

**ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS TIPO P-401 Y SU APLICACIÓN A
PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS.**

**FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE VIAS TERRESTRES**





**ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS TIPO P-401 Y SU APLICACIÓN A
PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS.**

NOMBRE DEL GRUPO DE INVESTIGACION

INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE.

LINEA DE INVESTIGACION

INFRAESTRUCTURA VIAL

NOMBRE DE LOS INVESTIGADORES

ING. YEIRY MARRUGO BAENA

ING. JAIME OROZCO LORA

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO: ING. DIEGO ÁLVAREZ HERNANDEZ.

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DE VIAS TERRESTRES

CARTAGENA DE INDIAS D.T Y C.

MAYO 2015



AGRADECIMIENTOS

Primeramente le dio gracias a Dios por el respaldo recibido todos estos años de mucho esfuerzo en nuestros estudios, por haberme brindado la inteligencia y agilidad para aprender y haber respondido a nuestras oraciones permitiéndome hoy culminar esta etapa de mi vida con mucho éxito y confianza.

Le agradezco a mi esposo, por estar ahí acompañándome en este proceso de formación

Además agradecemos a mis padres, por haber depositado su confianza en mí, teniendo la plena seguridad que algún día sus ojos llegarían a verme no solo como profesional si no también queriendo cada día dar un paso más en la profesión, y esta vez como especialista, teniendo en cuenta cada una de las enseñanzas recibidas por ellos.

Yeiry Marrugo Baena

Agradezco con mucho aprecio y amor

A Dios, creador y motor de nuestra vida.

A mis padres, que con sus esfuerzos y consejos ayudaron a que se materializara este proyecto.

A Jeimmys Lilian, que desde la distancia me da ese gran apoyo y optimismo.

A todos mis familiares que de una u otra manera contribuyeron a mi desarrollo académico.

A mis profesores y compañeros de clase que con su buen humor, franqueza, solidaridad y compañerismo colaboraron en gran manera al desarrollo de la especialización.

Jaime Orozco Lora



Agradecemos a cada una de las personas que nos brindaron su ayuda y apoyo intelectual para poder presentar hoy con mucho orgullo este trabajo de grado. A nuestro director de monografía Diego Alvarez Hernandez, por guiarnos en este proceso.

Le damos gracias a la Unión Temporal Constructora Montecarlo Vías S.A.S. y Conelsan, por suministrarnos la información del caso en estudio.

No podemos dejar de agradecer a nuestros compañeros de clase con los cuales compartimos experiencias y muchos momentos de tensión así como de descanso. Sin la ayuda de cada uno de ellos tal vez hubiera sido mucho más difícil el camino recorrido hasta hoy.

Finalmente damos gracias a todos y cada uno de nuestros profesores porque son ellos quienes decidieron regalarnos un poco de sus conocimientos y son los modelos ideales dignos de imitar para desempeñarnos en el ámbito laboral.



TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	11
2	ABSTRACT	12
3	INTRODUCCIÓN	13
4	OBJETIVOS	15
4.1	OBJETIVO GENERAL	15
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5	PAVIMENTOS	16
5.1	PAVIMENTOS RÍGIDOS	17
5.2	PAVIMENTOS FLEXIBLES	19
5.3	MEZCLAS ASFALTICAS	20
5.3.1	FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS EN EL PAVIMENTO	21
	Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura	23
5.3.2	Clasificación de las Mezclas Asfálticas	24
5.3.3	Tipología de las Mezclas Asfálticas	25
5.3.3.1	Mezcla Asfáltica en Caliente	25
5.3.3.2	Mezcla Asfáltica en Frío	26
5.3.3.3	Mezcla Porosa o Drenante	26
5.3.3.4	Microaglomerados	28
5.3.3.5	Masillas	28
5.3.3.6	Mezclas Discontinuas	29
5.3.3.7	Mezclas de alto módulo	30
5.3.3.8	Mezclas Asfálticas tipo P-401	31
5.4	PLATAFORMA DE PARQUEO AEROPUERTO INTERNACIONAL RAFAEL NUÑEZ DE LA CIUDAD DE CARTAGENA	38
5.4.1	Diseño de la mezcla tipo p – 401	40
5.4.1.1	Áridos	40



5.4.1.2	Granulometrías (UNE-EN 933-2). (ASTM C 136/84 ^a)	41
5.4.1.3	Equivalente de arena (UNE-EN 933-8). (ASTM D 2419).....	42
5.4.1.4	Desgaste de Los Ángeles (UNE-EN 1097-2). (ASTM C 131-81).....	42
5.4.1.5	Caras de fractura (UNE-EN 933-5). (Method N° 205 E State de California).....	42
5.4.1.6	Ligante.....	42
5.4.1.7	Dosificación.	43
5.4.1.8	Fórmula de trabajo.	44
5.4.1.9	Densidad en aceite de parafina.....	45
5.4.1.10	Características MARSHALL. (ASTM D1559).....	45
5.4.1.11	Óptimo de ligante.....	46
5.4.1.12	Temperaturas y tiempo de mezclado.....	47
5.4.1.13	Planta de mezcla.....	48
5.4.2	Etapas de Construcción	48
5.4.2.1	Fase 2.....	50
5.4.2.2	Fase 3.....	50
5.4.2.3	Fase 4.....	51
5.4.2.4	Fase 5.....	51
5.4.2.5	Fase 6.....	52
5.4.2.6	Aplicación de anticarburante.....	54
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	58



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Transferencia de carga de una rueda en una estructura de pavimento rígido	17
Figura 2. Componente de pavimento rígido (LAR, 2012)	18
Figura 3. Estructura Típica de pavimento Flexible (LAR, 2012).....	19
Figura 4. Distribución carga de una rueda en el pavimento (LAR, 2012)	20
Figura 5. Gráfico granulométrico Huso Tipo P – 401 1”. (Conelsan C. , 2014).....	45
Figura 6. Gráficas del Marshall. (Conelsan C. , 2014).....	46



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Granulometría de los Agregados	27
Tabla 2. Criterios de Diseño	28
Tabla 3. Criterio de Diseño Marshall	33
Tabla 4. Criterios de diseño giratorio	34
Tabla 5. Porcentaje de vacío mínimo en el agregado mineral (VMA).....	34
Tabla 6. Agregado – de la Mezcla Asfáltica	35
Tabla 7. Limitaciones de temperatura de la superficie subyacente curso	36
Tabla 8. Granulometría de Áridos utilizados.....	40
Tabla 9. Resultados de la Granulometría.....	41
Tabla 10. Resultado ensayo sobre la fracción de árido	42
Tabla 11. Resultados ensayos	43
Tabla 12. Dosificación.....	43
Tabla 13. Fórmula de trabajo.....	44
Tabla 14. Características Marshall	46
Tabla 15. Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa (UNE-EN 12697-12).	47
Tabla 16. Temperaturas y tiempo de mezclado	48



LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía. 1. Plataforma de Parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Nuñez	39
Fotografía. 2. Grava de ¾”	41
Fotografía. 3. Grava de 1”	41
Fotografía. 4. Textura de Mezclas	50
Fotografía. 5. Espesor de la Capa	52
Fotografía. 6. Fase Nocturna de Nivelación	53
Fotografía. 7. Trabajos adelantados en la plataforma de parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez	53



1 RESUMEN

La presente monografía es una investigación no experimental, es decir, se recopila información, se analiza y se organiza la bibliografía con el fin de realizar un documento de consulta para el estudio de mezclas asfáltica en la facultad de Ingeniería de la Universidad de Cartagena, se tratará específicamente la de tipo P – 401 aplicada a pavimentos aeroportuarios, caso plataforma de parqueo Aeropuerto Internacional Rafael Núñez, con el fin de registrar el comportamiento de la misma y así poder compararlo con otros tipos de pavimentos similares para determinar su efectividad, para lograr lo mencionado.

La información utilizada para el desarrollo de la presente monografía fue suministrada por la Constructora Montecarlo Vías S.A.S, unas de las empresas constructoras del proyecto, complementada con consultas de bases de datos, documentos en páginas en internet con el fin de tener un amplio marco conceptual de las mezclas asfáltica tipo P – 401.

Estas mezclas están compuestas por agregados mineral y aglutinante de cemento asfáltico mezclado en una planta, preparada de acuerdo a las especificaciones de la FAA. Esta especificación está destinada a ser utilizada para la placa superficial de Pavimentos flexibles de aeródromos sujetas a cargas de aeronaves de peso bruto superior a 12.500 libras (5670 kg) y consiste en aplicar dentro de los límites del pavimento diseñado para carga completa capacidad portante.

El objetivo principal de este tipo de mezclas era luchar contra las deformaciones plásticas que el aumento del tráfico había disparado, y por otra parte, utilizarlas en zonas de estacionamiento de aviones y en vías de tráfico lento, la cuales son más susceptibles a sufrir deformaciones por la acción de las cargas puntuales.

