

“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y GRANULOMETRÍA DE LAS MEZCLAS EN CALIENTE PRODUCIDAS EN LA PLANTA LA VICTORIA UBICADA EN EL KILÓMETRO 4 VÍA NARIÑO”.

GIOVANNY ANDRES CALDERON MONCAYO
LUÍS CARLOS UNIGARRO SANTACRUZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
AGOSTO DE 2011

“DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y GRANULOMETRÍA DE LAS MEZCLAS EN CALIENTE PRODUCIDAS EN LA PLANTA LA VICTORIA UBICADA EN EL KILÓMETRO 4 VÍA NARIÑO”.

GIOVANNY ANDRES CALDERON MONCAYO
LUÍS CARLOS UNIGARRO SANTACRUZ

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE CARRETERAS

DIRECTOR:
ING. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO
MAGISTER INGENIERÍA DE VÍAS TERRESTRES

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE CARRETERAS
SAN JUAN DE PASTO
AGOSTO DE 2011

NOTA DE RESPONSABILIDAD

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

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

NOTA DE ACEPTACIÓN

COMENTARIOS:

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

ING. JAIRO A. BRAVO GUERRERO
Especialista en Ingeniería de Carreteras
Jurado

Ing. DARIO F. BUCHELY MUÑOZ
Especialista en Ingeniería de Carreteras
Jurado

Pasto, Agosto de 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida
A mi esposa Adriana con todo mi amor,
A mi hijo Sebastián que lo quiero mucho y
A mis padres con mucho cariño

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO.	19
1.2 GENERALIDADES	19
1.2.1 Mezcla asfálticas.	19
1.2.2 Características	19
1.2.3. Diseños de mezclas asfálticas en caliente	21
1.2.4 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño	21
1.2.5. Vacíos bajos y estabilidad baja.	22
1.2.6. Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria.	22
1.3. PLANTAS PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE	24
1.3.1 Etapas en la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente	26
1.3.2 Plantas de dosificación.	26
2. PLANTA DE PRODUCCIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE LA VICTORIA	37
2.1 LOCALIZACIÓN.	37
2.2. DESCRIPCIÓN.	37
2.3 PRODUCCIÓN DE LA PLANTA LA VICTORIA	40
2.3.1 Tolvas.	40
3. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL	48
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO.	48
3.2 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS.	49
3.3 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO BULK.	50
3.4 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.	51
3.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.	52
3. 6. Diseño Marshall de mezcla asfáltica tipo MDC – 2 (RICE)	55
4. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA PRODUCIDA POR LA PLANTA LA VICTORIA	56
4.1 TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS I.N.V. E – 731	56
4.1.1 Objetivo norma I.N.V. E – 731	56
4.1.2 Selección de muestras.	56
4.1.3 Tamaño de las muestras	56
4.1.4 Toma de muestras en la planta de asfalto.	57
4.1.5 Toma de muestras asfálticas "in situ".	58
4.2 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS SEGÚN MÉTODO A I.N.V. E – 732	58
4.2.1. Objetivo de la norma I.N.V. E – 732	58
4.2.2. Resumen del Método.	59

4.2.3. Uso y significado	59
4.2.4. Equipo	59
4.2.5. Reactivos	59
4.2.6. Precauciones.	60
4.2.7 Humedad.	61
4.2.8 Procedimiento.	62
4.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS I.N.V. E-782	64
4.3.2 Aparatos	64
4.3.4 Cálculos y resultados.	65
5. CONTROL DE CALIDAD	67
5.1 COMPARACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS	67
5.1.1 Toma de Muestras	67
5.1.2 Ensayo del contenido de asfalto	68
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS	71
5.2.1 Margen de calidad de la producción de la mezcla asfáltica elaborada en la planta la Victoria	71
5.2.2 Resumen resultados	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Eficiencias de diferentes tipos colectores de polvo.	30
Tabla 2. Temperaturas típicas de mezclas asfálticas en caliente.	32
Tabla 3. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall.	49
Tabla 4. Tamaño de la muestra de la mezcla asfáltica	57
Tabla 5. Máxima concentración para cada tipo de solvente	60
Tabla 6. Tamaños de la muestra	61
Tabla 7. Variación de Porcentaje de Asfalto	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Plantas De Dosificación	25
Figura 2. Plantas Mezcladoras De Tambor	25
Figura 3. Esquema de Planta de dosificación	26
Figura 4. Ilustración del ciclo de mezclado.	33
Figura 5. Esquema Planta de mezcla en tambor	34
Figura 6. Localización de la planta	37
Figura 7. Planta la victoria.	38
Figura 8. Tolvas	40
Figura 9. Bandas transportadoras	41
Figura 10. Secador	41
Figura 11. Elevador de calientes	42
Figura 12. Centrifuga	43
Figura 13. Depurador húmedo	44
Figura 14. Cribas vibratorias	44
Figura 15. Mezclador	45
Figura 16. Controles de la planta	46
Figura 17. Caldera	46
Figura 18. Tanques de Asfalto	47
Figura 19. Producción Planta la Victoria	67
Figura 20. Toma de muestras	68
Figura 21. Método de cuarteo	68
Figura 22. Balanza laboratorio planta	69
Figura 23. Balanza electrónica	69
Figura 24. Centrifuga manual laboratorio planta	70
Figura 25. Ensayo de extracción	70
Figura 26. Ensayo de extracción	71
Figura 27. Vista general Planta la victoria.	72

LISTA DE GRAFICOS

	Pág
Grafico 1. Densidad vs Porcentaje de asfalto.	52
Grafico 2. Estabilidad vs Porcentaje de asfalto	52
Grafico 3. Flujo vs Porcentaje de asfalto.	53
Grafico 4. Vacíos totales vs Porcentaje de asfalto.	53
Grafico 5. Vacíos en agregado mineral vs Porcentaje de asfalto.	54
Grafico 6. Análisis Granulométrico	72
Grafico 7. Contenido de asfalto óptimo de $6\% \pm 0.3$	74
Grafico 8. Variaciones en el contenido de asfalto debido a mezclado incorrecto o variaciones en la extracción	74

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A. Autocontrol laboratorio Planta la victoria	80
Anexo B. Verificación en el Laboratorio de la Universidad de Nariño	85

RESUMEN

El desarrollo de un país está ligado con la construcción de caminos y carreteras, porque brinda beneficios socioeconómicos como mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la concentración de trabajadores locales en el proyecto en sí, el mayor acceso a la atención médica, la confiabilidad del tránsito y su operación bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos del transporte y otros servicios sociales como la educación y el fortalecimiento de las economías locales entre otros.

En Colombia, se están desarrollando grandes proyectos de nuevas carreteras, rehabilitaciones y mantenimientos, en los cuales uno de los principales objetivos es facilitar y mejorar la comunicación y el transporte de productos, estos proyectos se desarrollan en su mayoría mediante la utilización de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles, por su economía y su rápida construcción; esta clase de obras, requieren de la inversión de grandes recursos económicos para su desarrollo los cuales deben ser invertidos adecuadamente.

ABSTRACT

The development of a country is linked with the construction of roads and highways, because it provides economic benefits such as greater access to markets for local crops and products, access to new employment centers, the concentration of local workers in the project itself , increased access to health care, the reliability of transit and its operation under all weather conditions, reducing transportation costs and other social services like education and strengthening local economies and others.

In Colombia, large projects are developing new roads, rehabilitation and maintenance, in which one of the main objectives is to facilitate and improve communication and transportation of products, these projects are mostly using asphalt for flexible pavements, its economy and rapid construction, such works require the investment of large resources for their development which should be invested properly.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de un país está ligado con la construcción de caminos y carreteras, porque brinda beneficios socioeconómicos como mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, la concentración de trabajadores locales en el proyecto en sí, el mayor acceso a la atención médica, la confiabilidad del tránsito y su operación bajo todas las condiciones climáticas, la reducción de los costos del transporte y otros servicios sociales como la educación y el fortalecimiento de las economías locales entre otros.

En Colombia, se están desarrollando grandes proyectos de nuevas carreteras, rehabilitaciones y mantenimientos, en los cuales uno de los principales objetivos es facilitar y mejorar la comunicación y el transporte de productos, estos proyectos se desarrollan en su mayoría mediante la utilización de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles, por su economía y su rápida construcción; esta clase de obras, requieren de la inversión de grandes recursos económicos para su desarrollo los cuales deben ser invertidos adecuadamente.

En concordancia con lo anterior, es necesario un buen control durante la etapa de construcción para que las empresas constructoras cumplan con los diseños previamente establecidos y de esta manera brinden a la comunidad un proyecto con las mejores especificaciones que generan un buen control de calidad durante la etapa de producción de la mezcla asfáltica.

El diseño de mezclas asfálticas tiene como objetivo el de lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica, ya que de esto depende en gran medida el buen funcionamiento de la superficie de rodadura en su vida de servicio. Entonces es importante simular de manera adecuada en el laboratorio lo que ocurre en el campo, bajo la acción vehicular y de esta forma llegar a la obtención de mezclas que muestren un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.¹

El tema reviste de gran importancia pues es necesario establecer el rango de porcentaje de asfalto de materiales granulares en la producción de las mezclas asfálticas elaboradas en la planta La Victoria ubicada en el kilómetro 4 vía que conduce al Municipio de Nariño, además servirá como alternativa para corroborar lo especificado en el Método Marshall, ya que se obtendrán resultados estadísticos de los ensayos de porcentaje de asfalto y gradación, donde se podrá establecer algunas condiciones técnicas que permitan mejorar la elaboración de la mezcla asfáltica de la planta La Victoria.

¹ J. Don Brock, PhD., P. Contenido de asfalto. México 1988

Por último es importante manifestar que la universidad de Nariño ya cuenta con los equipos de pavimento necesarios como es el caso de la “centrifuga” para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto.

TEMA

Título: Determinación cuantitativa del contenido de asfalto y granulometría de las mezclas en caliente producidas en la planta la victoria ubicada en el kilómetro 4 vía Nariño

Modalidad. Trabajo de grado aplicado.

Área de investigación. Pavimentos.

Línea de investigación. Ingeniería de carreteras.

Alcance y delimitación. Determinar el contenido de asfalto, en virtud de lo preceptuado en la norma reglamentada por el Instituto Nacional de Vías INVE-731, utilizando como instrumento una centrifuga que permite comprobar que los agregados cumplan con los parámetros óptimos del diseño de las mezclas asfálticas producidas en la PLANTA LA VICTORIA UBICADA EN EL KILÓMETRO 4 VÍA NARIÑO.

Descripción del problema. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: Varios de los proyectos viales que se desarrollan en el departamento de Nariño tienen contemplado como capa de rodadura una carpeta asfáltica, razón por la cual se deben incrementar los controles en la producción de la mezcla asfáltica para lograr que cumpla con los parámetros establecidos en el diseño, y así garantizar su calidad y funcionamiento al ser instalada.

La mezcla asfáltica es el producto de unir asfalto con material granular bajo unos criterios y normas establecidas. Esta mezcla actúa como esqueleto que aporta resistencia y rigidez a la estructura de pavimento, cuyos valores dependen de las propiedades individuales de los materiales, las condiciones ambientales y de las cargas de tránsito que soporta la vía. Los porcentajes de las partículas de material granular (granulometría) que conforman las mezclas asfálticas hacen que se incrementen o disminuyan sus propiedades mecánicas y dinámicas, de ahí la importancia de realizar un control permanente para determinar y verificar la cantidad de asfalto real y agregados de las mezclas producidas en la planta la Victoria, para conocer la variación en la producción de la mezcla asfáltica y establecer los umbrales de calidad.

Formulación del problema. ¿Cuál es el porcentaje de asfalto y la granulometría de las mezclas asfálticas en caliente elaboradas en la planta la Victoria ubicada en el kilómetro 4 vía Nariño?

Sistematización del problema. ¿La planta La Victoria cuenta con el equipo adecuado para este control de calidad según la norma I.N.V.E-732?

¿Es importante identificar los posibles limitantes en la producción de mezcla asfáltica de la planta La Victoria?

¿Porque es importante determinar la variación con respecto a la calidad en la elaboración de la mezcla asfáltica producida en la planta La Victoria?

OBJETIVO.

Objetivo general. Verificar cuantitativamente el porcentaje de asfalto y la granulometría de las mezclas asfálticas en caliente elaboradas en la planta la Victoria ubicada en el kilometro 4 vía Nariño.

.OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Recopilar información referente a la norma I.N.V E-731, 732, 782, reglamentado por el Instituto Nacional de Vías – INVIAS.
- Realizar un diagnóstico de los procesos de elaboración de la mezcla asfáltica de la planta La Victoria.
- Determinar el margen de calidad de producción de la mezcla asfáltica elaborada en la planta La Victoria.
- Analizar los resultados obtenidos de la aplicación de los ensayos en aras de argumentar según el caso las recomendaciones pertinentes al porcentaje de asfalto que debe contener la mezcla asfáltica en caliente elaborada en la planta la Victoria ubicada en el kilómetro 4 vía Nariño.

Justificación. En el departamento de Nariño, se adelantan grandes proyectos de pavimentación y de mantenimiento de la malla vial, dentro de los cuales está contemplada la instalación de una carpeta asfáltica, estos proyectos requieren de cuantiosas inversiones económicas, por lo cual se debe realizar un control sobre los materiales, para garantizar que la mezcla asfáltica presente el mejor comportamiento una vez sea instalada, según el diseño de producción.

El diseño de una mezcla asfáltica, consiste en seleccionar la calidad de los materiales agregados y la granulometría de la mezcla a emplear, así como el tipo y cantidad de asfalto de acuerdo al clima y las cargas que estarán presentes durante la vida útil del pavimento, observándose la responsabilidad de todos y cada uno de los que intervienen en la construcción y la necesidad de aplicar la normatividad vigente en estos eventos.

Por lo anterior esta investigación servirá como alternativa para corroborar lo especificado en el Método Marshall, ya que se obtendrán resultados estadísticos de los ensayos de porcentaje de asfalto y gradación, donde se podrá establecer algunas condiciones técnicas que permitan mejorar la elaboración de la mezcla asfáltica de la planta La Victoria.

1. MARCO TEORICO.

1.2 GENERALIDADES

1.2.1 Mezcla asfálticas. Definición

La mezcla asfáltica es una combinación de agregados pétreos y un ligante asfáltico en proporciones exactas y previamente especificadas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades y características de la mezcla. Las mezclas asfálticas se pueden fabricar en caliente o en frío, siendo más comunes las primeras.

Existen distintos procedimientos para calcular las cantidades de cada material en la mezcla en caliente. Entre ellos tenemos el procedimiento Marshall y el procedimiento Hveem, que tienen una larga trayectoria de uso a nivel mundial. Adicionalmente, se ha desarrollado una nueva tecnología para el diseño de mezclas, denominado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement), que es todo un sistema de nuevos procedimientos en mezclas asfálticas, desarrollado en Estados Unidos por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (SHRP).

1.2.2 Características² . Las principales características de la mezcla asfáltica son:

- **Estabilidad**

Es la capacidad para resistir la deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento inestable presenta ahuellamientos, corrugaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla.

- **Durabilidad**

Es la capacidad para resistir la acción de los agentes climáticos y del tránsito, que se observa en desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto.

- **Impermeabilidad**

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia el interior del pavimento.

² DANNY MANUEL ERAZO CARRIÓN. evaluación y mejoramiento del proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica que produce la planta de asfalto del ilustre municipio de Loja. Loja-ecuador.2009.

- **Flexibilidad.** Es la capacidad del pavimento para acomodarse sin agrietamientos, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante.

- **Resistencia a la fatiga**

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Expresa la capacidad de la mezcla a deformarse repetidamente sin fracturarse.

- **Resistencia al deslizamiento**

Capacidad de proveer suficiente fricción para minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada.

- **Propiedades de una mezcla asfáltica**

- **Densidad de la mezcla.** Es el peso de un volumen específico de mezcla. La densidad obtenida en el laboratorio es la densidad patrón y la densidad obtenida in-situ se expresa como un porcentaje de la misma. Una densidad alta en el pavimento terminado se traduce en una mayor durabilidad.

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

- **Contenido de asfalto.** Es el componente más importante. Debe ser determinado en laboratorio y controlado en obra. Mientras más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

- **Clasificación.** Existen distintos tipos de mezcla asfáltica, dependiendo del tipo de asfalto, la proporción de agregados en la mezcla, la granulometría del agregado y el proceso de fabricación. Las mezclas se pueden fabricar en caliente en central de mezcla o en frío in-situ. Según su granulometría o gradación, se pueden usar como bases o como capas de rodadura, cada mezcla tiene un uso específico que vendrá determinado en el diseño mismo de la mezcla.

Es así como tenemos varios ejemplos: En las especificaciones generales de construcción de carreteras del INVIAS (Instituto Nacional de Vías) encontramos, entre otras, las siguientes posibilidades: Mezcla densa en frío, mezcla abierta en frío, mezcla densa en caliente, mezcla abierta en caliente, mezcla discontinua en caliente para capa de rodadura y mezcla drenante. La aeronáutica civil, utiliza sus propias gradaciones que por el uso especial requieren características especiales, como mayor resistencia al desgaste. Su guía son las normas FAAC, dentro de las cuales se tiene la mezcla para pistas P-401.

- **Fabricación industrial.** La fabricación de la mezcla asfáltica en caliente es un proceso industrial, realizado en plantas productoras de mezcla asfáltica. Estas, son un conjunto de equipos mecánicos y electrónicos, en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con cemento asfáltico para producir una mezcla asfáltica en caliente. Las operaciones principales de una planta de asfalto son secado, cribado, proporcionamiento y mezclado. Hay en general dos tipos de planta, de dosificación (bachada) y mezcladora de tambor (continua). Los dos tipos de planta son utilizados en Colombia. El proceso de fabricación es controlado y verificado.

1.2.3. Diseños de mezclas asfálticas en caliente. A continuación se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

Método Marshall (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fué adaptado para su uso en carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.

Método Hveem (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial.

