



UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO DE TESIS:

**“ESTUDIO DE LA REHABILITACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA DEL
AEROPUERTO INTERNACIONAL CORONEL FAP CARLOS CIRIANI
SANTA ROSA DE TACNA”**

Presentado por:

Bach. Yupanqui Quispe, Javier Luis

Bach. Hurtado Gómez, Jorge Álvaro

Tacna – Perú

2015

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	16
1. Planteamiento del Problema.....	16
2. Formulación del Problema.....	16
2.1. Problema Principal	16
3. Objetivos.....	17
3.1. General	17
3.2. Específicos.....	17
4. Justificación	17
5. Hipótesis.....	18
5.1. Hipótesis General.....	18
5.2. Hipótesis Específica	19
6. Identificación de Variables.....	19
6.1. Variable Dependiente.....	19
6.2. Variable Independiente	19
7. Metodología.....	19
7.1. Etapa de Campo	20
7.2. Etapa de Laboratorio.....	20
7.3. Etapa de Gabinete	26

8. Descripción de la Zona de Estudio	27
8.1. Ubicación del Proyecto	27
8.2. Principales Características del Aeropuerto	29
8.2.1. Pista de Aterrizaje y/o Despegue.....	29
8.2.2. Calles de Rodaje	30
8.2.3. Plataforma de Estacionamiento de Aeronaves	31
8.3. Antecedentes	31
8.4. Estudio del Pavimento y situación actual	35
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	63
1. Generalidades	63
1.1. Definiciones.....	63
1.1.1. Pavimento Asfáltico	63
1.1.2. Carpeta Asfáltica	65
1.1.3. Planta de Asfalto.....	66
1.1.4. Mezcla Asfáltica.....	66
1.2. Clasificación de Mezcla Asfáltica	67
1.2.1. Mezcla Asfáltica en Caliente.....	67
1.2.2. Mezcla Asfáltica en Frio.....	67
1.3. Clasificación de los Pavimentos.....	67

1.3.1. Pavimentos Flexibles	68
1.3.1.1. Características	69
1.3.2. Pavimentos Rígidos	69
1.3.3. Diferencias entre pavimento Rígido y pavimento Flexible	70
2. Marco Normativo	70
2.1. Materiales	71
2.1.1. Agregados Minerales Gruesos	71
2.1.2. Agregados Minerales Finos	72
2.1.3. Gradación	73
2.1.3.1. Gradación para Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC)	73
2.1.3.2. Gradación para mezcla Superpave	74
2.1.4. Filler o Polvo Mineral	76
2.1.5. Cemento Asfáltico	76
2.2. Equipo	78
2.2.1. Equipo para la elaboración de los agregados triturados .	78
2.2.2. Planta de Asfalto	78
2.2.3. Equipo para el transporte	82
2.2.4. Equipo para el esparcido de la mezcla	83
2.2.5. Equipo de Compactación	84
2.2.6. Equipo Accesorio	85

2.3.	Requerimiento de Construcción	85
2.3.1.	Mezcla de Agregados	85
2.4.	Formula de Trabajo	88
2.4.1.	Gradación	88
2.4.2.	Aplicación de la fórmula de trabajo en obra y tolerancias	88
2.4.3.	Métodos de Comprobación	88
2.4.4.	Composición de la mezcla de agregados	89
2.4.5.	Tolerancias	89
2.4.6.	Módulo Resilente	90
2.4.7.	Leyes de Fatiga	90
2.4.8.	Medidas de prevención contra la fisuración descendente de las capas asfálticas	91
2.5.	limitaciones climáticas	91
2.6.	Preparación de la superficie existente	91
2.7.	Elaboración de la Mezcla	92
2.8.	Transporte de la mezcla	95
2.9.	Esparcido de Mezcla	95
2.10.	Compactación de Mezcla	97
2.11.	Juntas de Trabajo	99
2.12.	Pavimento sobre puentes y viaductos	100

3. Diseño de Mezclas Asfálticas	100
3.1. Tipos de Mezclas Asfálticas	100
3.2. Definiciones.....	102
3.2.1. Mezclas de Gradación Densa HMA.....	102
3.2.2. Mezclas Open Graded.....	103
3.2.3. Mezclas GAP Graded.....	105
3.3. Consideraciones del Diseño de Mezclas	106
3.4. Propiedades Volumétricas	112
3.4.1. Generalidades	112
3.4.2. Definiciones	112
3.4.3. Análisis de Mezclas Compactas	116
3.4.4. Gravedad Especifica Bulk del Agregado.....	117
3.4.5. Gravedad Especifica Efectiva del Agregado.....	118
3.4.6. Gravedad Especifica Teórica Máxima de Mezclas con Diferentes Contenidos de Asfalto	119
3.4.7. Absorción de Asfalto.....	119
3.4.8. Contenido de Asfalto Efectivo de la Mezcla.....	120
3.4.9. Porcentaje de VMA en Mezcla Compactada	120
3.4.10. Porcentaje de vacíos de aire en Mezcla Compactada	121
3.4.11. Porcentaje VFA en Mezclas Compactadas	122

3.5. Diseño de Mezcla Convencional	122
CAPITULO III: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	127
1. Introducción	127
2. Operatividad de la planta de asfalto	127
2.1. Principio de funcionamiento	128
2.2. Verificación de calibración de tolvas	128
2.3. Verificación de distribución granulométrica del material integral de faja	129
2.4. Verificación de la inyección del filler mineral	129
2.5. Verificación de la inyección de cemento asfaltico	129
2.6. Verificación de parámetros Marshall	129
2.7. Verificación de la mezcla asfáltica en pista	130
2.8. Compactación	130
3. Diseño de mezcla asfáltica en caliente.....	130
3.1. Materiales.....	130
3.1.1. Agregados minerales gruesos	130
3.1.2. Agregados minerales finos	132
3.1.3. Cementos asfaltico PEN 60/70	133
3.1.4. Filler Mineral	133
3.1.5. Aditivo Mejorado de Adherencia	134

3.2. Características físico mecánica de los materiales pétreos disponibles	135
3.3. Características de la mezcla asfáltica en caliente.....	136
3.4. Adherencia para agregado-bitumen.....	138
3.5. Procedimiento de diseño y resultados obtenidos.....	138
3.5.1. Temperaturas obtenidas de mezclado y compactación de diseño	140
3.6. Método Marshall.....	141
3.6.1. Preparación de las Probetas.....	141
3.6.2. Procedimiento del Ensayo	148
3.6.3. Resultados y Comparación del Diseño Marshall	152
3.6.4. Análisis y Discusión de los Resultados.....	153
3.7. Diseño de la Mezcla Asfáltica	156
3.8. Consideraciones Finales	158
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	159
1. Conclusiones.....	159
2. Recomendaciones	160
CAPITULO V: BIBLIOGRAFIA	161

ANEXOS

- Granulometría De La Piedra I
- Granulometría De La Arena VIII
- Granulometría Del Filler O Cemento XV
- Pesos Unitarios De Los Agregados Finos, Gruesos Suelos Y Compactados XVII
- Límite De Consistencia Y Absorción De Los Agregados XXII
- Porcentaje De Caras Fracturadas XXIX
- Determinación De Partículas Chatas Y Alargadas XXX
- Ensayos Equivalentes De Arena XXXIII
- Ensayo De Adherencia – Agregado Grueso Bitumen XXXVI
- Abrasión Los Ángeles XXXVIII
- Primer Ensayo Marshall XL
- Verificación De Marshall LI
- Ensayo Lottman Adherente LXI
- Ensayo Marshall Final LXV

INDICE DE TABLAS

- Tabla N°1: Pista Principal – Pavimento Flexible 50
- Tabla N°2: Pista Principal – Pavimento Flexible 51
- Tabla N°3 53
- Tabla N°4 55
- Tabla N°5: Diferencias Entre Pavimento Rígido Y Pavimento Flexible..... 70
- Tabla N°6: Requerimiento Para Los Agregados Gruesos 71
- Tabla N°7: Requerimiento Para Los Agregados Finos..... 72
- Tabla N°8: Gráfico De Granulometrías Límites Para Agregado 74
- Tabla N°9: Graduación Superpave Para Agregado De Tamaño Nominal Máximo De 19mm 75
- Tabla N°10: Graduación Superpave Para Agregado Máximo 25mm 76
- Tabla N°11: Selección Del Tipo De Cemento Asfaltico 77
- Tabla N°12: Especificaciones Del Cemento Asfaltico Clasificado Por Penetración 75
- Tabla N°13: Especificaciones Del Cemento Asfaltico Clasificado Por Viscosidad 78
- Tabla N°14: Requisitos Para Mezcla Concreto Bituminoso 86
- Tabla N°15: Requisitos De Adherencia 87

- Tabla N°16: Vacíos Mínimos Del Agregado Mineral 88
- Tabla N°17: Tolerancias..... 89
- Tabla N°18: Tipos De Mezclas Asfálticas En Caliente 101
- Tabla N°19: Composición Típica Del Concreto Asfaltico 123
- Tabla N°20: Agregado Grueso Y Fino Para Concreto Asfaltico135
- Tabla N°21: Parámetros Marshall 137
- Tabla N°22: Uso Granulométrico 137
- Tabla N°23: Curva Granulométrica 139
- Tabla N°24: Diseño Mezcla En Caliente 1% 152
- Tabla N°25: Diseño Mezcla En Caliente 2% 152
- Tabla N°26: Diseño Mezcla En Caliente 3% 153
- Tabla N°27 Verificación De Optimo Contenido 157
- Tabla N°28: 158

INDICE DE IMÁGENES

Figura N°1 28

Figura N°2 29

FIGURA N°3..... 37

FIGURA N°4..... 39

FIGURA N°5..... 39

FIGURA N°6..... 40

Figura N°7	45
Figura N°8	45
Figura N°9	46
Figura N°10	46
Figura N°11	47
Figura N°12	47
Figura N°13	48
Figura N°14	49
Figura N°15	49
Figura N°16	75
Figura N°17	103
Figura N°18	104
Figura N°19	105
Figura N°20	108
Figura N°21	108
Figura N°22	108
Figura N°23	114
Figura N°24	115
Figura N°25	143
Figura N°26	143

Figura N°27	144
Figura N°28	144
Figura N°29	146
Figura N°30	147
Figura N°31	147
Figura N°32	148

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo del presente trabajo se ha considerado la problemática general del comportamiento de los pavimentos con diseño en mezcla en caliente, con estructura usual dentro de los aeropuertos en el Perú, específicamente en la ciudad de Tacna.

En primer lugar se discute el papel fundamental que juegan las características del comportamiento mecánico de los materiales téreos utilizados dentro del comportamiento general, considerando el efecto del tránsito y los que provienen del intemperismo y del efecto alto tránsito de cargas. Después se describe la parte teórica de los métodos de diseño utilizados en el proceso; a saber, el diseño utilizado ha sido el de **“mezcla Asfáltica en caliente”** contemplado en la norma EG-2013 Especificaciones para el Diseño de Carreteras así como el propuesto por la AASHTO. Siendo la última parte en donde se presenta el diseño final del pavimento con mezcla en caliente.

En cuanto a la decisión de abordar el tema existen dos justificantes que nos motivaron a realizar la presente investigación, la primera es la problemática que existe para realizar un diseño asfáltico de la mezcla en caliente.

El mantenimiento de las aeropistas en un aeropuerto internacional como es el caso de Tacna, ya que el tránsito aéreo es mayor día con día, motivo por el cual se requiere la utilización de técnicas innovadoras más modernas y eficientes, las cuales nos ayuden a mejorar en tiempo y costo la construcción y rehabilitación de las aeropistas, evitando de esta manera complicaciones y demoras en las operaciones tanto de despegue como de aterrizaje, no omitiendo la necesidad de menores costos, y tomando en cuenta que los trabajos de mantenimiento y rehabilitación son de suma importancia, ya que las aeronaves requieren de una superficie de rodamiento en perfectas condiciones para su ascenso y descenso, lo que

evita contratiempos y desgastes excesivos en el tren de aterrizaje de los vehículos aéreos.

La segunda razón existente, es el resultado de las prácticas profesionales, en la construcción del aeropuerto y en las cuales realizamos obras de rehabilitación de calles de rodajes y aeropistas del aeropuerto internacional de la ciudad de Tacna, motivo por el cual pudimos darnos cuenta la magnitud e importancia que representan estos trabajos para la seguridad de todos los usuarios, ya que en estos trabajos se utilizan las técnicas más avanzadas y los procedimientos constructivos más adecuados a las necesidades de este aeropuerto, realizando estos trabajos un equipo de personas que poseen los conocimientos y tienen la experiencia necesaria para la realización de los mismos, tanto en construcción como en supervisión y así trabajando día y noche logran obtener la calidad requerida por los trabajos de esta magnitud, y de relevancia internacional, brindando seguridad a los usuarios y eficiencia en las líneas aéreas, tanto comerciales como privadas.

Es por esto que en este trabajo se pretende dar a conocer y analizar los procedimientos para el diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente desde sus inicios hasta obtener el diseño final, observando la evolución de las diferentes soluciones que se han dado a través del desarrollo del diseño, tratando que estas opciones sean más eficientes y se puedan mejorar tanto en tiempo como en costo a los problemas ocasionados en el pavimento de las pistas por el suelo de la zona de aterrizaje.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La pista de aterrizaje en toda su longitud el pavimento asfáltico se encuentra en proceso de colapso estructural por causas asociadas a su uso, diseño y proceso constructivo llegando a afectar a la población que se traslada entre las ciudades por medio aéreo, por motivos de comodidad seguridad y funcionalidad¹, siendo estas fallas presentes en toda la vía y observadas a simple vista en la carpeta asfáltica como son piel de cocodrilo, exudación, fisuras en bloque, fisuras longitudinales, desprendimientos y peladuras, ahuellamiento y fisuras Transversales. Los pavimentos asfálticos o flexibles presentan una serie de fallas cuya prevención y/o corrección es abordada por operaciones de mejoramientos de todo el pavimento del aeropuerto que viene a ser el *“ESTUDIO DE REHABILITACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL CORONEL FAP. CARLOS CIRIANI SANTA ROSA DE TACNA”*.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

2.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿Cómo se puede mejorar el estado en que se encuentra la carpeta asfáltica del aeropuerto internacional “Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa, Provincia de Tacna, Departamento de Tacna utilizando el método de Diseño Marshall de mezcla asfáltica en caliente?.

¹ Ver página de Anexos LXVIII

3. OJETIVOS

3.1. GENERAL

Elaborar un documento en el cual se den a conocer todos aquellos aspectos importantes para el diseño de una mezcla de asfáltica en caliente, basado en el método Marshall.

3.2. ESPECÍFICOS

- A.** Hacer las pruebas de laboratorio que se requieren al material pétreo, para determinar sus características físicas y mecánicas.
- B.** Aplicar las especificaciones técnicas y normas necesarias al proceso de diseño de la mezcla asfáltica en caliente.
- C.** Diseñar la proporción adecuada de los diferentes materiales que componen la mezcla asfáltica en caliente: agregados y cemento asfáltico.
- D.** Determinar la mejor combinación de agregados que se adopte a la curva de especificación granulométrica.
- E.** Diseñar mezclas de pruebas y determinación óptima de los ensayos del laboratorio, que cumplan con el porcentaje de cemento asfáltico establecidos por la metodología Marshall.