Palabras claves: Mezclas asfáltica, agregado mineral, aglutinante de cemento asfáltico,



2 ABSTRACT

This monograph is a non-experimental research, i.e. information is collected, analysed and bibliography is organized in order to make a document of reference for the study of mixtures asphalt in the Faculty of engineering of the University of Cartagena, type P - 401 is specifically applied to airport pavements, case platform of Rafael Núñez international airport parking in order to register the same behavior and to compare it with other types of similar flooring to determine their effectiveness, in order to achieve the above.

The information used for the development of this monograph was provided by the construction company Monte Carlo way S.A.S, some of the construction companies of the project, supplemented by consultation of databases, documents in Web pages in order to have a broad conceptual framework of mixtures asphalt type P - 401.

These mixtures are composed of mineral aggregates and binder of cement asphalt mixed in a plant, prepared according to the specifications of the FAA. This specification is intended to be used for the surface plate flexible for airfield pavements subject to loads of aircraft gross weight of more than 12,500 pounds (5670 kg) and is to apply within the limits of the pavement designed to load full load capacity.

The main objective of this kind of mixtures was to fight against the plastic deformations that the increased traffic had fired, and on the other hand, use in aircraft parking areas and developing slow traffic, which are more susceptible to suffer deformation by the action of the loads.

Key words: asphalt mixtures, mineral aggregate, cement asphalt binder,



3 INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años la tecnología ha avanzado en forma significativa en todas las áreas por lo que el hombre ha tenido exigencias mayores a la hora de realizar su trabajo, teniendo que incorporar la tecnología a sus labores ocupacionales, y la construcción no ha sido ajena esta evolución, en la cual ha habido un desarrollo considerable, basta con solo ver los grandes edificios y autopistas que se han construido.



(Cristian Carvallo, 2011)

Es por estas razones que a la hora de construir hay que considerar distintos aspectos como la calidad y resistencia de los materiales; sin embargo, lo más importante es saber el estado de la superficie sobre la cual se quiere construir de acuerdo al uso que se le va a dar.

Los pavimentos son un tipo de construcción conformado por un sistema de multicapas de materiales (subrasante, subbase, base y capa de rodadura) dentro de las cuales juega un papel importante la capa de rodadura especialmente en pavimentos aeroportuarios (Vasquez Varela, 2014).

El diseño, implementación y construcción de estructuras de pavimentos flexibles es la alternativa de pavimentación más económica como técnica en las obras de infraestructura vial. Sin embargo, a pesar de esta consideración, estas obras han sufrido inconvenientes y fallas que han generado una disminución considerable en su efectividad y durabilidad,



como es el caso ocurrido en el aeropuerto de Ibagué el 9 de Mayo de 2011 donde falló el pavimento (El Tiempo, 2011), estas situaciones generan incomodidad en los usuarios que utilizan estos corredores, ya que el mantenimiento en estas vías restringe su uso. Tal afirmación ha llevado a buscar nuevas alternativas en lo que se refiere a los materiales que componen la mezcla asfáltica para mejorar su capacidad de respuesta mecánica y dinámica. A través de nuevas investigaciones se ha buscado mezclas capaces de mejorar las propiedades mecánicas y químicas de las mezclas asfálticas convencionales, como la evaluación que se le hace a los agregados pétreos en Tunja donde se busca mejorar las condiciones de la mezcla (Higuera Sandoval, Patarroyo Fonseca, & Yeison , 2013).

Por lo anterior, consideramos importante dar a conocer mediante la presente investigación, la viabilidad que posee una mezcla asfáltica tipo p-401, con las características de la mezcla colocada en la plataforma de parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de la Ciudad de Cartagena.

El proyecto de investigación **“ESTUDIO SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIPO P-401 Y SU APLICACIÓN A PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS”** pretende ampliar los conocimientos en cuanto a materiales y tecnologías aplicadas a la construcción de infraestructuras aeroportuarias utilizadas en países como España, y así mismo proponer materiales asfálticos y sus mezclas, que han estado involucrados en experiencias constructivas, que confirman su excelente desempeño para minimizar diferentes fallas potenciales ocasionadas sea por un determinado tipo de tránsito, por el tráfico intenso y/o pesado así como por cambios térmicos y/o altas temperaturas.



4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las mezclas asfálticas tipo P401 aplicada a pavimentos aeroportuarios, mediante recopilación bibliográfica de sus características físico químicas de los materiales pétreos y bituminosos con el fin de ver la viabilidad de este tipo de mezclas en la repavimentación de la Plataforma de parqueo del Aeropuerto Rafael Núñez.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las mezclas asfálticas que se puedan utilizar en pavimentos aeroportuarios.
- Exponer las especificaciones para el elaboración de las mezclas asfálticas tipo P-401.
- Describir las características de la mezclas tipo P-401 utilizada en la repavimentación de la plataforma de parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez.



5 PAVIMENTOS AEROPORTUARIOS

Los pavimentos se deben proyectar, diseñar y construir para prestar servicio en condiciones adecuadas, durante un determinado número de años (período de diseño), vida en servicio (vida útil del pavimento); los que deberán ser atendidos oportunamente ante la presencia de eventuales solicitaciones destructivas (carga y/o repeticiones de la carga superiores a las de diseño) y evitar su salida de servicio en forma parcial o total.

Los pavimentos aeroportuarios son construidos para soportar las cargas impuestas por las aeronaves, así como de proporcionar una superficie adecuada y segura para transitar en cualquier condición meteorológica.

La determinación del espesor del pavimento se basa en el análisis teórico de la distribución de las cargas por los pavimentos y los terrenos de fundación (subrasantes), en el análisis de los datos experimentales relativos al pavimento y en un estudio del comportamiento de los pavimentos, en condiciones de servicio reales. Aun cuando la estructura básica y la función de los pavimentos en aeropuertos es esencialmente la misma, que en una carretera, existen diferencias significativas entre uno y otro, como por ejemplo: la anchura, la forma, los pesos totales y la elevada presión que los neumáticos de las ruedas de las aeronaves transmiten. Los pavimentos en las pistas también tienen que soportar las vibraciones del período de calentamiento, el escape de los motores de reacción y los impactos del aterrizaje.

Las pistas sufren menos aplicaciones de carga que una carretera normalmente concurrida. La disposición de las ruedas y los patrones de carga son diferentes; por lo general, las aeronaves tienen un tren de aterrizaje en triciclo, con una rueda o conjunto de ruedas dirigitas. Las cargas se canalizan en la parte media de la pista, y quedan un 80 % de las cargas dentro de 8% más o menos del área pavimentada. Así pues, el esfuerzo se concentra dentro del tercio central del pavimento. (Aeronautica, www.aerocivil.gov.co, 2013)

En los aeropuertos, al igual que en las carreteras se encuentran 2 tipos de pavimentos (Rígidos y Flexibles), los cuales se han utilizado de acuerdo a los requerimientos de tráfico y a la tecnología disponible.



Los administradores de aeropuertos y los ingenieros de pavimentos en particular, deben buscar mejoras continuas en la tecnología de los materiales de manera de reducir el consumo de energía, mejorar el desempeño y conservar el medio ambiente (Barling, 1997).

Para ofrecer un buen nivel de servicio, los pavimentos de los aeropuertos deben cumplir con dos funciones esenciales:

- Proveer adecuada capacidad de soporte a las aeronaves que los utilizan;
- Proveer buena calidad de rodaje y seguridad operacional a las aeronaves bajo cualquier condición meteorológica

5.1 PAVIMENTOS RÍGIDOS

El elemento primario estructural es el concreto de cemento portland (Figura 1). Por su uso, el pavimento rígido se diseña con losas simples, ligeramente reforzadas, pretensadas o con fibras para concreto (Figura 2).

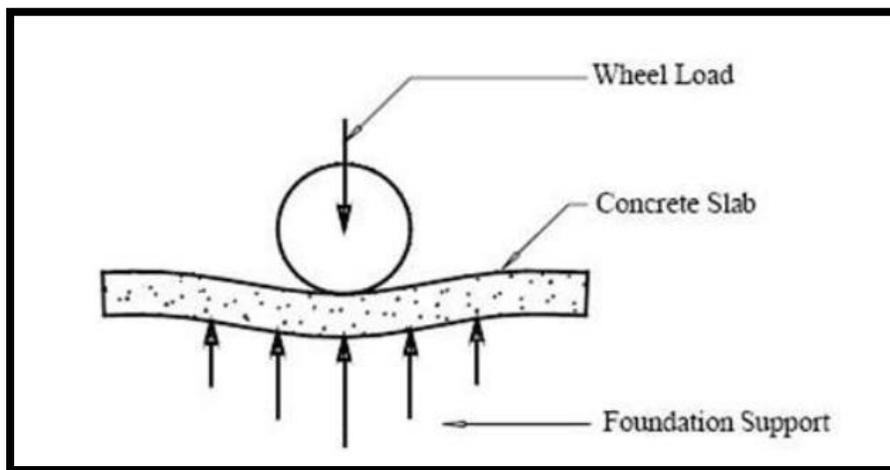


Figura 1. Transferencia de carga de una rueda en una estructura de pavimento rígido

