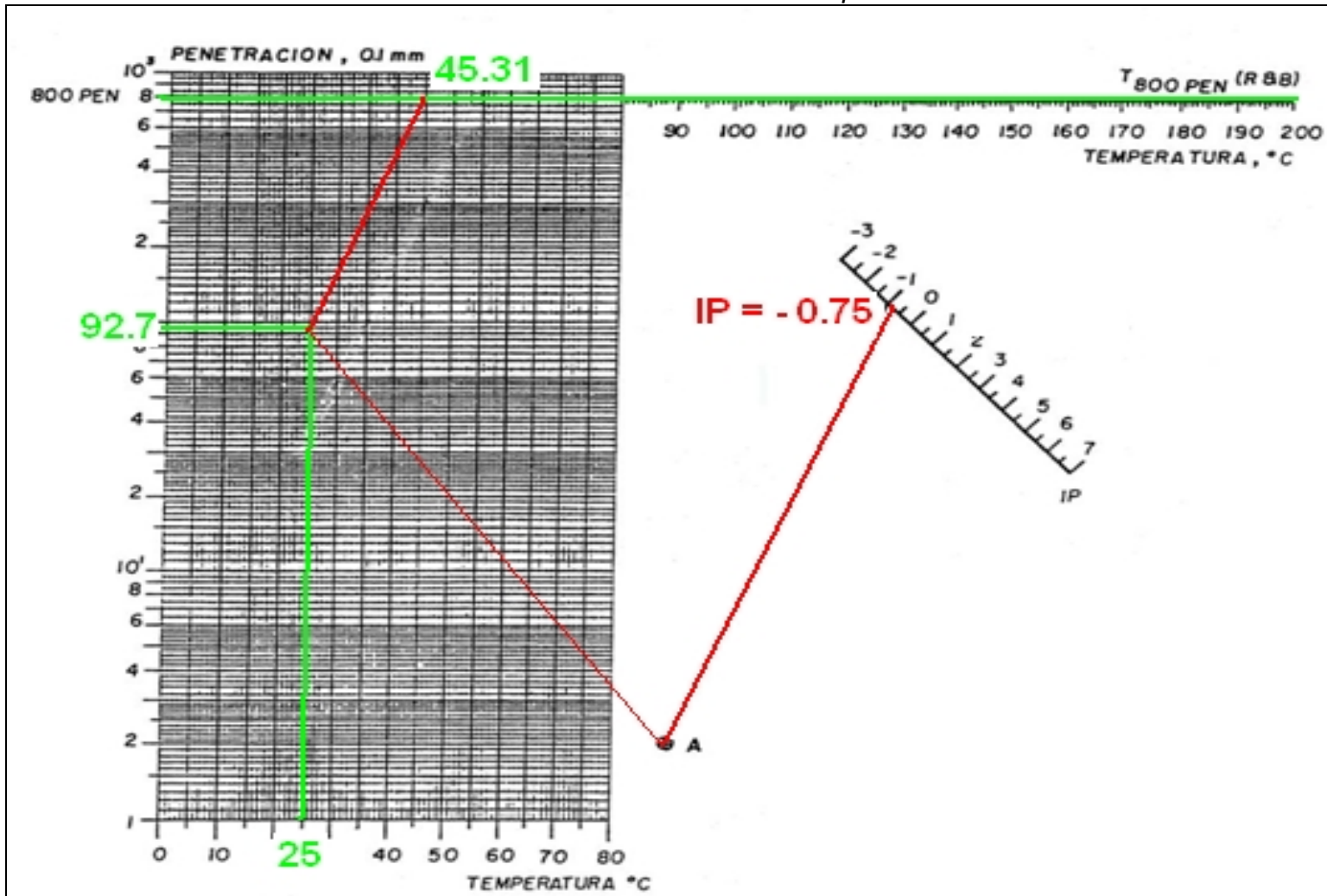
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 12. Determinación de Temperatura de la mezcla asfáltica, sector de Remolino espesor de carpeta 15 cm.



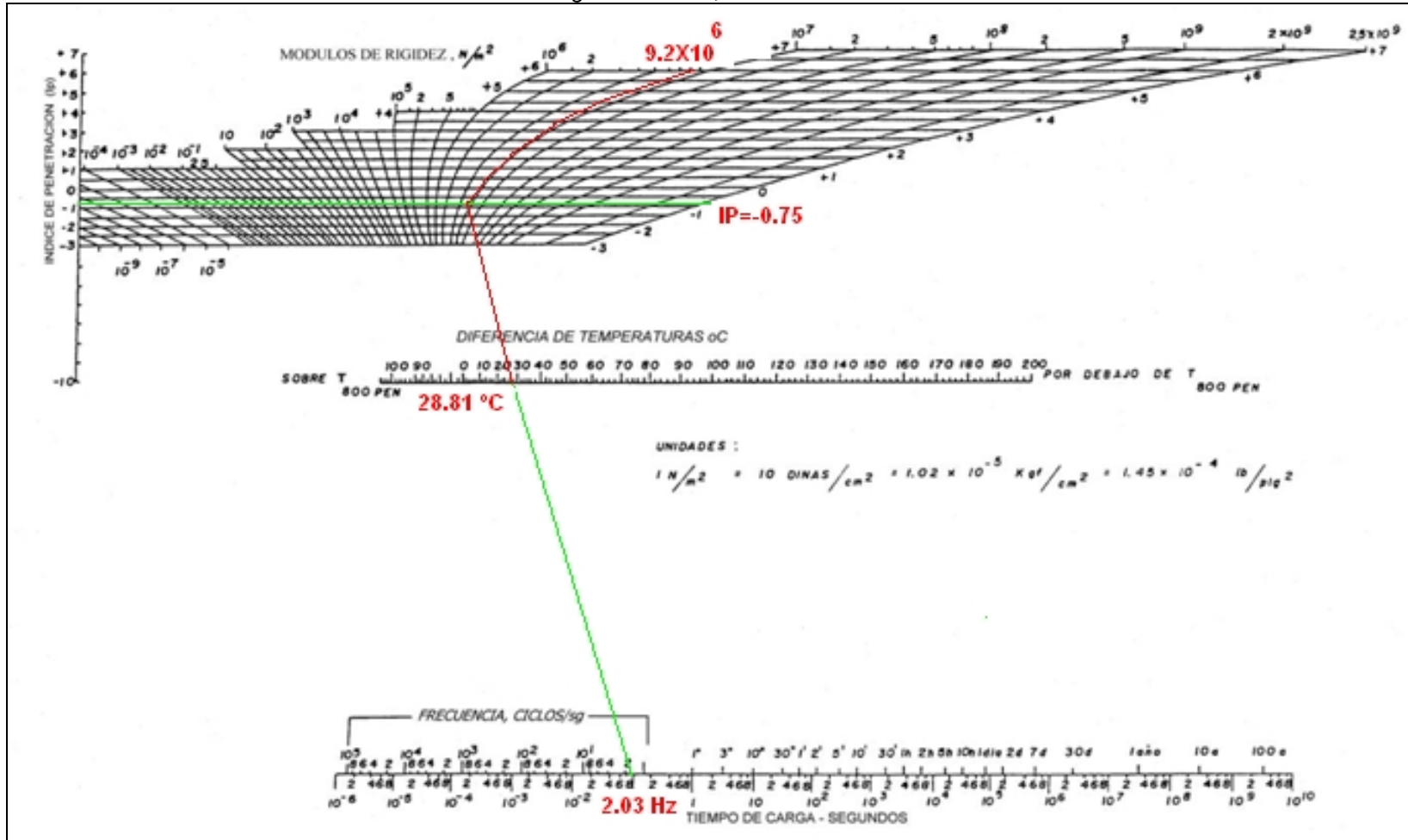
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 13. Determinación del Índice de penetración



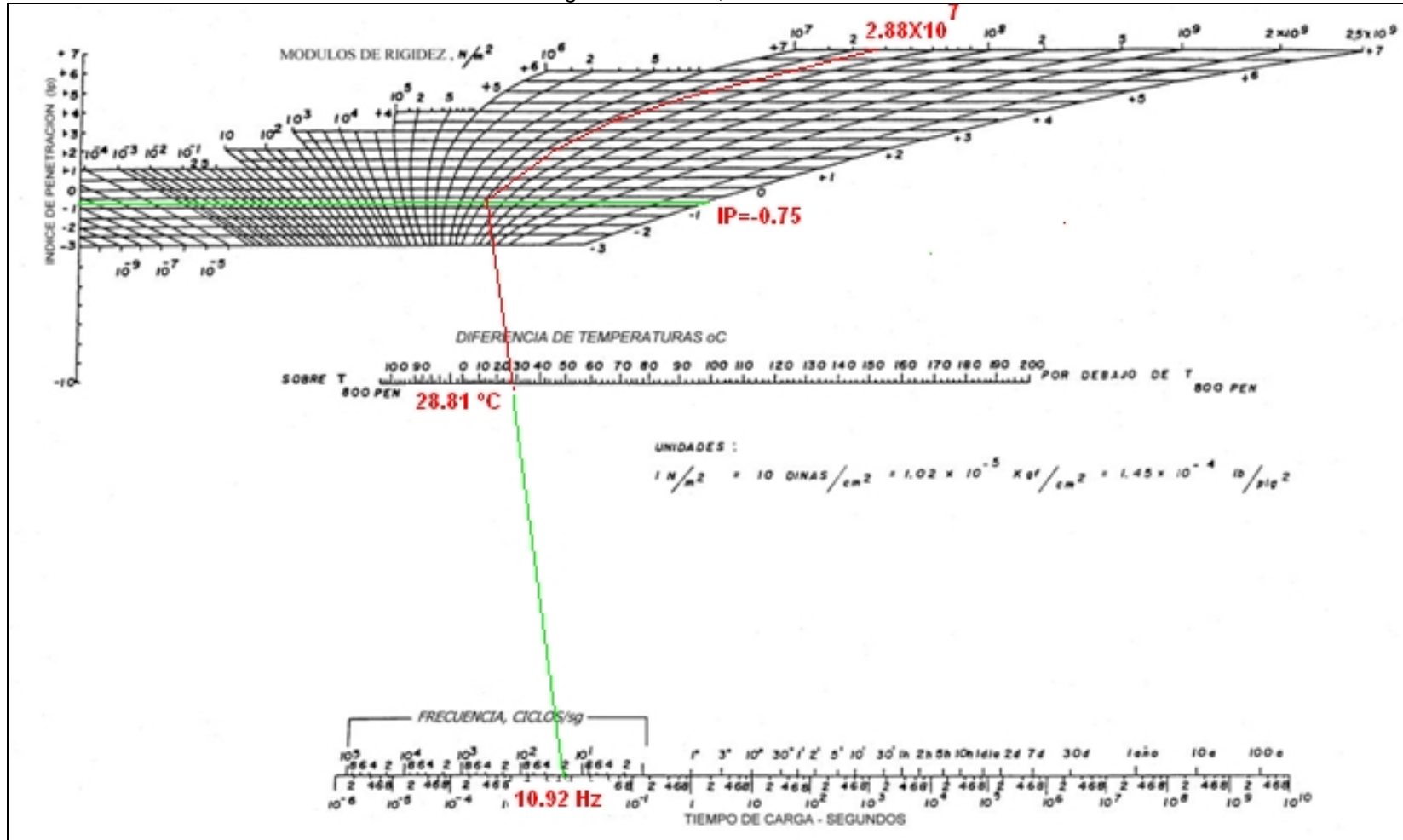
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 14. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz, velocidad 10 KPH