Método SUPERPAVE (1993) El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Tiene su resultado, ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

1.2.4 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño. Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es frecuentemente necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los

límites establecidos. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación de agregado dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora. Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deberán realizar serias consideraciones. Existen lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos los casos:³

1.2.5. Vacíos bajos y estabilidad baja. Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregado grueso o fino. Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para reemplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento. Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse. Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Con la incorporación de arena procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

1.2.6. Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria. Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional. Por su parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una de graduación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que

³ Paul Garnica Anguas. ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
Publicación Técnica No 246 Sanfandila, Qro, 2004.

ajustarse por uno de los métodos dados, en el inciso anterior sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

- **Vacíos satisfactorios y estabilidad baja.** La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.
- **Vacíos altos y estabilidad satisfactoria.** Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través del pavimento pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deberán realizar ajustes para reducir los vacíos. Pequeñas reducciones se lograrán mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar o combinar agregados para lograr una gradación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad.
- **Vacíos altos y estabilidad baja.** Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales.
- **Selección del diseño final.** La selección del diseño final de la mezcla es usualmente la más económica y cumple satisfactoriamente con todos los criterios establecidos. De cualquier forma, la mezcla no deberá ser diseñada para optimizar una propiedad en particular. Mezclas con valores altos anormales de estabilidad son frecuentemente menos deseables debido a que pavimentos con ese tipo de mezclas tienden a ser menos durables, o pueden fracturarse prematuramente bajo altos volúmenes de tránsito. Esta situación es bastante crítica cuando los materiales de la base y terreno natural son débiles y permiten deflexiones de moderadas a relativamente altas con el tránsito actual. La selección del contenido óptimo debe ser un compromiso de optar por balancear de todas las propiedades de la mezcla. Normalmente, los criterios de diseños de mezclas producirán un rango limitado de contenidos aceptables de asfaltos que pasen todos los lineamientos. La selección del contenido de asfalto puede ajustarse en este rango limitado para lograr propiedades de la mezcla que puedan satisfacer los requerimientos de un proyecto en especial; algunas propiedades serán mas críticas, que otras y dependerán de circunstancias del diseño, como puede ser el

tránsito, la estructura, el clima, el equipo de construcción y otros factores. Más allá, el proceso de balanceo no es el mismo para cada pavimento ni para cada diseño de mezcla. Hay algunas consideraciones en el ajuste que deben ser evaluadas antes de establecer el diseño final del contenido de asfalto. 4

1.3. PLANTAS PARA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Las Plantas de asfalto en caliente, llevan a los agregados a temperaturas de entre 130°C a 150°C, donde son secados y mezclados dependiendo esto de las condiciones de diseño de la planta y de las especificaciones para el tipo de mezcla a producir.

- **Clasificación de plantas de asfalto.** Las plantas de mezcla en caliente pueden clasificarse de la siguiente manera

- **De acuerdo a la forma de producción:** Discontinuas: De bachada por peso de mazada

Continuas: Convencionales

Tambor – mezclador

- **Según su capacidad de producción:** Se clasifican según su capacidad de producción en Ton / hora

- **De acuerdo a su movilidad:**

Portátiles

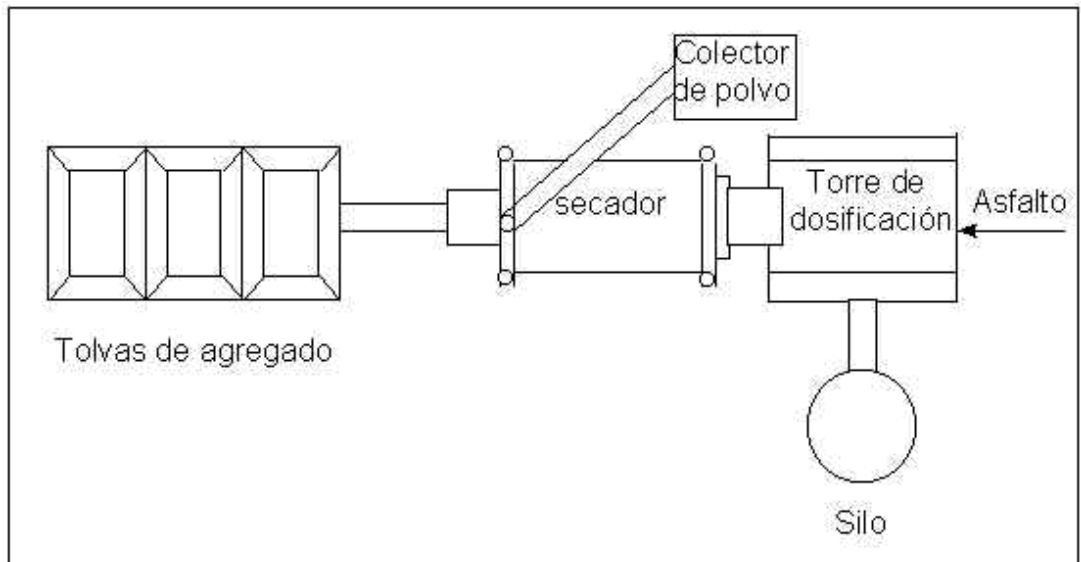
Estacionarias

Las convencionales o de dosificación que son las que se encuentran comúnmente en nuestra región.

La diferencia entre los dos tipos consisten en que las plantas de dosificación (figura 1.) secan y calientan el agregado y después, en un mezclador lo combinan con el asfalto; mientras que las plantas mezcladoras de tambor (figura No.2) secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo en la siguiente figura se ilustran las similitudes y diferencias físicas entre ambos tipos de plantas.

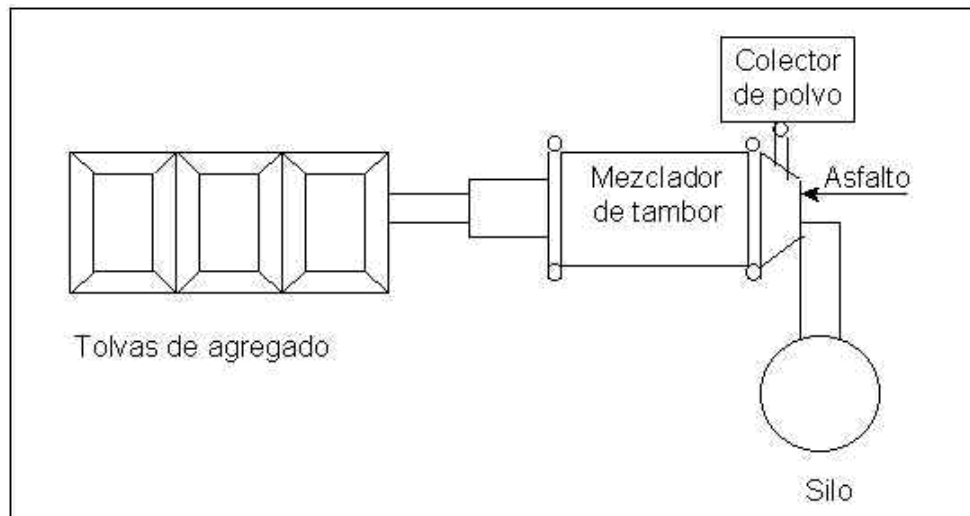
⁴ Ibid.

Figura 1. Plantas De Dosificación



Fuente: análisis y verificación de la normas de calidad ISO en el proceso de producción de mezcla asfáltica por Claudia Ileana de Fátima Godoy, U Francisco Marroquín, 2004.

Figura 2. Plantas Mezcladoras De Tambor



Fuente: Análisis y verificación de la normas de calidad ISO en el proceso de producción de mezcla asfáltica por Claudia Ileana de Fatima Godoy, U Fransisco Marroquín, 2004.

1.3.1 Etapas en la fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. Las plantas en caliente están conformadas por un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados se combinan, calientan, secan y mezclan con asfalto para producir una mezcla que debe cumplir con unas especificaciones.⁵

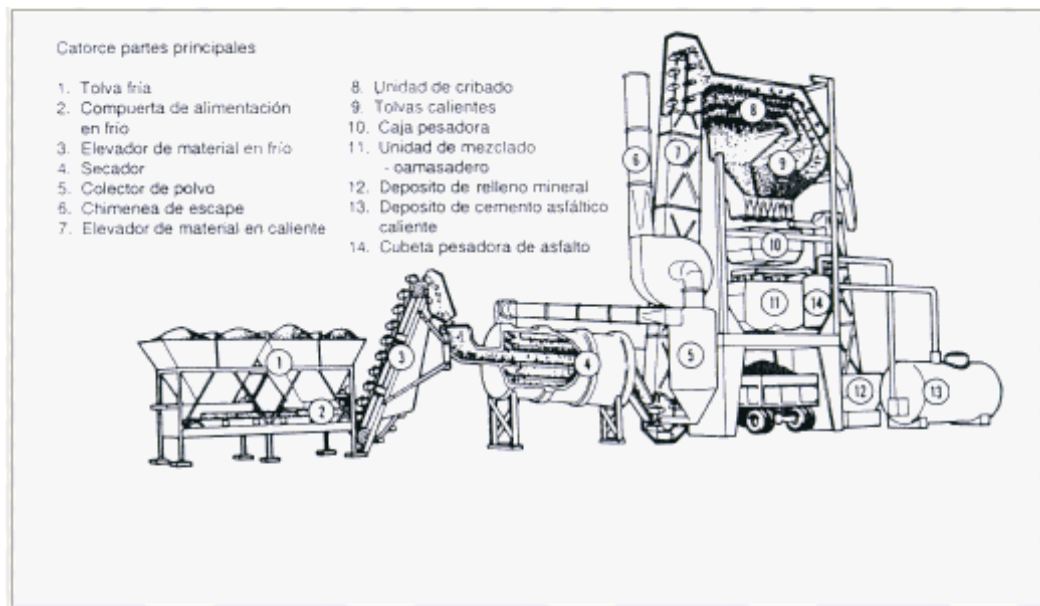
Las operaciones que son comunes tanto para las plantas de dosificación como para las plantas mezcladoras de tambor son:

- Almacenamiento y alimentación de agregado en frío.
- Control y colección de polvos.
- Almacenamiento de la mezcla en caliente.
- Pesaje y manejo de materiales.

• **Diferencias físicas en plantas de mezcla en caliente**

1.3.2 Plantas de dosificación. Las plantas de dosificación Figura 3, obtienen su nombre del hecho de que, durante la operación, producen la mezcla caliente en cargas, produciendo una carga tras otra. El tamaño de la carga varía de acuerdo a la capacidad del mezclador de la planta.

Figura 3. Esquema de Planta de dosificación



Fuente: Análisis y verificación de la normas de calidad ISO en el proceso de producción de mezcla asfáltica por Claudia Ileana de Fatima Godoy, U Fransisco Marroquín, 2004.

⁵ AXEL GABRIEL RODRÍGUEZ. montaje, operación y mantenimiento de plantas para mezcla asfáltica en caliente universidad de san Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2008.

- **Alimentación y almacenamiento en frío de agregados.**

El sistema de acopio y alimentación en frío de agregado mueve agregado frío del sitio de almacenamiento a la planta.

El alimentador en frío es el primer componente principal de la planta de mezcla en caliente. El alimentador en frío puede ser una combinación o cualquiera de los tres métodos que se presentan a continuación:

- Tolvas abiertas con dos, tres o cuatro compartimientos, usualmente alimentadas por un cargador.
- Túnel debajo de apilamientos separados por muros de contención. Los materiales son apilados sobre el túnel mediante una banda transportadora o cargador.
- Arcones o tolvas grandes. Estos son usualmente alimentados por camiones, descargadoras de vagón, o vagones de descarga inferior directamente sobre los arcones.

En las tolvas frías, se debe tener cuidado para minimizar la segregación y degradación del agregado. Deberá mantenerse suficiente material en todas las tolvas para proveer un flujo constante y uniforme de tal manera que se asegure la proporción exacta, el cual incide en la granulometría y el equilibrio del agregado (contengan las proporciones correctas de los diferentes agregados de tamaño variable para producir la granulometría de mezcla apropiada), en las tolvas calientes.

Las unidades de alimentación del agregado hacia el secador están ubicadas debajo de las tolvas de almacenamiento; entonces, las compuertas localizadas en la parte baja de las tolvas, alimentan la línea transportadora que lleva los agregados al secador, con cantidades controladas. Los controles de alimentación regulan la cantidad de agregado que sale de cada tolva, proporcionando de este modo un flujo uniforme y continuo de mezcla de agregado, correctamente hacia la planta.

- **Secado y calentamiento.** Los agregados provenientes de las tolvas de acopio se someten al proceso de secado, con el fin retirar la humedad y elevar la temperatura del agregado entre 130 - 150 °C. Es necesario controlar el calor suministrado en la etapa de secado, por cuanto la temperatura con la cual sale el agregado es quien determina la temperatura de la mezcla final.

Es necesario controlar la temperatura del agregado, por cuanto es quien controla la temperatura de la mezcla, cuando la capa de asfalto puesta sobre cada partícula de agregado durante el mezclado, adquiere la temperatura de ese agregado casi instantáneamente. Los efectos de mantener una temperatura sin control son los siguientes:

- Los agregados calentados a una temperatura muy alta, pueden modificar las propiedades del asfalto y este se torne muy blando durante el mezclado.
- Los agregados a temperatura muy baja, son difíciles de revestir en su totalidad con asfalto, y la mezcla resultante es difícil de colocar en el proceso de pavimentación.

El secador convencional de las plantas de dosificación es un cilindro rotatorio, los cuales tiene un diámetro entre 1.5 y 3 metros y una longitud entre 6 y 12 metros. El secador incluye un quemador de aceite o gas con un ventilador que proporciona el aire principal de combustión, y un ventilador extractor para crear tiraje a través del secador. El tambor también está equipado con canales longitudinales, llamados aspas, que levantan el agregado y lo dejan caer a través de la llama del quemador y los gases calientes. La inclinación del secador, su velocidad de rotación, diámetro, longitud y la configuración y el número de aspas determinan el tiempo de la etapa de secado, el cual corresponde a un promedio de 10 minutos.⁶

Para una operación eficiente de secado, el aire necesario para la combustión debe estar en equilibrio con la cantidad de combustible que está siendo suministrada al quemador. El ventilador extractor crea el tiraje de aire que transporta el calor a través del secador y remueve la humedad. La falta de balance entre estos tres elementos puede causar problemas graves como son:

- Respecto al aceite combustible, una deficiencia de aire o un exceso de flujo de aceite puede resultar en una combustión incompleta del combustible. Este aceite sin quemar deja un revestimiento aceitoso sobre las partículas de agregado, el cual puede afectar desfavorablemente la mezcla asfalto – agregado.
- La falta de equilibrio entre el aire de tiraje y las velocidades del ventilador puede causar una contrapresión dentro del tambor. Esto crea un resoplido "reverso" de descarga en el extremo del tambor donde está el quemador, indicando que la velocidad del aire de tiraje es insuficiente para acomodar la presión de aire creada por el ventilador del quemador. En este caso, se debe reducir la existencia al aire de tiraje o la presión de aire del ventilador.

⁶ Ibid.

Generalmente, los secadores están diseñados para tener máxima eficiencia cuando el agregado que se está calentado tiene un contenido dado de humedad (típicamente 5 %). Si el contenido de humedad del agregado es más alto para el cual el secador fue diseñado, se debe reducir la cantidad de agregados que están siendo alimentados al secador.

En el secador rotatorio las emisiones de polvo se controlan mediante la instalación de colectores de polvo con el fin de cumplir las normas estipuladas para tal actividad. Comúnmente se emplean tres tipos de colectores de polvo: Colectores centrífugos de polvo, Depuradores húmedos, y los compartimientos de filtros (filtros de tejido).

- **Colectores centrífugos de polvo (tipo ciclón).** Operan bajo el principio de la operación centrífuga. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los materiales finos, y los dirige hacia la centrifuga en donde son movidos en espiral. Las partículas grandes golpean la pared exterior y caen al fondo de la centrifuga; el polvo y el humo son descargados a través de la parte superior del colector. Los finos recogidos en el fondo de la centrifuga son recogidos pueden ser devueltos a la planta o ser desechados. Normalmente este tipo de colectores se combina con depuradores húmedos o el compartimiento de filtros.

- **Depuradores húmedos.** El propósito de un depurador húmedo es el de atrapar partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases de escape. Esto se logra al romper el agua en pequeñas gotas y poniendo estas en contacto directo con los gases cargados de polvo. Los gases del secador son introducidos en la cámara a través de una toma de entrada, mientras que el agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se encuentran alrededor de la periferia.

Los depuradores húmedos son equipos relativamente eficientes. Sin embargo tienen ciertas desventajas. Primero, el polvo atrapado en las gotas no se puede recuperar. Segundo, el agua de desecho que contiene el polvo (formación de lodo) debe manejarse correctamente para prevenir que se convierta en otra fuente de contaminación; adicionalmente los depuradores húmedos necesitan una fuente de agua, puesto que pueden usar más de 300 galones/minuto. La mayoría de estos equipos se usan en combinación con un ciclón, el cual recoge los materiales más gruesos y el depurador húmedo remueve los finos.

- **Compartimiento de filtros.** Es un compartimiento grande construido en metal, que contiene ciento de bolsas de tejido sintético, resistente al calor, usualmente tratadas con silicona para aumentar su capacidad de recoger partículas muy finas de polvo. Su funcionamiento se promueve a través de un ventilador grande de vacíos, el cual crea una succión dentro del compartimiento que atrae aire sucio y lo filtra a través del tejido de las bolsas. Para manejar el inmenso volumen de

gases provenientes del escape del secador de agregado, se requiere un número muy grande de bolsas (una unidad típica puede contener hasta 800).

Un compartimiento de filtros está dividido en una cámara de gas sucio y una cámara de gas limpio. Los bultos filtrantes se encuentran en la cámara de gas sucio, a donde entra el aire proveniente del secador. El flujo de aire que lleva las partículas de polvo pasa a través del tejido de las bolsas filtrantes, depositando el polvo en la superficie de la bolsa. El aire luego continúa hacia la cámara de gas limpio. Eventualmente, el polvo se acumula en una "torta de polvo" que debe ser removida antes de que disminuya o pare el flujo de gas a través del filtro. Los métodos más comunes para limpiar las bolsas en un colector consisten en doblar las bolsas al reverso y/o hacer una limpieza al reverso con aire limpio. El polvo removido de los filtros es almacenado en silos, donde frecuentemente es usado para la mezcla en caliente.⁷

Después que los agregados se ha calentado y secado, son transportados por un elevador cerrado de cubetas (elevador de material en caliente), hacia la unidad de clasificación.

Tabla 1. Eficiencias de diferentes tipos colectores de polvo.

TIPO DE SEPARADOR	EFICIENCIA TOTAL %		
	POLVO GRUESO	POLVO FINO	POLVO SUPERFINO
Ciclones	84.60 - 93.90	65.30 - 84.20	22.40 - 52.30
lavador Venturi	99.40 - 99.97	99.80 - 99.90	99.30 - 99.60
Filtro de mangas	99.70 - 99.80	99.92 - 99.95	99.60 - 99.80
Precipitador Electrostático	99.50	98.50	94.80

FUENTE: PERRY, R; Manual del Ingeniero Químico.