(LAR, 2012)

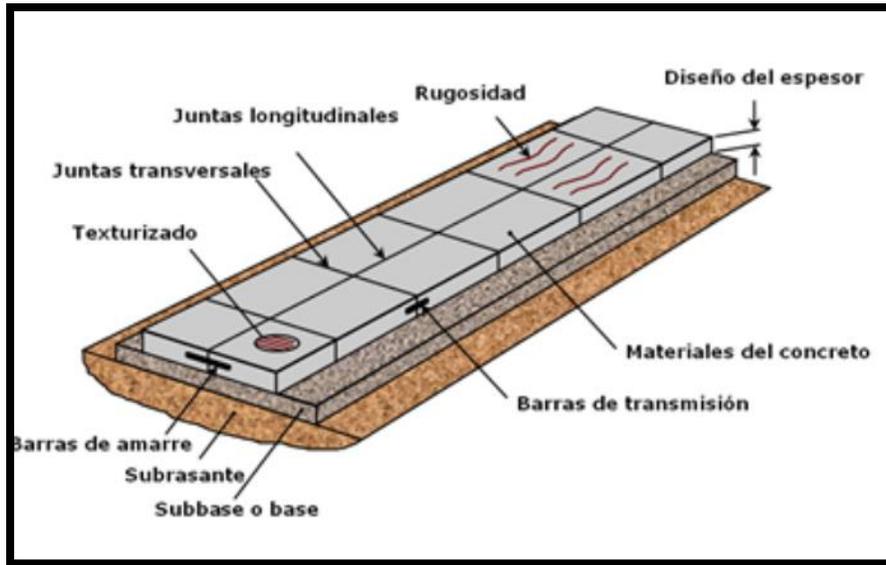


Figura 2. Componente de pavimento rígido (LAR, 2012)

Los pavimentos en concreto rígido de aeropuertos, cuentan con suficientes antecedentes con muy buenos resultados en su desempeño, prestando servicio en pistas de aterrizajes, cabeceras, rodaje y plataformas, un ejemplo claro es el Aeropuerto de El Calafate donde se tienen los siguientes resultados:

- Excelente Rugosidad: comparable con los mejores pavimentos flexibles.
- Muy buen rendimiento: se ejecutó la pista de 2.550 ml (36.720 m³) en 46 días corridos, finalizando su construcción antes de la temporada invernal.
- Construcción de la pista, plataformas y calle de rodaje en 65 jornadas de trabajo.
- Volumen de hormigón: 57.100 m³. (FICEM-APCAC, 2009)



(calafate, 2010)

5.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Formado por una serie de capas comprimidas de materiales diseñados para la distribución gradual de cargas en la superficie del pavimento. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base granular y de la capa de subbase, una sección típica de pavimento flexible es presentada en la Figura 3.

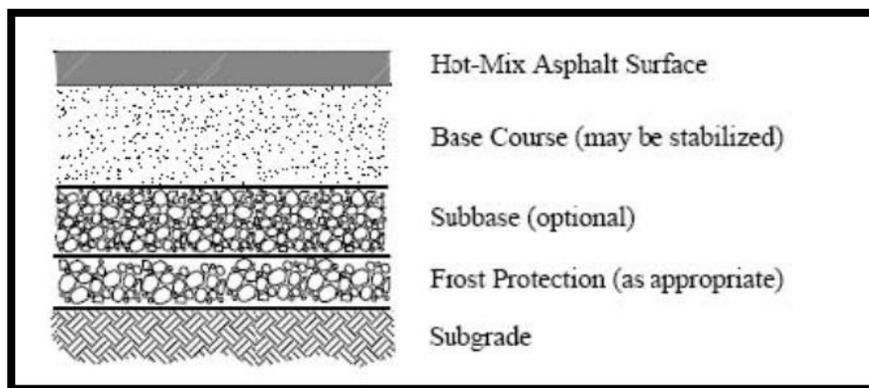


Figura 3. Estructura Típica de pavimento Flexible (LAR, 2012)



El diseño tiene que asegurar que la carga transmitida al conjunto de capas no exceda la capacidad portante de cada una de ellas. Las capas de diferentes materiales, mejoran su calidad hacia la superficie, y la superficie de rodamiento está formada por una capa de material pétreo, aglutinado con ligante asfáltico

Los pavimentos flexibles adoptan una ley de distribución de esfuerzo lineal, a partir de la aplicación de la carga y con un ángulo estimado en 45° , tal como se muestra en la Figura 4. Aunque para efectos de cálculo el pavimento está formado por tres capas (carpeta, base y sub-base), bajo un punto de vista de integración, los efectos provocados por las cargas, se transmiten a profundidades mayores, dentro de la capa del terreno natural.

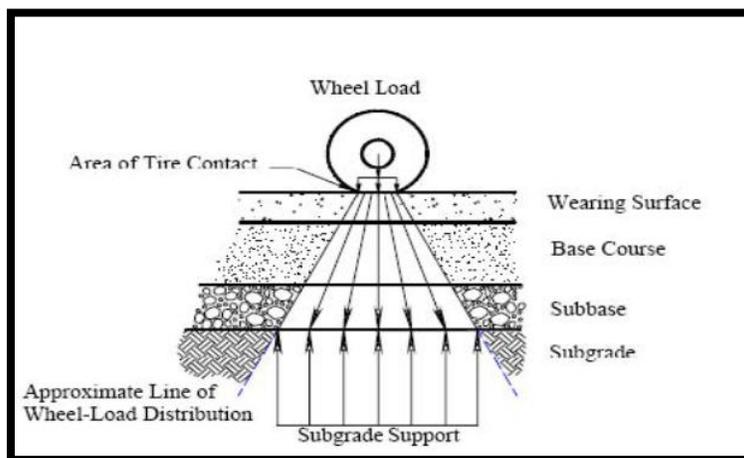


Figura 4. Distribución carga de una rueda en el pavimento (LAR, 2012)

5.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente 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 de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante 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. (Rodríguez, 2004)



Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un firme:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del firme, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores de le denomina pavimento.

5.3.1 FUNCIONALIDAD DE LAS MEZCLAS EN EL PAVIMENTO

Las mezclas asfálticas sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los pavimentos.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y



duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Las cualidades funcionales del Pavimento residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

1. La adherencia del neumático al firme.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
3. El desgaste de los neumáticos.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
8. El envejecimiento de los vehículos.
9. Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento. Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente asequibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- Estabilidad.
- Durabilidad.
- Resistencia a la fatiga.



Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- Resistencia al deslizamiento.
- Regularidad.
- Permeabilidad adecuada.
- Sonoridad. 9 Color, entre otras.

5.3.1.1 Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias. Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario.

Se han realizado diversos estudios para mejorar las condiciones de las mezclas asfálticas entre esos se encuentran los Asfaltos Modificados con Polímeros los cuales brindan mayor rigidez a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento, también se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento (Tonda), pero también tiene sus desventajas como alto costo del polímero, dificultades del mezclado: no todos los polímeros son compatibles con el asfalto base (existen aditivos correctores).

Asfalto modificado

Si bien los asfaltos convencionales destinados a la construcción vial, han demostrado ser satisfactorios en un rango considerablemente amplio de aplicaciones, clima y tránsito, bajo determinadas condiciones, sus respuestas son limitadas.

Mayores velocidades de circulación del tránsito, asociado al frenado, acelerado y desacelerado, aumento del parque automotor, empleo de bases hidráulicas en las capas inferiores de los pavimentos, capas de rodadura delgadas y ultra delgadas, son algunos de



los factores y técnicas constructivas que demandan modificar los asfaltos convencionales para adaptarlos a cada requerimiento específico.

Se deduce que cuando se recurre a la modificación de los asfaltos, se busca mejorar propiedades que luego contribuirán en mejoras para las propiedades de las mezclas asfálticas. Entre los objetivos más buscados por la modificación se cuentan, la disminución de la susceptibilidad térmica del asfalto mejorando su comportamiento reológico y mecánico, el aumento de la adhesividad tanto activa como pasiva, la resistencia al envejecimiento por ende una mayor durabilidad y un mayor aporte a la cohesividad de las mezclas. (Balige)

Existen una gran cantidad de modificadores de los asfaltos, entre estos modificadores pueden citarse el azufre, el polvo de neumáticos, los mejoradores de susceptibilidad térmica y los polímeros sintéticos.

Los ensayos contemplados en las especificaciones de los asfaltos convencionales, no son suficientes para caracterizar a los modificados, siendo necesario introducir ensayos que permitan evaluar sus propiedades diferenciadas. Entre otros son aplicables a asfaltos modificados la compatibilidad asfalto polímero, la estabilidad al almacenaje, las propiedades mecánicas y elásticas y el comportamiento en relación al envejecimiento del asfalto modificado.