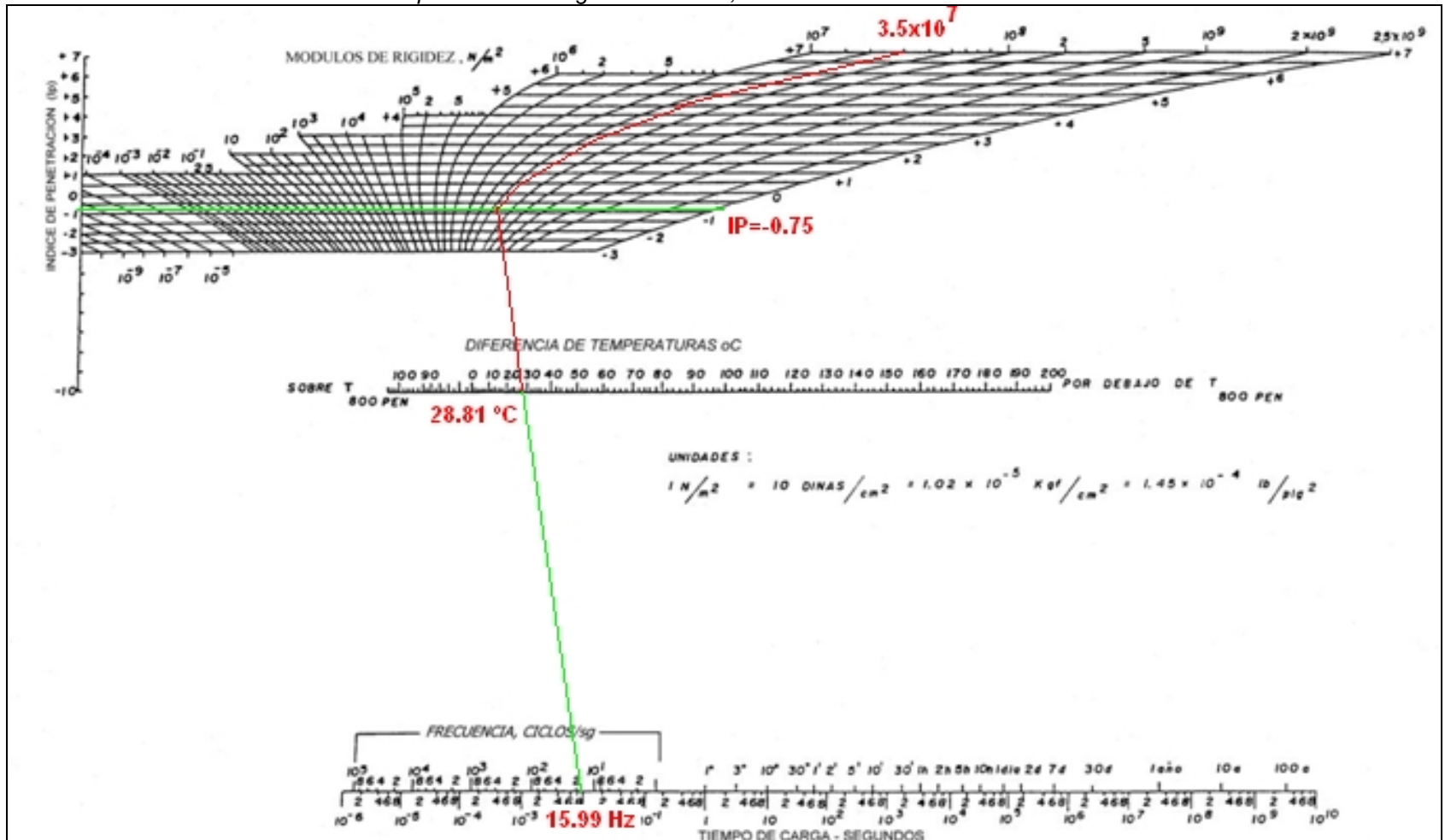
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 15. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz, velocidad 60 KPH



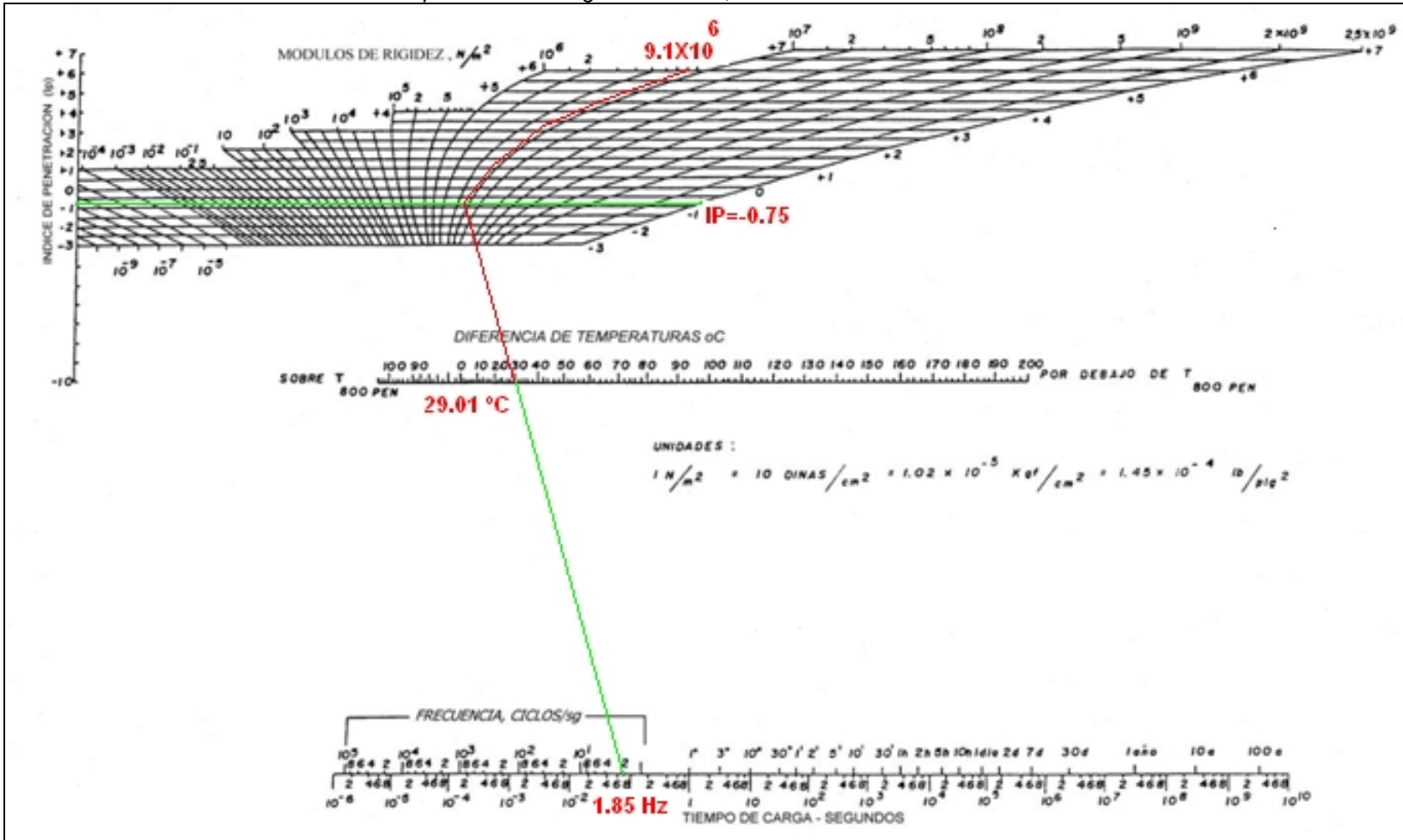
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 16. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz, velocidad 90 KPH.



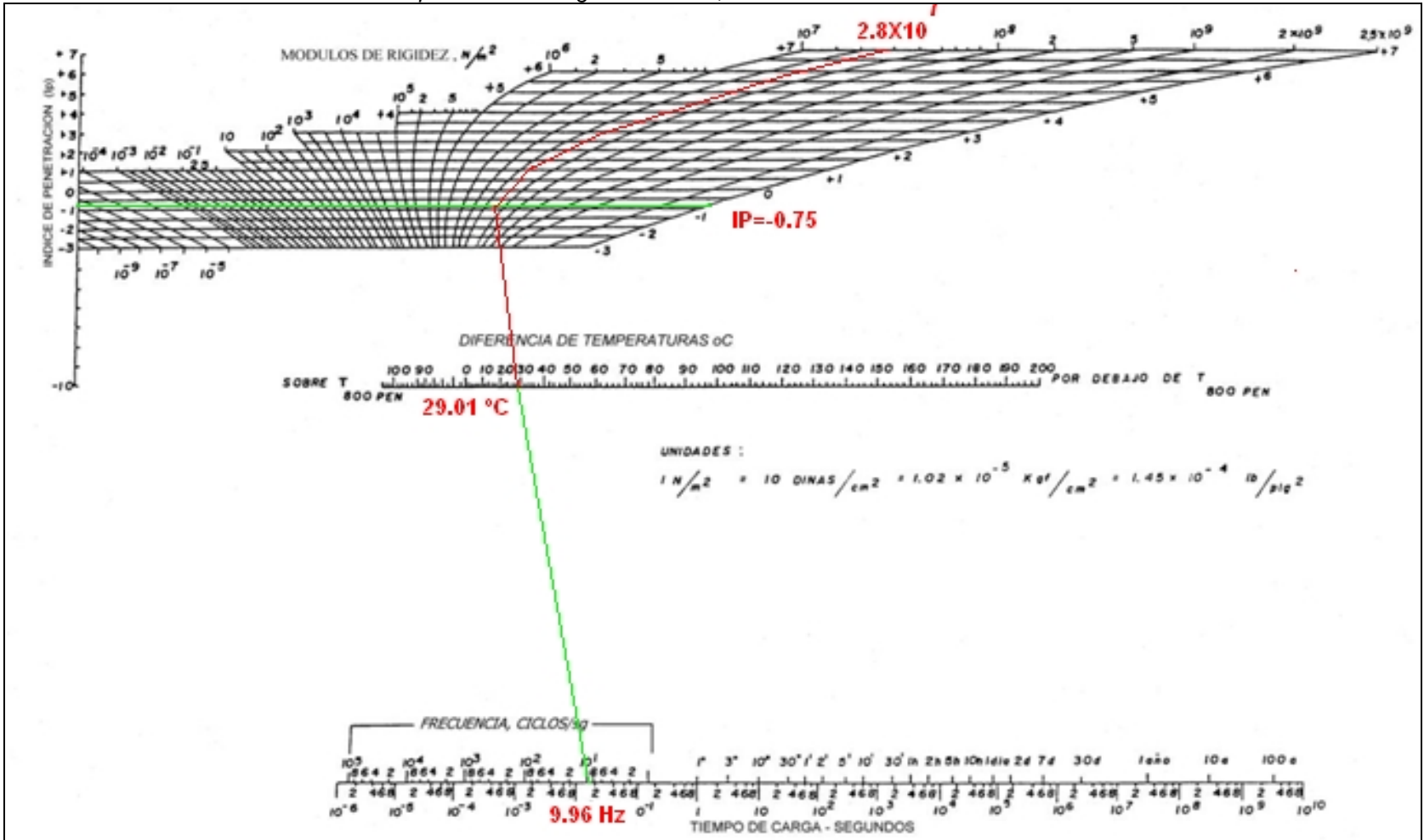
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 17. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz, velocidad 10 KPH.