4. JUSTIFICACIÓN

El mercado de la Ingeniería Civil, la construcción y rehabilitación de carpetas asfálticas en el Perú es una industria que presenta un gran potencial de crecimiento, dado que en los últimos años, el volumen de pasajeros transportados y en conexión en el aeropuerto de Tacna ha aumentado notablemente.

El presente estudio de investigación propone la rehabilitación de la carpeta asfáltica para diseño de mezcla en caliente, estudio con el que

se tiene el propósito de contribuir y mejorar las aplicaciones de conocimiento en los diseños de pavimentos flexibles con mezclas asfálticas en caliente. A raíz del estado actual del pavimento debido a muchos factores (tráfico, clima, daño por envejecimiento), por lo cual queremos dar a conocer en qué estado se encuentra la carpeta asfáltica del aeropuerto de Tacna, para la rehabilitación de toda la base granular y la carpeta asfáltica.

Bajo la premisa de lo mencionado, es posible identificar la necesidad e importancia de evaluar la calidad de la carpeta asfáltica, detectar las fallas en el diseño y proponer el mejoramiento del aeropuerto.

Así también, en el Departamento de Tacna, se han elaborado diversos estudios en diferentes ramas de Ingeniería, las cuales permiten contribuir con el desarrollo socio-económico de la región y consecuentemente con la nación. Es así que el presente estudio podrá ser utilizado como documento de apoyo para las diferentes empresas o Gobiernos regionales o locales, de tal manera que puedan orientar sus estudios hacia los requerimientos de diseño asfáltico de mezcla en caliente y, así, poder mejorar la calidad del servicio prestado. En ese sentido, el presente estudio podrá constituir una herramienta para el desarrollo y mejoramiento de la carpeta asfáltica del “Aeropuerto Internacional FAP Carlos Ciriani Santa Rosa” de Tacna.

5. HIPÓTESIS

5.1. HIPÓTESIS GENERAL

La condición actual del Aeropuerto Internacional Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa, se encuentra deteriorado mostrando fallas en todas las áreas, culminando su vida útil.

5.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- A.** La carpeta asfáltica del aeropuerto internacional Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa se encuentra en mal estado debido a problemas estructurales.
- B.** Realizando los estudios correspondientes y obteniendo los resultados, es posible mejorar la estructura de la carpeta asfáltica mediante diseño asfáltico de mezcla en caliente y así aumentar su resistencia al tráfico aéreo y al intemperismo.
- C.** Los resultados de los ensayos brindarán la información necesaria para elaborar un buen diseño de la carpeta asfáltica. La rehabilitación mejorará la condición del pavimento de la vía, otorgando un buen nivel de servicio.

6. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

6.1. VARIABLE DEPENDIENTE

La Carpeta Asfáltica del Aeropuerto Internacional Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa

6.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

- A.** Estado situacional de la Carpeta Asfáltica
- B.** Deterioro físico de la Carpeta Asfáltica.

7. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el proyecto de investigación es de carácter cuantitativo, por ser un estudio experimental de cada caso y aspectos a evaluar de la carpeta asfáltica a diseñar para el aeropuerto de Tacna y la granulometría del agregado en la carpeta asfáltica.

El método de trabajo corresponde básicamente la ejecución del diseño de mezcla en caliente para la carpeta asfáltica que constituye en el sector del Aeropuerto de Tacna.

En la recolección de muestras y su respectivo análisis ya en laboratorio. El trabajo está constituido principalmente por 3 etapas:

7.1. ETAPA DE CAMPO.

Se procedió a la toma de muestras de los materiales de los agregados para ser analizadas en laboratorio y determinar sus propiedades mecánicas para el diseño de la carpeta asfáltica.

7.2. ETAPA DE LABORATORIO.

7.2.1. GRANULOMETRÍA DE LA PIEDRA CHANCADA DE ½":

A. Aparatos: Tamiz números ½", 3/8", 4, 8 y 10.

B. Procedimiento: Se tamiza el material integral de media con todos estos tamices para poder obtener datos de cómo es la granulometría de nuestro material. Se procede a realizar 5 veces este ensayo y para luego hacer un promedio y obtener un valor único referencial.

7.2.2. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA ZARANDEADA ¼"

A. Aparatos: Tamiz números 10, 40, 80 y 200.

B. Procedimiento: El procedimiento es el mismo con el material grueso; este ensayo nos permite darnos cuenta cuanto porcentaje de material pasa por cada tamiz y para así poder ajustarlo a una granulometría principal.

7.2.3. GRANULOMETRÍA DEL FILLER O CEMENTO

A. Aparatos: Tamiz números 100 y 200.

B. Procedimiento: Muestra si va cumplir su función dentro del diseño.

7.2.4. PESOS UNITARIOS DE LOS AGREGADOS

A. Aparatos: Balanza electrónica, cucharas, recipientes, agua, plancha de vidrio, varilla de acero y cocina.

B. Procedimiento: Se pesa el recipiente más la muestra, luego se pesa el recipiente solo para obtener el peso de la muestra; para luego ser dividido por volumen del recipiente. Obteniendo el peso unitario suelto del material. Este ensayo se elabora 3 veces y se obtiene un promedio.

Para el peso unitario compactado es el peso del recipiente más muestra pero en tres capas compactadas a 25 golpes, luego se pesa el molde solo para obtener el peso de la muestra. Se divide el peso del material entre el volumen del recipiente; para obtener el peso unitario compactado este ensayo se hace 3 veces y luego se saca un promedio.

Este ensayo se hace tanto para la piedra, la arena, el cemento y para luego hacer el último ensayo con todo el material integral (piedra, arena y cemento).

7.2.5. LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LOS FINOS

A. Aparatos: Balanza, plato, espátula, Copa de Casagrande, recipiente, ranurador y probeta.

B. Procedimiento

Se coloca la muestra en el tamiz número 40 para tamizar.
Se pesan las 3 taras con muestra en la cual era de 75gr.

Se colocan 5ml de agua (para el tercer ensayo) el cual se mezcla con una espátula.

Las muestras ya mezcladas con agua se colocan en la copa de casa grande, la cual se compacta hasta que tome un aspecto plano-liso.

Las muestras se ranuran con un ranurador para luego darles los respectivos golpes con Casagrande.

Se realizan los golpes para el primer ensayo, siendo un total de 15, 24, 33, luego de realizar sus respectivos golpes observamos su plasticidad.

Por último se toma una pequeña muestra de cada ensayo, se pesa cada uno de ellos con su tara respectivamente para después meterla al horno. El primer ensayo tuvo un peso de 63.00g, el segundo 61.74g, y el último 64.16g.

Este ensayo para la malla número 40 es NP y para los siguientes ensayos de la malla 200 y el cemento si tienen plasticidad.

7.2.6. GRAVEDAD ESPECIFICA-ABSORCIÓN DE AGREGADOS

A. APARATOS: Horno, probetas, cocina, recipiente, cucharos y agua.

B. PROCEDIMIENTO

Agregado fino

- **Primer día:** se selecciona el material fino, introducimos en el horno el material por 24 horas.
- **Segundo día:** sumergimos la muestra después de enfriada 3 a 4 horas en agua por 24 horas.
- **Tercer día:** secamos el material, pesamos el picnómetro más 500ml de agua en la balanza, se golpea 25 en el cono y luego se retira el cono para ver el desmoronamiento, se pesa muestra más picnómetro, luego se retira la muestra y se coloca al horno por 24 horas.

Agregado grueso

- **Primer día:** Se selecciona 1000g de material grueso e introducimos la muestra al horno por 24 horas.
- **Segundo día:** Se deja enfriar por 3 a 4 horas la muestra extraída del horno para luego ser sumergida en agua.
- **Tercer día:** Se deja secar el agregado grueso, luego de esto se pesa la probeta adicionando 1000ml de agua y extraemos el agregado para luego introducirlo en el horno por 24 horas.
- **Cuarto día:** Se retira la muestra del horno y se pesa.

7.2.7. EQUIVALENTE DE ARENA

A. Aparatos: cilindro graduado transparente, tapón de goma, tamiz número 4, embudo agitador mecánico, papel filtro y horno.

B. Procedimiento: Se agrega solución de ensayo hasta de 100ml, seguido a esto se agrega 85cm³ de muestra a ensayar. Se deja en reposo por 10 minutos y se agita la solución aproximadamente 90 veces en 30 ciclos horizontales.

Se termina de llenar hasta la marca superior de la probeta, y se dejar reposando por 20 minutos, luego se toma las lecturas de las cantidades de finos y cantidad de arena presente.

7.2.8. ABRASIÓN LOS ÁNGELES

A. Aparatos: Maquina los ángeles.

B. Procedimiento: Se pesa 5kg de material grueso luego se coloca el material grueso de la maquina los ángeles, seguido a esto se colocan 12 esferas de acero.

La máquina debe de dar 500 vueltas. Luego se vuelve a tamizar los agregados.

7.2.9. VERIFICACIÓN DE PORCENTAJE ÓPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO

A. Aparatos: Marshall, baño maría, rice, pedestal, prensa, briquetas, pisón, balanza, cocina.

B. Procedimiento: Una vez obtenidos los ensayos previos se comienza a determinar las proporciones de agregados; esto se logra viendo los porcentajes promedios del todos los

agregados se va conjugando con las proporciones hasta lograr entre a la curva granulométrica. Obtenida la granulometría final se empieza a trabajar con el porcentaje de cemento asfáltico.

- **Primero:** Se toman varios porcentajes hipotéticos de cemento asfáltico.
- **Segundo:** Se sabe que el peso del molde es de 1250g se saca los porcentajes de cemento asfálticos de todas las hipótesis que son 4.5%, 5.0%,5.5%, 6.0%, 6.5%; y para luego sacar mediante cálculos los porcentajes pero en gramos de todas las hipótesis.
- **Tercero:** Se realiza una resta entre 1250g un peso establecido y el peso del porcentaje de cemento asfáltico en gramos que en este caso hemos tomado el 4,5% que sale 56.3g. este dato obtenido nos sirve para designar ya el porcentaje de los agregados y su adherente.
- **Cuarto:** Se realiza la comprobación sumando todos los datos del porcentaje el cual me tiene que dar 1250 g.
- **Quinto:** En un recipiente se coloca las proporciones con una balanza.
- **Sexto:** Se comienza a realizar la mezcla a una temperatura de 140 grados centígrados y luego se hace colocación de la muestra en el molde esto se compacta dándole 15 golpes sucesivamente y estos se hace tres muestras por cada porcentaje estimado.

Estando las probetas ya completas podemos hallar el peso unitario de la mezcla de asfalto compactado.

Las probetas deben estar calentadas a 60 grados para baño maría.

Una vez de hacer todos estos ensayos previos se va a realizar el ensayo Marshall donde nos va proporcionar los datos de estabilidad de flujo y vacíos. Todos estos datos de las muestras se trasladan a la hoja de Excel con todos porcentajes estimados, donde se calcula mediante una relación de cemento asfáltico y peso unitario, teniendo así el punto óptimo de porcentaje de cemento asfáltico.

Este ensayo vuelve a repetir pero con la tolerancia de +/- 3 para poder ver si está dentro de los parámetros que nos exige la norma.

7.3. ETAPA DE GABINETE.

Los trabajos de gabinete, constituyen la conciliación de las labores de campo y laboratorio, con el fin de establecer el procesamiento adecuado diseño de la carpeta asfáltica en la zona de su desarrollo.

Con los datos obtenidos en el laboratorio de Mecánica de Suelo y Pavimentos se procedió el análisis granulométrico por tamizado de cada muestra, utilizando tablas en hojas de cálculo, cuyo procesamiento es el siguiente:

- Ingresar los datos generales de ejecución de los ensayos, lugar y fecha, ejecutor y obra.
- Aplicación de las fórmulas para el cálculo de porcentaje retenido acumulado porcentaje que pasa total.

- Aplicación de fórmulas para determinar la curva granulométrica según las mallas U.S Standard, teniendo en cuenta el porcentaje que pasa en peso para las ordenadas y el tamaño del grano en mm, para las abscisas.
- Se ingresan los pesos retenidos en la malla correspondiente, el peso de la muestra seca, peso de la muestra después del secado.
- Finalmente se obtiene el reporte de análisis granulométrico por tamizado y la curva granulométrica.

8. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

8.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

- A. Departamento : Tacna
- B. Provincia : Tacna
- C. Distrito : Santa Rosa
- D. Ubicación : 5 km al SE de la ciudad
- E. Coordenadas : Longitud 70° 16' 32.96" W y Latitud 18° 03' 11.83" S
- F. Elevación : 469 m.s.n.m. (1,538 pies).

Figura N°1



Fuente: Google Earth

Figura N°2



Fuente: Google Earth

8.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL AEROPUERTO

Las principales características del Aeropuerto de Tacna se muestran a continuación:

8.2.1. PISTA DE ATERRIZAJE Y/O DESPEGUE

- Dimensiones : 2500 m. de largo por 45 m. de ancho.

- Márgenes Laterales : 7.50 m. de ancho a cada lado de la pista.
- Franja de Pista : 2620 m. de largo por 150 m. de ancho.
- Sentido de Aterrizaje : Ambos umbrales.
- Sentido de despegue : Un solo umbral.
- Superficie de Rodadura : Carpeta asfáltica en caliente.
- Pendiente Longitudinal Efectiva : 1.99%
- Pendiente Transversal : 1%
(promedio) de izquierda a derecha.
- Resistencia de los pavimentos : PCN
39/F/A/X/T

8.2.2. CALLES DE RODAJE

- Diagonal N° 01 y paralela - "Alfa": Que conecta el umbral de pista 02 con la plataforma de estacionamiento de aeronaves comerciales, de 1006 m de largo por 23 m de ancho, con una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica en caliente.
- Diagonal N° 02 - "Bravo": Ubicada a 2200 m. del umbral de pista 20, de 116 m. de largo por 23 m. de ancho con superficie de rodadura de asfalto en caliente.
- Perpendicular N° 01 - "Charly": Ubicada a 600 m. del umbral de pista 20, de 116 m. de largo por 23 m. de ancho con superficie de rodadura de asfalto en caliente.

- Diagonal N° 03 y paralela - "Delta": Que conecta el umbral de pista 20 con la plataforma de estacionamiento de aeronaves comerciales, de 1006 m de largo por 23 m de ancho, con una superficie de rodadura a nivel de carpeta asfáltica en caliente.

8.2.3. PLATAFORMA DE ESTACIONAMIENTO DE AERONAVES

Se ubica al lado oeste de la pista de aterrizaje de 396 m de largo por 52 m de ancho, con capacidad de atender a cuatro (04) aeronaves tipo Boeing 727, Airbus -320 y/o similares en posiciones simultáneas.