5.3.2 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

- a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.
 - Masilla asfáltica
 - Concreto asfáltico
 - Macadam asfáltico
- b) Por la Temperatura de puesta en obra
 - Mezclas asfálticas en Caliente



- Mezclas asfálticas en Frío:
- c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica
 - Mezclas Cerradas o Densas
 - Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas
 - Mezclas Abiertas
 - Mezclas Porosas o Drenantes
- d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.
 - Mezclas Gruesas:
 - Mezclas Finas
- e) Por la Estructura del agregado pétreo.
 - Mezclas con Esqueleto mineral
 - Mezclas sin Esqueleto mineral
- f) Por la Granulometría.
 - Mezclas Continuas
 - Mezclas Discontinuas

5.3.3 Tipología de las Mezclas Asfálticas.

5.3.3.1 Mezcla Asfáltica en Caliente.

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente. 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. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

5.3.3.2 Mezcla Asfáltica en Frío.

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas. Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.

5.3.3.3 Mezcla Porosa o Drenante.

Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de hormigón. Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.



Este es el caso de la construcción de los pavimentos de la segunda pista del aeropuerto internacional el dorado, donde la capa superficial corresponde a este tipo de mezcla y resto de la capa de base se construyó con la mezcla convencional dotada de un alto contenido en gravas gruesas, elevando la estabilidad y disminuyendo la deformación, aumentando su rigidez (FERNANDEZ CUENCA, 1997).

Agregados

Tabla 1. Granulometría de los Agregados

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
NORMAL	ALTERNO	MD - 1
19.0 mm	3/4"	100
12.5 mm	1/2"	70 - 100
9.5 mm	3/8"	50 - 75
4.75 mm	No. 4	15 - 32
2.00 mm	No. 10	9 - 20
425 µm	No. 40	5 - 12
75 µm	No. 200	3 - 7

(Instituto de Desarrollo Urbano)

Ligante Bituminoso

Asfalto modificado con polímeros, tipo I o tipo II.



Tabla 2. Criterios de Diseño

VACÍOS CON AIRE	PÉRDIDA EN SECO	PÉRDIDA EN HÚMEDO
20 – 25%	25% Máx	40% Máx
La dosificación del material bituminoso no puede ser menor de 4.5% respecto del peso seco de los agregados		

(Instituto de Desarrollo Urbano)

5.3.3.4 Microaglomerados.

Son mezclas con un tamaño máximo de agregado pétreo limitado inferior a 10 mm., lo que permite aplicarlas en capas de pequeño espesor. Tanto los microaglomerados en Frío (se le suele llamar a las lechadas asfálticas más gruesas) como los microaglomerados en Caliente son por su pequeño espesor (que es inferior a 3 cm.) tratamientos superficiales con una gran variedad de aplicaciones. Tradicionalmente se han considerado adecuados para las zonas urbanas, porque se evitan problemas con las alturas libres de los gálidos y la altura de los bordillos debido a que se extienden capas de pequeño espesor. Hay microaglomerados con texturas rugosas hechas con agregados pétreos de gran calidad y asfaltos modificados, para las vías de alta velocidad de circulación.

5.3.3.5 Masillas.

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla. Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de



temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.

5.3.3.6 Mezclas Discontinuas

Las denominadas mezclas discontinuas se desarrollaron en Alemania, buscando mezclas con contenidos elevados de betún que no tuviesen problemas de deformaciones plásticas y que pudiesen compactar en capas relativamente finas. Estas mezclas están definidas como aquéllas cuyos materiales son la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (con discontinuidad granulométrica en algunos tamices), polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante.

Las mezclas discontinuas han mostrado ser una buena solución para capa de rodadura sobre todo de rodadura para aeropuertos, ya que presentan una gran macrotextura, y por tanto una buena resistencia al deslizamiento a velocidades a altas, y permiten introducir dotaciones elevadas de betún para aumentar la durabilidad sin problemas de formación de roderas.

Este tipo de mezclas se han utilizado en muchos países para el pavimento y mantenimiento de pista de aterrizajes de aeropuertos, tales como:

Aeropuertos	Año de Aplicación
Santiago	1.993 en calle de rodaje en pruebas.
Granada	Diciembre-enero 1.994-5. Pista de vuelo.
Reus	1.995. Pista.
Barcelona	1.997-8. Pistas.

(CONELSAN., 2008)



5.3.3.7 Mezclas de alto módulo.

Dentro del ámbito de las nuevas aplicaciones de los ligantes bituminosos, es cada vez más frecuente el empleo de mezclas en espesores menores mediante el uso de asfaltos modificados con polímeros, lo que junto con la reciente aparición en el mercado de ligantes de características especiales, ha permitido el desarrollo de nuevos tipos de mezclas, como es el caso de las mezclas de alto módulo, las cuales producen concretos bituminosos que les permite alcanzar una mayor resistencia a las deformaciones plásticas reduciendo el espesor de la estructura del pavimento. El uso de estas mezclas se está popularizando para la construcción de nuevas estructuras de pavimentos de aeropuertos o bien para el refuerzo de las existentes.

Las mezclas de alto módulo (MAM), a nivel conceptual, se definen como mezclas bituminosas fabricadas con betunes duros especiales, con altos contenidos de ligante (alrededor de 5,5%), que les permiten obtener un alto módulo de rigidez, desarrollando una buena resistencia a la tracción y la fatiga (Sabogal).

Las características antes señaladas hacen ser, a las mezclas de alto módulo, muy atractivas, puesto que permiten reducir los espesores de las capas asfálticas convencionales, apoyándose las propuestas de reducción en los modelos analíticos de dimensionamiento de firmes.

Estas mezclas especiales se empezaron a desarrollar durante los años 70 para algunas aplicaciones específicas y con ligantes, generalmente modificados, que proporcionaban unas mezclas asfálticas con una gran capacidad estructural. Los betunes utilizados eran modificados con SBS, EVA o alquitrán-PVC.

Un estudio sobre “Nuevos Materiales asfálticos para la construcción de carreteras”, realizado por Marcela Balige, Gerente Técnico - Asistencia Técnica y Desarrollo de la empresa Repsol YPF - Lubricantes y Especialidades, revelo que en 1980 se introdujo en Francia la idea de usar betunes puros de muy baja penetración, precisamente con estos ligantes se fabricaban mezclas para capas de base con un módulo de rigidez elevado ,



ofreciendo la posibilidad de reducir el espesor de la capa , se habla que hoy en Francia entre el 10-20 % de las mezclas para bases son de alto módulo. En el caso de España las Mezclas de Alto Modulo se comenzaron a utilizar por 1992.

Este mismo estudio revela que “las mezclas de alto modulo (MAM) deben ir en general en capas superior a 7cm para evitar problemas de rotura frágil enfriamiento rápido durante la puesta en obra. Existen tres tipos de MAM siendo las MAM 2 las más difundidas para disminuir el espesor convencional, se dosifican con un contenido de ligante entre 5,5 –5,8 %, este alto contenido de asfalto mejora el comportamiento a fatiga de la mezcla”.

5.3.4 Mezclas Asfálticas tipo P-401

La mezclas asfáltica tipo P-401, es una mezcla creada por la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en Inglés) para la construcción de Aeropuertos, y este tipo de mezclas es el objeto de estudio de la presente monografía. A continuación se mostrarán los parámetros fijados por la Administración Federal de Aviación (FAA), en su circular AC No: 150/5370-10F, cuyo propósito es establecer los estándares para la construcción de aeropuertos, más específicamente en el capítulo 5, el cual trata de los pavimentos flexibles, Ítem P-401 Plant Mix Bituminous Pavements.

Esta especificación, centra su atención en pavimentos flexibles que soportarán cargas iguales o superiores a 5670 kg, que se ajusta a las cargas aplicadas en la plataforma del aeropuerto internacional que son superiores, teniendo en cuenta que algunas aerolíneas que operan en el mismo, cuentan con aeronaves tipo Boeing 767 cuyo peso supera los 100.000 kg (Boeing, 2014).

Materiales

- Agregado.

El Agregado consistirá en piedra fracturada, grava triturada, escoria machacada, tamizada, filler de arena y mineral natural, según sea necesario. Los agregados deben estar libres de



sulfuros, de metales ferrosos, tales como pirita, que causaría "moho" coloración que puede dejar marcas en el pavimento. La porción retenida en el tamiz N° 4 (4,75 mm) es agregado grueso. La porción pasando por el tamiz N° 4 (4,75 mm) y retenido en el tamiz N° 200 (0,075 mm) es árido fino, y la porción pasando por el tamiz N° 200 (0,075 mm) es relleno mineral.

El agregado grueso. El agregado grueso consistirá en partículas resistentes, durables, libre de películas de materiales que impidan recubrimiento completo y la unión con el material bituminoso y libre de materia orgánica y otras sustancias nocivas. El porcentaje de desgaste no será mayor del 40% cuando se ensaya de acuerdo con la ASTM C131. La pérdida de dureza por sulfato de sodio no deberá superar el 12%, o la pérdida de dureza por sulfato de magnesio no excederá del 18%, después de cinco ciclos, cuando se ensaya de acuerdo con la ASTM C88. Terrones de arcilla y partículas deleznable no excederán de 1,0% cuando se prueba de acuerdo con la ASTM C142

El agregado fino. El Agregado fino deberá estar limpio, durable, de formas angulares producidas por la trituración de piedra, escoria, o grava que cumpla con los requisitos para el uso especificados para agregado grueso. Las partículas de agregado deberán estar libres de revestimientos de arcilla, limo, u otros materiales.