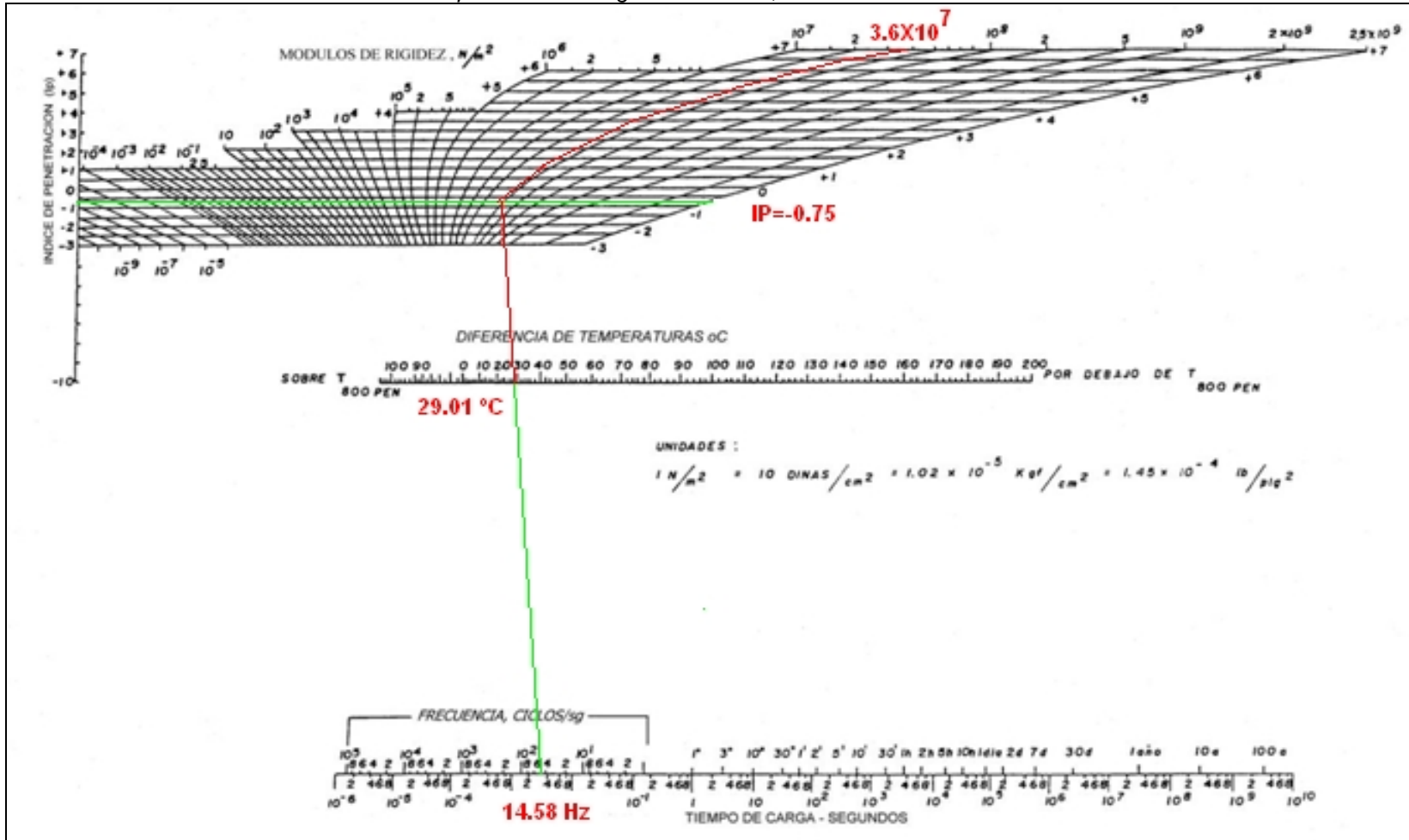
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 18. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz, velocidad 60 KPH.



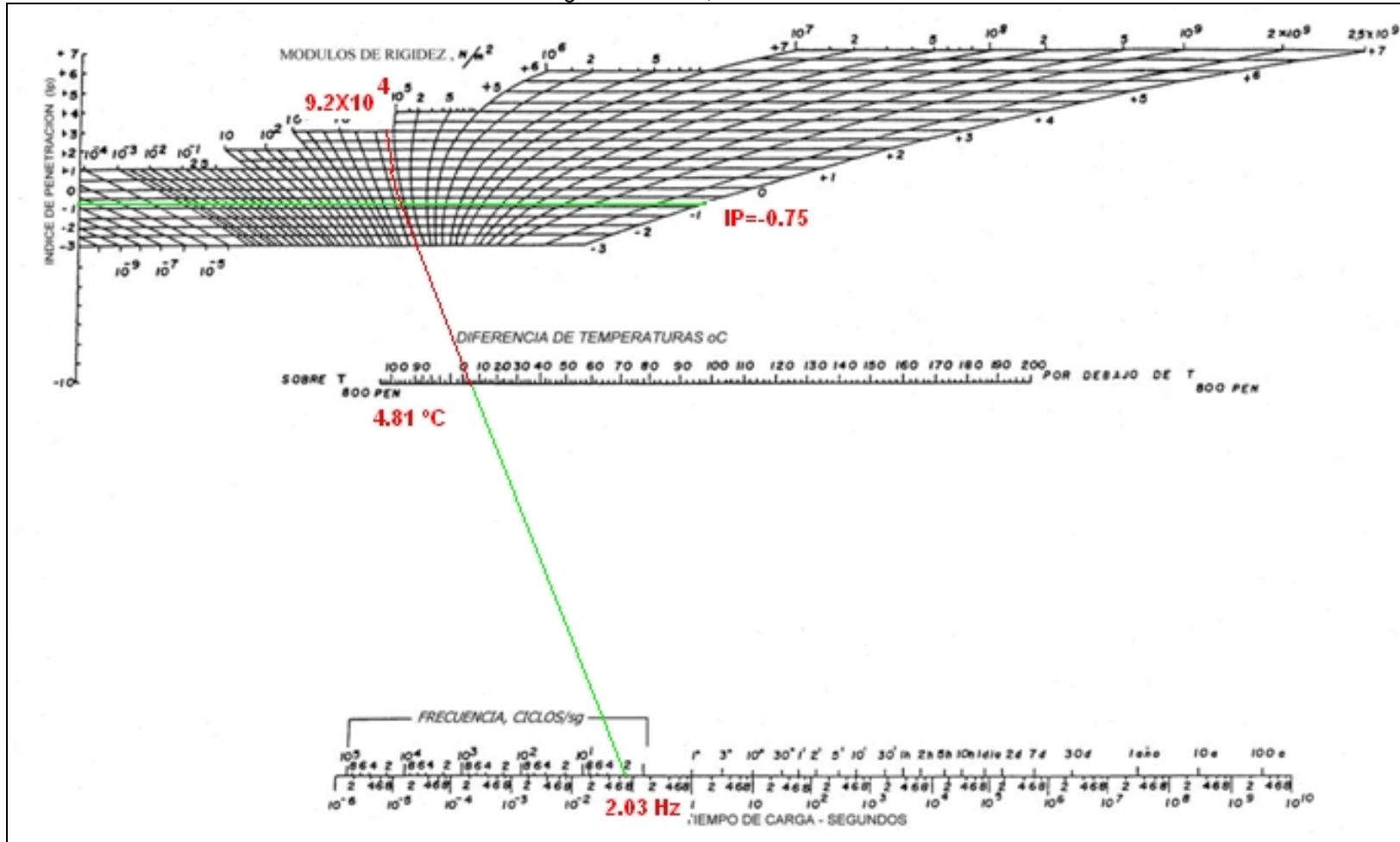
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 19. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz, velocidad 90 KPH.



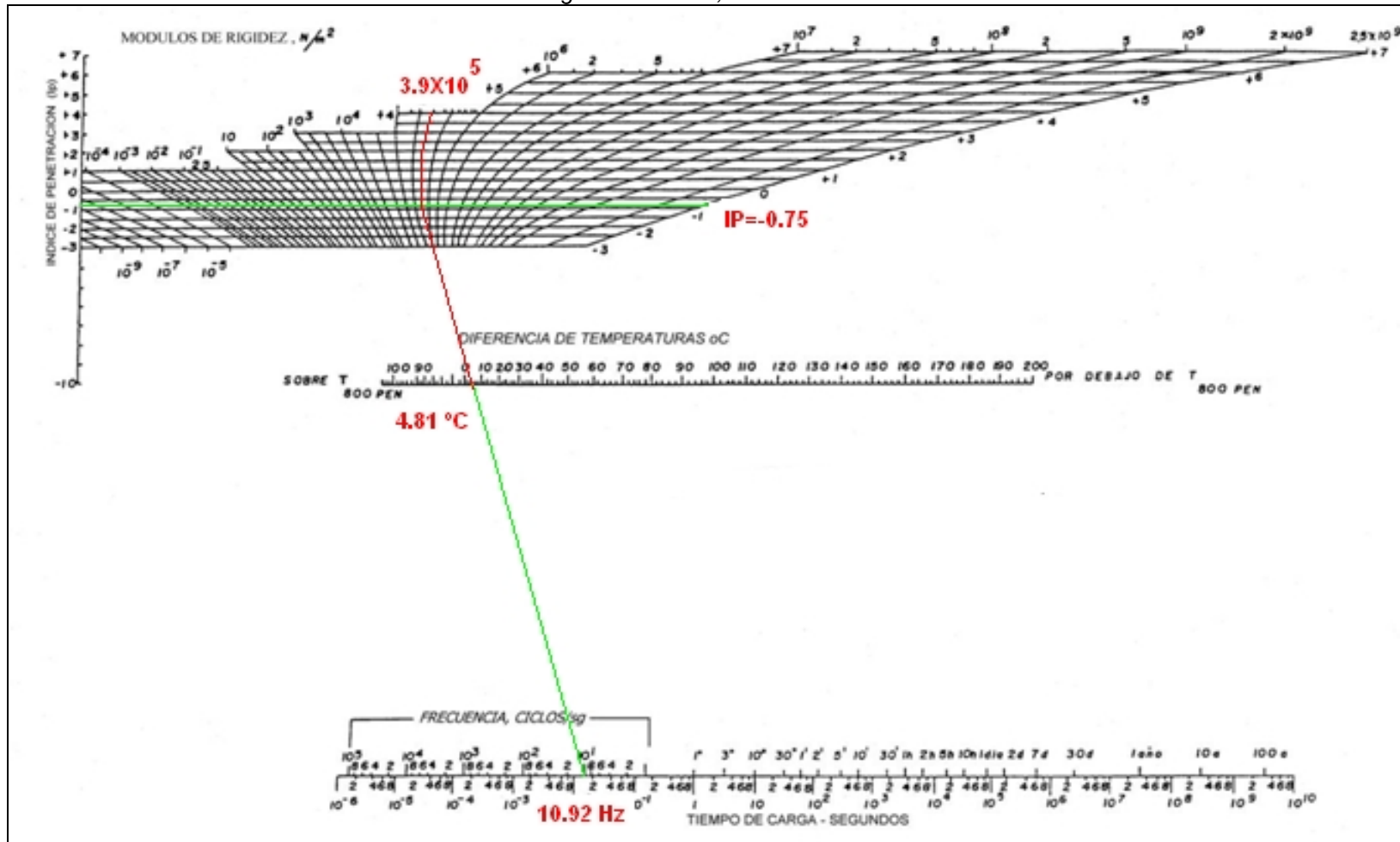
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 20. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz, velocidad 10 KPH.



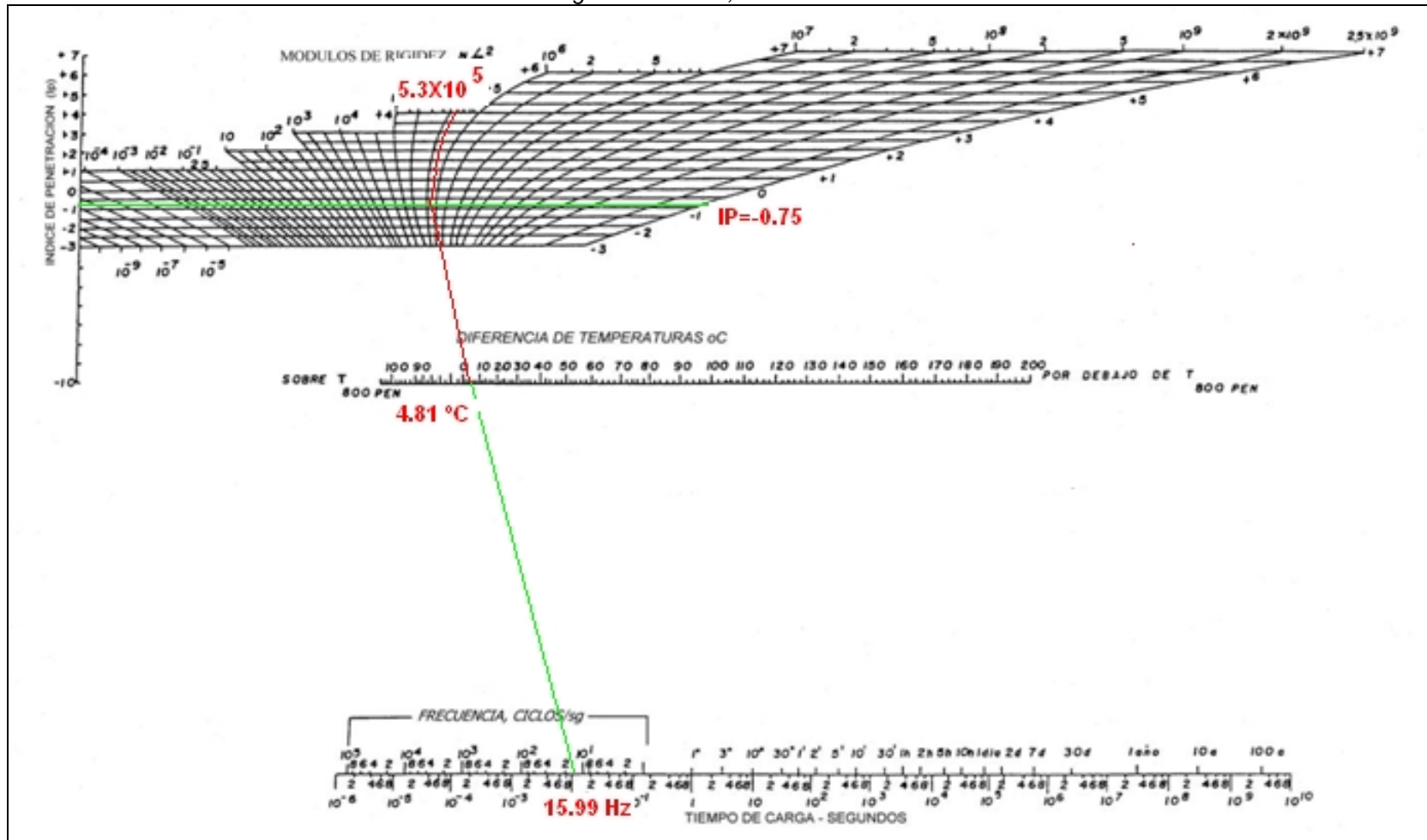
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 21. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz, velocidad 60 KPH.



