

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

PROPUESTA DE MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE COMO CAPA DE ALIVIO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGA EN ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

TATIANA JACQUELINE CORRALES CHILIQINGA
taty_rub@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JUAN FRANCISO NIETO CISNEROS
jfnietoc@yahoo.com

Quito, Mayo 2015

DECLARACIÓN

Yo Tatiana Jacqueline Corrales Chiliquina, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Tatiana Jacqueline Corrales Chiliquina

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Tatiana Jacqueline Corrales Chiliquinga, bajo mi supervisión.

**Ing. Juan Francisco
Nieto Cisneros
DIRECTOR DE
PROYECTO**

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios, que con su amor, bondad y fortaleza lograron que llegue a esa prestigiosa Universidad y pueda cumplir mis metas.

A mis abuelitos, Inés y Ramón, por confiar y estar conmigo en todos los momentos que han pasado por mi vida.

A mi madre, Pilar, mis hermanas Alexandra y Sarita, y todas mis tías, por brindarme su amor y apoyo, por enseñarme cada día que el esfuerzo y sacrificio son el principal camino al éxito y al cumplimiento de mis sueños y porque su apoyo incondicional en todo momento ha sido uno de los factores fundamentales para que no decaiga y que logre mis objetivos planteados.

Un agradecimiento a los profesores de la Escuela Politécnica Nacional, en especial a mi tutor, Ingeniero Juan Francisco Nieto, quien con su amistad y sabiduría me guio a la culminación de este proyecto.

Y finalmente, un especial agradecimiento al Ingeniero Santiago López, el cual, más que un Jefe, es un verdadero amigo, que con su constante apoyo, fue fundamental en la elaboración de esta tesis.

DEDICATORIA

Este trabajo quiero dedicarlo con todo mi amor, a mi hijo Israel, ya él es lo más importante en mi vida y en mi corazón. Él es el motivo que me impulsa día a día a salir adelante y tratar de ser mejor persona. Mi pequeño, que con su corta edad, llena mi vida de inmensa alegría y satisfacción al tenerlo junto a mí y recordarme que él, es la fuerza que necesito para llegar a cumplir mis metas y objetivos, y poder ser un gran ejemplo para él.

Te amo hijito mío, siempre serás la luz de mi vida.

Tabla de contenido

CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	1
1. 1 CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS	1
1.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO	1
1.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS	2
1.1.2.1 Pavimentos rígidos.....	2
1.1.2.2 Pavimentos flexibles.....	2
1.1.2 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	3
1.1.3.1 Plataforma.....	4
1.1.3.2 Capa de Subrasante	4
1.1.3.3 Capa de Sub-Base	5
1.1.3.4 Capa de Imprimación y de Liga.....	5
1.1.3.5 Capa de Base.....	5
1.1.3.6 Capa de Alivio	6
1.1.3.7 Capa de Rodadura	6
1. 2 CONCEPTOS BÁSICOS Y PROPIEDADES DEL ASFALTO.....	6
1.2.1 DEFINICIÓN DE ASFALTO	6
1.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO	7
1.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO	10
1. 3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	11
1.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR PENETRACIÓN.....	12
1.3.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR VISCOCIDAD	13
1.4 ASFALTOS MODIFICADOS	16
1.4.1 DEFINICIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS.....	16

1.4.1	DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS.....	17
1.4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS.....	18
1.4.4	BENEFICIOS QUE SE BUSCA CON LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO.....	20
1.5	CONCEPTOS BÁSICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	21
1.5.1	DEFINICIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	21
1.5.2	CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	21
1.5.2.1	Por fracciones de agregado pétreo.....	22
1.5.2.2	Por la temperatura puesta en obra.....	22
1.5.2.3	Por la proporción de vacíos de la mezcla asfáltica.....	23
1.5.2.4	Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	23
1.5.2.5	Por la estructura del agregado pétreo.....	23
1.5.2.6	Por la granulometría.....	24
1.5.3	TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	25
1.5.3.1	Mezcla Asfáltica en Caliente.....	25
1.5.3.2	Mezcla Asfáltica en Frío.....	25
1.5.3.3	Mezcla Abierta o Porosa.....	26
1.5.3.4	Microaglomerados.....	26
1.5.4	MÉTODOS DE MEZCLADO.....	26
1.5.4.1	Mezcla en planta.....	27
1.5.4.2	Mezcla en sitio.....	31
1.5.5	SELECCIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA.....	32
1.6	TIPOLOGÍAS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS....	33
1.6.1	TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	34
1.6.1.1	Fisuras y grietas.....	34
CAPÍTULO 2	36

CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS.....	36
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE ...	36
2.1.1 DEFINICIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	36
2.1.2 COMPORTAMIENTO VISCOSIDAD Vs. TEMPERATURAS EN MEZCLAS CALIENTES	37
2.1.3 VENTAJAS DE MEZCLAS CALIENTES	38
2.1.4 DESVENTAJAS DE MEZCLAS CALIENTES.....	38
2.1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA CALIENTE	39
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC).....	40
2.2.1 DEFINICIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC)	40
2.2.1.1 Mezcla abierta de superficie o rodado.....	41
2.2.1.2 Mezcla abierta de base (capa de alivio)	42
2.2.2 VENTAJAS DEL USO DE LAS MEZCLAS ABIERTAS DE BASE (CAPA DE ALIVIO)	42
2.2.3 DESVENTAJAS DEL USO DE LAS MEZCLAS ABIERTAS DE BASE (CAPA DE ALIVIO)	43
2.2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA ABIERTA	43
2.2.4.1 Mezcla abierta de superficie o rodado.....	43
2.2.4.2 Mezcla abierta de base (capa de alivio)	44
2.2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL AGREGADO DE UNA MEZCLA ABIERTA (CAPA DE ALIVIO).....	44
2.2.5.1 Agregados gruesos	46
2.2.5.2 Agregados finos	46

2.2.5.3 Relleno mineral (Filler)	46
2.2.5.4 Mezcla de agregados	47
2.2.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL RIEGO DE LIGA	48
2.2.7 GEOMALLA	48
2.3 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS	49
2.3.1 COHESIÓN	49
2.3.2 ADEHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE	50
2.3.3 SECEPTIBILIDAD TÉRMICA	50
2.3.4 ENVEJECIMIENTO	51
2.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MEZCLAS ABIERTAS	51
2.4.1 RP (ORIGEN CHILE)	52
2.4.2 TRACCIÓN INDIRECTA (ORIGEN BRASIL)	52
2.4.3 CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA)	54
2.4.3.1 Cántabro Seco	54
2.4.3.2 Cántabro Húmedo	54
2.5 USOS Y APLICACIONES DE MEZCLAS ABIERTAS	55
CAPÍTULO 3	57
DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN CALIENTE COMO CAPA DE ALIVIO	57
3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS	57
3.1.1 AGREGADOS PÉTREOS	57
3.1.2 CEMENTO ASFÁLTICO	61
3.1.3 ADITIVOS	67
3.2 CARTA DE VISCOSIDAD DEL ASFALTO	68
3.3 PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN DE BRIQUETAS PARA EL ENSAYO DE RP	70

3.3.1 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS.....	70
3.3.1.1 Elaboración de la mezcla	70
3.3.1.2 Compactación de las briquetas	75
3.3.1.3 Peso y Volumen de las briquetas	79
3.4 DENSIDAD Y ANÁLISIS DE VACIOS	80
3.4.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BULK DE CADA BRIQUETA..	81
3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA	82
3.4.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACIOS DE CADA BRIQUETA.....	84
3.5 DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE PENETRACIÓN “METODOLOGÍA RP”	85
3.6 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL (ENSAYO BRASILEÑO) DE MEZCLAS BITUMINOSAS, METODOLOGIA “TRACCION INDIRECTA”	89
3.7 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE	93
3.8 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE	95
CAPÍTULO 4	97
FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS.....	97
4.1 FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC)	97
4.1.1 CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN.....	97
4.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS	98
4.2.1 PLANTA ASFÁLTICA.....	98
4.2.2 ELEMENTOS DE TRANSPORTE.....	100
4.2.3 EQUIPOS DE COMPACTACIÓN.....	100
4.2.4 EQUIPO PARA RIEGO DE LIGA.....	101
4.3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	101

4.3.1 PRESENTACIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO.....	101
4.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE Y RIEGO DE LIGA	102
4.3.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA.....	102
4.3.3.1 Almacenamiento y manipulación de agregados.....	102
4.3.3.2 Control de Temperatura	103
4.3.4 TRANSPORTE DE LA MEZCLA.....	104
4.3.5 EXTENSIÓN DE LA MEZCLA.....	104
4.3.6 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA	106
4.3.7 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES.....	108
4.3.8 APERTURA AL TRÁNSITO	109
4.4 CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE ..	109
4.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	110
4.4.2 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LIGANTE ASFÁLTICO	110
4.4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (RICE).....	111
4.4.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK COMPACTADAS	111
4.4.5 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN “METODO RP”.....	112
4.4.6 RESUMEN DE RESULTADOS	112
4.5 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS (CAPA DE ALIVIO)	113
CAPÍTULO 5	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
5.1 CONCLUSIONES.....	115
5.2 RECOMENDACIONES	117
BIBLIOGRAFÍA	118

ANEXOS:

ANEXO A: Ensayos Realizados en Laboratorio

ANEXO B: Normas y especificaciones

ANEXO C: Fichas Técnicas

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1 Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381	16
--	----

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas para el Ligante de una Mezcla en Caliente	44
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas para Agregados Pétreos de una Mezcla Asfáltica	45
Tabla 2.3 Bandas Granulométricas propuestas en Chile	47
Tabla 2.4 Bandas Granulométricas recomendadas para la capa de reflexión de fisuras, de acuerdo al MS-17 del Instituto del Asfalto	48

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1 Propiedades Mecánicas de los Agregados	59
Tabla 3.2 Granulometría de los agregados fino y grueso	60
Tabla 3.3 Fracciones obtenidas de los agregados “Mina Tahuando”	60
Tabla 3.4 Granulometría combinada de los agregados “Mina Tahuando”	61
Tabla 3.5 Especificaciones del cemento asfáltico utilizado en la MAC	67
Tabla 3.6 Tabla de viscosidad asfalto AC-20	69
Tabla 3.7 Porcentajes de agregados y asfalto con los que se va a fabricar las briquetas	71
Tabla 3.8 Pesos de materiales para la elaboración de briquetas	74

Tabla 3.9 Datos de las briquetas a ser ensayadas (Peso, altura y diámetro)	80
Tabla 3.10 Densidades relativas aparentes de las briquetas para ensayarlas a cohesión	81
Tabla 3.11 Gravedad Específica Máxima Teórica de las mezclas de acuerdo al % de AC	84
Tabla 3.12 Porcentaje de vacíos de briquetas ensayadas	85
Tabla 3.13 Esfuerzos de Penetración de cada una de las probetas	88
Tabla 3.14 Esfuerzos de Penetración Vs. % AC	88
Tabla 3.15 Densidades Bulk, Volúmenes, Pesos y Dimensiones de las briquetas	90
Tabla 3.16 Resistencia a compresión Diametral de cada una de las probetas	
Tabla 3.17 Resistencia a Compresión Diametral Vs. % AC	92
Tabla 3.18 % de Vacíos Vs. % AC (RP)	93
Tabla 3.19 % de Vacíos Vs. % AC (Tracción Indirecta)	94
Tabla 3.20 Resultados obtenidos del % óptimo de ligante asfáltico mediante las metodologías “RP” y “TRACION INDIRECTA”	95

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1 Fórmula de trabajo para Elaboración de Mezclas Abiertas en Caliente (MAC)	98
Tabla 4.2 Análisis granulométrico	110
Tabla 4.3 Determinación cuantitativa de ligante asfáltico por ignición	111
Tabla 4.4 Gravedad específica máxima teórica	111
Tabla 4.5 Gravedad específica Bulk compactadas	112
Tabla 4.6 Resistencia a la Penetración	112
Tabla 4.7 Resumen de Resultados	113

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1 Sección Típica de un pavimento	3
Figura 1.2 Composición del asfalto	8
Figura 1.3 Estructura coloidal del asfalto	9
Figura 1.4 Sistema de clasificación por Penetración	13
Figura 1.5 Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381	14
Figura 1.6 Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad de Residuo de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M 226)	15
Figura 1.7 Definición de los polímeros	17
Figura 1.8 Clasificación de los polímeros	18
Figura 1.9 Clasificación de Mezclas Asfálticas	24
Figura 1.10 Clasificación de Plantas Asfálticas	27
Figura 1.11 Plantas de asfalto continuas	31

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 Perfil de temperatura de un secador mezclador de una planta de asfalto	36
Figura 2.2 Temperaturas típicas de mezclado para mezclas asfálticas en caliente	37
Figura 2.3 Figuras típicas de mezclado para mezclas asfálticas en caliente	41
Figura 2.4 Adhesividad Árido - Ligante	50

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 Conjunto de Compactación	76
Figura 3.2 Maza de compactación para el aparato Marshall	77

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

CAPÍTULO 1

Fotografía 1.1 Planta de asfalto continua de flujo paralelo	28
Fotografía 1.2 Planta de asfalto discontinua	29
Fotografía 1.3 Planta de asfalto para mezclas en caliente	30
Fotografía 1.4 Planta de asfalto móvil para mezclas en sitio	31
Fotografías 1.5 Agrietamiento y fisuras en pavimentos asfálticos	34

CAPÍTULO 3

Fotografía 3.1 Ubicación de la Mina “Tahuando”, ubicada en las Provincia de Imbabura	58
Fotografía 3.2 Muestreo in situ del cemento asfáltico	61
Fotografía 3.3 Muestreo in situ del cemento asfáltico	62
Fotografía 3.4 Equipo para ensayo de penetración	63
Fotografías 3.5 Equipo para ensayo de ductibilidad	64
Fotografía 3.6 Equipo para para ensayo de punto de inflamación	65
Fotografía 3.7 Equipo para para ensayo de viscosidad	66
Fotografías 3.8 Equipo para para ensayos al residuo	67
Fotografía 3.9 Secado de los agregados a una temperatura constante de 105° a 110°	72
Fotografía 3.10 Preparación de los agregados	72
Fotografía 3.11 Proceso de mezclado del pétreo con el asfalto	73
Fotografía 3.12 Control de temperatura de la mezcla	73
Fotografía 3.13 Colocación de la mezcla en el molde Marshall	75
Fotografía 3.14 Martillo Marshall para compactar las briquetas	77
Fotografía 3.15 Compactación de Probetas asfálticas	78
Fotografía 3.16 Probeta asfáltica compactada	79
Fotografía 3.17 Probeta asfáltica compactada	79
Fotografía 3.18 Partículas Desmenuzadas	82
Fotografía 3.19 Picnómetro de metal con tapa transparente	83
Fotografía 3.20 Briquetas antes del ensayo “RP”	86

Fotografía 3.21 Prensa para rotura de probetas mediante el Método Marshall	87
Fotografía 3.22 Prensa para roturas de probetas mediante el método "RP"	87
Fotografía 3.23 Prensa Ensayo de Tracción Indirecta (Método Brasileño)	91

CAPÍTULO 4

Fotografías 4.1 Planta Mezcladora de Tambor	99
Fotografía 4.2 Stock de Agregados	103
Fotografía 4.3 Descarga de la mezcla asfáltica en caliente en una volqueta	104
Fotografía 4.4 Extendido de la Mezcla Asfáltica	105
Fotografía 4.5 Máquina Extendedora	106
Fotografía 4.6 Compactación de la Mezcla	107
Fotografía 4.7 Compactación de la Mezcla en curvas peraltadas	108
Fotografía 4.8 Juntas Longitudinales	109
Fotografía 4.9 Núcleos extraídos	113

RESUMEN

El Diseño de la Mezcla Asfáltica Abiertas del tipo Open - Graded es muy diferente al aplicado para las mezclas convencionales, en el cual utiliza la “Metodología Marshall”.

Las mezclas drenantes o porosas necesitan de otro tipo de diseño, este método debe ayudar a poder determinar el desempeño que la mezcla tendrá puesta en campo. Se parte de la característica principal de estas mezclas, la cual es su alto contenido de huecos o vacíos (20 – 25%).

El diseño estará basado en el ensayo “RP” desarrollada en Chile, el cual determinará el contenido óptimo de asfalto de una mezcla abierta, mediante la medición del esfuerzo a la penetración a temperatura y velocidad controlada, a las briquetas de mezcla asfáltica abierta fabricadas con distinto contenido de ligante, tomando en cuenta que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración.

Capítulo I “INTRODUCCION”

Este capítulo inicia con una reseña histórica acerca del pavimento asfáltico drenante utilizado en países extranjeros. Luego se da a conocer el planteamiento del problema así como el motivo por el cual se ha realizado la investigación. Se menciona las posibles metodologías a ser usadas en el diseño.

Capítulo I “MARCO TEORICO CONCEPTUAL”

Se expone los conceptos básicos de pavimento, asfalto y mezcla asfáltica, las propiedades fundamentales del asfalto, los tipos de clasificación de las mezclas asfálticas, finalizando con los tipos de fallas que pueden ocurrir en los pavimentos de concreto asfáltico.

Capítulo III “CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS”

Se presentan las características que presentan una mezcla asfáltica abierta del tipo Open - Graded, y el comportamiento de estas mezclas. Se definen las metodologías de diseño desarrolladas en diferentes países extranjeros. Se finaliza con la explicación de la metodología “RP”, que es el método que se desarrolló en Chile, específicamente para mezclas de este tipo.

Capítulo IV “DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE DRENANTE”

Contempla los resultados e interpretación de las pruebas realizadas a los agregados, al asfalto y a la mezcla asfáltica que contempla el método “RP” para la determinación del contenido óptimo de ligante, así también como la verificación de los resultados mediante el método de “Tracción Indirecta”.

Capítulo V: FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES DRENANTES.

Se hace una breve descripción del equipo de fabricación de la mezcla asfáltica abierta (MAC), del equipo necesario para la compactación, de los tipos de juntas, control de la mezcla en campo para su respectiva colocación y posteriormente su compactación, así como también se hace mención de los ensayos más importantes para su control de calidad y los requisitos de aceptación de la mezcla compactada.

Capítulo VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se dan las conclusiones concernientes al presente documento y las recomendaciones de aspectos importantes.

INTRODUCCIÓN

Estas mezclas abiertas son el resultado de varias investigaciones de distintos organismos preocupados del buen estado de la vías, las mismas que ofrecen a los usuarios condiciones de circulación más seguras y cómodas.

En un inicio estas mezclas fueron estudiadas y diseñadas con el propósito de evitar la concentración de aguas-lluvias en lugares donde existen gran cantidad de precipitaciones que causan daños permanentes al pavimento.

En 1950 se lograron progresos significativos en este tema, y en los años 70 ya se tenía especificaciones técnicas que servían para el uso de estas mezclas asfálticas en rutas y aeropuertos, siendo verdaderos tratamientos superficiales autodeslizantes de macrotextura negativa y con espesores de entre $\frac{1}{2}$ " y 1 pulgada".

Se empezó construyendo tramos de 4 cm de espesor con mezclas porosas y en poco tiempo se cambió la percepción simple de una capa de rodadura impermeable (mezcla drenante) a una función más compleja, que es la de proteger del agua a las capas inferiores.

En el año 1979 Félix Pérez Giménez y Carlos Kraemer, empiezan a establecer un método de dosificación en laboratorio de las mezclas porosas, llegando a los ensayos: Cántabro (el cual permite conocer la resistencia al desgaste y la porosidad que tienen estas mezclas); este consiste en un ensayo de pérdida por desgaste en la máquina de Los Ángeles, para la caracterización mecánica y el Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica.

En 1980 se construyen en Europa los primeros tramos experimentales para poder evaluar su durabilidad, evolución de la permeabilidad, deformabilidad y capacidad resistente, etc., y de esta forma establecer las primeras recomendaciones para su uso, las que fueron publicadas en 1982.

Desde 1985 la utilización de estas mezclas ha tenido resultados favorables en el campo de las vías, lo cual ha reflejado la conveniencia de utilizarlas en autopistas

y carreteras principales, además de seguir desarrollando nuevas investigaciones sobre mezclas drenantes hasta el día de hoy.

Las ventajas encontradas, además de la eliminación del agua han permitido que se desarrollen en varios países, convirtiéndose en principales aplicaciones de los asfaltos modificados.

Para que una mezcla pueda considerarse como drenante o porosa debe tener una granulometría fuertemente discontinua, donde el agregado grueso interviene en más del 80%, lo cual caracteriza la mezcla por tener un alto porcentaje de vacíos (igual o superior al 18%), permitiendo una adecuada permeabilidad en este tipo de mezclas.

Los últimos 20 años han sido de constante avance en el campo de la investigación, realizándose intensos congresos, seminarios, jornadas y reuniones internacionales, teniendo encargados de profundizar sobre este producto, que causó gran impacto, incluso su uso se ha extendido a las mejoras de otras capas, como hormigón poroso o capas de microaglomerados bituminosos de granulometría discontinua con buenas propiedades acústicas y de drenabilidad superficial.

Generalmente estas mezclas porosas son usadas como capa de rodamiento, pero en especificaciones como las chilenas están contempladas como capa de alivio de fisuras.

Esta tesis tendrá el propósito de realizar un estudio sobre Mezclas Abiertas utilizadas como capa de alivio de fisuras, ya que en el país muchos profesionales desconocen de la técnica, diseño y usos de este tipo de mezclas, las cuales tienen la función específica de impedir o atenuar la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a otro nuevo.

La estructura típica para este tipo de aplicación es pavimento agrietado, mezcla abierta, capa de rodado. El procedimiento habitual para diseñar este tipo de mezclas es comúnmente conocido como "Método de Espesor de Película Asfáltica", que en Chile se encuentra reglamentado según las Especificación LNV 17, que es una adaptación de un antiguo método de diseño Norteamericano (R.W. Smith et al,1978). El procedimiento de diseño usado en Chile tiene algunas deficiencias, como por ejemplo: extrema sensibilidad en el cálculo del contenido de asfalto mínimo necesario para cumplir con el espesor de la película mínima y

que habitualmente es de 25 (micrones). Cambios de tan solo un punto porcentual en el tamiz N° 200, pueden hacer variar el contenido de asfalto desde un 4.5% a un 6.2% (Rioja, 2000). Además este método no determina propiedades mecánicas de la mezcla que permitan estimar cuales serían sus verdaderas capacidades frente a cargas de tránsito. Respecto de esta última apreciación, generaron el ya conocido Método del Cántabro que permite medir propiedades mecánicas de mezclas abiertas mediante un método científico. Bajo esta perspectiva la actual metodología de diseño usado en Chile es más bien una receta con recomendaciones y tanteos empíricos.

Por esta razón, se procedió a idear una experiencia de laboratorio con la finalidad de crear un ensayo basado en consideraciones impuestas, tales como: simplicidad, bajo costo y rapidez, que pudiese determinar la cantidad óptima de Ligante para la fabricación de una mezcla asfáltica Open-Graded con las mejores características de funcionamiento. Considerando el conocimiento, la experiencia y pruebas previas, se creó el ensayo que ha sido denominado “RP” para el diseño de mezclas asfálticas abiertas. Es importante destacar que a pesar del que el método RP ha mostrado excelente correlación con una obra en particular, no se ha probado con una obra más general, por tanto aún es prematuro juzgar cuál es su verdadero alcance y utilidad para el diseño de mezclas del tipo Open- Grade. También, no es menos cierto que los resultados obtenidos hasta ahora revelan que este método no está limitado sólo a mezclas abiertas de base, pues también pueden usarse para mezclas abiertas de superficie.¹

Una de las características principales de estas mezclas es que la energía de compactación en obra es menor que en las mezclas convencionales, esto ha hecho que se evalué ensayos en laboratorio, para conocer qué energía de compactación alcance la máxima densidad en la Metodología Marsall.

Las metodologías normalmente utilizadas son:

- CÁNTABRO (Origen España)
- AUSTRALIANA (Open Grade Asphalt Design Guide, originada en la Australian Asphalt Pavement Association)
- RP (Origen Chile)

1

- TRACCIÓN INDIRECTA (Origen Brasil)

Las metodologías conocidas como Cántabro y australiana, muy utilizadas, ayudan a valorar las acciones abrasivas del tránsito y la influencia del agua simuladas en laboratorio.

Las de RP y de Tracción Indirecta, en cambio, son metodologías más sencillas, la primera basada en la obtención de un esfuerzo de penetración y la segunda por un esfuerzo de tracción por comprensión diametral.

Es de interés estudiar estas metodologías de investigación, al fin de obtener una segura y rápida mezcla drenante, como lo ha sido la metodología Marshall para las mezclas tradicionales, teniendo en cuenta que este caso se está en presencia de curvas granulométricas discontinuas, las mismas que generan un esqueleto abierto. Serán entonces necesarios otros tipos de ensayos que ayuden a evaluar el comportamiento de la mezcla.²

Estudios recomiendan que cuando un pavimento se encuentra con problemas de fisuras, a causa del tráfico existente y la carga de vehículos pesados que soportan las vías, se debería colocar como parte de la estructura del pavimento, una capa de alivio (MAC) con el objeto de romper el patrón de fisuramiento existente. En Ecuador, esta capa está codificada en las Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F-20020).

2

http://lemac.frlp.utn.edu.ar/wp-content/uploads/2011/12/2006_Porcentaje-Ligante-Mezclas-Asfálticas_II-Simposio-Iberoamericano-y-Ecuatoriano-Ing-de-Pavim.pdf

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1. 1 CONCEPTOS BÁSICOS DE PAVIMENTOS

1.1.1 DEFINICIÓN DE PAVIMENTO³

Se define a un pavimento como un conjunto de capas colocadas de manera horizontal, las cuales se diseñan con materiales apropiados y perfectamente analizados con el fin de evitar posteriores problemas que afecten a la vía. Además cada capa se construye técnicamente con métodos de compactación adecuados para compensar las variaciones en las propiedades de la mezcla y en las condiciones ambientales en que se está colocando el hormigón asfáltico. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía, la cual se obtiene con el movimiento de tierras. El pavimento tiene que resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fue diseñada la estructura, ya que los esfuerzos que se aplican en la superficie se disipan a través del espesor de cada una de las capas de la calzada.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuesta por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes atmosféricos.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la

³ Capítulo 1, INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, Segunda Edición-Universidad Católica del Ecuador, Alfonso Montejo Fonseca.

seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permiten una adecuada comodidad a los usuarios en función de la longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable
- Presentar condiciones adecuadas en cuanto al drenaje
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser módico
- Debe poseer el color adecuado para no producir reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad del tránsito.

1.1.2 TIPOS DE PAVIMENTOS

- Pavimentos Rígidos
- Pavimentos Flexibles

1.1.2.1 Pavimentos rígidos

El pavimento rígido está compuesto por un conjunto de losas de concreto de cemento portland que se pueden construir sobre la subrasante o una capa intermedia de apoyo (base o subbase) elaborado con materiales granulares o un concreto pobre.

El costo de este tipo de pavimento es mucho mayor al del pavimento flexible, pero el mantenimiento es mínimo y se lo hace comúnmente en las juntas de las losas.

1.1.2.2 Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles están formados por una capa de rodadura y en ocasiones una capa de base asfáltica, las cuales se colocan sobre una base granular y la subbase.

La carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica tiende a tener pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa, las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

Este pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante.

1.1.2 ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES⁴

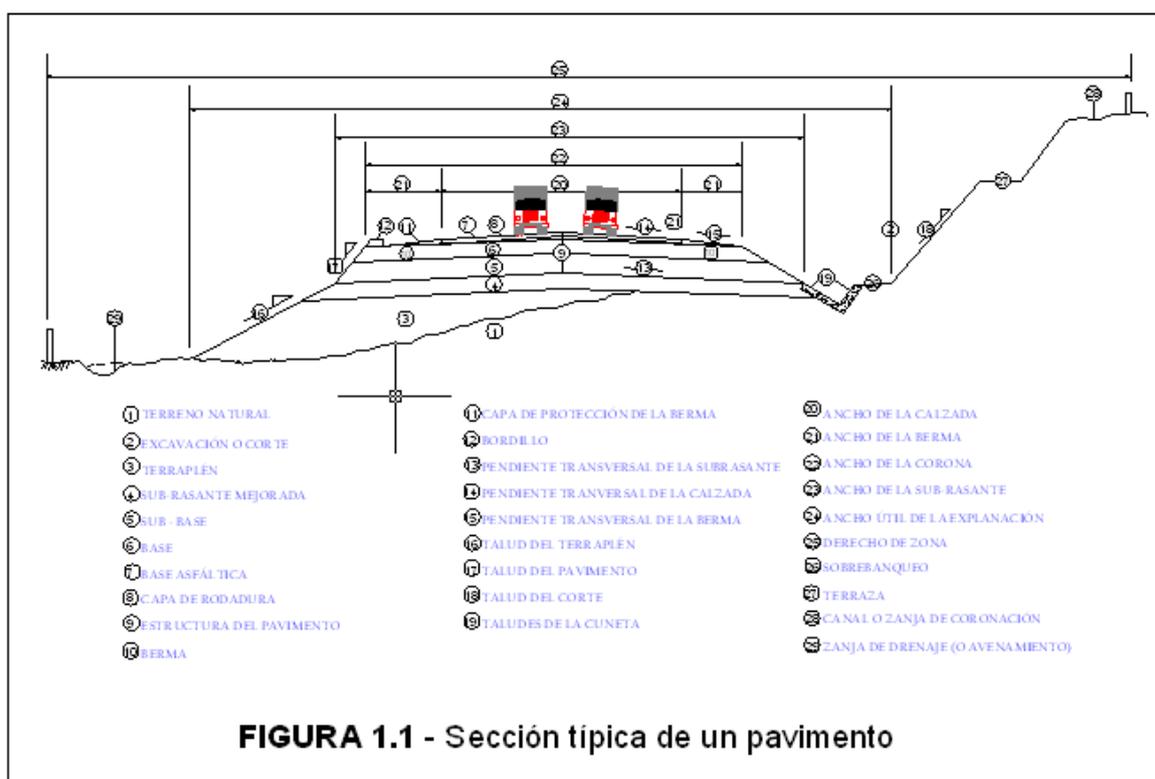


Figura 1.1 Sección Típica de un pavimento⁵

⁴ ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES, MOP – 001 – F - 2002

⁵ INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, Segunda Edición-Universidad Católica del Ecuador, Alfonso Montejo Fonseca.

Para que las estructuras tengan un comportamiento satisfactorio se requiere:

- Que los materiales que constituyan las diversas capas tengan características que respondan a unas exigencias mínimas de calidad.
- Que las ejecuciones sean de calidad y respeten los procedimientos constructivos.

Estas se componen de las siguientes capas:

- Plataforma
- Capa de Subrasante
- Capa de Imprimación y Liga
- Capa de Subbase
- Capa de Base
- Capa de Rodadura
- Capa de Alivio

La base y la subbase granulares son elementos estructurales del pavimento que en conjunto con la capa asfáltica cumplen con la función de distribuir las cargas repetitivas del tránsito sobre la subrasante.

1.1.3.1 Plataforma

Por lo general, se entiende por plataforma la capa que se encuentra 30 cm arriba del terraplén. Es indispensable disponer de una buena capa de soporte para que el cuerpo de calzada se pueda construir y conservar en el tiempo, sin deformarse. En las zonas húmedas se implementará un sistema de drenaje que permita la ventilación y secado de la capa.

1.1.3.2 Capa de Subrasante

La calidad de esta capa es muy importante, ya que de ella depende el espesor que vaya a tener el pavimento, sea este flexible o rígido. Es necesario conocer la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a variaciones de volumen, ya que un suelo de subrasante muy expansivo puede provocar severos daños en las estructuras que se apoyen sobre este.

1.1.3.3 Capa de Sub-Base

Son materiales que se obtienen de la trituración, cribado o provenientes de depósitos naturales de arena o grava, o en algunas ocasiones es una combinación de ambas. No es indispensable que el material de subbase granular posea una estabilidad muy elevada, se acepta una amplitud en la curva granulométrica.

1.1.3.4 Capa de Imprimación y de Liga

Capa de imprimación o Riego de imprimación.- Consiste en un material bituminoso, con aplicación de asfalto diluido de curado medio, o de asfalto emulsificado sobre la superficie de una base o una sub-base, que solo afecta a un pequeño espesor de 1 a 2 cm de la capa que se trata con el fin de impermeabilizar su superficie. La imprimación además ayuda a una mejor adherencia entre una capa granular y una capa asfáltica bituminosa.

Capa de Liga o Riego bituminoso de adherencia.- La capa de liga es un material bituminoso que se distribuye sobre la superficie del pavimento, a fin de conseguir adherencia entre una capa de base tratada con ligantes bituminosos y una nueva capa asfáltica, que se deberá colocar sobre él, previamente realizada la limpieza de la superficie.

1.1.3.5 Capa de Base

Base granular.- La base granular es estructuralmente la capa más importante de un pavimento flexible, por esta razón sus materiales deben ser de muy alta calidad y estar compuestos por agregados triturados total o parcialmente, o cribados estabilizados con agregado fino procedente de la trituración o suelos finos seleccionados, o ambos. La capa de base se colocará sobre una sub-base terminada y aprobada, o en casos especiales sobre una subrasante previamente preparada y aprobada, y de acuerdo con los lineamientos, pendientes y sección transversal establecida en los planos o en las disposiciones especiales.

Base de Hormigón Asfáltico.- Esta capa está compuesta generalmente por asfalto diluido o emulsiones asfálticas y agregados dentro de una franja

granulométrica seleccionada. A menudo estas capas son colocadas sobre una sub-base y base granulares previamente liberadas.

1.1.3.6 Capa de Alivio

Esta capa tiene la particularidad de poseer una mezcla asfáltica de granulometría abierta que es usada como base en la repavimentación de la vía, la cual fue diseñada para evitar o al menos retardar la formación de fisuras a las capas superiores.

1.1.3.7 Capa de Rodadura

Las capas de rodadura de la calzada pueden ser tratamientos superficiales, arena-asfalto, concretos bituminosos, lechadas, mezclas drenante y microaglomerados en frío.

La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

1. 2 CONCEPTOS BÁSICOS Y PROPIEDADES DEL ASFALTO

1.2.1 DEFINICIÓN DE ASFALTO⁶

El asfalto es un material aglomerante de color negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes son betunes que se encuentran en la naturaleza o son obtenidas por destilación del petróleo.

Es un cementante que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezclas en caliente.

⁶ PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, SERIE DE MANUALES N° 22 (MS-22), ASPHALT INSTITUTE

Casi todo asfalto es producido en refinerías de petróleo. El grado de control permitido por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

Los principales tipos de ligantes bituminosos que se utilizan para la producción de mezclas asfálticas son:

- Los cementos asfálticos o asfaltos de penetración
- Los asfaltos líquidos o asfaltos rebajados
- Las emulsiones asfálticas
- Los crudos de petróleo

El cemento asfáltico por lo general se designa con las letras AC, y es un excelente material impermeabilizante, con propiedades aglutinantes y que no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Se le considera como un material ideal para los trabajos de pavimentación, pues además de poseer características de flexibilidad y durabilidad, son excelentes para unir partículas de agregado en un pavimento de mezclas en caliente.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregados. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades de asfaltos, y si se toman medidas, durante la construcción para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

1.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ASFALTO

El asfalto está conformado por una mezcla muy compleja de compuestos orgánicos de alto peso molecular y tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras. Los técnicos de asfalto y los diseñadores de pavimentos han aprendido a identificar y caracterizar estas propiedades y a usarlas, dentro de la estructura del pavimento, en la forma

más ventajosa posible para poder controlar las propiedades físicas y químicas de los mismos.

Fundamentalmente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleo por destilación o extracción pero el proceso de refinación a cambios en su estructura molecular. Muchos de los ligantes usados en la construcción de pavimentos provienen de la destilación del petróleo, y los más utilizados son: cemento asfáltico o asfaltos de penetración, asfaltos líquidos o asfaltos rebajados, emulsiones asfálticas y crudos de petróleo.⁷

El asfalto cuando es disuelto es un solvente que puede separarse en dos partes principales: Asfaltenos y Maltenos.

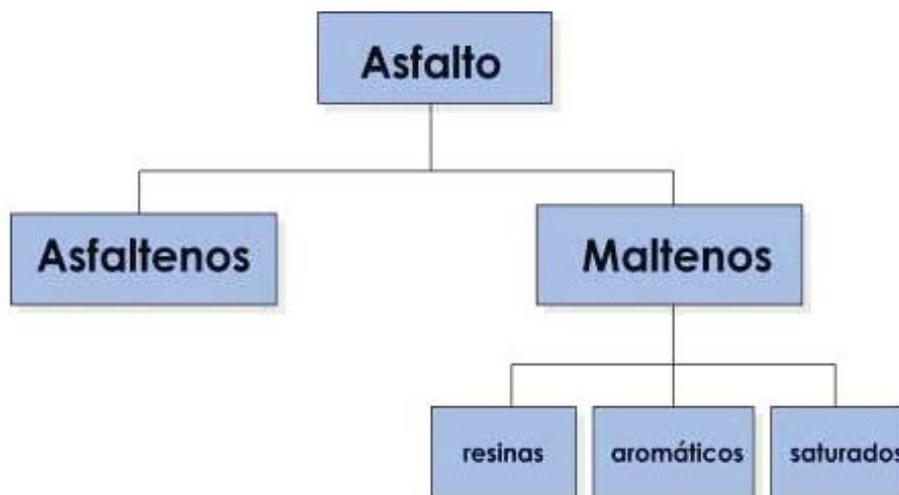


Figura 1.2 Composición del asfalto⁸

Los Asfaltenos.- Son compuestos químicos orgánicos y concentran los compuestos indeseables de los asfaltos pues contienen los metales más pesados como el azufre, y por tanto de mayor punto de ebullición. Una vez separados de

⁷ DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS, EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA, Freddy Alberto Reyes Lizcado

⁸ TESIS “GUÍA BÁSICA DE DISEÑO, CONTROL DE PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE”, JOSÉ MAURICIO CORTEZ, HUGO WILFRIDO GUZMÁN, AMÍLCAR DANIEL REYES.

los máltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parecen al polvo grueso de grafito. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza y se encuentran disueltos en los máltenos, es decir es la fase discontinua del asfalto. El contenido de asfáltenos en un cemento asfáltico varía entre un 15% y un 20%, el valor no dice nada del comportamiento pero el crudo pesado y mediano generan un producto de mayor calidad que un crudo liviano.

Los Maltenos.- Son la fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición, son líquidos viscosos formando la fase continua del asfalto. Su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas por el asfalto. Generalmente, existe mayor proporción de máltenos que de asfáltenos en los asfaltos. El mayor contenido de máltenos y su naturaleza química son las que le dan la calidad a un asfalto, ya que regulan las propiedades químicas del asfalto.

Los Asfaltos son los responsables de la dureza de los asfaltos. Las resinas otorgan al Ligante sus características cementantes o aglutinantes, mientras que los aceites la consistencia necesaria para hacerlos trabajables.

Describiendo la estructura del coloide, las resinas circundan en forma inmediata a los asfáltenos y los aceites rodean a ese compuesto.



Figura 1.3 Estructura coloidal del asfalto⁹

⁹ TESIS “DISEÑO DE MEZCLAS ASFLATICAS SEMICALIENTES EN EL SALVADOR”

La proporción de asfáltenos y máltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. En los cementos asfálticos normales hay un predominio de los Asfaltenos y las resinas, ante un bajo contenido de los aceites.

1.2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO¹⁰

Las propiedades físicas del asfalto más relevantes al momento de diseñar, construir y dar mantenimiento a la vía son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.

Durabilidad.- Durabilidad es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento, principalmente cuando son mezclados con los agregados en una planta asfáltica en caliente. Es una propiedad calificada especialmente a través del comportamiento del asfalto, ya que el envejecimiento continúa toda la vida del pavimento, por la acción del medio ambiente u otros factores, y por consiguiente es difícil de precisar su definición en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen las misma durabilidad del asfalto.

Sin embargo, hoy en día existen ensayos rutinarios utilizados para medir de manera aproximada el envejecimiento de un cemento asfáltico. Estos son el ensayo de Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto.

¹⁰ Capítulo 1, PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, SERIE DE MANUALES N° 22 (MS-22), ASPHALT INSTITUTE

Adhesión y Cohesión.- Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado bajo las grandes deformaciones causadas por el tránsito.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien mide la resistencia a la ruptura por medio del alargamiento de una probeta de cemento asfáltico, estirada en sus extremos a una velocidad constante, por medio de un equipo llamado ductilómetro.

Susceptibilidad a la Temperatura (Viscosidad).- El asfalto es un material termoplástico; por lo que su consistencia se vuelve más dura (más viscosa) a medida que su temperatura disminuye, y más blanda (menos viscosa) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más importantes de un asfalto.

La viscosidad varía entre asfaltos de petróleo de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de fluidez.

Es primordial conocer la susceptibilidad térmica utilizada, ella indica a que temperatura se debe mezclar el asfalto con el agregado y a la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla asfáltica en obra. Los asfaltos pueden tener diferente susceptibilidad a la temperatura, dependiendo del lugar de origen de donde provienen los crudos.

Debe entenderse que es muy importante que un asfalto tenga una temperatura adecuada, ya que este debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el proceso de mezclado y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

1. 3 SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

La clasificación de los cementos asfálticos, dependen de las propiedades físicas de los mismos, establecidos a través de pruebas que en su mayoría son empíricos; lo anterior, principalmente debido a la complejidad y variabilidad de las propiedades o características químicas de los asfaltos. Los sistemas tradicionalmente utilizados para la clasificación de los asfaltos corresponden a:

- Sistema de Clasificación por Penetración y
- Sistema de Clasificación por Viscosidad.

1.3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR PENETRACIÓN

La clasificación en grados de penetración basada en el ensayo de penetración a una temperatura específica mide la consistencia o dureza de los materiales bituminosos y lo especifica en función de las condiciones climáticas extremas en que se presenta propiedades físicas adecuadas. Es un ensayo que permite obtener la susceptibilidad térmica del cemento asfáltico en un tiempo muy corto y con un equipo de costo relativamente bajo; “el cual consiste en que una aguja normal penetre dentro de la muestra de asfalto, bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1mm). Un grado de 200 a 300 décimas de milímetro, es indicación de un asfalto “blando”, mientras que un grado de 40-50 es indicación de un asfalto “duro” en el cual la aguja fue capaz de penetrar solamente de 40 a 50 décimas de milímetro”.¹¹

En conclusión la penetración sirve para regular la consistencia del cemento asfáltico a temperaturas medias de producción.

Los cementos asfálticos de consistencia intermedia, grados 60-70 u 85-100 son los más usados en el Ecuador. Los mismos que deberán cumplir los requisitos de la figura 1.4.

¹¹ PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, SERIE DE MANUALES N° 22 (MS-22), ASPHALT INSTITUTE

TABLA 810.2.1

ENSAYOS	60-70		85-100	
	MIN	MAX	MIN	MAX
Betún original				
- Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s) mm/10	60	70	85	100
- Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
- Índice de penetración (*)	-1,5	1,5	-1,5	1,5
- Ductilidad (25 °C, 5 cm/minuto), cm.	100	-	100	-
- Contenido de agua (en volumen),%	-	0,2	-	0,2
-Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	-	99	-
- Punto de Inflación, Copa de Cleveland, °C.	232	-	232	-
- Densidad relativa, 25 °C/ 25 °C	1,00	-	1,00	-
- Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
- Contenido de parafinas, %.	-	2,2	-	2,2
Ensayos al residuo del TFOT				
- Variación de masa	-	0,8	-	1,00
- Penetración. % de penetración original.	54	-	50	-
- Ductilidad, cm	50	-	75	-
- Resistencia al endurecimiento (***)	-	5,0	-	5,0

TFOT (Thin Film Oven Test) - Ensayo en horno sobre película delgada

Figura 1.4 Sistema de clasificación por Penetración¹²

1.3.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN POR VISCOCIDAD

Esta clasificación basada en la viscosidad del asfalto, es el sistema más usado en los Estados Unidos para poder clasificar los ligantes bituminosos. Las figuras 1.5 y 1.6, y la tabla 1.1 muestran los requerimientos exigidos para poder clasificar los cementos asfálticos en alguno de los grados de viscosidad a 60°C que especifica la norma ASTM D 3381.

El sistema de viscosidad, el poise es la unidad de medida para la viscosidad absoluta. Cuando las pruebas se realizan sobre el asfalto original se designan como: AC-2.5, AC-5, AC-10, AC-20, AC-40. Un cemento asfáltico de un grado menor como AC-2.5 representa un asfalto con una viscosidad de 250 poises a 60°C, el cual es más “blando” que uno de grado AC-40, que tiene una viscosidad de 4000 poises a la misma temperatura, y es conocido como un asfalto “duro”. Se

¹² ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES, MOP-001-F-202 TOMO I

puede observar que cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el Ligante asfáltico.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO ASTM	CLASIFICACION POR VISCOSIDAD (GRADOS BASADOS EN ASFALTO ORIGINAL)									
		AC-5		AC-10		AC-20		AC-30		AC-40	
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Viscosidad Absoluta, (Poise)	D 2171	400	600	800	1200	1600	2400	2400	3600	3200	4800
Viscosidad Cinemática, (cSt)	D 2170	175	-	250	-	300	-	350	-	400	-
Penetración, (0,1mm)	D 5	140	-	80	-	60	-	50	-	40	-
Flash Point, (°C)	D 92	177	-	219	-	232	-	232	-	232	-
Solubilidad (%)	D 2042	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-
ENSAYOS EN RESIDUO DE ASFALTO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA DELGADA ASTM D 1754											
Viscosidad Absoluta, (Poise)	D 2171	2500	-	5000	-	10000	-	15000	-	20000	-
Ductilidad	D 113	100	-	75	-	50	-	40	-	25	-

Figura 1.5 Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381¹³

La figura 1.6 hace referencia al asfalto envejecido, el mismo que simula cuáles serán las características de viscosidad después que se ha colocado el asfalto en el pavimento. El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento se lo realiza a través del ensayo RTOF, que lo especifica La norma AASHTO M 226, la cual se basa en la viscosidad y es parecida a la especificación ASTM D 3381. La abreviación “AR” corresponde al “Residuo Envejecido” y al igual que en la figura 1.5 se observa que mientras más alto es el número de poises, más viscoso es el cemento asfáltico.

¹³ TESIS “DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS SEMICALIENTES EN EL SALVADOR”

Otros requerimientos de la especificación son la penetración, la viscosidad cinemática a 135°C, la ductilidad del residuo del ensayo al horno en película fina (TOF) y el punto de llama.