- **Cribado y almacenamiento del agregado caliente.** Es la operación en donde el agregado caliente pasa por una serie de cribas que lo separan en fracciones de varios tamaños y luego las depositan en tolvas calientes.

⁷ Ibid.

La unidad de cribado incluye un conjunto de varias cribas vibratorias de diferente tamaño. La primera criba en la serie es una criba preliminar de malla ancha la cual extrae y rechaza los agregados que exceden el tamaño máximo. Esta es seguida por una o dos cribas de tamaño intermedio, disminuyendo en tamaño de arriba hacia abajo. En la parte baja del grupo se encuentra una criba de arena.

La capacidad de las cribas debe estar en equilibrio con la capacidad del secador y la capacidad de la cámara de mezclado.

El agregado caliente y clasificado de acuerdo a los diferentes tamaños es almacenado temporalmente en tolvas calientes. Cada tolva es un compartimiento individual o una sección amplia dividida en partes. Los agregados son extraídos de las tolvas calientes y son depositados en la tolva de pesaje, las cuales están suspendidas de las vigas de la báscula y pesan en forma acumulativa las cantidades de agregado, previo a ser enviado el agregado a la etapa de mezcla.

- **Mezclador.** Después de pasar por la tolva de pesaje, los agregados se depositan en la cámara mezcladora de la planta (comúnmente denominada amasadero), en donde son combinados con la proporción correcta de asfalto (normalmente las proporciones de asfalto - agregado corresponden a 5% y 95 % respectivamente del peso total de la mezcla). Generalmente, el asfalto se pesa por separado en una cubeta pesadora antes de ser incorporado al mezclador. El asfalto es luego bombeado a través de barras rociadoras hacia el mezclador.

Tanto el asfalto como el agregado deben calentarse antes de ser combinados en el mezclador, el asfalto para darle suficiente fluidez para que sea bombeado y el agregado, para que esté lo suficientemente seco y caliente, de forma tal que pueda producir una mezcla final a la temperatura deseada (ver tabla 2).

La temperatura del agregado controla la temperatura de la mezcla. Normalmente hay una especificación para temperatura de mezclado, basada en factores relacionados con las condiciones de colocación y compactación de la mezcla.

La temperatura en la etapa de mezcla debe ser lo más baja posible, de tal forma que permita un revestimiento completo de las partículas de agregado y una mezcla fácil de trabajar. En la tabla 2, se indican los márgenes típicos de temperatura de mezclado.⁸

⁸ Ibid.

Tabla 2. Temperaturas típicas de mezclas asfálticas en caliente.

TIPO Y GRADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO	TEMPERATURA EN °F.	TEMPERATURA EN °C.
AC - 2.5	235 - 280	115 - 140
AC - 5	250 - 290	120 - 145
AC - 10	250 - 315	120 - 155
AC - 20	265 - 330	130 - 165
AC - 40	270 - 340	130 - 170
200 - 300 penetración	235 - 305	115 - 150
120 - 150 penetración	245 - 310	120 - 155
85 - 100 penetración.	250 - 325	120 - 165
60 - 70 penetración.	265 - 335	130 - 170
40 - 50 penetración.	270 - 350	130 - 175

FUENTE: Asphalt Institute; Mezclas asfálticas en caliente; 1989.

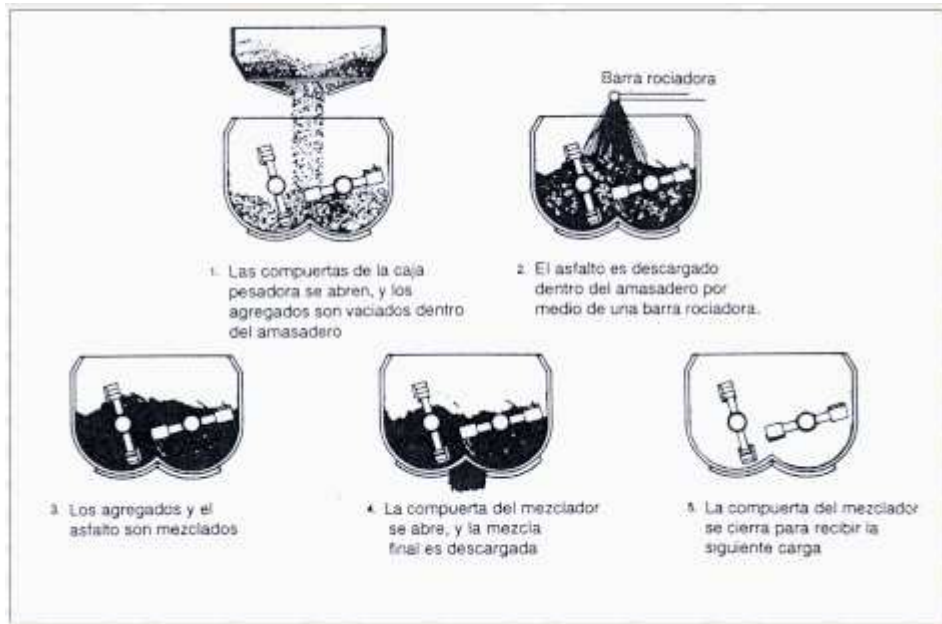
Normalmente, el mezclador o amasadero empleado en las plantas de asfaltos es un mezclador de doble eje, este dispositivo consiste de una cámara mezcladora con revestimiento, la cual tiene dos ejes horizontales en donde están montadas varias espigas de paleta, cada cual con dos paletas las cuales pueden ser ajustadas y reemplazadas fácilmente.

El tiempo de mezcla es el período desde que se abre la compuerta de la tolva de pesaje hasta que se abre la compuerta de descarga del amasadero. Este tiempo debe ser lo suficiente para producir una mezcla homogénea de partículas de agregado igualmente distribuidas y uniformemente revestidas. Cuando este tiempo es demasiado largo, las propiedades físico - químicas del asfalto pueden afectarse, reduciendo así la durabilidad de la mezcla. El tiempo típico de mezclado es aproximadamente 1 minuto.

Las paletas deben disponerse de tal forma que no haya áreas muertas dentro del mezclador, en donde se pueda acumular material fuera del alcance de las paletas y este no pueda ser mezclado completamente. El mezclador debe llenarse a un volumen tal que permita hacer una mezcla uniforme.

La figura 4, ilustra el ciclo de mezclado durante el cual el asfalto, los agregados y el relleno mineral se combinan para formar dentro del amasadero, una mezcla asfáltica en caliente.

Figura 4. Ilustración del ciclo de mezclado.



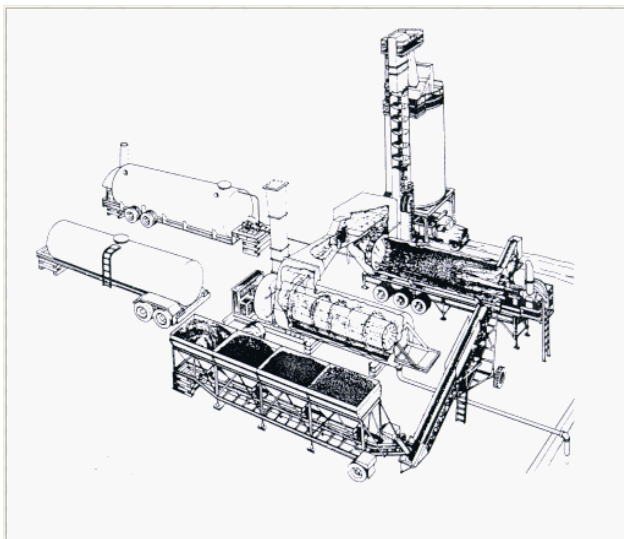
AXEL GABRIEL RODRÍGUEZ. Montaje, operación y mantenimiento de plantas para mezcla asfáltica en caliente Facultad de Ingeniería, Guatemala. 2008.

- **Almacenamiento de la mezcla asfáltica en caliente.** La mezcla de asfalto en caliente preparada es transportada por un elevador de material caliente hacia la parte superior de los depósitos aislados, y es descargada en los camiones por la parte baja. Los silos o depósitos aislados pueden almacenar mezcla en caliente hasta por 12 horas sin tener pérdidas de calor o de calidad de la mezcla. Las estructuras de almacenamiento no aisladas son generalmente pequeñas y solamente pueden almacenar mezcla por un corto período de tiempo.

En los silos de almacenaje se acostumbra a usar una placa deflectora o un dispositivo similar, en el extremo de descarga del transportador que carga el silo, con el fin de prevenir algún tipo de segregación de la mezcla a medida que esta cae dentro del depósito. Es también recomendable mantener la tolva llena, al menos la tercera parte, para evitar la segregación a medida que esta se desocupa, y para ayudar a mantener caliente la mezcla.

- **Plantas de tambor - mezclador.** Las plantas mezcladoras de tambor o de proceso continuo como se ilustra en la Figura 5, poseen su propia cantera para llevar los agregados a un molino donde se reduce su tamaño; esto puede variar desde 1.5 - 20 pulgadas pasando máximo hasta la malla 400; después de ser preseleccionado se llevan a tolvas de alimentación y posteriormente se seca y calienta dentro del tambor, junto con el cemento asfáltico. En estas plantas no hay cribas de graduación, tolvas calientes, tolvas de pesaje y mezcladores o amasaderos. La graduación del agregado es controlada en el alimentador en frío.

Figura 5. Esquema Planta de mezcla en tambor



Fuente: análisis y verificación de la normas de calidad ISO en el proceso de producción de mezcla asfáltica por Claudia Ileana de Fatima Godoy, U Fransisco Marroquín, 2004.

- **Alimentación en fríos de agregados.** En las plantas mezcladoras de tambor, la graduación y la uniformidad de la mezcla dependen completamente del sistema de alimentación en frío. Por lo tanto se debe ejercitar un cuidado apropiado en la producción y en el almacenamiento del agregado.

Las plantas mezcladoras de tambor requieren de un sistema continuo de pesaje en las bandas transportadoras de alimentación en frío.

El agregado debe ser gradado antes de entrar al tambor mezclador, debido a que esta planta mezcladora, no contiene una unidad cribadora como la que existe en la planta de dosificación. La manera más eficiente resulta mediante el uso de un sistema de alimentación en frío de tolvas múltiples equipado con bandas alimentadoras de alta precisión. Debajo de cada tolva hay una banda alimentadora que recibe la proporción correcta de cada agregado.

La combinación de agregados que pasa sobre la banda transportadora es continuamente pesada, y la lectura indica el peso del control del material que esta sobre la báscula. Es necesario que ningún material sea desviado de la banda transportadora después de que pase por el sistema de pesaje de la banda (designada la guía pesadora), la cual aparece montada sobre un portador pivotado de báscula. A medida que la banda cargada pasa sobre esta guía, el peso es registrado en toneladas por hora, y la lectura se muestra en los equipos de control, y es normalmente corregida para controlar la humedad en el agregado, ya que los

datos del agregado seco son usados para establecer el porcentaje requerido de asfalto.

- **Mezcla en tambor.** Se considera la principal etapa. Aquí los agregados se mezclan con el asfalto para producir la mezcla en caliente. El mezclador es similar en su diseño y construcción al secador rotatorio de una planta de dosificación, excepto que aquí además de calentar el agregado, lo mezcla con el asfalto.

Generalmente, el mezclador de tambor está equipado con un dispositivo para añadir el asfalto. Este dispositivo mecánico continuo, está enclavado con el sistema de pesaje del agregado para garantizar el contenido exacto de asfalto en la mezcla. El peso de agregado que va en el mezclador es la base para determinar la cantidad de asfalto que debe descargarse en el tambor.

En el horno, los agregados entran en la zona de radiación, en donde se calientan y secan por medio del quemador; después pasan a la zona de convección en donde se adiciona el asfalto y se efectúa la mezcla. En esta zona también hay un secado continuo por convección. La mezcla de asfalto en caliente, junto con la humedad proveniente del agregado, produce una masa espumosa que atrapa el material fino y ayuda en el revestimiento de partículas gruesas.

Es importante, dentro del tambor que el agregado gire en la acción rotatoria del tambor y se extienda lo suficiente para que el secado y calentamiento de todas las partículas sea eficiente y rápido; por tanto los tambores están equipados con aspas para dirigir el flujo de agregado y esparcirlo en forma de cortina a través de la sección transversal.

El propósito del quemador que está dentro del mezclador de tambor es proveer el calor necesario para calentar y secar los agregados usados en la mezcla final. Los quemadores proporcionan este calor al quemar combustible – aceite, gas o ambos.

De igual forma que en la etapa de secado en plantas de dosificación, se debe mantener un balance óptimo de las variables relacionadas con la cantidad de combustible, aire de combustión y el aire de tiraje para lograr mayor eficiencia en el secado.

Las aspas de espiral localizadas en el extremo de la carga (quemador) del tambor, dirigen el agregado húmedo hacia el interior para lograr una distribución uniforme de material. Luego unas aspas ahusadas levantan los agregados y los dejan caer en una cortina pareja a través de la llama del quemador. Las aspas siguientes dirigen el agregado a través del tambor y continuamente lo dejan caer en forma de cortina a través de la sección transversal del tambor.

La temperatura de la mezcla (130 – 150 °C) es monitoreada continuamente mediante un dispositivo sensor localizado en el extremo de descarga del mezclador. El tiempo típico de mezcla es aproximadamente 5 minutos.⁹

- **Almacenamiento.** El almacenamiento de la mezcla en caliente se efectúa de manera similar al almacenamiento de las plantas de dosificación. En la operación de una mezcladora de tambor, la cual produce un flujo continuo de mezcla en caliente, es necesario tener un silo de compensación para almacenar temporalmente el material y para controlar el cargamento de los camiones. Un sistema de pesaje puede estar conectado a la tolva de retención del silo para monitorear la cantidad de material que es cargada en cada camión.

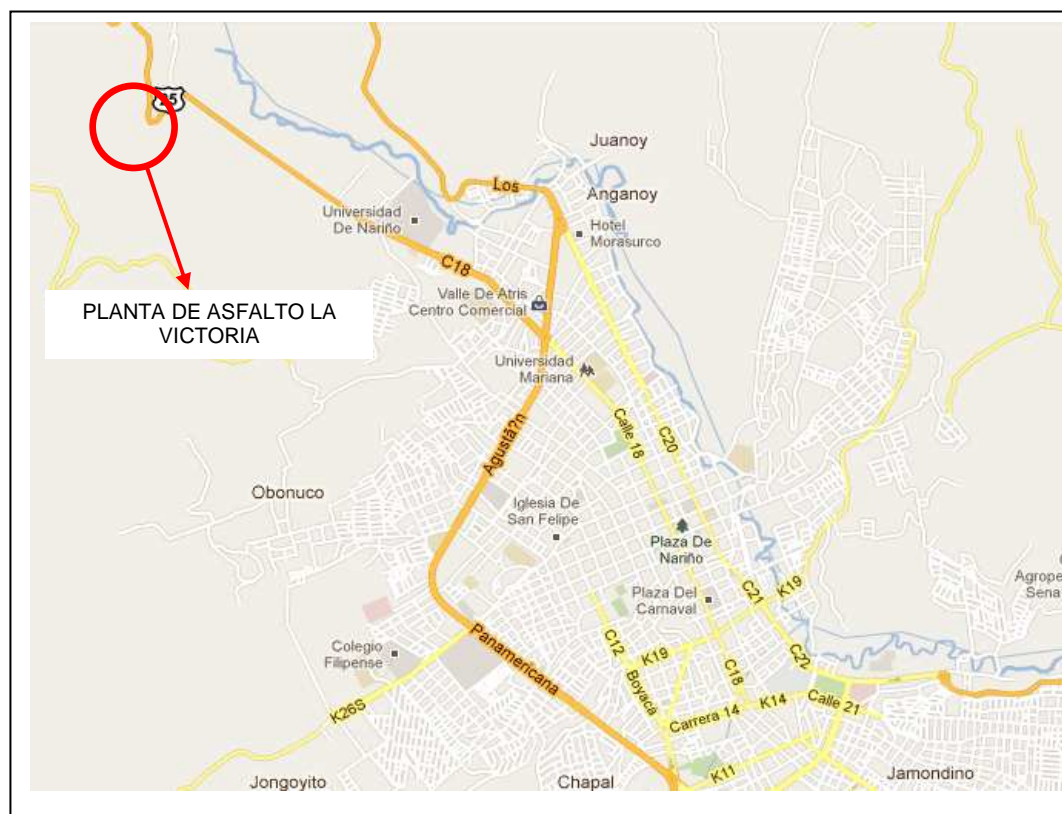
⁹ Ibid.

2. PLANTA DE PRODUCCIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE LA VICTORIA

2.1 LOCALIZACIÓN.

La planta la Victoria, está ubicada en el noroccidente de la ciudad de San Juan de Pasto en el sector de Torobajo a una distancia de 4 kilómetros en la vía que conduce al municipio de Nariño como se puede apreciar en la figura 6.

Figura 6. Localización de la planta



Fuente: Google Earth

2.2. DESCRIPCIÓN.

Es una Planta de mezcla asfálticas en caliente de tipo convencional, como se observa en la figura 7, Los agregados son mezclador de acuerdo a la proporción del material según el diseño final, los cuales son colocados en las tres tolvas de alimentación en frío las cuales tienen compuertas que son calibradas, luego el

material es transportado en una banda, la cual descarga los agregados en el secador, en donde se someten a altas temperaturas en procesos de secado y calentamiento. Los colectores de polvo remueven cantidades indeseables de polvo del escape del secador. Los gases restantes del escape son eliminados a través de la chimenea de escape de la planta.

Los agregados ya secos y calientes son luego llevados por un elevador de material en caliente hacia la unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferente tamaño y lo deposita en tolvas calientes separadas para un almacenamiento temporal. Cuando es necesario, los agregados calientes son medidos en cantidades controladas sobre la caja pesadora. Posteriormente, los agregados son descargados dentro de la cámara mezcladora, junto con la cantidad correcta de relleno mineral proveniente de la reserva, si es que este último es necesario en la formulación.

El cemento asfáltico caliente, proveniente del tanque de almacenamiento, es bombeado hacia la cubeta pesadora de asfalto, la cual pesa el cemento asfáltico antes de ser descargado en la cámara mezcladora, en donde es combinado en su totalidad con los agregados y el relleno mineral.

Figura 7. Planta la victoria.



Fuente: El presente trabajo julio

La planta se opera desde una cabina central, con controles automáticos.