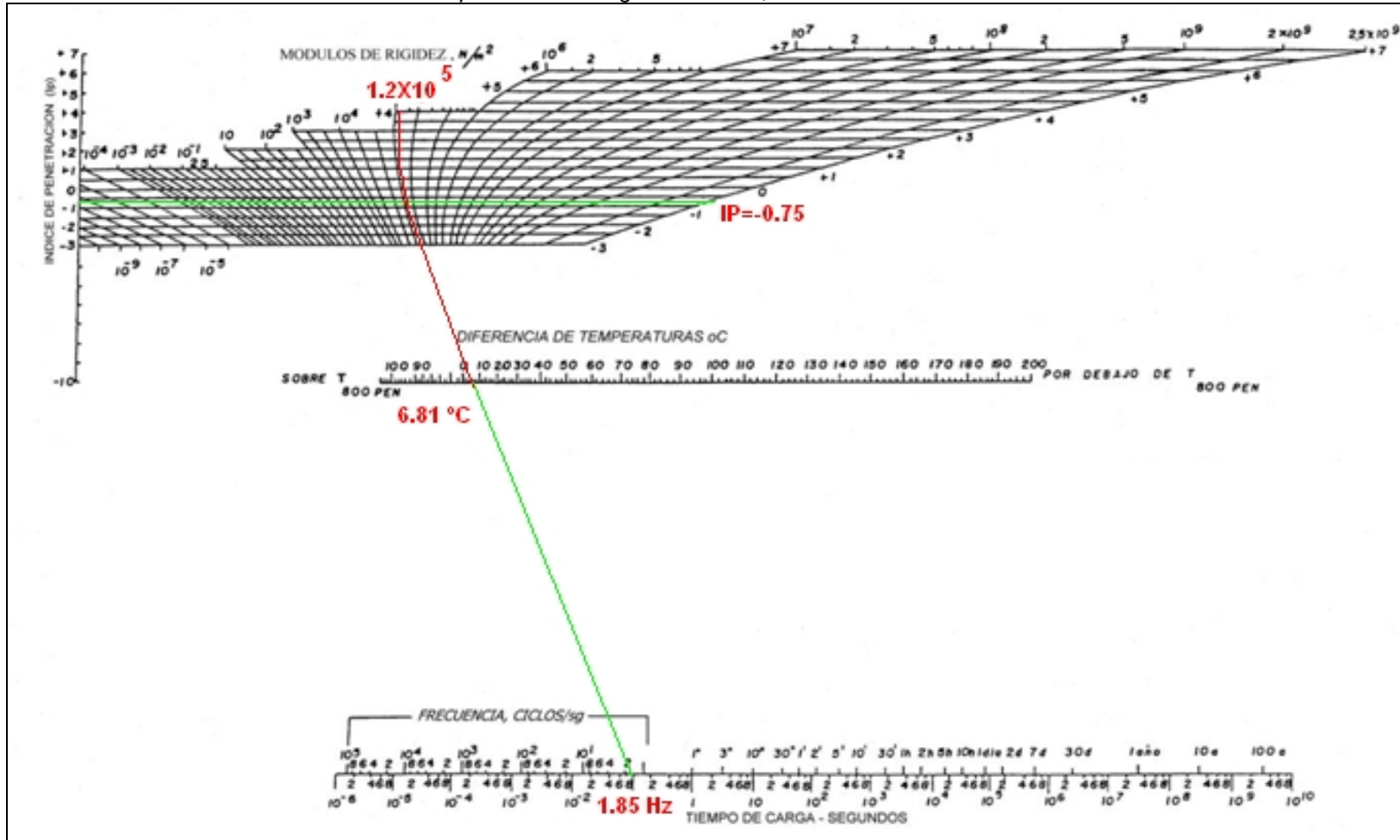
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 22. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz, velocidad 90 KPH.



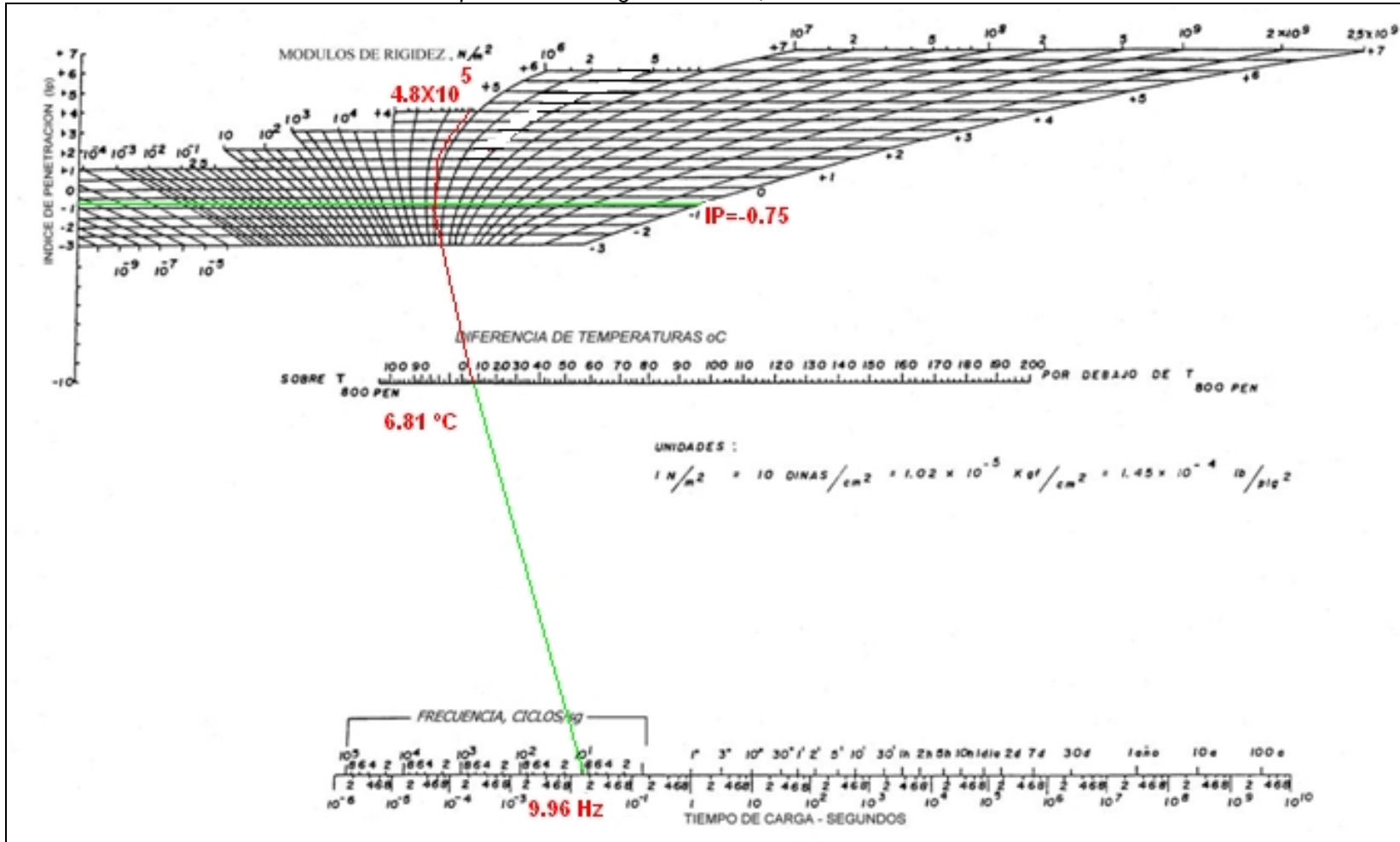
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 23. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz, velocidad 10 KPH.



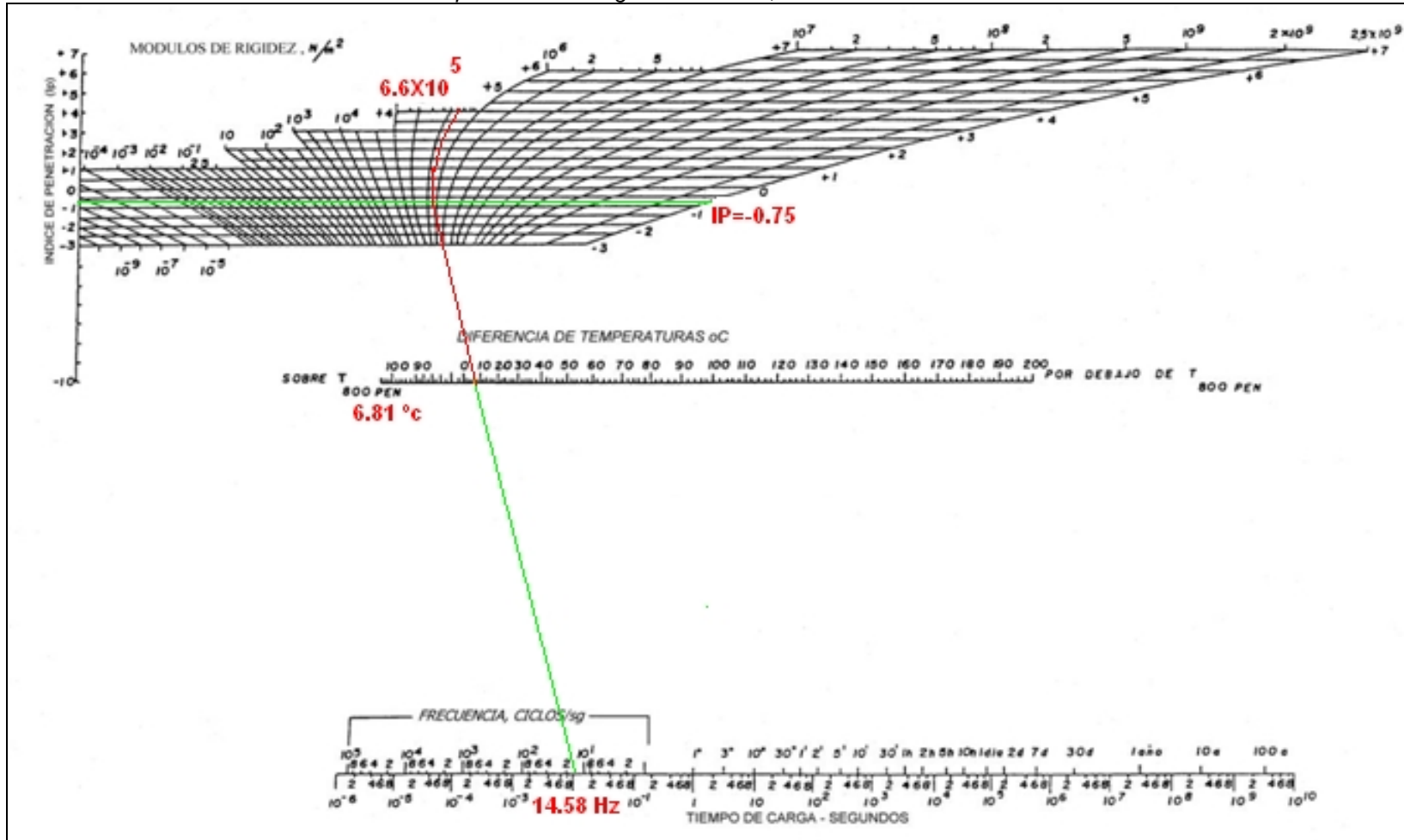
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 24. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz, velocidad 60 KPH.