Podemos concluir, diciendo que la viscosidad a 135°C y a 60°C controla la consistencia a una temperatura cercana a la de mezclado y a compactación en obra. La tendencia es elegir bajos grados de viscosidad en climas fríos para obtener mayor flexibilidad y evitar el agrietamiento térmico a baja temperatura. En tanto que si el clima es cálido se eligen ligantes de mayor viscosidad para aumentar la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.

REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60 °C										
PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 ¹	CLASIFICACION BASADA EN EL RESIDUO DEL ENSAYO DE RTFO									
	AR-10		AR-20		AC-40		AC-80		AC-160	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
Viscosidad 60 °C, Poises	1000	250	2000	500	4000	1000	8000	2000	16000	4000
Viscosidad 135 °C, Cs	140	-	200	-	275	-	400	-	550	-
Penetración (25 °C, 100 gr, 5 s)	65	-	40	-	25	-	20	-	20	-
% de Penetración original, 25 °C	-	-	40	-	45	-	50	-	52	-
Ductilidad, 25 °C, 5 cm por min	100 ²	-	100 ²	-	75	-	50	-	52	-
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL										
Punto de inflamación Cleveland, ° C	205	-	219	-	227	-	232	-	238	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-	99,0	-

¹ AASHTO T 179 (TFO) puede ser usado, pero AASHTO T 240 deberá ser el método de referencia .

² Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15,6 °C tiene un valor mínimo de 100.

Figura 1.6 Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad de Residuo de la Prueba DE Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M 240)¹⁴

¹⁴ Capítulo 1, PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, SERIE DE MANUALES N° 22 (MS-22), ASPHALT INSTITUTE

Actualmente algunos países han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con las especificaciones de acuerdo a sus necesidades. A continuación la Tabla 1.1, hace referencia a las especificaciones que se manejan en el Ecuador.

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 3381				
Parámetro	Requerimiento AC-20		ENSAYOS AL RESIDUO RTFO	
	Mín.	Máx.	Requerimiento AR-800	
			Mín.	Máx.
Punto de inflamación (°C)	232	-		
Viscosidad a 135°C (Centistokes)	300	-	400	-
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg (1/10cm)	60	-	20	-
% Original de Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg (1/10cm)	-	-	50	-
Viscosidad a 60°C (Poisés)	1600	2400	6000	10000
Ductilidad , 25 ° C, 5 cm por minuto (cm)	100	-	75	-

Tabla 1.1 Requisitos para clasificar el asfalto según especificación ASTM D 3381¹⁵

1.4 ASFALTOS MODIFICADOS

1.4.1 DEFINICIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS

Asfaltos cuyo comportamiento es mejorado con el propósito de aumentar la tolerancia al esfuerzo y modificar la susceptibilidad térmica ocasionada por cambios extremos de temperatura obteniendo un comportamiento visco-elástico ideal a las temperaturas de servicio como se muestra en la figura 1.7. Por tal motivo, adicionar al asfalto polímero adecuado, proporciona al cemento asfáltico excelentes características de elasticidad, adherencia y cohesión.

¹⁵ DOCUMENTACIÓN ISO DE CONTROL DE CALIDAD “PANAVIAL”, Formato “Propiedades de Cemento Asfáltico”

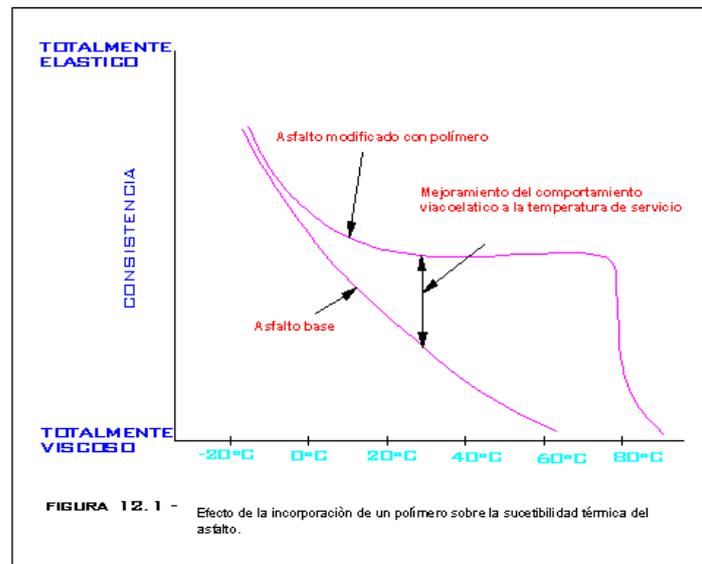


Figura 1.7 Definición de los polímeros¹⁶

1.4.1 DEFINICIÓN DE LOS POLÍMEROS

Los polímeros son sustancias macromoleculares naturales o sintéticas, formadas por la unión de moléculas más sencillas, llamados monómeros, cuya característica es su peso elevado. Estos, son obtenidos por reacciones poliméricas.

Los polímeros que son obtenidos por los procesos de polimeración no se usan directamente, sino que llevan incorporados una serie de productos llamados aditivos, los cuales modifican las propiedades de los polímeros de manera considerable.

¹⁶ Capítulo 12, INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, Segunda Edición-Universidad Católica del Ecuador, Alfonso Montejó Fonseca

1.4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS¹⁷

Debido a la gran cantidad de materiales poliméricos su clasificación para uso vial se lo ha realizado de acuerdo a su estructura y propiedades, y se presenta en la tabla 1.8

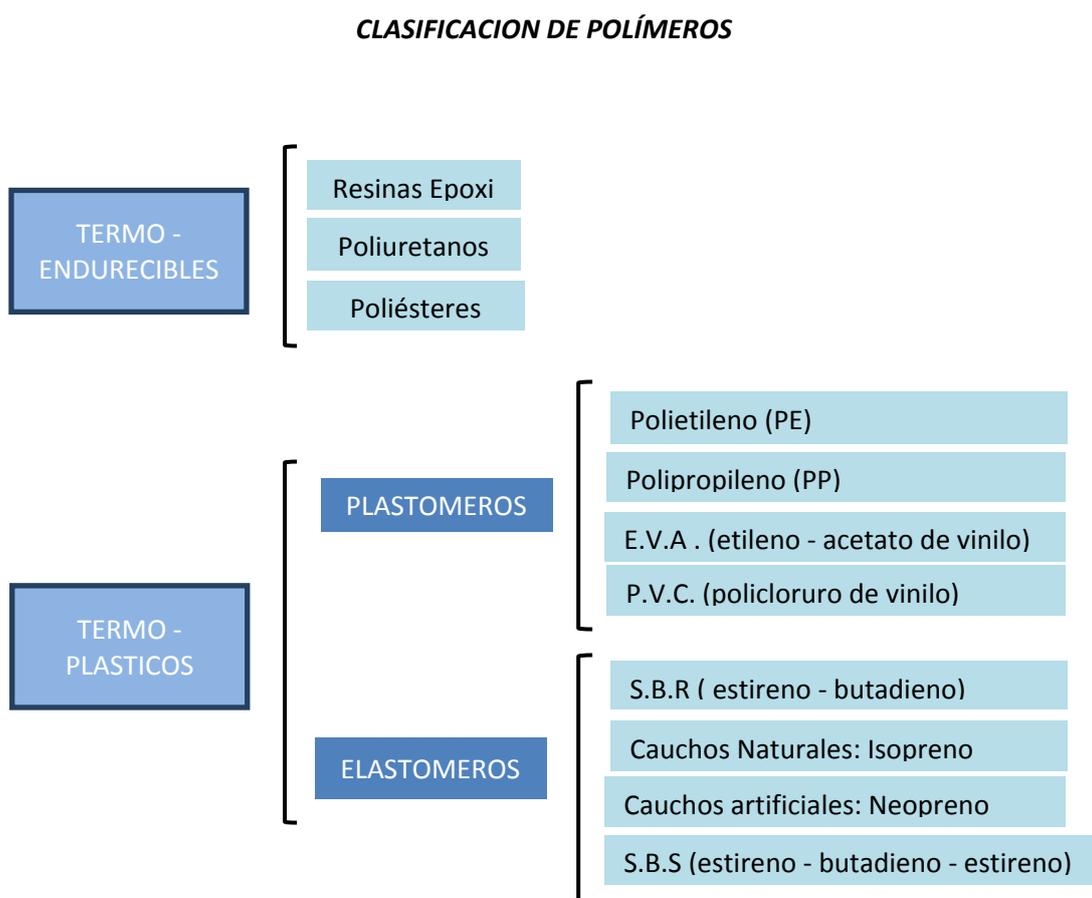


Figura 1.8 Clasificación de los polímeros¹⁸

Debido a la gran cantidad de materiales poliméricos su clasificación para uso vial se lo ha realizado de acuerdo a su estructura y propiedades, y se presenta en la tabla 1.8.

¹⁷ Capítulo 7, TECNOLOGIA DEL CEMENTO ASFALTICO, Editorial FAID, Hugo León – Arenas Lozano.

¹⁸ Capítulo 12, INGENIERIA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS, Segunda Edición-Universidad Católica del Ecuador, Alfonso Montejo Fonseca

Polímeros endurecibles.- Formados por reacción química de dos componentes (base y endurecedor), dando lugar a una estructura entrecruzada. Los comunes son:

- Resinas Epoxi: tienen agentes endurecedores. Se usan en cantidades mayores de 20% y su alto costo las hace usarlas solo en zonas especiales.
- Poliuretano: Similares a las Resinas Epoxi. Se usan a bajas temperaturas y capas delgadas. Su costo es alto.
- Poliésteres: son menos usados.

Polímeros termoplásticos.- Son polímeros solubles que se reblandecen por la acción del calor dependiendo de su intensidad y pueden llegar a fluir. Por lo general son polímeros lineales o ligeramente ramificados. Los termoplásticos se subdividen en dos grupos:

- Plastómeros: al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad. Los más comunes son:

Polietileno: tiene buena resistencia a la tracción, buena resistencia térmica y un buen comportamiento a bajas temperaturas.

Polipropileno: Muy flexible, resistente al calor y a los agentes químicos.

Policloruro de vinilo (PVC): tiene muy baja actividad química, pero al mezclarlo con el asfalto a 130°C se gelifica, obteniéndose un asfalto más viscoso que el original. Muy resistente a los solventes, es usado en estaciones de servicio y aeropuertos. Su costo es relativamente bajo y se usa de un 2% al 6%.

Copolímeros de etileno – acetato de vinilo (EVA): los copolímeros de etileno copolimerizan al etileno con otros monómeros (Acetato de vinilo) para destruir su regularidad estructural y reducir su grado de cristalinidad). Su propiedades dependen del: - peso molecular: si aumenta, tiene menor flexibilidad y mayor dificultad para mezclarlo; -% Acetato de vinilo (33 al 40%): si aumenta, es más flexible. Hay que riticurarlos en almacenamiento para evitar la separación. Se lo mezcla a 160°C sin aditivos. Tiene buena compatibilidad con el asfalto.

- Elastómeros: Los elastómeros o cauchos son polímeros lineales amorfos que al ser sometidos al proceso de vulcanización adquieren una estructura parcialmente

reticulada que le proporciona sus propiedades elásticas. Los cauchos más comunes son:

Estireno – butadieno (SBR): Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de Butadieno. Para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico.

Cauchos Naturales (Isopreno): se lo usa para hacer caucho sintético.

Cauchos artificiales (Neopreno): Tiene gran resistencia a los agentes atmosféricos. Se usa en carreteras para apoyo de vigas y estructuras.

Butadieno – estireno (SBS) o Caucho Termoplástico: se lo desarrolló en Estados Unidos en la década de los 60 en adhesivos y suelos, para luego usarse en asfaltos. Los dos homopolímeros que lo forman son incompatibles entre sí. – El más incompatible: el Estireno (fase dura) con una temperatura de cristalización de 100°C. – Butadieno: (fase elástica) con temperatura de cristalización menor que el ambiente.

Los polímeros más utilizados en la modificación de los ligantes bituminosos son el caucho natural (NR), los copolímeros de etilenoacetato de vinilo (EVA) y los elastómeros termoplásticos de estireno - butadieno – estireno (SBS).

1.4.4 BENEFICIOS QUE SE BUSCA CON LA MODIFICACIÓN DEL ASFALTO

Se busca obtener las siguientes características, con el uso de los polímeros:

- Tener una alta rigidez a las altas temperaturas a las cuales está expuesto el pavimento para poder reducir el ahuellamiento, o a su vez, baja rigidez y buenas características elásticas a temperaturas bajas para disminuir el posible fisuramiento por cambios extremos de temperatura en el ambiente.
- Poseer buena adherencia con los agregados pétreos en presencia de la humedad.
- Aumentar la resistencia a la fatiga de las mezclas.
- Mejorar la cohesión.
- Bajar la rigidez o viscosidad a temperaturas normales de manejo en planta y en obra.

- Aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte, permitiendo mejores espesores de la película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales.¹⁹

1. 5 CONCEPTOS BÁSICOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

1.5.1 DEFINICIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Se define a una mezcla asfáltica como una combinación de áridos bien graduados y un agente aglomerante como son el cemento asfáltico o el alquitrán, los cuales forman una masa sólida y quedan cubiertos por una película de asfalto. Pueden ser producidas en plantas fijas o móviles, para luego ser transportadas a la obra, donde se deposita en una máquina extendedora la cual la va colocando en capas uniformes para posteriormente ser compactada con apisonadora.

Generalmente las mezclas asfálticas están combinadas por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son indispensables para un adecuado funcionamiento del pavimento y la mala calidad en alguno de ellos afecta la mezcla. El cemento asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Generalmente el hormigón asfáltico se lo usa en la construcción de vías, aeropuertos, pavimentos industriales, etc.

1.5.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS²⁰

¹⁹ TECNOLOGIA DEL CEMENTO ASFALTICO, Hugo León y Arenas Lozano – EDITORIAL FAID

²⁰ http://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerado para establecer las diferencias. Así, conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, éstas se dividen en mástico asfáltico; mortero asfáltico; macadam asfáltico; y concreto asfáltico. Si la temperatura es considerada, se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas, dependiendo de si tienen menos del 6%, entre el 6 y el 12% de vacíos de aire, entre el 12 y el 18% o más del 20%, respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas.

La mezcla asfáltica en caliente se clasifica así, porque tanto el agregado pétreo, como el asfalto, se calientan antes del mezclado; es un tipo de mezcla compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7 % de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla.

El tipo de mezcla asfáltica a la que se hará referencia en el presente trabajo es una mezcla en caliente de granulometría densa; esto es, con un contenido de vacíos de aire menor al 6%. Conviene señalar que es un tipo de mezcla asfáltica ampliamente utilizado en México.

1.5.2.1 Por fracciones de agregado pétreo

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más asfalto.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.
- Macadam asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

1.5.2.2 Por la temperatura puesta en obra

- Mezclas asfálticas en caliente: Se fabrican con asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy

superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.

- Mezclas asfálticas en frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

1.5.2.3 Por la proporción de vacíos de la mezcla asfáltica

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia de las cargas y de las variaciones térmicas.

- Mezclas Cerradas o Densas: La proporción de vacíos no supera el 6 %.

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos está entre el 6 % y el 10%.

- Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12 %.

- Mezclas Porosas o Drenantes: La proporción de vacíos supera el 20%.

1.5.2.4 Por el tamaño máximo del agregado pétreo

- Mezclas Gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.

- Mezclas Finas: También llamadas microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

1.5.2.5 Por la estructura del agregado pétreo

- Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.

- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

1.5.2.6 Por la granulometría

- Mezclas continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

- Mezclas discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

A continuación en la figura 1.9 se presenta un resumen de los tipos parámetros de clasificación de las mezclas asfálticas:

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregados empleados	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas ($h < 6\%$)
	Semicerradas ($6\% < h < 12\%$)
	Abiertas ($h > 12\%$)
	Porosas ($h > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Figura 1.9 Clasificación de Mezclas Asfálticas²¹

²¹ http://www.construmatica.com/construpedia/Clasificaci%C3%B3n_de_las_Mezclas_Asf%C3%A1lticas

1.5.3 TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

1.5.3.1 Mezcla Asfáltica en Caliente

La mezcla asfáltica en caliente se caracteriza porque tanto los agregados pétreos como el ligante asfáltico que se utilizan, se calientan antes del mezclado entre 130 y 160 °C. Esta mezcla se compone generalmente por un 93 al 97% de agregado grueso y fino y por un 3 a 7% de asfalto con relación a la masa total de la mezcla. Usualmente posee una granulometría densa, lo cual hace que posea vacíos de aire menores al 6%. Se las prepara en una planta asfáltica de dosificación en la cual los agregados son combinados, calentados y secados, proporcionados y mezclados con el asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente. Es importante mencionar que este tipo de mezcla es la más utilizada en el país. Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los firmes.

1.5.3.2 Mezcla Asfáltica en Frío

Este tipo de mezclas, al igual que las mezclas asfálticas en caliente están compuestas por la combinación de uno o más agregados pétreos con una emulsión bituminosa catiónica, o diluida con solvente cuya mezcla, aplicación y compactación se realizan en frío.

Estas mezclas se pueden elaborar en una planta asfáltica, no siendo imprescindible el calentamiento para el secado de los áridos, es decir, que se los puede utilizar desde el stock, con su humedad natural; y el asfalto puede ser precalentado hasta no más de 60 °C.

Igualmente es posible la preparación in situ, es decir en la misma calzada donde va a ser aplicada, la cual como ya se ha mencionado, se compactará a una temperatura ambiente.

El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

Estas mezclas en frío son utilizadas generalmente como capas de rodadura, de base o subbase.

1.5.3.3 Mezcla Abierta o Porosa

Son mezclas que tienen una granulometría fuertemente discontinua, donde predomina el agregado grueso en más del 75 %, lo que hace que este tipo de mezclas tenga un porcentaje de vacíos elevado de aproximadamente entre 18 % a 25%, lo cual permite el paso del agua a través de la mezcla, y hace que posea una excelente drenabilidad superficial. Usualmente, son usadas como capa de rodadura, en lugares donde hay gran presencia de lluvia, ya que este tipo de mezcla, permite la evacuación rápida del agua de la superficie del camino y ayuda a reducir la resistencia al deslizamiento.

Sin embargo, este tipo de mezclas también son usadas como capa de alivio de fisuras, ya que la porosidad de estas mezclas, impide la inducción de grietas desde un pavimento antiguo a uno nuevo.

1.5.3.4 Microaglomerados

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm., lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor, en vías de alto tráfico. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente (el cual tiene un espesor inferior a 3 cm.) sirven para restituir características superficiales de la capa de rodadura (resistencia al deslizamiento, drenabilidad superficial, sonoridad, etc) optimizando el buen funcionamiento del pavimento, y mejorando la comodidad y seguridad del usuario, a un costo menor. Pero debido a su reducido espesor no resuelve problemas estructurales en el firme, aunque su función impermeabilizante contribuye un poco a mejorar el comportamiento de la sección estructural.

1.5.4 MÉTODOS DE MEZCLADO

Según el método constructivo, las mezclas asfálticas se dividen en dos grupos: Mezclas en planta y mezclas en sitio.



Figura 1.10 Clasificación de Mezclas Asfálticas²²

1.5.4.1 Mezcla en planta

Mezcla en planta es la mezcla de árido y del asfalto en planta central, generalmente de alto rendimiento. Los aspectos más comunes para clasificar una planta de asfalto son:

- El tipo de proceso: Esta se dividen en plantas continuas y discontinuas (“bachada”).
- El sentido del secado: Las plantas pueden ser en sentido o flujo paralelo o contra-flujo.
- La forma del secado: existen las plantas de mezcla en frío y mezcla en caliente.
- Según el tipo de proceso:

Plantas continuas: El proceso de elaboración en este sistema consiste en los siguientes pasos: Dosificación de agregados, homogeneización, secado, inyección de asfalto, mezclado, elevación, almacenamiento y carga al camión. De lo descrito en este proceso, todo es continuo hasta antes de la carga al camión que depende de condiciones especiales del tendido de la mezcla, como puede

²² <http://www.monografias.com/trabajos93/plantas-asfalticas/plantas-asfalticas.shtml>

ser: temperatura del ambiente, distancia de traslado, facilidad de colocación, número de camiones disponibles, etc. La dosificación de los agregados y el asfalto es básica, dado que no hay manera de dosificarlo por unidad de peso directamente, es preciso mantener una dosificación volumétrica continua de los materiales.



Fotografía 1.1 Planta de asfalto continua de flujo paralelo²³

Fuente propia

Plantas discontinuas: Los agregados son alimentados en cantidades controladas, seguidamente pasados por un tambor en donde son secados y calentados, después, los agregados pasan por una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños y lo deposita en tolvas para su almacenaje caliente. Luego, los agregados y el relleno mineral (cuando este es usado) son pesados, combinados con el asfalto y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada y transportada hasta el lugar de pavimentación. En las plantas asfálticas discontinuas se pesan los materiales cada vez que se inicia una amasada.

²³ Planta de asfalto, Ubicado en la Mina “El Colibrí”, Cachapamba en la Provincia de Pichincha.



Fotografía 1.2 Planta de asfalto discontinua²⁴

- Según el sentido del secado:

Sentido o flujo paralelo: En las plantas de secado por sentido o flujo paralelo, los materiales ingresan al tambor secador en el sentido de ingreso de la llama y fluyen en sentido paralelo al tránsito de los gases.

Plantas de secado a contra-flujo: Sucede todo lo contrario, los agregados ingresan al tambor secador por el extremo opuesto a la llama y fluyen en contra-sentido de los gases del sistema, estos sistemas tienen la particularidad de permitir que el secado se realice a menores temperaturas y por ende consumiendo menor cantidad de combustible.

- Según la forma del secado:

Mezcla en frío: se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.

Mezcla en caliente: Como es de conocimiento general, un concreto asfáltico en caliente convencional es una mezcla de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico, calentados individualmente entre 130 y 160°C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactadas en caliente. Son mezclas cuidadosamente elaboradas y compactadas para lograr una elevada densificación

²⁴ <http://www.monografias.com/trabajos93/plantas-asfalticas/plantas-asfalticas.shtml>

y bajo porcentaje de vacíos, consideradas como las de mejor calidad entre las mezclas asfálticas en caliente, con excelentes propiedades de estabilidad, durabilidad y flexibilidad. Estas se dividen en mezcla en el tambor secador y mezcla externa, las de mezcla en el tambor, comúnmente llamadas drum-mix (ver fotografía 1.3 y figura 1.11), mezclan los agregados con el asfalto, bien sea en un módulo continuo, llamado tambor secador-mezclador o en un módulo concéntrico pero aislado de la zona de secado, al cual algunos llaman doble barril.

Las plantas de mezcla externa se caracterizan por que el proceso de mezclado se realiza en una unidad mezcladora independiente del tambor secador, los mezcladores más comunes son el de tipo tambor y el de ejes gemelos, funcionalmente el principio del mezclador de tipo tambor es que divide el tradicional tambor secador-mezclador en 2 tambores independientes que realizan sus funciones separadamente, al separar las operaciones de secado y mezclado se elimina totalmente el riesgo de oxidación del asfalto por contacto con la llama, existente en los modelos muy antiguos de planta drum-mix, riesgo resuelto pero heredado culturalmente en los modelos modernos y automatizados.



Fotografía 1.3 Planta de asfalto para mezclas en caliente²⁵

²⁵ Planta de asfalto, Ubicado en la Mina "Pingulmi", Cayambe en la Provincia de Pichincha - Herdoíza Crespo Construcciones S.A

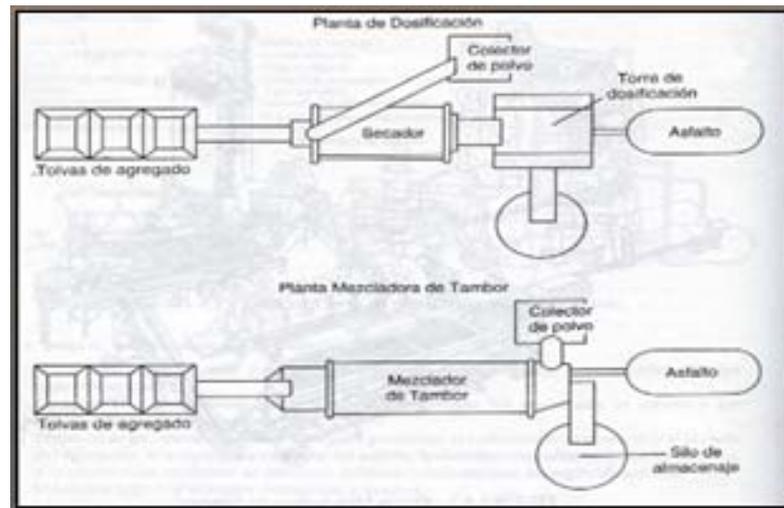


Figura 1.11 Plantas de asfalto continuas²⁶

1.5.4.2 Mezcla en sitio

Una mezcla en sitio es una carpeta asfáltica que se produce mezclando agregados con asfalto líquido en la misma faja del camino, mediante motoniveladora o alguna maquinaria especial que efectúe el trabajo.



Fotografía 1.4 Planta de asfalto móvil para mezclas en sitio²⁷

²⁶ <http://www.monografias.com/trabajos93/plantas-asfalticas/plantas-asfalticas.shtml>

²⁷ Planta de asfalto móvil para mezclas en sitio, Herdoíza Crespo Construcciones S.A

1.5.5 SELECCIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

Para la selección de una mezcla asfáltica se ha estimado algunos parámetros que se tiene que considerar para escoger el diseño de pavimentación más adecuado tanto técnico como económico:

a) El tipo de mezcla a emplear se determinará en función de:

- Las capa de pavimento a que se destine.
- La categoría del tráfico.

Se debe analizar las condiciones a la que va a trabajar la mezcla: intensidad del tráfico liviano y pesado, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (rodadura, capa intermedia o base), espesor y clima. De la misma manera, hay que considerar si se trata de un pavimento nuevo o de una rehabilitación.

b) Propiedades de la mezcla

Se debe determinar las cualidades que debe tener la mezcla asfáltica: estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento. Así mismo, debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o a la flexibilidad.

c) Tipo de Ligante asfáltico

El tipo de Ligante asfáltico a emplearse es muy importante ya depende de la función de la capa y de las condiciones del entorno, siempre tomando en cuenta el costo, ya que es un factor muy relevante. Entre los que podemos mencionar son el asfalto, asfalto modificado y emulsión asfáltica.

La determinación del contenido óptimo del Ligante, se lo debe realizar mediante un método de diseño normalizado de manera que la mezcla cumpla con los requerimientos establecidos para el uso correspondiente.

d) Agregados pétreos

Se debe seleccionar un tipo de agregado que sea compatible con el Ligante que puedan combinarse y producir una mezcla con las cualidades ya antes mencionadas. Los agregados deberán cumplir con determinadas exigencias, pero con un costo razonable. Además, se debe elegir un polvo mineral de aportación.

Algunos factores que también se deben considerar son: exigencias de seguridad vial, estructura del pavimento, técnicas de diseño y ejecución, condiciones de drenaje, y sobre todo consideraciones económicas.

1.6 TIPOLOGÍAS DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Existen varios tipos de deterioro en los pavimentos asfálticos, los más comunes son:

- Agrietamiento y fisuras
- Deformación
- Desintegración
- Riesgos de deslizamiento
- Deterioro de tratamientos superficiales

Muchos pueden ser los factores para que este tipo de deterioros se presenten en la vía:

- Carga tráfico
- Medio ambiente o condiciones climáticas
- Defectos de drenaje
- Problemas relacionados con los materiales.
- Procesos de la elaboración de las mezclas inapropiados
- Fórmula de trabajo deficiente
- Defectos de construcción

A medida que el pavimento envejece, al menos uno de estos mecanismos empieza a deteriorarlos. Generalmente después de que las grietas y otras formas de desintegración aparecen como primeras causa de deterioro, surgen factores secundarios que empeoran el problema. Cuando una determinada falla alcanza cierta magnitud, evoluciona hacia otro tipo de falla mayor lo que causan severas complicaciones en el pavimento.

1.6.1 TIPOS DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

Las fallas en los pavimentos pueden ser de dos tipos:

- Fallas de superficie: son fallas de la capa asfáltica y no guardan relación con la estructura de la calzada. La reparación de este tipo de fallas se logra con capas asfálticas delgadas que tienen muy poco aporte estructural. Algunas de las fallas que se puede dar son pequeños desprendimientos del pavimento o de cualquier material que lo compone, afloramientos de agua, ligante o mortero asfáltico y algunas deformaciones ligeras.
- Fallas estructurales: comprende el deterioro de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento. Para la corrección de estas fallas se requiere un refuerzo sobre el pavimento existente o a su vez una reparación total en una o más capas que lo constituyen.

1.6.1.1 Fisuras y grietas



Fotografías 1.5 Agrietamiento y fisuras en pavimentos asfálticos²⁸

²⁸ Fotografías tomadas en la Panamericana Norte. Imbabura, Ecuador

El agrietamiento y fisuración es un mecanismo habitual de fallo mecánico por fatiga de una capa de pavimento. Aparte de ello, las grietas prematuras indican un problema de diseño o de construcción de la mezcla asfáltica. Algunos de las fisuras y grietas más comunes pueden ser:

- Piel de cocodrilo: Se presentan como fisuras o grietas interconectados formando polígonos de tamaño variable, semejando una malla o piel de cocodrilo. Son deterioros que se pueden producir por varias causas como:

- Cumplimiento de la vida útil
- Pavimentos estables sobre subrasantes elásticas
- Tránsito muy pesado para el espesor de pavimento existente
- Asfalto muy duro o en cantidad deficiente

- Lengüetas: Son grietas parabólicas que se forman en la capa asfáltica, en el sentido de viaje de los vehículos. Las causas posibles de este defecto son:

- Adherencia inadecuada entre la capa de rodadura y la base
- Tránsito pesado y muy lento.

- Rectilíneas Longitudinales: Son fisuras y grietas paralelas al eje del pavimento, las cuales, generalmente se originan cerca al borde y a las huellas del tránsito.

Las causas son las siguientes:

- Asentamiento de terraplenes
- Cambios diferenciales de humedad en los suelos de subrasante
- Deficiencias de drenaje superficial
- Circulación de vehículos pesados muy cerca del pavimento
- Falta de sobrecancho en la base
- Bermas muy angostas en zonas de terraplén

- Rectilíneas Transversales: Se presentan como fisuras y grietas perpendiculares al eje del pavimento. Las principales causas son:

- Juntas de trabajo deficientes
- Asentamientos en el contacto corte terraplén

CAPÍTULO 2

CARACTERÍSTICAS Y METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

2.1.1 DEFINICIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Mezclas asfálticas en caliente es la unión de áridos pétreos de distinta graduación o tamaño combinado con asfalto, los cuales son mezclados en una planta dosificadora a elevadas temperaturas. Las proporciones se definen de acuerdo a un diseño que se lo realiza en laboratorio, el cual nos sirve para determinar el contenido óptimo de asfalto, la granulometría exacta, así como también las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, que la hacen apta para satisfacer las necesidades explícitas e implícitas de un proyecto.



Figura 2.1 Perfil de temperatura de un secador mezclador de una planta de asfalto

2.1.2 COMPORTAMIENTO VISCOSIDAD Vs. TEMPERATURAS EN MEZCLAS CALIENTES

<i>TEMPERATURAS TÍPICAS DE MEZCLADO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE</i>		
TIPOS Y GRADOS DE ASFALTO	Temperatura de la mezcla en el mezclador	
	Mezcla densamente graduadas	
Cemento Asfáltico	°F	°C
AC-2,5	235-280	115-140
AC-5	250-295	120-145
AC-10	250-315	120-155
AC-20	265-330	130-165
AC-40	270-340	130-170
<hr/>		
AR-1000	225-275	105-135
AR-2000	275-325	135-165
AR-4000	275-325	135-165
AR-8000	275-325	135-165
AR-10000	300-170	150-175
<hr/>		
200-300 pen.	235-305	115-150
120-150 pen.	235-310	120-155
85-100 pen.	250-325	120-165
60-80 pen.	265-335	130-170
40-80 pen.	270-350	130-175

Nota: El mezclado deberá ser efectuado a la temperatura más baja posible que a su vez permita un revestimiento completo de las partículas de agregado y una mezcla con una trabajabilidad satisfactoria.

Figura 2.2 Temperaturas típicas de mezclado para mezclas asfálticas en caliente²⁹

La viscosidad a 135°C y a 60°C controla la consistencia a una temperatura cercana a la de mezclado y a compactación en obra. La tendencia es elegir bajos grados de viscosidad en climas fríos para obtener mayor flexibilidad y evitar el agrietamiento térmico a baja temperatura. En tanto que si el clima es cálido se eligen ligantes de mayor viscosidad para aumentar la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.

²⁹ <http://www.monografias.com/...as-asfalticas/img23.png>

Se sabe que cuanto más alto es el número de poises más viscoso se vuelve el asfalto. Además, cabe resaltar que el asfalto es un material termoplástico que pierde viscosidad con el aumento de temperatura.

El agregado es el que define la temperatura de la mezcla, sin embargo, tanto el asfalto como el agregado deben ser previamente calentados, antes de ser combinados en el mezclador, ya que el asfalto debe tener la suficiente fluidez para que pueda ser mezclado y el agregado debe estar lo suficientemente seco y caliente, para que la mezcla obtenga la temperatura deseada.

2.1.3 VENTAJAS DE MEZCLAS CALIENTES

Dentro de las ventajas más comunes de las mezclas asfálticas, se encuentran:

1. Rápido tendido de la mezcla asfáltica.
2. Rápida apertura al tránsito.
3. Solución de gran adaptabilidad a los requerimientos del proyecto:
 - Uso de distintos espesores
 - Uso de diferentes tipos de mezclas
 - Adaptabilidad de los equipos de colocación
4. Gran rendimiento de colocación
5. Mejor funcionabilidad
6. Bajo costo económico
7. Mejor confort
8. Pavimento continuo (sin juntas)

2.1.4 DESVENTAJAS DE MEZCLAS CALIENTES

Una de las desventajas que más predomina en el uso de mezclas calientes es la emisión de gases causadas por la combustión y las altas temperaturas a la que son sometidos los agregados y el asfalto durante la producción en obra.

Las plantas de asfalto caliente tienen un gran poder de contaminación sobre todo atmosférica ya que estas emiten oscuros gases malolientes.

Asimismo, pueden producir humos, gases y vapores que contienen sustancias letalmente tóxicas, como el sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, arsénico, benceno, cadmio y se cita como muy peligrosos la presencia en el procesamiento de solventes como tolueno, xileno y nafta, además de estireno, asbestos y sílice. (Pacheco. 2009).

Lamentablemente debido a su bajo costo económico, en nuestro país no se utiliza otra alternativa que solucione el impacto ambiental que provoca la utilización de estas mezclas; sin embargo, en algunos países ya se está utilizando mezclas semicalientes, que aunque tiene un costo relativamente alto, disminuyen considerablemente la nociva emisión de gases, y por ende la contaminación en la atmósfera.

2.1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA CALIENTE

En el Ecuador las especificaciones técnicas del ligante asfáltico que se usa en mezclas asfálticas las determina el MTOP (Ministerio de Transportes y Obras Públicas), el mismo que determina los requisitos que deben cumplir los asfaltos y productos asfálticos que se aplican en trabajos de pavimentación. Cabe mencionar que el único asfalto que se produce en nuestro país es del tipo AC-20 y las especificaciones serán dirigidas para el mismo. Las especificaciones técnicas son exigencias de calidad que se establecen mediante procedimientos estipulados, los cuales sirven para evaluar las propiedades requeridas y estimar el comportamiento del asfalto.

Los ensayos necesarios que se realizan para comprobar las propiedades de un ligante asfáltico son:

- Penetración, 25°C, 100g, 5seg (1/10mm)
- Punto de ablandamiento
- Ductilidad (cm)
- Punto de inflamación (°C)
- Viscosidad, 60°C, Poises

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC)

2.2.1 DEFINICIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC)

Llamamos Mezclas Abiertas o Porosas aquellas con un porcentaje de vacíos superior al 15%, y una proporción de agregado fino muy baja, por lo que el ligante debe tener una buena cohesión para evitar la disgregación de la muestra. La principal característica de estas mezclas es lograr la permeabilidad del agua. Esta propiedad da origen a la denominación “Mezclas Drenantes”. Otras denominaciones para este tipo de mezclas son:

- Asfaltos Poroso
- Macadan Permeable
- Asfalto silencioso

Las mezclas abiertas pueden ser usadas con capas de rodado o como capas de base, por lo cual la forma para referirse a este tipo de mezcla de acuerdo a su uso son: mezclas abiertas de superficie (o rodado) y mezclas abiertas de base.

En otras palabras podemos decir que las mezclas convencionales utilizadas en la construcción de vías son aquella con un porcentaje de vacíos entre 3 y 10%, y las mezclas que son diseñada con un porcentaje de aire, igual o superior al 15% son del tipo Open Graded o abiertas.

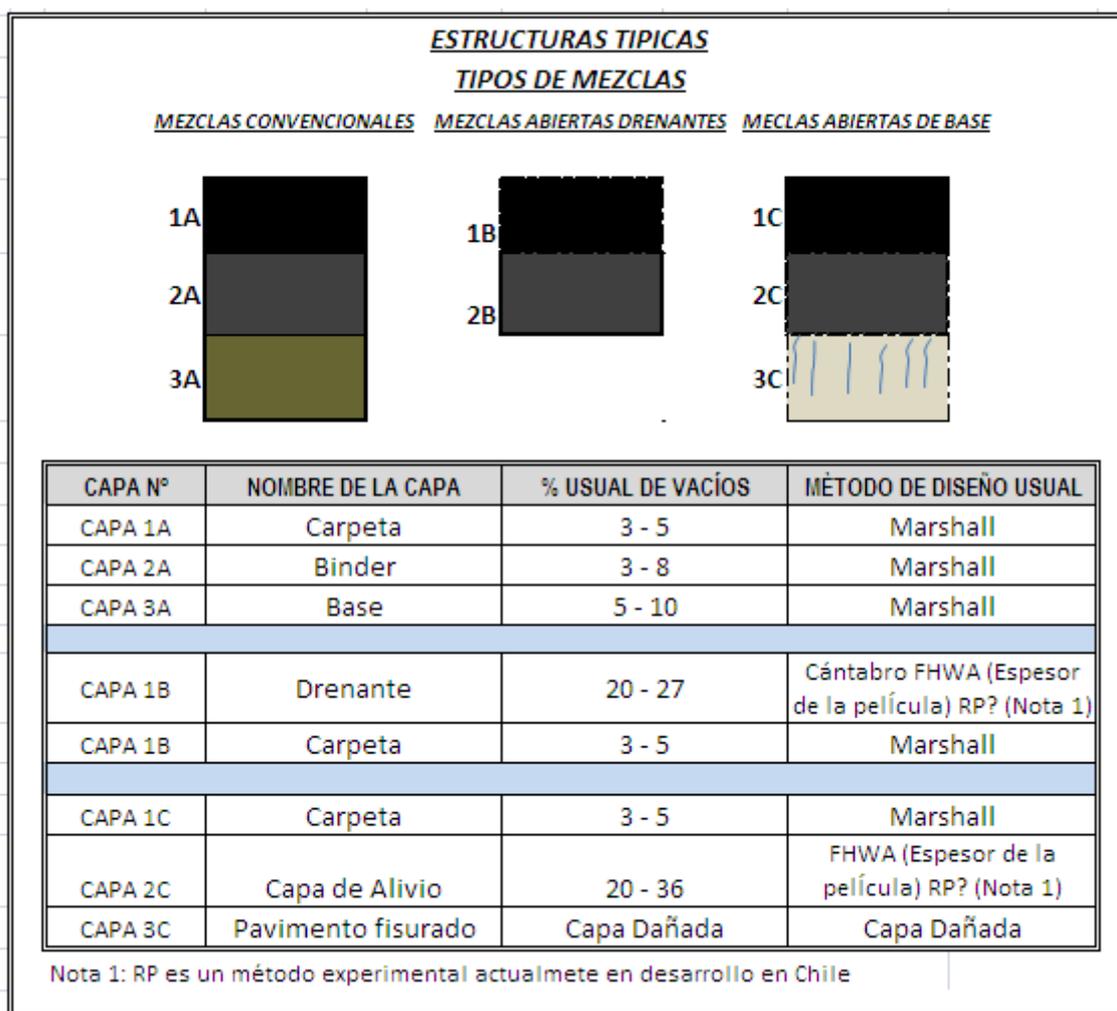


Figura 2.3 Figuras típicas de mezclado para mezclas asfálticas en caliente³⁰

2.2.1.1 Mezcla abierta de superficie o rodado

La principal función de una carpeta de “rodado impermeable” es proteger al pavimento de los efectos negativos del agua, ya que debido a su alta permeabilidad permite un rápido drenaje, dando paso al escurrimiento del agua a los drenes laterales, y así evitar la infiltración a las capas inferiores del pavimento. Las ventajas de esta mezcla son muchas, pero el costo es excesivamente alto, ya que es necesario usar, asfaltos modificados que superan el costo de un asfalto convencional, además los agregados deben tener una resistencia al desgaste muy alta.

³⁰ Rioja, H., “Mezclas Asfáltica Open Graded en Chile”

2.2.1.2 Mezcla abierta de base (capa de alivio)

Las Mezclas abiertas de base o también llamadas Capa de Alivio, son diseñadas especialmente para evitar (o al menos retardar lo más posible) la reflexión de fisuras desde el pavimento existente hacia las capas superiores. Estas mezclas se utilizan, cuando se requiera realizar labores de rehabilitación en un pavimento deteriorado con grietas de espesor considerable. La Capa de alivio deberá tener una alta resistencia al agrietamiento, ya que esta tiene una influencia determinante en la durabilidad de la nueva superficie de rodado. Esta resistencia al agrietamiento depende de las características y proporciones de la mezcla: betún asfáltico y agregados pétreos. El asfalto deberá tener una adecuada ductilidad y una buena adhesividad con los agregados. Los agregados pétreos deben tener una granulometría apropiada, generalmente gruesa y con bajo contenido de materiales finos.

Este tipo de mezclas se emplea desde hace 25 años en Chile habiendo experiencias exitosas como es el caso de la repavimentación de la Ruta 5, tramo Pte. Bulnes - Polpaico, el cual lleva 14 años en servicio, con un IRI inicial de 1,4 y uno actual de 1,6.³¹

Es necesario advertir que el uso de recapados asfálticos con mezcla del tipo O.G debe ser acompañado de un estudio previo del tipo de fractura y estado de las losas del pavimento, porque no todos los pavimentos fracturados son buenos candidatos a ser recuperados mediante el uso de las mezclas abiertas.

2.2.2 VENTAJAS DEL USO DE LAS MEZCLAS ABIERTAS DE BASE (CAPA DE ALIVIO)

1. Aunque la capa de alivio se encuentra codificada en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes (MOP-001-F-2002), en Ecuador aún no se tiene claro lo ventajosa que puede ser el uso de esta mezcla. Pero en base a las experiencias Chilenas, podemos mencionar, que colocar las mezclas de tipo O.G como parte de la estructura del pavimento, ha resultado

³¹ Rioja, H., "Mezclas Asfáltica Open Graded en Chile"

exitoso para controlar la reflexión de fisuras, en pavimentos seriamente agrietados.

2. Ya que esta mezcla, funciona como una capa intermedia, no necesariamente se requiere la utilización de polímeros altamente costosos, a diferencia de las mezclas abiertas de superficie, las cuales por estar directamente expuestas al tráfico, requieren una mayor: resistencia al desgaste, resistencia a los agentes atmosféricos, capacidad estructural y buena cohesión, lo que amerita la utilización de polímeros de costos elevados para modificar el asfalto.

3. La producción y colocación de las mezclas abiertas de base, son similares a las de una mezcla convencional, por lo que su costo no la convierte en una desventaja.

2.2.3 DESVENTAJAS DEL USO DE LAS MEZCLAS ABIERTAS DE BASE (CAPA DE ALIVIO)

Una de las desventajas más significativas es el desconocimiento de la técnica de diseño de este tipo de mezclas, por lo que varias empresas constructoras han tenido problemas de trabajabilidad y colocación de la mezcla en obra, debido a que, de manera errada, reducen o aumentan el contenido de asfalto arbitrariamente.

2.2.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL LIGANTE DE UNA MEZCLA ABIERTA

2.2.4.1 Mezcla abierta de superficie o rodado

La tendencia para este tipo de mezclas es la utilización de ligantes modificados, con aporte de polímeros, neumáticos reciclados o aditivos que ayuden a mejorar la consistencia y aumenten la adhesividad y la cohesión en la mezcla. Por lo que, las especificaciones del Ligante para este tipo de mezclas, son diferentes a las de una Mezcla abierta de base, y no son objeto de nuestro estudio.

2.2.4.2 Mezcla abierta de base (capa de alivio)

Ensayo	Valor especificado	Designación Norma
- Penetración, 25°C, 100g, 5seg (1/10mm)	60 +	INEN 917
- Punto de ablandamiento	-	AASHTO T-53
- Ductilidad (cm)	100 +	INEN 916
- Punto de inflamación (°C)	232 +	AASHTO T-79
- Viscosidad, 60°C, Poises	1600 - 2400	ASTM D4402
- Prueba sobre el residuo		
- Viscosidad, 60°C, Poises	10000 -	ASTM D4402
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min	50 +	INEN 916

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas para el Ligante de una Mezcla en Caliente

Las especificaciones que deberán cumplir este tipo de mezclas son las mismas que se establecen para las mezclas convencionales y se especifican en la Tabla 2.1.

Considerando que la temperatura de mezclado deberá ser la necesaria para obtener una viscosidad en el ligante aproximadamente de 500cst, y en la compactación la temperatura suficiente para producir una viscosidad de 1500 cst.