El pavimento de la plataforma de estacionamiento de aeronaves está conformada por losas de concreto de cemento portland de 0.20 m de espesor y una sub-base de 0.225 m de espesor promedio, con una resistencia de pavimentos (PCN) 39/R/A/X/T.

Actualmente el sistema de pistas del Aeropuerto de Tacna presenta altos grados de deterioro, tanto estructurales, como superficiales, por cumplimiento de la vida útil, más de 30 años de servicios, aspecto que representa un peligro potencial para las operaciones aéreas.

8.3. ANTECEDENTES

La Ciudad de Tacna se localiza en la Costa Sur de nuestro país y por su ubicación, tiene una incidencia importante en el desarrollo de las actividades productivas (Turismo, Minería, etc.), económicas (Banca, Comercio, etc.) y política de la región; asimismo, por ser un departamento fronterizo con los países de Chile y Bolivia, exige adecuados medios de transportes y comunicaciones.

Es en este contexto que en el año 1973, la Dirección General de aeronáutica Civil² (ex – Dirección General de Transporte Aéreo), culminado los trabajos de construcción y mejoras del Aeropuerto Internacional de Tacna, apertura el tráfico en el citado aeropuerto con una pista de aterrizaje y/o despegue de 2500 m. de largo por 45 m. de ancho y con una plataforma de estacionamiento de aeronaves con su respectivo sistema de calles de rodaje que permitan las operaciones de aeronaves tipo Boeing 707, DC-8 y similares.

Desde esa fecha a la actualidad, el transporte aéreo representa para la ciudad fronteriza de Tacna, uno de los principales medio de comunicación de la población, particularmente para los turistas nacionales y extranjeros, sector que caracteriza el desarrollo económico del departamento.

La Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) dentro de su control y seguimiento de la infraestructura aeroportuaria nacional, efectuó en el año 1994, a través de una firma consultora, la evaluación de los pavimentos del aeropuerto de Tacna donde se concluye y recomienda, entre otros, que:

- El valor del PCN³ en la pista es vecino del publicado. La parte central de la cabecera 20 se encuentra en estado de deterioro avanzado.
- El valor del PCN de la calle de rodaje es considerablemente inferior al publicado.
- El valor del PCN de la plataforma es también inferior al publicado.

² Resolución Directoral Nº 0105-73 TC/IAE

³ Número de Clasificación de pavimento (en inglés: Pavement Classification Number)

- Limitar la operación en la pista y en la plataforma para respetar los valores del PCN obtenido.
- Hacer un mantenimiento permanente de la cabecera 20 y reconstruir los 15 m. centrales. Estudiar la posibilidad de desplazar el umbral de 250 m. modificando el LDA y el TORA.
- Prever el reforzamiento de la calle de rodaje para 1997.
- Realizar el reforzamiento de la plataforma.

Por otro lado, de la inspección técnica realizada en marzo del 2001 por el Personal Técnico de la DGAC señala:

- Que a lo largo de toda la pista de aterrizaje se presentan grietas longitudinales de construcción (fajas) con una abertura promedio de 3mm., siendo necesario el tratamiento de dichas grietas y sellado asfáltico respectivo de los pavimentos en general.
- En las zonas de seguridad del aeropuerto se observó la presencia de materiales sueltos, principalmente en la cabecera 20, donde existen piedras sueltas con diámetros mayores a 2", lo cual significa un peligro para las operaciones aéreas.

Para este caso se recomienda que dichas zonas sean pavimentadas. Asimismo en la zona de toma de contacto de la pista de aterrizaje se apreció la acumulación de caucho que amerita su remoción y/o limpieza.

Asimismo, CORPAC S.A. durante el año 2002 elaboró el estudio de pre-inversión a nivel de perfil "Mejoramiento de las obras de

Infraestructura para la Certificación de Aeropuertos”⁴ con la finalidad que mediante la ejecución de trabajos menores en doce (12) aeropuertos del país, dentro de los cuales se encuentra el aeropuerto de Tacna, se cumplan con los requerimientos mínimos de las normas y estándares internacionales de la OACI exigidos a los aeropuertos certificados; cabe indicar, que el mencionado proyecto fue declarado viable con un monto de S/. 3’542,360, es decir con un monto aproximado de S/. 295,197 por aeropuerto, los mismos que fueron postergados por razones presupuestales.

La DGAC del MTC ante la situación del deterioro de los pavimentos del sistema de pistas y con la finalidad de garantizar las operaciones aéreas, reduciendo los riesgos de accidentes en el Aeropuerto Internacional “Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa” de la ciudad de Tacna, y contándose con la aprobación del perfil del proyecto en el año 2005 continuo con el ciclo de vida del SNIP con la formulación del estudio de pre-inversión a nivel de Factibilidad, el cual a su vez fue postergado por razones presupuestales y ante la inminente entrega en concesión de este aeropuerto.

El Estudio de Factibilidad formulado por la DGAC en el año 2007, planteaba la rehabilitación de los pavimentos de la pista de aterrizaje, calles de rodaje y de la plataforma de estacionamiento con un refuerzo a nivel de carpeta asfáltica, aspecto que al no haberse intervenido oportunamente esta propuesta ha quedado desfasada en el tiempo, tal como se demostrara en el desarrollo de la presente Tesis.

Como resultado del proceso de promoción de la inversión privada del Segundo Grupo de Aeropuertos de Provincia de la República de Perú, el Comité Especial de la Agencia de Promoción de la Inversión

⁴ Según Código SNIP 3896

Privada – PROINVERSION, el 07 de Octubre del 2010 adjudicó la Buena Pro al Postor Consorcio Aeropuertos Andinos del Perú – AAP, integrado por las empresas Andino Investment Holding SAC del Perú y Corporación América SA de Argentina.

El 05 de Enero del 2011, Aeropuertos Andinos del Perú tomó posesión de los Aeropuertos de Arequipa, Ayacucho, Juliaca, Puerto Maldonado y Tacna, encontrándose pendiente por parte del Estado Peruano, la entrega del Aeropuerto de Andahuaylas.

El Contrato de Concesión suscrito con el Estado Peruano, establece Inversiones Obligatorias que el Concesionario Aeropuertos Andinos del Perú deberá efectuar dentro de los tres primeros años de la concesión (Periodo Inicial).

Las Inversiones Obligatorias para el Periodo Inicial se encuentran definidas en el Proyecto Referencial (Estudio de Factibilidad) declarado viable por la OPI Transportes y sobre las cuales el Concesionario efectuó su Propuesta Económica a través del Pago por Obras Obligatorias – PPO.

Para el caso del Aeropuerto del Tacna se cuenta con el Estudio de Factibilidad denominado “Mejoramiento del Aeropuerto Internacional Coronel FAP Carlos Ciriani Santa Rosa de Tacna”, el cual para efectos del Contrato de Concesión se denomina como “Proyecto Referencial”, en el cual se establecen las Inversiones Obligatorias previstas, tanto para la Parte Aeronáutica, como para la Parte Pública y así como en los elementos de apoyo.

8.4. ESTUDIO DEL PAVIMENTO

El objetivo principal es establecer las condiciones o estado actual de los pavimentos flexible y rígido, para obtener los parámetros que permitirán establecer la política para su rehabilitación. A

continuación se detallan los trabajos efectuados, así como los resultados obtenidos.

8.4.1. EVALUACIÓN FUNCIONAL DEL PAVIMENTO

El objetivo principal es establecer las condiciones o estado actual de los pavimentos flexible y rígido, para obtener los parámetros que permitirán establecer la política para su rehabilitación. A continuación se detallan los trabajos efectuados, así como los resultados obtenidos

8.4.1.1. ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO PCI - RELEVAMIENTO DE FALLAS

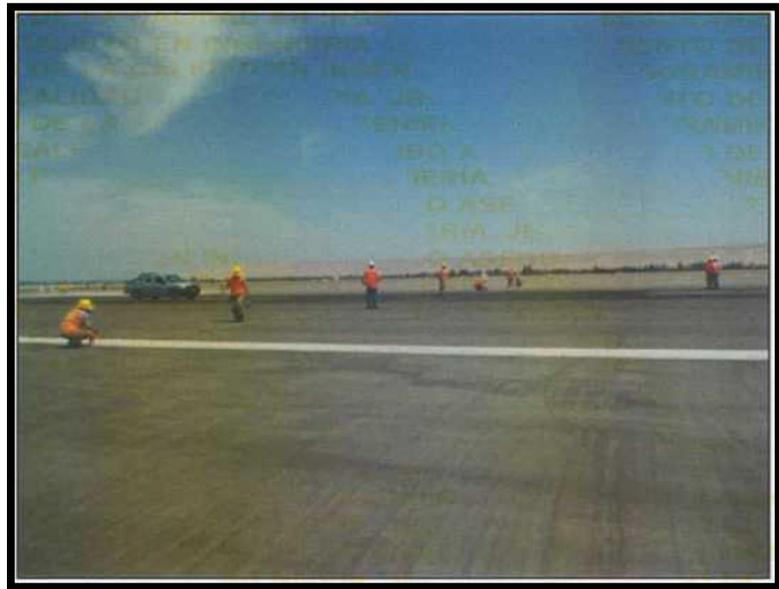
La evaluación de la superficie de rodadura de un pavimento permite establecer “a priori” la situación en que se encuentran los diversos sectores evaluados, así como también inferir conceptos iniciales del trabajo a realizar, los que son corroborados y/o corregidos con la evaluación estructural.

Para tal efecto, las fallas encontradas en la superficie del pavimento se han evaluado de acuerdo al método del Airport Pavement Condition Index Surveys (PCI) expuesto en la norma ASTM D 5340, y que fuera desarrollada por la US Army Corps of Engineers.

El PCI es un indicador numérico que clasifica la condición de la superficie del pavimento, proporcionando una medida de la condición actual del pavimento sobre la base de la dificultad observada en su superficie, que indica también la integridad estructural y estado de la superficie operativa (rugosidad localizada y seguridad).

La evaluación involucró la superficie de rodadura de la pista de aterrizaje, la calle de rodaje y la plataforma de estacionamiento de aeronaves del Aeropuerto. Con tal fin, se efectuó la demarcación de las áreas de muestreo de la siguiente manera:

FIGURA N°3



Pista de aterrizaje. Tiene una longitud de 2500m cuyos pavimentos son flexibles y rígidos.

La pista comprendida entre el km 0+000 hasta el km 2+250 que tiene carpeta asfáltica, fue subdividida en áreas de muestreo, cuyas dimensiones son:

Ancho: 7,5m Largo: 50,0m

Desde el km 2+250 hasta el km 2+500 (Cabecera 20) el pavimento es rígido, y ha sido evaluado en forma individual, en cada losa de concreto. Las losas de concreto tienen las siguientes dimensiones: 5 m x 5 m. Las áreas

muestrales evaluadas corresponden a 2 filas de losas ubicadas en los ejes Xs, es decir: 1X,2X ; 3X,4X ; ...; 49X,50X.

Calle de rodaje. La calle de rodaje tiene una longitud de 2500m aproximadamente. Para su evaluación el pavimento se subdividió en áreas de muestreo (ver figura N° 05) cuyas dimensiones son:

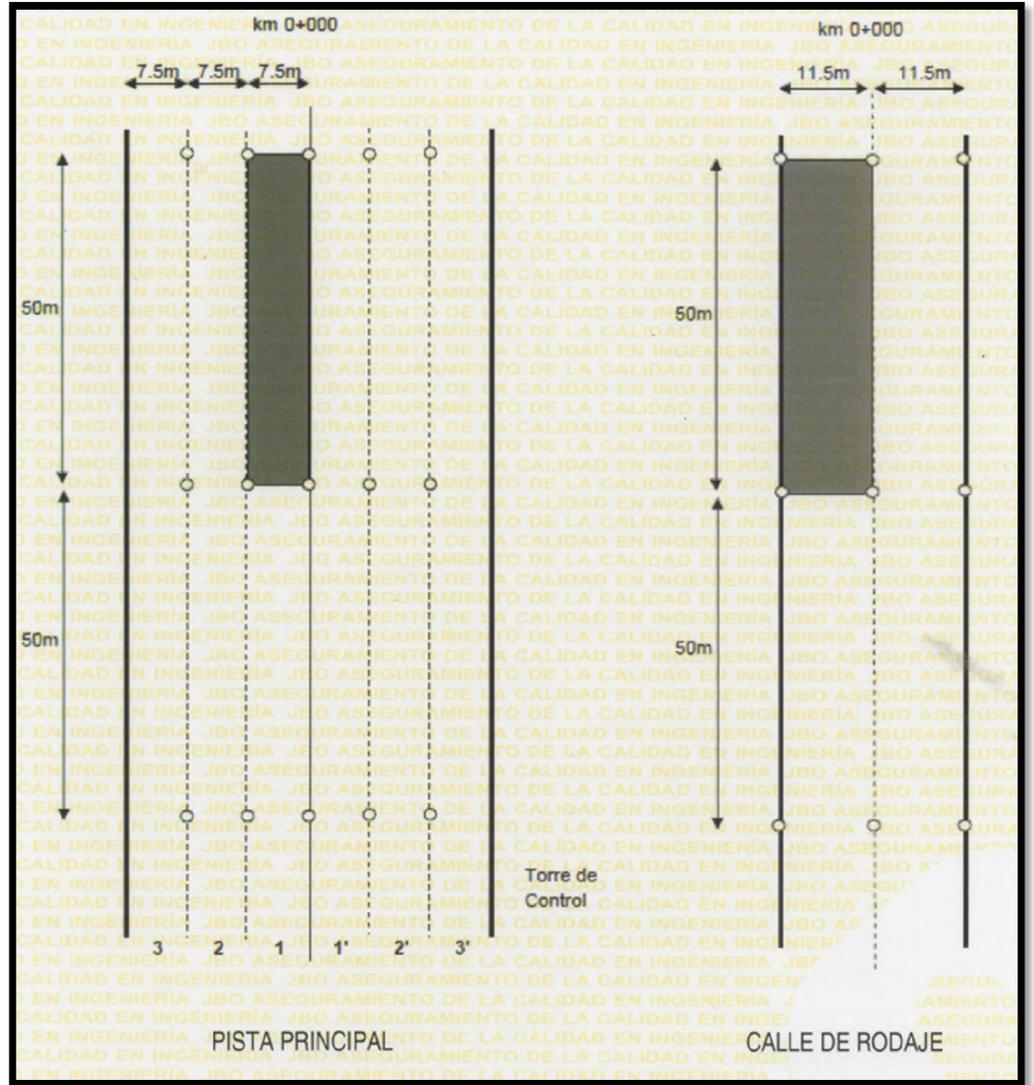
Ancho: 11,5 m

Largo: 50,0 m

En este caso la evaluación se efectuó en cada losa. Las losas, al igual que las existentes en la pista principal, tienen las siguientes dimensiones: 5 m x 5 m.

Para la plataforma de estacionamiento de aeronaves, de igual manera se tomaron como muestras a evaluar, 2 filas de losas comprendidas en los ejes Xs (1X,2X; 3X,4X; 5X,6X...; 79X,80X).