Principales componentes

- Caldera de 3000 cal
- Tanques de almacenamiento de asfalto, capacidad 100 tn
- Tanques de almacenamiento de Fuel Oil, capacidad 30 tn
- Tanque de almacenamiento de gas oil para caldera, capacidad 4000 lt
- Sistema de calentamiento de tanques de asfalto, 1600 lt de aceite térmico
- Grupo electrógeno, capacidad 400 Kw
- Tolvas para áridos, 3 en total
- Cinta transportadora para áridos
- Cangilones transportadores para áridos en caliente
- Filtro de manga para intercepción de polvo y gases
- Cuarto de operación de la planta
- Cuarto laboratorio de suelos
- Casilla taller.

Materiales Utilizados por la Planta:

- Fuel Oil para caldera
- Fuel Oil para funcionamiento de horno
- Asfalto para componer la mezcla asfáltica
- Áridos para componer la mezcla asfáltica
- Suministro eléctrico de 220 v y 440 v

Personal afectado al funcionamiento de la planta: 1 operador de planta, 3 ayudantes y 1 maquinista para provisión de áridos a las tolvas.

Medidas de mitigación aplicadas:

- Batea de contención para los tanques de almacenamiento de fuel oil, asfalto y aceite térmico.
- Puesta a tierra en todos los tanques
- Corte automático ante incendios
- Filtro de manga del horno, 300 mangas en total
- Protecciones eléctricas
- Aislamiento térmico de sistema de calentamiento de asfalto
- Kit antiderrame

Principales residuos generados:

- Gases del horno
- Polvo de la preparación de mezcla asfáltica
- Purge: mezcla asfáltica de bajo contenido de asfalto, generado al final y al comienzo de la operación de la planta. Esta mezcla puede reutilizarse para mejoramiento de caminos secundarios

2.3 PRODUCCIÓN DE LA PLANTA LA VICTORIA

El proceso de producción de mezcla asfáltica en caliente da inicio cuando un cargador frontal alimenta las tolvas con los agregados pétreos previamente analizados para el tipo de mezcla a producir y según el método de diseño de la misma, seguidamente el operador de planta inicia el arranque de esta, según la secuencia indicada en el manual del fabricante; hay que tomar en cuenta que los horneros de planta ya verificaron en este momento que la temperatura del cemento asfáltico este dentro del rango correcto de las especificaciones técnicas de producción.

2.3.1 Tolvas. El sistema de alimentación de agregados en frío está compuesto principalmente por las tolvas figura 8, se encarga por medio de las compuertas graduables colocadas en la parte inferior de éstas (de 2 a 3 diámetros del agregado), alimentar de forma uniforme los agregados en frío. Esto permite controlar el flujo de material que pasa a las bandas alimentadoras.

Figura 8. Tolvas



- **Bandas transportadoras.**

Estas son accionadas por motores eléctricos a través de fajas y un motoreductor, figura 9. De esta manera caen al colector rápido que los lleva y los deposita en forma conjunta y continua al cilindro secador.

Figura 9. Bandas transportadoras



- **Secador.** Los agregados son calentados para quitarle la humedad hasta la temperatura necesaria para su mezclado, al final del secador está el sistema de extracción de gases y el sistema colector de finos, estos dos sistemas se encargan de proporcionar a la vez, oxígeno para la combustión, retirar los gases de combustión y atrapar las partículas que estos llevan, para su reincorporación al mezclador. Como se observa en la figura 10.

El quemador dirige la flama al centro axial del tambor giratorio. En extremo del tambor donde se encuentra el quemador, tiene una sección expandida para mejorar la eficiencia de la combustión. La sección expandida agrega como beneficio adicional el proteger el tambor del choque de la flama, prolongando la vida del tambor.¹⁰

El tambor es girado por cuatro rodillos transmisores de fuerza accionados por una cadena con su respectivo motor.

Figura 10. Secador

¹⁰ Ibid.



Una vez secados y calentados los agregados son llevados hacia los silos de almacenamiento en caliente, a través del elevador escalonado (ver figura 11.), que opera continuamente, accionado por motores eléctricos a través de sistemas de bandas, poleas y un moto reductor.

Figura 11. Elevador de calientes



- **Colectores centrífugos de polvo (tipo ciclón).** Operan mediante un ventilador centrífugo. El escape de la parte superior del secador aspira el humo y los materiales finos, y los dirige hacia la centrifuga, (ver figura 12.), el polvo y el humo son descargados a través de la parte superior del colector. Los finos recogidos para ser devueltos a la planta o ser desechados. Este colector se combina con un depurador húmedo.

Figura 12. Centrifuga



- **Depuradores húmedos.** El depurador húmedo (ver figura 13.), Atrapa partículas de polvo en gotas de agua y removerlas de los gases de escape. El agua es rociada dentro de la cámara mediante boquillas que se encuentran alrededor generando la formación de lodo el cual se maneja correctamente para prevenir que se convierta en fuente de contaminación.

Figura 13. Depurador húmedo



- **Cribado del agregado caliente.** Los agregados son transportados a través de cangilones hacia las cribas vibratorias que se observan en la figura 14., las cuales los clasifican y rechazan los de tamaño no conveniente, Una vez cribados son depositados en los silos de almacenamiento en caliente, donde esperan ser depositados en la tolva pesadora, conjuntamente con el relleno mineral.

Figura 14. Cribas vibratorias



- **Mezclador.** Los agregados calientes son vertidos al mezclador que se aprecia en la figura 15, simultáneamente se mide la cantidad de cemento asfáltico en un tanque caliente y se vierte por cada revoltura. El proceso de mezclado se realiza cuando ya la cantidad de agregados ha sido pesada y el cemento asfáltico fue medido. El mezclador tiene ejes paralelos de paletas el cual mezcla íntimamente el material. Ya cuando se termina el mezclado se vierte directamente a la volqueta.

El tiempo de mezclado dependerá de la capacidad en volumen del mezclador y de la producción deseada. De esto depende el sincronismo y la cantidad dosificada por el sistema de alimentación de agregados en frío. Es de esperar que los silos de almacenamiento de agregados calientes deban estar listos para proporcionar la cantidad de agregados para la siguiente mazada cuando el mezclador vierta la mezcla asfáltica ya terminada.

Figura 15. Mezclador



- **Cuarto de operaciones.** En el cuarto de comandos que se observa en la figura 16., se controlan las temperaturas de agregados y están los Comandos de los motores del sistema para encenderlos en secuencia.

Figura 16. Controles de la planta



- **Caldera.** La caldera que se observa en la figura 17, se debe encender anticipadamente porque es la que hace recircular el aceite térmico quien es el que calienta el asfalto que se encuentra en los tanques de almacenamiento.

Figura 17. Caldera



- **Tanques de asfalto.** El asfalto es transportado desde Barrancabermeja en tanques especiales que son conocidos como “termos” y estos son descargados en los tanques estacionarios que se aprecian en la figura 18., los cuales tienen en sus paredes serpentinas por donde circula el aceite térmico para calentar el asfalto.

Figura 18. Tanques de Asfalto



3. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE POR EL MÉTODO MARSHALL

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas¹¹.

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MÉTODO.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El Método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El Método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm de espesor por 103mm de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

A continuación en la tabla 3, se presenta un resumen de las normas vigentes que aplican para el diseño de mezcla asfáltica.

¹¹ Paul Garnica Op. Cit.

Tabla 3. Criterios de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el Método Marshall.

CARACTERÍSTICA	ENSAYO	CATEGORÍA DEL TRANSITO NT ₃	
		VALORES ADMISIBLES	
Compactación (golpes/cara)	INV E-748	75	
estabilidad Mínima(Kg)	INV E-748	900	
Flujo (mm)	INV E-748	2 - 3.5	
Vacíos con aire(Va), %	Rodadura	INV E-736 -ó 799	4 - 6.
	Intermedia		4 - 7.
	Base		5 - 8.
Vacíos en los agregados minerales(VAM), %	MDC - 1	INV E-799	Mayor o igual a 14
	MDC - 2		Mayor o igual a 15
	MDC - 3		Mayor o igual a 16
% de vacíos llenos de asfalto (VFA) (Volumen de asfalto efectivo / Vacíos en los agregados minerales)* 100	INV E-799		65 - 75
Relación Llenante / Asfalto Efectivo, en peso	INV E-799		0.8 - 1.2
Concentración de llenante, valor máximo	INV E-745		Valor Critico

Fuente: Instituto Nacional de Vías 2007

3.2 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS.

Las briquetas se preparan con diferentes contenidos de asfalto; estos contenidos tienen una variación de 0,5 %. Se deben preparar al menos tres briquetas para cada combinación de agregados con cemento asfáltico.

En la preparación de las briquetas el agregado y el asfalto son calentados separadamente a temperaturas especificadas, entonces mezclados y compactados. El ensayo es realizado con briquetas o cuerpos de prueba cilíndricos de 11 cm de diámetro, aproximadamente y 7 cm de altura.

En cada molde, se colocaran entre 1000 y 1500 gramos de mezcla. Por lo general el peso de material para elaborar una briqueta es de 1200 gramos

Briqueta de tanteo. Estando determinadas las cantidades en proporción de los agregados, se elabora una briqueta de tanteo, pesando la cantidad de material con las proporciones predefinidas, para luego agregarse asfalto en un porcentaje determinado asumido, para así obtener una mezcla que será tomada como el 100 % por ejemplo:

Se obtiene el peso del material = 1200 gr.

Y encontramos porcentajes de:

- Material triturado (35 %) = 420 gr.

- Arena (65 %) = 780 gr.

Y tenemos asumido el porcentaje de asfalto = 6 %, entonces:

Asfalto + agregado = 100 %

6 % + 94 % = 100 %

Para obtener estos porcentajes en peso:

Peso asfalto % de asfalto

Peso agregado % de agregado

Resultado: Peso asfalto = $1200 * 6 / 94 = 76,59\text{gr.}$

Si la altura de la briqueta no es de 2,5 cm, entonces en la corrección se obtiene el peso ajustado del agregado:

Peso ajustado = $2,5 * \text{peso del agregado usado}$

Altura que obtuvo la muestra

Así, entonces con estos pesos se preparan las briquetas.

3.3 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECIFICO BULK.

El peso específico Bulk de una probeta compactada, es la relación entre su peso en el aire y su volumen incluyendo los vacíos permeables. Si la probeta tiene una textura superficial tersa e impermeable, su peso específico Bulk se determina así.

$$G_{sb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w}$$

Siendo:

Wa: peso de la probeta seca en el aire

Ww: peso de la probeta en el agua

Wss: peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca

Si la textura superficial de la probeta es abierta y permeable su volumen se determina por la diferencia entre su peso en el aire y su peso en el agua estando parafinado, su peso específico Bulk está dado por la siguiente ecuación.

$$G_{sb} = \frac{W_a}{W_{ap} - W_{wp} - \frac{W_{ap} - W_a}{G_p}}$$

Siendo:

Wa: peso de la probeta seca en el aire sin parafina

Wap: peso de la probeta seca en el aire parafinada

Ww: peso de la probeta en el agua parafinada

Gp: peso específico de la parafina

3.4 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.

La estabilidad de un asfalto es la capacidad de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos, ondulaciones y otras señas que indican cambio en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo de tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficientemente altas para acomodar adecuadamente el tránsito, pero no más altas de los que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de la mezcla depende de la fracción y de la cohesión interna. La fracción interna de las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante de un asfalto.

Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas con respecto a otras debido a las fuerzas ejercitadas por el tráfico. En términos generales, entre más anular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

El flujo es medido propiamente en centésimas de pulgada, lo cual representa la deformación de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores de fluencia y valores muy altos de estabilidad son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

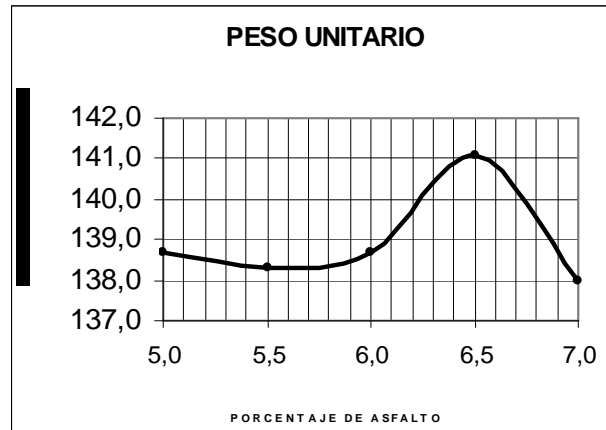
3.5 REPRESENTACIÓN GRÁFICA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

Gráficamente se debe establecer relaciones así.

- Densidad vs Porcentaje de cemento asfáltico.

En el grafico 1, se observa que la densidad aumenta con el contenido de asfalto hasta lograr alcanzar un máximo, después del cual comienza a decrecer.

Grafico 1. Densidad vs Porcentaje de asfalto.

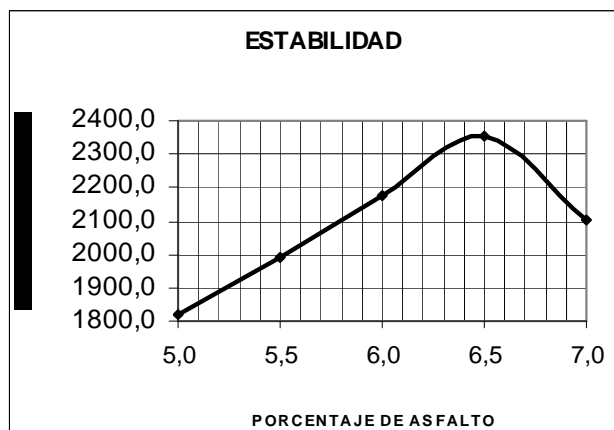


Laboratorio Planta La Victoria

- Estabilidad vs Porcentaje de cemento asfáltico.

La curva de la Estabilidad es similar a de la Densidad, salvo que la máxima estabilidad ocurre normalmente a un contenido de asfalto ligeramente inferior al de la máxima densidad.

Grafico 2. Estabilidad vs Porcentaje de asfalto

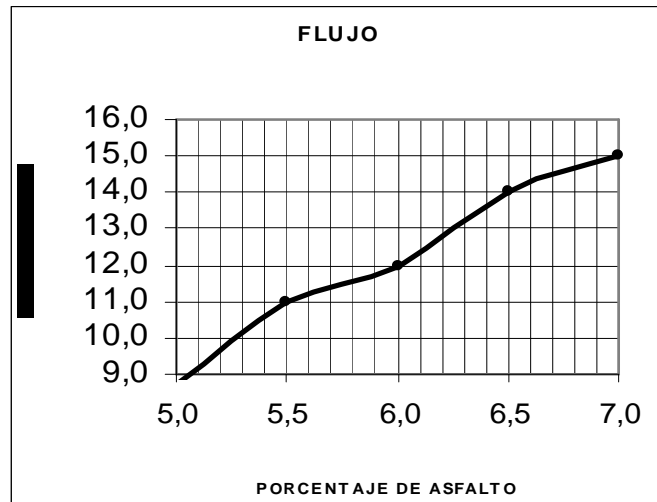


Laboratorio Planta La Victoria

- Flujo vs Porcentaje de cemento asfáltico.

Los valores de flujo aumentan con los incrementos en el contenido de asfalto

Grafico 3. Flujo vs Porcentaje de asfalto.

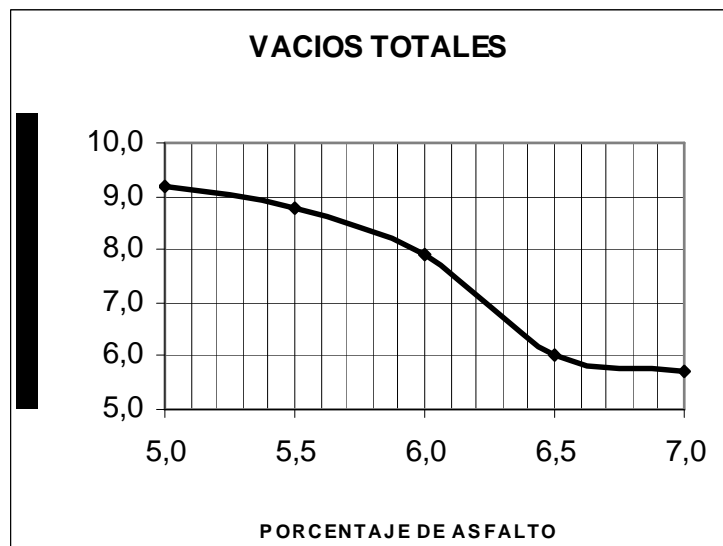


Laboratorio Planta La Victoria

- Porcentaje de vacíos con aire en la mezcla total vs Porcentaje de cemento asfáltico.

El porcentaje de vacíos con el aire en la mezcla total disminuye al incrementar el contenido de asfalto, tendiendo hacia un mínimo.

Grafico 4. Vacíos totales vs Porcentaje de asfalto.

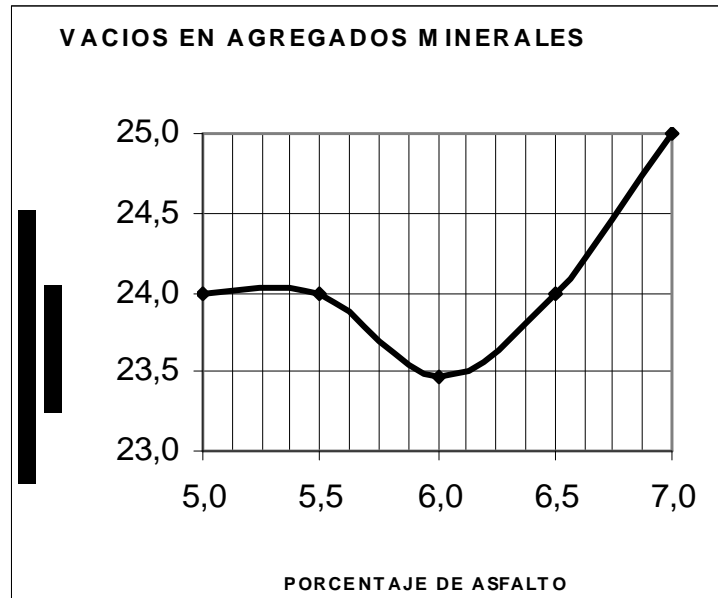


Laboratorio Planta La Victoria

- Porcentaje de vacíos en los agregados minerales vs Porcentaje de cemento asfáltico.


El porcentaje de vacíos en los agregados minerales disminuye al incrementarse el contenido de asfalto, hasta alcanzar un mínimo a partir del cual comienza a aumentar.