2.2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL AGREGADO DE UNA MEZCLA ABIERTA (CAPA DE ALIVIO)

Ensayo	Valor especificado	Designación Norma
- Determinación de la degradación del árido grueso de partículas mayores a 19mm mediante el uso de la máquina de los ángeles	40% -	INEN 861
- Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio	ÁRIDO FINO	
	Tipo de sulfato	Valor máx.
	Sulfato de Sodio	12%
	Sulfato de Magnesio	18%
ÁRIDO GRUESO		INEN 863
Tipo de sulfato	Valor máx.	
Sulfato de Sodio	12%	
	Sulfato de Magnesio	18%
- Plasticidad	4% -	INEN 692
- Materiales deletéreos	1% -	INEN 698
- Adherencia con asfalto	95% +	AASHTO T-182/ASTM D3625
- Equivalente de arena	40% +	AASHTO T 176 /ASTM D 2419
- Pesos específicos	-	INEN 856 Y 857
- Porcentaje de partículas alargadas y achatadas (agregado grueso)	10% -	ASTM D4791
- Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso)	85% + una cara fracturada 80% + dos caras fracturadas	ASTM D5821

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas para Agregados Pétreos de una Mezcla
Asfáltica

Algunas propiedades de especial interés en la pavimentación, son la granulometría y el tamaño de partículas, su limpieza, su dureza, su forma, su textura superficial, su capacidad de absorción y su afinidad con el asfalto, por lo cual, se ha hecho necesario realizar ciertos ensayos, que ayuden a garantizar la calidad de los agregados, para que estos cumplan con las especificaciones establecidas en la Tabla 2.2.

2.2.5.1 Agregados gruesos

Se define como agregado grueso a la parte del agregado que queda retenido en el tamiz N° 4 según la ASTM E-11.

Los agregados serán fragmentos limpios, resistentes y duros, libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables, así como de material mineral cubierto de arcilla u otro material inconvenientes que puedan afectar a la durabilidad de la capa de alivio.

Los agregados gruesos no deberán tener un desgaste mayor al 40%, luego de 500 revoluciones de la máquina de los ángeles, cuando sean sometidos al ensayo de abrasión.

El agregado no debe experimentar desintegración, ni pérdida total mayor al 18%, cuando se lo someta a 5 ciclos de inmersión y lavado con sulfato de magnesio, en la prueba de durabilidad.

Los materiales deberán tener una excelente afinidad con el ligante asfáltico, tal que, después de realizarse el ensayo de peladura, para determinar la adhesividad con el ligante, más de 95% del asfalto, deberá quedar impregnado en el agregado.

2.2.5.2 Agregados finos

El agregado fino es aquel que pasa por el tamiz N° 4 y queda retenido en el tamiz N° 200, según la Norma ASTM E-11.

La porción de los agregados que pasa por el tamiz N° 40 deberá tener un índice de plasticidad menor a 4.

El agregado fino debe proceder en su totalidad de la trituración de piedra de cantera o de grava natural, no debe presentar arcilla, material vegetal u otras materias ajenas.

2.2.5.3 Relleno mineral (Filler)

Se denomina como Filler aquella fracción que pasa por el tamiz N° 200 según la Norma ASTM E-11.

El Filler proporciona rigidez a la mezcla permitiendo que las partículas de agregado permanezcan unidas. Estos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua.

El tipo y la cantidad de relleno mineral, usados en cualquier mezcla asfáltica deben ser cuidadosamente controlados, ya que cualquier variación que no sea la indicada puede afectar significativamente a la mezcla. Se recomienda no utilizar más del 3% del peso total de los agregados pétreos.

2.2.5.4 Mezcla de agregados

La mezcla de los agregados grueso, fino y el relleno mineral, en el ensayo de Equivalente de arena, deberán tener 40% o más del valor especificado.

Los agregados pétreos a emplearse deberán estar compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc. De tal manera que cumplan los requisitos de gradación establecidos en las especificaciones chilenas o ecuatorianas, presentadas a continuación:

TAMIZ		BANDA GRANULOMÉTRICA (*)			
		CHILENAS			
		LNV-17 ¹		IX-20 Modificada ²	
(pulg)	(mm)	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
1"	25,0	100	100	100	100
3/4"	19,0	70	100	100	100
1/2"	12,5	-	-	60	80
3/8"	9,5	35	60	-	-
N°4	4,75	15	35	2	35
N°8	2,36	5	20	-	-
N°10	2,00	-	-	0	6
N°200	0,075	0	4	0	2

* Porcentajes que pasan por el tamiz.

Tabla 2.3 Bandas Granulométricas propuestas en Chile³²

³² Método experimental para diseño de mezclas asfálticas abiertas, H. Rioja.

TAMIZ		BANDA GRANULOMÉTRICA (*)					
		ECUATORIANAS					
		A		B		C	
(pulg)	(mm)	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
3"	75,0	-	100	-	-	-	-
2 1/2"	63,0	95	100	-	100	-	-
2"	50,0	-	-	-	-	-	100
1 1/2"	37,5	30	70	35	75	75	90
3/4"	19,0	3	20	5	20	50	70
3/8"	9,5	0	5	-	-	-	-
N°4	4,75	-	-	-	-	8	20
N°8	2,36	-	-	0	5	-	-
N°100	0,15	-	-	-	-	0	5
N°200	0,075	-	-	-	3	-	-

* Porcentajes que pasan por el tamiz.

Tabla 2.4 Bandas Granulométricas recomendadas para la capa de reflexión de fisuras, de acuerdo al MS-17 del Instituto del Asfalto³³

2.2.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA EL RIEGO DE LIGA

El material bituminoso que se coloca sobre la superficie de un pavimento, con el fin de conseguir adherencia entre una capa asfáltica ya colocada y una nueva, es llamado Riego de Liga. Este material está constituido por asfalto diluido o emulsión asfáltica.

En caso de utilizarse cualquiera de los materiales deberán cumplir con los requisitos de la subsección 810-3 u 810-4 de las Especificaciones Generales para la Construcción de Camino y Puentes, MOP-001-F-2002, Tomo II, Sección 810.

2.2.7 GEOMALLA

Con el objeto de mitigar la reflexión de las fisuras y obtener un refuerzo adicional a la estructura planteada, se propone el empleo de Geomalla en Fibra de Vidrio, la cual deberá soportar la colocación y la temperatura de la mezcla densa en caliente.

³³ MOP-001-F-2002, Tomo I, Sección 406, Tabla 406-4.1 (Ministerio de Transportes y Obras Públicas)

Estas son geomallas flexibles que usualmente se utilizan entre capas de concreto asfáltico, con el fin de controlar agrietamientos por reflexión, agrietamientos por fatiga, y deformaciones plásticas en las capas asfálticas de las vías de alto y bajo tráfico.

Su principal función consiste en aumentar la resistencia a la tracción de la capa asfáltica y de garantizar bajo una carga vertical la distribución uniforme de los esfuerzos horizontales en una mayor superficie, lo cual se traduce en una vía sin fisuras por varios años.³⁴

2.3 METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

En nuestro país, la oferta de ligante asfáltico solo permite elegir entre dos alternativas, cemento asfáltico con penetración 60-70 ó cemento asfáltico con penetración 85-100. El criterio que se recomienda para la elección del ligante es un método que establezca una caracterización completa, valorando el comportamiento del ligante y teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Cohesión
- Susceptibilidad térmica
- Adhesividad árido-ligante
- Envejecimiento

2.3.1 COHESIÓN

Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente en su puesto las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo cántabro de pérdida por desgaste (Cántabro Húmedo) (Norma NLT - 362/92) es un procedimiento para determinar el deterioro de cohesión sobre las mezclas asfálticas de granulometría abierta, utilizando la Máquina de los Ángeles.

³⁴ www.pavco.com

2.3.2 ADEHESIVIDAD ÁRIDO-LIGANTE



Figura 2.4 Adhesividad Árido – Ligante³⁵

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. La norma ASTM D 3625 (Efecto del agua sobre mezcla asfáltica sueltas usando agua hirviendo), describe un ensayo rápido para poder visualizar la pérdida de adherencia en mezclas sueltas de agregados cubiertos con asfalto, sometiéndoles a la acción acelerada de agua hirviendo.

También se puede valorar este parámetro, mediante la Norma NLT – 166/92 (Adhesividad de los ligantes bituminosos a los árido en presencia del agua), la cual describe un procedimiento empírico que prueba la afinidad árido - ligante.

2.3.3 SECEPTIBILIDAD TÉRMICA

Los asfaltos son materiales termoplásticos, por lo que su consistencia depende de la temperatura a la que son sometidos y el tiempo de exposición.

La susceptibilidad a la térmica varía entre asfaltos de petróleo de distinta procedencia, aún si estos tienen el mismo grado de consistencia. Una forma de medir la susceptibilidad a la temperatura es a través de la curva Viscosidad – Temperatura, en la cual se puede evaluar el comportamiento del asfalto a distintas temperaturas. Además existe otro parámetro importante llamado Índice

³⁵ www.vialidad.gov.ar

de Penetración (IP), valor que se obtiene luego de realizar el ensayo de Penetración a 25 °C y el Punto de Ablandamiento.

2.3.4 ENVEJECIMIENTO

Con el tiempo el asfalto pierde sus propiedades de elasticidad, a causa de distintos factores externos, principalmente por el proceso de oxidación, el cual ocurre con más frecuencia durante la producción de mezclas asfálticas en caliente, ya que éstas son mezcladas a elevadas temperaturas y en películas delgadas que revisten las partículas de agregado, lo cual acelera el proceso de oxidación y endurecimiento.

El proceso de envejecimiento continúa después del tendido de la mezcla asfáltica a consecuencia de las condiciones medioambientales a las que se encuentra expuesta la mezcla.

Las pruebas de viscosidad y penetración, después de realizar los ensayos TFO (Prueba de Película Delgada en Horno) o RTFO (Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio), son realizados para medir el endurecimiento anticipado, del asfalto, durante la construcción y posteriormente durante el servicio del pavimento.

2.4 METODOLOGÍA DE DISEÑO DE MEZCLAS ABIERTAS

Las mezclas abiertas presentan diversos métodos de diseños que nos permiten evaluar su comportamiento, ya que debido a la peculiaridad de su estructura interna, estas mezclas han sido objeto de diversas investigaciones para profundizar, mejorar su uso y definir un procedimiento que nos ayude obtener el porcentaje óptimo de asfalto y los requerimientos que necesitan este tipo de mezclas, que presentan una granulometría discontinua.

Las metodologías que usualmente se utilizan son:

- RP (ORIGEN CHILE)
- TRACCIÓN INDIRECTA (ORIGEN BRASIL)
- CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA)

2.4.1 RP (ORIGEN CHILE)

En Chile se ha desarrollado un método denominado RP, en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por los Ing. Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P, a quienes se debe el nombre del método RP, ya que son las iniciales de sus apellidos.

Este procedimiento consiste en ensayar probetas de mezcla asfáltica abierta mediante la medición del esfuerzo a la penetración, a temperatura y a velocidad controlada. Estas probetas son fabricadas de acuerdo con el método Marshall, utilizando para este caso 45 golpes por cara y distintos porcentajes de ligante, tomando en cuenta que el contenido óptimo de asfalto es “aquel que presente el valor máximo de esfuerzo a la penetración”.

Para el ensayo, los autores especifican dejar enfriar las briquetas a una temperatura de 20°C, y posteriormente colocarlas de manera vertical en una prensa Marshall, donde son penetradas a una velocidad de 1mm/min por un pistón de acero de 50mm de diámetro y un largo de 105mm adaptadas a un aro dinamométrico de la prensa.

Al utilizar esta metodología, tenemos que fabricar una serie de probetas con diferentes contenidos de ligante, y utilizando una banda granulométrica abierta de acuerdo a las especificaciones exigidas, para luego realizar el ensayo de penetración.

El cálculo de esfuerzo se lo realiza considerando el valor medio entre el área del pistón y el área de la base de la probeta.

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde al porcentaje de ligante óptimo de la mezcla usado en obra.

2.4.2 TRACCIÓN INDIRECTA (ORIGEN BRASIL)

La determinación de la resistencia a tracción indirecta representa un parámetro mecánico que puede resultar una herramienta sumamente útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla.

En el laboratorio de caminos de la Universidad de Cataluña se ha estudiado la implementación del ensayo en el control de ejecución de capas asfálticas tradicionales, mediante un ensayo de sensibilidad de un ensayo y un estudio de correlación de los valores obtenidos en laboratorio y en testigos extraídos de numerosas obras.

De las conclusiones obtenidas ha surgido un criterio de aceptación de la mezcla bituminosa que permite evaluar su calidad mecánica y no solo su compacidad.

También se ha deducido que existe una correlación entre la densidad y la resistencia a tracción indirecta de la mezcla, y que esta última es un parámetro capaz de evaluar a la mezcla, con mayor sensibilidad que la obtenida mediante el uso de la compacidad, pues se ha demostrado que puede conseguirse la misma compacidad con temperaturas bajas y una elevada energía o con mayor temperatura y menor energía, resultando mayor la cohesión en este último caso.

A partir del análisis de estos resultados se ha recomendado valores mínimos a conseguir en cada una de las mezclas para estudiadas para establecer un FACTOR DE CALIDAD, en función de la diferencia entre la resistencia de la mezcla fabricada y la conseguida tras su extensión y compactación en obra. Este factor, varía con la calidad conseguida en obra, ya que cuanto menor sea este factor mayor es la calidad, y más semejanza hay entre la mezcla proyectada en laboratorio y el producto final.

El conocimiento de los valores de tracción indirecta, es una herramienta más el conocimiento, el único valor que se realiza a una capa terminada es determinar la densidad y compararla con la obtenida en la compactación Marshall.

2.4.3 CANTABRO (ORIGEN ESPAÑA)

Félix Pérez Jiménez y Carlos Kraemer, por el año de 1978 fueron quienes comenzaron a realizar trabajos para establecer una metodología de dosificación en laboratorio para mezclas, llegando a desarrollar dos ensayos:

- Cántabro, ensayo de pérdida por desgaste en la Máquina de los ángeles, para la caracterización mecánica.
- Permeámetro de carga variable LCS, para la caracterización hidráulica de porcentajes de vacío, ya sea en laboratorio o en campo.

El ensayo Cántabro puede realizarse tanto en estado seco, como en húmedo, simulando en laboratorio la acción abrasiva del tránsito y la influencia del agua, lo que permite el estudio y dosificación de estas mezclas.

La pérdida de peso de la probeta, respecto de su peso inicial, medido en porcentaje es el resultado del ensayo, tomando en cuenta que mientras mayor sea la calidad y el porcentaje de los componentes que constituyen la mezcla, la cohesión va a ser mayor, y las pérdidas por desgaste serán mínimas.

2.4.3.1 Cántabro Seco

La Norma NTL-352/86, describe el proceso que debe seguirse, empleando la máquina de los Ángeles. El procedimiento puede emplearse tanto en laboratorio, como para el control en obra. Se aplica en mezclas bituminosas fabricadas en caliente y de granulometría densa, cuyo tamaño es inferior a 25 mm. El ensayo es realizado a una temperatura de 25°C, lo cual permite valorar indirectamente la cohesión y trabazón, así como la resistencia a la desintegración de la muestra ante los efectos abrasivos del medio ambiente y el desgaste del pavimento originado por el tránsito.

2.4.3.2 Cántabro Húmedo

La Norma NTL-362/92, es un ensayo que nos permite valorar la pérdida de cohesión, que se produce por la acción del agua en la mezcla y el efecto que producen los ligantes modificados en la mejora de esta propiedad.

El procedimiento consiste en determinar la pérdida al “Cántabro Húmedo” de mezclas que han permanecido sumergidas en agua 4 días a 49 °C o 24 horas a 60°C. Pérdidas altas o un índice de aumento de las mezclas, respecto al ensayo del “Cántabro Seco” también alto será indicativo, de una falta de resistencia de la mezcla a la acción del agua.

Las recomendaciones más usuales para mezclas drenantes utilizadas en capas de rodadura establecen los siguientes valores máximos y mínimos:

- % de Huecos > 20%
- Pérdida del Cántabro Seco (25 °C) < 25%
- Pérdida al Cántabro tras inmersión (24 horas, 60 °C) < 35 %

La medición de permeabilidad se hace a través de un permeámetro de carga variable LCS, (NTL-327/88 – Permeabilidad in situ de Pavimentos drenantes con el permeámetro LCS). El ensayo consiste en medir el tiempo que demora una cierta cantidad de agua en evacuarse del tubo del permeámetro pasando a través de dos marcas, filtrándose en la mezcla. Estudios españoles han podido determinar correlaciones entre permeabilidad y tiempo de evacuación, y porcentaje de vacíos versus tiempo de evacuación. Si bien esta metodología fue diseñada para medir permeabilidad in situ de las mezclas drenantes, este permeámetro se utiliza también en laboratorio.

2.5 USOS Y APLICACIONES DE MEZCLAS ABIERTAS

Las mezclas abiertas generalmente son usadas como capa de base y/o como capa de rodadura ya que por su constitución abierta con muchos vacíos ejercen una función de resistencia generada por el rozamiento interno de su esqueleto mineral, lo que:

- Cuando funciona como capa intermedia o de base, esta tiene la función de impedir la aparición de fisuras en la capa superior, ya que por su granulometría gruesa, esta actúa como una capa de alivio reprimiendo el paso de las grietas desde las capas inferiores del pavimento antiguo hacia la nueva capa de rodadura.

- En cambio, cuando la mezcla abierta es colocada como una capa de rodado, esta tiene la función principal de permitir un eficiente drenaje del agua, y reducir los distintos deterioros del pavimento ocasionados principalmente por las aguas lluvias.

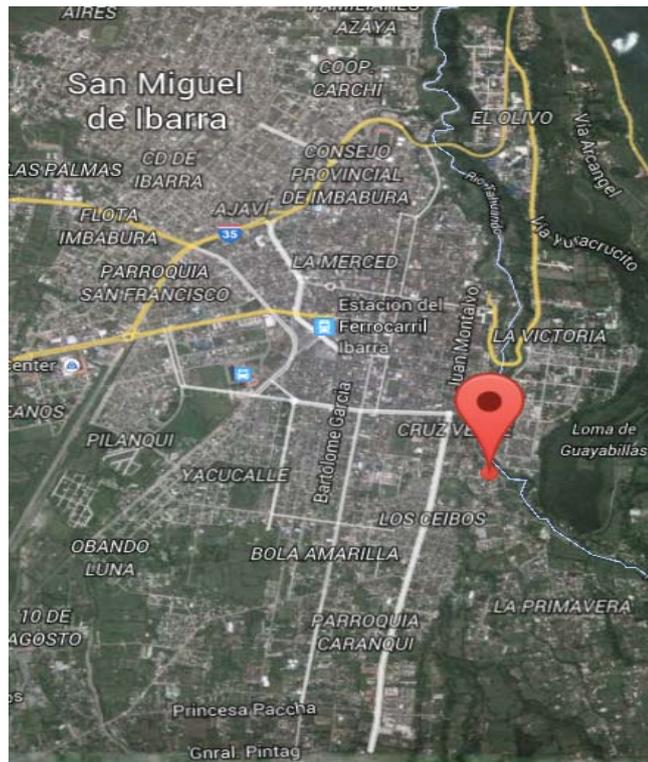
CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN CALIENTE COMO CAPA DE ALIVIO

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

En el capítulo II se detalló las especificaciones técnicas que debían cumplir los materiales que se utilizarán para este tipo de mezclas según las Especificaciones MOP-001-F-2002. Sin embargo, se utilizará como alternativa la gradación según especificaciones Chilenas (Tabla 1.7), ya que al funcionar como una capa intermedia es preferible utilizar bandas granulométricas más finas, para que al momento de colocar las capas superiores no se introduzca mezcla a través de los vacíos de la MAC y se formen desniveles en la capa de rodado.

3.1.1 AGREGADOS PÉTREOS



Fotografía 3.1 Ubicación de la Mina “Tahuando”, ubicada en las Provincia de Imbabura³⁶

Los materiales que se utilizarán para el diseño de la mezcla asfáltica abierta en caliente son áridos triturados provenientes de la Mina “Tahuando”, ubicada en el occidente de la ciudad de Ibarra, en la Provincia de Imbabura, los mismos que han sido sometidos a procesos de trituración para que cumplan con las especificaciones requeridas.

Tanto los materiales fino y agregado grueso de la mina fueron analizados y sometidos a diversos ensayos en laboratorio para poder determinar sus características mecánicas, los mismos que se presentan en el ANEXO A: Ensayos realizados a los agregados pétreos, resumidos en la Tabla 3.1.

³⁶ <https://www.google.com.ec/maps>

Ensayo	Norma Utilizada	Valor especificado	Valores Obtenidos	
			Mina Tahuando	
- Determinación de la degradación del árido grueso mediante el uso de la máquina de los ángeles	INEN 840	40% -	29	
- Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio	INEN 863	ÁRIDO FINO		
		Tipo de sulfato	Valor máx.	
		Sulfato de Magnesio	18%	9.2%
		ÁRIDO GRUESO		
		Tipo de sulfato	Valor máx.	
Sulfato de Magnesio	18%	1.2%		
- Plasticidad	INEN 692	4% -	NP	
- Materiales deletéreos	INEN 698	1% -	AGREGADO FINO : 0.00	
			AGREGADO GRUESO: 0.00	
- Adherencia con asfalto	AASHTO T-182/ ASTM D 3625	95% +	100%	
- Equivalente de arena	AASHTO T-176/ ASTM D 2419	40% +	56%	
- Peso específico	INEN 856 Y 857	-	ANEXOS	
- Porcentaje de partículas alargadas y achatadas (agregado grueso)	ASTM D 4791	10% -	0%	
- Partículas fracturadas mecánicamente (agregado grueso)	ASTM D 5821	85% + una cara fracturada 80% + dos caras fracturadas	100%	

Tabla 3.1 Propiedades Mecánicas de los Agregados

Las granulometrías que presentaron los materiales pétreos se determinaron por medio de la Norma INEN 696, y se obtuvieron los datos que se muestran en el ANEXO A: Ensayos realizados a los agregados pétreos, y que se exponen en la Tabla 3.2.

TAMIZ		MINA TAHUANDO	
		% QUE PASA	
(pulg)	(mm)	ARENA TRITURADA 3/8"	GRAVA 3/4"
1"	25,0	-	100,0
3/4"	19,0	-	99,6
1/2"	12,5	-	71,6
3/8"	9,5	100,0	31,9
N°4	4,75	84,3	2,9
PASA N°4			
N°8	2,36	63,7	-
N°10	2,00	48,4	-
N°30	0,425	36,3	-
N°50	0,297	26,8	-
N°100	0,150	18,3	-
N°200	0,075	12,6	-
< N°200			
TOTAL			

Tabla 3.2 Granulometría de los agregados fino y grueso

Se han obtenido fracciones de los agregados triturados de la mina, con cantidades diversas, las cuales al combinarse forman una curva granulométrica que mezclados en las proporciones de diseño darán como resultado una mezcla abierta en caliente que cumplan con un índice de vacíos acorde a lo especificado. En la "Mina Tahuando" las fracciones obtenidas fueron dos, y se resumen en la siguiente tabla:

FRACCION	TAMAÑO	%
1	PASANTE DE 3/4" RETENIDO EN 3/8"	75%
2	PASANTE DE 3/8"	25%

Tabla 3.3 Fracciones obtenidas de los agregados "Mina Tahuando"

Luego de realizar los respectivos ensayos granulométricos para definir las diversas fracciones de los agregados, se procede a realizar una combinación de la mezcla total de los áridos de acuerdo con las bandas especificadas, las cuales se muestran a continuación en la Tabla 3.4.

MinaTahuando: La siguiente tabla muestra una mezcla de agregados que cumple con una de las bandas propuestas para las mezclas Open - Graded.

TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL FRACCION:		PORCENTAJE DE APORTE		COMB.	ESPECIFICACION LNV - 17 ³⁷	
	3/4"	3/8"	25%	75%		MIN.	MAX.
			1	2			
1 "	100	100	25	75	100	100	100
3/4"	100	100	25	75	100	70	100
3/8"	100	32	25	23,9	49	35	60
No. 4	84	3	21	2,2	23	15	35
No.8	64	0	16	0,0	16	5	20
No. 200	13	0	3	0,0	3	0	4

Tabla 3.4 Granulometría combinada de los agregados "Mina Tahuando"

3.1.2 CEMENTO ASFÁLTICO



Fotografía 3.2 Muestreo in situ del cemento asfáltico

Fuente propia

³⁷ Mezclas asfálticas Open – Graded en Chile (ver pág. 96 vol II manual de Lab. Vial)

El asfalto utilizado es el que se produce en la refinería de Esmeraldas del tipo: AC-20 en el cual se utilizó KAOMIN 14, que es un aditivo cuyos componentes mejoran el recubrimiento de los agregados, asegura una compactación consistente, e incrementa la adherencia entre asfalto y agregados.

Por tratarse de una capa intermedia, no necesariamente se requiere el uso de polímeros como en una Mezcla Drenante, que por estar expuesta directamente al tráfico, necesita un polímero que incremente principalmente la cohesividad de la mezcla; por lo tanto en este estudio no se ha utilizado ningún tipo de polímero en la mezcla, ya que la capa de alivio funcionará como una capa de base intermedia. Las pruebas que se realizaron al ligante asfáltico están basadas en los requisitos encontrados en las normas MOP-001F-PRO (Normas ecuatorianas). Y fueron las siguientes: penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, punto de inflamación y viscosidad.



Fotografía 3.3 Muestreo in situ del cemento asfáltico

Fuente propia

Penetración.- El ensayo de penetración es una medida de consistencia, la cual está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25° centígrados.

El ensayo consiste en que una aguja normalizada, de 100 g de peso, se deja penetrar dentro de la muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que la aguja penetra en la muestra en 5 segundos es medida en décimas de milímetro

(0.1mm). El valor especificado según el MTOP es de 60 – 70 u 85 -100 décimas de milímetro.



Fotografía 3.4 Equipo para ensayo de penetración
Fuente propia

Punto de ablandamiento.- Los asfaltos no poseen un punto de fusión determinado sino que se ablandan gradualmente, en otras palabras, es la temperatura en que el asfalto cambia de un cuerpo semisólido a un fluido, este ensayo es importante para obtener el valor de índice de penetración y el incremento de temperatura para realizar el ensayo es de 5°C por minuto. El ensayo es conocido como el ensayo de anillo y bola; bajo condiciones especificadas se vierte betún a ensayar en un anillo, se acondiciona a cierta temperatura, se coloca en el soporte especialmente diseñada con una esfera de acero de 3,5 g de peso sobre ella, se calienta gradualmente a una velocidad determinada hasta que el asfalto por acción del peso de la esfera y de la temperatura se deforme hasta una distancia de una pulgada y en ese punto se registra la temperatura. Esta temperatura se conoce como punto de ablandamiento del betún.

Ductilidad.- La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto, antes de que se rompa en dos. La ductilidad de un cemento

asfáltico se mide con un ensayo tipo "extensión" para el que se moldea una probeta de cemento asfáltico en condiciones y medidas normalizadas. Se la lleva a la temperatura de ensayo de la norma, generalmente 25°C (77°F) y se separa una parte de la probeta de la otra a cierta velocidad, normalmente 5 cm por minuto, hasta que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra. La ductilidad del asfalto es la distancia (en centímetros) a la cual se rompe dicho hilo. El valor especificado según el MTOP es de 100 cm o más.



Fotografías 3.5 Equipo para ensayo de ductibilidad

Fuente propia

Punto de Inflamación.- El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame, ya que el asfalto, generalmente es calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad relativamente baja para que el material pueda ser bombeado. La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa abierta de Cleveland, en donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas. La temperatura a la cual se presentan destellos instantáneos de

vapores sobre la superficie se denomina Punto de Inflamación. El valor especificado según el MTOP es de 232 °C o más.



Fotografía 3.6 Equipo para para ensayo de punto de inflamación
Fuente propia

Viscosidad.- La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar la temperatura más alta en que el pavimento suele experimentar durante el servicio. La viscosidad se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt - Furol o en el ensayo de viscosidad cinemática. La viscosidad de un cemento asfáltico a las temperaturas usadas en el mezclado (normalmente 135 °C) se mide con viscosímetros capilares de flujo inmerso o viscosímetros Saybolt; la viscosidad absoluta, a las temperaturas altas en servicio (60 °C), generalmente se mide con viscosímetros capilares de vidrio al vacío.



Fotografía 3.7 Equipo para para ensayo de viscosidad

Fuente propia

Ensayos al residuo.- Para poder simular el envejecimiento del asfalto, se utiliza el ensayo de “Envejecimiento al horno en película fina rotativa”, el mismo que consiste en reproducir el efecto del aire y del calor sobre una película delgada del Ligante asfáltico, simulando el envejecimiento que este sufre durante los procesos de mezclado y colocación de las mezclas asfálticas.

Los ensayos a realizarse a la muestra envejecida son: pérdida de masa, penetración (25°C), ductilidad (25°C), y la viscosidad a 60 °C para medir el endurecimiento del material durante las operaciones de mezcla y colocación.





Fotografías 3.8 Equipo para para ensayos al residuo

Fuente propia

Luego de haber realizado los ensayos respectivos, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Ensayo	Valor especificado	Valores
- Penetración, 25°C, 100g, 5seg	60 +	65
- Punto de ablandamiento	-	48 °C
- Ductilidad	100 +	150 cm
- Punto de inflamación	232 +	256 °C
- Viscosidad, 60°C, Poises	1600 – 2400	2320 Poises
- Prueba sobre el residuo		
- Viscosidad, 60°C, Poises	10000 -	8313 Poises
- Ductilidad, 25°C, 5cm/min	50 +	51

Tabla 3.5 Especificaciones del cemento asfáltico utilizado en la MAC

3.1.3 ADITIVOS

En este tipo de mezcla se utilizará Kaomin 14, que es un aditivo que pretende mejorar las propiedades de la mezcla y proporcionar un buen desempeño.

KOMIN 14 ya se ha utilizado en mezclas asfálticas de carpeta y base y las ventajas que se ha obtenido son relativamente buenas, y son las siguientes:

La mezcla se hace menos susceptible a daños por fisuras o agrietamientos de la misma.

Se reduce las condiciones de vacíos a las condiciones normales de compactación.

Proporciona compatibilidad entre asfalto y agregado, y disminuye la susceptibilidad de la mezcla al daño causado por la humedad, haciendo que el efecto del agua sea casi nulo.

Disminuye las temperaturas de compactación de las mezclas a menor temperatura de la acostumbrada, evitando que el asfalto se oxide y de esta manera, conserve su ductilidad original.

La dosis utilizada es de 0.5% - 1% con respecto al asfalto, esta será determinada de acuerdo a ensayos en laboratorio al material pétreo, el cual será determinante para la dosificación del aditivo.

Por lo tanto, ya que es un aditivo que se ha venido utilizando, la dosis que se utilizará es de 0.5 %, el cual es suficiente para que la mezcla logre buenas propiedades.

3.2 CARTA DE VISCOSIDAD DEL ASFALTO

Para la elaboración de las briquetas se debe conocer las temperaturas de mezclado y compactación.

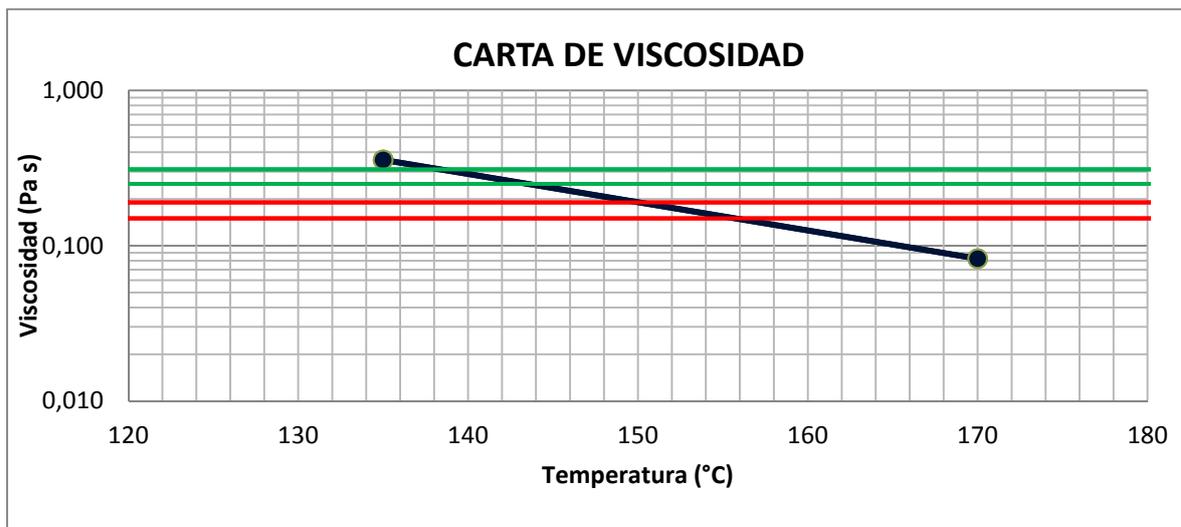


Tabla 3.6 Tabla de viscosidad asfalto AC-20

La carta de viscosidad AC – 20 fue suministrado por la Refinería de esmeraldas y la carta de viscosidad del asfalto fue realizada por un viscosímetro en el laboratorio central de Herdoiza Crespo Construcciones S.A pudiendo identificar los dos puntos necesarios para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla.

El procedimiento fue basado en la norma ASTM D 2493 “Viscosity - Temperature Chart for Asphalt” en la que se establece que el asfalto debe ser calentado a las temperaturas deseadas, para luego medir con el aparato la viscosidad en CentiPoisés.

Basado en la Norma NTL 159 “Resistencia a la Deformación Plástica de Mezclas Bituminosas empleando el Aparato Marshall” con equivalencia a la AASHTO 245, las temperaturas de mezcla y compactación serán las necesarias para que su viscosidad sea 170 ± 20 cst (85 ± 10 SSF) en el proceso de mezcla y de 280 ± 30 cst (140 ± 15 SSF) en el de compactación. Estas viscosidades son alcanzadas, según la carta de viscosidad del asfalto a las temperaturas de 156° y 141° C para mezclado y compactación respectivamente.

3.3 PREPARACIÓN Y ELABORACIÓN DE BRIQUETAS PARA EL ENSAYO DE RP

Las mezclas abiertas se diseñan a través de briquetas cilíndricas tipo Marshall confeccionadas como se describe en la Norma de ensayo NTL – 159 “Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marsall”. En general el número de mínimo de briquetas para fabricar es de 3 por cada porcentaje de asfalto que se vaya a utilizar. Así que se elaborará 3 briquetas para cada ensayo.

3.3.1 PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS

Las briquetas se fabrican individualmente con las distintas fracciones de áridos con los que se disponga para la composición de la mezcla. Estos áridos son secados en una estufa a una temperatura constante de 105° a 110° C.

Las temperaturas de mezclado debe ser la necesaria para obtener una viscosidad en el ligante de aproximadamente 500 cst, y en la compactación la temperatura suficiente para producir una viscosidad de 1500 cst.

Por tal motivo la temperatura que deberá tener la mezcla asfáltica al salir de la mezcladora estará en: **120° ± 5° C** y la temperatura a la que se deberá compactar la mezcla es de: **70° ± 5°**.

3.3.1.1 Elaboración de la mezcla

Se pesan sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades de cada fracción de los agregados necesarios para la fabricación de las probetas, la cual deberá tener una cantidad total de 1000 g. Cantidad necesaria para elaborar una probeta cilíndrica en un molde Marshall de (101.6 ± 0.1) mm de diámetro y (63.5 ± 2.5) mm de altura, según establece la norma NTL – 159.

Las distintas fracciones de árido grueso y fino necesarias para la mezcla se prepararán por separado, combinándolas posteriormente para la obtención de la granulometría proyectada.

DATOS REQUERIDOS	PESOS OBTENIDOS
Peso Total de los Aridos	1000 g
Peso de grava $\frac{3}{4}$ "	75%
Peso de arena triturada $\frac{3}{8}$ "	25%
Peso del asfalto (del peso total de los áridos)	2.5%, 3%, 3.5% y 4%

Tabla 3.7 Porcentajes de agregados y asfalto con los que se va a fabricar las briquetas

En el momento en que los agregados hayan adquirido una temperatura que sea máximo 30°C superior a la especificada para el mezclado, se procede a formar un cráter en el centro del recipiente que contiene los agregados y se añade la cantidad exacta de ligante calculada para cada briqueta.

En ese momento la temperatura de ambos materiales deben estar dentro de los límites especificados se inicia seguidamente el proceso de mezcla cuya duración está comprendida entre 1.5 y 2 minutos. Ver fotografías desde la 3.9 hasta la 3.12.



Fotografía 3.9 Secado de los agregados a una temperatura constante de 105° a 110° C

Fuente propia



Fotografía 3.10 Preparación de los agregados

Fuente propia



Fotografía 3.11 Proceso de mezclado del pétreo con el asfalto
Fuente propia



Fotografía 3.12 Control de temperatura de la mezcla
Fuente propia

Los pesos a utilizar para la elaboración de las briquetas son los contenidos en la Tabla 3.8.

CÁLCULO DE PESOS DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

% AC = 2.5%

	100		Parcial	Acumulado
3/4"	100			
3/8"	49	51	497 gr	497 gr
Nº 4	23	26	254 gr	751 gr
Nº 8	16	7	68 gr	819 gr
Pasa Nº 8	0	16	156 gr	975 gr

Total agreg 975 gr
 Total mezcla 1000 gr
 AC 2.5% 25 gr

% AC = 3.0%

	100		Parcial	Acumulado
3/4"	100			
3/8"	49	51	495 gr	495 gr
Nº 4	23	26	252 gr	747 gr
Nº 8	16	7	68 gr	815 gr
Pasa Nº 8	0	16	155 gr	970 gr

Total agreg 970 gr
 Total mezcla 1000 gr
 AC 3.0% 30 gr

% AC = 3.5%

	100		Parcial	Acumulado
3/4"	100			
3/8"	49	51	492 gr	492 gr
Nº 4	23	26	251 gr	743 gr
Nº 8	16	7	68 gr	811 gr
Pasa Nº 8	0	16	154 gr	965 gr

Total agreg 965 gr
 Total mezcla 1000 gr
 AC 3.5% 35 gr

% AC = 4.0%

	100		Parcial	Acumulado
3/4"	100			
3/8"	49	51	490 gr	490 gr
Nº 4	23	26	250 gr	739 gr
Nº 8	16	7	67 gr	806 gr
Pasa Nº 8	0	16	154 gr	960 gr

CÁLCULO DE PESOS DE MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS		
Total agreg	960 gr	
Total mezcla	1000 gr	
AC	4.0%	40 gr

Tabla 3.8 Pesos de materiales para la elaboración de briquetas

Los agregados son calentados a $150^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ y el asfalto es llevado a una temperatura de 150°C según lo indicado en la carta de viscosidad. Es necesario colocar la mezcla en la cocina mediante un calentamiento suave y uniforme para que durante el proceso de mezclado no se pierda temperatura y para facilitar el ligante con los pétreos.

3.3.1.2 Compactación de las briquetas

Las mezclas recién fabricadas se dejarán enfriar hasta que alcancen la temperatura de compactación necesaria. Con la mezcla a temperatura de compactación, se dispone a colocarlo en un mole Marshall (Ver fotografía 3.9) con las dimensiones especificadas en la Norma NLT 159. El molde y los pistones deben estar previamente calentados y engrasados ligeramente su interior con un trapo limpio. Además se debe colocar un papel parafinado, el cual evitará que la mezcla se pegue al martillo compactador y al fondo del molde.



Fotografía 3.13 Colocación de la mezcla en el molde Marshall

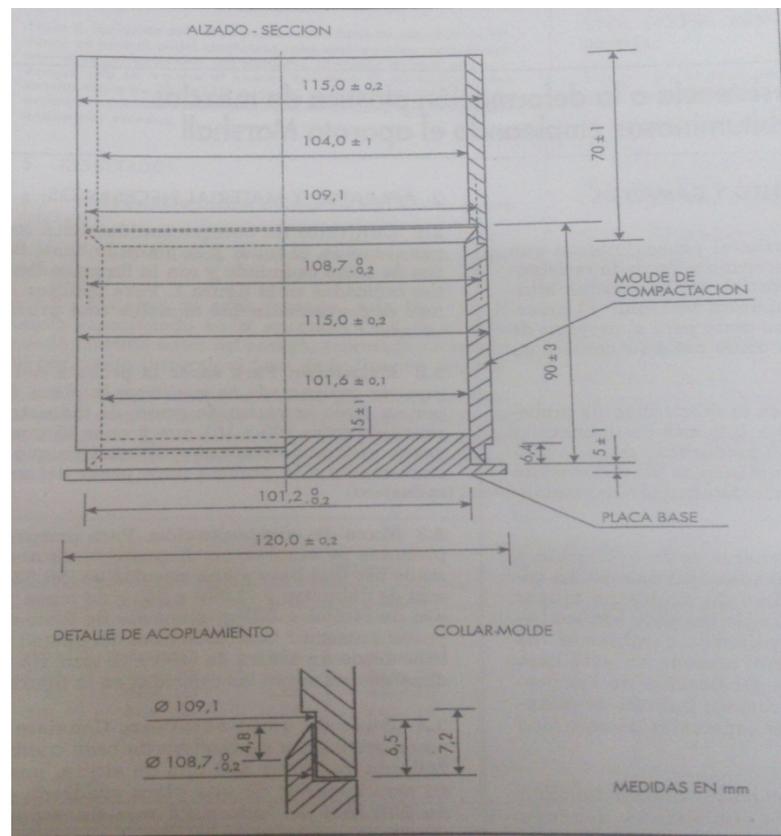


Figura 3.1 Conjunto de Compactación³⁸

Para la compactación se utiliza un dispositivo de acero llamado Martillo Marshall (Ver fotografía 3.10), el mismo que está formado por una base plana circular de (98.52 ± 0.15) mm de diámetro y (3960 ± 20) g, y un pisón de (4550 ± 20) g, montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de (4.60 ± 3) mm. Según la Norma NLT 159, el martillo deberá tener su forma y sus dimensiones de acuerdo a la Figura 3.2.

³⁸ Norma NLT 159 “ Resistencia a la Deformación Plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”



Fotografía 3.14 Martillo Marshall para compactar las briquetas

Fuente propia

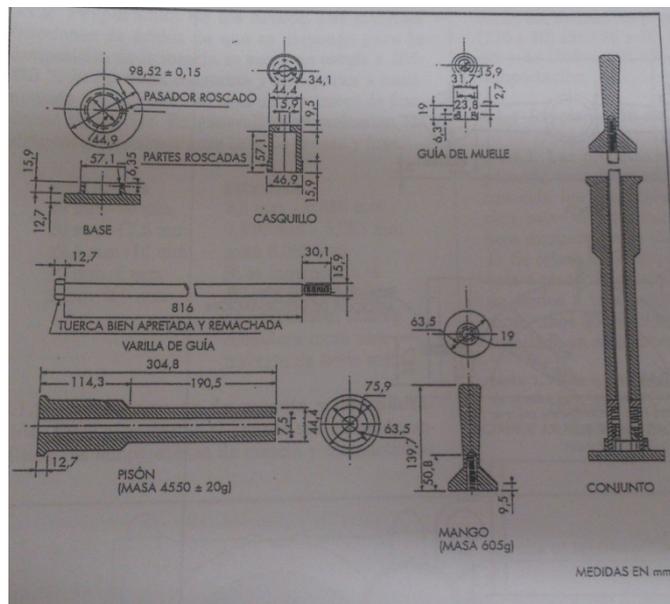


Figura 3.2 Maza de compactación para el aparato Marshall³⁹

³⁹ Norma NLT 159 “ Resistencia a la Deformación Plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall”

La mezcla asfáltica es colocada de tal manera que el material fino se encuentre en ambas caras de la briqueta para proporcionar un buen acabado.

Basados en la Norma NLT 159, la energía de compactación será de 50 golpes por cara distribuyéndola mediante 25 golpes aplicándolos con una espátula caliente, para luego añadir el resto de la mezcla seguido de otros 25 golpes, por último se realiza una compactación definitiva mediante la aplicación de una carga creciente, regulando lo más uniformemente hasta alcanzar una presión máxima de 21 MPa (210Kgf/cm²) manteniendo esta presión sobre la mezcla durante dos minutos.

Las probetas se dejan enfriar dentro del molde durante dos horas, y se las extrae mediante cualquier dispositivo suave, para luego ser ensayadas.



Fotografía 3.15 Compactación de Probetas asfálticas

Fuente propia



Fotografía 3.16 Probeta asfáltica compactada

Fuente propia

3.3.1.3 Peso y Volumen de las briquetas

Después de ser desmoldadas las briquetas se procede a pesar cada una de ellas a través de una balanza de 0.1 g de precisión. Además se toma cuatro medidas de diámetro y cuatro de altura de las briquetas tomadas por medio de un calibrador manual o mecánico (Ver fotografía 3.17).



Fotografía 3.17 Probeta asfáltica compactada

Fuente propia

Las medidas son necesarias para que con el promedio sea obtenido el volumen de la briqueta. Se muestra en la tabla los volúmenes y pesos de las briquetas con diferentes porcentajes de ligante, el volumen se obtiene mediante medidas geométricas de la altura y el diámetro de las briquetas.

<i>CÓDIGO DE LA MEZCLA</i>	<i>AC (%)</i>	<i>Nº DE PROBETA</i>	<i>PESO SECO (g)</i>	<i>h (cm)</i>	<i>DIAMETRO</i>	<i>VOLUMEN (cm³)</i>
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	1	987,3	6,39	101,60	512,92
		2	988,0	6,29	101,60	
		3	987,7	6,31	101,60	
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	4	994,8	6,35	101,60	511,29
		5	1002,3	6,03	101,60	
		6	996,2	6,55	101,60	
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	7	975,9	6,23	101,60	503,33
		8	983,9	6,09	101,60	
		9	997,3	6,31	101,60	
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	10	1016,4	6,19	101,60	502,20
		11	1007,3	6,30	101,60	
		12	998,3	6,09	101,60	

Tabla 3.9 Datos de las briquetas a ser ensayadas (Peso, altura y diámetro)

3.4 DENSIDAD Y ANÁLISIS DE VACIOS

Luego de haber desmoldado las briquetas y tan pronto se hayan enfriado a temperatura ambiente se determina la densidad y contenido de huecos a partir de la medida geométrica de su volumen y densidad relativa de los materiales, según la norma NLT 168 “Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas” o su equivalencia en la ASTM D – 3203 “Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures”.

3.4.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BULK DE CADA BRIQUETA

La densidad relativa aparente o densidad bulk se obtuvo mediante el procedimiento indicado en la norma ya mencionada, la cual consiste en dividir el peso de la briqueta por su volumen. El volumen se determina por medida geométrica de la briqueta mediante el diámetro y la altura de cada briqueta, ya que es una mezcla abierta; La densidad relativa es determinada mediante la obtención de su masa y la medida geométrica del volumen de la muestra, y aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{\Pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 * h}$$

Donde:

A= Masa en g de la muestra seca pesada en aire

d= diámetro de la muestra, en cm

h= altura de la muestra, en cm

En la tabla 1.18 se presentan las densidades bulk (Densidad relativa aparente) de las briquetas ensayadas para cuantificar la cohesión de la muestra.