El agregado fino, incluyendo cualquier material mezclado para el agregado fino, tendrá un índice de plasticidad de no más de seis (6) y un límite líquido de no más de 25 años cuando se ensaya de acuerdo con la ASTM D4318.

La pérdida de dureza no superará el 10% cuando se utiliza sulfato de sodio o 15% cuando se utiliza sulfato de magnesio, después de cinco ciclos, cuando se prueba según la norma ASTM C88.

Los terrones de arcilla y partículas deleznable no excederán de 1,0%, en peso, cuando se prueba de acuerdo con ASTM C142.



➤ Filler mineral

Si el filler se presenta de forma natural en el agregado, deberá cumplir con los requisitos de la norma ASTM D242.

➤ Aglutinante de cemento asfáltico.

Aglutinante de cemento asfáltico deberá cumplir con la norma ASTM D6373 Grado Rendimiento (PG). Un certificado de cumplimiento del fabricante se incluye con el diseño de presentación mezcla.

➤ Composición de la mezcla.

La mezcla se compone de agregado con una buena granulometría, filler, agente anti-tira, si es necesario, y ligante asfáltico. Las diversas fracciones de agregados deberán ser de diferente tamaño, se maneja en grupos de tamaños diferentes, y se combinan en proporciones tales que la mezcla resultante cumple con los requisitos de clasificación de la fórmula de mezcla del trabajo

Tabla 3. Criterio de Diseño Marshall

Ensayo	Pavimentos Diseñados para Aeronaves que pesan 60.000 libras (27.216 kg) o más o presiones de neumáticos 100 psi o más	Pavimentos Diseñados para Aeronaves de peso bruto inferior a 60.000 libras (27.216 kg) o presión de los neumáticos a menos de 100 psi
Número de golpes	75	50
Estabilidad, libras (Newtons) Mínimo	2150 (9560)	1350 (6000)
Flujo¹, 0.01 inch. (0.25 mm)	10-16	10-18
Vacíos de aire	3.5	3.5
Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (mínimo)	Ver Tabla 4	Ver Tabla 4

(Federal Aviation Administration, 2011)



Tabla 4. Criterios de diseño giratorio

Test Property	Pavimentos Diseñados para Aeronaves que pesan 60.000 libras (27.216 kg) o más o presiones de neumáticos 100 psi o más	Pavimentos Diseñados para Aeronaves de peso bruto inferior a 60.000 libras (27.216 kg) o presión de los neumáticos a menos de 100
Número de giros compactador	75	50
vacíos de aire (%)	3.5	3.5
vacíos en el agregado Mineral (%) (minimo)	Ver tabla 5	Ver Tabla 5

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2011)

Tabla 5. Porcentaje de vacío mínimo en el agregado mineral (VMA)

Agregado (ver Tabla 3)	Mínimo VMA
Gradación 3	16%
Gradación 2	15%
Gradación 1	14%

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2011)



Tabla 6. Agregado – de la Mezcla Asfáltica

Dimensión del Tamiz	Porcentaje en peso pasando de tamices		
	Gradación 1	Gradación 2	Gradación 3
1 inch (25 mm)	100	--	--
3/4 inch (19 mm)	76-98	100	--
1/2 inch (12 mm)	66-86	79-99	100
3/8 inch (9 mm)	57-77	68-88	79-99
No. 4 (4.75 mm)	40-60	48-68	58-78
No. 8 (2.36 mm)	26-46	33-53	39-59
No. 16 (1.18 mm)	17-37	20-40	26-46
No. 30 (0.600 mm)	11-27	14-30	19-35
No. 50 (0.300 mm)	7-19	9-21	12-24
No. 100 (0.150 mm)	6-16	6-16	7-17
No. 200 (0.075 mm)	3-6	3-6	3-6
Porcentaje de Asfalto			
Piedra o Grava	4.5-7.0	5.0-7.5	5.5-8.0
Escoria	5.0-7.5	6.5-9.5	7.0-10.5

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2011)

➤ Limitaciones climáticas.

La mezcla no debe colocarse sobre una superficie mojada o cuando la temperatura de la superficie subyacente es menor que la especificada en la Tabla 7. Los requisitos de temperatura pueden ser suspendidos por el Ingeniero, si así lo solicita; Sin embargo, se deberán cumplir todos los demás requisitos, incluyendo la compactación



Tabla 7. Limitaciones de temperatura de la capa subyacente

Espesor del Material	Base Temperatura (Minimo)	
	°F	°C
3 pulgadas (7,5 cm) o superior	40	4
Mayor de 2 pulgadas (50 mm) pero menos de 3 pulgadas (7,5 cm)	45	7

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2011)

Propiedad	Pavimentos Diseñados para Aeronaves que pesan 60.000 libras (27.216 kg) o más o presiones de neumáticos 100 psi o más		Pavimentos Diseñados para Aeronaves de peso bruto inferior a 60.000 libras (27.216 kg) o presión de los neumáticos a menos de 100 psi	
	Especificación -Tolerancia		Especificación -Tolerancia	
Numero de Golpes	75 golpes		50 golpes	
	L	U	L	U
Estabilidad, Minima (lbs)	1800	--	1000	--
Flujo, 0.01-in	8	18*	8	20*
Total de Vacíos de Aire en la Mezcla (%)	2	5	2	5
Surface Course Mat Density (%)	96.3	[101.3]	96.3	[101.3]
Joint density (%)	93.3	--	93.3	--

Fuente: (Federal Aviation Administration, 2011)



Antecedes de la Mezcla Asfáltica Tipo P-401

A nivel internacional se tiene la experiencia de Infraestructura Conelsan en sus actuaciones más significativas en aeropuertos, tanto en pistas de vuelo como en plataformas (Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Palma de Mallorca, Málaga, Gran Canaria, Alicante, Tenerife Norte y Tenerife Sur, Ibiza, Valencia, Fuerteventura, Sevilla, Bilbao) (conelsan, 2015)

En nuestro país ya se han presentado evidencias de la utilización de este tipo de mezclas en pavimentos aeroportuarios, así lo demuestra los siguientes procesos licitatorios

En la licitación Pública 9000037 OL de 2009, la cual consistía “En el mantenimiento de la pista y la ampliación de la plataforma del aeropuerto de Arauca” convocada por la UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE AERONÁUTICA CIVIL, se especificó que el concreto asfáltico bituminoso se ceñiría por la normas FAA-P401, norma de cual se basa la mezclas asfáltica de alto modulo P-401. (Aeronautica, 2009)

Así mismo para el año 2013 se abrió el proceso de licitación Pública 13000016 OL , cuyo objeto era “contratar el mantenimiento de la plataforma principal y bahías de giro hacia las cabeceras 05-23 del aeropuerto el alcaraván de Yopal (Casanare)” convocada por la UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE AERONÁUTICA CIVIL, planteo en sus especificaciones que para el suministro e instalación del concreto asfáltico bituminosos se haría atendiendo las norma FAA-P-401, norma de la cual se basa la mezclas asfáltica de alto modulo tipo P-401. (Aeronautica, www.aerocivil.gov.co, 2013)

También en la actualidad se encuentran convocados procesos en la modalidad de Asociación Público Privadas (APP) para la Administración, Operación, Mantenimiento, Explotación Comercial, Adecuación, Modernización y Reversión del Lado Aire y del Lado Tierra de los Aeropuertos de la Zona Sur-Occidente la cual, para todos los efectos se entiende que está integrada por los Aeropuertos El Edén de Armenia, Benito Salas de Neiva, y Guillermo León Valencia de Popayán (VJ-VE-APP-IPB-002-2014) donde en sus especificaciones se requiere de la mezcla asfáltica tipo P – 401 para la pista (ANI, 2014).



Además existen trabajos investigativos donde se compara la normatividad de la FAA y la europea “Mezclas bituminosas aeroportuarias conformes a la normativa europea” donde se superponen las granulometrías evidenciando una gran similitud (Rodríguez, 2010)

Lo anterior evidencia que la facilidad del uso de mezclas asfálticas de alto módulo tipo P401, ha hecho más frecuente su utilización en los pavimentos aeroportuarios en el país y la experiencia con este tipo de mezclas hace que éste sea el ideal para ser utilizado en la plataforma de parqueo de las aeronaves en el Aeropuerto Internacional Rafael Núñez.

Es importante el estudio de este tipo de mezclas ya que no solo pueden ser utilizadas específicamente en aeropuertos, sino en vías que requieren una estructura mejor conformada como es el caso del Aeropuerto Internacional de Mumbai, donde se utilizó este tipo de pavimentos en el Diseño y Construcción de una vía para taxis (McCullagh & Namachivayam, 2013).