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 25. Determinación del módulo de dinámico del asfalto, sector de Remolino, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz, velocidad 90 KPH.



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

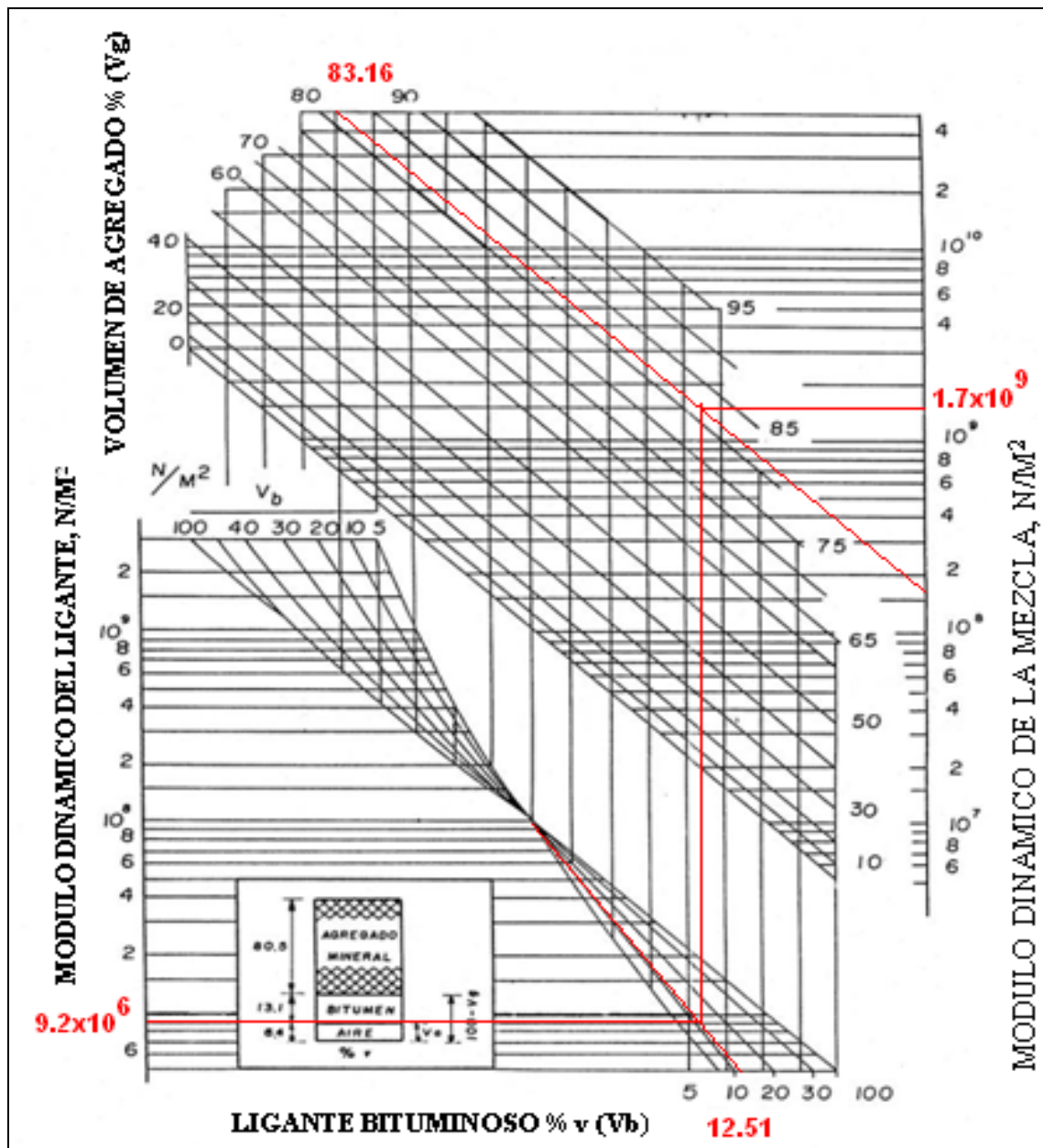
Tabla 17. Valores de módulo dinámico del asfalto normal

Lugar	Temp. ambiente °C	Espesor de carpeta (cm)	Temp. Mezcla	velocidad (kph)	Tiempo seg	Frecuen. Hz	Dif. T800 - t. mezcla	Ábacos - sbit n/m2	Bands - sbit n/m2	Bands - sbit kg/cm2
TUQUERRES	11.00	7.00	16.50	10.0	0.079	2.03	28.81	9.22E+06	9.36E+06	93.60
		7.00		60.0	0.015	10.92	28.81	2.88E+07	2.93E+07	293.00
		7.00		90.0	0.010	15.99	28.81	3.53E+07	3.67E+07	367.00
TUQUERRES	11.00	15.00	16.30	10.0	0.086	1.85	29.01	9.12E+06	9.06E+06	90.60
		15.00		60.0	0.016	9.96	29.01	2.82E+07	2.86E+07	286.00
		15.00		90.0	0.011	14.58	29.01	3.61E+07	3.58E+07	358.00
REMOLINO	27.00	7.00	40.50	10.0	0.079	2.03	4.81	9.21E+04	9.24E+04	0.92
		7.00		60.0	0.015	10.92	4.81	3.90E+05	3.82E+05	3.82
		7.00		90.0	0.010	15.99	4.81	5.32E+05	5.29E+05	5.29
REMOLINO	27.00	15.00	38.50	10.0	0.086	1.85	6.81	1.23E+05	1.18E+05	1.18
		15.00		60.0	0.016	9.96	6.81	4.87E+05	4.93E+05	4.93
		15.00		90.0	0.011	14.58	6.81	6.68E+05	6.70E+05	6.70

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

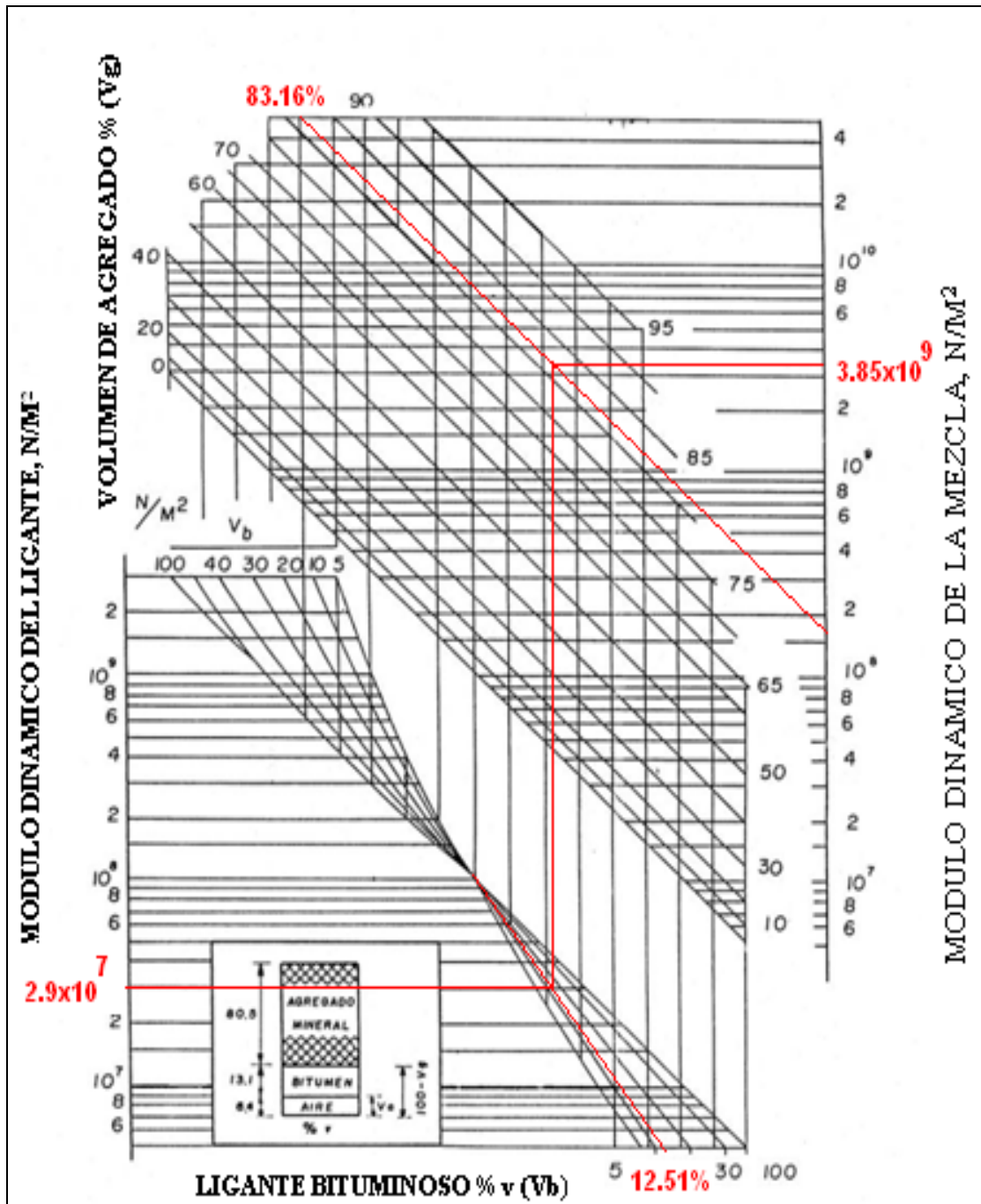
En las gráficas 26 a la 31, se realiza el cálculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto normal), con las condiciones para el sector de Tuquerres. Para el sector de Remolino se determino el módulo dinámico con la ayuda del programa módulo 5, no fue posible la determinación del módulo mediante los nomogramas indicados porque este no aplica para valores bajos de módulo del ligante.

Gráfica 26. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 2.03 Hz.