CÓDIGO DE LA MEZCLA	AC (%)	Nº DE PROBETA	DENSIDAD (g/cm³)
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	1	1,925
		2	1,926
		3	1,926
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	4	1,946
		5	1,960
		6	1,948
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	7	1,939
		8	1,955
		9	1,981
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	10	2,024
		11	2,006
		12	1,988

Tabla 3.10 Densidades relativas aparentes de las briquetas para ensayarlas a cohesión

3.4.2 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA

Este procedimiento está basado en la norma ASTM D 2041-00 “Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures” (Método para determinar la Densidad Máxima de Mezclas Asfálticas sin compactar) y es realizado para cada porcentaje de asfalto.

Para realizar el ensayo RICE se prepara un peso aproximado de 1500 gr de mezcla asfáltica sin compactar. Una vez la muestra haya sido mezclada y mientras esta tibia, las partículas de la mezcla asfáltica tienen que ser separadas manualmente, teniendo cuidado de no fracturar el agregado, de modo que las partículas del árido fino no sean mayores a 4.75 mm.



Fotografía 3.18 Partículas Desmenuzadas

Fuente propia

Se obtiene un peso seco de la mezcla de 1500 g de la mezcla separada designando a este peso como “A”. Luego es colocada en un picnómetro (Ver fotografía 3.19) o en un matraz aforado. Se añade el agua suficiente a una temperatura de aproximadamente 25°C (77°F), para cubrir completamente la

muestra dentro del picnómetro. Se coloca en la cubierta del frasco un tapón que selle el picnómetro.



Fotografía 3.19 Picnómetro de metal con tapa transparente
Fuente propia

Se coloca el recipiente con la muestra y el agua en una superficie plana. Se inicia la agitación para comenzar inmediatamente a retirar el aire atrapado en la muestra, aumentando gradualmente la presión, mediante el manómetro de presión residual. El vacío debe lograrse en 10 min.

Inmediatamente después de remover el aire atrapado se procede a llenar completamente el picnómetro con agua destilada a 25° C, luego se seca el exterior del recipiente para posteriormente pesarlo y registrar su temperatura.

Determine la densidad máxima teórica mediante la siguiente expresión, aproximando al entero:

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

Donde:

A= Masa seca de la muestra suelta al aire

D= Masa del contenedor lleno de agua a 25° C

E= Masa del contenedor más agua a 25° C y más muestra

k= Factor de corrección del agua según T

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA (MEZCLA SUELTA) ASTM D 2041				
PESOS	AC= 2.5%	AC= 3.0%	AC= 3.5%	AC= 4.0%
A: Masa seca de la muestra suelta al aire (g) =	1500,00	1500,00	1500,00	1500,00
D: Masa del contenedor lleno de agua a 25°C (g) =	7447,0	7447,0	7447,0	7447,0
E: Masa del contenedor + agua + muestra a 25° (g)=	8364,10	8360,00	8353,40	8349,00
k: Factor de corrección del agua según T°=	0,997	0,997	0,997	0,997
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA G_{mm}=	2,566	2,548	2,520	2,501

Tabla 3.11 Gravedad Específica Máxima Teórica de las mezclas de acuerdo al % de AC

3.4.3 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACIOS DE CADA BRIQUETA

Los vacíos de una mezcla compactada representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el volumen teórico ocupado por el betún y los áridos. Esta diferencia, por unidad de volumen aparente es equivalente a la expresión:

$$\% H = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Donde:

%H= Porcentaje de Vacíos

G_{mm}= Gravedad Específica Máxima Teórica o Densidad Rice

G_{mb}= Densidad Relativa Aparente o Densidad Bulk

Para cada una de las briquetas se tiene los siguientes porcentajes de vacíos:

<i>CÓDIGO DE LA MEZCLA</i>	<i>AC (%)</i>	<i>Nº DE PROBETA</i>	<i>DENSIDAD (g/cm³)</i>	<i>RICE</i>	<i>% VACÍOS</i>
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	1	1,925	2,57	24,96%
		2	1,926		
		3	1,926		
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	4	1,946	2,55	23,41%
		5	1,960		
		6	1,948		
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	7	1,939	2,52	22,29%
		8	1,955		
		9	1,981		
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	10	2,024	2,50	19,80%
		11	2,006		
		12	1,988		

Tabla 3.12 Porcentaje de vacíos de briquetas ensayadas

3.5 DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE PENETRACIÓN “METODOLOGÍA RP”

Debemos recordar que esta metodología fue desarrollada en Chile en el Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, por el Ing. Héctor Rioja V. y Gabriel Palma P, los cuales idearon una experiencia de laboratorio con el objetivo de crear un ensayo que sea rápido, simple y de bajo costo para que pudiese determinar la cantidad óptima de ligante en la elaboración de mezclas asfálticas abiertas del tipo Open – Graded con las mejores características de funcionamiento. A pesar de ser una metodología empírica, este ensayo que ha sido denominado RP, se ha basado en conocimientos, experiencia y pruebas previas que han sido de verdadera utilidad en el diseño de mezclas asfálticas abiertas.

El ensayo consiste en la medición del esfuerzo de penetración, a temperatura y a velocidad controlada; para ello se fabricaron una serie de probetas, cada una con la misma granulometría, pero con distintos contenidos de ligante, de acuerdo con

la metodología Marshall, pero aplicando 45 golpes en su compactación, considerando que la mezcla óptima es “aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración”.

El tamaño de las probetas es de 2.5 pulgadas de espesor y 4 pulgadas de diámetro.



Fotografía 3.20 Briquetas antes del ensayo “RP”

Fuente propia

Las briquetas fueron enfriadas a una temperatura de 20° C y posteriormente se ubicaron en forma vertical en una Prensa Marshall (que deberá cumplir con las especificaciones de la Noma NLT 159) donde serán penetradas a una velocidad de 1 mm/min por un pistón de acero de 50 mm de diámetro y un largo de 105 mm adaptados al anillo de la prensa. A continuación se coloca la probeta en el centro de la placa de carga de la máquina de ensayo a compresión axial sin soporte lateral, a una velocidad de deformación constante equivalente a 1mm/min.



Fotografía 3.21 Prensa para rotura de probetas mediante el Método Marshall
Fuente Propia



Fotografía 3.22 Prensa para roturas de probetas mediante el método "RP"
Fuente propia

Se determinará la resistencia a compresión simple de cada probeta, dividiendo la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de la sección transversal del pistón.

CÓDIGO DE LA MEZCLA	AC (%)	Nº DE PROBETA	CARGA Máx. (lb/cm ²)	CARGA Máx. (N)	AREA PISTÓN	ESFUERZO Máx. (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	1	126	5365,94	1935,48	2,77	3,04
		2	141	6002,67		3,10	
		3	148	6299,66		3,25	
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	4	138	5875,36	1935,48	3,04	3,31
		5	175	7444,28		3,85	
		6	138	5875,36		3,04	
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	7	152	6469,32	1935,48	3,34	3,47
		8	160	6808,55		3,52	
		9	161	6850,95		3,54	
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	10	158	6723,76	1935,48	3,47	3,43
		11	142	6045,10		3,12	
		12	168	7147,66		3,69	

Tabla 3.13 Esfuerzos de Penetración de cada una de las probetas

Los distintos esfuerzos de penetración son graficados para cada tipo de mezcla y sus respectivos porcentajes de ligante asfáltico. De dicha gráfica se obtiene el máximo esfuerzo de penetración, que corresponde a un porcentaje de ligante, que vendría a ser el “Ligante de Diseño”. (Ver la tabla 3.14)

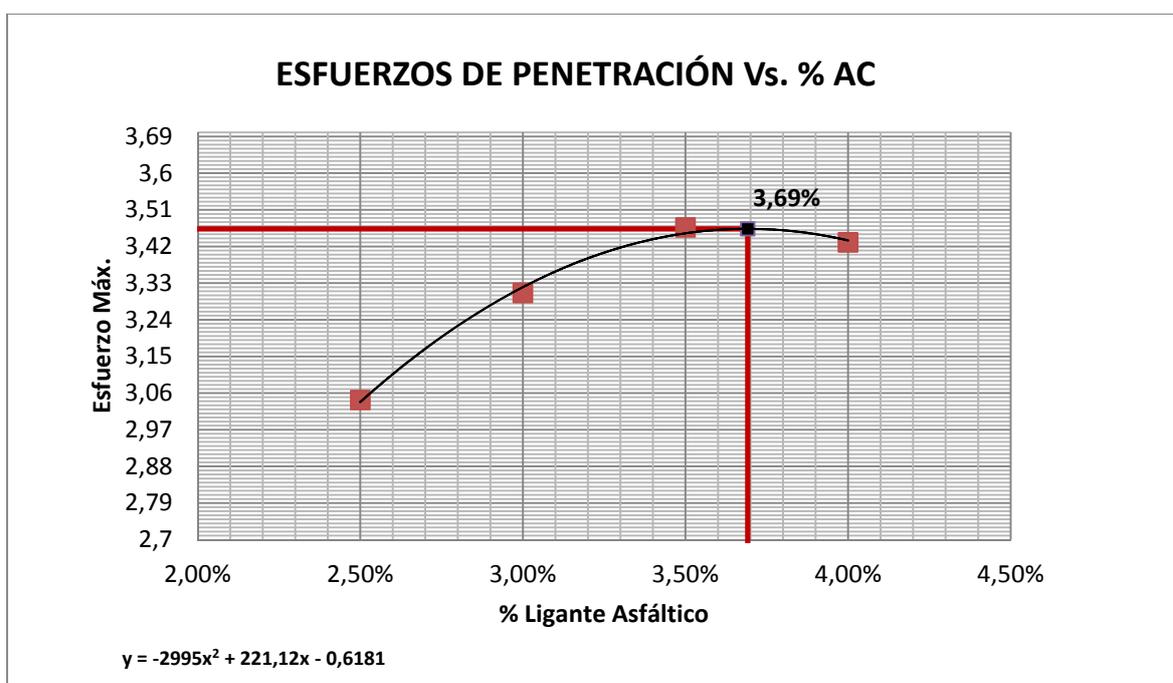


Tabla 3.14 Esfuerzos de Penetración Vs. % AC

En el gráfico podemos apreciar que los valores de esfuerzo muestran una resistencia máxima que luego disminuye en forma gradual.

La curva de esfuerzos máximos, presenta máximas resistencias a la penetración para un contenido de asfalto de 3.69%.

3.6 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL (ENSAYO BRASILEÑO) DE MEZCLAS BITUMINOSAS, METODOLOGIA “TRACCION INDIRECTA”

La determinación de la Resistencia a Tracción Indirecta en las mezclas bituminosas se la realizará según la Norma NLT 346 “Resistencia a compresión diametral (Ensayo Brasileño) de Mezclas Bituminosas, el cual ha resultado útil para evaluar la calidad del proceso constructivo de la capa asfáltica, valorando la cohesión de la mezcla.

El método de ensayo permite, por una parte definir un parámetro capaz de caracterizar la mezcla bituminosa, y por otra optimizar, en función del contenido del ligante asfáltico, la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante. Para el procedimiento se realizaron 3 briquetas, con diferentes contenidos de ligante asfáltico y se las sumergió 6 horas en un Baño María a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm$ y se utilizara cualquier tipo de prensa de compresión mecánica o hidráulica (La prensa Marshall, que se describe en la NLT 159, es la ideal para el ensayo) que proporcione una velocidad uniforme de $0,85 \pm 0,02\text{ mm/s}$ (50.8 mm/min), y una carga de 100 kN como mínimo.

El diámetro de las probetas será de 101.6 mm de diámetro y 63 mm de altura, y se elaborarán de acuerdo al procedimiento descrito en todo el numeral 3.3.

De igual manera los pesos, volúmenes, densidades Bulk, y % de Vacíos se calcularon de acuerdo en lo descrito en todo el numeral 3.4, y se muestran a continuación en la tabla 3.15.

<i>CÓDIGO DE LA MEZCLA</i>	<i>AC (%)</i>	<i>Nº DE PROBETA</i>	<i>PESO SECO (g)</i>	<i>h(mm)</i>	<i>DIAMETRO (mm)</i>	<i>VOLUMEN(cm3)</i>	<i>RICE (g/cm3)</i>	<i>% VACÍOS</i>	<i>DENSIDAD (g/cm³)</i>
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	13	982,1	62,80	102,3	518,10	2,57	25,66%	1,896
		14	993,6	63,20	101,5				1,918
		15	989,1	63,10	102				1,909
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	16	983,1	63,10	101,65	506,21	2,55	23,58%	1,942
		17	979,2	62,00	102,1				1,934
		18	994,9	62,03	102,1				1,965
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	19	1013,2	62,38	102,3	510,73	2,52	22,65%	1,984
		20	980,1	61,80	101,7				1,919
		21	993,4	62,23	102,3				1,945
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	22	1002,3	60,83	102,1	501,36	2,50	20,82%	1,999
		23	987,0	60,33	102,15				1,969
		24	989,3	62,55	102,1				1,973

Tabla 3.15 Densidades Bulk, Volúmenes, Pesos y Dimensiones de las briquetas

Luego de tomar las dimensiones correspondientes a cada briqueta, se sumergen en un Baño María durante 6 horas a una temperatura de 25°C, para posteriormente sacarlas de una en una, inmediatamente antes de ensayarlas. Se la sitúa directamente entre los platos del dispositivo de sujeción (Cabezal Lottman) con sus dos generatrices opuestas en contacto con los mismos. Luego se aplica la carga a la briqueta manteniendo la velocidad de deformación constante, hasta que se rompa la probeta.



Fotografía 3.23 Prensa Ensayo de Tracción Indirecta (Método Brasileño)
Fuente Propia

La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de una probeta, se calcula con la siguiente expresión:

$$R_{\tau} = \frac{2P}{\pi \times h \times d}$$

Donde:

R_{τ} = Resistencia a la compresión diametral, N. mm⁻² (Kgf/cm²)

P= Carga Máxima de Rotura, N (Kgf)

π = Constante 3.1416

h= Altura de la probeta, mm (± 0.1 mm)

d= Diámetro de la probeta, mm (± 0.1 mm)

Los resultados del ensayo de Tracción Indirecta se presentan en la tabla 1.24 y en la tabla 1.25 se presenta la Resistencia a Compresión Diametral Vs. % de Ligante asfáltico.

CÓDIGO DE LA MEZCLA	AC (%)	Nº DE PROBETA	CARGA Máx. (lb/cm ²)	CARGA Máx. (N)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL (N/mm ²)	PROMEDIO (N/mm ²)
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	13	55	2352,04	0,23	0,25
		14	67	2866,00	0,28	
		15	52	2223,59	0,22	
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	16	64	2737,49	0,27	0,27
		17	63	2694,65	0,27	
		18	65	2780,32	0,28	
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	19	89	3809,00	0,38	0,34
		20	69	2951,69	0,30	
		21	79	3380,25	0,34	
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	22	72	3080,24	0,32	0,31
		23	77	3294,52	0,34	
		24	67	2866,00	0,29	

Tabla 3.16 Resistencia a compresión Diametral de cada una de las probetas

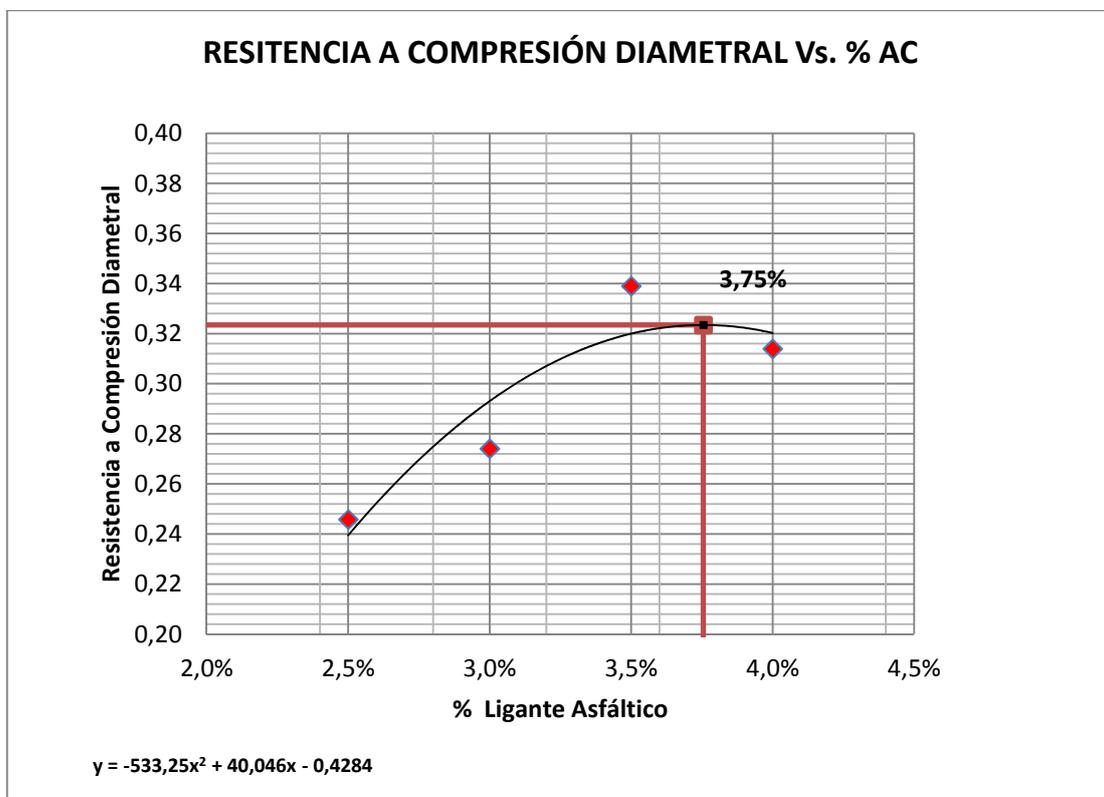


Tabla 3.17 Resistencia a Compresión Diametral Vs. % AC

3.7 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE

Se establecerá el contenido óptimo de asfalto de la mezcla; mediante la medición del esfuerzo a la penetración y a la tracción indirecta a temperatura y velocidad controlada de las probetas de mezcla asfáltica abierta que se elaboraron con distintos contenidos de ligante, considerando que la mezcla óptima es aquella que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración y de resistencia a la tracción indirecta, mismos que se presentan en las tablas 3.18 y 3.19.

Además, con los datos obtenidos en los apartados 3.5 y 3.6 se grafica la relación porcentaje de vacíos Vs. % de ligante asfáltico.

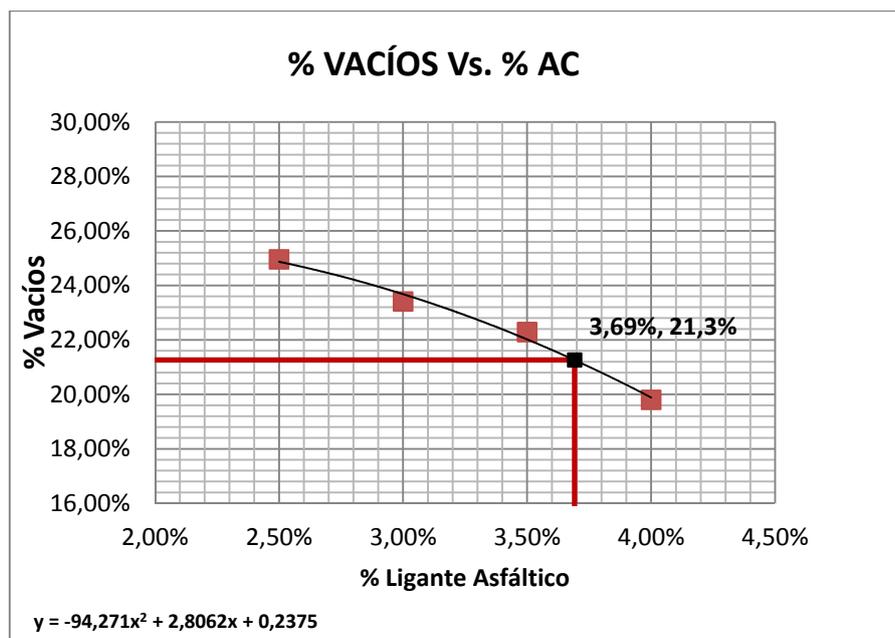


Tabla 3.18 % de Vacíos Vs. % AC (RP)

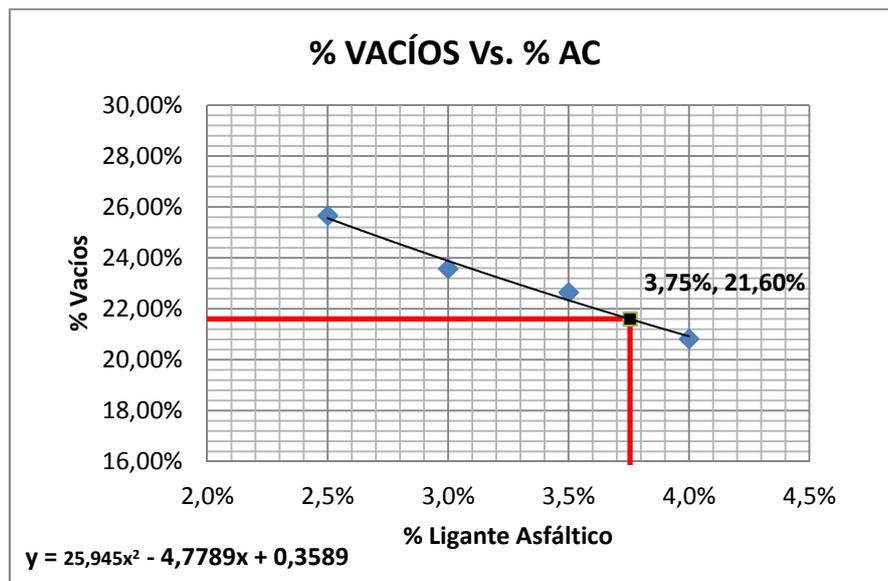


Tabla 3.19 % de Vacíos Vs. % AC (Tracción Indirecta)

El porcentaje óptimo de asfalto se obtuvo de acuerdo a los siguientes parámetros:

- 1.- El porcentaje de asfalto, de la tabla 3.18, que presenta el valor máximo de esfuerzo a la penetración.
2. El % de Vacíos de la tabla 3.19, se encuentra dentro de los parámetros mínimos y máximos establecidos.
3. El porcentaje de asfalto, de la tabla 3.19, que presenta el valor máximo de la resistencia a la compresión diametral.
2. El % de Vacíos de la tabla 3.19, se encuentra dentro de los parámetros mínimos y máximos establecidos.

	TRACCION INDIRECTA (METODO BRASILEÑO)	RP (METODO CHILENO)
% OPTIMO DE LIGANTE	3.69	3.75
% DE VACIOS	21.6	21.3

Tabla 3.20 Resultados obtenidos del % óptimo de ligante asfáltico mediante las metodologías “RP” y “TRACCION INDIRECTA”

Por lo que, partiendo de lo establecido que nos indica que el contenido óptimo de asfalto es aquel con el que se logra obtener el mayor esfuerzo a la penetración y se verifica con la resistencia a la compresión diametral, el contenido “ideal” de asfalto es **3.7%**.

3.8 ELECCIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE LIGANTE

En vista de lo que se establece en la normativa MOP-001-F-2002 y el manual del Instituto del Asfalto MS-17, el tamaño del agregado que se utiliza para elaborar la MAC imposibilita realizar un procedimiento de diseño, por lo tanto no existe un procedimiento de laboratorio sistematizado para determinar una fórmula de trabajo para este tipo de mezclas, y por lo tanto, según lo investigado en base las experiencias chilenas se planteó una alternativa (Metodología “RP”) que permita tener un mayor control en la ejecución de esta mezcla, y así aplicarlas a nuestra realidad.

El método “RP” permitió determinar en forma práctica alguna de las propiedades mecánicas en una mezcla abierta y determinar el porcentaje óptimo de ligante asfáltico. Sin embargo, este método aún se considera experimental, porque las pruebas realizadas con esta metodología aún no han sido normalizadas, por lo que este procedimiento es considerado por muchos como un “ensayo no válido”,

sin embargo, es prematuro juzgar cuál es su verdadero alcance y utilidad para el diseño de Mezclas Abiertas del tipo Open – Graded.

Por otra parte, los resultados obtenidos al aplicar esta técnica, mostraron ser idénticos a los datos obtenidos por el método de Tracción Indirecta, el cual como ya se ha mencionado es un Método Brasileño, lo cual es importante mencionar, ya que esto permite dar respaldo a la metodología “RP”.

Como conclusiones de la mezcla abierta (MAC) utilizando el método “RP” podemos mencionar, las siguientes:

- Su simplicidad y rapidez en la determinación del porcentaje óptimo de asfalto.
- El porcentaje óptimo de ligante asfáltico de la mezcla abierta es inversamente proporcional al porcentaje de vacíos de la misma.
- El contenido óptimo de ligante asfáltico de la mezcla abierta es directamente proporcional al esfuerzo máximo alcanzado por la mezcla.
- La temperatura del cemento asfáltico, al momento de la mezcla estará entre 115 ° C y 125 ° C y la temperatura de los agregados al momento de recibir el asfalto deberá estar entre 115 ° C y 125 ° C.
- La temperatura de compactación será de 70° C \pm 5° C.

CAPÍTULO 4

FABRICACIÓN, COLOCACIÓN Y MANTENIMIENTO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS

4.1 FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS EN CALIENTE (MAC)

4.1.1 CRITERIOS DE DOSIFICACIÓN

De acuerdo con el método "RP", se diseñaron una serie de probetas, cada una preparada de acuerdo con la Norma NLT 159, las cuales fueron ensayadas siguiendo un procedimiento específico considerando que la temperatura de mezclado debe ser la necesaria para obtener una viscosidad en el ligante aproximadamente de 500cst, y en la compactación la temperatura suficiente para producir una viscosidad de 1500 cst. Por lo que la temperatura de mezclado será de $120^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C y la temperatura al momento de colocarla deberá ser de $70^{\circ} \pm 5^{\circ}$ C.

La fórmula de trabajo que se obtuvo mediante la metodología propuesta "RP" y Tracción indirecta, se presenta en la tabla 4.1, donde se muestra la cantidad de materiales requeridos para fabricar una Tonelada de mezcla asfáltica en caliente (MAC), de acuerdo con los % de diseño.

PRODUCTO A FABRICAR			MATERIALES REQUERIDOS PARA LA PRODUCCION			
Descripción del Producto	Unidad de medida	Cantidad a producir	Descripción del material	Unidad de medida	Cantidad a usar	% De diseño
MAC	Ton	1	ARIDO GRUESO TMN 3/4 "	Kg	722,25	75,0%
			ARENA 3/8"	Kg	240,75	25,0%
			ASFALTO	Kg	37,00	3,7%
			KAOMIN 14	Kg	0,1850	0,50%

Tabla 4.1 Fórmula de trabajo para Elaboración de Mezclas Abiertas en Caliente (MAC)

Esta fórmula de trabajo será utilizada para producir una mezcla abierta en caliente que posea las proporciones establecidas de asfalto y agregado, y que cumpla con todas las especificaciones.

4.2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS

4.2.1 PLANTA ASFÁLTICA

Como ya se habló anteriormente hay dos tipos de plantas: las plantas de dosificación y plantas mezcladoras de tambor (Ver fotografía 4.1). La diferencia entre los dos tipos de planta es que las plantas de dosificación secan y calientan el agregado y después, en un mezclador separado, lo combinan con el asfalto en dosis individuales; mientras que las plantas mezcladoras de tambor secan el agregado y lo combinan con el asfalto en un proceso continuo y en la misma sección del equipo. Sin embargo, cualquier planta que se utilice para que producir una mezcla caliente necesita realizar ciertas operaciones, indispensables para la mezcla:

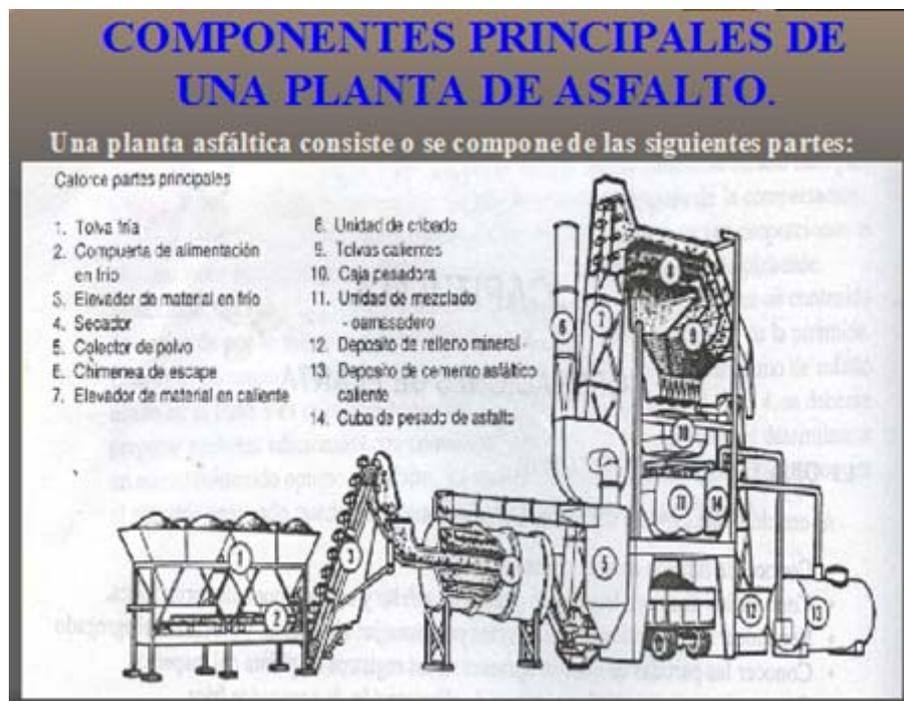
- Almacenamiento y alimentación en frío del agregado
- Secado y calentamiento del agregado
- Almacenamiento y calentamiento de asfalto

- Medición y mezclado de asfalto y agregado
- Carga de la mezcla final en caliente



Fotografías 4.1 Planta Mezcladora de Tambor

Fuente Propia



Componentes principales de una planta de asfalto⁴⁰

⁴⁰ www.lyroad.es/planta-deasfalto

4.2.2 ELEMENTOS DE TRANSPORTE

Consiste en camiones o volquetas de caja lisa, perfectamente limpia; la cual debe ser tratada con una lechada de agua y cal, una solución jabonosa o emulsión siliconada antiadherente. Por ningún motivo se debe rociar la caja con solventes derivados de petróleo, como por ejemplo, diésel.

La forma y la altura de la caja deben ser lo suficientemente grandes, para que la mezcla pueda acomodarse sin ningún problema.

Las volquetas deben estar provistas de una lona o cobertor adecuado que cubra lateral y frontalmente la mezcla y que se ajuste debidamente a la caja. Esta lona o cobertor no deberá permitir por ningún motivo la circulación de aire a través de la mezcla.

El tamaño del transporte debe ser suficiente para garantizar la cantidad de mezcla que debe transportarse según la producción acordada de cada proyecto.

4.2.3 EQUIPOS DE COMPACTACIÓN

Se deber usar compactadores de rodillos mecánicos autopropulsados, tener inversores de rodillo de acción suave, y estar dotados de dispositivos para la limpieza y humectación de las llantas durante la compactación.

Otro compactador que se puede usar es el rodillo de neumáticos, el cual tiene un eje perpendicular de dirección delantero y un eje motriz rígido trasero. Los dos ejes poseen 4 neumáticos, que influirán en la eficacia de la compactación.

La apertura del tráfico se la debe hacer, una vez que la mezcla este completamente fría para que los neumáticos de los vehículos no se adhieran a la mezcla.

4.2.4 EQUIPO PARA RIEGO DE LIGA

El riego consiste en la distribución-rociado- uniforme de la emulsión asfáltica de manera tal que el mismo sea uniforme. Estos riegos no requieren la utilización de agregados.

La forma más común de efectuar el riego de la emulsión asfáltica es utilizando un camión regador. Este regador debe estar provisto con una bomba para obtener un riego uniforme.

Es la aplicación de la emulsión asfáltica sobre un pavimento ya existente y se utiliza para obtener una buena adherencia con la nueva capa asfáltica a construir.

4.3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

4.3.1 PRESENTACIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO

La fórmula de trabajo debe cumplirse durante todo el proceso constructivo de la obra e incluir como mínimo las siguientes características:

- Se debe examinar y comprobar cada fracción del agregado y del filler que se va a utilizar en la mezcla. Además se debe determinar pesos específicos de cada uno de los agregados.
- Realizar la combinación granulométrica, incluido el filler.
- Verificar la dosificación del ligante asfáltico y del aditivo a incorporarse.
- Chequear las temperaturas máximas y mínimas de los agregados y del ligante asfáltico. En ningún caso se introducirá en la mezcladora el árido a una temperatura mayor en más de 10 °C que la temperatura del asfalto.
- La temperatura requerida de la mezcla al salir de la planta mezcladora.
- Verificar la temperatura mínima requerida de la mezcla al iniciar los trabajos de compactación.

4.3.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE Y RIEGO DE LIGA

La mezcla abierta deberá ser puesta en obra sobre el pavimento antiguo, previamente colocada una Geomalla de vidrio, que como se dijo anteriormente servirá como un refuerzo adicional a la estructura planteada.

Se aplicará como riego de liga una emulsión catiónica de corte rápido. La superficie por regar deberá ser limpiada cuidadosamente de polvo, barro seco, suciedad y cualquier material suelto que pueda ser perjudicial para la adherencia del riego, empleando el equipo aprobado. Se deberá ser especialmente cuidadoso en la limpieza de los bordes de la zona a tratar. Cuando la superficie que va a recibir el riego de liga sea de tipo asfáltico, se deberán eliminar previamente, mediante fresado, todos los excesos de ligante que puedan existir, y se repararán todos los desperfectos que puedan impedir una correcta adherencia.

4.3.3 FABRICACIÓN DE LA MEZCLA⁴¹

Las operaciones básicas en la fabricación la de MAC son las mismas, independientemente del tipo de planta. Estas operaciones incluyen:

1. Adecuada manipulación y almacenamiento de todos los componentes en la planta de mezclado.
2. Exacta dosificación y alimentación del agregado frío que se transporta hacia el secador.
3. Calentamiento y secado efectivos del agregado a la temperatura apropiada.
4. Eficaz control y recolección de polvo desde el secador.
5. Apropiada dosificación, alimentación y mezclado del asfalto con los agregados.

4.3.3.1 Almacenamiento y manipulación de agregados

El material se alimenta a la planta, por medio de tractor cargador, o bandas transportadoras, depositándose en las tolvas para materiales fríos. Estas tolvas están equipadas con compuertas ajustables para regular la caída del material al

⁴¹ http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/282/mi_919.pdf?sequence=1

alimentador de fríos para que caiga al depósito con una primera graduación granulométrica. De este depósito es llevado hasta la tolva de entrada al secador. Al entrar al secador el polvo puede ser reincorporado, en caso necesario, en el recipiente, en donde se une al material que sale del secador. Se bombea el cemento asfáltico, pasan al mezclador, en donde se homogeniza la mezcla y se descarga al camión que la ha de transportar. (Ver fotografía 4.2)



Fotografía 4.2 Stock de Agregados

Fuente propia

4.3.3.2 Control de Temperatura

Conseguir una temperatura adecuada de los agregados es fundamental para controlar la temperatura de la mezcla. El asfalto adicionado al agregado durante la mezcla asimila la temperatura de la mezcla inmediatamente. El excesivo calentamiento de los agregados durante el mezclado puede provocar un endurecimiento acelerado del asfalto. El agregado calentado a una temperatura inferior a la especificada, difícilmente se adherirá al asfalto, produciendo además,

una mezcla de difícil manipulación que no se deja extender. La temperatura de la mezcla Open - Graded se ubica en el entorno de la viscosidad 500 cts.

4.3.4 TRANSPORTE DE LA MEZCLA

La mezcla asfáltica se debe transportar en volquetas (Ver fotografía 4.3) desde la planta de producción asfáltica hasta la terminadora que se encuentra en el frente de obra requerido según lo indicado en el numeral 4.2.2.



Fotografía 4.3 Descarga de la mezcla asfáltica en caliente en una volqueta

Fuente propia

4.3.5 EXTENSIÓN DE LA MEZCLA

La extensión de las mezclas bituminosas en caliente se realiza normalmente por medio de maquinaria específica, empleando las llamadas extendedoras. Cuando el camión que transporta la mezcla desde la planta de fabricación llega a la obra, se aproxima marcha atrás hacia la extendedora hasta tocar su parte delantera, basculando entonces la caja para verter el aglomerante sobre la tolva de recepción.

Una vez depositado el producto sobre la extendedora, es distribuida transversalmente realizando a la vez un remezclado que corrige eventuales segregaciones.

La colocación y acabado definitivo es efectuada por la regla vibrante, que se apoya sobre la mezcla recién extendida.

La velocidad de la extendedora deberá ser constante para que asegure una buena regularidad superficial.



Fotografía 4.4 Extendido de la Mezcla Asfáltica

Fuente propia



Fotografía 4.5 Máquina Extendedora

Fuente propia

4.3.6 COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA⁴²

La compactación deberá comenzar, una vez extendida la mezcla, utilizando rodillos metálicos lisos y a la temperatura más alta posible para que pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos, y se continuará mientras la mezcla se halle en condiciones de ser compactada hasta lograr los niveles de densidad especificados. El número de pasadas deberá ser el establecido durante la fase de experimentación y será lo suficientemente bajo para prevenir sobre compactaciones que reduzcan el volumen de aire en la mezcla. La compactación se realizará longitudinalmente de manera continua y sistemática. Deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso, hasta que la superficie total haya sido compactada. Si la extensión de la mezcla se ha realizado por

⁴² http://app.idu.gov.co/espec_tecnicas/Capitulo_5/514-11.pdf

franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos ciento cincuenta milímetros (150 mm) de la anterior. Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, y sus cambios de dirección se harán con suavidad sobre la mezcla ya compactada. Los elementos de compactación deberán estar siempre limpios y, si fuera preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua. La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo, y se deberán evitar al máximo las correcciones mediante procedimientos manuales debido a la aspereza de la mezcla.



Fotografía 4.6 Compactación de la Mezcla

Fuente propia



Fotografía 4.7 Compactación de la Mezcla en curvas peraltadas

Fuente propia

4.3.7 JUNTAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Todas las juntas deberán presentar la misma textura, densidad y acabado que el resto de la capa compactada. Las juntas entre pavimentos nuevos y viejos, o entre trabajos realizados en días sucesivos, deberán cuidarse con el fin de asegurar su perfecta adherencia. A todas las superficies de contacto de franjas construidas con anterioridad, se les aplicará manualmente una capa uniforme y ligera de riego de liga antes de colocar la mezcla nueva, dejando curar suficientemente la emulsión aplicada.

Se debe procurar que las juntas transversales de capas superpuestas guarden una separación mínima de 1,5 m y de 0,15 m para las longitudinales.

Las juntas transversales se deben compactar transversalmente, disponiendo los apoyos adecuados fuera de la capa para el desplazamiento del rodillo. Además las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes se deben distanciar en más de 5 m.



Fotografía 4.8 Juntas Longitudinales

Fuente propia

4.3.8 APERTURA AL TRÁNSITO

Debido a su bajo contenido de asfalto y a la posibilidad de desintegración bajo la acción de las cargas del tránsito, no se permitirá que la mezcla compactada sea sometida a la circulación de vehículos. El Constructor deberá tomar las disposiciones necesarias para que se cumpla esta instrucción y organizará su plan de trabajo de manera que la capa superior, de gradación densa, semidensa o gruesa, según lo establezca el proyecto, se construya a la mayor brevedad.

4.4 CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Se deben tomar un mínimo de dos (2) muestras de mezcla asfáltica a la descarga del mezclador, y con ellas efectuar ensayos acorde con el plan de calidad adoptado. Las muestras de la mezcla asfáltica deben ser tomadas diariamente y con ellas efectuar los siguientes ensayos:

4.4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Las tolerancias admisibles, en más o en menos, respecto a la granulometría de la fórmula de trabajo, serán las indicadas en la tabla 4.2, siempre que se verifique la discontinuidad granulométrica siguiente:

ANÁLISIS GRANULOMETRICO (ASTM C136 Y C117)							
TAMIZ (pulg)	1"	3/4"	3/8"	#4	#8	#200	P #200
TAMIZ (mm)	25,00	19,00	9,50	4,75	2,36	0,075	FONDO
PESO RET. ACUMULADO (gr)	0,0	0,0	715,0	1174,0	1287,0	1589,0	1588,7
% EN PESO RETENIDO	0	0	45	74	81	100	100
% PASA	100	100	55	26	19	0	0
BANDA DE TRABAJO	MIN.	100	70	35	15	5	0
	MAX.	100	100	60	35	20	4

Tabla 4.2 Análisis granulométrico

4.4.2 DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE LIGANTE ASFÁLTICO

Primero se controla el aspecto de la mezcla, y se mide su temperatura en cada elemento de transporte.

Se determina el porcentaje de cemento asfáltico (Ver tabla 4.3) y granulometría de los áridos recuperados, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\%C.A. = \frac{W3}{W1} \times 100 - W4$$

DETERMINACION CUANTITATIVA DEL LIGANTE ASGFALTICO POR IGNICION (AASHTO 308-97)	
W1: Masa de la porción de ensayo (g)	1660,00
W2: Masa final después de la extracción (g)	1588,70
W3: Masa perdida del asfalto en el horno de ignición (g)	71,30
W4: Factor de corrección de ACF constante del horno (%)	0,53%
CONTENDO DE LIGANTE ASFALTICO (%)=	3.77

Tabla 4.3 Determinación cuantitativa de ligante asfáltico por ignición

4.4.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA (RICE)

Después de realizar el cuarteo correspondiente se toma una parte de la muestra y se procede a determinar la gravedad específica máxima teórica mediante el ensayo RICE. (Ver tabla 4.4)

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

GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA (AASHTO T 209 - 08)	
A: Masa seca de la muestra suelta al aire (g) =	1500,00
D: Masa del contenedor lleno de agua a 25°C (g) =	7424,00
E: Masa del contenedor + agua + muestra a 25° (g)=	8326,00
k: Factor de corrección del agua según T°=	0,9971
GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA G_{mm}=	2,501

Tabla 4.4 Gravedad específica máxima teórica

4.4.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK COMPACTADAS

Se debe realizar el moldeo de 3 briquetas Marshall, para realizar el cálculo de la gravedad específica Bulk. (Ver tabla 4.5)

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (HMA) COMPACTADAS						
PROBETA No.	W (g)	DIMENSIONES		VOL	Gmb	Gmb
	A (Aire)	ϕ (mm)	h (mm)	(cm ³)		Prom.
1	1.078,0	102,00	68,00	555,6	1,940	1,952
2	1.151,0	102,00	72,00	588,3	1,956	
3	1.137,0	102,00	71,00	580,2	1,960	

Tabla 4.5 Gravedad específica Bulk compactadas

4.4.5 RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN “METODO RP”

Luego de realizar el moldeo de 3 briquetas Marshall y de haber calculado la gravedad específica Bulk, con las mismas briquetas se procede a calcular el esfuerzo a la penetración mediante el método “RP”. (Ver tabla 4.6)

RESISTENCIA A LA PENETRACION			
"RP"			
CARGA MAX	AREA PISTON	ESFUERZO	PROM.
(N)	(mm ²)	(MPa)	
10.925	1.935,48	5,645	5,288
10.004	1.935,48	5,169	
9.773	1.935,48	5,049	

Tabla 4.6 Resistencia a la Penetración

4.4.6 RESUMEN DE RESULTADOS

A continuación en la tabla 4.7 se hace un Resumen de resultados de los ensayos a realizarse durante el control de calidad de las mezclas asfálticas en caliente utilizadas como capa de alivio.

RESUMEN RESULTADOS						
Parámetro	Símbolo	Resultado	Requerimiento		Unidades	Aceptación
			Mín.	Máx.		
Contenido Ligante Asfáltico	AC	3,74	3,3	4	%	OK
Vacios mezcla	Va	21,95	16	27	%	OK
Grav. Max. Teórica	Gmm	2,501	-	-	g/cm ³	
Grav. Esp. Bulk	Gmb	1,952			g/cm ³	
Esfuerzo	-	5,29	-	-	Mpa	

Tabla 4.7 Resumen de Resultados

4.5 MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS ASFALTICOS (CAPA DE ALIVIO)

Se tomarán muestras de tamaño representativo del material colocado y compactado (ver fotografía 4.9) para verificar su calidad mediante el ensayo de granulometría y ensayos al asfalto recuperado. Estas muestras se tomarán en sitios y a intervalos de tiempo aleatorios, según lo determine el contratista, a más tardar una semana después de colocada la mezcla asfáltica, y se verificará espesores y un estado visual de la mezcla.



Fotografía 4.9 Núcleos extraídos

Fuente propia

Por ser una capa intermedia, la MAC no necesita un mantenimiento específico, simplemente se espera que la capa cumpla el objetivo requerido, el cual es la mitigación de las fisuras de un pavimento antiguo hacia una nueva capa de pavimento, el mismo que estará colocada encima de la MAC.

Partiendo de eso se debería hacer un seguimiento de la vía cada cierto tiempo y verificar visualmente si existe presencia de fisuras, y de ser así, extraer núcleos del pavimento para evaluar las posibles causas de su deterioro.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

De los trabajos realizados tanto en laboratorio, anotamos las siguientes conclusiones:

1. Las normas ASTM posee estándares de diseño de mezclas asfálticas con porcentaje de vacíos mayores al 12%, pero fueron utilizadas para caracterizar los agregados pétreos y el ligante asfáltico.
2. Las normas españolas NTL han sido de base internacional para muchos países que han regulado el uso y fabricación de estas mezclas, tales como en Colombia y Chile, y por ende han sido fundamentales en la elaboración de esta tesis.
3. Se tomaron muestras de la mina Tahuando, agregados, que cumplieron con todas las especificaciones técnicas exigidas por las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-f-2002.
4. La granulometría de los agregados es muy importante para el diseño de las mezclas, ya que de eso dependió el porcentaje de vacíos requeridos en esta mezcla.