Grafico 5. Vacíos en agregado mineral vs Porcentaje de asfalto.



Laboratorio Planta La Victoria

3. 6. Diseño Marshall de mezcla asfáltica tipo MDC – 2 (RICE)

 DISEÑO MARSHALL DE MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MDC - 2 (RICE)															CÓDIGO: PY-R-004 VERSIÓN: 00 PÁGINA: 1 DE 1								
PROYECTO: PAVIMENTACION BARRIO LA ESMERALDA										FUENTE: RIO GUAITARA - RIO TELLEZ - CANTERA LA VICTORIA													
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA MDC-2										PLANTA: LA VICTORIA													
DOSIFICACIÓN AGREGADOS					DISEÑO MARSHALL LABORATORIO PLANTA					PESOS ESPECÍFICOS					FECHA: ABRIL DE 2011								
% GUAITARA: 75 % TELLEZ: 20 % VICTORIA: 5					GRADO DEL ASFALTO: 6,00%					G ₁ AGREGADOS: 2,647 G _a ASFALTO: 1,008					CONSTANTE ANILLO: 3,26								
															PROCEDENCIA ASFALTO: Barranca								
BRIQUETA No.	X DE ASFALTO	PESO EN GRANOS					VOLUMEN V	PESO ESPECÍFICO					VOLUMEN - % TOTAL					ESTABILIDAD EN LBS					FLUJO 0,41"
		MOYENAS DE 4,75" (A)	FINES DE 4,75" EN LADE (B)	MOYENAS DE 4,75" (C)	FINES DE 4,75" (D)	FINES DE 4,75" (E)		ACTUAL (F)	MEDIO TEÓRICO (G)	MEDIO MEDIO (H)	ASFALTA (I)	AGREGADO (J)	PACIOS CON AIRE (K)	ASFALTO EFECTIVO (L)	VACIOS EN AGREGADO (M)	VACIOS EN ASFALTO (N)	ASFALTO EFECTIVO (O)	PESO UNITARIO EN LAPEL (P)	LECTUR A DIAL (Q)	MEDID A (R)	FACTO R DE CORRECC IÓN (S)	CORRECC IÓN (T)	
1		1192,2	1193,5	655,0	538,50	2,214												205	1898,3	0,96	1822,4	8,0	
2	5,0	1193,2	1195,4	660,3	535,30	2,230												210	1944,6	0,96	1865,8	9,0	
3		1195,1	1197,2	659,1	538,30	2,221												200	1852,0	0,96	1777,9	9,0	
promedio						2,222	2,448	2,448	0,18	75,3	9,2	75,4	24,7	62,48	4,8	138,7					1822,4	8,7	
4		1190,0	1191,8	656,5	535,30	2,223												220	2037,2	0,96	1955,7	10,0	
5	5,5	1190,5	1192,0	653,0	539,00	2,209												235	2176,1	0,93	2023,8	11,0	
6		1191,3	1193,4	655,6	537,80	2,215												230	2129,8	0,93	1980,7	12,0	
promedio						2,216	2,430	2,429	0,18	74,8	8,8	74,8	25,2	65,21	5,3	138,3					1986,7	11,0	
7		1190,0	1191,7	656,5	535,20	2,223												240	2222,4	0,96	2133,5	11,0	
8	6,0	1185,0	1186,5	653,0	533,50	2,221												250	2315,0	0,96	2222,4	12,0	
9		1189,2	1191,1	655,6	535,50	2,221												245	2268,7	0,96	2178,0	13,0	
promedio						2,222	2,412	2,413	0,18	74,6	7,9	74,6	25,4	68,65	5,8	138,7					2178,0	12,0	
10		1192,5	1193,5	664,0	529,5	2,252												260	2407,6	0,96	2311,3	14,0	
11	6,5	1186,5	1187,7	661,0	526,7	2,253												270	2500,2	0,96	2400,2	14,0	
12		1190,7	1192,3	662,7	529,6	2,248												265	2453,9	0,96	2355,7	15,0	
promedio						2,251	2,394	2,396	0,19	75,1	6,0	75,1	24,9	75,66	6,3	140,6					2355,7	14,3	
13		1198,0	1199,0	661,0	536,0	2,227												240	2222,4	0,93	2066,8	16,0	
14	7,0	1196,2	1197,1	665,0	532,1	2,248												230	2129,8	0,96	2044,6	15,0	
15		1194,8	1195,0	665,0	530,0	2,254												240	2222,4	0,96	2133,5	16,0	
promedio						2,243	2,382	2,379	0,19	74,5	5,7	74,5	25,5	77,61	6,8	140,1					2081,6	15,7	
OBSERVACIONES																							
LAS BRIQUETAS SE COMPACTARON A UNA TEMPERATURA DE 140 A 150 GRADOS CENTIGRADOS APROXIMADAMENTE																							
C.C. CALDERON																							
REALIZO: ING. DAVID AGURRE															Vo. Bo. Ing. GIOVANNY CALDERON								
CARGO: JEFE DE PLANTA															Cargo: Residente de obra								

4. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA PRODUCIDA POR LA PLANTA LA VICTORIA

4.1 TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS I.N.V. E – 731

4.1.1 Objetivo norma I.N.V. E – 731. Esta norma da procedimientos para la toma de muestras de mezclas de materiales asfálticos con agregados minerales tal como son preparados para el uso en pavimentación. Las muestras pueden usarse para los dos propósitos siguientes:

- Como muestra representativa de las características o condiciones promedio de la mezcla asfáltica producida.
- Para determinar las variaciones periódicas de las características de las mezclas con el fin de controlar su uniformidad.

4.1.2 Selección de muestras. La toma de muestras es tan importante como el ensayo, y el encargado debe tomar las precauciones necesarias para obtener unas muestras que sean realmente representativas de la mezcla asfáltica.

Se debe tener cuidado al hacer el muestreo para evitar la segregación del agregado grueso o de mezclas asfálticas; también, debe evitarse la contaminación por polvo u otras materias extrañas.

Las muestras de mezclas asfálticas sobre las cuales se va a basar la aceptación o rechazo del lote, deben ser de acuerdo con los procedimientos descritos en esta norma.

4.1.3 Tamaño de las muestras. El tamaño de la muestra estará determinado por el tamaño máximo del agregado dentro de la mezcla. El tamaño mínimo de la muestra debe estar de acuerdo con los requisitos de la Tabla 4.

Tabla 4. Tamaño de la muestra de la mezcla asfáltica

Tamaño nominal máximo de los agregados que pasan por el tamiz	Peso mínimo de la muestra no compactada kg (lb)	Area mínima de la muestra de pavimento compactada cm ² (pulg ²)
2.36 mm (No.8)	1.8 (4)	232 (36)
4.75 mm (No.4)	1.8 (4)	232 (36)
9.5 mm (3/8")	3.6 (8)	232 (36)
12.5 mm (1/2")	5.4 (12)	413 (64)
19.0 mm (3/4")	7.3 (16)	645 (100)
25.0 mm (1")	9.1 (20)	929 (114)
37.5 mm (1½")	11.3 (25)	929 (114)
50.0 mm (2")	15.9 (35)	1453 (225)

Fuente: Instituto Nacional de Vías 2007

4.1.4 Toma de muestras en la planta de asfalto. De una cochada recién descargada de la mezcladora deberá tomarse una muestra por medio de una pala o cuchara, tomando material "raspando" la pila desde el fondo hasta la superficie en dos sitios a 180° uno de lo otro, y reduciendo a l tamaño apropiado por medio de remezclado y cuarteo. Si la muestra va a representar más de una cochada de la mezcla, se deben tomar muestras a intervalos regulares, de acuerdo con el procedimiento que se acaba de mencionar; la muestra acumulativa será colocada en un recipiente de capacidad apropiado. Después de que se haya tomado el número de muestras requeridas, la cantidad total se reducirá al tamaño requerido, mezclándola y cuarteándola sobre una superficie lisa y limpia. Una muestra no debe representar más de la producción de un día. Si es necesario, la muestra puede ser calentada para facilitar su separación y cuarteo, teniendo cuidado de evitar el sobrecalentamiento de la misma, usando únicamente el calor necesario para permitir una mezcla satisfactoria.

Si se toman las muestras con el propósito de determinar la uniformidad de la producción de la planta no deben ser mezcladas entre sí, sino cada toma será ensayada por separado.

- Las muestras tomadas de una pila de almacenamiento deberán obtenerse por la unión de cantidades iguales de mezcla tomadas de la superficie, centro y fondo de la pila, a través de huecos excavados en la misma. La reducción de la muestra al tamaño requerido deberá hacerse como se describió en el numeral 8.1.4.
- Las muestras tomadas de vehículos transportadores se sacarán de no menos de seis (6) puntos diferentes, aproximadamente a 305 mm (12") por debajo de la superficie, distribuidos sobre el vehículo de tal modo que queden en los puntos medios de las secciones que representan cada una la sexta parte del área superficial del vehículo y que se logran suponiendo una línea media a lo largo y

dos líneas transversales que dividen la superficie en tres partes iguales. En caso de que se requiera un número mayor de muestras para formar la acumulativa, se tomarán en puntos espaciados de acuerdo con un patrón geométrico satisfactorio. Estas porciones se mezclarán y reducirán por cuarteo al tamaño requerido de la muestra.

4.1.5 Toma de muestras asfálticas "in situ". Las muestras de mezclas asfálticas tomadas del pavimento terminado, para la determinación de las características de la mezcla, deben tener un área medida sobre la superficie del pavimento no menor que la indicada en la Tabla No.4 y cubrir toda la profundidad de la capa que se está extendiendo. Debe tomarse por lo menos una muestra de la producción diaria, sacándola de tal manera que cause la menor perturbación en su densidad, y debe ser transportada firmemente envuelta y sujeta, para conservar su forma en caso de que se vaya a realizar la determinación de su densidad.

• **Identificación de las muestras**

Cada muestra vendrá acompañada de una descripción dando la siguiente información:

- Trabajo en el cual se va a usar el material, indicando nombre de la vía y otras identificaciones geográficas exigidas.
- Para muestras tomadas en planta, debe indicarse: nombre de la empresa, tipo, capacidad y ubicación de la planta; tipo de ligante asfáltico y agregados usados en la mezcla.
- Para muestras tomadas en la vía debe indicarse el número de la estación y la localización transversal del pavimento; también, si la muestra es del pavimento terminado o de los cordones, etc.
- Cantidad representada
- Nombre y cargo de quien toma la muestra y quien la envía.
- Fecha del muestreo
- Ensayo requeridos
- Nombre y cargo de la persona a quien se le enviará el resultado
- Cuando se trate de mezcla en frío, indicar fecha del mezclado.

4.2 EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS SEGÚN MÉTODO A I.N.V. E – 732

4.2.1. Objetivo de la norma I.N.V. E – 732. Esta norma describe métodos para la determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente y en muestras de pavimentos. Los agregados obtenidos mediante estos métodos pueden emplearse para análisis granulométrico y otro tipo de ensayos.

Nota 1: Los resultados obtenidos con estos métodos pueden afectarse por la edad de los materiales ensayados; es así como las muestras más viejas tienden a producir contenidos ligeramente menores de asfalto. Se obtienen mejores resultados cuantitativos cuando el ensayo se efectúa sobre mezclas y pavimentos inmediatamente después de su preparación.

4.2.2. Resumen del Método. El ligante del pavimento es extraído con tricloroetileno, tricloroetano -1,1,1, cloruro de metileno, o benceno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de asfalto se calcula por diferencia de peso del agregado extraído, del contenido de humedad, y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en peso de las mezclas libres de humedad.

4.2.3. Uso y significado. Pueden emplearse todos los métodos, para hacer determinaciones cuantitativas de asfalto en mezclas en caliente para pavimentos y en muestras de pavimento, para su aceptación, para su evaluación en el servicio, para control y para investigaciones. Cada método prescribe el solvente o los solventes y cualquier otro reactivo que pueda utilizarse.

4.2.4. Equipo

- Horno, que pueda mantener la temperatura a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$, ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
- Recipiente plano, de tamaño apropiado, para calentar los especímenes.
- Balanzas o básculas y pesas apropiadas según peso de la muestra.
- Placa de calentamiento, eléctrica, con tubo de calentamiento ajustable.
- Vasos graduables, de 1000 o de 2000 ml de capacidad. Opcionalmente, un vaso de 100 ml de capacidad.
- Cápsulas de porcelana de 125 ml de capacidad.
- Desecador.
- extractor

4.2.5. Reactivos

- Solución saturada de carbonato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, químicamente puro.
- Cloruro de Metileno, químicamente puro (Véase en la tabla No.5 para precauciones).
- Tricloroetano -1,1,1- químicamente puro (Véase en tabla No.5)
- Benceno químicamente puro (Véase en tabla No.5).

Nota 2: Puede requerirse tricloroetileno, cuando se recobre el asfalto a partir de la solución.

4.2.6. Precauciones. Los solventes indicados en el numeral 8.2.5 deberán emplearse tan sólo bajo una campana de gases o bajo una superficie con un sistema de desfogue efectivo en un área bien ventilada, ya que todos son tóxicos en algún grado, como se indica en la tabla 5.

Tabla 5. Máxima concentración para cada tipo de solvente

Solvente	Máxima concentración aceptable para exposición durante 8 h ppm
Benceno	25
Cloruro de metileno	200
Tricloroetileno	100
Tricloroetano -1,1,1-	350

Fuente: Instituto Nacional de Vías 2007

El tricloroetileno y el tricloroetano -1,1,1- en presencia del calor y humedad pueden formar ácidos que son extremadamente corrosivos para ciertos metales, particularmente cuando éstos se mantienen en contacto durante períodos prolongados. Deberá evitarse que estos solventes permanezcan en pequeñas cantidades en los tanques afluentes de los extractores de aluminio al vacío.

Cuando se almacena tricloroetileno en un recipiente de acero y se halla en contacto continuo con humedad, puede descomponerse por deshidratación para formar líquidos hidrocarbonados no saturados y cloruro de hidrógeno. Los tambores de acero que contengan tricloroetileno deberán almacenarse en un sitio frío y seco, y deberán mantenerse herméticamente sellados y usarse tan poco frecuentemente como sea posible. El tricloroetileno deberá transferirse de los tambores a botellas de vidrio carmelitas y limpias para uso en el laboratorio.

- **Preparación de la muestra**

- Obténganse las muestras de acuerdo con el ensayo INV E - 731.
- Preparación de especímenes de ensayo.

- Si la mezcla no es suficientemente blanda para separarla con una espátula o palustre, se la coloca en una bandeja y se calienta a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta que pueda manejarse o mezclarse. Pártase o cuartéese el material hasta que se obtenga el peso del material requerido para el ensayo (W1).

- La cantidad de la muestra para el ensayo se determinará según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla, de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6. Tamaños de la muestra

Tamaño Nominal agregado mm	Máximo de	Peso mínimo de la Muestra kg
4.75 (No.4)		0.5
9.5 (3/8")		1.0
12.5 (1/2")		1.5
19.0 (3/4")		2.0
25.0 (1")		3.0
37.5 (1-1/2")		4.0

Fuente: Instituto Nacional de Vías 2007

Nota 3: Cuando el peso del espécimen de ensayo exceda la capacidad del equipo empleado (para un método particular), puede dividirse en porciones apropiadas y ensayarse, combinando luego adecuadamente los resultados para el cálculo del contenido de asfalto.

- Se necesita adicionalmente una muestra para la determinación de la humedad, en las mezclas. Tómese ésta del remanente de mezcla inmediatamente después de obtener el espécimen para el ensayo de extracción.

Nota 4: Si no se necesita la recuperación del asfalto a partir de la solución obtenida en la extracción, puede secarse hasta peso constante la muestra completa de ensayo en un horno entre 149°- 163°C (300°- 325°F) durante 2 a 2½ horas antes de la extracción, en lugar de determinar la humedad.

4.2.7 Humedad. Si se desea, determínese la humedad de la mezcla de acuerdo con el procedimiento descrito en el Método INV. E - 755 "Humedad o destilados volátiles en mezclas asfálticas para pavimentos". Calcúlese el peso del agua (W2), en la porción del ensayo de extracción, multiplicando el porcentaje en peso del agua, por el peso de la porción del ensayo de extracción (W1).

- **Aplicación METODO A**

Adicionalmente a los aparatos enumerados en el numeral 8.2.4, para el Método A se requieren los siguientes:

- Aparato de extracción, consistente en un aparato en el cual se pueda rotar una taza, a una velocidad variable y controlada hasta 3600 r.p.m. El aparato debe estar provisto de una campana para retener el solvente que escapa de la taza y un

desagüe para remover dicho solvente. Debe tener también accesorios protectores para explosiones y deberá instalarse en una cámara con buena ventilación.

Nota 5: Pueden emplearse dispositivos similares de tamaños mayores.

- Anillos filtrantes, de fieltro o de papel, para el borde de la taza.
- Pueden emplearse anillos filtrantes de papel de poca ceniza en lugar de anillos filtrantes de fieltro. Dichos anillos de papel de poca ceniza deberán conformarse a partir de una pila de papel de poca ceniza, de 0.05 ± 0.005 " de espesor. El peso nominal del papel deberá ser de 330 ± 30 lb para una resma (500 hojas de 25" x 35"). El contenido de ceniza del papel no deberá exceder de 0.2% (aprox 0.034 g/anillo).

4.2.8 Procedimiento. Determínese la humedad del material de acuerdo con el numeral 8.2.8. Colóquese la porción de ensayo en la taza y cúbrase con tricloroetileno, tricloroetano 1, 1, 1 o cloruro de metileno y déjese el tiempo suficiente para que el disolvente desintegre la porción de ensayo (no más de 1 hora). Colóquese la taza que contiene la porción de ensayo y el solvente en el aparato de extracción.

Séquese y determínese el peso del anillo filtrante y ajústese alrededor del borde de la taza. Apriétese la tapa firmemente sobre la taza y colóquese un vaso graduado bajo el desagüe para recoger el extracto.

Iníciase la centrifugación girando lentamente y aumentese gradualmente la velocidad a un máximo de 3600 rpm, hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Déjese que se detenga la máquina y agréguese 200 ml (o más como sea apropiado para el peso de la muestra) del solvente empleado, y repítase el procedimiento.

Empléense suficientes adiciones de solvente (no menos de tres) de manera que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Recójase el extracto y las lavaduras en un recipiente apropiado.