FIGURA N°6
PAVIMENTO FLEXIBLE



Elaboración: JBO Consultores

PCI en pavimento flexible (carpeta asfáltica)

Luego de la demarcación de la pista, se efectuó la medición de los tipos de fallas según en procedimiento PCI, es decir, la identificación, cuantificación y nivel de severidad de:

1. Fisuras piel de cocodrilo
2. Exudación
3. Fisuras en bloque
4. Corrugaciones
5. Depresiones
6. Erosión por turbina
7. Fisuras reflejo de juntas desde un pavimento rígido
8. Fisuras longitudinales y transversales
9. Derrame de aceite
10. Parches
11. Pulimiento de agregados
12. Perdida de agregados
13. Ahuellamiento
14. Empuje de losas de concreto
15. Fisuras por deslizamiento
16. Hinchamiento

La totalidad de las fallas por tipo y nivel de severidad, son divididos entre el área o longitud afectados, para luego ser multiplicados por 100, lo cual corresponde a la densidad de

la falla o el porcentaje del área dañada. Se determina el valor de deducción (Deduct Value o DV) por cada combinación de tipo de falla y severidad, de acuerdo a las curvas correspondientes del procedimiento. El siguiente paso es calcular m:

$$m = 1 + (9/95)(100 - HDV) < 10$$

Donde:

m = Número permitido a deducir (será menor o igual a 10)

HDV = Valor individual mas alto de DV

El valor de deducción total se obtiene sumando los valores deducidos (DV) individuales, que superan el valor de 5; luego se determina el valor de ajuste "q" de las tablas del método. A continuación se establece el CDV, para definir finalmente el PCI con la siguiente expresión:

$$PCI = 100 - CDV \text{ max}$$

PCI en pavimento rígido (losas de concreto)

Las fallas a ubicarse en la pista con pavimento rígido, según el método PCI son:

1. Estallidos
2. Pn+nro rio nomina
3. Fisuras longitudinales, transversales y diagonales
4. Fisura de durabilidad
5. Daño en sello de juntas
6. Bacheos

7. Bacheos, corte para instalaciones
8. Pérdidas repentinas
9. Bombeo
10. Desprendimientos, fisuras erráticas, mapa de fisuras
11. Asentamiento
12. Losa fragmentada
13. Fisuras por retracción
14. Desprendimiento en junta
15. Desprendimiento en esquina

En este caso, por cada combinación de tipo de fallas y niveles de severidad, se adiciona el número total de losas donde se encuentran presentes estas fallas. El resultado se divide entre el número de losas y se multiplica por 100. Después de realizado esto, el cálculo para determinar el PCI se efectúa de igual manera que para el pavimento flexible.

Significado del PCI

El PCI es número indicador de la condición superficial del pavimento, el cual se califica como se muestra a continuación:

PCI	RATING
100	Excelente
85	Muy bueno
70	Bueno
55	Regular
40	Pobre
25	Muy pobre
10	

Elaboración: JBO Consultores

Descripción del estado de los pavimentos

Las fallas con mayor frecuencia y severidad en la pista principal corresponden a las fisuras en bloque y transversales. Las franjas (de estudio) 1 y 1' son las más afectadas, como se puede apreciar en la siguiente vista fotográfica. Estas franjas corresponden a las áreas más usadas por los aviones durante el aterrizaje y de colaje.

Figura N°7



Franja 1, entre km 0+000 y 0+125

La versión más severa de estas fallas en las franjas 1 y 1\ son las fisuras tipo piel de cocodrilo (las de mayor severidad). En las franjas 2 y 3, así como en las franjas 2' y 3', también se tienen grietas, sin embargo éstas llegan hasta formar solo bloques.

Figura N°8

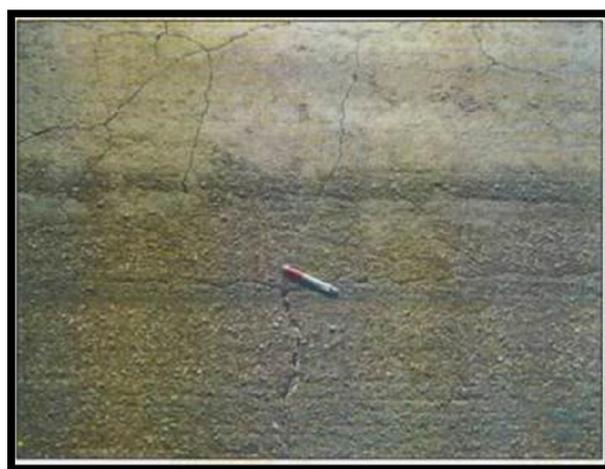


Figura N°9



Como se aprecia en las vistas fotográficas, se tiene fisuras y grietas longitudinales que se han originado en las juntas de construcción de las carpetas asfálticas. La severidad es alta. Las fisuras longitudinales ya empiezan a ramificarse para formar fisuras en bloque.

Figura N°10

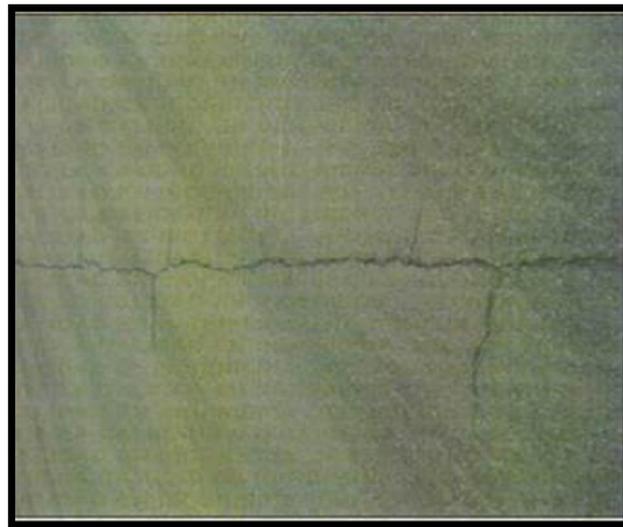
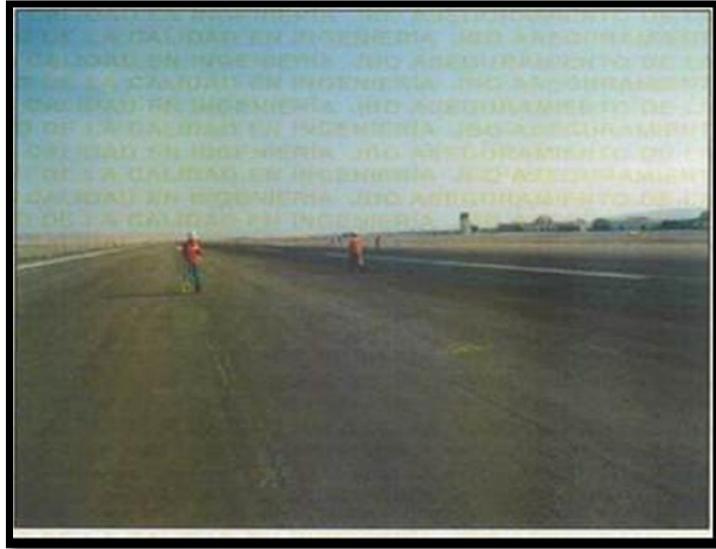


Figura N°11

Se han efectuado muestreos de carpeta asfáltica con perforadora diamantina, verificándose que muchas fisuras y grietas han atravesado toda la carpeta asfáltica, llegando hasta la capa de la actual base granular. En las siguientes vistas fotográficas se aprecia la alta severidad de estas fallas en las estructuras de la carpeta asfáltica.

Figura N°12

Perforación diamantina D-1, km 0+125

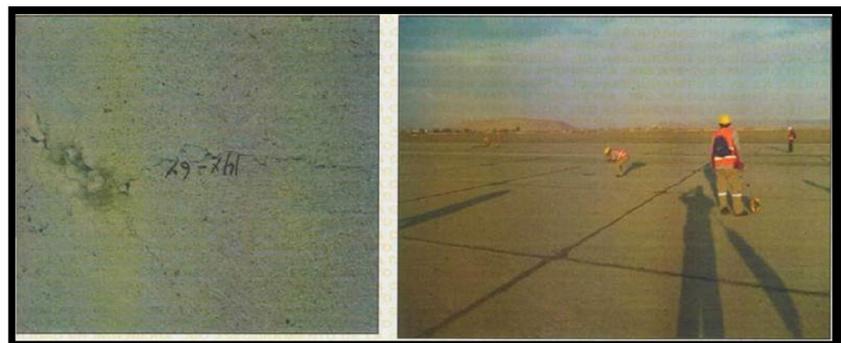
Tanto la superficie de la pista principal (salvo el pavimento rígido de las cabeceras), así como la pista de rodadura, en su integridad han sido selladas; sin embargo, éstas se encuentran desgastadas, ya que se aprecia el desprendimiento de los agregados, especialmente en las franjas 1 y 1'. De la misma manera las fisuras se han reflejado sobre los tratamientos

Figura N°13



Figura N°14

Los pavimentos rígidos, han sido evaluados en su integridad. Hay varios paños con grietas y diversas fallas que obligan a su retiro y reemplazo. El material sellante de las juntas de construcción en muchos casos se ha perdido. El acabado de las superficies de las losas es malo, encontrándose desniveles por este motivo.

Figura N°15

Análisis de los resultados

A continuación se resume el nivel de estado del pavimento flexible, expresado en PCI:

Tabla N°1 Pista Principal – Pavimento Flexible

CALIFICACIÓN DEL ESTADO	PCI					
	Franja 3	Franja 2	Franja 1	Franja 1'	Franja 2'	Franja 3'
Excelente	0	0	0	0	0	0
Muy bueno	4	7	0	0	2	38
Bueno	31	20	4	0	31	47
Regular	56	24	27	22	60	13
Pobre	7	36	51	64	7	2
Muy pobre	2	13	18	13	0	0
Fallado	0	0	0	0	0	0

Elaboración: JBO Consultores

Como se observa la mayor cantidad de áreas evaluadas que presentan el calificativo de “pobre” y “muy pobre” se encuentran en las franjas 1 y 1' (centrales), encontrándose el área mas dañada entre las progresivas km 0+250 al km 1+900.

Continúa en nivel de severidad la franja 2, con el calificativo de “pobre” y “regular”, También en esta franja se encuentra sectores que califican como “bueno”.

En general el estado de la pista principal se puede resumir en el siguiente cuadro.

**TABLA N°2 PISTA PRINCIPAL – PAVIMENTO
FLEXIBLE**

CALIFICACION DEL ESTADO	PCI
Excelente	0
Muy bueno	9
Bueno	22
Regular	34
Pobre	28
Muy pobre	7
Fallado	0

La mayor concentración de áreas se encuentra en estado “regular”, sin embargo un 35% se encuentra entre “pobre” y “muy pobre”.

8.4.1.2. MICRO-TEXTURA Y MACRO-TEXTURA DE LA SUPERFICIE DE RODADURA

8.4.1.2.1. EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

PÉNDULO BRITÁNICO TRRL

El Péndulo Británico es un equipo para caracterizar la propiedad antideslizante de la superficie de rodadura, determinando la microtextura indirectamente a través del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.), que manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valora las características antideslizantes de la superficie del pavimento.

El equipo empleado es un Skid Tester (Pendulum Tester), serie SK 1134 de fabricación inglesa.

Se empleó también termómetros de mercurio graduados para la medición de la temperatura del pavimento.

Procedimiento de ensayo

Se efectúa la nivelación del equipo, girando los tornillos niveladores.

Es necesario que el equipo se ajuste a cero antes de iniciar cualquier medición.

El ensayo consiste en medir la pérdida de energía del péndulo provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. La superficie del pavimento debe estar humedecida.

Los ensayos se efectuaron cada 100m sobre la superficie de rodadura del pavimento.

Se efectuaron medidas de temperatura ambiental y de la superficie del pavimento, también cada 100m, durante la ejecución del ensayo de resistencia al deslizamiento.

Evaluación del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD)

El Coeficiente de Fricción Característica (CRD_c) es el valor representativo del tramo en estudio. En este estudio se considera que un 10% de los CRD se encuentran por encima del valor de CRD Característico, por lo que se utilizará la siguiente expresión:

$$CRD_c = CRD_{MEDU} + 1.3 \cdot a$$

Donde:

CRD_c = Coeficiente de fricción característico.

CRD_{MEDIA} = Promedio de los CRD. a = Desviación estándar.

A continuación se muestra un cuadro con el resumen estadístico de los valores medidos:

Tabla N°3 – PISTA PRINCIPAL

PARAMETROS ESTADISTICOS	COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO					
	FRANJA 3	FRANJA 2	FRANJA 1	FRANJA 1'	FRANJA 2'	FRANJA 3'
CRD Característico	0.73	0.79	0.76	0.75	0.75	0.72
Promedio	0.65	0.69	0.67	0.67	0.69	0.67
Desv. Estándar	0.06	0.07	0.07	0.06	0.04	0.04
Máxima	0.78	0.81	0.83	0.82	0.80	0.74
Mínima	0.54	0.54	0.53	0.54	0.63	0.56

Fuente: JBO Consultores

En general se puede calificar la resistencia al deslizamiento de la superficie de rodadura, tanto de la pista principal como de la pista de rodaje, entre “regular” y “bueno”. En estos resultados se debe tener presente la influencia de los sellos asfálticos existentes sobre las calzadas

8.4.1.2.2. MEDICIÓN DE LA TEXTURA POR MEDIO DE LA PRUEBA DEL CIRCULO DE ARENA

El método del círculo de arena, es un procedimiento bastante sencillo, el cual permite determinar el espesor de la macrotextura. Este ensayo se efectúa sobre una superficie totalmente seca.

Recipiente cilíndrico metálico con volumen interno definido, con al menos 25 mm³, el cual se emplea para medir el volumen de la arena.

Herramienta de dispersión, consistente en un disco plano de 1 pulg de espesor y 3 pulg de diámetro, para dispersar la arena. La parte inferior del disco está cubierta de un hule duro.

Arena graduada que tenga un mínimo de 90% que pase la malla N° 60, y se retenga en la malla N° 80.

Procedimiento

Se debe limpiar la superficie de la zona a evaluar. Esta debe estar totalmente seca.

El procedimiento involucra la dispersión de un volumen conocido de arena sobre la superficie. La medición del área cubierta permite medir el espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. El espesor de la macrotextura se calcula empleando la siguiente expresión:

$$H = \frac{4V}{\pi d^2}$$

Donde:

H= Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm)

V= Volumen de la muestra (mm³)

d= Diámetro promedio del área cubierta por el material (mm)

Evaluación de la macrotextura

A continuación se presenta el resumen estadístico de los valores medidos:

Tabla N°4

PISTA PRINCIPAL

PARAMETROS ESTADISTICOS	MACROT EXTURA (cm)					
	FRANJA 3	FRANJA 2	FRANJA 1	FRANJA 1'	FRANJA 2'	FRANJA 3'
Promedio	0.06	0.11	0.09	0.10	0.10	0.05
Desviación Estándar	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01
Máxima	0.09	0.17	0.16	0.15	0.14	0.07
Mínima	0.04	0.08	0.04	0.04	0.05	0.04

8.4.2. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

8.4.2.1. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA

Para establecer el estado de condición estructural del pavimento, en este capítulo se estudia el comportamiento del sistema pavimento-subrasante ante la aplicación de una carga, para lo cual se evalúa las deflexiones provocadas; así también se efectuaron prospecciones de estudio y la toma de densidades de campo en el actual pavimento.