5. El porcentaje de 3,7, arroja un porcentaje de vacíos mayor al 20%. Lo que es correcto ya que según el método "RP" el porcentaje de ligante debe ser mayor al 3% y el porcentaje de vacío mayor al 16%.
6. El método "RP" utiliza parámetros semejantes al método Marshall establecida en la Norma NLT 159.
7. La capa de alivio no trabaja sola, sino que se trata de un sistema de tres capas que trabajan en conjunto: Capa de alivio, capa de mezcla densa y finalmente la capa de rodadura.
8. Dada la granulometría de las MAC es necesario la colocación de una base asfáltica previo la colocación de la carpeta de rodadura; la capa de base asfáltica impide la penetración de finos de la mezcla densa, impide también el corrimiento de la MAC en pendientes longitudinales fuertes debido a su reducida cohesión; y, por otro lado su colocación aporta al número estructural del paquete.
9. La mezcla abierta con tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " ha permitido realizar un plan de control de calidad y establecer parámetros de cumplimiento para evaluar cada uno de los procesos de ejecución (producción, tendido y compactación).

5.2 RECOMENDACIONES

- 1 De la experiencia realizada, se recomienda aplicar el método “RP” para diseñar la capa de alivio (mezcla abierta en caliente MAC) la cual servirá como alternativa de rehabilitación de pavimentos que se encuentran fisurados.
- 2 Una de las recomendaciones de mayor importancia en el diseño de mezclas asfálticas abiertas en caliente, es verificar mediante ensayos de laboratorio la buena calidad de los materiales empleados, los cuales deberán cumplir con las especificaciones requeridas.
- 3 Ya que el método “RP” está basada en una metodología empírica, es recomendable investigar otra manera de verificación para poder comprobar la veracidad de los resultados.
- 4 Para pavimentos flexibles se recomienda usar capas de alivio con agregados de tamaño máximo de 1”.
- 5 Las bandas granulométricas especificadas en la tabla 406-4.1 de MOP-001-F-2002, y de acuerdo al Instituto del Asfalto, son de uso exclusivo para rehabilitar pavimentos rígidos con el fin de evitar la reflexión de las juntas de dilatación de las losas de hormigón, Por tal motivo no se recomienda usar las granulometrías de esa tabla para el diseño de la MAC.

BIBLIOGRAFÍA

- PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE – SERIE DE MANUALES No. 22 (MS-22) Construcción – ASPHALT INSTITUTE
- APROBACION DE LA NUEVA EDICION DE LAS NORMAS DE ENSAYO DEL CENTRO DE ESTUDIOS CARRETERAS Y DEL LABORATORIO DE GEOTECNIA DEL CEDEX – NORMAS ESPAÑOLAS
- ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES MOP-001-F-2002 - TOMO I
- TESIS DE MEZCLAS ASFALTICAS DRENANTES EN EL SALVADOR:
<http://ri.ues.edu.sv/485/1/10136397.pdf>
- PARÁMETROS ESTRUCTURALES Y SUPERFICIALES,- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL- LEMaC- INVESTIGACIONES VIALES- AGOSTO 2002
- DISEÑO RACIONAL DE PAVIMENTOS- FREDDY ALBERTO REYES LIZCANO- CEJA (CENTRO EDITORIAL JAVERIANO)- Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería
- Especificaciones de MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS EN CALIENTE –
http://app.idu.gov.co/espec_tecnicas/capitulo_5/514-11.pdf
- NORMAS ASTM
- “RP” METODO EXPERIMENTAL PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS -
http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/documents/investigacion/inv9_mezclasasfalticasabiertas.pdf
- MEZCLAS ASFALTICAS OPEN – GRADED EN CHILE
http://www.asfaltotecnica.cl/documentos/las_mezclas_abiertas.pdf

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO A

Ensayos Realizados en Laboratorio

Determinación del Porcentaje de Caras Fracturadas

Ensayo de Equivalente de Arena

Ensayo de Abrasión

Determinación de Partículas Alargadas y Atachadas

Solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de magnesio

Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y absorción del árido fino (Agregado pasante del # 200)

Determinación de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y absorción del árido fino (Agregado pasante # 4)

Análisis granulométrico de los agregados por tamizado

Combinaciones granulométricas

Propiedades de la Mezcla Asfáltica Abierta en Caliente (MAC) Método Brasileño
"Tracción Indirecta"

Propiedades de la Mezcla Asfáltica Abierta en Caliente (MAC) Método Chileno
"RP"

Control de Mezclas Asfálticas Abiertas en Laboratorio

Propiedades del Cemento Asfáltico

ANEXO B

Normas y especificaciones

NLT – 159/86 Resistencia a la Deformación plástica de mezcla bituminosas empleando el aparato Marshall

NLT – 168/90 Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas

NLT – 161/84 Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas

NLT – 346/90 Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas

ASTM D – 4402-06 Método Superpave para medir la viscosidad mediante el viscosímetro rotacional Brookfiel

AASHTO – 308-97 Determinación cuantitativa del ligante asfáltico por ignición

ASTM D – 2041 Método para determinar la densidad máxima de mezclas asfálticas sin compactar

AASHTO T – 30 Método para análisis granulométrico de áridos provenientes de extracción

AASHTO R12-85 Método de diseño de mezclas asfálticas abiertas

LNV 17 Asfaltos: Método de diseño de mezclas asfálticas abiertas

ANEXO C

Fichas Técnicas

Kaomin 14 – Aditivo promotor de adherencia para mezclas asfálticas en caliente y en frío

Ubicación de Fuentes de Materiales

ANEXO A

DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

.OCALIZACION: Provincias de Imbabura

MUESTRA: Agregado grueso TMN 3/4"

DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando

NORMA: ASTM D 5821

TOTAL DE AGREGADO CON UNA CARA FRACTURADA (%)

TAMIZ		Peso Muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	Material con caras fracturadas (%)	Granulometría (%) retenido	Promedio de caras fracturadasS (%)
PASA	RETIENE					
1½"	1"	2000	820,2	41,0	19,2	7,9
1"	¾"	1500	595,4	39,7	21,1	8,4
¾"	½"	1200	493,4	41,1	24	9,9
½"	⅜"	300	112,2	37,4	9,2	3,4
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON UNA CARA FRACTURADA (%) =						29,6

TOTAL DE AGREGADO CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS (%)

TAMIZ		Peso Muestra (g)	Peso material con caras fracturadas (g)	Material con caras fracturadas (%)	Granulometría (%) retenido	Promedio de caras fracturadasS (%)
PASA	RETIENE					
1½"	1"	2000	1970,2	98,5	19,2	18,9
1"	¾"	1500	1391,2	92,7	21,1	19,6
¾"	½"	1200	1186	98,8	24	23,7
½"	⅜"	300	271,5	90,5	9,2	8,3
PORCENTAJE DE PARTÍCULAS CON DOS O MÁS CARAS FRACTURADAS (%) =						70,5

RESULTADOS	CON UNA O MÁS CARAS DE FRACTURA	100
	CON DOS CARAS FRACTURADAS	70,5

ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA

LOCALIZACION: Provincias de Imbabura

DESCRIPCION: Arena de trituración Mina Tahuando

NORMA: ASTM D 2419/AASHTO T 176

MUESTRA No.	LECTURA DE ARCILLA (Pulg)	LECTURA DE ARENA (Pulg)	EQUIVALENTE DE ARENA (%)
1	5,50	3,10	57,00
2	5,70	3,10	55,00
3	5,60	3,00	54,00
PROMEDIO			56%

ENSAYO DE ABRASION

PROYECTO: Ibarra-Rumichaca
LOCALIZACION: Provincias de Imbabura y Carchi
FECHA: 23-10-13
MUESTRA: Agregado grueso para mezcla asfáltica
NORMA: INEN 860

RESULTADOS:	
GRADACION TIPO:	C
MASA INICIAL (g):	5000,3
Retenido Tamiz No. 12 después de 500 revoluciones (g):	3829,9
PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES (g)	1170,4
% PERDIDA DE LAS 500 REVOLUCIONES :	23,4

OBSERVACIONES:

DETERMINACION DE PARTICULAS ALARGADAS Y ATACHADAS

LOCALIZACION: Provincias de Imbabura
 MUESTRA: Agregado grueso TMN 3/4"
 DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando
 NORMA: ASTM D 4791

PARTÍCULAS ALARGADAS

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTÍCULAS ALARGADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS ALARGADAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS ALARGADAS
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	5	100	0	0	0,00
¾"	½"	16	100	0	0	0,00
½"	⅜"	9	100	0	0	0,00
⅜"	Nº - 4	24	100	0	0	0,00
PORCENTAJE TOTAL DE PARTÍCULAS ALARGADAS						0,00

PARTÍCULAS PLANAS

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTÍCULAS PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS PLANAS
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	5	100	0	0	0,00
¾"	½"	16	100	0	0	0,00
½"	⅜"	9	100	0	0	0,00
⅜"	Nº - 4	24	100	0	0	0,00
PORCENTAJE TOTAL DE PARTÍCULAS PLANAS						0,00

PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS

Nº DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	Nº DE PARTÍCULAS EN CADA FRACCIÓN ANTES DEL ENSAYO	Nº DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS EN CADA FRACCIÓN	% DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS
PASA	RETIENE					
2"	1½"					
1½"	1"					
1"	¾"	5	100	0	0	0,00
¾"	½"	16	100	0	0	0,00
½"	⅜"	9	100	0	0	0,00
⅜"	Nº - 4	24	100	0	0	0,00
PORCENTAJE TOTAL DE PARTÍCULAS ALARGADAS Y PLANAS						0,00

SOLIDEZ DE LOS ARIDOS MEDIANTE EL USO DE SULFATO DE SODIO O DE MAGNESIO

LOCALIZACION: Provincia de Imbabura
MUESTRA: Agregados para Hormigón Asfáltico mina de Tahuando
DESCRIPCION: Agregado fina
NORMA: INEN 863
TIPO DE SOLUCION: Sulfato de magnesio

Tamaño de las aberturas del tamiz	Gradación de la muestra original (%)	Masa de las fracciones de ensayo, antes del ensayo (g)	Masa de las fracciones de ensayo, después del ensayo (g)	Porcentaje que pasa el tamiz designado luego del ensayo (%)	Porcentaje ponderado de pérdida (%)
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO FINO					
Menor a 150µm	21,3	-	-	-	-
de 300µm a 150µm	6,8	-	-	-	-
de 600µm a 300µm	10,3	100,0	80,1	19,9	2,1
de 1,18µm a 600µm	8,7	100,0	80,1	19,9	1,7
de 2,36µm a 1,18µm	11,5	100,0	81,8	18,2	2,1
de 4,75µm a 2,36µm	16,7	100,0	86,9	13,1	2,2
de 9,5µm a 4,75µm	24,7	100,0	95,5	4,5	1,1
Totales	100				9,2
ENSAYO DE DESEMPEÑO DEL ÁRIDO GRUESO					
63mm a 50mm					
50mm a 37,5mm					
37,5mm a 25,0mm	1007,6 g				
25,0mm a 19,0mm	503,9 g	37,1	1511,5 g	1506 g	0,36
19,0mm a 12,5mm	671,1 g				
12,5mm a 9,5mm	330,7 g	27,3	1001,8 g	991 g	1,08
9,5mm a 4,75mm	300,4 g	35,6	300,4 g	294,2	2,06
Totales		100	-	-	1,2

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

LOCALIZACION: Provincia de Imbabura

MUESTRA: 1 (Triturado con primaria y secundaria)

DESCRIPCION: Agravado pasante de #200" para diseño de MAC

YACIMIENTO: Stock

NORMA DE ENSAYO: 856

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO				
<i>MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :</i>			<i>Y RETIENE EN EL TAMIZ # :</i>	
Nº DE ENSAYO			1	2
Nº DE PICNOMETRO CALIBRADO			4	3
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	D	g	0,00	0,00
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	C	g	722,70	711,00
TEMPERATURA	(T)	°C	25,00	25,00
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	B	g	659,20	659,20
Nº DE RECIPIENTE			1	2
MASA MUESTRA SECA + RECIPIENTE		g	0,00	0,00
MASA DEL RECIPIENTE		g	0,00	0,00
MASA MUESTRA SECA	A	g	100,00	81,10
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	K		1	1
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN	S_d		0,000	0,000
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN (SSS)	S_s		0,000	0,000
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	S_a		2,740	2,768
ABSORCIÓN	A %		0,00 %	0,000

P
R
O
M
E
D
I
O

2,754

FORMULAS

$$S_d = \frac{A}{B + D - C} \times K$$

$$S_s = \frac{D}{B + D - C} \times K$$

$$S_a = \frac{A}{B + A - C} \times K$$

$$A \% = \frac{D - A}{A} \times 100$$

DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO

LOCALIZACION: Provincia de Imbabura
MUESTRA: 1 (Triturado con primaria y secundaria)
DESCRIPCION: Agregado Fino para diseño de MAC
YACIMIENTO: Stock
NORMA DE ENSAYO: 856

GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					
<i>MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # :</i>			<i>Y RETIENE EN EL TAMIZ # :</i>		P R O M E D I O
Nº DE ENSAYO			1	2	
Nº DE PICNOMETRO CALIBRADO			1	2	
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	D	g	500,20	500,20	
MASA DEL PICNOMETRO + MUESTRA + AGUA	C	g	968,30	972,10	
TEMPERATURA	(T)	°C	25,00	25,00	
MASA DEL PICNOMETRO + AGUA A LA TEMPERATURA (T)	B	g	656,00	660,40	
Nº DE RECIPIENTE			1	2	
MASA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA PARA ABSORCIÓN		g	500,60	500,30	
MASA DEL RECIPIENTE		g	0,00	0,00	
MASA MUESTRA SECA	A	g	489,50	489,00	
FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	K		1	1	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN	S_d		2,605	2,594	2,600
GRAVEDAD ESPECIFICA DE VOLUMEN (SSS)	S_s		2,662	2,654	2,658
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	S_a		2,762	2,758	2,760
ABSORCIÓN	A %		2,27 %	2,31 %	2,29 %

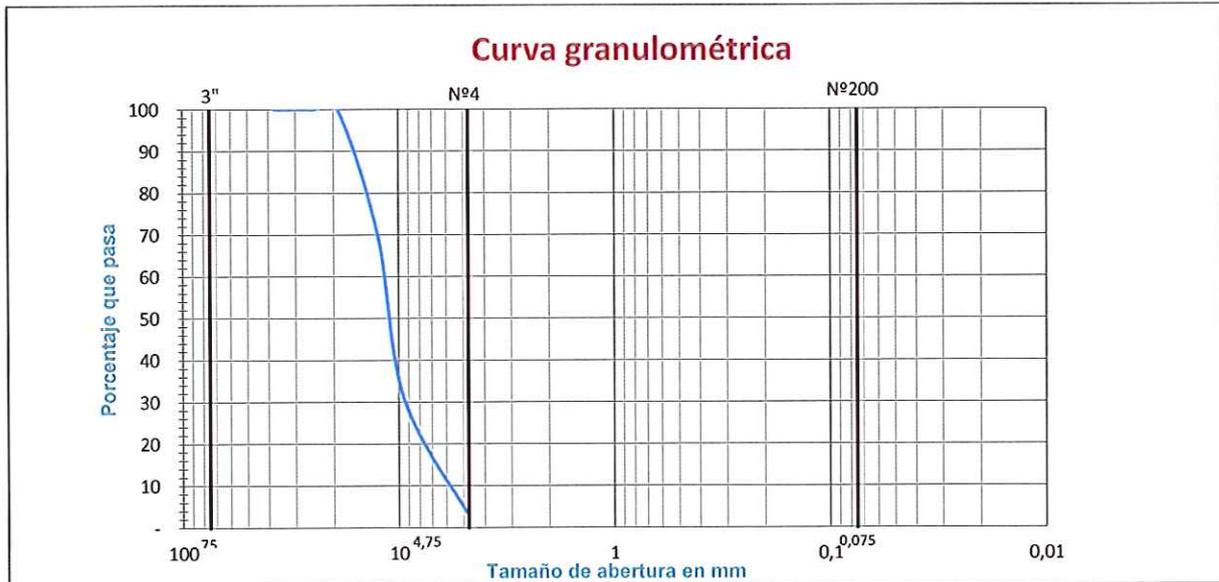
FORMULAS			
$S_d = \frac{A}{B + D - C} \times K$	$S_s = \frac{D}{B + D - C} \times K$	$S_a = \frac{A}{B + A - C} \times K$	$A \% = \frac{D - A}{A} \times 100$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LOCALIZACION: Provincias de Imbabura
MUESTRA: Agregado grueso TMN 3/4"
DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando
NORMA: AASHTO T 88/ASTM D 422

DATOS GRANULOMETRÍA

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
3"	75			-		
2 ½"	63			-		
2"	50			-		
1 ½"	37,5	-	-	-	100	
1"	25,0	-	-	-	100	
3/4"	19,0		63	0,39	99,6	
1/2"	12,5		4.883	30,03	70,0	
3/8"	9,5		11.213	68,95	31,1	
N°4	4,75		15.793	97,11	2,9	
PASA N°4			470			
N°8	2,36			-		
N°16	2,00			-		
N°30	0,425			-		
N°50	0,297			-		
N°100	0,150			-		
N°200	0,075			-		
< N°200						
TOTAL		16.263				

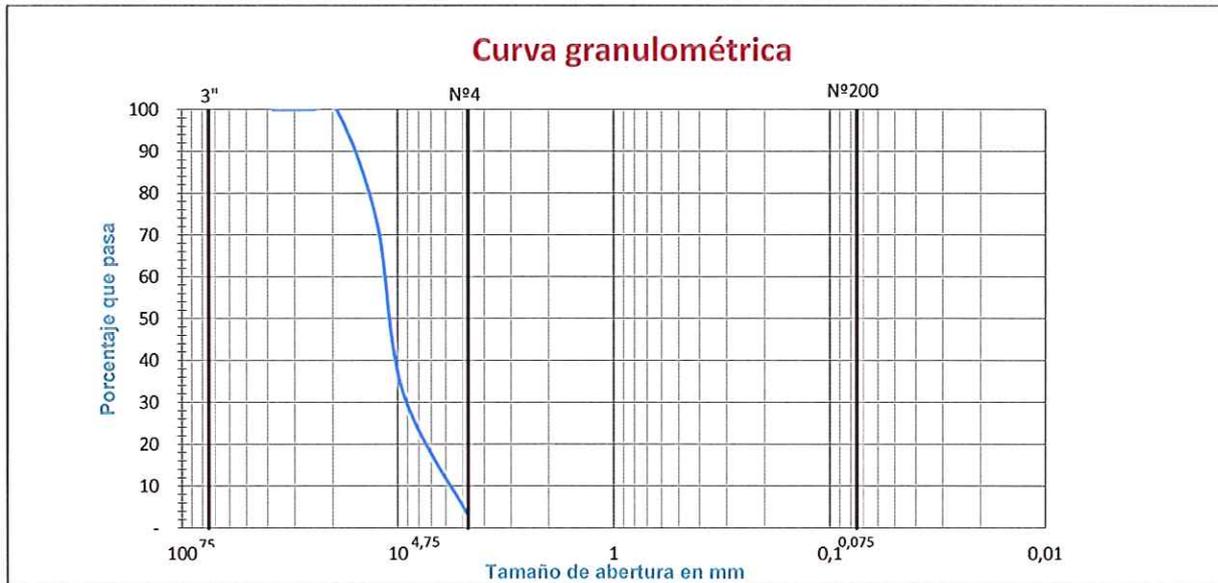


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LOCALIZACION: Provincias de Imbabura
 MUESTRA: Agregado grueso TMN 3/4"
 DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando
 NORMA: AASHTO T 88/ASTM D 422

DATOS GRANULOMETRÍA

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
3"	75			-		
2 1/2"	63			-		
2"	50			-		
1 1/2"	37,5	-	-	-	100	
1"	25,0	-	-	-	100	
3/4"	19,0		72	0,45	99,55	
1/2"	12,5		4.282	26,79	73,21	
3/8"	9,5		10.764	67,35	32,65	
N°4	4,75		15.510	97,04	2,96	
PASA N°4			473			
N°8	2,36					
N°16	2,00					
N°30	0,425					
N°50	0,297					
N°100	0,150					
N°200	0,075					
< N°200						
TOTAL		15.983				

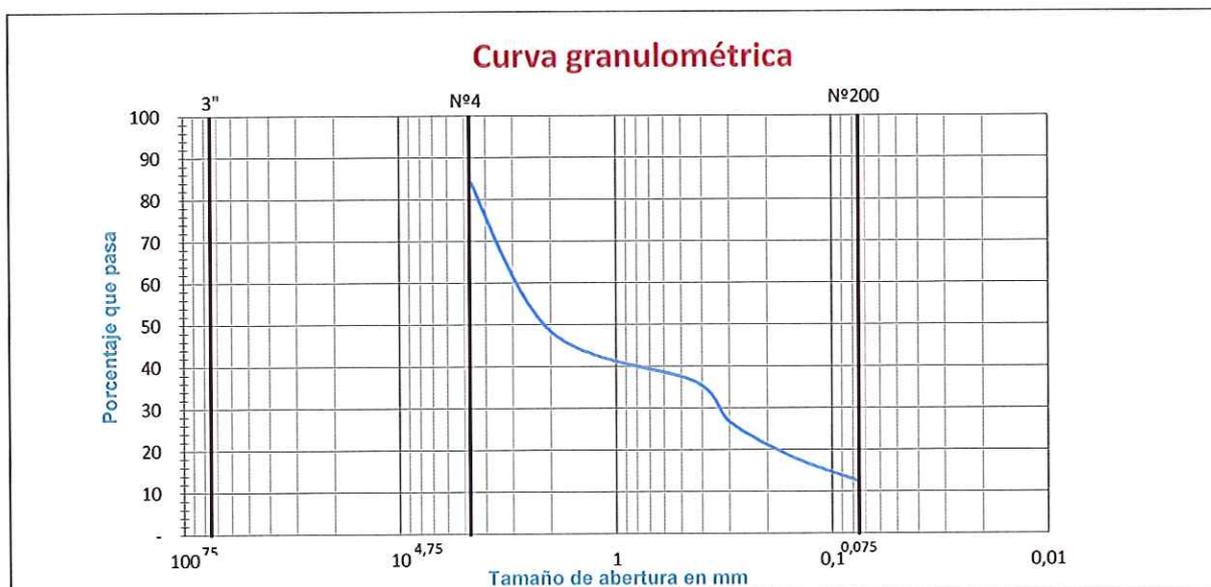


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LOCALIZACION: Provincias de Imbabura
MUESTRA: Arena 3/8"
DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando
NORMA: AASHTO T 88/ASTM D 422

DATOS GRANULOMETRÍA

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
3"	75			-		
2 ½"	63			-		
2"	50			-		
1 ½"	37,5			-		
1"	25,0			-		
¾"	19,0			-		
½"	12,5			-		
3/8"	9,5			-		
N°4	4,75		189,3	15,32	84,68	
PASA N°4						
N°8	2,36		442,8	35,83	64,17	
N°16	2,00		638,2	51,64	48,36	
N°30	0,425		789,3	63,86	36,14	
N°50	0,297		907,6	73,44	26,56	
N°100	0,150		1.012,6	81,93	18,07	
N°200	0,075		1.082,3	87,57	12,43	
< N°200						
TOTAL		1235,9				



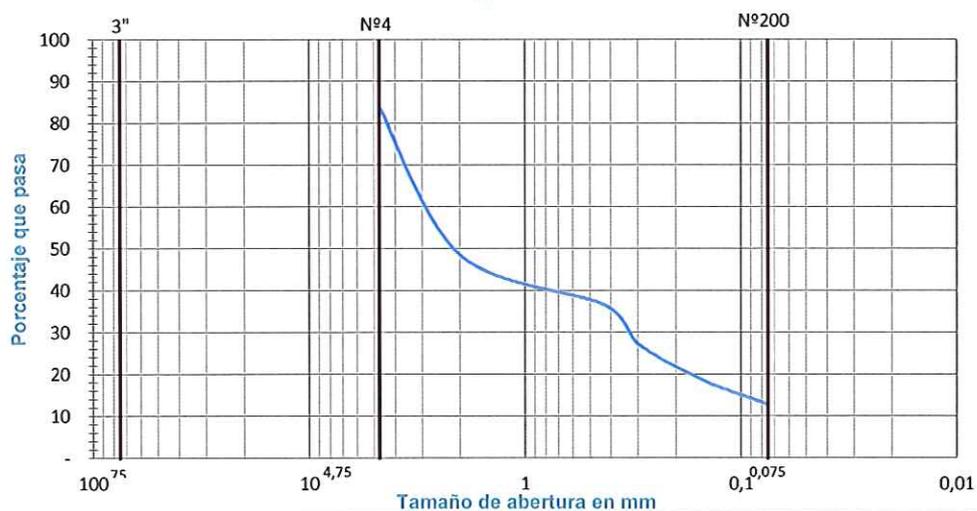
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

LOCALIZACION: Provincia de Imbabura
MUESTRA: Arena 3/8"
DESCRIPCION: Agregado triturado mina Tahuando
NORMA: AASHTO T 88/ASTM D 422

DATOS GRANULOMETRÍA

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
(pulg)	(mm)					
3"	75			-		
2 ½"	63			-		
2"	50			-		
1 ½"	37,5			-		
1"	25,0			-		
¾"	19,0			-		
½"	12,5			-		
3/8"	9,5			-		
N°4	4,75		220,3	16,01	83,99	
PASA N°4						
N°8	2,36		505,5	36,75	63,25	
N°16	2,00		709,2	51,56	48,44	
N°30	0,425		874,9	63,60	36,40	
N°50	0,297		1.003,0	72,91	27,09	
N°100	0,150		1.120,9	81,48	18,52	
N°200	0,075		1.199,6	87,21	12,79	
< N°200						
TOTAL		1375,6				

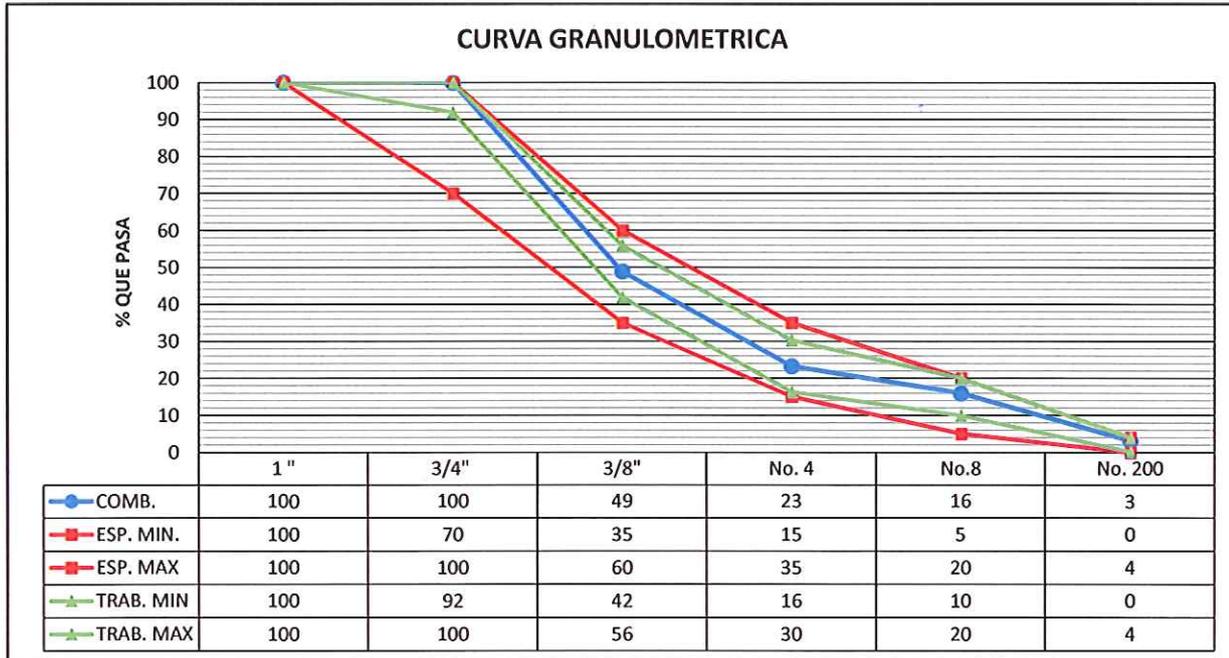
Curva granulométrica



LOCALIZACION: Provincias de Imbabura
 MUESTRA: Combinaciones
 DESCRIPCION: Mezcla Abierta en Caliente TMN 3/4"
 YACIMIENTO: Mina Tahuando

COMBINACIONES GRANULOMETRICAS

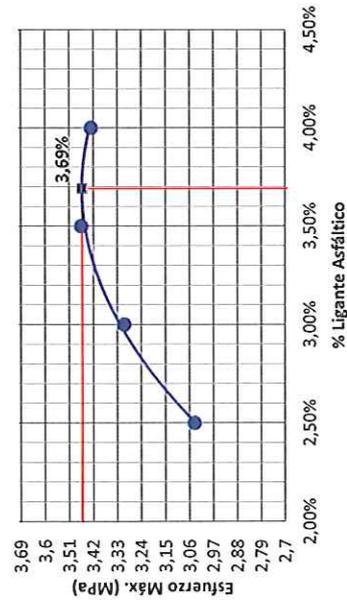
TAMIZ	GRANULOMETRIA INDIVIDUAL				PORCENTAJE DE APORTE				COMB.	ESPECIFICACION		FAJA TRABAJO		TOLERANCIAS
	FRACCION:				25%	75%	0%	0%		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
	1	2	3	4	1	2	3	4						
1 "	100	100	0	0	25	75	0	0	100,0	100	100	100	100	7 ±
3/4"	100	100	0	0	25	75	0	0	99,9	70	100	92	100	8 ±
3/8"	100	32	0	0	25	24	0	0	48,9	35	60	42	56	7 ±
No. 4	84	3	0	0	21	2	0	0	23,3	15	35	16	30	7 ±
No.8	64	0	0	0	16	0	0	0	15,9	5	20	10	20	6 ±
No. 200	13	0	0	0	3	0	0	0	3,2	0	4	0	4	3 ±



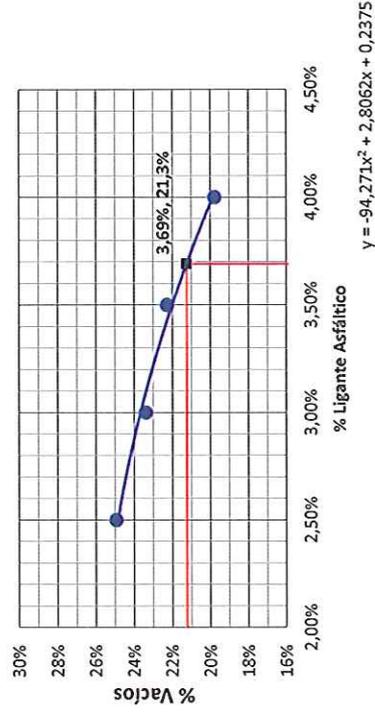
**PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN CALIENTE (MAC)
MÉTODO CHILENO "Rp"**

CÓDIGO DE LA MEZCLA	AC (%)	Nº DE PROBETA	PESO SECO (g)	h (cm)	VOLUMEN (cm³)	RICE (g/cm³)	% VACÍOS	DENSIDAD (g/cm³)	Lectura Dial	CARGA Máx. (N)	AREA PISTÓN	ESFUERZO A LA PENETRACIÓN (Mpa)	PROMEDIO (Mpa)
MAC-1 TAHUANDO	2,5%	4	987,3	6,39	512,92	2,57	24,96%	1,925	126	5365,94	1935,48	2,77	3,04
		5	988,0	6,29				1,926	141	6002,67		3,10	
		6	987,7	6,31				1,926	148	6299,66		3,25	
MAC-1 TAHUANDO	3,0%	10	994,8	6,35	511,29	2,55	23,41%	1,946	138	5875,36	1935,48	3,04	3,31
		11	1002,3	6,03				1,960	175	7444,28		3,85	
		12	996,2	6,55				1,948	138	5875,36		3,04	
MAC-1 TAHUANDO	3,5%	16	975,9	6,23	503,33	2,52	22,29%	1,939	152	6469,32	1935,48	3,34	3,47
		17	983,9	6,09				1,955	160	6808,55		3,52	
		18	997,3	6,31				1,981	161	6850,95		3,54	
MAC-1 TAHUANDO	4,0%	22	1016,4	6,19	502,20	2,50	19,80%	2,024	158	6723,76	1935,48	3,47	3,43
		23	1007,3	6,30				2,006	142	6045,10		3,12	
		24	998,3	6,09				1,988	168	7147,66		3,69	

ESFUERZOS DE PENETRACIÓN Vs. % AC

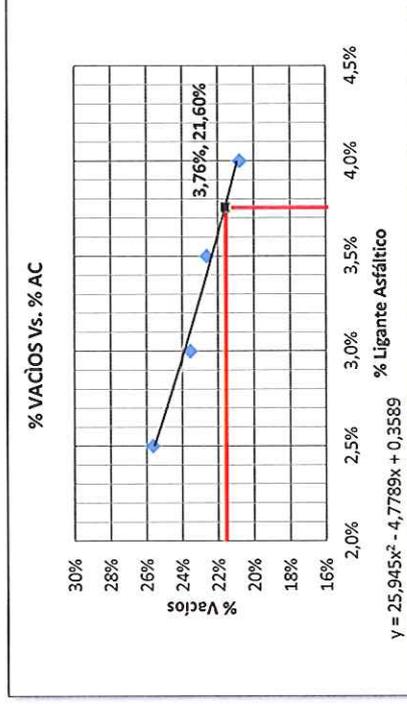
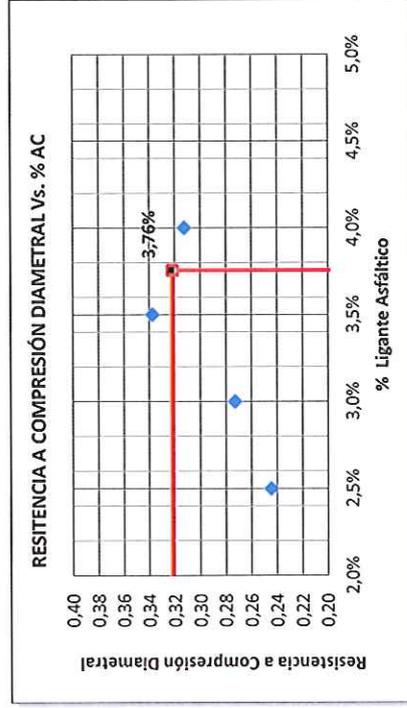


% VACÍOS Vs. % AC



**PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ABIERTA EN CALIENTE
(ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA)**

CÓDIGO DE LA MEZCLA	AC (%)	Nº DE PROBETA	PESO SECO (g)	h (mm)	DIAMETRO (mm)	VOLUMEN (cm3)	RICE (g/cm3)	% VACÍOS	DENSIDAD (g/cm³)	CARGA MÁX. (lb/cm2)	CARGA MÁX. (N)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DIAMETRAL (N/mm2)	PROMEDIO (N/mm2)
MAC -1 TAHUANDO	2,5%	1	982,1	62,80	102,3	518,10	2,57	25,66%	1,896	55	2346,11	0,23	0,25
		2	993,6	63,20	101,5					67	2857,19	0,28	
		3	989,1	63,10	102					52	2218,29	0,22	
MAC -1 TAHUANDO	3,0%	7	983,1	63,10	101,65	506,21	2,55	23,58%	1,942	64	2729,45	0,27	0,27
		8	979,2	62,00	102,1					63	2686,86	0,27	
		9	994,9	62,03	102,1					65	2772,03	0,28	
MAC -1 TAHUANDO	3,5%	13	1013,2	62,38	102,3	510,73	2,52	22,65%	1,984	89	3793,46	0,38	0,34
		14	980,1	61,80	101,7					69	2942,35	0,30	
		15	993,4	62,23	102,3					79	3368,00	0,34	
MAC -1 TAHUANDO	4,0%	19	1002,3	60,83	102,1	501,36	2,50	20,82%	1,999	72	3070,07	0,31	0,31
		20	987,0	60,33	102,15					77	3282,89	0,34	
		21	989,3	62,55	102,1					67	2857,19	0,28	

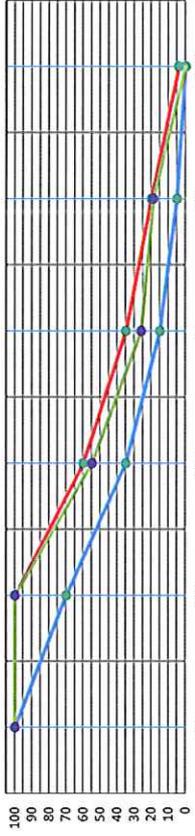


CONTROL DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS EN LABORATORIO

MUESTRA: 1
 DESCRIPCION: CAPA DE ALIVIO
 NORMA: Las indicadas

CARTA DE ANALISIS Y VERIFICACION DE PARAMETROS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM C136 y C117									
TAMIZ (pu/g)	1"	3/4"	3/8"	#4	#8	#200	P #200		
TAMIZ (mm)	25,00	19,00	9,50	4,75	2,36	0,075	FONDO		
PESO RET. ACUMULADO (gr)	0	0	715,00	1174,00	1287,00	1589,00	1588,70		
% EN PESO RETENIDO	0	0	45	74	81	100	100		
% PASA	100	100	55	26	19	0	0		
BANDA DE TRABAJO	MIN.	100	70	15	5	0	0		
	MAX.	100	100	60	35	20	4		



DETERMINACION CUANTITATIVA DEL LIGANTE ASFALTICO POR IGNICION AASHTO T 308 - 97		GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA (MEZCLA SUELTA) AASHTO T 209-08	
W1: Masa de la porción de ensayo (g)	1660,00	A: Masa seca de la muestra suelta al aire (g) =	1500,00
W2: Masa final después de la extracción (g)	1588,70	D: Masa del contenedor lleno de agua a 25°C (g) =	7424,00
W3: Masa perdida del asfalto en el horno de ignición (g)	71,30	E: Masa del contenedor + agua + muestra a 25°C (g) =	8326,00
W4: Factor de corrección de ACF constante del horno (%)	0,53%	k: Factor de corrección del agua según T=	0,9971
FORMULA: $\%C.A. = \frac{W3}{W1} \times 100 - W4$		FORMULA: $G_{mm} = \frac{A \cdot k}{A + D - E}$	
CONTENIDO DE LIGANTE ASFALTICO [%]= 3,77%		GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA G _{mm} = 2,501	

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK (HMA) COMPACTADAS				RESISTENCIA A LA PENETRACION "Rp" LNV 17			
PROBETA No.	W (g)	DIMENSIONES		VOL (cm³)	Gmb	CARGA MAX (N)	AREA PISTON ESFUERZO (mm²)
		φ (mm)	h (mm)				
1	1.078,0	102,00	68,00	555,6	1,940	10.925	1.935,48
2	1.151,0	102,00	72,00	588,3	1,956	10.004	1.935,48
3	1.137,0	102,00	71,00	580,2	1,960	9.773	1.935,48
					1,952		5,288

Gsb: Gravedad Especifica del agregado = 2,586
 Gb: Gravedad Especifica del asfalto = 1,011

Parámetro	Símbolo	Resultado	Requerimiento		Unidades	Aceptación
			Mín.	Máx.		
Contenido Ligante Asfáltico	AC	3,74	3,3	4	%	OK
Vacios mezcla	Va	21,95	16	27	%	OK
Grav. Max. Teórica	Gmm	2,501	-	-	g/cm³	
Grav. Esp. Bulk	Gmb	1,952	-	-	g/cm³	
Esfuerzo	-	5,29	-	-	Mpa	

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO

LABORATORIO: Planta de Emulsión
 LOCALIZACIÓN: Quito Carcelén
 MUESTRA: Tomada en la Planta de Emulsión
 DESCRIPCIÓN: AC-20 Refinería de Esmeraldas

ENSAYO DE PENETRACIÓN (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	65
2	65
3	64
PROMEDIO	65

ENSAYO DE DUCTILIDAD (INEN 916)	
PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	150
2	150
3	150
PROMEDIO	150

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (AASHTO T 79)	
ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	256
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN(°C)
1	274

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (AASHTO T53)	
ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	48,0
2	48,0
PROMEDIO	48,0

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (AASHTO T228)	
A: Masa del Picnómetro (g)	38,488
B: Masa del Picnómetro + H ₂ O (g)	63,650
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	57,052
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H ₂ O (g)	63,847
pw: Densidad del agua (g/cm ³)	0,997
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	1,011

FÓRMULA:

$$P_A = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$$

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T240)	
Masa del Picnómetro	167,543
Masa antes del ensayo	202,445
Masa después del ensayo	202,410
Peso perdido	0,035
% de pérdida	0,10
PROMEDIO	0,11

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)	
PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	40
2	41
3	42
PROMEDIO	41

ENSAYO DE DUCTILIDAD AL RESIDUO (INEN 916)	
PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	48
2	50
3	54
PROMEDIO	51

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN ASTM D 3381				
Parámetro	Resultado	Requerimiento AC-20		Aceptación
		Mín.	Máx.	
Punto de inflamación (°C)	256	232	-	OK
Viscosidad a 135°C (Centistokes)	354	300	-	OK
Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg. (1/10mm)	65	60	-	OK
% Original de Penetración a 25°C, 100 g, 5 seg. (-	-	-	-
Viscosidad a 60°C (Poises)	2320	1600	2400	OK
Ductilidad , 25 ° C, 5 cm por minuto (cm)	150	100	-	OK

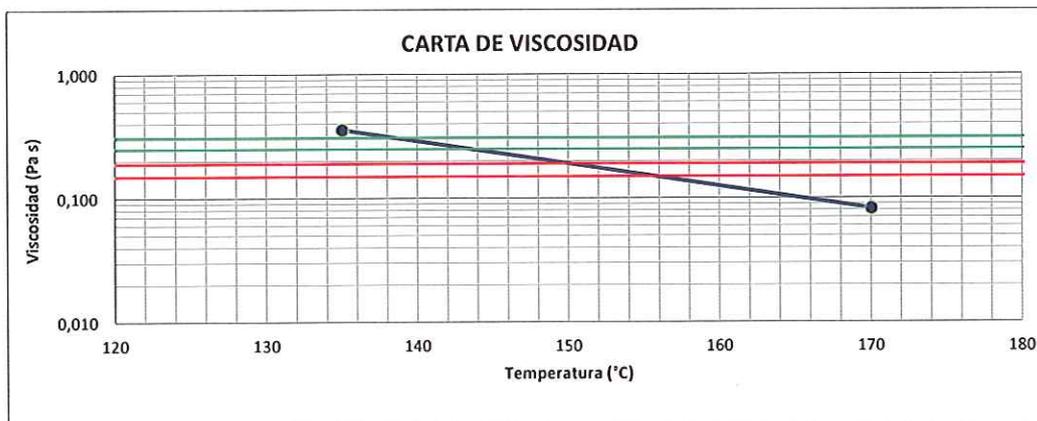
ENSAYOS AL RESIDUO DE PELICULA FINA RTOF			
Resultado	Requerimiento AR-800		Aceptación
	Mín.	Máx.	
637	400	-	OK
41	20	-	OK
63	50	-	OK
8313	6000	10000	OK
51	50	-	OK

OBSERVACIÓN: El ensayo del residuo se realiza después de 72 horas.

PROPIEDADES DEL CEMENTO ASFÁLTICO
(VISCOSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO MEDIANTE EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL BROOKFIELD)

ENSAYOS DE VISCOSIDAD						
VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	46,3	SC4-29	232.000	2320,00
2	60	2	46,3	SC4-29	232.000	2320,00
3	60	2	46,3	SC4-29	232.000	2320,00
PROMEDIO						2320
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	71,5	SC4-21	357,5	0,358
2	135	100	71,5	SC4-21	357,5	0,358
3	135	100	71,5	SC4-21	357,5	0,358
PROMEDIO						0,358
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	33,1	SC4-21	82,7	0,083
2	170	200	33,0	SC4-21	82,5	0,083
3	170	200	33,0	SC4-21	82,5	0,083
PROMEDIO						0,083

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)						
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	5,0	82,8	SC4-29	828.000	8280,00
2	60	0,5	83,3	SC4-29	833.000	8330,00
3	60	0,5	83,3	SC4-29	833.000	8330,00
PROMEDIO						8313
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	60	90,1	SC4-21	643,6	0,644
2	135	60	90,1	SC4-21	643,6	0,644
3	135	60	90,2	SC-21	644,3	0,644
PROMEDIO						0,644



Temperatura de compactación=

141 °C - 149 °C

Temperatura de mezcla=

156 °C - 159 °C

ANEXO B

Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall. El procedimiento puede utilizarse tanto para el proyecto de mezclas en laboratorio como para el posterior control en obra de las mismas.

1.2 El ensayo consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro y 63,5 mm de altura preparadas como se describe en esta norma, rompiéndolas posteriormente en la prensa Marshall para determinar su estabilidad y deformación.

1.3 El procedimiento general es de aplicación a todas las mezclas bituminosas fabricadas en caliente con tamaño máximo de áridos de 25 mm en las que el aglomerante sea un betún de petróleo o un alquitrán. Puede aplicarse también a las mezclas fabricadas en frío, aunque en este caso las condiciones, tanto de fabricación de las probetas como de curado y rotura, habrán de adaptarse a las características especiales de este tipo de mezclas.

1.4 El ensayo Marshall se puede igualmente utilizar para la obtención de los valores de estabilidad y deformación tanto de testigos extraídos de un pavimento como de probetas fabricadas por otros métodos de compactación, aunque en estos casos los valores pueden ser diferentes a los obtenidos sobre probetas compactadas siguiendo esta norma.

1.5 El procedimiento es también aplicable al proyecto de mezclas en el laboratorio mediante el método Marshall, para lo cual se fabrican y ensayan series de probetas análogas con porcentajes crecientes de ligante, calculando sus densidades relativas y diferentes contenidos de huecos. A partir de estos resultados se puede determinar el contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos de composición y granulometría determinadas.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Conjunto de compactación.** Está formado por el molde, el collar y la placa de base, fabricados de acero cadmiado y con la forma y dimensiones indicadas en la figura 1. Para facilitar su manejo es conveniente que el molde esté provisto de un asa.

2.2 **Extractor.** Para sacar la probeta del molde una vez compactada se sustituye la placa de base por un disco extractor de acero, de diámetro comprendido entre 100 y 101 mm y unos 15 mm de espesor, utilizando cualquier dispositivo que fuerce suavemente a la probeta a pasar del molde al collar.

2.3 **Maza de compactación.** Para compactar las probetas se emplea un dispositivo de acero formado por una base plana y circular de 98,4 mm de diámetro y un pisón de 4.536 g, montado de forma que se pueda conseguir una caída libre del mismo sobre la base desde una altura de 457,2 mm. Su forma y dimensiones serán las de la figura 2.