Remuévase el anillo filtrante de la taza y séquese al aire. Si se emplean anillos filtrantes de filtro, cepílese la materia mineral adherida a su superficie y agréguese al material extraído. Séquese el anillo hasta peso constante en un horno a $110^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ ($230^\circ \pm 9^\circ\text{F}$). Viértase cuidadosamente todo el contenido de la taza en una cazuela metálica secándolo en un baño de vapor primero y luego hasta peso constante en un horno o en una placa de calentamiento a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Si se emplea tricloroetileno o tricloroetano como solvente para la extracción, puede omitirse el secamiento en el baño de vapor.

El peso del agregado extraído (W3) es igual al peso del agregado en la cazuela metálica más el aumento en el peso que experimenten los anillos filtrantes.

- Aplíquese el siguiente procedimiento alterno cuando se usen anillos filtrantes que produzcan poca ceniza. Colóquese el agregado y los anillos de filtro en una cazuela metálica limpia como se especifica arriba. Dóblese cuidadosamente el anillo filtrante seco y déjelo sobre el agregado.

Quémese el anillo de filtro mediante ignición con un fósforo o un mechero bunsen. Determínese el peso del agregado extraído en la cazuela (W3).

Nota 6: Como el agregado seco absorbe humedad cuando se expone al aire húmedo, determínese el peso del agregado extraído, inmediatamente después de enfriado a una temperatura apropiada.

Determínese la cantidad de material mineral en el extracto por medio del método siguiente:

▪ **Método de centrifugación.**

Empléese para este método cualquier centrifugadora adecuada de alta velocidad (de 3000g o mayor) del tipo de flujo continuo.

- Determínese el peso de una taza limpia y vacía con aproximación a 0.01 ± 0.0005 g y colóquese en la centrifugadora. Empléese un recipiente en el desagüe para recoger el efluente de la operación de la centrifugadora. Transfírase todo el extracto (del Método A, ó B, que sea apropiado) a un recipiente debidamente equipado con un control de alimentación (válvula o abrazadera, etc.). Para garantizar la transferencia cuantitativa del extracto al recipiente alimentador, deberá lavarse el recipiente que contiene el extracto varias veces, con pequeñas cantidades de solvente limpio y agregarse las lavaduras al recipiente alimentador. Iníciase la centrifugadora y déjese que alcance una velocidad constante (por ejemplo 9.000 revoluciones por minuto para las del tipo SMM y más de 20.000 Revoluciones por minuto para las del tipo Sharples). Abrase la línea de alimentación y aliméntese el extracto dentro de la centrifugadora a una rata de 100 a 150 ml/min. Después de que haya pasado todo el extracto a través de la centrifugadora, lávese el mecanismo de alimentación (con la centrifugadora todavía funcionando) con varias adiciones de solvente limpio, permitiendo que cada incremento corra a través de la centrifugadora hasta que el efluente sea esencialmente incoloro.

- Déjese que la centrifugadora se detenga y remuévase la taza. Límpiase el exterior con solvente nuevo. Déjese evaporar el solvente residual en un embudo o en una caperuza para vapor y luego séquese el recipiente en un horno controlado a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Enfríese el recipiente y vuélvase a determinar

inmediatamente el peso. El incremento representa el peso de materia mineral (W4) en el extracto.

- **Calculo del contenido de asfalto**

Calcúlese el porcentaje de asfalto en la porción de ensayo en la siguiente forma:

$$\text{Contenido de asfalto, \%} = \frac{(W1 - W2) - (W3 + W4)}{W1 - W2} \times 100$$

W1- W2

Donde:

W1 = Peso de la porción de ensayo.

W2 = Peso del agua en la porción de ensayo.

W3 = Peso del agregado mineral extraído.

W4 = Peso de la materia mineral en el extracto.

4.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS I.N.V. E-782

4.3.1 Objetivo de la norma I.N.V. E-782. Este ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la granulometría de los agregados gruesos y finos recuperados de las mezclas asfálticas, empleando tamices con malla de abertura cuadrada.

4.3.2 Aparatos

- **Balanzas.**- Una balanza con capacidad de 5.000 g y sensibilidad 0.1 g; otra con una capacidad mayor a 5000 g y sensibilidad de 1 g.
- **Tamices.**- Los tamices empleados serán de mallas con aberturas cuadradas e irán montados sobre bastidores adecuados para evitar pérdidas de material durante el tamizado.
- **Horno.**- Temperatura regulable.
- **Recipientes para mezcla, espátulas, cucharas, etc.**

4.3.3 Procedimiento. La muestra empleada será la totalidad del agregado de la mezcla asfáltica obtenida según la Norma INV E-732.

Los agregados se secan en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) hasta conseguir una variación de peso inferior al 0.1% ; regístrese este peso. A continuación, se colocan en un recipiente apropiado y se cubren completamente con agua u otro líquido de lavado adecuado. Cuando se utilice agua, se le añadirá una pequeña cantidad de un agente humectante orgánico (metanol, jabones líquidos, etc) para facilitar el mojado de los agregados y asegurar una buena separación de las partículas finas.

Se agita vigorosamente el contenido del recipiente (Nota 1) y se vierte el líquido sobre el conjunto formado por un tamiz superior de 1.00 ó 2.00 mm (No.8 o No.10) y el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200).

Nota 1: Se ha encontrado que el empleo de una cuchara rígida de gran tamaño es muy útil para la agitación y dispersión de la muestra.

La agitación debe ser enérgica para lograr una separación de la fracción fina y conseguir que la suspensión se mantenga mientras se realiza el proceso de vertimiento. Durante esta operación, se procurará evitar en lo posible, la transferencia de material grueso en los tamices.

Esta operación deberá repetirse las veces necesarias hasta que el líquido de lavado salga limpio.

Todo el material retenido sobre el conjunto formado por los dos tamices se pasa de nuevo al recipiente de los agregados, el cual se secará en el horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se pesará finalmente con una aproximación de 0.1% .

A continuación se tamiza sobre una serie de tamices escogidos de acuerdo con las especificaciones, incluyendo el tamiz de $75 \mu\text{m}$ (No.200).

4.3.4 Cálculos y resultados. Para determinar la cantidad de llenante que contiene la muestra, se sumarán a la fracción obtenida por tamizado el material separado por lavado, el aumento de masa del papel de filtro o vaso de centrífuga (según el método de extracción) y finalmente la materia mineral o cenizas, obtenida por calcinación a partir de la disolución.

Si se desea comprobar el material eliminado por lavado, se pueden evaporar a sequedad los líquidos de lavado o filtrar a través del papel de filtro tarado, secando y pesando a continuación.

Las cantidades de las distintas fracciones retenidas en cada tamiz, así como la cantidad tamizada por el de 75 μm (No.200), se convierten en los respectivos porcentajes dividiéndoles por peso total de agregados.

Este peso total está constituido por la masa seca de los agregados antes de tamizar, más el peso total del llenante.

5. CONTROL DE CALIDAD

5.1 COMPARACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS

5.1.1 Toma de Muestras. Para determinar el contenido de asfalto se tomaron 10 muestras en la planta la Victoria ver figura 19., en periodos en los cuales la planta realizo producción de mezcla asfáltica para diversos proyectos. La mitad de las muestras fueron analizadas en la planta y la otra mitad fue en el laboratorio de la universidad de Nariño

Las muestras fueron tomadas directamente de la volqueta, una vez fue cargada por la tolva de almacenamiento, se procedió a utilizar una pala, para excavar un agujero de 30 cm de profundidad para luego tomar 1 Kg de la mezcla asfáltica, como se aprecia en la figura No.19, este procedimiento se repito en 6 puntos diferentes del volc6 distribuidos sobre el veh6culo de tal modo que la superficie se dividida en tres partes iguales.

Figura 19. Producci6n Planta la Victoria



Figura 20. Toma de muestras



- **Cuarteo de la muestra.** Para reducir el volumen de la muestra a un tamaño adecuado para el procedimiento de extracción, es necesario cuartear la muestra, después de haber tomado aproximadamente 6 kg de muestra requeridas, la cantidad total se reducirá a través del método del cuarteo sobre una superficie lisa y limpia hasta llegar a obtener 1200gr, cantidad necesaria para realizar el ensayo.

Las muestras que se analizaron en el laboratorio de la planta fueron realizadas inmediatamente después de la toma de muestras, mientras que las realizadas en el laboratorio de la universidad, se las realizó tiempo después lo que obligo a que se caliente la muestra para poderla manipular y poder realizar los ensayos.

Figura 21. Método de cuarteo



5.1.2 Ensayo del contenido de asfalto. Una vez realizado el cuarteo se toman 1200gr para cubrirla con gasolina, dejándola reposar alrededor de 15 min, posteriormente esto se deposita en el equipo de extracción, se determina el peso del anillo filtrante, se ajusta alrededor del borde de la taza y se aprieta para finalmente colocar un vaso graduable de 2000 ml para recoger el extracto, como se observa en la figura.

Cabe anotar que las balanzas que tiene el laboratorio de la planta son manuales (ver figura 22.) lo que puede generar que las materias extrañas presentes pueden impedir que el puente de pesaje funcione correctamente y como resultado, se coloca más material en la balanza que el que aparece indicado. Disminuyendo el porcentaje de confiabilidad del ensayo.

Figura 22. Balanza laboratorio planta



Figura 23. Balanza electrónica



En el laboratorio de la planta tienen una centrifuga manual marca Bico como se aprecia en la figura 24. Con la que se realiza los ensayos.

Figura 24. Centrifuga manual laboratorio planta



La gasolina fue el solvente utilizado en los dos laboratorios debido a que tricloroetileno por su alto peligro en la manipulación y su elevado costo, motivos por lo cual no fue empleado para realizar el ensayo como se aprecia en la figura 25.

Figura 25. Ensayo de extracción



Se inició la centrifugación girando gradualmente la velocidad hasta un máximo de 3600 rpm, hasta que dejó de fluir el solvente por el desagüe. Se detuvo la máquina y se agregaron 500 ml de gasolina.

Figura 26. Ensayo de extracción



se procedió nuevamente a iniciar la centrifugación, añadiéndole 500 ml, el proceso se repitió consecutivamente hasta lograr realizar 5 lavados, lo cual generó que el efluente obtenido cambiara de un color oscuro a un color claro, se recogió el extracto y las lavaduras en un recipiente. Como se observa en la figura 26.

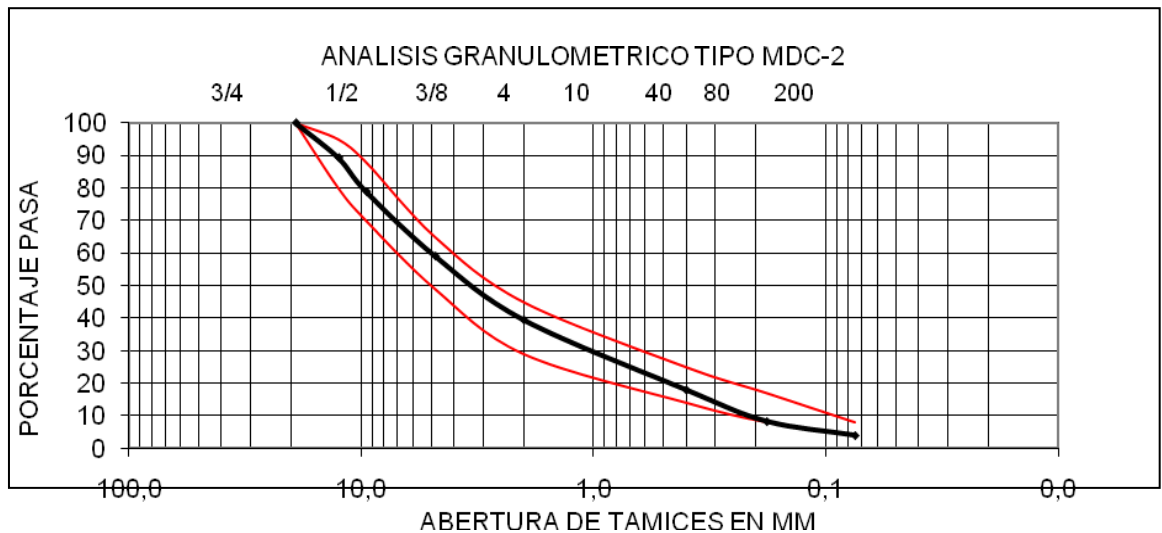
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS

5.2.1 Margen de calidad de la producción de la mezcla asfáltica elaborada en la planta la Victoria. Se realizaron pruebas en el laboratorio de la planta figura 27, y en el de la universidad de Nariño, con la finalidad de obtener el margen de calidad de la producción que experimenta una mezcla asfáltica densa en caliente (tipo MDC-2 acorde con INVIAS, 2007) elaborada en la planta la Victoria, materiales provenientes de Rio Téllez - Rio Guaitara - Cantera la Victoria (Nariño, Colombia). Las propiedades evaluadas fueron el contenido de asfalto y el análisis granulométrico.

Figura 27. Vista general Planta la victoria.



Grafico 6. Análisis Granulométrico



En la gráfica 6, se observa los valores del material pasante y la abertura de tamices, tomando como referencia las especificaciones INVIAS 2007 representadas por las franjas de color rojo, observando que los valores del ensayo cumplen con los requisitos de granulometría exigidos por la norma.

la mezcla asfáltica analizada en el laboratorio de la planta y de la Universidad de Nariño dando como resultado unos valores entre 5.1 y 6.2% de contenido de asfalto, que al ser comparados con el diseño Marshall elaborado en el laboratorio de la planta de asfalto que dio como resultado un porcentaje de asfalto óptimo de 6% \pm 0.3, el cual se realizó con una mezcla de los materiales del Río Téllez - Río Guaitara - Cantera la Victoria en una proporción de 20%, 75% y 5% respectivamente, lo que indica que existen muestras que no cumplen de acuerdo

con el diseño Marshall de la planta para una mezcla con agregados Rio Téllez - Rio Guaítara - Cantera la Victoria, dando como resultado un 40% de la producción analizada que no cumple con la especificación.

5.2.2 Resumen resultados. En la tabla 7, se aprecian los resultados del porcentaje de asfalto que arrojaron los ensayos realizados en el laboratorio de la planta la Victoria y los realizados en el Laboratorio de la Universidad de Nariño. Se puede observar una diferencia debido a que en la planta de asfalto los ensayos se realizaron con un equipo que además de ser manual es muy viejo y que de alguna manera no brinda las condiciones para obtener unos buenos resultados. En cambio en la Universidad de Nariño se utilizó un equipo nuevo y moderno.

Tabla 7. Variación de Porcentaje de Asfalto

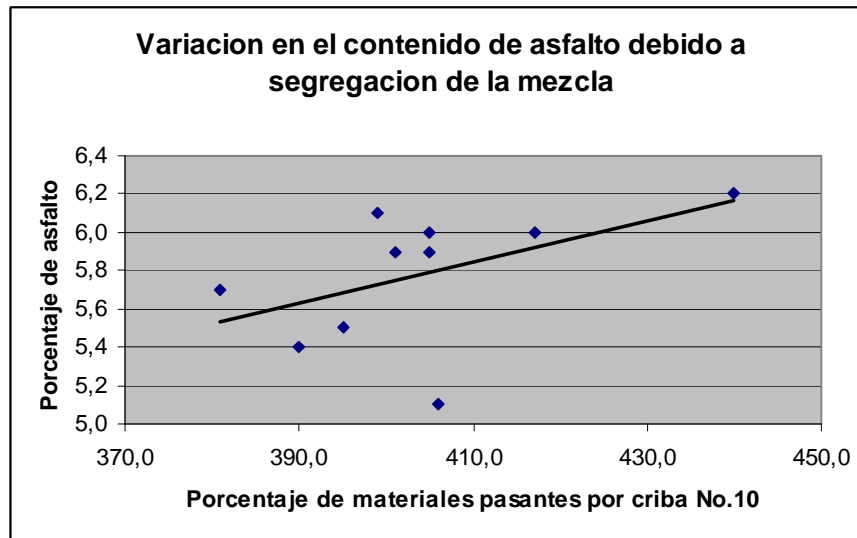
PORCENTAJE DE ASFALTO %		
ENSAYO	LABORATORIO UNIVERSIDAD DE NARIÑO	LABORATORIO PLANTA LA VICTORIA
21-Jun-11	5,1	5,4
22-Jun-11	5,5	5,7
23-Jun-11	5,9	6,0
27-Jul-11	6,2	6,1
28-Jul-11	6,0	5,9

Los resultados de las pruebas de granulometría en el agregado extraído son muy útiles para determinar si existe alguno de los problemas como el muestreo incorrecto, el cuarteado incorrecto, segregación, humedad.

Para nuestros fines, el porcentaje de materiales que pasa por la criba indicadora (N° 10) varía de modo considerable. El bajo contenido de asfalto corresponde a un bajo porcentaje de materiales que pasan por la criba indicadora. El alto contenido de asfalto corresponde a un alto porcentaje de materiales que pasan por la criba indicadora¹².

¹² J. Don Brock, Op. Cit.

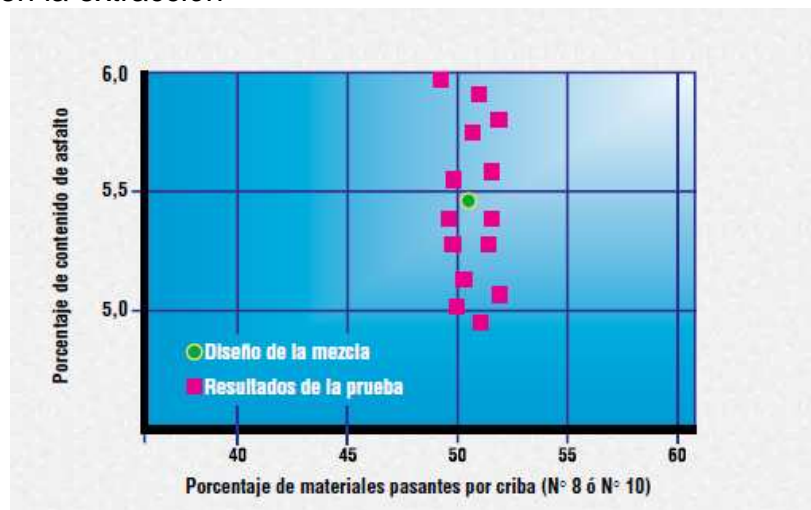
Grafico 7. Contenido de asfalto óptimo de 6% ± 0.3



Si la curva es aproximadamente una línea recta, esto significa que se está produciendo una mezcla uniforme y que existe un espesor uniforme de recubrimiento. Lo que no sucede en la grafica 7, Sin embargo, se produce segregación después del proceso de mezcla, ya sea en la tolva de compensación o la de almacenamiento, o durante el proceso de carga de la volqueta.