5.4 PLATAFORMA DE PARQUEO AEROPUERTO INTERNACIONAL RAFAEL NUÑEZ DE LA CIUDAD DE CARTAGENA

Para el desarrollo de la presente monografía se tomó el caso específico, la repavimentación de la Plataforma de parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Núñez de la ciudad de Cartagena. Proyecto en el cual se utilizó este tipo de mezcla



Fotografía. 1. Plataforma de Parqueo del Aeropuerto Internacional Rafael Nuñez



Fuente: (Conelsan C. , 2014)

Nombre del Proyecto: **REPAVIMENTACIÓN PLATAFORMA PRINCIPAL Y CALLES DE RODAJE DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL RAFAEL NUÑEZ DE LA CIUDAD DE CARTAGENA**

Descripción del proyecto: La Sociedad Aeroportuaria de la Costa S.A, organismo que administra el aeropuerto en su afán de mejorar las estructuras de pavimento asfáltico, decide utilizar para su plataforma de parqueo una mezcla asfáltica de alto módulo tipo P401. A continuación se exponen los aspectos principales del desarrollo de la obra y que



ilustrarán la aplicación de la Mezcla tipo P – 401, para para mejorar la resistencia al ahuellamiento de la carpeta asfáltica.

Esta información fue suministrada por Constructora Montecarlos Vías, empresa que junto con Conelsan hacen parte de la unión Temporal CyC, encargada de la construcción de este proyecto

5.4.1 Diseño de la mezcla tipo p – 401

Para el diseño de la mezcla se utilizó betún modificado Tipo III y se realizaron mezclas asfáltica P-401 de 1” y p-401 de ¾”

5.4.1.1 Áridos.

Los áridos utilizados proceden de la planta de TORCOROMA (CARTAGENA DE INDIAS-COLOMBIA). Las referencias y fracciones a emplear son:

Tabla 8. Granulometría de Áridos utilizados

Referencia	Fracción
Grava gruesa	Árido 1”
Grava gruesa	Árido ¾”
Arena	Arena Machacada 0/6

Fuente: (Conelsan C. , 2014)



Fotografía. 2. Grava de ¾”



(CMV, 2014)

Fotografía. 3. Grava de 1”



(CMV, 2014)

5.4.1.2 Granulometrías (UNE-EN 933-2). (ASTM C 136/84^a)

Los resultados de las granulometrías aparecen en la tabla siguiente en % que pasa por los tamices UNE.

Tabla 9. Resultados de la Granulometría

Tamices ASTM	Tamices en mm.	1”	¾”	Arena Triturada
1”	25,4	100		
¾	19,1	26	100	
½	12,7	2	60	
¾	9,5	2	31	100
Nº4	4,75	1	2	77
Nº8	2,36		1	52
Nº16	1,19			35
Nº30	0,60			27
Nº50	0,30			22
Nº100	0,15			16
Nº200	0,075	0,4	0,7	11

(Conelsan C. , 2014)



5.4.1.3 Equivalente de arena (UNE-EN 933-8). (ASTM D 2419)

El resultado que obtenemos de la fracciones 0-6 mm. Son las siguientes: Arena 52

5.4.1.4 Desgaste de Los Ángeles (UNE-EN 1097-2). (ASTM C 131-81)

El resultado que obtenemos para la granulometría "C" en el árido es del 18 % de pérdida.

5.4.1.5 Caras de fractura (UNE-EN 933-5). (Method N° 205 E State de California)

Realizado el ensayo sobre la fracción de árido con tamaños superiores a 2 mm., se obtienen el siguiente resultado

Tabla 10. Resultado ensayo sobre la fracción de árido

Fracción	Porcentaje
Grava 3/4".	100
Grava 1".	100

(Conelsan C. , 2014)

5.4.1.6 Ligante.

El ligante utilizado es el Betún Modificado con Polímeros Tipo III Los resultados de los ensayos más significativos son los que aparecen a continuación:



Tabla 11. Resultados ensayos

Ensayo	UNE/ASTM)	Resultado
Penetración a 25 ° C, 100 g, 5 s	1426/D5	57
Punto anillo y bola (°C)	1427/D36	67
Índice de penetración	NLT.181/UNE 104	+2,71
Densidad relativa (gr/cm ³)	NLT.122/D70	1,03

(Conelsan C. , 2014)

El Betún Modificado con polímero tipo III se caracteriza por una mayor recuperación torsional y ductilidad a baja temperatura, es el asfalto adecuado en caso de requerirse alta flexibilidad y resistencia a la fatiga.

5.4.1.7 Dosificación.

La dosificación empleada para este tipo de mezcla es la siguiente:

Tabla 12. Dosificación

Fracción y acopio	Dotación
Grava tamaño 1"	21
Gravilla tamaño 3/4 "	21
Arena Triturada	56
Filler de Aportación, Cemento	2

(Conelsan C. , 2014)



5.4.1.8 *Fórmula de trabajo.*

Con la dosificación empleada y teniendo en cuenta el efecto de los ciclones en la planta, la fórmula de trabajo resultante aparece en la tabla siguiente.

Tabla 13. Fórmula de trabajo

TAMICES ASTM	Curva de los áridos	HUSO P-401 1"	
		Mínimo	Máximo
1"	100	100	100
3/4	84	76	98
1/2	71	66	86
3/8	65	57	77
Nº4	45	40	60
Nº8	31	26	46
Nº16	21	17	37
Nº30	16	11	27
Nº50	13	7	19
Nº100	10	6	16
Nº200	6,0	3	6

(Conelsan C. , 2014)

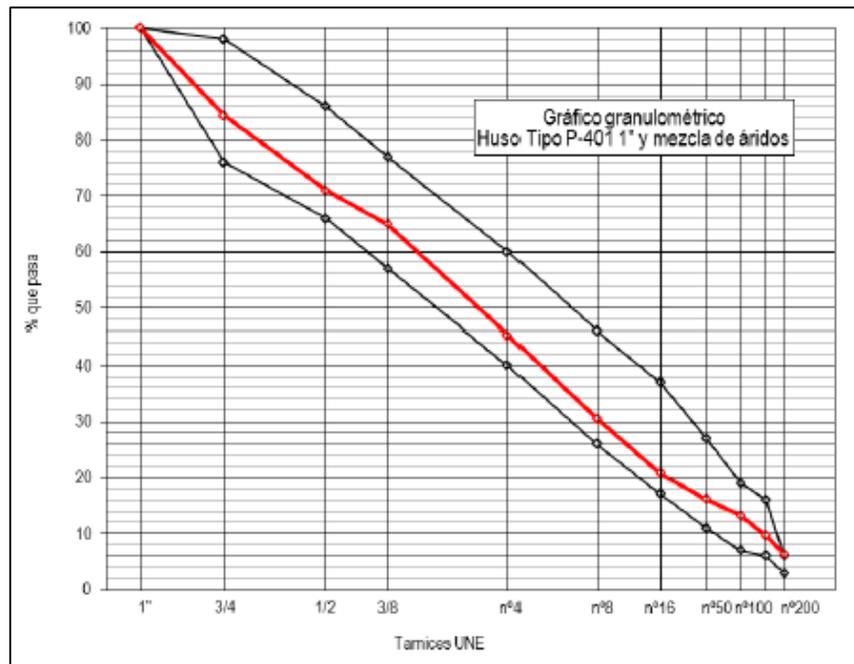


Figura 5. Gráfico granulométrico Huso Tipo P – 401 1". (Conelsan C. , 2014)

5.4.1.9 Densidad en aceite de parafina.

Se realiza este ensayo según la NLT.- 167(ASTM D 2041) con la mezcla de áridos producto de la composición granulométrica fijada en la fórmula de trabajo. El resultado obtenido es de 2,66 gr/cm³.

5.4.1.10 Características MARSHALL. (ASTM D1559)

Se han realizado 4 series de probetas con porcentajes crecientes de ligante comprendidos entre el 4,0 y el 5,5 % sobre el peso de áridos. Los resultados obtenidos en cada serie están reflejados en la siguiente tabla:



Tabla 14. Características Marshall

Dato	Unidad	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
L/Árido	%	4	4,5	5	5,5
L/mezcla	%	3,85	4,31	4,76	5,21
Densidad	gr/cm ³	2,310	2,330	2,350	2,325
Dens. Áridos	gr/cm ³	2,66			
Dens. Ligante	gr/cm ³	1,03			
H. Mezcla	%	7,9	6,4	5,0	5,4
H. Árido	%	16,5	16,2	15,9	17,2
Estabilidad	kN	11,5	12,8	12,0	11,0
Deformación	mm	2,4	2,7	3,2	3,8

(Conelsan C. , 2014)

5.4.1.11 Óptimo de ligante.

A la vista de los resultados obtenidos (representados en el gráfico), consideramos como óptimo de ligante el 4,9% sobre el peso de los áridos que corresponde con un 4,67 % sobre el peso de la mezcla.