2.4 **Base de compactación.** Consiste en una pieza prismática de madera de base cuadrada, de 200 mm de lado y 450 mm de altura, y provista en su cara superior de una placa cuadrada de acero de 300 mm de lado y 25 mm de espesor, firmemente sujeta en la misma. La madera será de roble, pino u otro tipo cuya densidad seca esté comprendida entre 670 y 770 kg/m³. El conjunto se fijará firmemente a una base de hormigón, debiendo quedar la placa de acero horizontal.

2.5 **Soporte del molde.** Se utilizará cualquier dispositivo que permita fijar rígidamente y centrar sobre la base de compactación el conjunto del molde, collar y placa de base durante la compactación de las probetas.

2.6 **Mordazas.** Las mordazas, figura 3, consisten en dos segmentos cilíndricos con radio de curvatura interior de 50,8 mm y con sus superficies perfectamente mecanizadas. La mordaza inferior, que termina en una base plana de apoyo, está provista de

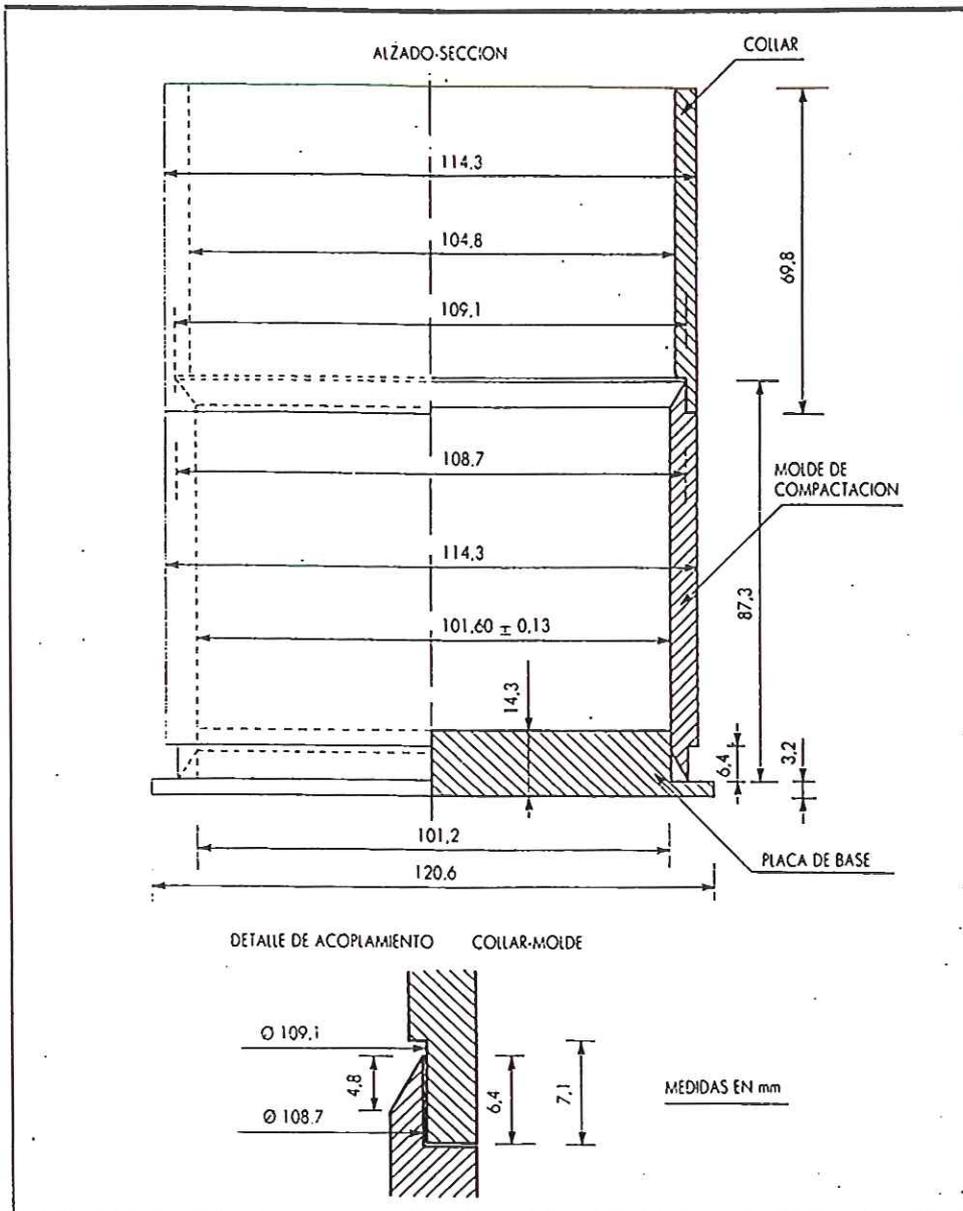


FIGURA 1. Conjunto de compactación.

dos varillas perpendiculares a la base que sirven de guía, sin rozamiento apreciable, a la mordaza superior.

2.7 Prensa. Para la rotura de las probetas se empleará cualquier tipo de prensa, mecánica o hidráulica, capaz de proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento de la mordaza de $0,85 \pm 0,02$ mm/s (50,8 mm/min). Su capacidad de carga mínima será de 30 kN (3.000 kgf) y deberá comprobarse frecuentemente que su velocidad durante la carga se mantiene dentro de un margen de error del $\pm 5\%$.

2.8 Medidas de la estabilidad y la deformación. La resistencia de la probeta durante el ensayo se puede medir mediante anillos dinamométricos acoplados directamente a la prensa, y capaces de una lectura en cualquier punto de la escala con una precisión del $\pm 2\%$ de la carga. La deformación, o disminución del diámetro de la probeta, puede obtenerse con un comparador dividido en décimas de milímetro (0,1 mm) y de lectura final fija, sujeto firmemente en la mordaza superior y cuyo vástago se apoya en una palanca ajustable, acoplada en la mordaza inferior (fig. 4). En el laboratorio, es recomendable disponer de prensas con células de carga

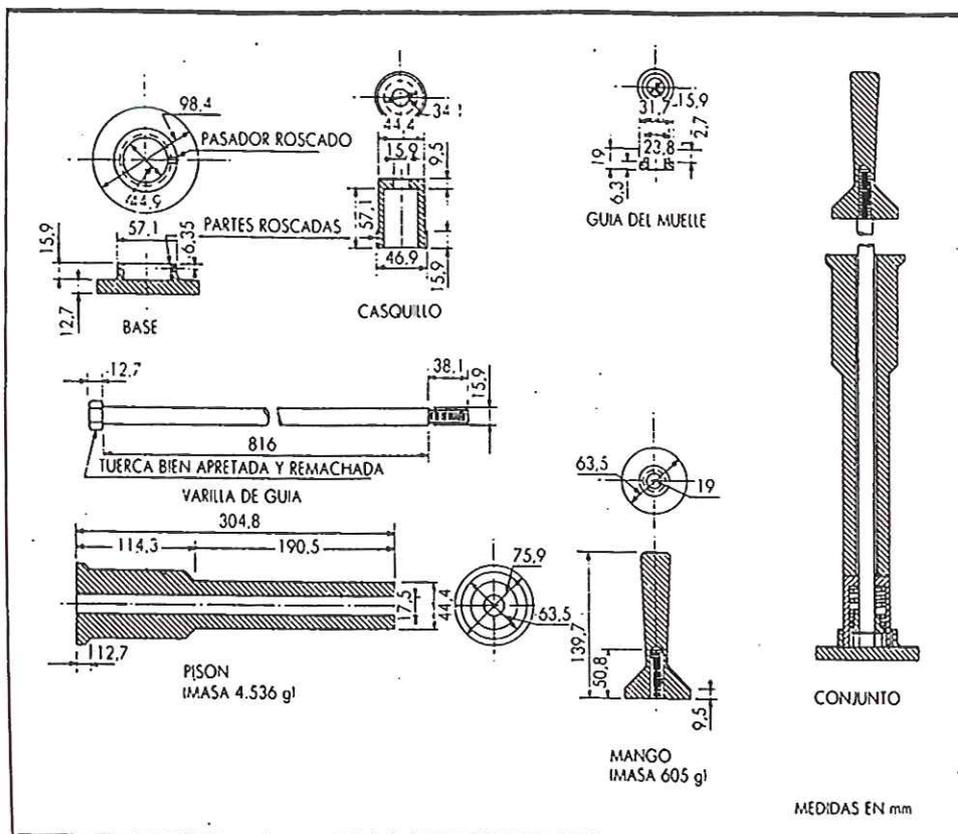


FIGURA 2. Maza de compactación para el aparato Marshall.

y transductor de desplazamiento para el registro gráfico de la curva estabilidad-deformación, que cumplan el requisito de precisión indicado antes. Una escala adecuada para el registro gráfico puede ser la de:

- 15 mm para cada kN de estabilidad
- 10 mm para cada mm de deformación

2.9 Elementos de calefacción. Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso, conjunto de compactación y maza se empleará una estufa con control termostático, capaz de mantener la temperatura requerida con un error menor de 3 °C.

2.10 Mezcladora. Es recomendable que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica de fondo cóncavo, calorífuga y que produzca en el menor tiempo posible una mezcla homogénea a la temperatura requerida. Si la operación de mezclado se realiza a mano, para evitar el enfriamiento de los materiales se debe realizar este proceso sobre una placa de calefacción o mechero de gas, tomando las precauciones necesarias para impedir sobrecalentamientos locales.

2.11 Baño de agua. Para sumergir y calentar las probetas se dispondrá de un baño de agua de 50 litros como mínimo de capacidad y profundidad mínima de 150 mm, provisto de control termostático capaz de mantener la temperatura de ensayo con una precisión de ± 1 °C. Es conveniente que el baño lleve una placa perforada para mantener las probetas a 50 mm de su fondo.

2.12 Termómetros. Para medir las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros metálicos con escala hasta 200 °C y sensibilidad de 3 °C. Para la temperatura del baño de agua se utilizará un termómetro con escala de 20 a 70 °C y sensibilidad de 0,2 °C.

2.13 Balanzas. Una balanza de 2 kg de capacidad y 0,1 g de sensibilidad para pesar las probetas, y otra de 5 kg de capacidad y 1 g de sensibilidad para la preparación de las mezclas.

2.14 Material general. Bandejas, cazos, espátulas, guantes de amianto y de goma, lápices grasos, cogedores curvos, discos de papel de filtro, etc.

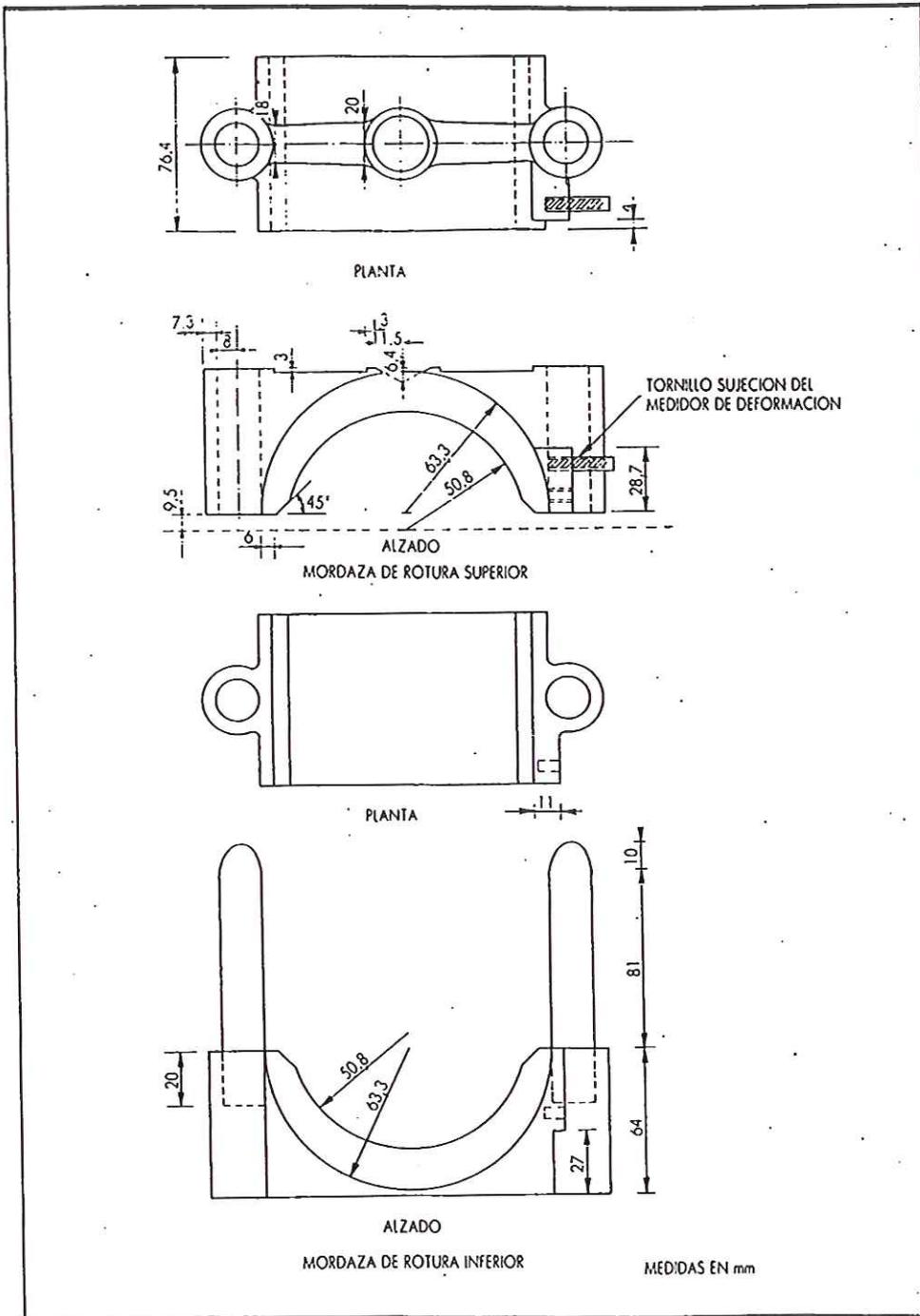


FIGURA 3. Mordazas.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de las probetas

3.1.1 Número de probetas. En general, el número mínimo de probetas a fabricar es de tres por cada mezcla. Sin embargo, es conveniente incrementar este número en el caso de mezclas de granulometría

gruesa o abierta, a causa de las mayores dispersiones que se producen en los resultados (una o dos probetas más). Además, si está previsto tener que parafinar probetas para calcular densidades, hay que contar con un mínimo de otras tres probetas para esta determinación, ya que las probetas parafinadas no se pueden utilizar para romperlas en la prensa.

3.1.2 Preparación de los áridos. Las distintas fracciones de áridos de que se disponga para la composición de la mezcla se secan en estufa a $105-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta pesada constante y se separan a continuación por tamizado en seco en el número de fracciones necesarias. En general, se recomiendan las siguientes fracciones para la serie gruesa:

Facción: 25-20 mm
 Fracción: 20-12,5 mm
 Fracción: 12,5-10 mm
 Fracción: 10-5 mm
 Fracción: 5-2,5 mm

y un mínimo de tres fracciones para la serie fina:

Facción: 2,5 mm - $320\text{ }\mu\text{m}$
 Fracción: $320\text{ }\mu\text{m}$ - $80\text{ }\mu\text{m}$
 Fracción: pasa $80\text{ }\mu\text{m}$ (filler)

3.1.3 Temperaturas de mezcla y compactación. En el caso de que el ligante sea un betún, las

temperaturas de mezcla y compactación serán las necesarias para que su viscosidad sea de 170 ± 20 cSt (85 ± 10 SSF) en el proceso de mezcla y de 280 ± 30 cSt (140 ± 15 SSF) en el de compactación. Si se emplea un alquitrán, sus viscosidades respectivas serán de 25 ± 3 grados Engler para la mezcla y de 40 ± 5 grados Engler para la compactación.

3.1.4 Preparación de las mezclas

3.1.4.1 Las probetas se fabrican individualmente, pesando sucesivamente en un recipiente tarado las cantidades necesarias de cada fracción, salvo el filler, para obtener una probeta compactada de $63,5 \pm 1,3$ mm de altura (Nota 1). Se coloca a continuación el recipiente en una estufa o placa de calefacción y se calienta la mezcla de áridos a una temperatura que sea, como máximo, unos $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ su-

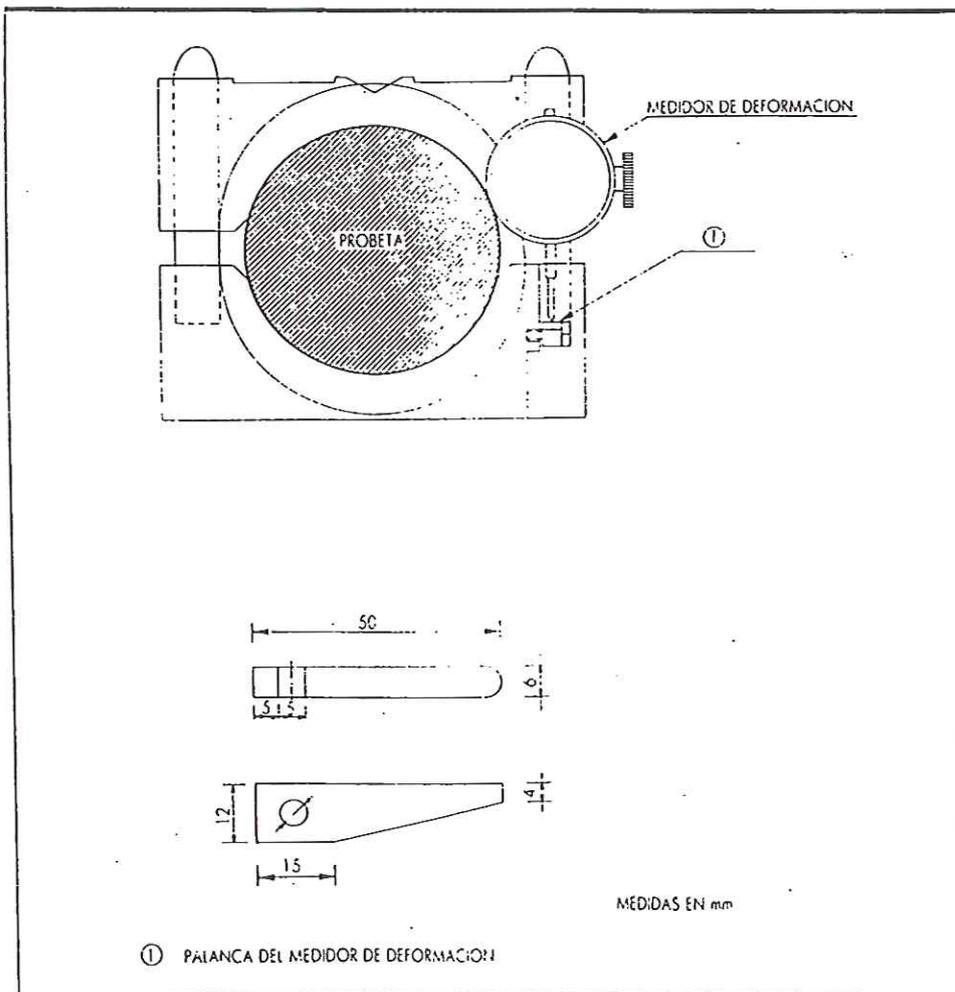


FIGURA 4. Dispositivo de ensayo de la probeta y mordazas.

perior a la especificada para el mezclado en el apartado 3.1.3.

Nota 1. Dado que ha caído en desuso la realización de la probeta de prueba para las correcciones de altura, se recomiendan para cada probeta las siguientes cantidades, en función del tipo de mezcla:

Mezclas tipo G y A: 1.100 g
Mezclas tipo D y S: 1.200 g

3.1.4.2 La cantidad de ligante necesaria para la fabricación de las probetas se calienta en un cazo pequeño tapado, en una estufa y a la temperatura de mezcla prescrita según el apartado 3.1.3, evitando un calentamiento inicial fuerte. El ligante no debe estar más de una hora a esta temperatura. El material sobrante se desecha.

3.1.4.3 A continuación se vierten los áridos en el recipiente para el mezclado y se efectúa una mezcla ligera en seco de los mismos, se forma un cráter en su centro y se añade por pesada la cantidad exacta de ligante calculada para la mezcla.

Nota 2. Suele ser conveniente «manchar» previamente la mezcladora con una amasada inicial, que se desecha.

3.1.4.4 En este momento la temperatura de ambos materiales debe estar dentro de los límites especificados en el apartado 3.1.3 para el proceso de mezcla. Se inicia un primer mezclado y, después que los áridos gruesos y finos hayan sido envueltos por el ligante, se añade el filler si lo hubiera, y se continúa el proceso de mezclado hasta que la mezcla quede homogéneamente cubierta, teniendo cuidado de evitar pérdidas de material, principalmente finos, durante todo el proceso. Es preferible realizar la operación de mezclado en una mezcladora mecánica, a efectos de homogeneidad y uniformidad de las mezclas, aun cuando puede realizarse igualmente la mezcla de forma manual. En cualquier caso, el tiempo de mezclado debe ser lo más breve posible para conseguir una completa y homogénea cubrición de todas las partículas minerales.

Nota 3. No existe una normativa clara acerca de los tiempos de mezclado, ya que ello depende en gran manera de las características tanto de la propia mezcla como de la amasadora, y también es probable que los tiempos de mezcla tengan que ser mayores con contenidos más bajos de ligante. De todas formas, puede ser práctico recomendar un tiempo de mezclado de dos a tres minutos con mezcladoras mecánicas.

3.2 Compactación de las probetas

3.2.1 Previamente a la preparación de las mezclas, el conjunto del collar, molde y placa de base, así como la base de la maza de compactación, se limpian y calientan a una temperatura entre 95 y 150 °C.

3.2.2 Se monta el conjunto de compactación en la base de compactación y se sujeta firmemente mediante el soporte de fijación. Se coloca un papel de filtro del diámetro del molde en su fondo y se vierte en él el total de la mezcla recién fabricada, evitando las segregaciones de material; se ayuda la distribución de la mezcla con una espátula apropiada y caliente, por medio de 15 golpes en su periferia y 10 en su interior; finalmente se alisa la superficie de la mezcla dándole una forma ligeramente convexa.

3.2.3 La temperatura de la mezcla inmediatamente antes de la compactación deberá estar comprendida dentro de los límites establecidos para este proceso en el apartado 3.1.3. A continuación se le aplican con la maza el número de golpes especificado sobre una cara de la probeta, e inmediatamente se desmonta el collar, se invierte el molde y, fijado de nuevo el conjunto de compactación, se aplica igual número de golpes sobre la otra cara de la probeta.

Nota 4. Aunque actualmente está muy extendido el empleo de la compactación mecánica, la compactación manual puede ser igualmente adecuada siempre que la maza se mantenga en posición vertical, se controle cuidadosamente la altura de caída y se evite el rebote sobre la probeta.

3.2.4 Una vez compactada la probeta, se debe esperar un tiempo mínimo de dos horas antes de desmoldarla. Para esta operación, se sustituye la placa de base por el disco extractor y se fuerza suavemente a la probeta a pasar desde el molde al collar, con ayuda del mecanismo de extracción. Una vez extraída, se quitan los papeles de filtro y se coloca la probeta cuidadosamente sobre una superficie plana, limpia y al abrigo del calor, hasta el momento del ensayo; en obra, se esperará un tiempo mínimo de seis horas y en el laboratorio hasta el día siguiente a su fabricación.

Nota 5. Como mecanismo de extracción se puede utilizar un bastidor o que se le haya accionado convenientemente un gato hidráulico. En caso se puede emplear incluso la propia prensa.

3.2.5 Las mezclas que necesiten de un período de curado adicional se mantendrán dentro del molde hasta que adquieran la cohesión suficiente para poderlas desmoldar.

3.2.6 Cuando las probetas se fabriquen en obra con mezcla procedente de una planta asfáltica, la temperatura de compactación debe ser la misma que se especifica para el tipo de ligante empleado, según el apartado 3.1.3. Si se va a realizar el ensayo con mezclas ya fabricadas y frías, se comenzará calentando en estufa, a una temperatura unos 30 °C inferior a la especificada para el tipo de ligante; la cantidad necesaria para obtener por cuarteo las porciones precisas, de unos 1.200 g, para fabricar cada probeta. Estas porciones se calientan entonces a la

temperatura de compactación durante una hora, realizándose seguidamente esta operación en la forma general. No debe emplearse una mezcla que haya sido ya recalentada.

3.3 Densidad y análisis de huecos. La densidad de las probetas se puede determinar tan pronto como se hayan enfriado a temperatura ambiente. En la norma NLT-168 se describen los procedimientos a seguir para determinar la densidad relativa de las mezclas bituminosas compactadas, así como los cálculos para los distintos contenidos de huecos.

3.4 Ejecución del ensayo

3.4.1 Se limpia con cuidado la superficie interior de las mordazas y sus varillas de guía, engrasando ligeramente éstas para favorecer el deslizamiento de la mordaza superior. Durante el ensayo, las mordazas deberán estar a una temperatura comprendida entre los 20 y 40 °C, empleando un baño de agua para calentarlas si fuera necesario.

3.4.2 Calentamiento de las probetas. Antes de romperlas, las probetas se sumergen durante

35 ± 5 minutos en un baño de agua a 60 ± 1 °C, si se trata de mezclas fabricadas con betún, o a 38 ± 1 °C si se trata de mezclas fabricadas con alquitrán.

Nota 6. Las probetas se colocan con una cara plana apoyada sobre la plancha perforada del baño y lo suficientemente espaciadas para que el agua circule libremente entre ellas. La capacidad del baño deberá garantizar una cobertura completa de todas las probetas, así como el mantenimiento en todo momento de la temperatura del agua dentro de los límites especificados en 3.4.2. El ritmo y orden de inmersión de las probetas en el baño debe ser el mismo de su extracción para el ensayo.

3.4.3 Rotura de las probetas. Una vez cumplido el tiempo de calentamiento en el baño, se saca la probeta y se coloca centrada sobre la mordaza colocada en el plato inferior de la prensa; se monta la mordaza superior, juntamente con el dispositivo o medidor de deformación puesto a cero para la lectura de la deformación absoluta de la probeta durante el ensayo. Se aplica entonces la carga a la probeta a la velocidad especificada en el apartado 2.7 hasta que se produce la rotura de la misma; el tiempo transcurrido desde que se saca la probeta del baño hasta el instante de la rotura no debe exceder de treinta segundos.

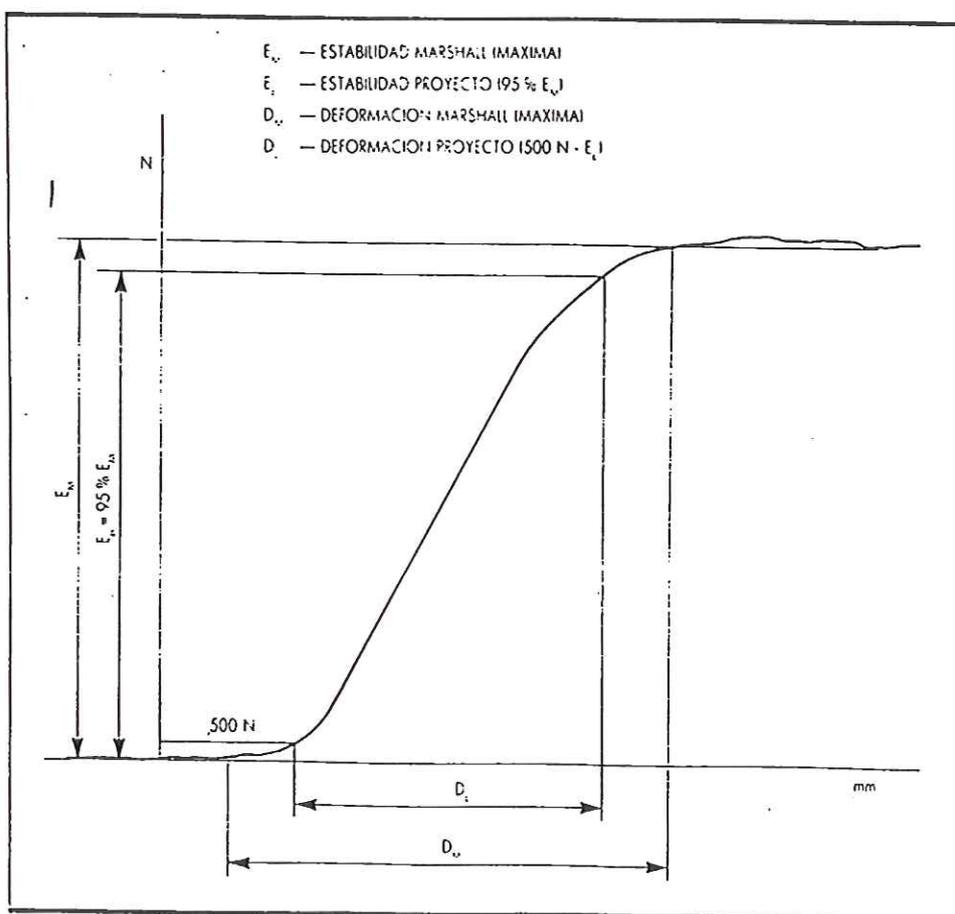


FIGURA 5. Estabilidad y deformación en el ensayo Marshall.

3.4.3.1 Prensas sin registro gráfico. Con este tipo de prensas, la rotura o carga máxima se considera que tiene lugar en el instante de producirse la primera parada o máximo instantáneo observado en el comparador del anillo dinamométrico, prescindiendo de cualquier posible avance intermitente posterior; este valor se define como la estabilidad Marshall de la probeta. En este mismo instante se inmoviliza el desplazamiento del medidor de deformación; la lectura indicada en el mismo se define como la deformación Marshall de la probeta, y expresa la disminución de diámetro que experimenta la misma entre la carga cero y el instante de rotura o carga máxima.

3.4.3.2 Prensas con registro gráfico. El ensayo con prensas provistas de registro gráfico continuo de la curva estabilidad-deformación tiene la ventaja de evitar los posibles errores de lectura del operador; además, permite estudiar las características de deformación de la probeta durante el ensayo, por lo

que está especialmente recomendado para laboratorios. En la figura 5 se representa un gráfico de este tipo en el cual, y al objeto de poder correlacionar los valores de estabilidad y deformación entre prensas con y sin registro gráfico, se definen los siguientes parámetros:

- Estabilidad Marshall máxima E_M
- Deformación Marshall máxima D_M
- Estabilidad Marshall de proyecto E_p
- Deformación Marshall de proyecto D_p

correspondiendo la estabilidad y deformación Marshall máximas a los valores máximos de ambos parámetros equivalentes a las lecturas realizadas en las prensas sin registro. Se definen los nuevos parámetros de estabilidad Marshall de proyecto E_p , como el 95 % de la estabilidad Marshall máxima, y como deformación Marshall de proyecto D_p , la comprendida entre la abscisa correspondiente a la carga de 500 N, carga de asentamiento, y la abscisa correspondiente al 95 % de la estabilidad Marshall máxima, E_M .

3.4.4 Correcciones de la estabilidad por altura.

La estabilidad de la probeta obtenida directamente en el ensayo hay que corregirla en función de su altura o espesor, multiplicándola por un factor de corrección, para obtener la verdadera estabilidad. En la tabla 1 se indican los factores correspondientes en función del volumen o espesor de la probeta, lo que implica el conocimiento previo de este dato del ensayo. Esta corrección es de aplicación tanto a las probetas fabricadas en un molde como a los testigos extraídos de un pavimento.

4 RESULTADOS

4.1 Definiciones

4.1.1 Estabilidad Marshall. Se define la estabilidad Marshall, como la carga máxima en N resistida por la probeta, definida según el tipo de prensa utilizado (apartados 3.4.3.1 ó 3.4.3.2) y multiplicada por el factor de corrección correspondiente, según la tabla 1. El resultado se expresa con una aproximación de 100 N

4.1.2 Deformación Marshall. Se define la deformación Marshall, como la disminución de diámetro expresada en mm que experimenta una probeta entre el comienzo de la carga y el instante de su rotura, definidos ambos puntos según el tipo de prensa utilizado (apartados 3.4.3.1 ó 3.4.3.2). El resultado se expresa con una aproximación de 0,1 mm.

4.1.3 En el caso de utilizarse una prensa sin registro gráfico, los resultados de estabilidad y deformación serán los obtenidos según el apartado 3.4.3.1.

VOLUMEN DE LA MUESTRA EN cm^3	ESPESOR APROXIMADO DE LA MUESTRA EN mm	FACTOR DE CORRECCION
200-213	25.4	5.56
214-225	26.9	5.00
226-237	28.6	4.55
238-250	30.2	4.17
251-264	31.8	3.85
265-276	33.3	3.57
277-289	34.9	3.33
290-301	36.5	3.03
302-316	38.1	2.78
317-328	39.7	2.50
329-340	41.3	2.27
341-353	42.9	2.08
354-367	44.5	1.92
368-379	46.0	1.79
380-392	47.6	1.67
393-405	49.2	1.56
406-420	50.8	1.47
421-431	52.4	1.39
432-443	54.0	1.32
444-456	55.6	1.25
457-470	57.2	1.19
471-482	58.7	1.14
483-495	60.3	1.09
496-508	61.9	1.04
509-522	63.5	1.00
523-535	65.1	0.96
536-546	66.7	0.93
547-559	68.3	0.89
560-573	69.9	0.86
574-585	71.5	0.83
586-598	73.0	0.81
599-610	74.6	0.78
611-625	76.2	0.76

TABLA 1. Corrección de la estabilidad.

Si se utiliza una prensa con registro gráfico, los resultados incluirán los cuatro valores de estabilidad y deformación, máxima y de proyecto, definidos en el apartado 3.4.3.2.

4.2 Expresión de los resultados. Los resultados de la estabilidad y deformación serán los valores medios respectivos de un mínimo de tres probetas ensayadas, obtenidos según 4.1.1 y 4.1.2. Si el ensayo se realiza en una prensa con registro gráfico, los resultados deben incluir los valores medios respectivos de los cuatro parámetros definidos en 4.1.3.

4.3 Juntamente con los valores definidos en 4.2, es conveniente que con los resultados se incluya la siguiente información (total o parcial):

- Origen de la muestra (laboratorio, obra, muestra original o recalentada, testigo, etc.).
- Temperaturas de mezcla y compactación.
- Espesor o volumen de la probeta o testigo.
- Datos de la mezcla (tipo, granulometría, ligante y porcentaje, etc.) que se consideren de interés.

5 DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE LIGANTE

5.1 Cuando se utilice el método Marshall para la dosificación y determinación del contenido óptimo de ligante de una mezcla de áridos, se preparan en el laboratorio series de probetas con una granulometría fija y determinada y con contenidos crecientes de ligante, fabricadas y posteriormente rotas siguiendo el procedimiento descrito en esta norma.

5.2 Para el estudio de una dosificación se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

5.2.1 Áridos. Las muestras de áridos remitidas al laboratorio serán en todo momento representativas de los distintos acopios existentes, cuyo control, en todo caso, es conveniente llevarlo por el método de las medias móviles. No es recomendable el tener que recurrir a un machaqueo adicional en el laboratorio para completar eventuales tamaños.

5.2.2 Dosificación. Para el estudio de la dosificación en el laboratorio se recomienda utilizar como granulometría más representativa de la mezcla la obtenida mediante el control de los acopios por el método de las medias móviles, ajustando a esta granulometría teórica la de la mezcla a estudiar. Para esta dosificación, se fabricará un mínimo de cinco series de probetas con la misma granulometría y con porcentajes crecientes de uno en uno de ligante, a partir del porcentaje mínimo determinado por el ensayo de envuelta. El número mínimo de probetas

por cada serie será de tres, que puede aumentarse a cuatro ó cinco en el caso de mezclas más abiertas. Además, si se va a determinar la densidad en probetas parafinadas, habrá que fabricar tres probetas más, como mínimo, para esta determinación.

5.2.3 Cálculo de densidades y huecos. Previamente hay que determinar la densidad de la mezcla de áridos mediante la norma NLT-167 «Densidad relativa de la mezcla de áridos en aceite de parafina». Para la determinación de la densidad de las probetas y cálculo de huecos se empleará la norma NLT-168 «Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas».

5.2.4 Gráficos. Una vez ensayadas las probetas, con los valores medios de la estabilidad, deformación, densidad y contenidos de huecos, se calculan y dibujan en función de los porcentajes de ligante los siguientes gráficos:

Estabilidad	% de ligante.
Deformación	% de ligante
Densidad relativa	% de ligante
Huecos en mezcla	% de ligante
Huecos en áridos	% de ligante

En el caso de utilizarse una prensa con registro, los gráficos de estabilidad y deformación incluirán las dos curvas de estabilidad y deformación máxima y de proyecto, obtenidas a partir de los valores determinados según el apartado 3.4.3.2.

5.2.5 Una vez calculados todos los parámetros de la mezcla, se analizan los valores obtenidos y, de acuerdo con los criterios basados en la especificación de proyecto, se determina el contenido óptimo de ligante.

5.2.6 Si de la observación de la curva de huecos en áridos se manifiesta una clara dificultad para cumplir las especificaciones, se recomienda estudiar otras curvas granulométricas teniendo en cuenta que los porcentajes de ligante adecuados deben corresponder a la rama descendente de esta curva de huecos en áridos.

6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1559-82 «Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus».

SNV 671969 b (1976) «Marshall-Versuch-Essai Marshall».

Méthode d'essai 54.16 (Belgique).

Mesas Redondas para el estudio de problemas planteados en el Ensayo Marshall. Laboratorio Transporte, Servicio Tecnología DGC y Laboratorios Regionales (MOPU) 1976, 1977 y 1978.
The Asphalt Institute, Manual Series, MS-2 (1984).

7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-167 «Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina».

NLT-168 «Densidad y huecos de las mezclas bituminosas compactadas».

Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de mezclas bituminosas utilizadas en pavimentación de carreteras. El procedimiento se emplea tanto para probetas del material fabricadas en laboratorio o en obra, como para las probetas-testigo extraídas del pavimento.

1.2 El principio del método consiste en imponer una deformación por compresión diametral a una probeta cilíndrica situada horizontalmente entre los platos de una prensa, de forma que los esfuerzos aplicados a la probeta sean sobre dos generatrices opuestas. El parámetro a medir es la carga de rotura de la probeta. También, optativamente, se pueden determinar el desplazamiento vertical y la deformación horizontal del diámetro de la probeta durante la realización del ensayo si se dispone de los sistemas pertinentes para medirlos.

1.3 El método de ensayo permite, por una parte, definir un parámetro capaz de caracterizar la mezcla bituminosa y, por otra, optimizar, en función del contenido de ligante, la cohesión de la mezcla y su resistencia al esfuerzo cortante.

1.4 El procedimiento se puede utilizar en el control de calidad de las mezclas bituminosas durante la fabricación o la puesta en obra de las mismas.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Prensa. Para ensayar las probetas se empleará cualquier tipo de prensa de compresión mecánica o hidráulica, que pueda proporcionar durante la aplicación de la carga una velocidad uniforme de desplazamiento del sistema de carga de $0,85 \pm 0,02$ mm/s (50,8 mm/min), y una carga de 100 kN (10^4 kgf) como mínimo (Nota 1).

Nota 1. La prensa utilizada para el ensayo Marshall, que se describe en la norma NLT-159, es adecuada para satisfacer el objeto de la presente norma.

2.2 Recinto termostático. Un recinto de capacidad suficiente para guardar las probetas para ensayo y mantenerlas a una temperatura de 25 ± 1 °C.

2.3 Calibrador. Para medir con precisión de $\pm 0,1$ mm el diámetro y la altura de las probetas para ensayo.

2.4 Dispositivo de sujeción de la probeta (optativo). El dispositivo permitirá la sujeción mediante contacto de la probeta por sus caras planas, utilizando dos tornillos de ajuste, así como la colocación de la probeta de forma que dos de sus generatrices, diametralmente opuestas, estén contenidas en el plano diametral perpendicular a los platos de la prensa. El contacto de estas dos generatrices con los elementos transmisores de la carga se puede hacer por medio de dos bandas de apoyo de madera contrachapada o cartón sin defectos, de 3 mm de espesor, 25 mm de ancho y de longitud igual o ligeramente superior a la generatriz de la probeta. Las bandas de apoyo no se utilizarán en más de un ensayo. También se puede situar la probeta directamente entre los dos platos de la prensa, siempre que se asegure el paralelismo entre ellos durante la carga.

2.5 Sistema de medida ($\pm 0,01$ mm) de desplazamiento vertical (optativo).

2.6 Sistema de medida ($\pm 0,01$ mm) de desplazamiento horizontal (optativo).

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Probetas para ensayo: características y preparación. El ensayo se puede realizar sobre probetas cilíndricas fabricadas en laboratorio o sobre testigos extraídos del pavimento.

3.1.1 Aunque las dimensiones de las probetas no son característica privativa del ensayo, se deben utilizar preferentemente las de diámetro 101,6 mm y altura de unos 63 mm (probeta Marshall). El proceso de compactación de la probeta (energía y temperatura) se efectuará de acuerdo con las características de la mezcla y del ligante asfáltico en estudio, y se puede realizar por medio de impacto (Marshall), amasado cizallamiento (máquina giratoria), compresión rápida (prensa) o cualquier otro conforme al fin perseguido en el ensayo.

3.1.2 Los testigos extraídos del pavimento presentarán un diámetro constante sobre toda la longitud de los mismos y las superficies laterales no presentarán irregularidades. Para obtener una altura uniforme se debe serrar el testigo de tal suerte que las superficies planas del mismo sean paralelas. Si el testigo procede de la capa de rodadura no es necesario eliminar la zona superficial superior si esta zona no presenta irregularidades mayores de $\pm 5\%$ de la altura del testigo-probeta y de 5 mm como máximo. La altura mínima de los testigos-probeta para ensayo no será menor de 30 mm.

3.2 Ejecución del ensayo

3.2.1 Medida geométrica de las probetas o testigos. Con el calibrador se determina el diámetro $\pm 0,1$ mm, de la probeta en seis planos, dos a dos perpendiculares: dos en el plano superior de la probeta, dos en el plano medio y dos en el plano inferior. El diámetro medio, d , es la media aritmética de las seis medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior a 1 mm.

La altura de la probeta se mide también con precisión de $\pm 0,1$ mm en cuatro puntos definidos por los extremos de dos planos diametrales perpendiculares, con un radio de 10 mm inferior al radio de la probeta. La altura media, h , es la media aritmética de las cuatro medidas. La diferencia entre dos medidas individuales no será superior al 5 % de la altura media, con un máximo de 5 mm.

3.2.2 Acondicionamiento térmico de las probetas. Se introducen las probetas en el baño termostático regulado a 25 ± 1 °C, durante 6 h, y se sacan del mismo, una a una, inmediatamente antes de ensayarlas (Nota 2).

Nota 2. Se puede realizar el ensayo a otras temperaturas con el fin de estudiar la susceptibilidad térmica de la mezcla en estudio. No obstante hay que tener presente que temperaturas por encima del punto de reblandecimiento del ligante exaltan el carácter viscoso de las mezclas, y que la fórmula empleada en la determinación de la resistencia a tracción indirecta, sólo es estrictamente aplicable a materiales con carácter fundamentalmente elástico.

3.2.3 Se retira la probeta del baño termostático y se sitúa en el dispositivo de sujeción, o directamente entre los platos de la prensa, según sea el caso, con dos de sus generatrices opuestas en contacto con los mismos.

3.2.4 Si se dispone de elementos de medida de deformación vertical y horizontal se colocan en posición de medida y se ajustan a cero.

3.2.5 Se aplica la carga a la probeta manteniendo la velocidad de deformación de $0,85 \pm 0,02$ mm constante, hasta que se rompa la probeta.

3.2.6 El tiempo transcurrido entre el momento en que se retira una probeta del recinto termostático y la rotura de la misma en la prensa no debe exceder de 30 segundos.

3.2.7 Se registran o anotan los valores de la carga de rotura y los de desplazamiento vertical y deformación horizontal, si este es el caso (Nota 3).

Nota 3. Si se utiliza prensa con registro gráfico XY, se obtiene un gráfico que proporciona la carga aplicada y el desplazamiento vertical durante el ensayo.

4 RESULTADOS

4.1 La resistencia a compresión diametral, tracción indirecta, de una probeta, se calcula con la fórmula siguiente, aproximando a la primera cifra decimal.

$$R\tau = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot h \cdot d}$$

donde:

$R\tau$ = Resistencia a compresión diametral, $N \cdot mm^{-2}$ (kgf/cm^2).

P = Carga máxima de rotura, N (kgf).

π = Constante 3,14159...

h = Altura de la probeta, mm ($\pm 0,1$ mm).

d = Diámetro de la probeta, mm ($\pm 0,1$ mm).

4.2 Además con el resultado se informará, para cada probeta, de:

- Características de la mezcla bituminosa utilizada.
- Contenido de ligante, en % s/a.
- Fabricación y compactación de la probeta.
- Modo de aplicación de la carga.
- Altura de la probeta, en 0,1 mm.
- Diámetro de la probeta, en 0,1 mm.
- Temperatura de ensayo, en °C.
- Velocidad de aplicación de la carga, en $mm \cdot s^{-1}$.
- Carga máxima, en N .

4.3 Si se han determinado el desplazamiento vertical y la deformación horizontal, se informará de:

- Desplazamiento vertical, D_v , en 0,01 mm.
- Desplazamiento horizontal, D_h , en 0,01 mm.
- El valor calculado de D_v/d .

5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

LAVOC/VSS «Essay de compression diametrale».
Laboratoire des voies de circulation de l'Ecole Poly-

technique fédérale de Lausanne. Travail de recherche 27/81 (Octobre 1984).
CEC (CEDEX). En la redacción de esta norma se han tenido en cuenta los resultados y conclusiones de un trabajo experimental, realizado en el Centro de Estudios de Carreteras, con mezclas bituminosas tipo, ensayadas a compresión diametral, en el que se determinaron la influencia de diversas variables implicadas (1989).

6 NORMA PARA CONSULTA

NLT-159 «Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall».

Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la densidad relativa aparente y de los porcentajes de huecos en las mezclas bituminosas compactadas. El método es aplicable a cualquier tipo de mezcla, bien sea fabricada en moldes convencionales o procedente de testigos extraídos de un pavimento.

1.2 La densidad relativa aparente es la relación, a una temperatura especificada, entre la masa en el aire de un volumen dado de un material permeable (volumen aparente, incluyendo los huecos accesibles y no accesibles) y la masa, a la misma temperatura, de un volumen igual de agua destilada.