Cuando se produce una mezcla incorrecta, el porcentaje de materiales pasantes por la criba indicadora puede permanecer relativamente constante mientras que el contenido de asfalto varía como se observa en la grafica 8. Esta condición también puede deberse a errores en los procedimientos de extracción y prueba.

Grafico 8. Variaciones en el contenido de asfalto debido a mezclado incorrecto o variaciones en la extracción



La mezcla incorrecta en una planta dosificadora usualmente se debe al mantenimiento insuficiente del mezclador, a la distribución desigual de materiales alimentados al mezclador o a un tiempo de mezclado insuficiente. En un mezclador de tambor, la mezcla incorrecta puede deberse a tiempos de mezclado o de retención insuficientes, a paletas desgastadas o faltantes, o a que la planta funciona a un ritmo de producción considerablemente menor que su capacidad nominal.

CONCLUSIONES

- El rango de la cantidad de asfalto medido en porcentaje de las mezclas producidas en la planta la victoria es de 5.1% a 6.2%, teniendo en cuenta que 5 ensayos se los realizó en la universidad de Nariño y 5 en el laboratorio de la planta, además 4 de los 10 ensayos realizados se comprobó que no cumple con el porcentaje óptimo de asfalto según el diseño Marshall para un determinado tipo de material.
- Las muestras analizadas cumplen con la especificación del INVIAS 2007 en cuanto a la granulometría para una mezcla densa en caliente, aunque en su mayoría se presenta muy pegado a límite, indicando que le falta agregado de 1/2" y 3/8"
- Se observan diferencias en los resultados de los ensayos esto es debido a que los realizados en la universidad de Nariño son desarrollados por personal técnico quienes además de tener los equipos adecuados y actualizados cuentan con una amplia experiencia en este tipo de ensayos.
- Si el agregado tiene humedad interna, es posible que toda la humedad no se haya extraído antes de hacerse la mezcla. La humedad puede extraerse y considerarse como asfalto líquido. Lo cual hace que el contenido de asfalto parezca ser alto. Para corregir esta condición, se debe secar las muestras en un horno por un lapso de dos horas antes de extraer el asfalto líquido.
- Una planta de asfalto debe tener todos los equipos necesarios y deben estar debidamente calibrados para realizar los ensayos,
- Una ventaja que la planta dosificadora tiene sobre el mezclador de tambor es que luego que el material sale del secador, el mismo se transporta a tolvas calientes en donde se almacena por un espacio de cinco a 30 minutos antes de usarse. Usualmente, este tiempo es suficiente para eliminar la humedad interna. De este modo, cuando el material se introduce en la tolva de pesaje y luego en el mezclador, en donde es recubierto con asfalto, existe un bajo porcentaje de humedad interna y por lo tanto se reduce la absorción.
- La planta de asfalto debe ser abastecida con la cantidad necesaria de insumo como los agregados y el asfalto para evitar la paralización de la producción de la planta ya que se perdería recursos como materia prima y combustible.

RECOMENDACIONES

- El material de agregado que será utilizado en una producción de mezcla asfáltica debe estar cubierto para evitar que absorba humedad y genere una mezcla defectuosa
- No se debe reutilizar el filtro del ensayo de extracción porque los datos no serán confiables
- La mezcla incorrecta en una planta dosificadora usualmente se debe al mantenimiento insuficiente del mezclador, a la distribución desigual de materiales alimentados al mezclador o a un tiempo de mezclado insuficiente.
- A medida que la humedad interna se evapora del agregado, se extrae calor de la roca, lo cual reduce su temperatura. Cuando la humedad interna se evapora y se difunde, se forma un vacío en el interior de la roca, lo cual hace que se aspire el asfalto líquido a través de sus poros. Esto puede observarse si se corta una roca grande en dos y es posible ver que el asfalto se ha aspirado hacia el interior del material.
- En un mezclador de tambor, la mezcla incorrecta puede deberse a tiempos de mezclado o de retención insuficientes, a paletas desgastadas o faltantes, o a que la planta funciona a un ritmo de producción considerablemente menor que su capacidad nominal.
- Para confirmar la precisión de extracción, las muestras del material combinado y tomado del transportador que alimenta la planta pueden separarse por lotes y mezclarse en laboratorio. Si el contenido de asfalto determinado en las muestras de laboratorio es igual al valor de diseño de la mezcla, entonces las variaciones observadas en el campo se deben a variaciones en el proceso. Si los valores de prueba difieren, entonces se debe verificar el procedimiento de extracción de la manera descrita en la sección anterior.

BIBLIOGRAFÍA

ANALISIS Y VERIFICACION DE LA NORMAS DE CALIDAD ISO EN EL PROCESO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA por Claudia Ileana de Fatima Godoy, U Fransisco Marroquin, 2004.

CONTENIDO DE ASFALTO. T-114S J. Don Brock,PhD.,P.E.

CARTILLA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO, Editado por ASOPAC. Impreso por Panamericana Formas e Impresos S.A. Bogota.2004

Especificaciones y normas INV-07. Normas de ensayo. Tomo III. Materiales y mezclas asfálticas. Bogotá. Abril de 2.007.


Evaluación y mejoramiento del proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica que produce la planta de asfalto del ilustre municipio de Loja, Danny Manuel Erazo Carrión. Loja-Ecuador.2009.

ING. MG. ARENAS LOZANO, Hugo León. Teoría De Los Pavimentos: Universidad Del Cauca, 1990. 519 p

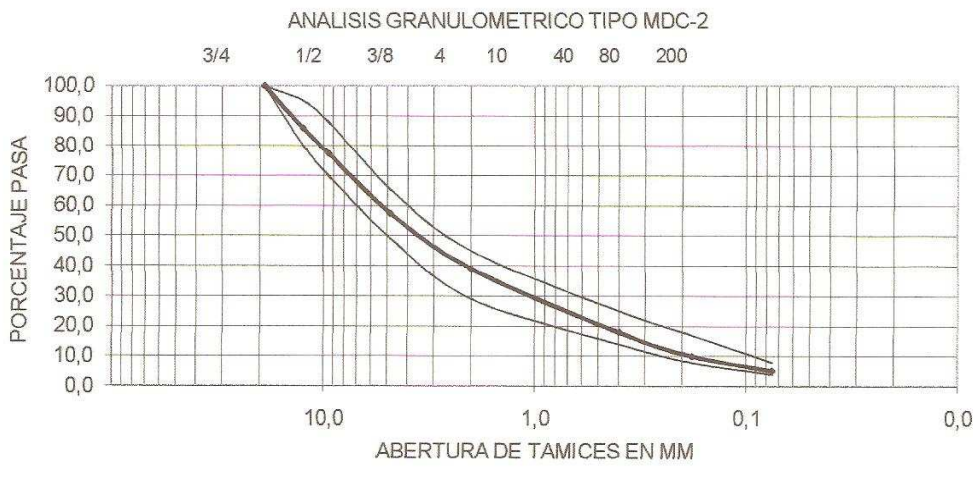
ICONTEC. Normas técnicas Colombianas para el Sector de la Construcción. Bogotá: Legis Editores s.a. 1.989.

ANEXOS

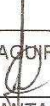
Anexo A. Autocontrol laboratorio Planta la victoria

	DETERMINACION CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACION			CÓDIGO PV - R - AGR		
				VERSIÓN 00		
				PAGINA 1 DE 1		
DESCRIPCIÓN MATERIAL:		MEZCLA ASFALTICA TIPO MDC-2				
LOCALIZACIÓN MUESTREO:		PLANTAN LA VICTORIA				
FUENTE DE MATERIALES:		RIO TELLEZ - RIO GUAITARA - CANTERA LA VICTORIA				
FECHA MUESTREO:		JUNIO 21 DE 2011	PESO ANTES DE LAVAR 1200,0			
COTENIDO DE ASFALTO:		5,4	PESO DESPUES DE LVAR 1135,0			
TAMIZ	PESO RETENIDO	ABERTURA TAMIZ EN mm	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007		% RETENIDO	% PASA MUESTRA ENSAYADA
						100
3/4		19,1	100	100		100,0
1/2	160,0	12,5	80	95	14,1	85,9
3/8	96,0	9,5	70	88	8,5	77,4
4	229,0	4,80	49	65	20,2	57,3
10	207,0	2,0	29	45	18,2	39,0
40	238,5	0,40	14	25	21,0	18,0
80	89,8	0,18	8	17	7,9	10,1
200	55,7	0,075	4	8	4,9	5,2
PASA 200	59,0				5,2	
	1135,0					

ANALISIS GRANULOMETRICO TIPO MDC-2



OBSERVACIONES

Realizo: DAVID AGUIRRE  Cargo: JEFE PLANTA	Vo.Bo. Ing: GIOVANY CALDERON Cargo: Residente de Obra
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------



DETERMINACION CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACION

CÓDIGO	PV - R - AGR
VERSIÓN	00
PAGINA	1 DE 1

DESCRIPCIÓN MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA TIPO MDC-2

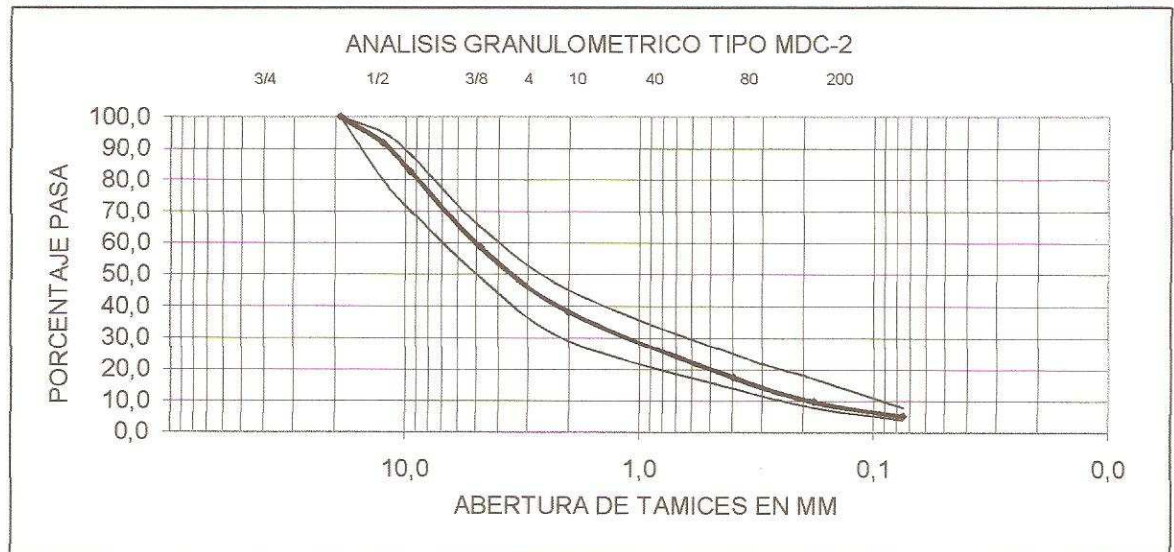
LOCALIZACIÓN MUESTREO: PLANTAN LA VICTORIA

FUENTE DE MATERIALES: RIO TELLEZ - RIO GUAITARA - CANTERA LA VICTORIA

FECHA MUESTREO: JUNIO 22 DE 2011 **PESO ANTES DE LAVAR** 1200,0

COTENIDO DE ASFALTO: 5,7 **PESO DESPUES DE LVAR** 1131,6

TAMIZ	PESO RETENIDO	ABERTURA TAMIZ EN mm	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007		% RETENIDO	% PASA MUESTRA ENSAYADA
3/4		19,1	100	100		100,0
1/2	92,8	12,5	80	95	8,2	91,8
3/8	104,8	9,5	70	88	9,3	82,5
4	270,8	4,80	49	65	23,9	58,6
10	231,5	2,0	29	45	20,5	38,1
40	232,8	0,40	14	25	20,6	17,6
80	87,3	0,18	8	17	7,7	9,9
200	51,8	0,075	4	8	4,6	5,3
PASA 200	59,8				5,3	0,0
	1131,6					



OBSERVACIONES

Realizo: DAVID AGUIRRE

Vo.Bo. Ing: GIOVANY CALDERON

Cargo: JEFE PLANTA

Cargo: Residente de Obra

**DETERMINACION
CONTENIDO DE ASFALTO Y
GRADACION**

CÓDIGO	PV - R - AGR
VERSIÓN	00
PAGINA	1 DE 1

DESCRIPCIÓN MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA TIPO MDC-2

LOCALIZACIÓN MUESTREO: PLANTAN LA VICTORIA

FUENTE DE MATERIALES: RIO TELLEZ - RIO GUAITARA - CANTERA LA VICTORIA

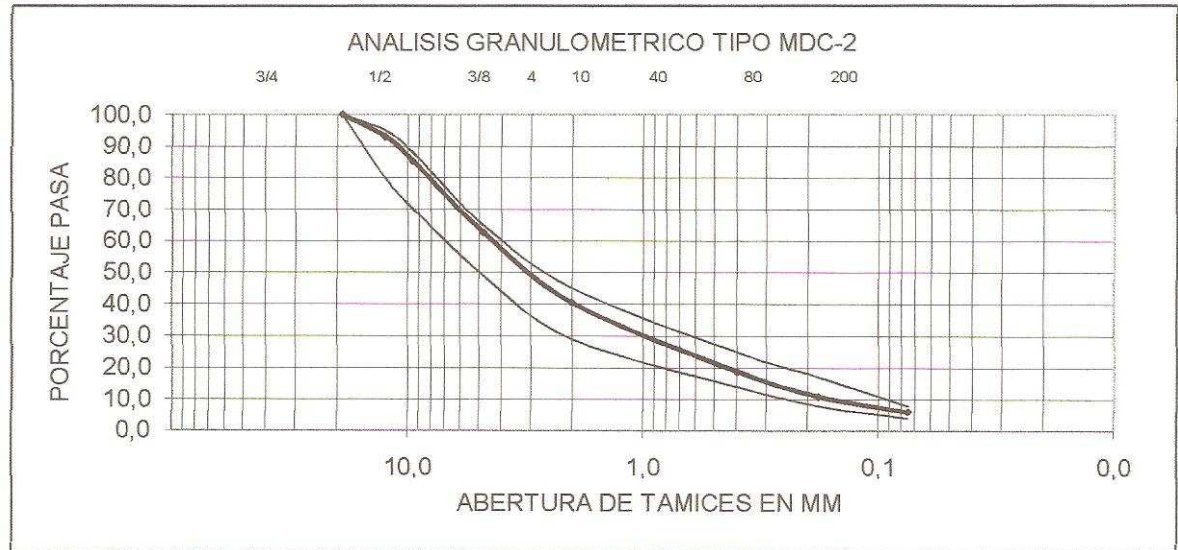
FECHA MUESTREO: JUNIO 23 DE 2011

PESO ANTES DE LAVAR 1200,0

COTENIDO DE ASFALTO: 6,0

PESO DESPUES DE LVAR 1128,6

TAMIZ	PESO RETENIDO	ABERTURA TAMIZ EN mm	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007		% RETENIDO	% PASA MUESTRA ENSAYADA
3/4		19,1	100	100		100,0
1/2	78,4	12,5	80	95	6,9	93,1
3/8	88,5	9,5	70	88	7,8	85,2
4	253,6	4,80	49	65	22,5	62,7
10	251,2	2,0	29	45	22,3	40,5
40	244,3	0,40	14	25	21,6	18,8
80	89,1	0,18	8	17	7,9	10,9
200	55,4	0,075	4	8	4,9	6,0
PASA 200	68,1				6,0	
	1128,6					



OBSERVACIONES

Realizo: DAVID AGUIRRE

Vo.Bo. Ing: GIOVANY CALDERON

Cargo: JEFE PLANTA

Cargo: Residente de Obra



DETERMINACION CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACION

CÓDIGO	PV - R - AGR
VERSIÓN	00
PAGINA	1 DE 1

DESCRIPCIÓN MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA TIPO MDC-2

LOCALIZACIÓN MUESTREO: PLANTAN LA VICTORIA

FUENTE DE MATERIALES: RIO TELLEZ - RIO GUAITARA - CANTERA LA VICTORIA

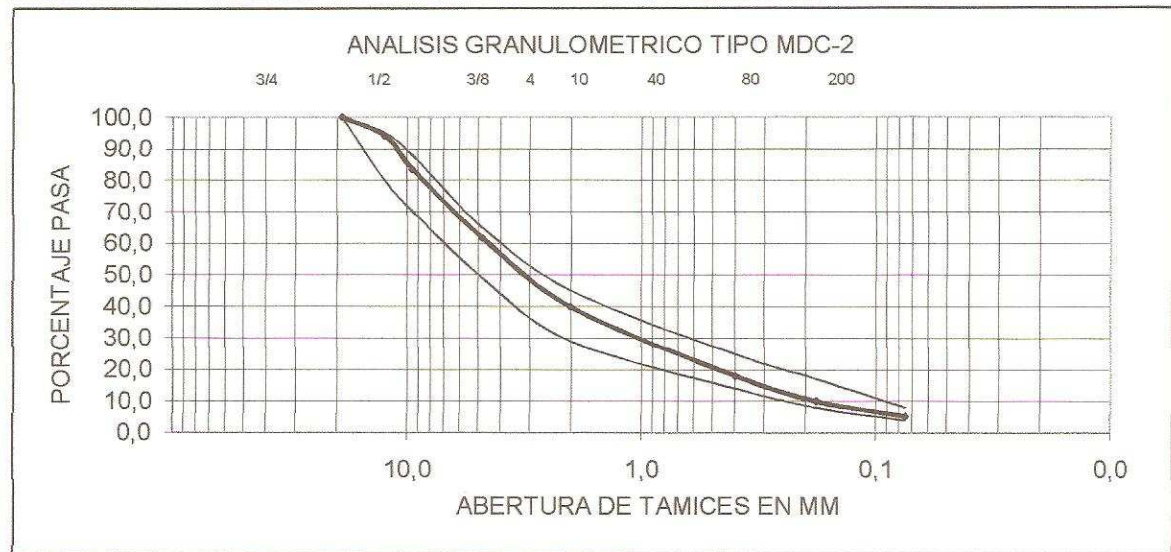
FECHA MUESTREO: JULIO 27 DE 2011

PESO ANTES DE LAVAR 1200,0

COTENIDO DE ASFALTO: 6,1

PESO DESPUES DE LVAR 1126,7

TAMIZ	PESO RETENIDO	ABERTURA TAMIZ EN mm	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007		% RETENIDO	% PASA MUESTRA ENSAYADA
3/4		19,1	100	100		100,0
1/2	66,3	12,5	80	95	5,9	94,1
3/8	120,8	9,5	70	88	10,7	83,4
4	244,3	4,80	49	65	21,7	61,7
10	246,3	2,0	29	45	21,9	39,9
40	245,3	0,40	14	25	21,8	18,1
80	89,8	0,18	8	17	8,0	10,1
200	53,3	0,075	4	8	4,7	5,4
PASA 200	60,6				5,4	0,0
	1126,7					