La evaluación estructural se efectuó en el pavimento de la Pista de Aterrizaje y Calle de Rodaje, con la finalidad de estudiar el comportamiento del pavimento midiendo directamente la respuesta de la estructura del sistema pavimento - subrasante, ante la aplicación de una carga estática, para lo cual se desarrolló uno de los procedimientos considerados por la FAA en el Advisory Circular N° 150/5370-11 A.

Para la ubicación de los puntos a evaluar se tomó como referencia las áreas definidas en el estudio de relevamiento de fallas; es decir que se ubicaron de la siguiente manera:

Pavimento flexible. Se tomó como ejes de evaluación la parte central de cada franja ya definida. La frecuencia de las mediciones fue la siguiente: para la pista principal es 50m, y para la pista de rodaje es 100m.

Pavimento rígido. De la misma manera, se ubicaron los puntos de evaluación para el pavimento rígido. A diferencia de la evaluación del pavimento flexible, en este caso las mediciones se direccionan a establecer la eficiencia de las losas en las juntas de construcción; para lo cual se efectuó la medición de la deflexión al final de una losa y consecutivamente al inicio de la losa adyacente, como se observa en la Figura.

Viga Benkelman

La Viga Benkelman empleada tiene dos palancas (brazos) que cuenta con una parte fija y la otra móvil; la relación entre la parte fija y la móvil, en este caso es de 1:4. El brazo de apoyo está soportado por dos patas delanteras y una trasera regulable, mientras que el brazo de mayor longitud (móvil) tiene en uno de los extremos la punta de prueba diseñada para situarse entre las llantas de la rueda dual y hacia el otro extremo tiene situado un palpador para el contacto con el extensómetro (dial) que se encuentra fijado a la parte del brazo de apoyo y que registra los desplazamientos de la parte móvil de la viga. Un pequeño vibrador asegura el libre movimiento del extensómetro (dial), cuando se suceden los desplazamientos entre la

posición original de la superficie aplicando la carga y después de retirada.

Para la ejecución de la prueba, se empleó una carga estática aplicada por un volquete cargado, el que cumplió los siguientes requerimientos:

La carga en el eje simple posterior del camión fue de 8,2tn.

El eje simple posterior del camión fue de ruedas duales, infladas a una presión de 5,6 kg/cm² (80 psi).

Deflexiones en el pavimento

La aplicación de una carga estática en el pavimento induce como respuesta deflexiones de carácter elástico y plástico; los primeros desaparecen con la recuperación del pavimento y la última permanece y se acumula a través de las reiteraciones (repeticiones) de carga, produciendo las distorsiones y ahuellamientos en el tiempo. Como ésta última merecería todo un seguimiento y medición periódica de las deflexiones, para este caso se tomará en el análisis sólo las deflexiones de carácter elástico.

La deflexión elástica (recuperable) depende de un conjunto de variables, tales como: espesores de las capas estructurales, rigidez de estas y de las subyacentes, historia previa de la estructura; y que corresponden a la deformación del pavimento y su apoyo, siendo en la subrasante donde ocurre la mayor parte de la misma.

Corrección de deflexiones por temperatura

Simultáneamente, en los pavimentos flexibles se efectuó la medición de las temperaturas habiéndose efectuado éstas sistemáticamente cada 50 m en cada franja.

Existen procedimientos para corregir las temperaturas y llevarlas a un estándar de 20 °C. En este análisis se ha aplicado la siguiente relación:

$$D_{20} = \frac{D_t}{10^{-3} / \text{cm} \times \exp(t - 20^\circ\text{C}) + 1}$$

Donde:

D₂₀ = Deflexión recuperable, a la temperatura estándar de 20°C.

D_t = Deflexión recuperable, medida a la temperatura T (°C) en centésimas de mm.

e = Espesor de mezclas asfálticas en cm medido en el borde del pavimento.

Parámetros deflectométricos para la evaluación del pavimento flexible:

La deflexión medida depende del sistema pavimento-subrasante, la cual se analizará empleando parámetros de Deflexión Característica (D_c) y el Radio de Curvatura (R_c).

La Deflexión Característica (D_c) es la deflexión representativa del tramo en estudio y es obtenida de un análisis estadístico que involucra el Valor Medio, la Desviación Estándar y el Grado de Confianza. Para efectos de análisis en este estudio se considera que un 10% de las Deflexiones se encuentran por encima del valor de la Deflexión Característica, por lo que se utilizará la siguiente expresión:

$$D_C = D_{MEDIA} + 1.3\sigma$$

Donde:

D_c = Deflexión característica.

D_{MEDIA} = Promedio de las deflexiones recuperables, a =
Desviación estándar.

8.4.3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Del estudio de suelos se establece:

El 95% de los materiales encontrados en las calicatas de estudio, que involucra las capas granulares del pavimento y la subrasante (suelo natural), son del tipo A-1-a(0), es decir material gravoso, no plástico; y el 5% de los materiales corresponden a arenas A-1-b(0), también no plásticas.

Los materiales de subrasante, además de las características señaladas contienen bolonerías entre 5% y 30% de su volumen. No se encontró el nivel freático.

Los valores de CBR definidos para el diseño del pavimento son:

- Pista principal 26,7%
- Pista de rodadura 38,4%
- Los cuales califican como de buen comportamiento.
- Del índice de Condición del Pavimento - PCI

La pista principal presenta el siguiente comportamiento:

Pavimento flexible: km 0+000 (Cabecera 02)- km 2+250. En general el pavimento flexible, en toda la pista presenta mayoritariamente un calificativo de “regular”, mientras que un 35% está entre “pobre” y “muy pobre”, siendo las fallas encontradas centrales 1 y 1' presentan calificativo de

condición de “pobre” y “muy pobre”, donde el sector mas afectado es el comprendido entre las progresivas km 0+250 - km 1+900. Continúa en nivel de severidad la franja 2, con el calificativo de “pobre” y “regular”. Es decir que el sector empleado por los aviones en el aterrizaje y decolaje son los que se encuentran en peores condiciones. Con las perforaciones diamantinas se ha verificado que las fisuras han traspasado la carpeta asfáltica, llegando hasta la base granular.

Pavimento rígido: km 2+250 - km 2+500 (Cabecera 20). El pavimento rígido de la pista principal fue evaluado en áreas muestrales que comprendieron las losas ubicadas en 2 ejes contiguos. El estado de la pista principal es en general entre “regular” y “bueno” (56%), y en menor proporción entre pobre y muy pobre (35%). Las fallas encontradas en mayor proporción corresponden a fisuras, rotura de bordes, pequeños desniveles entre losas, deficiencias en los acabados superficiales (construcción), falta de material ligante en las juntas de construcción.

El coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) medido con el Péndulo Británico en la pista principal y la pista de rodadura, indican que se encuentra entre “regular” y “bueno”, ambas pistas.

De la Macrotextura medida con la prueba del círculo de arena

Los valores de macrotextura obtenidos son altos, con algunos valores bajos; por la influencia del desgaste sufrido por los sellos asfálticos, especialmente en la pista principal.

De los estudios de rugosidad

Los valores IRI obtenidos en la pista principal como en la pista de rodaje superan en promedio los 3,5m/km, por encima de los estándares requeridos para aeropuertos. El desgaste irregular de los sellos asfáltico ha ocasionado desniveles en la superficie que se refleja en la alta rugosidad.

De la evaluación estructural

Las mediciones de deflexiones del pavimento flexible de la pista principal concluye que en las franjas central 1 y 2', se producen las mayores deflexiones alcanzando picos inclusive de 101×10^{-2} mm, y promedios de $67,2 \times 10^{-2}$ mm. Estas mayores deflexiones son correspondientes con las áreas mas deterioradas y definidas con el método del PCI.

El mismo caso se presenta en la pista de rodaje, donde el pico es $92,7 \times 10^{-2}$ mm, y tiene promedios entre $60,7 \times 10^{-2}$ mm y $43,5 \times 10^{-2}$ mm.

Respecto a la forma de la deflexión en los pavimentos flexibles (ante la aplicación de una carga), evaluada a través del Radio de Curvatura, se debe indicar que los valores promedios obtenidos entre 14,8m y 50,3m, indican en general que son valores muy bajos, lo cual expresa una deflexión inadecuada por falta de densificación en las capas granulares del pavimento.

Respecto a la evaluación estructural en la pista principal, medido en función a la variables encontrándose los valores medios entre 71,4% y 83,3%. Los ejes evaluados que mejores resultados dieron son: 6Y y 8Y.

En la plataforma de estacionamiento, los resultados fueron muy similares, siendo los valores medios de eficiencia de 66,9% y 78,9%. Los ejes cuyos valores medios superaron el 75% fueron 13X, 69X y 77X.

Los ensayos de densidad de campo efectuados en las capas de base granular indican que tienen entre 95% y 98% de grado de compactación.

Los materiales que conforman la capa de base granular son arenas y gravas, cuyo CBRs se encuentran entre 52% y 83%, siendo la forma de los agregados subredondeada. Estos parámetros no cumplen los requerimientos de calidad, y sería una de las razones del comportamiento del pavimento, expresados en los bajos Radios de Curvatura.

En la pista principal, el espesor de la carpeta asfáltica es de 10 cm, la base granular es de 15 a 25 cm, y en las progresivas km 0+124, km 0+375, km 0+625, km 0+875, km 1+125, km 1+375, km 1+625, y km 1+875, bajo la capa de base se encontró una carpeta asfáltica de 5 cm. Entre el km 2+250 - km 2+500 el pavimento es rígido, donde el espesor de la losa de concreto está entre 18,7cm y 21,1cm.

La pista de rodaje tiene una carpeta asfáltica de 10 cm (actualmente sellada) y la base granular tiene espesores comprendidos entre 10 cm y 25 cm.

La plataforma de estacionamiento tiene espesor variable de losa de concreto: en la parte central (la mas antigua) es de 36cm; mientras en las partes laterales se encuentra entre 16,8 cm y 21,8 cm.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

1. GENERALIDADES

El diseño de pavimentos se ve condicionado por problemas del tipo estructural y desgaste, pues estos soportan las cargas impuestas por los vehículos sobre la superficie, que a la vez se transmite en toda la estructura del pavimento y a través de las capas del suelo no alterados, sobre el que se halla soportado.

Los pavimentos cuando están apropiadamente diseñados y construidos, cada tipo proporcionará un pavimento vial satisfactorio, por lo que para el diseño de pavimento se hace necesario estudios completos de suelo y materiales, para de esta forma definir el adecuado diseño estructural del pavimento; implicando así mismo el diseño de mezclas, para finalmente determinar el espesor de una o varias capas que constituyen el pavimento y la forma de conocer la calidad de los materiales que la componen.

Así el pavimento al ser una superficie de rodadura, rígida o flexible, su rendimiento y calidad, dependerán principalmente; del terreno de fundación el mismo que debe ser tratado convenientemente.

1.1. DEFINICIONES

1.1.1. PAVIMENTO ASFALTICO

Un Pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidas entre el nivel superior de las terracerías (sub-rasante) y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la

del interperismo y otros agentes perjudiciales; así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la sub-rasante, de modo que esta no se deforme de manera perjudicial. El pavimento está compuesto de una capa de áridos envueltos y aglomerados con betún asfáltico, de espesor mínimo de 25 mm, sobre capas de sustentación como base granular, asfáltica, hormigón o pavimento de bloques⁵.

El pavimento deberá disponer de una serie de requisitos, según cuál sea el problema que deba resolver: dureza, flexibilidad, aislamiento térmico, aislamiento acústico, higiene, impermeabilidad, facilidad de limpieza, facilidad o nula conservación, etc.

Los materiales con los que suelen construirse los pavimentos pueden ser elaborados en el propio lugar donde se levanta la obra, como las soleras de hormigón, los pavimentos asfálticos o los terrazos realizados in situ; o bien materiales prefabricados como la cerámica, los conglomerados, el linóleoum, las losetas asfálticas o los pavimentos vinílicos, por ejemplo.

En todos estos materiales, la superficie que los ha de recibir, que generalmente es de hormigón, deberá prepararse de acuerdo con determinadas normas, que explicaremos en próximas Unidades Didácticas.

⁵ Universidad Nacional de San Simón. Facultad de Ciencias y Tecnología. Carreteras II. Capítulo I: Introducción. 2004

1.1.2. CARPETA ASFÁLTICA

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

- Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

1.1.3. PLANTA DE ASFALTO

Una planta de asfalto es un conjunto de equipos mecánicos electrónicos en donde los agregados son combinados, calentados, secados y mezclados con asfalto para producir una mezcla asfáltica en caliente que debe cumplir con ciertas especificaciones. Una planta de asfalto puede ser pequeña o puede ser grande. Puede ser fija (situada en un lugar permanente) o puede ser portátil (transportada de una obra a otra). En términos generales cada planta puede ser clasificada como planta de dosificación, o como planta mezcladora de tambor.

1.1.4. MEZCLA ASFÁLTICA

Es una mezcla homogénea de agregados pétreos y un ligante asfáltico, para ser empleados en la conformación de la capa de rodadura de los pavimentos flexibles, previo transporte, extensión y compactación consiguientes.

Es, en general, una combinación de asfalto y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes. Las proporciones relativas de estos minerales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el rendimiento de la misma como mezcla terminada para un determinado uso.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la

estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

1.2. CLASIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

1.2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Fabricadas con asfaltos a 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.

1.2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO

El ligante es una emulsión asfáltica (aunque en algunos lugares se usan los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.

1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

En carreteras básicamente existen dos pavimentos principales que son los más utilizados en el medio, estos son los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, así mismo existen otros tipos de pavimentos tales como los adoquines, empedrados fraguados, etc.,

sin embargo se explicarán brevemente los pavimentos principales antes mencionados y son:

1.3.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES

Se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se defleca o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o

capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En muchas ocasiones se prescinde de esa capa sub-base.

1.3.1.1. CARACTERÍSTICAS

- Resistencia Estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad
- Bajo Costo
- Requerimientos de Conservación
- Comodidad

1.3.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub-rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento

1.3.3. DIFERENCIAS ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE

Tabla N°5

Diferencias entre Pavimento Rígido y Pavimento Flexible

Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
Máximo 2 capas	Está constituida por varias capas
Losa de hormigón armado que absorbe todo el esfuerzo.	Lleva carpeta asfáltica
Mayor costo inicial	Menos costo inicial
Menores deformaciones	Mayores deformaciones
Vida útil es mayor	Vida útil es menor
Existe menor fricción en la superficie de rodadura	Existe mayor fricción en la superficie de rodadura
Menor costo de mantenimiento	Mayor costo de mantenimiento
Color gris claro	Color gris oscuro o negro
Se crea discontinuidad en la capa de rodadura, llamadas juntas	La capa de rodadura es prácticamente continua
El tiempo de ejecución es menor	El tiempo de ejecución es mayor

Fuente: Elaboración Propia

2. MARCO NORMATIVO

Según el Manual de Carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013 emitida por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se considera las siguientes especificaciones para el Diseño de Pavimentos.