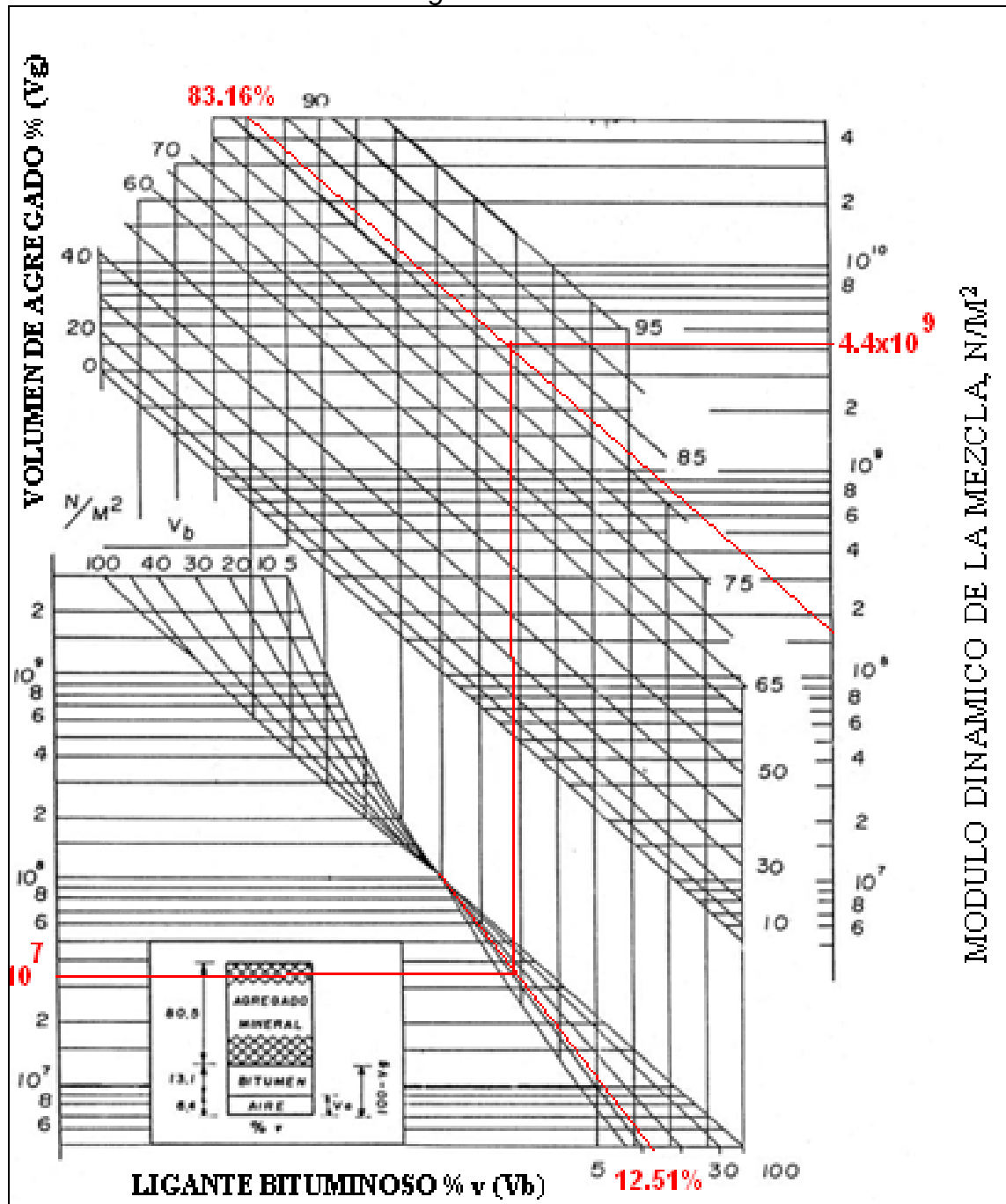
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 27. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 10.92 Hz.



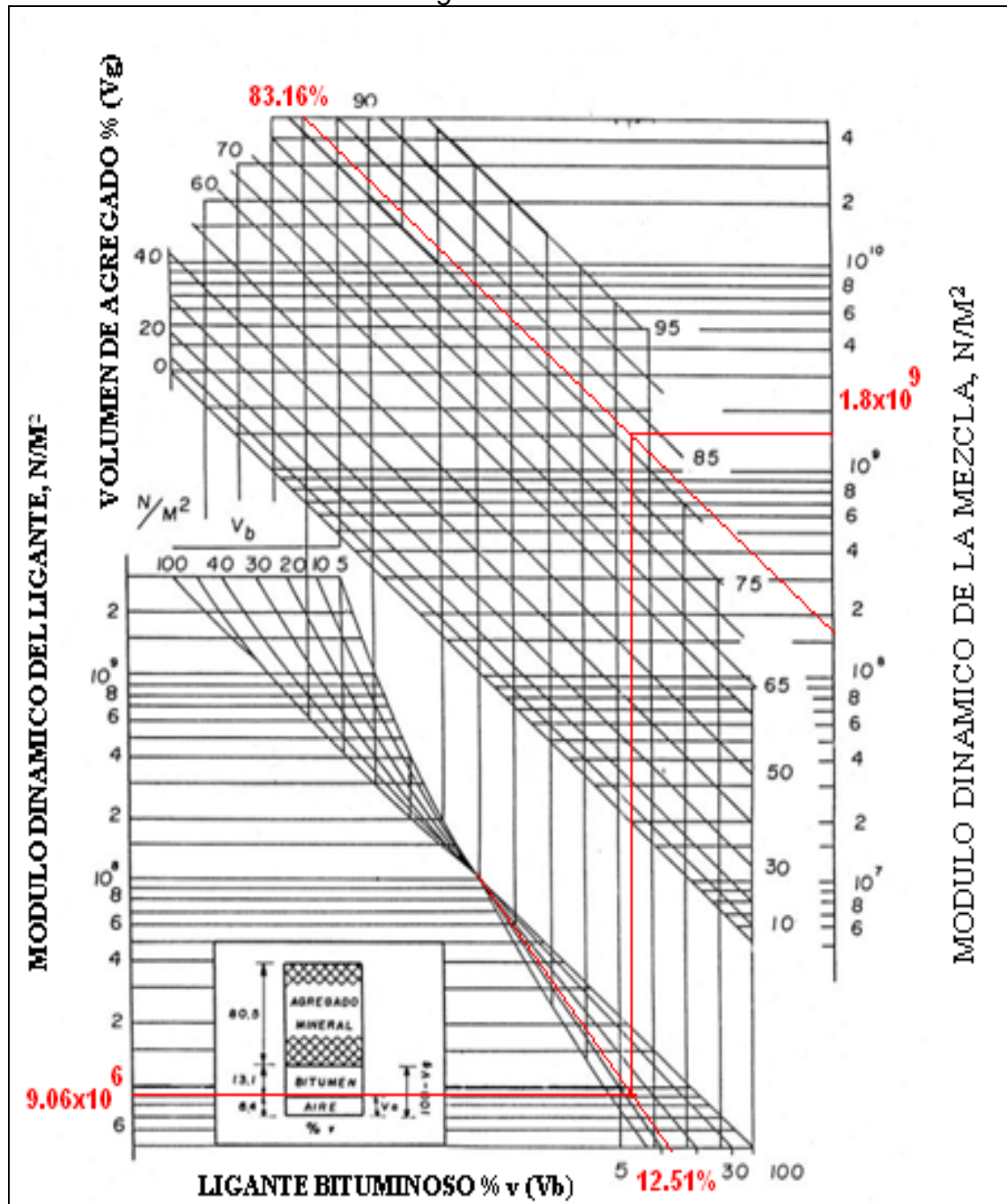
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 28. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 15.99 Hz.



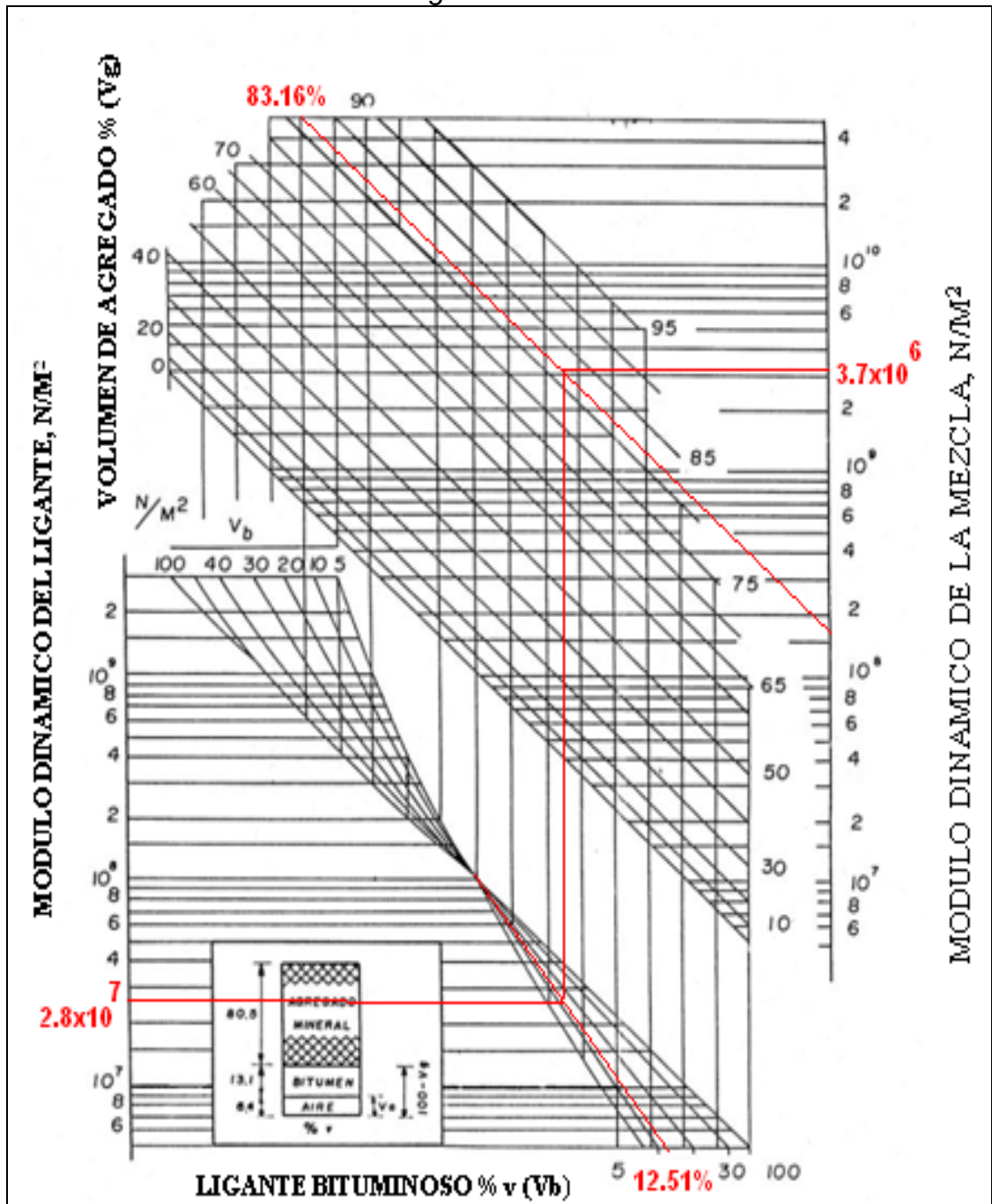
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 29. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 15 cm, frecuencia de aplicación de carga de 1.85 Hz.



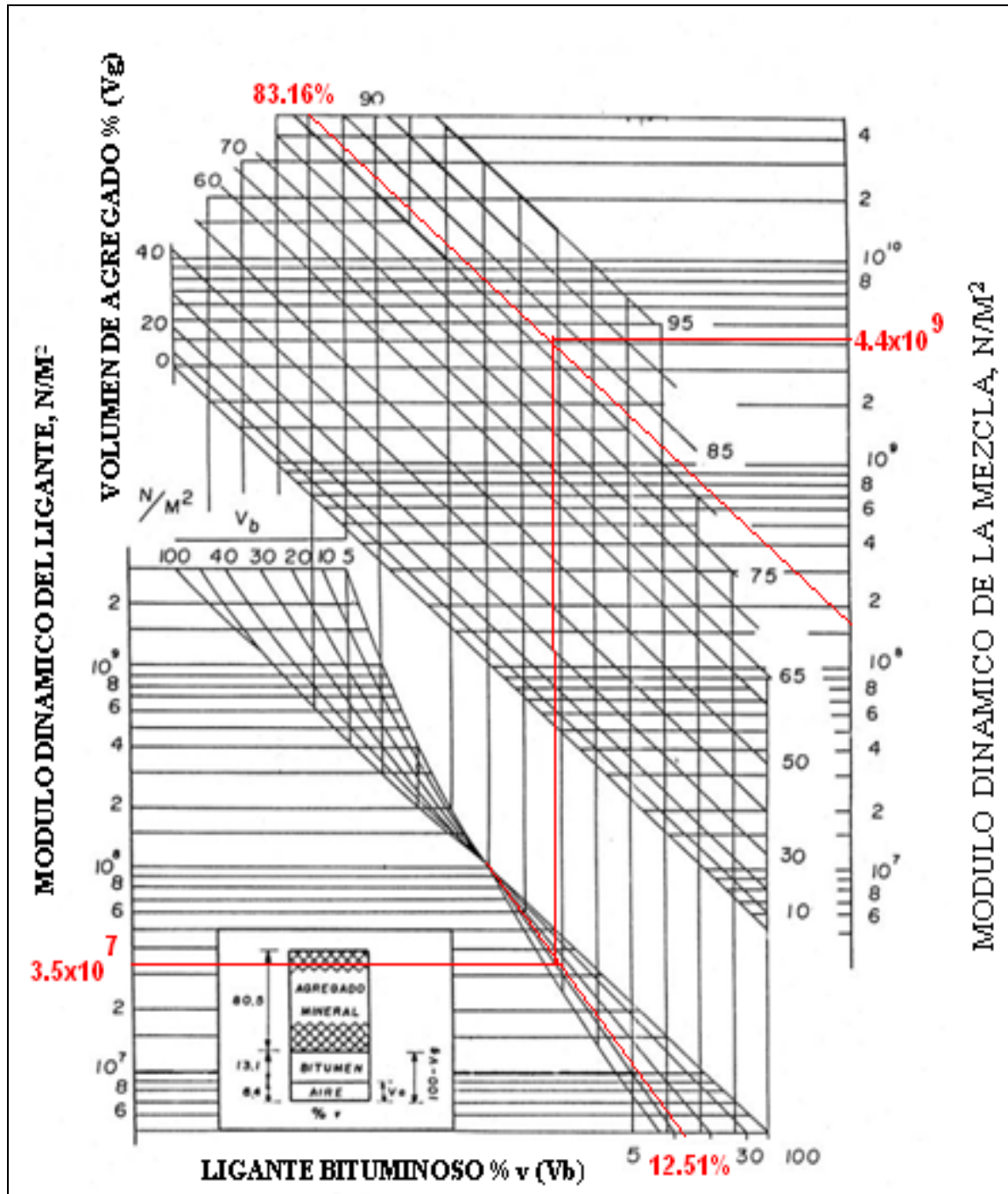
Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 30. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 9.96 Hz.