1.3 Los porcentajes de huecos que se determinan en esta norma, huecos en mezcla, huecos en áridos y huecos rellenos de ligante, se calculan a partir de las proporciones en que intervienen en la mezcla los distintos componentes, áridos, polvo mineral y ligante, y sus respectivas densidades relativas obtenidas según las normas NLT-122, NLT-153, NLT-155 y NLT-167.

1.4 En esta norma se describen tres procedimientos para la determinación de la densidad relativa. En el primero, de aplicación general a todas las mezclas, el volumen aparente se obtiene a partir de la muestra recubierta con parafina. En el segundo, de aplicación solamente a las mezclas cerradas o prácticamente no absorbentes, este volumen se determina a partir de la muestra saturada y con su superficie seca. En el tercer procedimiento el volumen se determina por medida geométrica de la probeta y es de aplicación a las mezclas muy abiertas o porosas.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Balanza.** Una balanza de capacidad adecuada y con la sensibilidad suficiente para poder obtener la densidad relativa con, al menos, cuatro cifras exactas, o sea, tres decimales exactos como mínimo para estos materiales. Estará equipada con un dis-

positivo que permita la determinación de masas en muestras sumergidas (Nota 1).

Nota 1. Siendo la densidad relativa el cociente entre la masa de la muestra en el aire y la masa de agua equivalente a su volumen —obtenido ésta por diferencia entre la masa en el aire y la masa sumergida—, la necesidad de obtener el cociente con cuatro cifras exactas obliga a que tanto el dividendo como el divisor tengan, como mínimo también, cuatro cifras exactas.

2.2 **Baño de agua.** Para la determinación de las masas de muestras sumergidas, se utilizará un baño de tamaño adecuado provisto de rebosadero para mantener constante el nivel de agua.

2.3 **Cestillos.** Para la operación de pesar las muestras sumergidas, se utilizarán cestillos de alambre, de malla y tamaño adecuados a las muestras que se manejen, y suficientemente rígidos para que no se deformen.

2.4 **Parafina.**

3 PREPARACION DE LA MUESTRA

3.1 Las muestras pueden ser probetas fabricadas en moldes o testigos extraídos de un pavimento por medio de sonda, sierra o cualquier otro procedimiento adecuado. En todos los casos, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier deformación, agrietamiento o deterioro en las muestras que puedan alterar las condiciones iniciales del material.

3.2 **Dimensiones de las muestras.** El diámetro de la probeta o testigo en las muestras cilíndricas, o la longitud de las caras en las muestras serradas deben ser, por lo menos, cuatro veces el tamaño máximo del árido. Igualmente, el espesor de las muestras no debe ser inferior a vez y media ese mismo tamaño máximo.

3.3 Las muestras se limpiarán de cualquier material extraño y ajeno a las mismas, como productos de imprimación o adherencia, materiales de cimentación, tierra, papel, etc., reservándolas hasta el momento del ensayo apoyadas sobre una superficie plana y en una atmósfera limpia y seca.

3.4 Si la muestra está constituida por dos o más capas de pavimento, se pueden separar serrándolas o por otro procedimiento adecuado, tomando las precauciones necesarias indicadas en el Apartado 3.1.

4 DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA

4.1 Procedimiento con la muestra recubierta de parafina.

4.1.1 Masa de la muestra, en el aire. Después de dejar la muestra al aire a temperatura ambiente una hora como mínimo, se pesa con precisión $\pm 0,1$ g, para obtener su masa. Se designa este valor por A.

4.1.2 Masa de muestra recubierta de parafina, en el aire. Se recubre a continuación toda la superficie de la muestra con una capa de parafina fundida, de espesor suficiente para asegurar el cierre de todos los huecos superficiales. La muestra recubierta se deja enfriar al aire durante unos 30 minutos y se determina su masa, $\pm 0,1$ g, en la balanza. Se designa este valor por D (Notas 2 y 3).

Nota 2. La aplicación de la parafina debe efectuarse enfriando previamente la muestra a una temperatura de 4 ó 5 °C durante 30 minutos y sumergiéndola seguidamente en parafina fundida (de 6 a 8 °C por encima de su punto de fusión). Si quedan huecos sin parafinar, se retocan estos puntos con un pincel mojado en parafina.

Nota 3. En el caso de que se necesite la muestra para otros ensayos que requieran la eliminación de la película de parafina, se puede recubrir la muestra con polvos de talco, previamente al parafinado.

4.1.3 Masa de la muestra recubierta de parafina, en el agua. La muestra se pesa, $\pm 0,1$ g, sumergida en el baño de agua, suspendiéndola dentro del cestillo, del dispositivo que para este fin lleva la balanza. Se designa este valor por E.

4.1.4 Densidad relativa de la parafina. Si no se conoce, se determina la densidad relativa a 25 °C de la parafina empleada. Se designa este valor por F.

4.1.5 Correcciones por humedad. Siempre que se advierta o sospeche la existencia de humedad en la muestra —testigos recientemente extraídos o serrados, manipulaciones por limpieza u otra causa cualquiera—, se debe proceder bien a un secado previo de la muestra o a una determinación, en una porción reservada para este fin, del contenido de agua de la misma. En el primer caso, antes de proceder como se refiere en el Apartado 4.1.1, se puede secar la muestra en una estufa hasta pesada constante, regulando convenientemente la temperatura para evitar deformaciones que puedan alterar las condiciones iniciales del material; en el segundo caso, se puede seguir el procedimiento de arrastre con disolvente descrito en la norma NLT-123, empleando unos 500 g de muestra y 200 cm³ de disolvente, y corrigiendo entonces, si fuera preciso, las

pesadas A, D y E en la cuantía pertinente (Notas 4 y 5).

Nota 4. Cuando se trate de muestras bituminosas resistentes al calor, el secado en estufa se puede hacer a unos 110 °C (suele ser suficiente entre 15 y 24 horas).

Nota 5. Los procedimientos de secado en estufa y arrastre con disolvente dan resultados incorrectos de humedad cuando la muestra contiene productos volátiles.

4.1.6 Resultados. La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta parafinada)} = \frac{A}{D - E - \frac{D - A}{F}}$$

donde:

A = masa en gramos de la muestra seca, pesada en aire.

D = masa en gramos de la muestra seca parafinada, pesada en aire.

E = masa en gramos de la muestra seca parafinada, pesada en agua.

F = densidad relativa de la parafina, a 25 °C.

4.1.7 Precisión. Las determinaciones por duplicado realizadas por un mismo operador no deberán diferir en más de 0,02 unidades.

4.2 Procedimiento con la muestra saturada superficie seca

4.2.1 Masa de la muestra, en el agua. Se sumerge la muestra en el baño de agua a 25 °C durante 4 ó 5 minutos y se determina a continuación su masa, $\pm 0,1$ g, sumergida, suspendiéndola del dispositivo que para este fin debe llevar la balanza. Se designa este valor por C.

4.2.2 Masa de la muestra saturada superficie seca, en el aire. Se seca a continuación rápidamente la superficie de la muestra con un paño absorbente, hasta eliminar la película superficial de agua, y se pesa, $\pm 0,1$ g, inmediatamente después en el aire. Se designa este valor por B.

4.2.3 Masa de la muestra seca, en el aire. Se seca la muestra en la estufa hasta pesada constante (ver Nota 4), siguiendo, si es necesario, lo descrito en el Apartado 4.1.5. Una vez seca, se deja al aire a temperatura ambiente durante una hora al menos y se pesa, $\pm 0,1$ g, después en el aire. Se designa este valor por A (Nota 6).

Nota 6. Cuando se tenga la seguridad de que la muestra esté inicialmente seca, puede realizarse entonces la primera pesada de ésta en el aire, para seguir posteriormente con las pesadas sumergidas y saturada superficie seca.

4.2.4 Resultados. La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa aparente (Superficie saturada seca)} = \frac{A}{B - C}$$

donde:

A = masa en gramos de la muestra seca, pesada en aire.

B = masa en gramos de la muestra saturada superficie seca, pesada en aire.

C = masa en gramos de la muestra saturada, pesada en agua.

4.2.5 Precisión. Las determinaciones por duplicado realizadas por un mismo operador no deberán diferir en más de 0,035 unidades.

4.3 Procedimiento por medida geométrica del volumen aparente

4.3.1 Masa de la muestra, en el aire. Después de mantener la muestra al aire a temperatura ambiente una hora como mínimo, se pesa la misma con precisión de $\pm 0,1$ g, para obtener su masa. Se designa este valor por «A».

4.3.2 Determinación del volumen de la muestra

4.3.2.1 Probetas o testigos cilíndricos. Con el pie de rey o calibrador se efectúan cuatro medidas ($\pm 0,1$ mm), según los planos de dos diámetros perpendiculares, de la altura de la muestra. Se promedian los cuatro valores obtenidos y se designa el resultado por «h». Como diámetro de la muestra se toma el valor del diámetro nominal del molde en que se fabricó la probeta y el resultado de promediar el valor obtenido en dos mediciones sobre los diámetros perpendiculares si es el caso de testigo extraído del pavimento. Se designa por «d».

4.3.2.2 Probetas o testigos de forma paralelepípedica ortogonal. Con el pie de rey u otro instrumento de medida adecuado a las dimensiones de muestra, se efectúan las medidas, con precisión de 0,1 % respecto a la dimensión mayor, de las 3×4 aristas del paralelepípedo, correspondientes a la longitud, anchura y espesor del mismo. Se promedian los cuatro valores de las aristas homólogas y se designa cada uno de estos tres obtenidos como «l», «a», y «e».

4.3.3 Resultados. La densidad relativa aparente determinada por medida geométrica del volumen de la muestra se calcula, aplicando las expresiones siguientes según cada caso concreto.

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta o testigo cilíndrico)} = \frac{A}{\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \cdot h}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta o testigo paralelepípedico)} = \frac{A}{l \cdot a \cdot e}$$

donde:

A = Masa en g de la muestra seca pesada en aire

d = diámetro de la muestra, en cm

h = altura de la muestra, en cm

l, a, e = longitud, anchura y espesor de la muestra, en cm.

4.3.4 Precisión. No se han establecido valores para la precisión del ensayo (Nota 7).

Nota 7. La determinación del volumen por medida geométrica en muestras testigos extraídos del pavimento puede resultar en valores con errores de importancia si la geometría de los mismos —cilindro o paralelepípedo— no presenta una regularidad aceptable en los aristas y superficies que deben ser nitidas y uniformes.

5 DETERMINACIONES DE LOS HUECOS

5.1 Consideraciones generales y datos previos. En una mezcla asfáltica formada por una serie de componentes ponderales, la masa total, M, vale:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

siendo m_1, m_2, m_3 , etc., las masas individuales de cada componente, áridos gruesos, áridos finos, polvo mineral, ligante, etc. Como generalmente la composición de la mezcla se expresa por los porcentajes de cada componente respecto al total de la misma, tendremos también:

$$100 = T_1 + T_2 + T_3 + \dots$$

siendo T_1, T_2, T_3 , etc., los tantos por ciento de cada componente respecto a la mezcla total, existiendo entre ambas expresiones las relaciones:

$$m_1 = \frac{M}{100} T_1; \quad m_2 = \frac{M}{100} T_2; \quad m_3 = \frac{M}{100} T_3; \quad \text{etc.}$$

5.2 Densidad relativa de la mezcla de áridos. - Con objeto de facilitar los cálculos de huecos, se determina el valor de esta densidad, cuya expresión teórica es el cociente entre la suma de las masas de todos los componentes áridos de la mezcla, y la suma de las masas de volúmenes, respectivos, iguales de agua. Teniendo en cuenta las relaciones 5.1, se obtiene para esta densidad la expresión:

$$D_a = \frac{100}{\frac{T_1}{d_1} + \frac{T_2}{d_2} + \frac{T_3}{d_3} + \dots}$$

siendo T_1, T_2, T_3 , etc., los tantos por ciento de cada árido sobre el total de áridos de la mezcla, y d_1, d_2 ,

d_3 , etc., las densidades relativas aparentes de estos mismos áridos.

5.3 Densidad máxima teórica de las mezclas compactadas. Teóricamente esta densidad es la que se obtendría si al compactar una mezcla asfáltica se consiguiera una masa formada por áridos y ligante en la que no existiesen huecos. Partiendo de una expresión teórica análoga a la de la densidad de la mezcla de áridos, pero incluyendo además las masas de ligante, se obtiene para esta densidad el valor:

$$D_{\text{máx}} = \frac{100}{\frac{T_1}{d_1} + \frac{T_2}{d_2} + \dots + \frac{T_b}{d_b}}$$

en la que T_1, T_2, \dots y T_b son los porcentajes respecto al total de la mezcla de cada uno de los componentes áridos y ligante, y d_1, d_2, \dots, d_b sus respectivas densidades relativas aparentes. Empleando la densidad, D_a , de la mezcla de áridos:

$$D_{\text{máx}} = \frac{100}{\frac{T_a}{D_a} + \frac{T_b}{d_b}}$$

siendo T_a y T_b los porcentajes sobre mezcla total de los áridos y ligante, y D_a y d_b sus respectivas densidades relativas.

5.4 Tanto por ciento de huecos en las mezclas compactadas. Los huecos de una mezcla compactada representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el volumen teórico ocupado por el betún y los áridos. Esta diferencia, por unidad de volumen aparente, es equivalente a la expresión

$1 - \frac{D_p}{D_{\text{máx}}}$, siendo D_p la densidad relativa aparente de la mezcla compactada. El tanto por ciento de huecos en la mezcla, % H, valdrá, por consiguiente:

$$\% H = \left(1 - \frac{D_p}{D_{\text{máx}}} \right) 100$$

5.5 Tanto por ciento de huecos en los áridos compactados. Los huecos en los áridos compactados representan la diferencia entre el volumen apa-

rente de la mezcla compactada y el volumen teórico ocupado por los áridos compactados en dicha mezcla. El tanto por ciento de huecos en los áridos, % H A, será, por consiguiente:

$$\% H A = \left(1 - \frac{100 - T_b}{100} \cdot \frac{D_p}{D_a} \right) 100$$

siendo T_b, D_p y D_a , respectivamente, el tanto por ciento de ligante sobre mezcla, la densidad relativa aparente de la mezcla y la densidad relativa de la mezcla de áridos.

5.6 Tanto por ciento de huecos en los áridos, rellenos de ligante. Los huecos en los áridos rellenos de ligante representan la diferencia entre el volumen total de huecos en los áridos y el volumen de huecos en la mezcla; su porcentaje expresa la fracción del volumen total de huecos en los áridos ocupada por el ligante. Llamando % H R a este tanto por ciento, su expresión será:

$$\% H R = \left(1 - \frac{\% H}{\% H A} \right) 100$$

6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1188-88. «Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens».

ASTM D 2726-88 «Test Method for Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens».

ASTM D 3203-88 «Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Bituminous Paving Mixtures».

7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-122 «Densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos».

NLT-153 «Densidad relativa y absorción de áridos gruesos».

NLT-155 «Densidad relativa del filler, cementos y materiales similares».

NLT-167 «Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina».

NLT-123 «Agua en los materiales bituminosos».

Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a compresión simple de las mezclas bituminosas compactadas en caliente, utilizadas en construcción de carreteras.

1.2 El procedimiento consiste en la fabricación de probetas cilíndricas de altura igual a su diámetro y ensayadas posteriormente según los requisitos señalados en esta norma.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Moldes. Para la compactación de las probetas se dispondrá de moldes y pistones cilíndricos de acero, con la forma y dimensiones detalladas en la figura 1 (Nota 1). Se podrán utilizar también moldes y pistones de otros tamaños siempre que el diámetro del molde sea, como mínimo, equivalente a cuatro veces el tamaño máximo nominal del árido grueso empleado. En ningún caso se utilizarán moldes de diámetro inferior a 50,8 mm.

Nota 1. El pistón de compactación detallado en la figura podrá tener más de tresaletas.

2.2 Soportes. Los soportes para mantener eventualmente los moldes por encima de la base de sustentación del pistón inferior, estarán formados por dos varillas de acero de 25 mm² de sección y unos 75 mm de largo.

2.3 Máquina para ensayo. La máquina para ensayar las probetas puede ser cualquier tipo de prensa que cumpla las condiciones de capacidad de carga y velocidad exigidas por esta norma. La velocidad de deformación está especificada en 0,05 mm/min, por cada milímetro de altura de la probeta; como pueden ensayarse probetas con alturas entre 50,8 mm para las más pequeñas y 203,2 mm para las mayores, para cumplir el requisito de velocidad anterior se precisa que la máquina pueda suministrar velocidades de deformación entre 2,5 mm/min y 10,2 mm/min, según los tamaños de las probetas que se ensayen. La máquina llevará dos platos de

carga planos, de acero y con sus superficies endurecidas, la superior provista de asiento esférico y la inferior plano, sirviendo ésta de base a la probeta. El tamaño de ambos platos deberá ser ligeramente superior al diámetro máximo de las probetas a ensayar y con sus superficies de apoyo rectificadas, no permitiéndose variaciones en altura, respecto al plano verdadero, superiores a 0,013 mm en platos nuevos y a 0,025 mm en platos en uso. En el plato superior con apoyo esférico, el centro de esta esfera deberá coincidir con el centro geométrico del plato, el cual estará, en todo momento, firmemente sostenido en su apoyo, pero debiendo permitir esta unión, sin embargo, que el plato pueda girar y bascular libremente en todas direcciones.

2.4 Estufa. Para el calentamiento previo de los áridos, material bituminoso y conjunto de compactación, se dispondrá de una estufa capaz de alcanzar la temperatura de mezcla especificada para el ligante bituminoso empleado, dentro de una variación de ± 3 °C.

2.5 Baño de aire. Un baño de aire con control automático o manual de la temperatura y suficiente capacidad para alojar las probetas a 25 ± 1 °C hasta el momento del ensayo.

2.6 Balanza. Una balanza de 2.000 g de capacidad como mínimo y 0,1 g de sensibilidad, para pesar los distintos componentes de la mezcla.

2.7 Mezcladora mecánica. Las mezclas deberán prepararse preferentemente en una mezcladora mecánica, pudiendo utilizarse para esta finalidad cualquier tipo, siempre que pueda mantener la temperatura especificada de mezcla y proporcionar una envuelta completa y homogénea, sin segregaciones, en un tiempo máximo de dos minutos. La forma y disposición de las paletas deberá reducir al mínimo la adherencia a éstas de parte de la mezcla, que pudiera alterar la correcta proporción de finos y ligante de la misma. Si fuera necesario, el mezclado puede efectuarse manualmente, aunque se debe tener en cuenta que en las mezclas en caliente los tiempos necesarios para conseguir una envuelta correcta pueden ser excesivos y, además, los resultados de los ensayos suelen ser menos uniformes que cuando se emplea el mezclado mecánico.

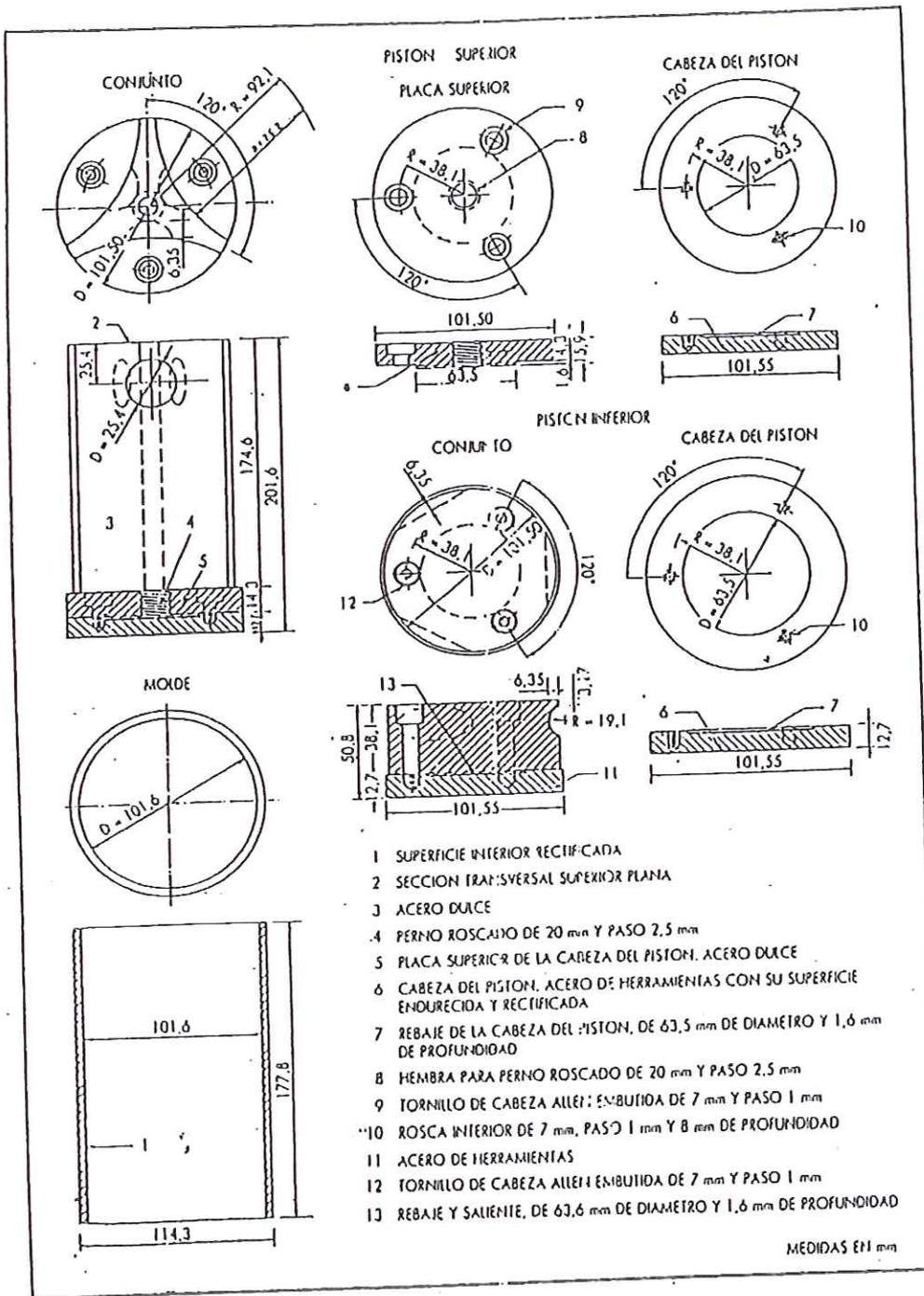


FIGURA 1. Conjunto de compactación.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de las probetas

3.1.1 Dimensiones de las probetas. Generalmente, las probetas para este ensayo serán cilíndricas, de 101,6 mm de diámetro y 101,6 mm de altura. La norma admite, sin embargo, que se puedan

fabricar probetas cilíndricas de otros tamaños, desde probetas con 50,8 mm de diámetro y altura para las más pequeñas, hasta probetas con 203,2 mm también de diámetro y altura para las mayores, aunque, debido a que el tamaño de la probeta influye en los resultados del ensayo de resistencia a compresión, se deberán tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La altura de la probeta será igual a su diámetro $\pm 2,5\%$.
- El diámetro de la probeta no será inferior a cuatro veces el tamaño máximo nominal del árido grueso empleado.
- En ningún caso el diámetro de la probeta será inferior a 50,8 mm.

3.1.2 Preparación de los áridos. Las distintas fracciones de árido grueso, fino y filler necesarias para la mezcla se prepararán por separado, combinándolas posteriormente para la obtención de la granulometría proyectada. Se recomienda el fraccionamiento de los áridos con los siguientes tamices UNE: 25 - 20 - 10 - 5 - 2,5 - 0,32 - 0,080.

3.1.3 Temperaturas de mezcla y compactación. Si el ligante empleado es un betún asfáltico, sus temperaturas de mezcla y compactación serán las adecuadas para que su viscosidad en el proceso de mezcla sea de 170 ± 20 cSt (85 ± 10 SSF) y en el de compactación de 280 ± 30 cSt (140 ± 15 SSF). Si se utiliza un alquitrán, las viscosidades respectivas serán de 25 ± 3 grados Engler para la mezcla y 40 ± 5 grados Engler para la compactación.

3.1.4 Preparación de las mezclas. Las probetas se prepararán todas individualmente, limitando las cantidades en cada amasada a las requeridas para una probeta. La cantidad de ligante calculada para la amasada se calienta a la temperatura necesaria, según el apartado 3.1.3, en un recipiente que, en ningún caso, estará en contacto directo con la llama o placa de calefacción sin interponer la debida protección, agitándolo continuamente mientras dure el calentamiento. También se podrá optar por calentar el material bituminoso necesario para el trabajo de una jornada en un recipiente con baño interpuesto de parafina; en este caso, todo el material sobrante de la jornada será desechado. Las cantidades pesadas de cada árido se mezclarán en seco completamente, calentándolas a continuación a la misma temperatura que el ligante. Cuando los áridos y el ligante hayan alcanzado la temperatura de mezcla, se carga el recipiente de mezclado, previamente calentado a una temperatura aproximada a la de los áridos, con la cantidad necesaria de éstos, ya premezclados, pesando a continuación sobre el mismo recipiente la cantidad calculada de material bituminoso, iniciando seguidamente el proceso de mezcla, cuya duración deberá estar comprendida entre 1,5 y 2 minutos. Debe evitarse una excesiva pérdida de calor durante el tiempo de mezclado, lo que puede paliarse colocando debajo del recipiente de mezcla una pequeña placa de calefacción, un baño caliente de arena o una lámpara de infrarrojos. La primera

mezcla fabricada se utilizará para embadurnar las paletas y paredes de la mezcladora, extrayéndola seguidamente y rascando con una espátula flexible el interior del recipiente y las paletas, no debiendo emplearse en esta operación trapos ni disolventes hasta que haya finalizado el trabajo o hubiera que cambiar de ligante. En primer lugar se fabricará una probeta de prueba, con objeto de calcular la cantidad de mezcla necesaria para conseguir la altura prescrita en el apartado 3.1.1; si se desea, se puede destinar para esta finalidad la mezcla inicial empleada en embadurnar la mezcladora.

3.1.5 Compactación de las probetas. Las mezclas recién fabricadas se dejarán enfriar en la mezcladora hasta que alcancen la temperatura de compactación necesaria. Cuando el ensayo se vaya a realizar con mezclas anteriormente fabricadas y frías, se calentarán éstas en una estufa mediante un calentamiento suave y uniforme hasta alcanzar la temperatura de compactación correspondiente (Nota 2). Los molde y los pistones de compactación se calentarán en estufa a una temperatura próxima a la de compactación; se sacan de la estufa y se engrasa ligeramente su interior mediante un trapo limpio impregnado con algunas gotas de aceite, colocando finalmente el molde sobre el pistón inferior, intercalando las dos varillas soporte. Tan pronto como la mezcla haya alcanzado su temperatura de compactación, comprendida dentro de los límites marcados para el ligante en el apartado 3.1.3, se vierte aproximadamente la mitad de la misma en el molde, distribuyéndola mediante 25 golpes aplicados con una espátula caliente, aplicando los 15 primeros en la periferia y los restantes distribuidos al azar; seguidamente se añade el resto de la mezcla y se aplican también de forma similar otros 25 golpes de espátula. En estas operaciones la espátula deberá penetrar lo más profundamente posible en la mezcla, habiéndose encontrado ventajoso el empleo de una espátula con sus bordes redondeados. Finalmente, a la parte superior de la mezcla se le dará un acabado ligeramente cónico o esférico, para facilitar el asentamiento del pistón superior. A continuación se coloca el pistón superior, y manteniendo todavía las varillas soporte intercaladas, se aplica sobre la mezcla una presión inicial o de asentamiento de 1 MPa (10 kgf/cm^2), con objeto de asentar inicialmente la mezcla; se retiran entonces las dos varillas soporte, para compactar por el sistema de doble émbolo, y se comienza la compactación definitiva de la mezcla mediante la aplicación de una carga creciente, regulando la velocidad lo más uniformemente posible, hasta alcanzar en un tiempo de 2 a 3 minutos una presión máxima de 21 MPa (210 kgf/cm^2), manteniendo esta presión sobre la mezcla durante dos minutos. Para las probetas normalizadas de

101,6 mm de diámetro, esta presión viene a representar una carga de unos 170 kN. Las probetas se dejan enfriar dentro del molde durante dos horas y se extraen a continuación mediante cualquier dispositivo que permita deslizar de una manera suave y uniforme la probeta. Una vez extraídas, se dejarán al aire durante un tiempo próximo a las dieciocho horas antes de ensayarlas.

Nota 2. Cuando se opere con mezclas recalentadas, debe tenerse en cuenta, en la realización del ensayo, que este tipo de probetas suelen dar valores de la resistencia más altos que cuando se trata de mezclas recién preparadas.

3.1.6 Densidad relativa de las probetas. La determinación de la densidad relativa de las probetas fabricadas, se puede realizar una vez transcurrido el período de dieciocho horas descrito en el apartado 3.1.5. La norma NLT-168 detalla el procedimiento a seguir, empleando el método saturado superficie seca.

3.2 Ejecución del ensayo

3.2.1 Antes de ensayarlas, las probetas se introducirán en un baño de aire regulado a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante un tiempo mínimo de cuatro horas.

3.2.2 A continuación, se coloca la probeta en el centro de la placa de carga de la máquina de ensayo y se somete a compresión axial sin soporte lateral, a una velocidad de deformación constante equivalente a 0,05 mm/min por milímetro de altura de la probeta. Para las probetas normalizadas de 101,6 mm de diámetro, este valor representa una velocidad de deformación de 5,08 mm/min.

4 RESULTADOS

4.1 Cálculos

4.1.1 Se determinará la resistencia a compresión simple de cada probeta, dividiendo la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de su sección transversal (80,1 cm² para las probetas de 101,6 mm de diámetro).

4.1.2 En cada ensayo se empleará un mínimo de tres probetas, y el valor medio de las tres resisten-

cias obtenidas se tomará como resultado del ensayo a compresión simple.

4.2 Expresión de los resultados. Los resultados del ensayo deberán incluir los siguientes datos de las probetas:

- Altura y diámetro nominales, en cm.
- Densidades relativas.
- Resistencia a compresión simple, en Pa y kgf/cm².

4.3 Precisión

Se define en esta norma como un resultado de ensayo, el valor medio de un mínimo de tres mediciones individuales de la resistencia a compresión simple.

4.3.1 Repetibilidad

La desviación típica de un resultado de ensayo por un solo operador es 145 kPa (1,5 kgf/cm²). Por tanto, los valores de dos resultados de ensayo no diferirán en más de 407 kPa (4,2 kgf/cm²); y la diferencia entre el valor más alto y el más bajo de las mediciones individuales, utilizadas en el cálculo de la media, será mayor de 841 kPa (8,6 kgf/cm²).

4.3.2 Reproducibilidad

La desviación típica de un resultado de ensayo por diferentes laboratorios es 372 kPa (3,8 kgf/cm²). Por tanto, los valores de dos resultados de ensayo sobre el mismo material no diferirán en más de 1.055 kPa (10,8 kgf/cm²).

5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1074-80 «Test Method for Compressive Strength of Bituminous Mixtures».

6 NORMA PARA CONSULTA

NLT-168 «Densidad y huecos de las mezclas bituminosas compactadas».

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN (AASHTO T 308-97)

OBJETO

Este método de ensayo cubre la determinación del contenido de ligante asfáltico de Mezclas de Asfalto en Caliente (MAC) por ignición del ligante asfáltico a 538 °C (1000°F) o menos en un horno. El árido que queda después de la ignición puede usarse para análisis de cernido usando la Norma AASHTO T30 (Análisis granulométrico de árido provenientes de extracción). Los valores en unidades métricas deben considerarse normales.

Esta norma puede involucrar materiales, operaciones y equipos peligrosos. Esta norma no considera todo lo que atañe a tópicos de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad de quién quiera que use esta norma, consultar y establecer prácticas apropiadas de seguridad y sanidad y determinar la aplicabilidad de limitaciones reglamentarias previas a su uso.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Obtenga muestras de árido de acuerdo a la Norma INEN 696.
2. Obtenga muestras de asfalto de acuerdo a la NORMA ASTM D 140 (Método de Muestreo de).
3. Obtenga muestras producidas frescas de mezclas asfálticas en caliente de acuerdo a la Norma ASTM D 979 ó AASHTO T 168 (Método de muestreo de mezclas en caliente)
4. La muestra de ensayo debe ser el resultado final de un proceso de cuarteo de una muestra grande tomada de acuerdo a la Norma INEN 2566.
5. Si la mezcla no es suficientemente blanda para ser separada con una espátula o poruña, colóquela sobre una bandeja grande plana en un horno a $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($257 \pm 9^{\circ}\text{F}$).
6. El tamaño de la muestra de ensayo debe estar de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado y la masa conforme a los requerimientos de la Tabla 1. Cuando la masa de la muestra de ensayo excede la capacidad del equipo usado, la muestra de ensayo puede dividirse en incrementos apropiados, ensayados, y los resultados apropiadamente combinados para calcular el contenido de ligante asfáltico (promedio ponderado). Los tamaños de las muestras no pueden ser más de 400 g mayores que el mínimo de masa de muestra recomendada.

Nota 1: Mezclar con grandes cantidades de finos tienden a resultados incompletos en la ignición.

TABLA 1. REQUERIMIENTOS AL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYO

Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)	Tamaño del Tamiz (in)	Cantidad Mínima de la Muestra (g)
4,75	Nº 4	1200
9,5	3/8"	1200
12,5	1/2"	1500
19,0	3/4"	2000
25,0	1"	3000
37,5	1½"	4000

CALIBRACIÓN

7. Este método puede ser afectado por el tipo de árido en la mezcla. En consecuencia, para optimizar la precisión, debe establecerse un factor de calibración con el ensayo de un conjunto de muestras de calibración para cada tipo de mezcla. Este procedimiento debe efectuarse antes de completar cualquier ensayo de aceptación. Ciertos tipos de áridos pueden dar lugar a factores de calibración desusadamente altos (>0,5 %) y resultados erróneos de graduación debido a degradación del árido. Tales mezclas deben calibrarse y ensayarse a temperaturas más bajas a las descritas en el punto 15.
8. El proceso de calibración debe repetirse cada vez que hay un cambio en los ingredientes de la mezcla de diseño.
9. De acuerdo a exigencias de "Extracción y Preparación de Muestras", prepare dos muestras de calibración al contenido de asfalto de diseño. Antes de mezclar, prepare una mezcla de consistencia blanda al contenido de ligante asfáltico de diseño. El propósito de esta mezcla blanda es acondicionar el bol de mezclado proporcionando un cubrimiento de ligante asfáltico y finos en el bol. Mezcle y deseche la mezcla blanda antes de mezclar cualquiera de las muestras de calibración para asegurar un contenido preciso de ligante asfáltico. Áridos usados en muestras de calibración deben ser muestreados de material acopiado producido en la temporada actual de construcción y destinado a ser usado en el proyecto considerado. Puede usarse cualquier método para combinar los áridos; como sea, una muestra adicional de control debe mezclarse y ensayarse por graduación del árido de acuerdo a Método AMezC2. La granulometría lavada debe caer dentro de las tolerancias de la mezcla de diseño.
10. Las muestras recién mezcladas deben colocarse directamente en los cestos de muestras. Si se les permite enfriar, las muestras deben precalentarse en un horno a 125°C por 25 minutos. No precaliente los canastos de muestras.
11. Ensaye las muestras de acuerdo a los Métodos de Ensayo A y B, explicados a continuación.
12. Efectúe un análisis granulométrico al árido residual tal como se indica en los puntos 57 a 59. Compare esta granulometría con la del material no quemado, muestra de referencia para evaluar a cantidad de árido degradado.
13. Una vez que todas las muestras de referencia han sido quemadas, determine los contenidos de ligante asfáltico medidos de cada muestra por cálculo o de las etiquetas impresas.
14. Si la diferencia entre los contenidos de ligante asfáltico medidos excede de 0,15%, repita los dos ensayos, de los cuatro ensayos, descarte los valores altos y bajos. Determine el factor de calibración de los dos resultados restantes. Calcule la diferencia entre los contenidos ligante asfáltico actual y medido para cada muestra. El factor de calibración es el promedio de las diferencias expresado en porcentaje en peso de la mezcla de asfalto.
15. Si el factor de calibración excede de 0,5%, baje la temperatura del ensayo a $482 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($900 \pm 8^{\circ}\text{F}$) y repita el ensayo. Use el factor de calibración obtenido a 482°C aún si este excede 0.5%.
16. La temperatura para ensayar muestras de mezcla asfáltica en caliente en 23 y 41 debe ser la misma temperatura seleccionada para ensayar muestras de la mezcla de calibración.

MÉTODO DE ENSAYO A

Equipo y materiales

17. Horno de ignición

Un Horno de ignición de circulación forzada, capaz de mantener la temperatura a 578° C (1072° F), con una balanza interna térmicamente aislada de la cámara del horno con una precisión de 0,1 g. La balanza debe ser capaz de pesar una muestra de 3.500 g además de los cestos para las muestras. Debe incluirse un sistema de obtención de datos de manera que el peso pueda determinarse automáticamente y mostrarse durante el ensayo. El horno debe tener incorporado un programa de computación para calcular el cambio de masa de la muestra en los cestos 18. Proporcionar entrada al factor de corrección por pérdida de árido. El horno debe proporcionar una ficha impresa con la masa inicial de la muestra, pérdida de masa de la muestra, temperatura de compensación, factor de corrección, contenido corregido de asfalto (porcentaje), tiempo de ensayo, y temperatura de ensayo. Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar una muestra de 3.500 g. El horno debe tener un indicador audible y un indicador luminoso cuando la pérdida de masa no exceda 0,01 % del total de la masa de la muestra por tres minutos consecutivos. La puerta del horno debe estar equipada de manera que la puerta no se pueda abrir durante el ensayo de ignición. Debe proporcionarse un método para reducir las emisiones del horno. El horno debe ventilarse a una campana o hacia el exterior y cuando está correctamente instalada no deben notarse olores que escapen al laboratorio. El horno debe tener un ventilador capaz de empujar el aire fuera del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humos al laboratorio.

Nota 2: El horno debe permitir al operador cambiar el porcentaje de pérdida de masa final a 0,02 %.

18. Cesto(s) para las muestras

De tamaño apropiado para permitir que las muestras se extiendan delgadamente y permitir al aire fluir a través y alrededor de las partículas. Conjuntos de dos o más cestos deben encajar. La muestra debe estar totalmente cubierta con una pantalla de malla, una placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

Nota 3: Se ha encontrado que funcionan bien, una pantalla de malla u otro material adecuado con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (N°8) y 600 micrones (N°30), respectivamente.

19. Bandeja de retención

De suficiente tamaño para contener el (los) canasto(s) de muestra(s) para que las partículas de agregados y ligante asfáltico fundido que caen a través de la pantalla de malla puedan retenerse. Horno capaz de mantener una temperatura de $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($257 \pm 9^{\circ}\text{F}$).

20. Balanza

De suficiente capacidad, para pesar las muestras en los cestos.

21. Equipo de seguridad

Gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora capaz de rodear los cestos de muestras durante el período de enfriamiento.

22. Equipo misceláneo

Una bandeja mayor que los cestos de muestras para transferir muestras después de ignición, espátulas, bolsa y cepillos de alambre.

Procedimientos de ensayo

23. Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o como se determine en el punto 15. Registre manualmente la temperatura del horno (punto de referencia) antes de iniciar el ensayo si el horno no la registra automáticamente.
24. Seque en horno la muestra de mezcla asfáltica en caliente a masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($221 \pm 9^\circ\text{F}$) o determine el contenido de humedad de acuerdo a la Norma ASTM D 1664 (Método Estático para Determinar la Adherencia Árido-Ligante Asfáltico).
25. Ingrese el factor de calibración de la mezcla específica a ser ensayada como se determina en a sección de Calibración en el horno de ignición.
26. Pese y registre la masa del cesto de muestra y bandeja de retención (con las protecciones en posición).
27. Prepare la muestra como se describe en los puntos 1 a 6. Distribuya uniformemente esta muestra en el cesto de muestra que ha sido colocado en la bandeja de retención, tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto. Use una espátula o poruña para nivelar la muestra.
28. Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra (masa total menos la masa del conjunto del cesto de la muestra).
29. Ingrese la masa inicial de la muestra en gramos en números enteros en el controlador del horno de ignición. Verifique que se ha ingresado la masa correcta. 30.
30. Abra la puerta de la cámara, y coloque los cestos de muestras en el horno. Cierre la puerta de la cámara, y verifique que la masa de la muestra (incluido el cesto(s)) que se muestra en la escala del horno es igual a la masa total registrada ± 5 g, en el punto 28. Diferencias > 5 g o falla de la escala del horno de estabilizarse puede indicar que los cestos de muestras pueden estar en contacto con las paredes del horno. Inicie el ensayo presionando el botón de "partir y parar". Esto bloqueará la cámara de la muestra y partirá el ventilador de combustión.

Nota 4: La temperatura del horno descenderá bajo el punto de referencia cuando se abre la puerta, pero se recuperará cuando se cierre la puerta y empiece la ignición. La ignición de la muestra típicamente aumenta la temperatura bastante sobre el punto de referencia.
31. Permita al ensayo continuar hasta que una luz y un sonido del indicador estables indiquen que el ensayo está terminado (el cambio en masa no debe exceder de 0,01% en tres minutos consecutivos). Presione el botón "partir y parar". Esto desbloqueará la puerta de la cámara y hará que la impresora, imprima los resultados del ensayo.
32. Use el contenido de ligante asfáltico corregido (porcentaje) de la tarjeta impresa. Si se ha determinado el contenido de humedad, reste ste del contenido de ligante asfáltico corregido de la tarjeta impresa, e informe la diferencia como el contenido de ligante asfáltico corregido.
33. Abra la puerta de la cámara, remueva el o los cestos de muestras, y déjelos enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 30 minutos.

MÉTODO DE ENSAYO B

Equipo y materiales

34. Horno de Ignición

Un Horno de ignición de circulación forzada, capaz de mantener la temperatura a 578°C (1072°F). Las dimensiones de la cámara del horno deben ser adecuadas para acomodar una muestra de 3.500 g. La puerta del horno debe estar equipada de manera que la puerta no se pueda abrir durante el ensayo de ignición. Debe proporcionarse un método para reducir las emisiones del horno. El horno debe ventilarse a una campana o hacia el exterior, cuando está correctamente instalada, no deben notarse olores que escapen al laboratorio. El horno debe tener un ventilador capaz de empujar el aire fuera del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humos al laboratorio.

35. Cesto(s) para las muestras

De tamaño apropiado para permitir que las muestras se extiendan delgadamente y permitir al aire fluir a través y alrededor de las partículas. Conjuntos de dos o más cestos deben encastrarse. La muestra debe estar totalmente cubierta con una pantalla de malla, una placa perforada de acero inoxidable, o cualquier otro material apropiado.

Nota 6: Se ha encontrado que funcionan bien, una pantalla de malla u otro material adecuado con aberturas máximas y mínimas de 2,36 mm (N°8) y 600 micrones (N°30), respectivamente.

36. Bandeja de retención

De suficiente tamaño para contener el (los) canasto(s) de muestra(s) para que las partículas de áridos y ligante asfáltico fundido que caen a través de la pantalla de malla puedan retenerse.

37. Horno

Capaz de mantener una temperatura de $125 \pm 5^\circ\text{C}$ ($257 \pm 9^\circ\text{F}$).

38. Balanza

De suficiente capacidad para pesar las muestras en los cestos.

39. Equipo de seguridad

Gafas de seguridad o escudo para la cara, guantes para altas temperaturas, chaquetas de mangas largas, una superficie resistente al calor capaz de soportar 650°C (1202°F) y una cámara protectora capaz de rodear los cestos de muestras durante el período de enfriamiento.

40. Equipo misceláneo

Una bandeja mayor que los cestos de muestras para transferir muestras después de ignición, espátulas, bols y cepillos de alambre.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

41. Precaliente el horno de ignición a 538°C (1000°F) o como se determine en el punto 15.

42. Seque en horno la muestra mezcla asfáltica en caliente a masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ($221 \pm 9^\circ\text{F}$) o determine el contenido de humedad de acuerdo con la Norma ASTM D 1664 (Método estático para determinar la adherencia Árido – Ligante Asfáltico).

43. Ingrese el factor de calibración de la mezcla específica a ser ensayada como se determina en los puntos 7 al 16.
44. Pese y registre la masa del cesto de muestra y bandeja de retención (con las protecciones en posición).
45. Prepare la muestra como se describe en los puntos 1 al 6. Coloque los cestos de muestras en la bandeja de retención. Distribuya uniformemente esta muestra en el cesto de muestra, tenga cuidado de mantener la muestra fuera de los bordes del cesto.
46. Pese y registre la masa total de la muestra, cesto(s), bandeja de retención, y protecciones de los cestos. Calcule y registre la masa inicial de la muestra (masa total menos la masa del conjunto del cesto de la muestra).
47. Queme la muestra de mezcla asfáltica en caliente en el horno por lo menos 45 minutos.

Nota 7: El tiempo apropiado para un quemado inicial de una muestra de mezcla asfáltica en caliente depende del tamaño de la muestra. Para muestras grandes, el tiempo puede ser significativamente mayor de 45 minutos. Vea el manual del fabricante para ficha técnica.

48. Remueva la muestra del horno después de ignición y déjelos enfriar a temperatura ambiente, por a lo menos 30 minutos.
49. Pese y registre la masa de la muestra (mA) después de ignición con aproximación de 0,1 g.
50. Ponga de vuelta la muestra en el horno.
51. Después que el horno ha alcanzado la temperatura registrada, queme la muestra por lo menos 15 minutos.
52. Remueva la muestra del horno y déjela enfriar a temperatura ambiente a lo menos 30 minutos.
53. Pese y registre la masa de la muestra (mA) después de ignición.
54. Repita estos pasos hasta que el cambio en la masa medida (mA) después de ignición no excede 0,01% de la masa inicial de la muestra.

Nota 8: Un porcentaje de pérdida de masa final de 0,02% puede substituirse cuando se usan agregados que exhiben una cantidad excesiva de pérdida durante el ensayo de ignición. Precisión y exactitud pueden ser adversamente afectados si se usa 0,02%. Después que se ha establecido el tiempo requerido para cada mezcla para obtener la pérdida de masa especificada, repetir las pesadas puede no ser necesario.

55. Registre el último valor obtenido la masa de la muestra (mA) después de ignición
56. Calcule el contenido de asfalto de la muestra como sigue:

————— -Cf

AC% = Contenido de asfalto medido (corregido)

Ma = Peso remanente total del agregado después de ignición.