2.1. MATERIALES

Los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

2.1.1. AGREGADOS MINERALES GRUESOS

Se aplica en lo que corresponde a la siguiente tabla:

TABLA N°6

REQUERIMIENTO PARA LOS AGREGADOS GRUESOS

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3.000	>3.000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones⁶

Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla.

⁶ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-01

La notación “85/50” indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

2.1.2. AGREGADOS MINERALES FINOS

Se aplica en lo que corresponde a la siguiente tabla:

TABLA N°7

REQUERIMIENTO PARA LOS AGREGADOS FINOS

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N.° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N.° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones⁷

Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla.

⁷ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-02

2.1.3. GRADACIÓN

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el constructor y aprobadas por el Supervisor de la obra.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en el acápite (a) y (b) de esta Subsección, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznablees según ensayo MTC E 212⁸. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

2.1.3.1. GRADACIÓN PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE (MAC)

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los husos granulométricos, especificados en la Tabla N°5. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515⁹ e Instituto del Asfalto.

⁸ Arcilla en terrones y partículas desmenuzables.

⁹ Gráfico de granulometrías límites para agregado

TABLA N°8
GRÁFICO DE GRANULOMETRÍAS LÍMITES PARA
AGREGADO

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80-100	100	
12,5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9,5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4,75 mm (N.° 4)	43-54	51-68	65-87
2,00 mm (N.° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N.° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N.° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N.° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁰

2.1.3.2. GRADACIÓN PARA MEZCLA SUPERPAVE

En las siguientes tablas se especifican las características que deben cumplir las mezclas de agregados para tamaño nominal máximo del agregado de 19 y 25 mm respectivamente.

La curva granulométrica del agregado debe quedar dentro de los puntos de control y principalmente fuera de la zona restrictiva. Se recomienda que la curva pase por debajo de esta zona restrictiva.

El tipo de asfalto a utilizar en estas mezclas, debe ser según clasificación superpave–SHRP, AASHTO (MP-320, MP-1); así mismo la calidad de los agregados deberá regirse a lo establecido por la metodología SHRP.

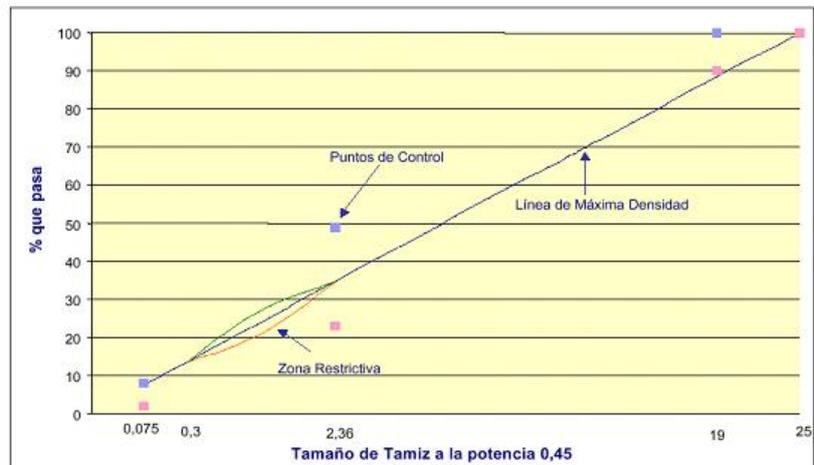
¹⁰ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-03

TABLA N°9
GRADUACIÓN SUPERPAVE PARA AGREGADO DE
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO DE 19MM

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control		Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)
				Mínimo	Máximo		
25		100,0	100,0				
19,00	100,0	90,0	88,4				
12,50			73,2				
9,50			59,6				
4,75			49,5			*	(6)
2,36	49,0	23,0	34,6	34,6	34,6	*	(6)
1,18			25,3	22,3	28,3		
0,60			18,7	16,7	20,7	*	(4)
0,30			13,7	13,7	13,7	*	(3)
0,15			10,0				
0,075	8,0	2,0	7,3			*	(2)

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹¹

Figura N°16



¹¹ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-04

TABLA N°10
GRADUACION SUPERPAVE PARA AGREGADO
MÁXIMO 25MM

Tamaño del tamiz mm	Puntos de Control		Línea de Máxima Densidad	Zona de Restricción		Formula de Mezcla	Tolerancia (**)
				Mínimo	Máximo		
37,5		100,0	100,0				
25,0	100,0	90,0	83,3				
19,00			73,6				
12,50			61,0				
9,50			53,9			*	(6)
4,75			39,5	39,5	39,5	*	(6)
2,36	45,0	19,0	28,8	26,8	30,8		
1,18			21,1	18,1	24,1	*	(4)
0,60			15,6	13,6	17,6	*	(3)
0,30			11,4	11,4	11,4		
0,15	7,0	1,0	8,3			*	(2)
0,075			6,1				

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹²

2.1.4. FILLER O POLVO MINERAL

El filler o relleno de origen mineral, que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante del asfalto o como mejorador de adherencia al par agregado-asfalto, podrá ser de preferencia cal hidratada. La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

2.1.5. CEMENTO ASFÁLTICO

El Cemento Asfáltico deberá cumplir con lo especificado en las siguientes tablas:

¹² Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-05

TABLA N°11
SELECCIÓN DEL TIPO DE CEMENTO ASFALTICO

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹³

TABLA N°12
ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO
CLASIFICADO POR PENETRACION

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁴

¹³ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 415-01

¹⁴ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 415-02

TABLA N°13
ESPECIFICACIONES DEL CEMENTO ASFALTICO
CLASIFICADO POR VISCOSIDAD

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, 9°C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ¹⁵					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁵

2.2. EQUIPO

2.2.1. EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS AGREGADOS TRITURADOS

La planta constará de una trituradora primaria y una secundaria, obligatoriamente. Una terciaria siempre y cuando se requiera. Se deberá incluir también una clasificadora y un equipo de lavado. Además deberá estar provista de los filtros necesarios para prevenir la contaminación ambiental.

2.2.2. PLANTA DE ASFALTO

La mezcla de concreto asfáltico se fabricará en plantas adecuadas de tipo continuo o discontinuo, capaces de

¹⁵ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 415-03

manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deberán cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.

Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear y deberá tener aprobación del Supervisor.

En las plantas del tipo tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella. En los demás tipos de plantas se aceptarán sistemas de dosificación de tipo volumétrico.

La planta estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla. El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.

Las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, estarán dotadas, así mismo, de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres y de tolvas de almacenamiento de las mismas, cuyas paredes serán resistentes y de altura suficiente para evitar contaminaciones. Dichas tolvas

en caliente estarán dotadas de un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; este sistema estará provisto de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que advierta cuando el nivel de la tolva baje, proporcionando el peso o volumen de material establecido y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones suministradas.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente. El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo.

En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del cemento asfáltico con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del cemento asfáltico a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del cemento asfáltico, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

En caso de que se incorporen aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos. La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación de aditivos, los cuales deberán estar protegidos contra la humedad.

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dosificación por peso cuya exactitud sea superior al 0,5%. Los dispositivos de dosificación del filler y cemento asfáltico tendrán, como mínimo, una sensibilidad de 0,5 kg. El cemento asfáltico deberá ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas ni goteos. En las instalaciones de tipo continuo, las tolvas de agregados clasificados calientes deberán estar provistas de dispositivos de salida, que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. Estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El sistema dosificador del cemento asfáltico deberá disponer de instrumentos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo. En las plantas de mezcla continua, deberá estar sincronizado con la alimentación de los agregados pétreos y el filler mineral. En las plantas continuas con tambor secador-mezclador se deberá garantizar la distribución homogénea del asfalto y que ésta se efectúe de manera que no exista ningún riesgo de contacto con el fuego, ni de someter al cemento asfáltico a temperaturas inadecuadas.

En las instalaciones de tipo continuo, el mezclador será de ejes gemelos. Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte.

En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso y uso del personal debidamente entrenado en la obra.

Antes de la instalación de la planta mezcladora, el Contratista deberá solicitar a las autoridades correspondientes, los permisos de localización, concesión de aguas, disposición de sólidos, funcionamiento para emisiones atmosféricas, vertimiento de aguas y permiso por escrito al dueño o representante legal del terreno.

Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, protectores de oído, protectores de gas y polvo, casco, guantes, botas y otros que se considere necesarios.

2.2.3. EQUIPO PARA EL TRANSPORTE

Tanto los agregados como las mezclas se transportarán en volquetes debidamente acondicionadas para tal fin. La forma y altura de la tolva será tal, que durante el vertido en la terminadora, el volquete sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello. Para carreteras con volúmenes de tráfico superiores a 4.000 vehículos/día o que se ubiquen en zonas climáticas desfavorables (bajas temperaturas), se verterá la mezcla desde la tolva del

volquete a un vehículo de transferencia de material y desde allí a la pavimentadora.

Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, los cuales deben estar debidamente asegurados, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes

2.2.4. EQUIPO PARA EL ESPARCIDO DE LA MEZCLA

La extensión y terminación de las mezclas densas en caliente, se hará con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de precompactación de acuerdo con los anchos y espesores especificados. La pavimentadora poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar.

Estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. El mecanismo de accionamiento de los transportadores de cadena no deberá producir segregación física central.

La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formas. Será ajustable para lograr la sección transversal especificada del espesor de diseño, que deberá ser verificada por el Supervisor. Tanto la plancha como las extensiones deberán contar con sistema de calentamiento uniforme.

Deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores. Se evitará todo tipo de

derrames durante la descarga de la mezcla a la tolva, a la vez de procurar una pavimentación continua y manteniendo una velocidad constante de la pavimentadora.

Si se determina que el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables durante la construcción, el Supervisor exigirá su cambio. Cuando la mezcla se prepare en planta portátil, la misma planta realizará su extensión sobre la superficie.

2.2.5. EQUIPO DE COMPACTACIÓN

Se deberán utilizar rodillos autopropulsados de cilindros metálicos, estáticos o vibratorios tándem y de neumáticos. El equipo de compactación será aprobado por el Supervisor, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba. Para Vías de Primer orden los rodillos lisos se restringen a los denominados tipo tándem, no permitiéndose el uso de los que poseen dos llantas traseras neumáticas. Para otros tipos de vías se aconseja el uso de equipos tándem.

En el caso de compactación de mezclas porosas, se empleará compactadores de rodillos metálicos, estáticos o vibratorios, aprobados por el Supervisor, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba.

Los compactadores de rodillos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios tendrán dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Además, deberán poseer controladores de vibración y de frecuencia independientes. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y

disposición tales, que permitan el traslape de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos. Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compactación adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni desplazamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación.

2.2.6. EQUIPO ACCESORIO

Estará constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.

2.3. REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.3.1. MEZCLA DE AGREGADOS

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en las siguientes tablas:

TABLA N°14

REQUISITOS PARA MEZCLA CONCRETO BITUMINOSO

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Mín.		

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁶

A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

La relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est./flujo sea de la menor magnitud posible.

El Índice de Compactibilidad mínimo será 5

¹⁶ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-06

TABLA N°15
REQUISITOS DE ADHERENCIA

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		< 3.000	> 3.000*
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 mín.**	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 Min.

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁷

Para zonas de alturas mayores a 3000 msnm. ó zonas húmedas y lluviosas; la efectividad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto – agregado en cada uno de los diseños de mezcla debe obtener valores mínimos de ochenta por ciento (80%)

TABLA N°16
VACÍOS MÍNIMOS DEL AGREGADO MINERAL

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.° 8)	21	-
4,75 mm (N.° 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (3/4")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁸

¹⁷ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-07

¹⁸ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-08

2.4. FÓRMULA DE TRABAJO

2.4.1. GRADACIÓN

Se aplicara lo mencionado en la sección 2.1.3. del presente trabajo.

2.4.2. APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE TRABAJO EN OBRA Y TOLERANCIAS

Todas las mezclas provistas, deberán concordar con la fórmula de trabajo en obra, fijada por el Supervisor, dentro de las tolerancias establecidas.

El Supervisor extraerá diariamente como mínimo una muestra de los agregados pétreos y dos de la mezcla, para verificar la uniformidad requerida del producto. El Supervisor podrá aprobar una nueva fórmula de trabajo, cuando los resultados fueran desfavorables o la variación de las condiciones de los materiales lo hagan necesario. De todas maneras, la fórmula de trabajo será revisada cada vez que se cumpla una tercera parte de la meta física del Proyecto.

2.4.3. MÉTODOS DE COMPROBACIÓN

Cuando se compruebe la existencia de un cambio en el material o se deba cambiar el lugar de su procedencia, El Contratista deberá elaborar una nueva fórmula de trabajo, que deberá ser aprobada por el Supervisor. Los agregados serán rechazados cuando no cumplan con las especificaciones técnicas pertinentes, para obtener una mezcla equilibrada.

2.4.4. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA DE AGREGADOS

La mezcla se compondrá básicamente de agregados pétreos gruesos, finos y relleno mineral (separados por tamaños), en proporciones tales que se produzca una curva continua, aproximadamente paralela y centrada al huso granulométrico especificado. La fórmula de trabajo será determinada para las condiciones de operación regular de la planta asfáltica.

La fórmula de trabajo con las tolerancias admisibles, producirá el huso granulométrico de control de obra, debiéndose elaborar una mezcla de agregados que no escape de dicho huso.

Las mezclas con valores de estabilidad muy altos y valores de flujos muy bajos, no son adecuadas cuando las temperaturas de servicio fluctúan sobre valores bajos.

2.4.5. TOLERANCIAS

Las tolerancias recomendadas en las mezclas, son aplicables para la fórmula de trabajo, estarán dentro del huso de especificación y son las indicadas en la siguientes:

TABLA N°17

Parámetros de Control	Variación permisible en % en peso total de áridos
N.º 4 o mayor	±5%
N.º 8	±4%
N.º 30	±3%
N.º 200	±2%
Asfalto	±0,2%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones¹⁹

¹⁹ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 423-12

2.4.6. MÓDULO RESILENTE

La mezcla definida como óptima, deberá ser verificada con la medida de su módulo resiliente. El valor del módulo, determinado según la norma de ensayo ASTM D4123-82 (1995) a la temperatura y frecuencia de aplicación de carga que define la norma, se obtendrá compactando las probetas con 75 golpes por cara. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo, según la norma de ensayo AASHTO R-30. Si este valor de módulo no se cumple, será necesario rediseñar la mezcla hasta lograr su cumplimiento.