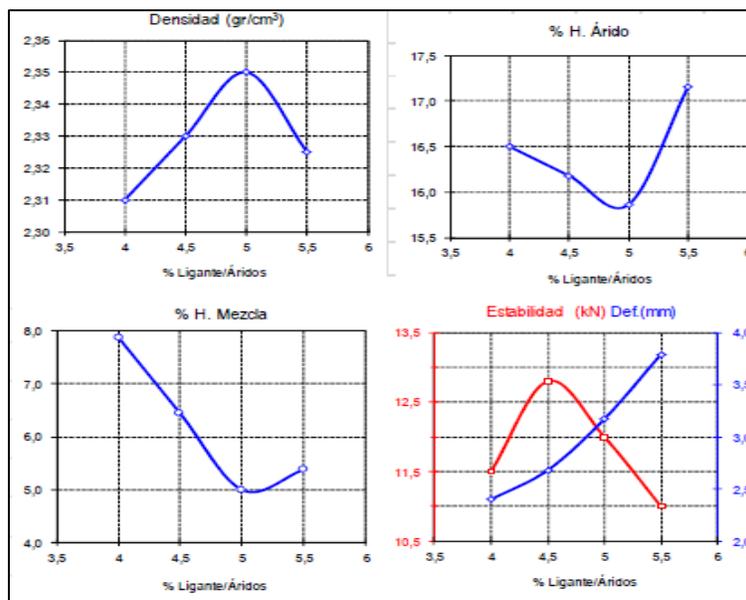


Figura 6. Gráficas del Marshall. (Conelsan C. , 2014)



Tabla 15. Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa (UNE-EN 12697-12).

Numero de probetas fabricadas para ensayo	6
Condiciones /Tiempo de inmersión de probetas Húmedas	40°C / 72h
Condiciones Resistencia a tracción indirecta:	
Temperatura de Ensayo, °C	15
Método de climatización probetas secas	En Aire
Tiempo de climatización probetas, min	140

(Conelsan C. , 2014)

Descripción	Ud.	Probetas Secas (d)	Probetas Húmedas (w)
Masa de las probetas Secas	g	842,4	868,1
		902,9	855,5
		986,2	912,5
Densidad aparente Media (SSD)	g/cm ³	2,340	2,345
Diámetro medio	mm.	100,4	100,6
Altura media	mm.	47,8	44,5

Resistencia a tracción indirecta	Kpa	1760	2190
Tipo rotura	---	"a" Líneas de rotura clara áridos envueltos	
Relación de resistencia (ITRS)	%	80,4	

(Conelsan C. , 2014)

5.4.1.12 Temperaturas y tiempo de mezclado

Los dos parámetros a controlar (planta y obra) son:



Tabla 16. Temperaturas y tiempo de mezclado

En la planta	Mínimo	Máximo
Temperatura de los áridos	140 °C	165 °C
Temperatura del ligante	140 °C	160 °C
Temperatura de la mezcla	140 °C	165 °C
En obra:	Mínimo	Máximo
Descarga en la extendedora	135 °C	---
Inicio de la compactación	130 °C	---
Terminación de la compactación	115 °C	---

(Conelsan C. , 2014)

Luego se procedió a realizar el diseño de la mezcla asfáltica P-401 de ¾”

5.4.1.13 Planta de mezcla

La mezcla asfáltica se fabricará en plantas capaces de manejar simultáneamente en frío la dosificación que exija la fórmula de trabajo adoptada. El número de tolvas para agregados en frío será función de la dosificación exigida en la fórmula de trabajo.

En plantas de mezcla continua con tambor secador – mezclador, el sistema de dosificación será proporcional, al menos para la arena y para el conjunto de los agregados; y tendrá en cuenta la humedad para corregir la dosificación en función de ésta.

5.4.2 Etapa de Construcción

La primera fase de construcción inició con la identificación y corrección de las zonas con problemas de estructura, en las cuales se realizó el remplazo de 1.5 metros de altura colocando materiales de diferentes gradaciones para la mejora de la capacidad portante del suelo, el espesor de la carpeta de asfalto fue de 30 cm colocado en 5 capas, con el fin de garantizar el porcentaje de compactación de la estructura.



La forma de ejecución de la actividad fue la siguiente:

- Cierre y delimitación de la zona de trabajo.
- Marcado de las zonas afectadas
- Corte de la capa de asfalto de la zona afectada para proteger los bordes.
- Demolición de la capa de pavimento existente.
- Corte, cargue y retiro del material de excavación.
- Colocación y compactación de las diferentes capa de pedraplén.
- Colocación del geotextil de separación entre granulares.
- Colocación de base granular tipo INVIAS 2007.
- Colocación de mezcla P-401 de 1 pulgada

Una vez finalizada la etapa de saneos (fase 1 del proyecto), se procedió a la colocación de mezcla asfáltica en caliente tipo P-401 con Asfalto modificado tipo III en la plataforma, para esta la actividad se establecieron 5 fases (de la 2 a la 6 del proyecto), las cuales se intercalarían con las fases de concreto rígido para las posiciones de estacionamiento. Las 4 primeras fases consistían en la delimitación de las posiciones de estacionamiento que quedarían por fuera de uso y la quinta (fase nocturna) corresponde a la pavimentación de 85 metros medidos desde la pista hacia la zona de desembarque de pasajeros. Las fases en mención van de la 2 a 6 en la programación del proyecto. (Conelsan C. , 2014)



Fotografía. 4. Textura de Mezclas



(CMV, 2014)

5.4.2.1 Fase 2

En la fase 2 se realizó la pavimentación entre el camino perimetral de hangares y la primera canaleta, en esta se realizó el tramo de prueba, para verificar la confiabilidad de los sensores de la terminadora, la pavimentación se realizó en franjas promedio de 5 metros de ancho, avanzando a favor de la pendiente de manera que se verificara el correcto drenaje de agua lluvia, la calles de extendido iniciaban a 5 metros de la barra de parada y terminaban en la línea de demarcación de camino perimetral. Una vez terminada la fase, se realizó una nivelación total de la plataforma, para constatar el cumplimiento de los niveles de proyecto y se realizaron las correcciones en las zonas donde se observaron diferencias de nivel que afectaban el drenaje en la plataforma.

5.4.2.2 Fase 3

Finalizada la fase 2, se procedió a la construcción de la fase 3 ocupando las posiciones 6 y 5 las condiciones de construcción fueron similares a las de la fase anterior, no obstante con el fin de que el aeropuerto pudiera comunicar a lado y lado de la obra, se realizó una modificación en el cierre, permitiendo el uso de la zona intermedia de la fase por las aeronaves, esta habilitación, obligó a la construcción de una rampa temporal para el tránsito



de vehículos y aeronaves, considerando la diferencia de nivel entre la plataforma existente y las zonas asfaltadas.

5.4.2.3 Fase 4

La fase 4 afectó principalmente la posición 4, esta posición contaba con losas de concreto existente, las cuales quedaban a desnivel con la nueva plataforma, lo cual obligó a su reconstrucción.

5.4.2.4 Fase 5

En la fase 5 se intervinieron las posiciones 1 a 3 y 10 a 11, esta fase contaba con dimensiones similares a la fase 1 e iba del camino perimetral de bomberos hasta la zona de canal junto a la posición 3, esta fase contaba con los mayores espesores del proyecto, se manejaron dos capas, una de 7 cm en P-401 de 1 pulgada y otra en P-401 de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Una vez finalizada la pavimentación de la fase cinco, en simultanea se dio inicio a la fase 6 de P-401 y fase 7 de MDC-2, realizando inicialmente las actividades de la fase 7, la cual contaba con una menor cantidad de días, y permitía dar acabado en la zona de descenso de pasajeros de los puestos 1 a 7.



Fotografía. 5. Espesor de la Capa



(CMV, 2014)

5.4.2.5 Fase 6

Contemplaba la fase nocturna de nivelación entre la plataforma y la pista, esta fase fue la más exigente en lo referente al fresado ya que el 90% del área a ejecutar contemplaba este tipo de intervención antes de realizar la pavimentación, los espesores de fresado fueron variables desde 0 hasta 17 cm de profundidad.



Fotografía. 6. Fase Nocturna de Nivelación



(CMV, 2014)

**Fotografía. 7. Trabajos adelantados en la plataforma de parqueo del Aeropuerto
Internacional Rafael Núñez**



(Conelsan C. , 2014)

5.4.2.6 Aplicación de anticarburante

Teniendo en cuenta la inversión realizada en el proyecto, la necesidad del concesionario de mantener esta inversión a gran plazo y reconociendo que uno de los mayores problemas de las mezclas densas en caliente es el vertimiento de aceites y combustibles, que disuelven el asfalto que funciona como aglutinante de las partículas de agregados pétreos, por lo cual se disgregan y quedan vulnerables a la remoción ya sea por las condiciones atmosféricas (lluvias, viento, etc) o por el efecto del tráfico. SACSA, al contar con la experiencia del contratista, decidió para el proyecto implementar la aplicación del SaC (Superficie anticarburante Conelsan), en las zonas donde se presentan la mayor cantidad de vertimientos históricamente en el proyecto. El SaC es una resina que con su secado obtiene características plásticas que actúan como una barrera impermeabilizante para los



pavimentos asfálticos, la aplicación de este sistema dota de algunas características de los concretos hidráulicos a los asfálticos

Las mezclas bituminosas en caliente tipo P-401, como el resto de mezclas bituminosas, no son anticarburantes. Cualquier vertido de carburante hace que el tratamiento se descomponga. En caso de producirse un vertido de esa naturaleza, se debe actuar y recoger inmediatamente para evitar el deterioro de la mezcla asfáltica.