Ms = Peso total de la muestra CTO antes de ignición.

Cf = Factor de calibración, porcentaje en peso de la muestra de mezcla asfáltica en caliente

GRADUACIÓN

57. Deje enfriar la muestra a temperatura ambiente en los cestos de muestras.

58. Vacíe el contenido de los cestos sobre una bandeja. Use una escobilla pequeña de alambre para mallas para asegurarse que cualquier residuo de finos es removido de los cestos.
59. Ejecute análisis granulométrico de acuerdo a con la Norma AASHTO T 30 (Análisis Granulométrico de áridos mediante la extracción).

INFORME

Informe el Método de Ensayo (A o B) – contenido corregido de ligante asfáltico, factor de calibración, factor de compensación de temperatura (si es aplicable), porcentaje total de pérdidas, masa de la muestra, contenido de humedad (si se determina) y temperatura de ensayo. Incluya el boleto impreso original al informar por unidades con los balances internos.

PRECISIÓN Y SESGO

60. Precisión

Fue determinada en un estudio de encuesta NCAT para mezclas de superficie usando el Método A. No se ha determinado precisión aun para el Ensayo Método B. (Vea Tabla A0617_2).

TABLA 2. PRECISIÓN DEL MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO POR IGNICIÓN

CONTENIDO DE ASFALTO	DESVIACIÓN NORMAL (%)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS DE ENSAYOS (%)
Precisión de un operador	0,04	0,11
Precisión entre Laboratorios	0,06	0,17

Nota 9: La precisión estimada está basada en cuatro tipos de áridos, 4 repeticiones, y 12 laboratorios participantes, con 0 resultados de laboratorios postergados como observaciones externas. Los cuatro áridos fueron ensayados como mezclas de superficie y tenían valores de absorción relativamente bajos.

61. Sesgo

El sesgo para Métodos de Ensayos A y B, no han sido determinados.

MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SIN COMPACTAR (ASTM D 2041)

OBJETO

Este método permite determinar la densidad máxima teórica de mezclas asfálticas sin compactar, a 25°C, así como el porcentaje de ligante absorbido por los áridos de la mezcla, de modo de cuantificar la cantidad total o efectiva de asfalto requerida por la misma.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Recipientes para vacío

- a) Se describen cuatro tipos de recipiente para vacío, cada uno de los cuales deberá ser capaz de mantener el vacío requerido, para lo que deberá disponer de los accesorios necesarios para la aplicación del procedimiento.
- b) El tamaño del recipiente por usar dependerá de la cantidad mínima de muestra, de acuerdo a la Tabla A0605_1 incluida en "Tamaño de la muestra de ensaye".
- c) Descripción de los recipientes:
 - Tipo A: matraz aforado de vidrio con capacidad aproximada de 2.000 ml.
 - Tipo B: picnómetro de vidrio con capacidad aproximada de 4.000 ml.
 - Tipo C: picnómetro de metal con tapa transparente y capacidad aproximada de 4.500 ml.
 - Tipo D: picnómetro plástico con capacidad mínima de 10.000 ml.

2. Balanzas

- a) Balanza de capacidad 5.000 g y resolución 0,1 g.
- b) Balanza de capacidad 30.000 g y resolución 1 g.

3. Bomba de vacío

Capaz de producir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

4. Manómetro de presión residual

Capaz de medir una presión residual igual o inferior a 30 mm Hg.

5. Baño de agua

Capaz de controlar y mantener una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

6. Horno

Horno de convección forzada; capaz de controlar y mantener la temperatura requerida dentro de $\pm 3^\circ\text{C}$.

7. Otros

Bol, espátula, piseta, vaselina sólida, termómetro y agua destilada.

Calibración de recipientes

8. Recipientes Tipos A y B

Consiste en determinar a 25°C la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Llene el picnómetro con agua destilada a 25° C.
- b) Mantenga el recipiente en un baño de agua a 25° C durante 1 h.
- c) Seque cuidadosamente el recipiente y péselo.
- d) Designe la masa del picnómetro lleno con agua como MPA.

9. Recipientes tipos C y D

Consiste en determinar, a una temperatura entre 22 y 27° C, la masa exacta de agua necesaria para llenarlo.

- a) Asegure la cubierta y llene el picnómetro con agua destilada a 25° C hasta casi el tope (deje libre aproximadamente 50 mm).

- b) Aplique vacío por 10 min, levante el picnómetro, primero de un lado y luego del otro, y déjelo caer desde aproximadamente 10 mm sobre la superficie.
- c) Agregue agua destilada a 25° C hasta llenar completamente el picnómetro.
- d) Elimine las burbujas que queden adheridas en las paredes interiores del recipiente
- e) Seque prolijamente el exterior del picnómetro.
- f) Pese el picnómetro lleno con agua y designe su masa como MPa.
- g) Registre la temperatura del agua. Si ésta difiere del rango 22 - 27° C, repita el procedimiento de calibración.

Nota 1: La calibración de los recipientes debe chequearse periódicamente. El equipo debe mantenerse limpio y libre de cualquier contaminación. Se deben utilizar solventes adecuados, especialmente cuando se trate de recipientes plásticos. Los recipientes de vidrio no deben someterse a altos niveles de vacío si se encuentran dañados.

TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE

El tamaño de la muestra de ensaye deberá estar de acuerdo al tamaño máximo nominal (TMN) del árido, según lo indicado en la Tabla A0605_1.

TABLA A0605_1 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE ENSAYE

TMN árido (mm)	Masa Mínima de Muestra (g)
37,5	4.000
25	2.500
19	2.000
12,5	1.500
9,5	1.000
4,75	500

PROCEDIMIENTO

10. Separe manualmente las partículas de la muestra teniendo cuidado de no fracturar el árido, de modo que las partículas de la fracción de árido fino no sean mayores que 4,75 mm. Si la mezcla no está lo suficientemente blanda para ser separada, colóquela en un horno y caliéntela sólo hasta que sea manipulable.
11. Enfríe la muestra hasta temperatura ambiente.
12. Pese la muestra y registre esta masa como Mm.
13. Coloque la muestra en el recipiente y agregue agua destilada hasta casi el tope de éste.
14. Aplique vacío por 10 min. agitando su contenido periódicamente con un vibrador mecánico o en forma manual de acuerdo a 9 b).
15. Inmediatamente después de remover el aire atrapado, continúe con uno de los siguientes procedimientos según el tipo de recipiente a utilizar:
 - a) Recipientes tipos A y B:
 - Llene completamente el recipiente con agua destilada y colóquelo en un baño de agua a 25° C.
 - Una vez alcanzada la temperatura de 25° C, deje el conjunto otros 10 min. dentro del baño.
 - Saque el recipiente del baño y séquelo exteriormente.
 - Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.
 - b) Recipientes tipos C y D:
 - Llene completamente el recipiente con agua destilada a 25° C.
 - Seque el exterior del recipiente.
 - Pese el recipiente lleno con agua y mezcla y registre su masa como MPam.
 - Registre la temperatura del agua; si no está en el rango de 22 a 27° C, repita el ensaye.

Nota 2: El tiempo empleado para llenar y secar cualquiera de los recipientes (A, B, C o D) debe ser igual al ocupado en la calibración, con una tolerancia de ± 1 min.

CÁLCULOS

16. Determine la densidad máxima de la mezcla sin compactar mediante la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{Mm}{Mm + MPa - MPam} \times \rho_T$$

Donde:

- D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla sin compactar (kg/m^3)
 Mm : Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)
 MPa : Masa del recipiente lleno con agua (g)
 $MPam$: Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)
 ρ_T : Densidad del agua a la temperatura de ensaye (kg/m^3). Ver Tabla A0605_2.

TABLA A0605_2 DENSIDAD DEL AGUA A DISTINTAS TEMPERATURAS

Temperatura (°C)	ρ_T (Kg/m ³)
22	997,8
23	997,6
24	997,3
25	997,1
26	996,8
27	996,5

PROCEDIMIENTO DE ENSAYE PARA MEZCLAS QUE CONTIENEN AGREGADOS POROSOS NO CUBIERTOS COMPLETAMENTE

17. Si los poros no están totalmente sellados por una película bituminosa, se pueden saturar con agua durante el proceso de vacío. Para determinar si esto ha ocurrido, proceda como se indica a continuación, una vez terminado el procedimiento indicado en 15 a) ó b), según corresponda.
18. Drene el agua de la mezcla con extrema precaución evitando la pérdida de árido (Se puede utilizar un tamiz N ° 200 para estos efectos).
19. Fracture algunas partículas de árido y examine visualmente si están húmedas.
- Si el árido no ha absorbido agua, deseche la muestra.
 - Si el árido ha absorbido agua, remueva la humedad superficial utilizando un horno con convección forzada o ventilador, revolviendo la mezcla intermitentemente. Cuando la pérdida de masa sea menor que 0,05%, detenga el secado y registre la masa alcanzada por la muestra como M_{mss} .
 - Calcule la densidad máxima de la mezcla con árido porosos no cubiertos completamente, de acuerdo a la siguiente expresión, aproximando al entero.

$$D_{mm} = \frac{Mm}{M_{mss} + MPa - MPam} \rho_T$$

Donde:

- D_{mm} : Densidad máxima de la mezcla sin compactar (kg/m^3)
 Mm : Masa de la muestra a temperatura ambiente (g)
 M_{mss} : Masa de la muestra con superficie seca (g)
 MPa : Masa del recipiente lleno con agua (g)
 $MPam$: Masa del recipiente lleno con agua y muestra (g)
 ρ_T : Densidad del agua a la temperatura de ensaye (kg/m^3). Ver Tabla A0605_2.

EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El resultado del ensaye será el valor promedio de tres determinaciones, aproximando al entero.

PRECISIÓN

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de densidad obtenidos mediante este método, es el siguiente:

	Rango de aceptabilidad para dos resultados* (Kg /m ³)
Precisión para un operador	11
Precisión para conjunto de laboratorios	19

* Válido para resultados de ensaye obtenidos sin hacer uso de* Procedimiento de ensaye para mezclas que contienen áridos porosos no cubiertos completamente*.

* Base de estimación: 3 determinaciones, 5 materiales, 5 laboratorios.

* Los valores anotados corresponden a las diferencias máximas permisibles para dos resultados de un mismo ensaye.

INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Densidad de la mezcla (kg /m³).
- b) Tipo de mezcla.
- c) Tamaño de la muestra.
- d) Número de muestras.
- e) Tipo de recipiente.
- f) Procedimiento empleado.
- g) Contenido de asfalto (% referido al árido seco) para muestras preparadas en laboratorio.

MÉTODO PARA ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ÁRIDOS PROVENIENTES DE EXTRACCIÓN (AASHTO T 30)

OBJETO

Este método describe el procedimiento para determinar la distribución de tamaños de las partículas de áridos gruesos y finos extraídos de muestras bituminosas. Sirve para verificar el cumplimiento de la granulometría con la banda de trabajo y además entrega antecedentes para el control de calidad de las mezclas asfálticas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Balanzas
Con capacidades de 5.000 y 2.000 g y precisión de 0,1 y 0,01 g, respectivamente.
2. Tamices
Que cumplan el Método A0506.
3. Horno
Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
4. Recipientes
5. Otros (Espátula y escobilla de bronce)

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Tamaño de la muestra de ensaye

El tamaño mínimo de la muestra de ensaye deberá cumplir con lo indicado en Tabla A0604_1 del Método A0604.

PROCEDIMIENTO

6. Seque la muestra en horno hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. La masa total de la muestra corresponde a la suma del árido lavado y seco, el material fino en el solvente recuperado y el material fino retenido en el filtro, de acuerdo con el Método A0604.
7. Pese la muestra y colóquela en un recipiente; cúbrala con agua y adiciónale, en cantidad suficiente, un agente humectante, para asegurar la separación total del material que pasa tamiz 0,075 mm (Nº 200) de las partículas más gruesas.
Agite vigorosamente el contenido del recipiente e inmediatamente vierta el agua de lavado sobre los tamices 2,36 mm (Nº 8) y 0,075 mm (Nº 200). Agite y revuelva el material manualmente o con una espátula.
Nota 1: La agitación debe ser lo suficientemente vigorosa para que se produzca la completa separación de todas las partículas más finas que 0,080 mm.
8. Remueva los finos en suspensión mediante decantación y lavado. Repita la operación hasta que el agua esté limpia.
Nota 2: Debe evitar la pérdida de árido en esta operación.
9. Devuelva al recipiente todo el material retenido en los tamices; seque en horno el árido lavado hasta masa constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Pese, aproximando a un decimal.
10. Tamice el árido usando la serie indicada en las especificaciones, incluyendo el tamiz 0,075 mm. Registre la masa del material retenido en cada tamiz y la que pasa por el de 0,075 mm.
11. Compare la suma de las masas obtenidas en 10 con la masa del material seco después de lavado. La diferencia deberá ser menor que el 0,2 % de esta última.
12. La masa total del material que pasa tamiz 0,075 mm se obtiene sumando la determinada por tamizado en seco, la retenida en el solvente de la extracción y la removida por lavado.

13. La masa de las fracciones retenidas en los distintos tamices y el total que pasa 0,075 mm se expresan en porcentaje, dividiendo cada una de ellas por la masa total de la muestra definida en 6.

CÁLCULOS

Expresar la granulometría de acuerdo a los porcentajes que pasan por cada tamiz de la serie especificada, aproximando los porcentajes a números enteros, excepto para el material que pasa 0,075 mm, cuyo porcentaje se aproximará a un decimal. (Ver Figura A0604_2 del Método A0604).

INFORME

El informe deberá incluir al menos los siguientes antecedentes:

- a) Identificación del contrato y empresa contratista.
- b) Procedencia de la muestra y fecha de muestreo.
- c) Entidad responsable del muestreo.
- d) Fecha del ensaye.
- e) Entidad responsable del ensaye.
- f) Contenido (%) de asfalto (determinado según Método A0604).
- g) Granulometría de los áridos provenientes de la extracción (determinada por este Método).
- h) Cualquier otra información específica u observación relativa al ensaye.
- i) La referencia a este Método.

A0614. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS ABIERTAS (AASHTO R12-85)

OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de áridos de graduación abierta.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

1. Someta el árido a los ensayos de calidad especificados.
2. Separe el árido en cada una de las siguientes fracciones: 25 - 20; 20 - 12,5; 12,5 - 5 y bajo 5 mm, de modo de reconstituir posteriormente la granulometría del material en mezclas de prueba.
3. Determine la constante de absorción del árido grueso de acuerdo con el Método A0519.
4. Determine el área superficial de acuerdo con el Método A0513.

PROCEDIMIENTO

Contenido de ligante

El contenido del ligante se determina de acuerdo a las expresiones siguientes:

5. Mezclas con emulsión asfáltica

$$E(\%) = 1,5 K_c + 3,5$$

Donde:

E: Porcentaje de emulsión tentativo referido al árido seco.
K_c: Constante de absorción del árido grueso.

6. Mezclas con cemento asfáltico

$$CA(\%) = 1,5 K_c + 1,0$$

Donde:

CA: Porcentaje tentativo de cemento asfáltico referido al árido.
K_c: Constante de absorción del árido grueso.

Mezclas de prueba con emulsiones asfálticas

7. Reconstituya la granulometría del árido, previamente separado en fracciones, en muestras representativas de 500 g. Prepare entre 15 y 20 muestras, que deben colocarse en envases sellados para prevenir la pérdida de humedad.
8. Determine la humedad de cada una de las muestras, secándolas hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
9. Coloque una muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de emulsión determinada en 5.
10. Mezcle manualmente en el bol, usando una espátula cuadrada (25 mm de ancho), durante 30 a 45 s. Evalúe y registre el tiempo de revoltura; las mezclas aceptables se rigidizan después de 30 a 45 s de mezclado.
11. Coloque toda la mezcla en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje que la mezcla drene durante 30 min.

Si drena, coloque el recipiente que contiene el exceso de líquido en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y seque hasta masa constante. Determine su peso final y calcule el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso árido}} \times 100$$

Saque la muestra del embudo y colóquela en un horno ventilado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.

12. Evalúe la mezcla, después de secada superficialmente, de acuerdo a lo siguiente:
 - a) Espesor del cubrimiento: Esta es una observación visual y debe registrarse como delgada, media o gruesa.
 - b) Porcentaje de partículas cubiertas: También es una observación visual y se debe registrar un valor estimado.
 - c) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.
13. Confeccione mezclas de prueba con el contenido de emulsión determinado en 5, siguiendo los pasos desde 9 a 12, pero adicionando agua al árido antes de agregar la emulsión. El agua se añade incrementando en 0,5 puntos porcentuales en cada porción adicional. Continúe hasta que se aprecie un exceso de líquido drenado.
14. Confeccione mezclas de prueba con contenidos de emulsión de 1 punto porcentual sobre y bajo el determinado en 5, siguiendo los pasos desde 9 a 13.

Mezclas de prueba con cementos asfálticos

15. Seque a una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ las fracciones previamente separadas y reconstituya muestras representativas de 500 g.
16. La temperatura de mezclado del asfalto debe ser tal que produzca una viscosidad mayor o igual que 300 cSt (150 SFS), manteniéndose lo más baja posible compatible con un adecuado cubrimiento del árido. Caliente el árido a una temperatura no mayor que 20°C sobre la temperatura del asfalto.
17. Coloque la muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de cemento asfáltico establecida en 6.
18. Mezcle manualmente durante 30 a 45 s.
19. Coloque la muestra en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje drenar la mezcla durante 30 min en un horno a la temperatura de $120 \pm 5^\circ \text{C}$.

Si drena, determine el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso árido}} \times 100$$

20. Saque la muestra del embudo y colóquela en un recipiente plano y evalúela de acuerdo a lo siguiente
 - a) Espesor del cubrimiento.
 - b) Porcentaje de partículas cubiertas.
 - c) Trabajabilidad.
 - d) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.
21. Repita los pasos desde 17 a 20 con muestras con un contenido de 0,5 puntos porcentuales sobre y bajo el contenido determinado en 6.

CÁLCULOS

22. Contenido de asfalto efectivo es el contenido de asfalto residual de la emulsión o cemento asfáltico adicionados, menos el porcentaje de asfalto drenado.
23. Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.
24. La tolerancia para calcular el porcentaje efectivo de cemento asfáltico es $\pm 0,5$ puntos porcentuales.
25. Se confeccionarán probetas Marshall con 50 golpes por cara, para calcular el porcentaje máximo de cemento asfáltico.
26. El contenido máximo de cemento asfáltico se obtiene para el valor de 0,8 MPa del ensaye de resistencia a la penetración utilizando el equipo Marshall, con una velocidad de 2,0 mm/min.

PRECISIÓN

El contenido de asfalto de diseño se selecciona evaluando los datos registrados; deben verificarse las siguientes exigencias:

- a) Cubrimiento: 90 - 100%.
- b) Espesor del cubrimiento: medio a grueso.
- c) Exceso de asfalto: inferior que 0,15 puntos porcentuales
- d) Trabajabilidad: la mezcla con emulsión se debe mantener trabajable durante

INFORME

El Informe debe contener lo siguiente:

- a) Identificación del contrato y contratista.
- b) Identificación de los materiales.
- c) Características de los áridos.
- d) Banda de trabajo, con la tolerancia indicada en el Método A0613 (numeral 24)).
- e) Contenido de asfalto con tolerancia de -0,3 y +1,0%. La emulsión se debe expresar como residuo asfáltico.
- f) Para mezcla en caliente, temperatura de mezclado.

8.302.48 ASFALTOS: METODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS ABIERTAS (LNV 17)

1.- **Alcances y Campo de Aplicación.** Este método describe un procedimiento para determinar la cantidad de emulsión asfáltica o cemento asfáltico a ser combinado con una mezcla de agregados de graduación abierta.

2.- Preparación del Agregado.

2.1 Someta el agregado a los ensayos de calidad especificados.

2.2 Separe el agregado en cada una de las siguientes fracciones: 25 - 20; 20 - 12,5; 12,5 - 5 y bajo 5 mm, de modo de reconstituir posteriormente la granulometría del material en mezclas de prueba.

2.3 Determine la constante de absorción del agregado grueso de acuerdo con el Método 8.202.35 (LNV 68).

2.4 Determine el área superficial de acuerdo con el Método 8.202.13.

3.- Contenido de Ligante.

El contenido del ligante se determina de acuerdo a las expresiones siguientes:

3.1 Mezclas con Emulsión Asfáltica.

$$E(\%) = 1,5 \cdot K_c + 3,5$$

donde:

E : Porcentaje de emulsión tentativo referido al agregado seco.

K_c : Constante de absorción del agregado grueso.

3.2 Mezclas con Cemento Asfáltico.

$$CA(\%) = 1,5 \cdot K_c + 1,0$$

donde:

CA: Porcentaje tentativo de cemento asfáltico referido al agregado.

K_c : Constante de absorción del agregado grueso.

4.- Mezclas de Prueba con Emulsiones Asfálticas.

4.1 Reconstituya la granulometría del agregado, previamente separado en fracciones, en muestras representativas de 500 g. Prepare entre 15 y 20 muestras, que deben colocarse en envases sellados para prevenir la pérdida de humedad.

4.2 Determine la humedad de cada una de las muestras, secándolas hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

4.3 Coloque una muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de emulsión determinada en 3.1.

4.4 Mezcle manualmente en el bol, usando una espátula cuadrada (25 mm de ancho), durante 30 a 45 s. Evalúe y registre el tiempo de revoltura; las mezclas aceptables se rigidizan después de 30 a 45 s de mezclado.

4.5 Coloque toda la mezcla en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje que la mezcla drene durante 30 min.

Si drena, coloque el recipiente que contiene el exceso de líquido en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y seque hasta masa constante. Determine su peso final y calcule el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso agregado}} \times 100$$

Saque la muestra del embudo y colóquela en un horno ventilado hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

4.6 Evalúe la mezcla, después de secada superficialmente, de acuerdo a lo siguiente:

- a) Espesor del cubrimiento: Esta es una observación visual y debe registrarse como delgada, media o gruesa.
- b) Porcentaje de partículas cubiertas: También es una observación visual y se debe registrar un valor estimado.
- c) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.

4.7 Confeccione mezclas de prueba con el contenido de emulsión determinado en 3.1, siguiendo los pasos desde 4.3 a 4.6, pero adicionando agua al agregado antes de agregar la emulsión. El agua se añade incrementando en 0,5 puntos porcentuales en cada porción adicional. Continúe hasta que se aprecie un exceso de líquido drenado.

4.8 Confeccione mezclas de prueba con contenidos de emulsión de 1 punto porcentual sobre y bajo el determinado en 3.1, siguiendo los pasos desde 4.3 a 4.7.

5.- Mezclas de Prueba con Cementos Asfálticos.

5.1 Seque a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ las fracciones previamente separadas y reconstituya muestras representativas de 500 g.

5.2 La temperatura de mezclado del asfalto debe ser tal que produzca una viscosidad mayor o igual que 300 cSt (150 SFS), manteniéndose lo más baja posible compatible con un adecuado cubrimiento del agregado. Caliente el agregado a una temperatura no mayor que 20°C sobre la temperatura del asfalto.

5.3 Coloque la muestra de 500 g de agregado en un bol previamente tarado y agregue la cantidad de cemento asfáltico establecida en 3.2.

5.4 Mezcle manualmente durante 30 a 45 s.

5.5 Coloque la muestra en un embudo confeccionado con malla de 0,630 mm, el que se coloca sobre un recipiente previamente tarado. Deje drenar la mezcla durante 30 min en un horno a la temperatura de $120 \pm 5^\circ\text{C}$.

Si drena, determine el exceso de asfalto de acuerdo a la expresión:

$$\text{Exceso asfalto (\%)} = \frac{\text{Peso final} - \text{Tara}}{\text{Peso agregado}} \times 100$$

5.6 Saque la muestra del embudo y colóquela en un recipiente plano y evalúela de acuerdo a lo siguiente

- a) Espesor del cubrimiento.

- b) Porcentaje de partículas cubiertas.
- c) Trabajabilidad.
- d) Cualquier otra observación que pueda ser de interés.

5.7 Repita los pasos desde 5.3 a 5.6 con muestras con un contenido de 0,5 puntos porcentuales sobre y bajo el contenido determinado en 3.2.

6.- Cálculos.

6.1 Contenido de asfalto efectivo es el contenido de asfalto residual de la emulsión o cemento asfáltico adicionados, menos el porcentaje de asfalto drenado.

6.2 Valor mínimo de cemento asfáltico debe ser de un 3,0%.

6.3 La tolerancia para calcular el porcentaje efectivo de cemento asfáltico es $\pm 0,5$ puntos porcentuales.

6.4 Se confeccionarán probetas Marshall con 50 golpes por cara, para calcular el porcentaje máximo de cemento asfáltico.

6.5 El contenido máximo de cemento asfáltico se obtiene para el valor de 0,8 MPa del ensaye de resistencia a la penetración utilizando el equipo Marshall, con una velocidad de 2,0 mm/min.

7.- **Evaluación.** El contenido de asfalto de diseño se selecciona evaluando los datos registrados; deben verificarse las siguientes exigencias:

- a) Cubrimiento : 90 - 100%.
- b) Espesor del cubrimiento : medio a grueso.
- c) Exceso de asfalto : inferior que 0,15 puntos porcentuales
- d) Trabajabilidad : la mezcla con emulsión se debe mantener trabajable durante 15 s.

8.- **Informe.** El Informe debe contener lo siguiente:

- a) Identificación del contrato y contratista.
- b) Identificación de los materiales.
- c) Características de los agregados.
- d) Banda de trabajo, con la tolerancia indicada en el Método 8.302.47 (numeral 7.5 c)
- e) Contenido de asfalto con tolerancia de -0,3 y +1,0%. La emulsión se debe expresar como residuo asfáltico.
- f) Para mezcla en caliente, temperatura de mezclado

ANEXO C



HOJA TECNICA

K A O A M I N 1 4

**Aditivo promotor de adherencia para mezclas
asfálticas en caliente y en frío.**

DESCRIPCION.

El Kaoamin 14 es un producto que se utiliza como aditivo mejorador de adherencia para **mezcla en frío con rebajados**, así como también **para mezcla en caliente** en donde se requiere mejorar la adhesividad de los agregados con el asfalto. Este se puede agregar en forma directa o formulando, durante la descarga del asfalto, ya que es de fácil incorporación.

CARACTERISTICAS FISICAS.

Aspecto 25°C
Olor

Líquido pastoso
Característico

ESPECIFICACIONES.

Índice de Amina Total
% de agua

Min. 285
Máx. 2.0

USOS Y APLICACIONES.

Con este tipo de aditivos se resuelve el problema de afinidad entre los materiales pétreos y el asfalto, debido a la atracción mediante cargas eléctricas entre ambos.

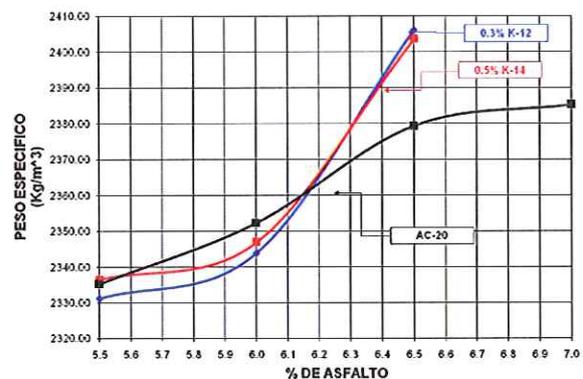
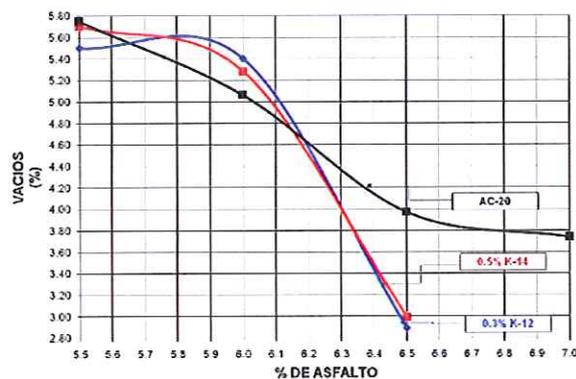
Se recomienda una dosificación de Aditivo entre 0.5 – 1.0% con respecto al asfalto, dicha dosis se determina en base los resultados de laboratorio para cada material pétreo específico. Las características del material pétreo serán determinantes para fijar la dosis optima. La prueba que se recomienda para la determinación del tipo de aditivo y su dosis es la ASTM D-3625, que es un método para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico.

VENTAJAS.

1. MEJOR DENSIFICACION Y MENOR PORCENTAJE DE VACIOS EN LAS CONDICIONES OPTIMAS EN LAS MEZCLAS.

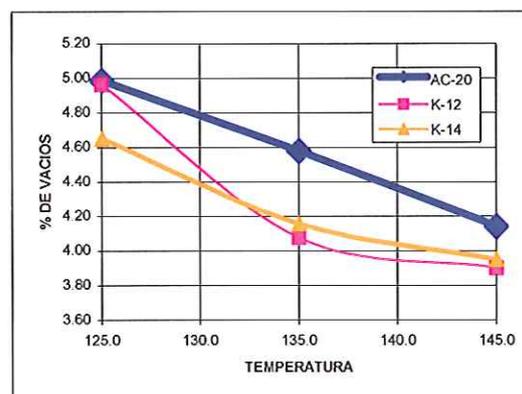
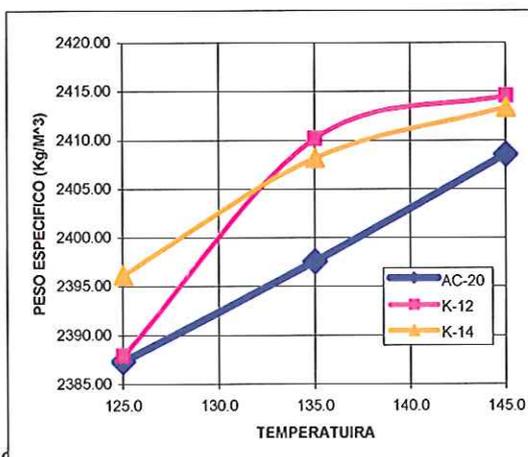
- Al utilizar los aditivos mejoradores de adherencia observamos una mejora en la densificación de las mezclas la cual refleja un mejor comportamiento en las pruebas de desempeño.

- Al compactar a las temperaturas recomendadas observamos que los vacíos disminuyen al utilizar aditivos mejoradores de adherencia por la acción de estos, que al reducir la tensión interfacial entre el asfalto y el agregado facilitan el acomodo de estos en la mezcla asfáltica



2. CONDICIONES SEMEJANTES COMPACTANDO 10°C MENOS.

Al compactar 10°C menos que las condiciones óptimas se logra un comportamiento semejante al AC-20 convencional tanto en estabilidad como en propiedades volumétricas, lo cual nos dice que el uso de los aditivos mejoradores de adherencia nos ayuda el comportamiento de la mezcla en comparación del asfalto convencional. Esta ventaja podemos reflejarla en campo en los casos en los que por imprevistos la mezcla se retrase en su colocación y/o compactación. Utilizando aditivo podemos obtener una mezcla que pueda extenderse y compactarse a mas baja temperatura, otra ventaja sería el hacer acarreos de la mezcla asfáltica a lugares mas lejanos, garantizando el correcto comportamiento de la carpeta.





HOJA TECNICA

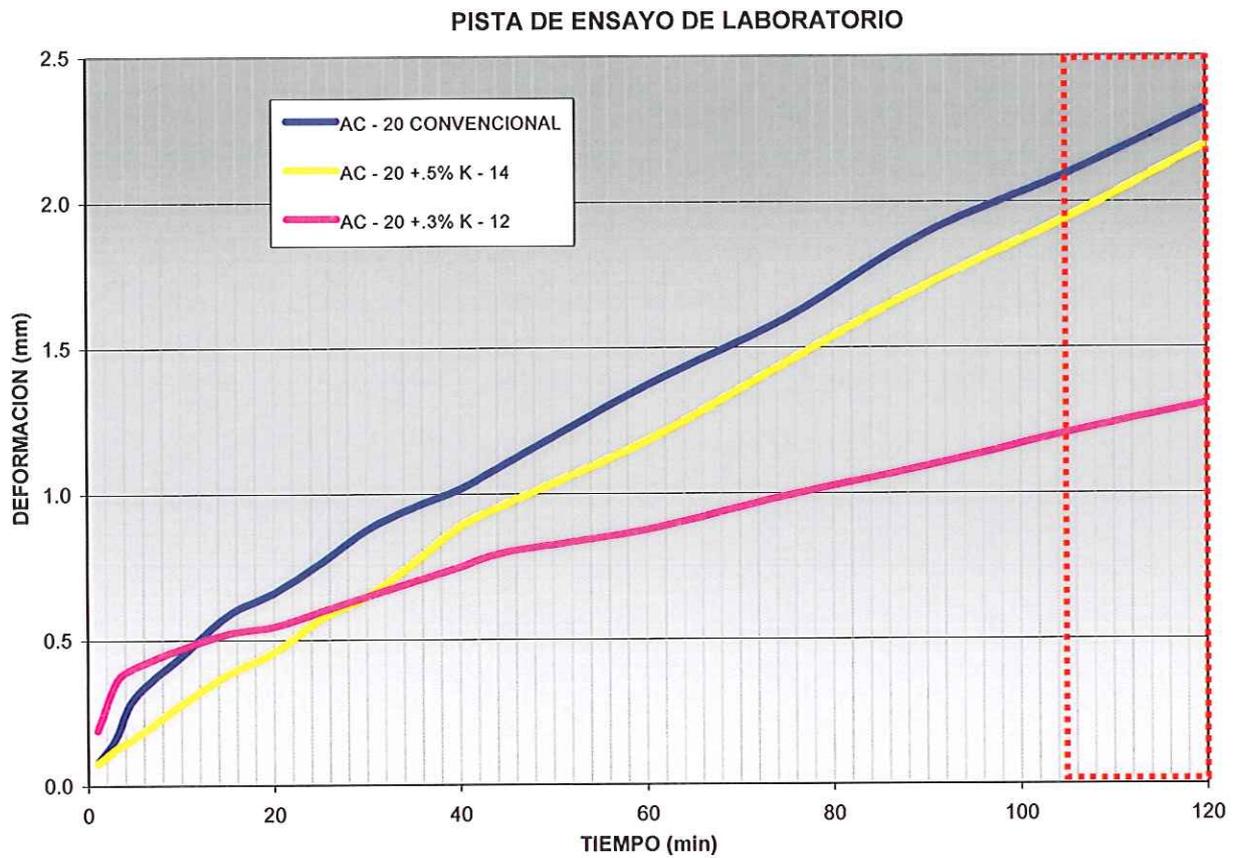
G-01-004-000
Revisión : 2
Fecha: 08/09

K A O A M I N 1 4

**Aditivo promotor de adherencia para mezclas
asfálticas en caliente y en frío.**

3. PRUEBAS DE DESEMPEÑO SATISFATORIAS CON LA UTILIZACION DE ADITIVOS MEJORADORES DE ADHERENCIA.

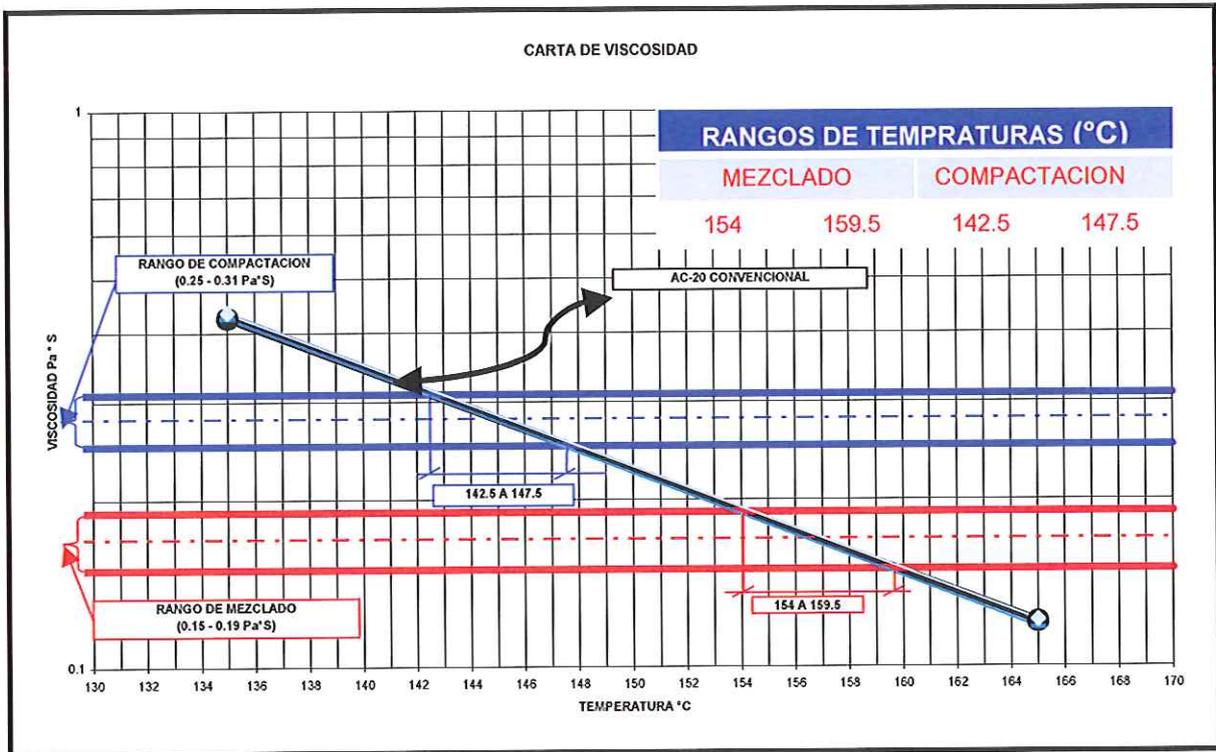
La prueba de desempeño en la Pista de Ensayo de Laboratorio UMSNH se supero satisfactoriamente y con ventaja sobre el AC-20 convencional gracias a la mejora en la densificación logrando así una reducción de vacíos y un mejor control en la calidad de la mezcla asfáltica. En base a ésta información observamos que con el uso del aditivo además de darle a la mezcla asfáltica una resistencia a los efectos del agua le estamos dando una resistencia también en contra de las deformaciones permanentes todo esto en comparación de un AC-20 convencional.



Probetas después de la prueba de pista, de izquierda a derecha 0.3% de K-12, 0.5% de K-14 y AC-20

Materiales utilizados para el diseño:

1. ASFALTO.



.Figura 2 Carta de viscosidad de un AC – 20 Salamanca

2. AGREGADO.

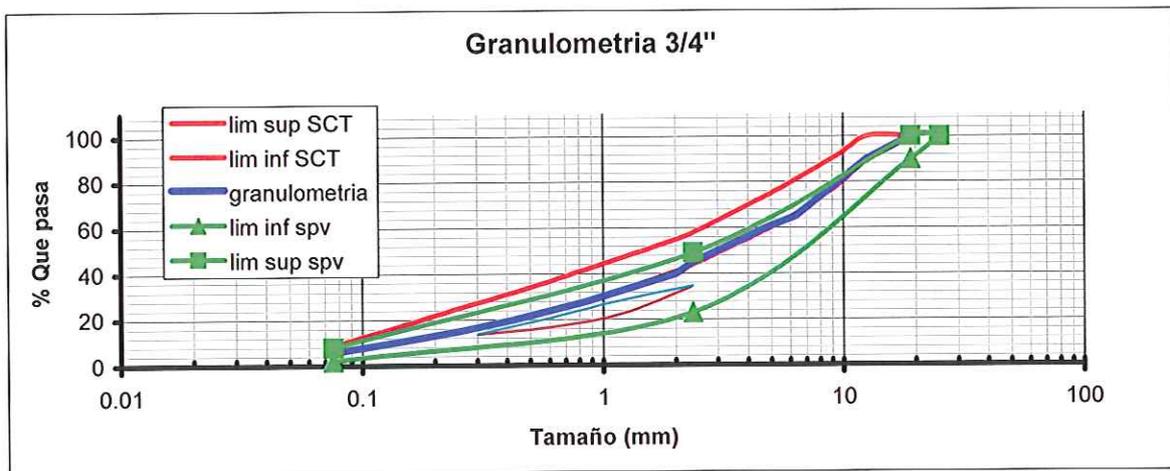


Figura 3. Grafica granulométrica
 SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes México), spv (superpave)

MANEJO Y ALMACENAJE.

Manejo: Manéjese en áreas bien ventiladas. Evite el contacto con ojos y piel.

Almacenaje: Mantenga el contenedor bien cerrado, protegido del sol en un lugar bien ventilado

PRIMEROS AUXILIOS.

Producto corrosivo. En caso de contacto con:

Ojos: Lave inmediatamente con solución acuosa de ácido bórico (0.5%-1.0%).

Después lave con una corriente de agua por lo menos 15 minutos. Busque atención médica.

Piel: Retire la ropa contaminada y lave las áreas afectadas con Ácido Acético al 3%. Después lave con suficiente agua y jabón. Si es necesario busque atención médica.

En caso de:

Inhalación: Mueva a la persona al aire fresco. Dar oxígeno o respiración artificial si es necesario. Buscar atención médica.

Ingestión: Si la víctima esta consciente dar dos vasos con agua para diluir o agua ligeramente acidificada con vinagre para neutralizar Busque atención médica. Nunca de a tomar algo a una persona inconsciente.

Para información adicional consulte la hoja de datos de seguridad del material.

PRESENTACION.

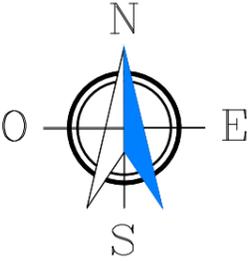
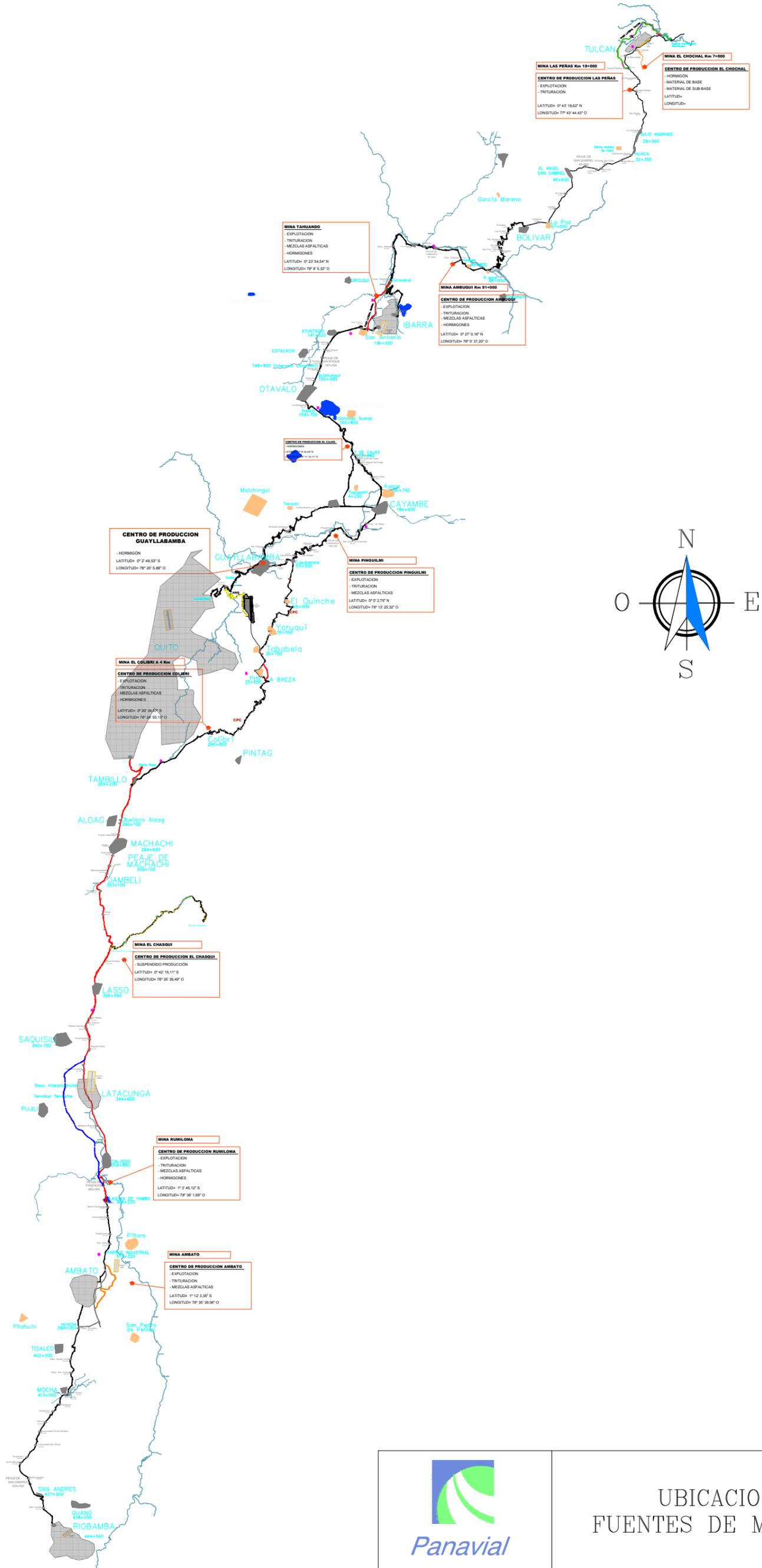
Tambor metálico tapa cerrada 180 kg netos.

La información técnica y recomendaciones sobre el uso y manejo de nuestros productos contenidas en este boletín, son producto de la experiencia y experimentación práctica llevada a cabo en el laboratorio. Sin embargo debido a que el manejo y aplicación de nuestros productos por parte de los usuarios se encuentra fuera de nuestro control, Quimikao S A de C.V. no asume responsabilidad directa, incidental, consecencial u otros daños con respecto al mal manejo y uso de estos materiales.

Quimikao, S. A. de C. V.

Km. 22.5 Carr. Guadalajara - El Salto
Apartado Postal 14
45681 El Salto, Jalisco.
Tel.: (33) 32841000
Fax: (33) 36880861

Oficina México
Prolongación Saturno No. 456
Bodega No. 16
Colonia Nuevo Industrial Vallejo
07700 México, D. F.
Tel.: (55) 55242602 y 03
Fax : (55) 55348016



UBICACION DE FUENTES DE MATERIALES