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Gráfica 31. Determinación del módulo de dinámico de la mezcla asfáltica, sector de Tuquerres, espesor de carpeta asfáltica 7 cm, frecuencia de aplicación de carga de 14.58 Hz.



Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

3.6.13 Determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto modificado). Para la determinación del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, empleando asfalto modificado CARIPHALTE PM III, se utilizó el programa de la Shell, Bands versión 2.0.

En la tabla 19, se muestran los valores de módulo dinámico obtenidos del asfalto modificado.

Figura 15. Calculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, asfalto modificado.

The screenshot shows the BANDS 2.0 software interface. The title bar reads "BANDS 2.0 - Bitumen and Asphalt Nomographs for Windows". The menu bar includes "File", "Edit", "Nomograph", "Window", and "Help". The main window title is "Bitumen Stiffness (SBIT) : 1".

Select Calculation Method

- Softening Point (TRBPPen) and Penetration Index
- Softening Point (TRBPPen) and Penetration with Temperature
- Use 2 x Penetration with Temperature
- Penetration with Temperature and Penetration Index

Input Parameters

Parameter	Unit	Range	From	To	Step
Time of Loading	seconds	<input type="checkbox"/> F	.02		
Bitumen Temp.	°C	<input type="checkbox"/> F	20		
Pen Value 1	0.1mm	<input type="checkbox"/> F	50		
Pen Temp. 1	°C		20		
Pen Value 2	0.1mm	<input type="checkbox"/> F	77		
Pen Temp. 2	°C		25		

Results

Bitumen Stiffness	MPa	11.600
Softening Point	°C	52.1
Penetration Index	-	0.4

Buttons: Results Table, Results Report, Help, Cancel

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado. Programa BANDS Versión 2.0.

Figura 16. Calculo del módulo dinámico de la mezcla asfáltica, asfalto modificado.

The screenshot shows the BANDS 2.0 software interface. The title bar reads "BANDS 2.0 - Bitumen and Asphalt Nomographs for Windows". The menu bar includes "File", "Edit", "Nomograph", "Window", and "Help". The main window title is "Asphalt Mix Stiffness (SMDC) : 1".

Input Parameters

Parameter	Unit	Range	From	To	Step
Bitumen Stiffness	MPa	<input type="checkbox"/> ?	11.6		
Volume Percentage Bitumen	%/v	<input type="checkbox"/> ?	11		
Volume Percentage Aggregate	%/v	<input type="checkbox"/> ?	85		

Results

Percentage Voids	%/v	4.00
Mix Stiffness	MPa	3670

Buttons: Results Table, Results Report, Help, Cancel

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado. Programa BANDS Versión 2.0.

Tabla 18. Ensayos de penetración y punto de ablandamiento, (asfalto modificado).

ASFALTO	CARIPHALTE PM - TIPO III - SHELL		
	PENETRACION		PUNTO DE ABLAND.
MUESTRA / ENSAYO	25 oC	50 oC	oC
1	61.00	117.60	84.20
2	60.80	116.30	81.00
3	64.80	115.40	81.50
4	63.00	117.80	83.20
5	61.00	118.00	82.00
6	60.90	119.20	82.10
7	59.00	116.40	81.20
8	62.00	115.60	81.70
9	60.00	116.90	82.10
10	59.00	116.30	83.00
PROMEDIO	61.15	116.95	82.20

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado.

Tabla 19. Valores de módulo dinámico del asfalto modificado

LUGAR	TEMP AMBIENTE	ESPEJOR DE CARPETA (cm)	T. MEZCLA	VELOCIDAD KPH	TIEMPO SEG	FRECUENC Hz	DIF T800 - TMEZCLA	Ábacos - Sbit N/M2	Bands - Sbit N/M2	Bands - Sbit KG/CM2
TUQUERRES	11.00	7.00	16.50	10	0.079	2.03	65.70	1.51E+07	1.59E+07	159
	11.00	7.00	16.50	60	0.015	10.92	65.70	3.79E+07	3.87E+07	387
	11.00	7.00	16.50	90	0.010	15.99	65.70	4.62E+07	4.66E+07	466
TUQUERRES	11.00	15.00	16.30	10	0.086	1.85	65.90	1.51E+07	1.55E+07	155
	11.00	15.00	16.30	60	0.016	9.96	65.90	3.77E+07	3.80E+07	380
	11.00	15.00	16.30	90	0.011	14.58	65.90	4.45E+07	4.58E+07	458
REMOLINO	27.00	7.00	40.50	10	0.079	2.03	41.70	2.38E+05	2.41E+05	2.41
	27.00	7.00	40.50	60	0.015	10.92	41.70	8.88E+05	8.92E+05	8.92
	27.00	7.00	40.50	90	0.010	15.99	41.70	1.19E+06	1.20E+06	12
REMOLINO	27.00	15.00	38.50	10	0.086	1.85	43.70	3.11E+05	3.13E+05	3.13
	27.00	15.00	38.50	60	0.016	9.96	43.70	1.13E+06	1.17E+06	11.7
	27.00	15.00	38.50	90	0.011	14.58	43.70	1.49E+06	1.54E+06	15.4

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado. Programa BANDS Versión 2.0.

4. RESULTADOS

Tabla 20. Valores de módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto normal)

LUGAR	TEMP AMBIENTE	ESPESOR	Ábacos - Sbit N/M2	Bands - Sbit N/M2	VOL ASFALTO %	VOL AGREG %	VELOCIDAD KPH	Smix - Bands N/M2	Smix - Bands KG/CM2	Módulo 5 (kg/cm2)
TUQUERRES	11.00	7.00	9.22E+06	9.36E+06	12.51	83.16	10	1.77E+09	17,700.00	37,233
	11.00	7.00	2.88E+07	2.93E+07	12.51	83.16	60	3.85E+09	38,500.00	57,514
	11.00	7.00	3.53E+07	3.67E+07	12.51	83.16	90	4.49E+09	44,900.00	62,817
TUQUERRES	11.00	15.00	9.12E+06	9.06E+06	12.51	83.16	10	1.73E+09	17,300.00	36,808
	11.00	15.00	2.82E+07	2.86E+07	12.51	83.16	60	3.79E+09	37,900.00	57,105
	11.00	15.00	3.61E+07	3.58E+07	12.51	83.16	90	4.42E+09	44,200.00	62,326
REMOLINO	27.00	7.00	9.21E+04	9.24E+04	12.51	83.16	10	<5E+09		3,856
	27.00	7.00	3.90E+05	3.82E+05	12.51	83.16	60	<5E+09		6,617
	27.00	7.00	5.32E+05	5.29E+05	12.51	83.16	90	<5E+09		7,697
REMOLINO	27.00	15.00	1.23E+05	1.18E+05	12.51	83.16	10	<5E+09		4,615
	27.00	15.00	4.87E+05	4.93E+05	12.51	83.16	60	<5E+09		7,934
	27.00	15.00	6.68E+05	6.70E+05	12.51	83.16	90	<5E+09		9,164

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado. Programa BANDS Versión 2.0.

Tabla 21. Valores de módulo dinámico de la mezcla asfáltica (asfalto modificado)

LUGAR	TEMP AMBIENTE	ESPESOR	Sbit - Ábacos	Bands - Sbit N/M2	VOL ASFALTO %	VOL AGREG %	VELOCIDAD KPH	Smix - Bands N/M2	Smix - Bands KG/CM2	módulo 5 (kg/cm2)
TUQUERRES	11.00	7.00	1.51E+07	1.59E+07	10.69	82.74	10	2.62E+09	26,200.00	58,396
	11.00	7.00	3.79E+07	3.87E+07	10.69	82.74	60	4.64E+09	46,400.00	76,968
	11.00	7.00	4.62E+07	4.66E+07	10.69	82.74	90	5.23E+09	52,300.00	89,420
TUQUERRES	11.00	15.00	1.51E+07	1.55E+07	10.69	82.74	10	2.58E+09	25,800.00	57,955
	11.00	15.00	3.77E+07	3.80E+07	10.69	82.74	60	4.59E+09	45,900.00	82,837
	11.00	15.00	4.45E+07	4.58E+07	10.69	82.74	90	5.17E+09	51,700.00	88,971
REMOLINO	27.00	7.00	2.38E+05	2.41E+05	10.69	82.74	10	<5E+09		7,178
	27.00	7.00	8.88E+05	8.92E+05	10.69	82.74	60	<5E+09		11,272
	27.00	7.00	1.19E+06	1.20E+06	10.69	82.74	90	<5E+09		12,841
REMOLINO	27.00	15.00	3.11E+05	3.13E+05	10.69	82.74	10	<5E+09		8,502
	27.00	15.00	1.13E+06	1.17E+06	10.69	82.74	60	<5E+09		13,362
	27.00	15.00	1.49E+06	1.54E+06	10.69	82.74	90	<5E+09		15,122

Fuente: Desarrollo del presente trabajo de grado. Programa BANDS Versión 2.0.

En la tabla No 20 y 21, se presentan los resultados obtenidos de la determinación de módulo dinámico de las mezclas asfálticas tanto para el asfalto tipo normal como para el asfalto modificado.

El presente trabajo demuestra que es necesario evaluar los modelos de predicción de módulos conforme a los materiales y condiciones particulares de cada región. De esta manera, la aplicación directa de los valores de penetración y punto de ablandamiento en el diseño de pavimentos flexibles nos da un modelo más confiable, dado que se están obteniendo diseños empleando características propias para unas condiciones específicas, determinadas por el diseñador, sin embargo aún requiere que se ejecuten ensayos que calibren y validen los resultados.

La caracterización tradicional de ligantes basadas en el índice de penetración teórico (T_{800}) no puede ser considerada general, es preferible el uso del índice de penetración real utilizando dos penetraciones para definir la pendiente de la recta al uso del índice de penetración tradicional definido por la penetración a 25 [°C] y la temperatura del punto de ablandamiento..

En el efecto de aumento de la frecuencia de carga se evidencia en el aumento en el valor del módulo dinámico, lo cual es evidente a temperaturas bajas sin embargo en el caso de temperaturas altas aproximadamente cercanas al punto de ablandamiento la variación de este valor es muy mínima.

El valor de módulo dinámico es relativamente bajo a temperaturas altas aproximadamente cercanas al punto de ablandamiento y frecuencias de aplicación de carga correspondientemente bajas, como caso desfavorable, las cuales se pueden presentarse a usualmente a horas pico.

A frecuencias altas se presenta módulos dinámicos altos por lo cual podemos afirmar que una mezcla asfáltica se deformaría menos cuando las velocidades de los vehículos sean mayores.