OBSERVACIONES

Realizo: DAVID AGUIRRE

Vo.Bo. Ing: GIOVANY CALDERON

Cargo: JEFE PLANTA

Cargo: Residente de Obra



DETERMINACION CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACION

CÓDIGO	PV - R - AGR
VERSIÓN	00
PAGINA	1 DE 1

DESCRIPCIÓN MATERIAL: MEZCLA ASFALTICA TIPO MDC-2

LOCALIZACIÓN MUESTREO: PLANTAN LA VICTORIA

FUENTE DE MATERIALES: RIO TELLEZ - RIO GUITARA - CANTERA LA VICTORIA

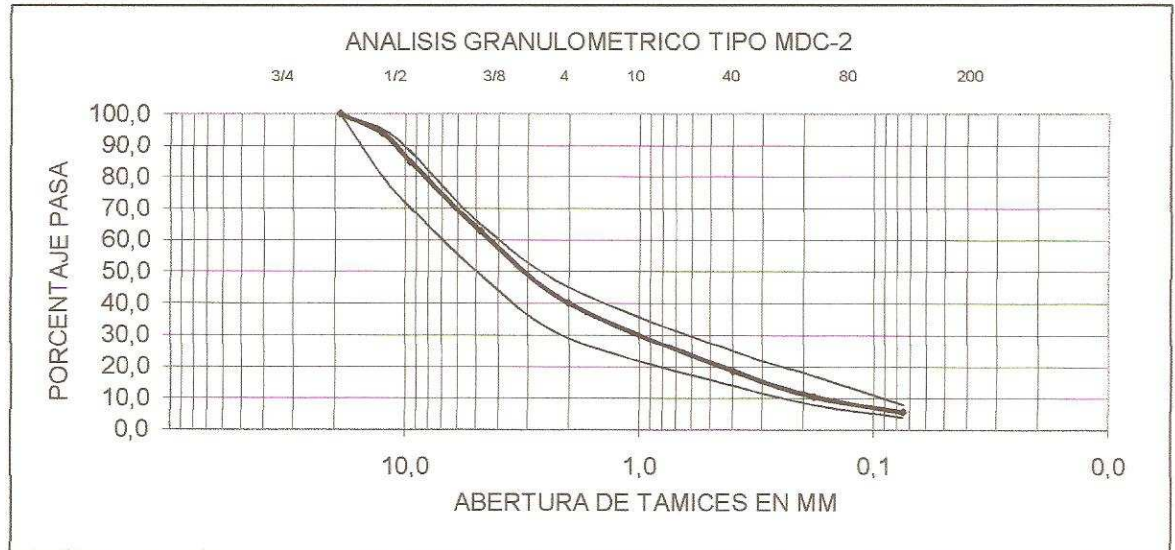
FECHA MUESTREO: JULIO 28 DE 2011

PESO ANTES DE LAVAR 1200,0

COTENIDO DE ASFALTO: 5,9

PESO DESPUES DE LVAR 1128,8

TAMIZ	PESO RETENIDO	ABERTURA TAMIZ EN mm	ESPECIFICACIÓN INVIAS 2007		% RETENIDO	% PASA MUESTRA ENSAYADA
3/4		19,1	100	100		100,0
1/2	70,5	12,5	80	95	6,2	93,8
3/8	102,8	9,5	70	88	9,1	84,6
4	246,8	4,80	49	65	21,9	62,8
10	256,5	2,0	29	45	22,7	40,1
40	241,8	0,40	14	25	21,4	18,6
80	90,8	0,18	8	17	8,0	10,6
	55,3	0,075	4	8	4,9	5,7
PASA 200	64,3				5,7	0,0
	1128,8					



OBSERVACIONES


Realizo: DAVID AGUIRRE

Vo.Bo. Ing: GIOVANY CALDERON

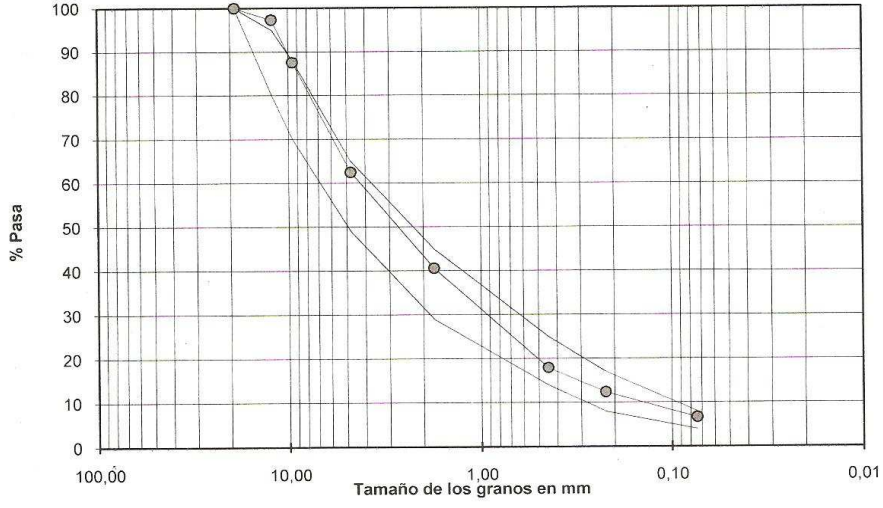
Cargo: JEFE PLANTA


Cargo: Residente de Obra

Anexo B. Verificación en el Laboratorio de la Universidad de Nariño

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS DETERMINACION DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACIÓN					
	OBRA: SEÑORES: Ing. Giovany Calderón-Ing. Luis Carlos Unigarro fecha de toma: 23/06/2011 ABSCISA: TIPO DE MEZCLA: MDC-2 FECHA ENSAYO: JUNIO 23 DE 2011. MUESTRA: Planta Panavias-Volqueta					
% de Asfalto 5,1 %		ANTES		DESPUES		
Peso de Material + Tara (grs.)		1337,1		1274,4		
Peso de la Tara (grs.)		137,0		137,0		
Peso del material (grs.)		1200,1		1137,4		
Peso del filtro (grs.)		11,74		13,53		
Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido A.	%Pasa	INVIAS - ART 450 - 07	
					MDC - 2	
3/4"	0,0	0,0	0,00	100	100	100
1/2"	30,2	2,7	2,66	97,3	80	95
3/8"	111,5	9,8	12,46	87,5	70	88
#4	284,8	25,0	37,50	62,5	49	65
#10	249,6	21,9	59,44	40,6	29	45
#40	257,5	22,6	82,08	17,9	14	25
#80	63,4	5,6	87,66	12,3	8	17
#200	64,7	5,7	93,34	6,7	4	8
Pasa#200	75,7	6,7	100,00	0,0		
	1137,4	100				

Tamices Estandar U.S.A.




 PROFESIONAL LABORATORIOS UDENAR

 INGENIERO



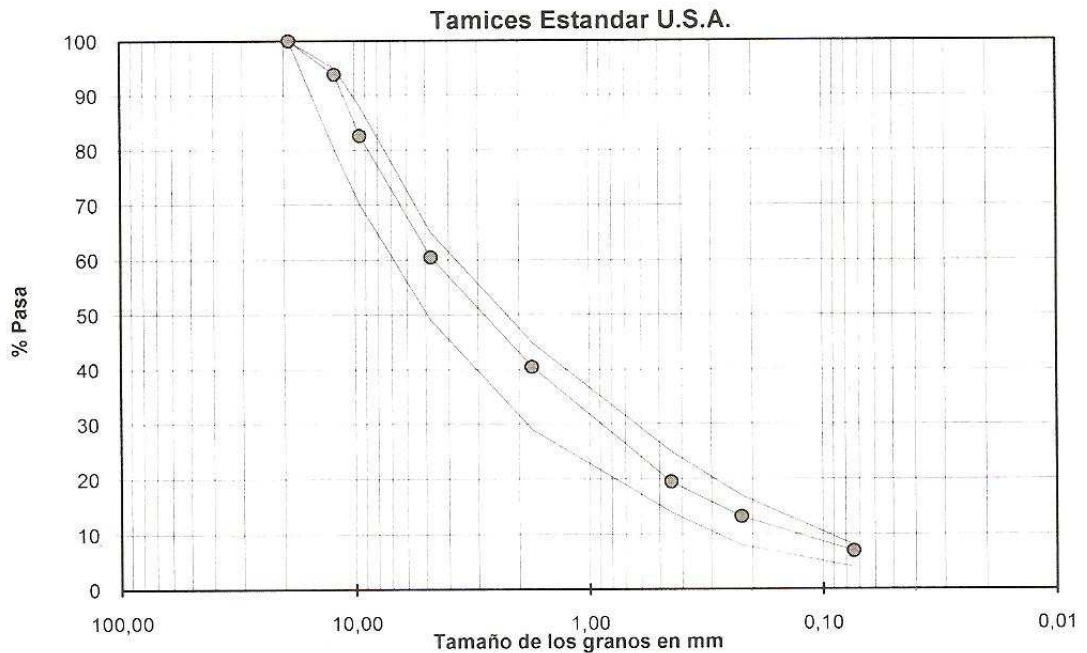
UNIVERSIDAD DE NARIÑO

SECCIÓN DE LABORATORIOS

DETERMINACION DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACIÓN

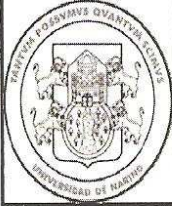
OBRA:
SEÑORES: Ing. Giovany Calderón-Ing. Luis Carlos Unigarro **fecha de toma:** 23/06/2011
ABSCISA: **TIPO DE MEZCLA:** MDC-2
FECHA ENSAYO: JUNIO 23 DE 2011. **MUESTRA:** Panavias-Briquetas 1-2-3

% de Asfalto		5,9 %		ANTES	DESPUES		
Peso de Material + Tara (grs.)				1337,0	1263,3		
Peso de la Tara (grs.)				137,0	137,0		
Peso del material (grs.)				1200,0	1126,3		
Peso del filtro (grs.)				11,86	14,28		
Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido A.	%Pasa	INVIAS - ART 450 - 07		
					MDC - 2		
3/4"	0,0	0,0	0,00	100	100	100	
1/2"	69,5	6,2	6,17	93,8	80	95	
3/8"	125,9	11,2	17,35	82,7	70	88	
#4	249,1	22,1	39,47	60,5	49	65	
#10	225,6	20,0	59,50	40,5	29	45	
#40	236,4	21,0	80,48	19,5	14	25	
#80	71,2	6,3	86,81	13,2	8	17	
#200	70,5	6,3	93,07	6,9	4	8	
Pasa#200	78,1	6,9	100,00	0,0			
		1126,3	100				




 PROFESIONAL LABORATORIOS UDENAR

INGENIERO



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
DETERMINACION DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACIÓN

OBRA:

SEÑORES: Ing. Giovany Calderón-Ing. Luis Carlos Unigarro

fecha de toma: 27/07/2011

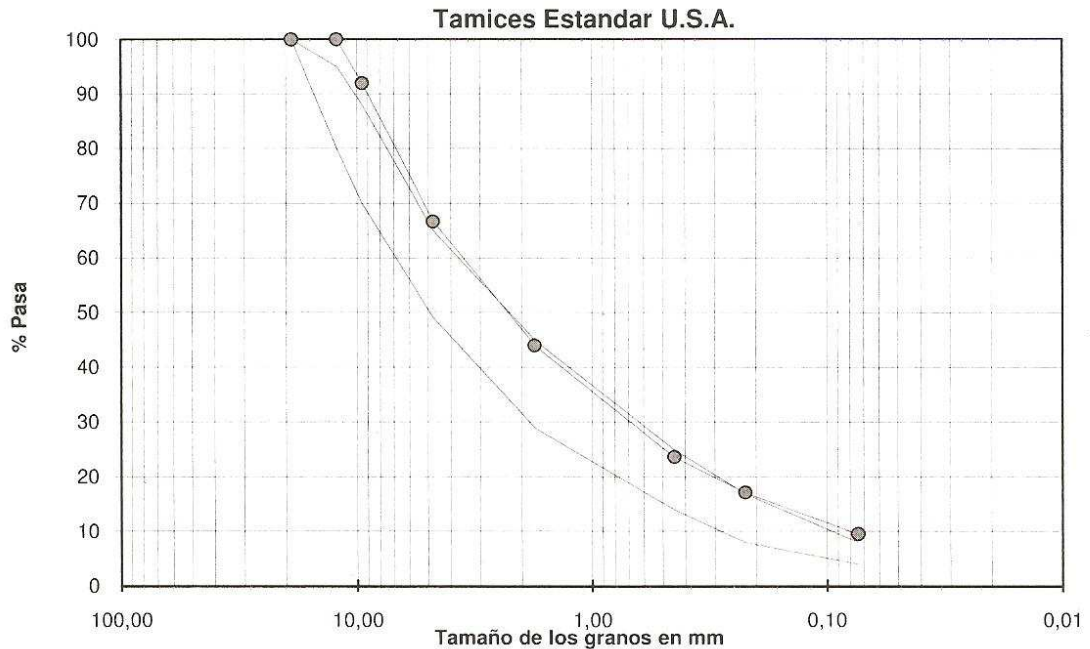
ABSCISA:

TIPO DE MEZCLA: MDC-2

FECHA ENSAYO: JULIO 30 DE 2011.

MUESTRA: Panavias-EN PLANTA

% de Asfalto		6,2 %		ANTES	DESPUES		
Peso de Material + Tara (grs.)				1341,0	1265,0		
Peso de la Tara (grs.)				141,0	141,0		
Peso del material (grs.)				1200,0	1124,0		
Peso del filtro (grs.)				11,87	13,92		
Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido A.	%Pasa	INVIAS - ART 450 - 07		
					MDC - 2		
3/4"	0,0	0,0	0,00	100	100	100	
1/2"	0,0	0,0	0,00	100,0	80	95	
3/8"	90,3	8,0	8,03	92,0	70	88	
#4	283,9	25,3	33,29	66,7	49	65	
#10	255,2	22,7	56,00	44,0	29	45	
#40	228,7	20,3	76,34	23,7	14	25	
#80	72,8	6,5	82,82	17,2	8	17	
#200	85,8	7,6	90,45	9,5	4	8	
Pasa#200	107,3	9,5	100,00	0,0			
	1124,0	100					



[Signature]
 PROFESIONAL LABORATORIOS UDENAR

 INGENIERO



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
DETERMINACION DE CONTENIDO DE ASFALTO Y GRADACIÓN

OBRA:

SEÑORES: Ing. Giovany Calderón-Ing. Luis Carlos Unigarro

fecha de toma: 28/07/2011

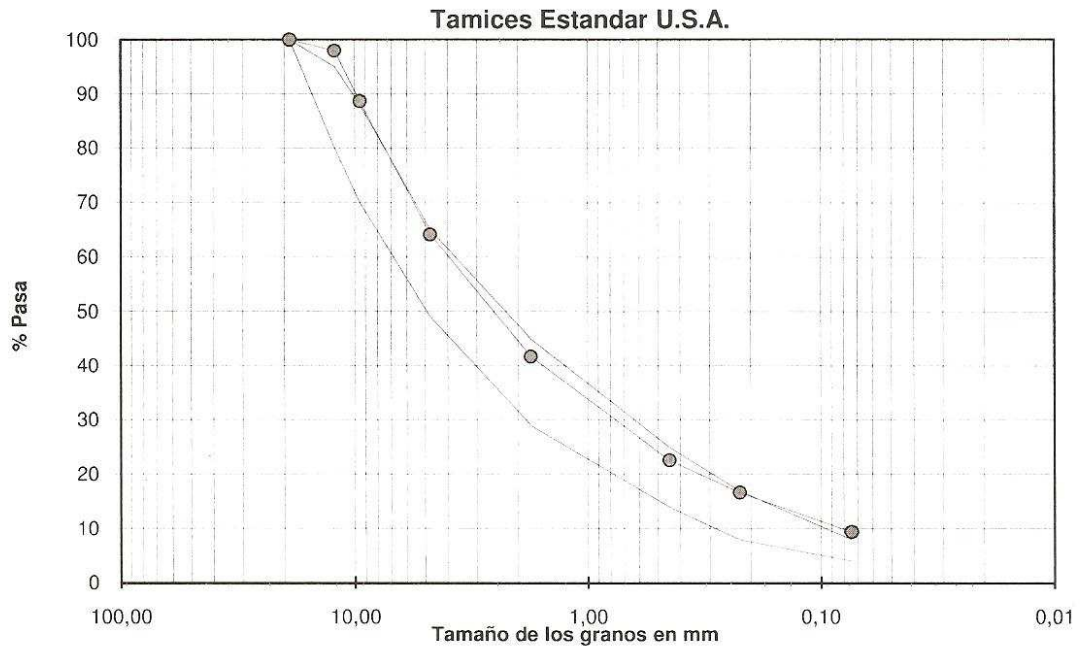
ABSCISA:

TIPO DE MEZCLA: MDC-2

FECHA ENSAYO: JULIO 30 DE 2011.

MUESTRA: Panavias-PLANTA

% de Asfalto		6,0 %		ANTES	DESPUES		
Peso de Material + Tara (grs.)				1342,7	1268,0		
Peso de la Tara (grs.)				142,7	142,7		
Peso del material (grs.)				1200,0	1125,3		
Peso del filtro (grs.)				11,90	14,28		
Tamiz	Peso Retenido	%Retenido	%Retenido A.	%Pasa	INVIAS - ART 450 - 07		
					MDC - 2		
3/4"	0,0	0,0	0,00	100	100	100	
1/2"	22,8	2,0	2,03	98,0	80	95	
3/8"	105,2	9,3	11,37	88,6	70	88	
#4	275,4	24,5	35,85	64,2	49	65	
#10	252,8	22,5	58,31	41,7	29	45	
#40	214,5	19,1	77,37	22,6	14	25	
#80	66,9	5,9	83,32	16,7	8	17	
#200	81,8	7,3	90,59	9,4	4	8	
Pasa#200	105,9	9,4	100,00	0,0			
	1125,3	100					



[Signature]
 PROFESIONAL LABORATORIOS UDENAR

 INGENIERO