2.4.7. LEYES DE FATIGA

Las mezclas óptimas diseñadas con el método Marshall, deberán ser verificadas con la medida de sus leyes de fatiga, tensión y deformación, aplicado al procedimiento de ensayo definido en las normas AASHTO T 321, NLT 350 u otros de reconocida aceptación, como los descritos en la norma europea EN-12697-24. Los ensayos se realizarán bajo condiciones de densidad, temperatura y frecuencia, representativas de las condiciones reales de operación del pavimento. Las probetas que se sometan a este ensayo deberán ser elaboradas con una mezcla sometida a envejecimiento previo según la norma de ensayo AASHTO R-30.

Aunque los resultados de los ensayos de fatiga no tengan por finalidad la aceptación o el rechazo de la mezcla por parte del Supervisor, el Contratista deberá asegurarse de que las leyes de fatiga de las mezclas que elabore sean

adecuadas para las necesidades de tránsito del proyecto donde se utilizará, por cuanto será de su entera y única responsabilidad cualquier deterioro prematuro atribuible exclusivamente a la fatiga de las capas asfálticas, durante el período de garantía de estabilidad de la obra.

2.4.8. MEDIDAS DE PREVENCIÓN CONTRA LA FISURACIÓN DESCENDENTE DE LAS CAPAS ASFÁLTICAS (TOP-DOWN CRACKING)

Adicionalmente a todos los requerimientos para el diseño de la mezcla, señalados en las secciones precedentes, el Contratista deberá adoptar todas las previsiones técnicas y operativas necesarias que permitan la prevención del desarrollo de fisuras y grietas descendentes (top-down cracking) en las capas asfálticas. Todo deterioro por este concepto que se produzca durante el período de garantía de la obra se considerará de responsabilidad del Contratista, debiendo proceder a su corrección, con la aprobación de la entidad contratante.

2.5. LIMITACIONES CLIMÁTICAS

Las mezclas asfálticas calientes se colocarán cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura ambiental sea superior a 6°C, y no haya precipitaciones pluviales.

2.6. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE EXISTENTE

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en el Proyecto o aprobadas por el Supervisor. Las secciones que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas. Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya

ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos fluidificados ni de agua en la superficie.

2.7. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA

Los agregados se suministrarán fraccionados. El número de fracciones deberá ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y deberá poderse acumular y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se acumulará separadamente de las demás, para evitar contaminaciones al entremezclarse. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los 15 cm inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a 1,5 m, y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el 50% y el 100% de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío, se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de trabajo de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista,

no debiendo ser ni superior ni inferior, lo que permitirá mantener el nivel de llenado de las tolvas en caliente a la altura de calibración.

Los agregados preferentemente secos se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario, deberá eliminarse. El tiro de aire en el secador se deberá regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del filler recuperado sean uniformes. La dosificación del filler de recuperación y/o el de aporte, se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, deberá comprobarse que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad. Las tolvas en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibración, sin rebosar.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el filler mineral seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo. Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador al mismo tiempo, la cantidad de asfalto requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla al volquete.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los agregados y el filler, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada amasada, el cual deberá encontrarse a la temperatura adecuada y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente, a una temperatura superior en más de 5°C a la temperatura del asfalto. El cemento asfáltico será calentado a una temperatura tal, que se obtenga una viscosidad comprendida entre 170 ± 20 cSt (según Carta Temperatura Viscosidad proporcionado por el fabricante) y verificada en laboratorio por la Supervisión.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen de materiales no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios de su altura.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

2.8. TRANSPORTE DE LA MEZCLA

La mezcla se transportará a la obra en volquetes hasta una hora del día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz natural. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche, cuando exista una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de manera adecuada, lo cual deberá ser aprobado por el Supervisor.

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para que al descargarla desde la máquina de transferencia del material a la pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase del tramo de prueba.

Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del Contratista.

2.9. ESPARCIDO DE LA MEZCLA

La mezcla se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en el Proyecto y aprobados por el Supervisor.

El esparcido se hará en forma continua, utilizando un procedimiento que minimice las paradas y arranques de la pavimentadora. Durante el extendido de la mezcla, la tolva de descarga de la pavimentadora permanecerá llena para evitar la segregación. Se utilizará un equipo especial de transferencia de

material para verter la mezcla asfáltica a la pavimentadora, evitando que el camión vacíe directamente a las tolvas de la misma, mejorando así la uniformidad superficial de la carpeta.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales, y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

Como se ha indicado, la colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas, no siendo permitido el uso de herramientas manuales en los acabados de la capa extendida. En caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada; de lo contrario, deberá ejecutarse una junta transversal.

En los sitios en los que a juicio del Supervisor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla podrá extenderse con otros medios aprobados por el Supervisor. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste al Proyecto o instrucciones del Supervisor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del Contratista.

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en presencia de precipitaciones pluviales, o cuando la temperatura ambiental sea inferior a 6°C.

2.10. COMPACTACIÓN DE LA MEZCLA

La compactación deberá comenzar, una vez esparcida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete, sin que se produzcan agrietamientos o desplazamientos indebidos, según haya sido dispuesto durante la ejecución del tramo de prueba y dentro del rango establecido en la carta temperatura-viscosidad.

La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el compactado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Supervisor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que apruebe el Supervisor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada.

Se tendrá cuidado para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; Los bordes exteriores del pavimento terminado serán chaflanados ligeramente. La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se

complementará con el trabajo manual necesario. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua. La compactación se continuará mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada hasta alcanzar la densidad especificada y se concluirá con un apisonado final que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

Si se diseña una mezcla tipo superpave, los procesos de compactación deberán ser diferentes, en especial, en la temperatura, amplitud y frecuencia de la compactación inicial, el tiempo de espera, el tipo de equipos y temperatura en la compactación intermedia y final.

En la etapa de tramo de prueba se podrá probar, para mezclas tipo superpave, con la siguiente rutina inicial, la cual deberá ajustarse de acuerdo con los resultados obtenidos:

- **COMPACTACIÓN INICIAL**

Rodillo tándem vibratorio, entrando a una temperatura entre 145°C y 150°C. Inicialmente se dan dos pasadas con amplitud alta a 50-53,33 Hz (3000 – 3200 VPM) y luego dos pasadas con amplitud baja a 50-56,67 Hz o (3000 – 3400 VPM).

- **ZONA TIERNA**

En esta etapa se deberá esperar que la temperatura baje hasta 115°C sin operar ningún equipo sobre la mezcla.

- **COMPACTACIÓN INTERMEDIA**

Rodillo neumático de 20.000 a 22.000 kg de peso, ejerciendo una presión de contacto por llanta entre 520

kPa y 550 kPa, en 2 a 4 pasadas, en un rango de temperatura entre 95°C y 115°C.

- **COMPACTACIÓN FINAL**

Rodillo tándem vibratorio usado en modo estático, haciendo tres pasadas en un rango de temperatura entre 85°C y 95°C.

2.11. JUNTAS DE TRABAJO

Las juntas presentarán 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 una capa uniforme y ligera de asfalto antes de colocar la mezcla nueva, dejándola curar suficientemente.

El borde de la capa extendida con anterioridad se cortará verticalmente con el objeto de dejar al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor. La nueva mezcla se extenderá contra la junta y se compactará y alisará con elementos adecuados, antes de permitir el paso sobre ella del equipo de compactación.

Las juntas transversales en la capa de rodadura se compactarán transversalmente. Cuando los bordes de las juntas longitudinales sean irregulares, presenten huecos o estén deficientemente compactados, deberán cortarse para dejar al descubierto una superficie lisa vertical en todo el espesor de la capa. Donde el Supervisor lo considere necesario, se añadirá mezcla que, después de colocada y se compactará mecánicamente. En casos de carreteras ubicadas por encima de 3.000 m.s.n.m. las juntas longitudinales deben ser

efectuadas con el uso de 2 distribuidores de asfalto trabajando simultáneamente en cada carril pavimentado. Esto permitirá obtener una junta monolítica y cerrada. Para el caso en que el pavimento este constituido por 2 capas superpuestas, las juntas transversales de una y otra capa guardarán una separación mínima de 5 m; y para el caso de las juntas longitudinales la separación mínima será de 15 cm.

2.12. PAVIMENTO SOBRE PUENTES Y VIADUCTOS

Las losas de los puentes si así están dispuestas en el proyecto o aprobado por el Supervisor, se pavimentarán con una mezcla densa en caliente de la calidad exigida para la capa de rodadura, previa aplicación del riego de liga de esta especificación.

Durante la ejecución del riego de liga y de la pavimentación, el Contratista deberá proteger con lonas, papel o similares, todas aquellas partes de los puentes que puedan ser afectadas por el material bituminoso. El Contratista será responsable por todo daño que causen las operaciones de sus equipos y, en consecuencia, los trabajos de reparación y limpieza correrán por su cuenta.

3. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas en caliente, HMA se divide en tres tipos: de gradación densa, open- graded o mezclas abiertas o porosas y gap-graded o mezclas de granulometría incompleta. La siguiente tabla presenta los tipos de mezclas de acuerdo a las características granulométricas.

Las gradaciones densas se subdividen en gradación continua o HMA convencional, large-stone mix, y mezcla arena-asfalto.

Las mezclas open-graded se dividen en open-graded friction course, OGFC y base permeable tratada con asfalto.

El tipo gap-graded abarca mezclas de concreto asfáltico gap-graded y mezclas stone mastic asphalt, SMA.

Algunas mezclas HMA deben ser diseñadas para casos particulares. Un ejemplo de este tipo son las mezclas open-graded friction course OGFC, que se diseñan para mejorar la fricción, evitar encharcamientos y emanaciones de vapor del pavimento, y disminuir los niveles de ruido.

La Federal Highway Administration, FHWA junto con la National Asphalt Pavement Association, NAPA prepararon una guía para la apropiada selección del tipo de mezcla que considera factores como el tráfico, medio ambiente, subrasante, condiciones del pavimento existente y su preparación, y evaluación económica.

Tabla N°18

Tipos de Mezclas Asfálticas en caliente

Gradación densa	Open-graded	Gap-graded
Convencional Tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 pulg.)	Porous friction course	Gap-graded convencional
Large-stone Tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 pulg.)	Base permeable tratada con asfalto	Stone Mastic Asphalt (SMA)
Arena asfalto Tamaño máximo nominal menos que 9.5 mm (0.375pulg.)		

Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos – Minaya, Ordoñez

Si las mezclas se clasificasen según el porcentaje de vacíos atrapada en la mezcla luego de la compactación se clasificarían de la siguiente manera:

- Mezclas Densas : Vacíos de aire, $V_a < 6\%$
 - Mezclas convencionales
 - Mezclas Superpave
 - Mezclas SMA
- Mezclas semi-cerradas : $6\% < V_a < 12\%$
- Mezclas abiertas : $V_a > 12\%$
- Mezclas porosas : $V_a > 20\%$

3.2. DEFINICIONES

3.2.1. MEZCLAS DE GRADACIÓN DENSA HMA

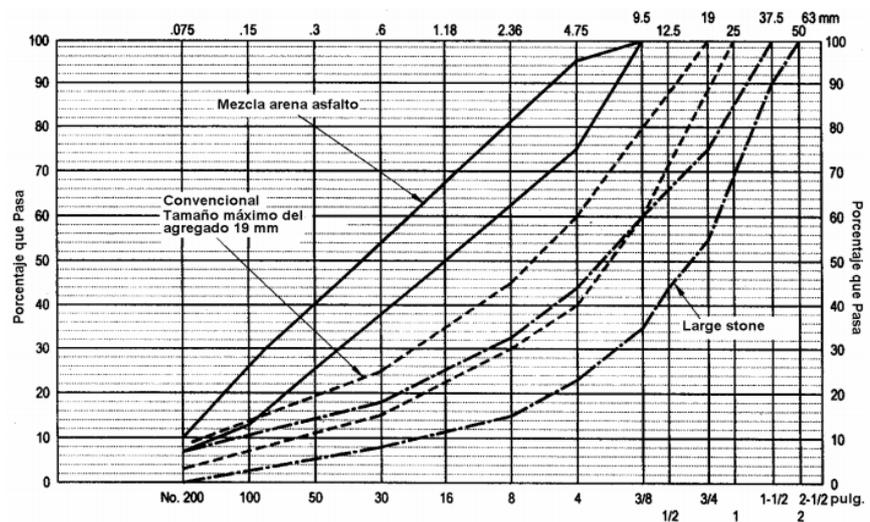
HMA de gradación densa están compuestas por ligante de cemento asfáltico y agregado de gradación continua.

Las mezclas convencionales de HMA consisten de agregados de tamaño máximo nominal en el rango de 12.5 mm (0.5 pulg.) a 19 mm (0.75 pulg.).

Large-stone mix contienen agregados gruesos con un tamaño máximo nominal mayor que 25 mm (1 pulg.). Como se ve en la figura 9.1a, estas mezclas tienen un mayor porcentaje de agregados gruesos que las mezclas convencionales (mayores que el tamiz 4.75 mm o no. 4). Por el mayor tamaño de los agregados, el esfuerzo de compactación aplicado a la mezcla debe ser monitoreado para prevenir fracturas excesivas de los agregados mayores durante el proceso de compactación.

Asfalto-arena está compuesto por agregado que pasa el tamiz 9.5 mm o 0.375 pulg.

El contenido de ligante en la mezcla es mayor que para mezclas HMA convencionales porque se incrementan los vacíos en el agregado mineral de la mezcla. Las arenas usadas en este tipo de mezcla son arenas chancadas o naturales de textura rugosa, la resistencia a las deformaciones permanentes de este tipo de mezclas es típicamente muy bajo.



3.2.2. MEZCLAS OPEN-GRADED

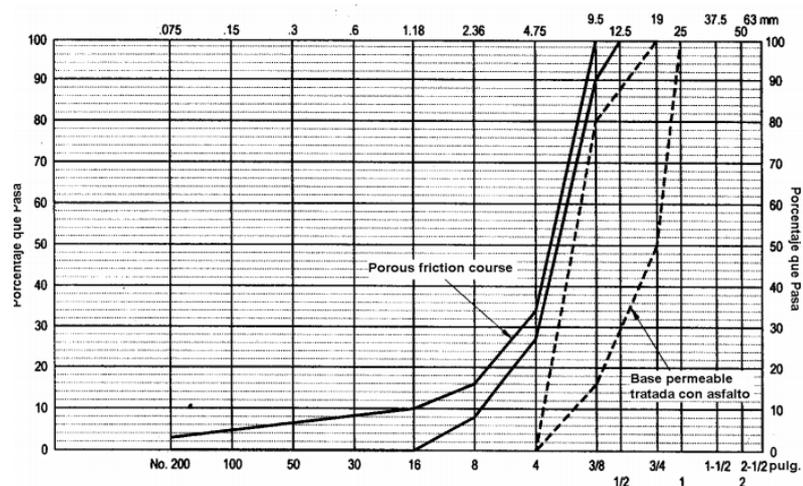
Las mezclas open-graded consisten de una gradación relativamente uniforme y ligante de cemento asfáltico o ligante modificado. El principal propósito de este tipo de mezclas es servir como una capa drenante, tanto en la superficie del pavimento o dentro de la estructura del pavimento.