En Aeropuertos se debe tener mucho cuidado en las campañas de limpieza de caucho (no tan importante en este caso por ser una plataforma de estacionamiento) y de eliminación de pintura por métodos como agua a alta presión o granallado. En caso de realizar la operación mediante agua a presión, una mala regulación de las presiones puede levantar el tratamiento por completo. Se recomienda hacer un tramo de ensayo donde se ajusten las presiones a la pista de vuelo en cuestión. No es comparable la experiencia de unos pavimentos a otros ya que de una a otra puede variar el comportamiento del soporte, las características superficiales del acabado de la mezcla y la cantidad de caucho/pintura depositada en su superficie. (Conelsan, 2014)

Este tipo de mezclas, adquieren sus prestaciones óptimas con el paso del tiempo. La razón es que los betunes tienen un periodo en el que se incrementa su cohesión hasta llegar a la máxima pasados unos 2 años. Durante ese periodo, la penetración del betún irá bajando progresivamente y la susceptibilidad a las altas temperaturas ambiente llegará a ser nula.

Si en el futuro hubiese que hacer alguna reparación/reparcheo es importante utilizar la misma fórmula de trabajo para mantener la textura y el rozamiento actuales. El cajeo/fresado se hará hasta eliminar por completo la capa de rodadura, incluso arañando la capa de base, cortando verticalmente los bordes y regándolos con riego de liga al igual que el soporte. Importante que estas reparaciones se lleven a cabo con betún modificado. (Conelsan, 2014)



6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Las mezclas asfálticas P-401 están compuestas por agregados mineral y aglutinante de cemento asfáltico mezclado en una planta, preparada de acuerdo a las especificaciones de la FAA.
- ✓ Los agregados deben estar libres de sulfuros, de metales ferrosos, tales como pirita, que causaría "moho" coloración que puede dejar marcas en el pavimento
- ✓ La mezcla asfáltica se fabricará en plantas capaces de manejar simultáneamente en frío la dosificación que exija la fórmula de trabajo adoptada. El número de tolvas para agregados en frío será función de la dosificación exigida en la fórmula de trabajo.
- ✓ La mezcla no debe colocarse sobre una superficie mojada
- ✓ Las mezclas bituminosas en caliente tipo P-401, como el resto de mezclas bituminosas, no son anticarburantes. Cualquier vertido de carburante hace que el tratamiento se descomponga. En caso de producirse un vertido de esa naturaleza, se debe actuar y recoger inmediatamente para evitar el deterioro de la mezcla asfáltica.
- ✓ Este tipo de mezclas, adquieren sus prestaciones óptimas con el paso del tiempo. La razón es que los betunes tienen un periodo en el que se incrementa su cohesión hasta llegar a la máxima pasados unos 2 años. Durante ese periodo, la penetración del betún irá bajando progresivamente y la susceptibilidad a las altas temperaturas ambiente llegará a ser nula.
- ✓ Si en el futuro hubiese que hacer alguna reparación/reparcheo es importante utilizar la misma fórmula de trabajo para mantener la textura y el rozamiento actuales. El cajeo/fresado se hará hasta eliminar por completo la capa de rodadura, incluso arañando la capa de base, cortando verticalmente los bordes y regándolos con riego de liga al igual que el soporte. Importante que estas reparaciones se lleven a cabo con betún modificado



El futuro de los pavimentos asfálticos es altamente positivo. El desarrollo de nuevas tecnologías en los últimos años ha permitido mejorar la calidad de los productos y procedimientos utilizados en la pavimentación de vías con dos grandes ventajas: la reducción en los costos y alta durabilidad durante toda la vida de servicio del pavimento. La durabilidad de los pavimentos se traduce en mantenimientos y reparaciones mínimas durante su vida útil, enfrentar el paso de millones de vehículos, resistir los efectos dañinos de los rayos solares, el aire y agua.

Los asfaltos modificados se deben aplicar, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función para la cual fueron encomendados, es decir, en mezclas para pavimentos que están sometidos a solicitaciones excesivas, ya sea por el tránsito o por otras causas como: temperaturas extremas, agentes atmosféricos, tipología del firme, etc. Si bien los polímeros modifican las propiedades reológicas de los asfaltos, estos deben mostrar ventajas en servicio.

El Betún Modificado con polímero tipo III se caracteriza por una mayor recuperación torsional y ductilidad a baja temperatura, es el asfalto adecuado en caso de requerirse alta flexibilidad y resistencia a la fatiga.

El objetivo principal de este tipo de mezclas (Mezclas Asfáltica Tipo P401) era luchar contra las deformaciones plásticas que el aumento del tráfico había disparado, y por otra parte, utilizarlas en zonas de estacionamiento de aviones y en vías de tráfico lento, la cuales son más susceptibles a sufrir deformaciones por la acción de las cargas puntuales.



7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANI. (2014). Obtenido de OD_PROCESO_14-19-3241366_124001001_13332429:
file:///C:/Users/HP/Downloads/OD_PROCESO_14-19-
3241366_124001001_13332429.pdf
- Barling, J. (1997). EL HORMIGÓN Y LOS PAVIMENTOS DE AEROPUERTOS.
Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Transports.
- Boeing. (2 de 06 de 2014). *BOEING*. Obtenido de
<http://www.boeing.com/boeing/commercial/767family/technical/technical-characteristics.page?>
- calafate, a. e. (2010). *Fotos/Aeropuerto Internacional de El Calafate*. Obtenido de
<http://www.aeropuertoelcalafate.com/img/7.jpg>
- CMV, U. T. (2014). *REPAVIMENTACIÓN PLATAFORMA PRINCIPAL Y CALLE DE RODAJE*. Cartagena.
- Conelsan. (2014). *MANUAL DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE*. Cartagena.
- conelsan. (2015). *Infraestructuras Colensan - Aeropuertos*. Obtenido de
<http://www.conelsan.es/index.php/es/aeropuertos>
- Conelsan, C. (2014). *REPAVIMENTACIÓN PLATAFORMA PRINCIPAL Y CALLE DE RODAJE*. Cartagena.
- Cristian Carvallo, E. M. (30 de 03 de 2011). *emol.com*. Recuperado el 28 de 04 de 2014, de
<http://www.emol.com/noticias/economia/2011/03/30/473217/autopista-central-estima-que-trafico-podria-aumentar-entre-un-5-y-6-este-ano.html>
- El Tiempo. (9 de Mayo de 2011). Un Hueco no dejo Despegar un Avión en Ibagué. *El Tiempo*.
- Federal Aviation Administration. (30 de 09 de 2011). AC No: 150/5370-10F . *Advisory Circular*. EEUU: U.S. Department of Transportation.
- FICEM-APCAC. (2009). Desarrollo y Evolución en la Última Década de los Pavimentos de Hormigón en la Argentina. Miami.
- Higuera Sandoval, C. H., Patarroyo Fonseca, A. M., & Y. F. (2013). Factibilidad de mezclas asfálticas de alto módulo con agregados del área de influencia de Tunja. *Revista Facultad de Ingeniería, UPTC*, 19.



LAR. (2012). Mantenimiento de pavimentos y Estados de la Superficie del pavimento. En L. 153, *Reglamento Aeronautico Latinoamericano de Aerodromos* (pág. APENDICE 11).

McCullagh, P. J., & Namachivayam, a. N. (09 de 06 de 2013). *ASCE LIBRARY*. Obtenido de <http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2166/doi/abs/10.1061/9780784413005.016>

Rodriguez, A. P. (2004). *Mezclas Asfálticas*.

Rodriguez, P. P. (2010). Mezclas Bituminosas Aeroportuarias conforme a la normativa Europea. *Dialnet Plus - Base de Datos de la Universidad de Cartagena*, 18-28.

Rodríguez, P. P. (2010). *Mezclas bituminosas aeroportuarias conformes a la normativa europea*. Obtenido de <http://ezproxy.unicartagena.edu.co:2146/servlet/articulo?codigo=3240224>

Sabogal, F. S. (s.f.). Recuperado el 28 de 04 de 2014, de http://copernico.escuelaing.edu.co/vias/pagina_via/modulos/MODULO%209.pdf

Vasquez Varela, L. C. (28 de 04 de 2014). Obtenido de <file:///C:/Users/windows7/Downloads/95883663-Diseno-de-pavimentos-para-aeropuertos.pdf>