5. CONCLUSIONES

Como control para la producción de mezclas asfálticas se debe verificar que las características del asfalto consignadas en el certificado de calidad de la refinería cumplan con lo indicado en la norma INVIAS, en caso contrario se debe rechazar el producto; para este caso determinar el índice de penetración y punto de ablandamiento.

La carta RT; Cálculo de la temperatura de la mezcla asfáltica – Shell International Petroleum Company Limited, se utiliza para asfaltos convencionales y no se utiliza para asfaltos modificados porque no se tiene en cuenta las propiedades termoplásticas de este material al momento de determinar la temperatura de la mezcla.

Los monogramas de Van der Poel – Módulo de rigidez del asfalto y el de Bonnaure y otros para el cálculo del Módulo dinámico de mezclas asfálticas de igual manera se limitan para la determinación de este parámetro en el caso de asfaltos modificados.

El valor relativamente bajo de Módulo Dinámico de la mezcla asfáltica con asfalto 80 -100 en zonas de altas temperaturas determina la presencia de grandes deformaciones (ahuellamientos) por lo que se recomienda utilizar asfalto 60-80, tal como lo establece la norma INVIAS.

La falta de equipos de laboratorio para asfaltos en la Universidad de Nariño limitan la investigación en la pavimentación de vías con diferentes materiales, de allí que es necesario obtener el módulo dinámico de mezclas asfálticas con polímeros a través de ensayos de laboratorio como son de Tracción por compresión directa, tracción de flexión de una viga cargada en el tercio central y tracción indirecta en laboratorios que se encuentran fuera de nuestro Departamento.

La única fuente para establecer si los asfaltos modificados con polímeros funcionan, es la escasa experiencia sobre las obras en nuestro departamento que en el momento están ejecutando como es el caso de INCOEQUIPOS LTDA, empresa que está produciendo e instalando mezcla asfáltica en caliente tipo MSC-1 en la Concesión y una mezcla discontinua tipo F1 aplicada en el tramo Pasto – Rumichaca en el PR 13 + 000, la cual se instaló con un espesor de 2.5 cms con asfalto modificado de la Shell sobre una carpeta completamente fisurada en el año 2004 y fue removida en el año 2011 presentando leves fisuramientos.

Es posible que el gran deterioro de los concretos asfálticos en las vías de nuestro departamento, se deben no solo a circunstancias atribuibles al constructor, a la

variación de la calidad de asfaltos producidos en nuestro país sino también a la falta de equipos de laboratorio que han permitido que no se tenga un estricto control sobre el asfalto, los agregados pétreos y las mezclas asfálticas aplicadas en nuestras vías, fácilmente demostrado en el presente trabajo.

Las limitaciones que presentan los monogramas para obtener los módulos dinámicos del asfalto y de la mezcla asfáltica y las variaciones térmicas en nuestro planeta con llevan a ampliar la investigación sobre este tema de gran importancia en el desarrollo de nuestro departamento.

6. RECOMENDACIONES

Ampliar el presente trabajo para obtener diseños de pavimentos que consideren su aplicabilidad en otras fuentes de agregado y asfalto, considerando las variaciones en los módulos que puedan obtenerse en las mezclas asfálticas y posteriormente desarrollando modelos de caracterización de mezclas asfálticas, como instrumento importante en el diseño de pavimentos.

Resaltar la importancia en la obtención de módulos de las mezclas asfálticas producidas en nuestra región, en aras de que el diseñador de pavimentos tenga más herramientas para garantizar estructuras de pavimentos resistentes y durables, con altos índices de funcionalidad para los usuarios.

Confirmar si el valor de penetración medido a la temperatura del punto de ablandamiento es 800 [0,1mm, 100g, 5s] es necesario realizar penetraciones a distintas temperaturas a diferentes asfaltos comercializados en el mercado Colombiano.

Obtener el índice de penetración y el punto de ablandamiento de cada tanque transportado de asfalto convencional o modificado como norma de control para la producción de mezclas asfálticas.

BIBLIOGRAFÍA

AGNUSDEI, Jorge. Asfaltos modificados y sus aplicaciones. En: Primer simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997.

ARENAS LOZANO Hugo, Teoría de los Pavimentos, Parte 1. Universidad del Cauca, Popayán.

ECOPETROL Y UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Cartilla para el manejo de los asfaltos colombianos. Popayán. 1997.

MUÑOZ RICAURTE Guillermo, Pavimentos de Concreto Asfáltico. Pasto: Universidad de Nariño, 2002.

REYES LIZCANO Fredy y REYES ORTIZ Oscar. Mejoramiento de las propiedades mecánicas de una capa de asfalto con desperdicios plásticos. En: Décimo primer simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Cartagena, Colombia, 1997.

PAGINAS WEB:

TONDA Mauricio. Asfaltos modificados con polímeros. Disponible en Internet, www.monografias.com

ANEXOS

Anexo A. RECURSOS

Recursos Humanos

Se contará con el asesoramiento de profesores en el área de pavimentos y vías pertenecientes a la facultad de ingeniería civil de la universidad de Nariño, los estudiantes responsables de la ejecución de este estudio, y los auxiliares del laboratorio de asfaltos que colaborarán en el desarrollo de este proyecto.

Recursos Tecnológicos

Se utilizará para calcular el Índice de penetración: El penetrometro que incluye el juego de agujas, recipientes, termómetros; y para determinar el punto de ablandamiento se utilizará, el aparato básico de bola, anillo de dos puestos y equipo menor del laboratorio de asfaltos de la universidad de Nariño, adicionalmente esta información se recopilará en computadores, herramientas informáticas, cámaras fotográficas y de video.

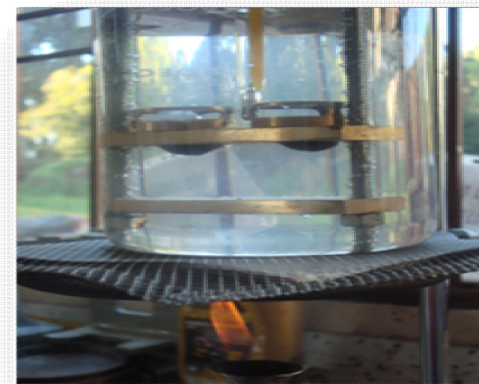
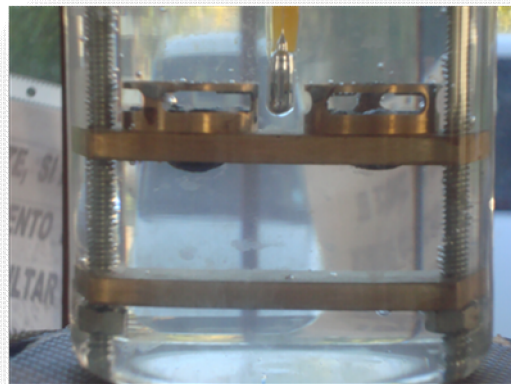
Recursos Materiales

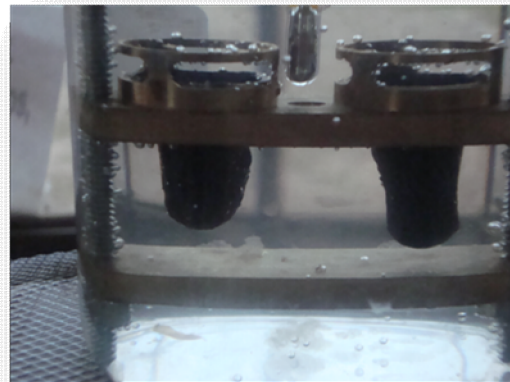
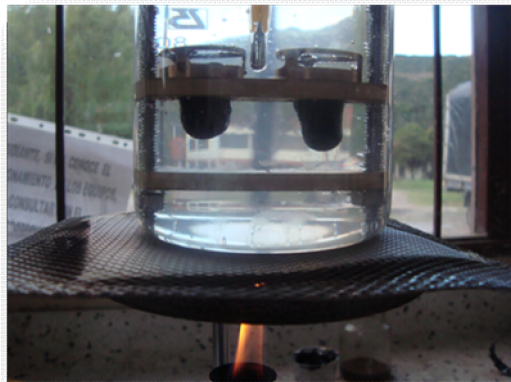
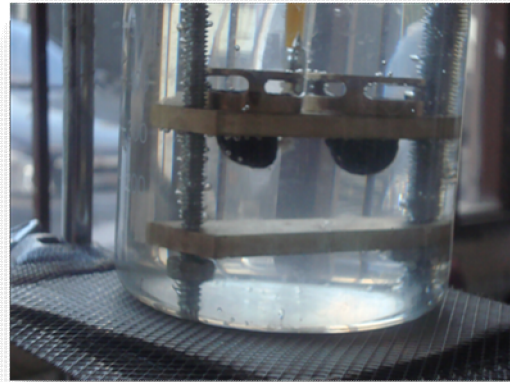
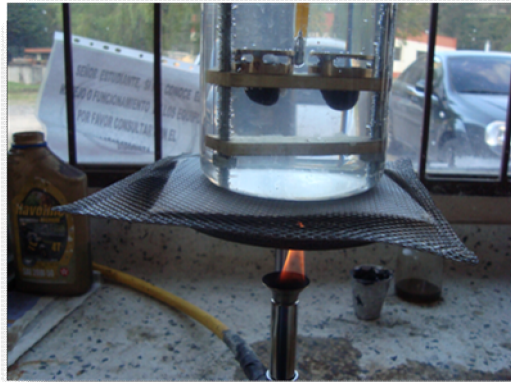
Para realizar el trabajo de grado se necesitaran materiales para los ensayos de penetración y punto de ablandamiento, papelería y fotocopias.

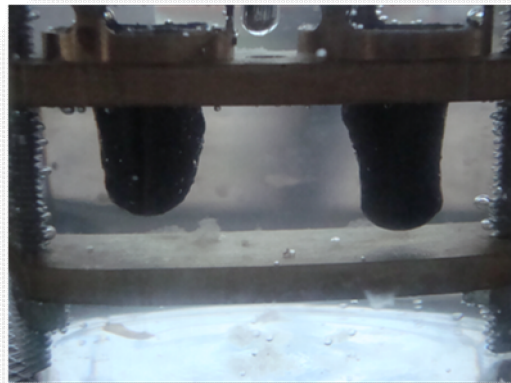
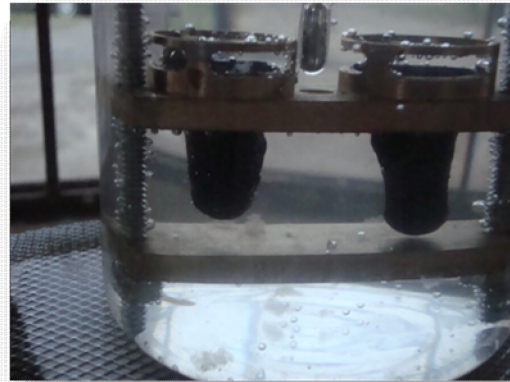
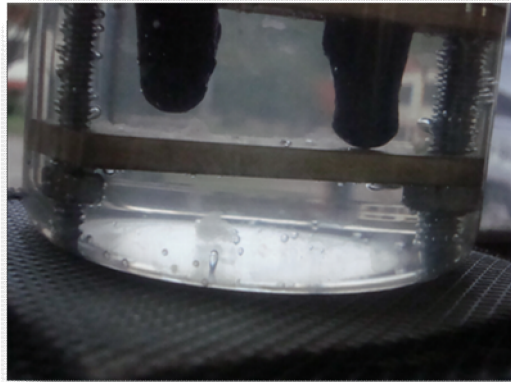
Recursos Financieros

ÍTEM	COSTO
Alumnos (6 meses)	3.600.000
Penetro metro mecánico	4.000.000
Equipo de anillo y bola	600.000
Juego de agujas de penetración	200.000
Recipientes o moldes para la muestra	150.000
Juego de termómetros de mercurio con varilla de de vidrio de inmersión total	350.000
Material para los ensayos (asfalto, polímero)	200.000
Fotocopias, documentos, papelería.	150.000
Trabajos de oficina e impresiones.	100.000
SUB TOTAL	9.350.000
Imprevistos (5%)	467.500
TOTAL	9.817.500

Anexo C. REGISTRO FOTOGRAFICO ENSAYOS DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.







Anexo D. FICHA TÉCNICA ASFALTO MODIFICADO.