Como se indicó, hay dos tipos de mezclas open-graded. El primer tipo de mezcla son utilizadas como una superficie gruesa para proporcionar drenaje libre en la superficie y

prevenir los encharcamientos, reduce las salpicaduras de las llantas, y reduce el ruido de las llantas. Este tipo de mezcla es frecuentemente definido como open-graded friction course OGFC.

El segundo tipo de mezcla, denominado base permeable tratada con asfalto, comprende una gradación uniforme de tamaño máximo nominal mayor que las usadas en OGFC -19 mm (0.75 pulg.) a 25 mm (1 pulg.) y se usa para drenar el agua que entra a la estructura del pavimento desde la superficie o de la subrasante.

La producción de las mezclas open-graded es similar a las mezclas de gradación densa. Se usan temperaturas de mezcla menores para prevenir el escurrimiento del asfalto caliente o draindown durante el almacenamiento o traslado al lugar del proyecto. Recientemente se están empleando polímeros y fibras en mezclas open-graded friction course para reducir el draindown y mejorar la durabilidad de la mezcla. La colocación de este tipo de mezclas es convencional. El esfuerzo de compactación por lo general es menor que las mezclas de gradación densa.

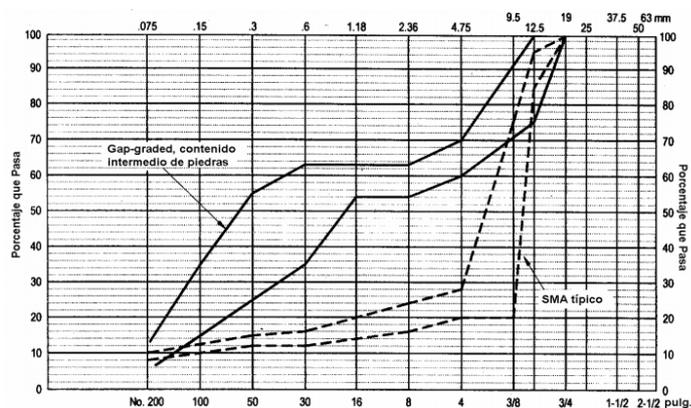


3.2.3. MEZCLAS GAP-GRADED

La función de las mezclas gap-graded es similar a la mezclas de gradación densa porque estas también proporcionan capas densas impermeables cuando la compactación es apropiada. Las mezclas gap-graded convencionales se vienen usando por muchos años. El rango de los agregados va desde gruesos hasta finos, con poca presencia de tamaños intermedios; un tipo de mezcla gap-graded se muestra en la figura.

El segundo tipo de mezclas gap-graded es el stone mastic asphalt, SMA. Una representación ilustrativa de este tipo de mezcla se muestra en la figura anterior. La producción de mezclas SMA requiere la incorporación de significativas cantidades de filler mineral al agregado normal de tal manera que alcance del 8 al 10% de material que pasa el tamiz 0.075 mm o no. 200.

Como en las mezclas open-graded la temperatura de descarga de la mezcla necesita ser controlada para prevenir el escurrimiento o draindown del ligante durante el almacenamiento o transporte. Las fibras y/o polímeros son normalmente usados con SMA para prevenir el draindown.



3.3. CONSIDERACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS

La característica del diseño de mezclas comprende:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto.

Cada una de estas características tiene mucha importancia en el comportamiento de la mezcla.

La densidad de la mezcla es la relación entre el peso de la mezcla por unidad de volumen. Si bien es cierto que esta característica no es utilizada en el diseño de la mezcla, se emplea para los controles de compactación. A la mezcla asfáltica compactada en el laboratorio se le asigna la densidad patrón y será ésta el punto de referencia en los controles.

Los Vacíos de aire o vacíos están conformados por el aire atrapado en la mezcla compactada. A menor porcentaje de vacíos de aire la mezcla será menos permeable. En el diseño de mezclas convencionales, los vacíos de aire están entre 3 a 5% en laboratorio, pero en campo se permite tener vacíos de aire no mayores al 8% permitiendo que la carpeta se compacte bajo tránsito.

La densidad de la mezcla está en función del contenido de vacíos, mezclas con menor porcentaje de vacíos serán más densas, y viceversa. Un alto porcentaje de vacíos de aire resulta en una mezcla porosa, que permite el paso del agua a través de su estructura, pero además puede causar deterioro debido a que hay mayor porcentaje de aire (como se mencionó en capítulos

anteriores el aire oxida el asfalto). Bajos porcentajes de vacíos de aire son perjudiciales en la mezcla, debido a que cuando soporta las carga de tránsito la carpeta se comprime y el asfalto se acomoda en los vacíos atrapados, si el número de vacíos es pequeño, el asfalto no podrá acomodarse en el interior y tendrá que salir a la superficie, esto se conoce como exudación.

Los Vacíos en el agregado mineral (VMA) consideran los volúmenes ocupados por los vacíos de aire atrapados y el asfalto efectivo. El diseño considera un porcentaje mínimo de VMA dependiendo del tamaño del agregado. Si el porcentaje del VMA es bajos la película de asfalto será delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Con altos porcentajes de VMA la película de asfalto será mas gruesa y la mezcla será más durable.

Una graduación densa puede reducir el porcentaje de VMA, reduciendo la película de asfalto y, por consiguiente, reduciendo la durabilidad de la mezcla y dándole un aspecto seco.

El Contenido de asfalto es el porcentaje de asfalto que se incorpora en la mezcla. Parte del asfalto será absorbido por el agregado y el resto de asfalto formará una película que rodean las partículas. A los primeros se les denomina asfalto absorbido y al segundo asfalto efectivo.

El óptimo contenido de asfalto de la mezcla está en función de la granulometría y el porcentaje de absorción del material. Mezclas con alto porcentaje de filler (mayor superficie específica) requerirán mayor porcentaje asfalto, por ejemplo las mezclas SMA tienen mas porcentaje de asfalto que una mezclas convencional y superpave. Mezclas porosas (% filler menor de 2%) necesitan menor porcentaje de asfalto



Figura N°20 Mezcla Convencional

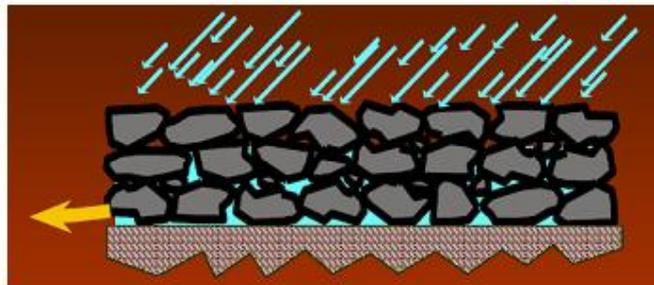


Figura N°21 Mezcla Porosa



Figura N°21 Mezcla Porosa

Las Propiedades consideradas en el diseño son:

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

La estabilidad está relacionada con la capacidad del asfalto para soportar deformaciones bajo cargas de tránsito y resistir el desplazamiento horizontal, depende de la fricción y cohesión interna. La fricción se relaciona con la geometría y textura de la partícula; la cohesión se relaciona con las características del ligante.

Los agregados que forman parte de mezclas asfálticas deben ser de caras fracturadas y superficie rugosa, generalmente provenientes de chancado. Los agregados con estas características tienen una mejor trabazón y mayor resistencia cortante, caso contrario al de agregados con partículas redondeadas que se deslizan una sobre otras.

La estabilidad de la mezcla se ha medido respecto del porcentaje de asfalto. A mayor porcentaje de asfalto la mezcla se hace más estable hasta determinado límite, luego la estabilidad de la mezcla disminuye. A medida que se incrementa el porcentaje de asfalto en la mezcla, la película de asfalto que rodea los agregados permite que estos se acomoden. Si la película de asfalto es muy gruesa impide la trabazón entre las partículas.

La durabilidad de la mezcla se relaciona a la capacidad del agregado a la desintegración, a la capacidad del asfalto a reaccionar con el medio y a evitar que el asfalto se desprenda del agregado.

Los agregados que forman parte de mezclas asfálticas, no sólo deben cumplir con especificaciones granulométricas, sino también de calidad. Las presiones que soportarán los agregados, sobre todo en sus aristas son altas, por lo tanto deben ser duros y muy resistentes. Para que no exista riesgo de peladuras (desprendimiento de la película de asfalto) los agregados deben ser hidrofóbicos.

La película de asfalto cumple un papel importante en la durabilidad de la mezcla. Si la película es gruesa, se tendrá menor porcentaje de vacíos de aire, esta condición retarda la oxidación que sufre el asfalto al encontrarse en contacto con el oxígeno, manteniendo por mayor tiempo sus características originales. Los vacíos de aire no se deben reducir mucho porque el asfalto necesita espacio para expandirse en climas cálidos. Si la película es delgada el asfalto se oxidará rápidamente.

La impermeabilidad es la capacidad del medio para evitar el paso de aire y agua. Esta definición se relaciona con el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada y el acceso que estos vacíos tengan con la superficie.

Mezclas porosas son diseñadas con la finalidad de permitir que el agua proveniente de las lluvias drene rápidamente a través de ellas. El alto porcentaje de vacíos de aire de este tipo de mezclas facilitaría la oxidación del asfalto; sin embargo, esta condición se reduce usando asfaltos modificados.

La trabajabilidad de la mezcla es la facilidad con que la mezcla se coloca y compacta. Mezclas con alto porcentaje de fracción gruesa o alto porcentaje de filler son poco trabajables. Las mezclas del tipo open graded (mezclas porosas) y gap-graded (como las Stone Mastic Asphalt) tienden a segregarse y son difíciles de compactar. Mezclas con alto porcentaje de filler puede hacer que la mezcla se vuelva muy rígida evitando su adecuada compactación.

Controlar la temperatura de compactación en la mezcla es muy importante, debido a que las mezclas frías son semi-rígidas a rígidas y no permiten su compactación dejando alto porcentaje de vacíos de aire.

Mezclas flexibles resisten las deformaciones sin agrietarse. El terreno de fundación se asentará con los años debido al servicio, este asentamiento se reflejará en la superficie y la carpeta deberá acomodarse sin agrietarse.

La carpeta asfáltica está soportando constantemente la acción de cargas cíclicas, este tipo de cargas origina que la carpeta se flexione constantemente. La resistencia a la fatiga es la resistencia a esta flexión, esta características está íntimamente relacionada al asfalto, asfaltos oxidados no son resistentes a la fatiga.

Los agrietamientos por fatiga surgen en la fibra inferior de la carpeta asfáltica cuando ésta trabaja a tracción, y se reflejan en la superficie denominándose piel de cocodrilo.

La superficie de rodadura debe reducir la posibilidad que la llanta se deslice sobre ella, sobre todo en épocas de lluvia, esto se define como resistencia al deslizamiento. Mezclas porosas fueron pensadas para evitar el hidroplaning (encharcamiento de agua en la superficie, posiblemente por efecto de las lluvias) y deprimir el agua inmediatamente se encuentre en la superficie.

Carpetas asfálticas con partículas redondeadas son menos resistentes al deslizamiento que las carpetas formadas por partículas duras y de textura rugosa.

3.4. PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS

3.4.1. GENERALIDADES

Un factor importante que debe ser considerado en el comportamiento de mezclas asfálticas son las relaciones volumétricas entre el ligante asfáltico y los agregados.

Las propiedades volumétricas más importantes de una mezcla compactada de pavimento son: vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (P_{be}), proporcionan un índice del probable comportamiento de la mezcla durante su vida de servicio.

3.4.2. DEFINICIONES

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto en diferentes grados. Además, la proporción de agua a asfalto absorbido varía con el tipo de agregado. Los tres métodos para medir las gravedades específicas de los agregados consideran estas variaciones.

Los métodos son: gravedad específica bulk, gravedad específica aparente y gravedad específica efectiva. La diferencia entre las gravedades específicas viene de las diferentes definiciones de volumen del agregado.

3.4.2.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK, GSB

La relación del peso en el aire de un material permeable (incluyendo los vacíos permeables e

impermeables del material) a temperatura establecida al volumen del agregado incluyendo los vacíos permeables

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp})\gamma_w}$$

Donde:

G_{sb}	gravedad específica bulk del agregado
W_s	peso del agregado seco
V_s	volumen del agregado con los vacíos impermeables
V_{pp}	volumen de vacíos permeables
γ_w	peso específica del agua, 1 gr/cm ³

3.4.2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE, GSA

Es la relación del peso en el aire de un material impermeable con respecto al volumen del agregado incluyendo los vacíos impermeables

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s\gamma_w}$$

Donde:

G_{sa}	gravedad específica aparente
W_s	peso del agregado seco
V_s	volumen del agregado con los vacíos impermeables
γ_w	peso específica del agua, 1 gr/cm ³

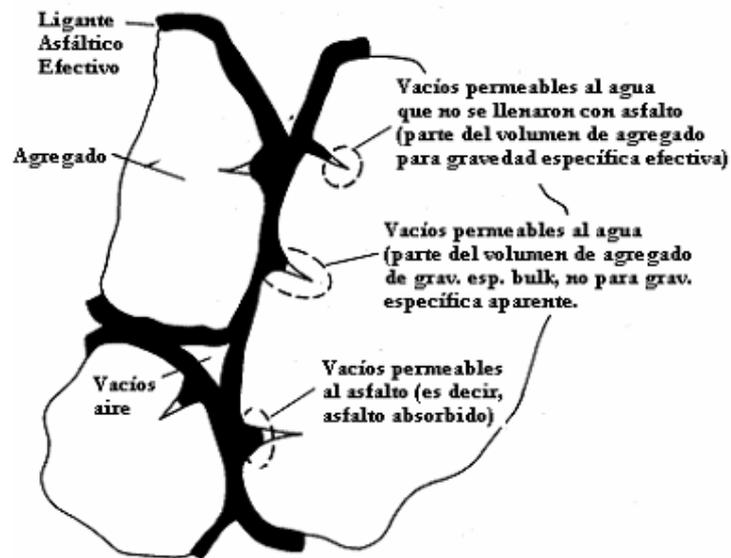
3.4.2.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA, GSE

Relación del peso en el aire de un material permeable (excluyendo los vacíos permeables al asfalto) con respecto al volumen del agregado con los vacíos impermeables y vacíos permeables que no absorbieron asfalto.

$$G_{se} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp} - V_{ap})\gamma_w}$$

Donde:

G_{se} gravedad específica efectiva
 W_s peso del agregado seco
 V_s volumen del agregado con los vacíos impermeables
 γ_w peso específico del agua, 1 gr/cm³



Las definiciones de vacíos en el agregado mineral (VMA), contenido de asfalto efectivo (Pbe), vacíos de aire (Va), y vacíos llenos con asfalto (VFA) son:

3.4.2.4. VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA)

Volumen de vacíos entre los agregados de una mezcla compactada que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado en porcentaje del volumen total de la mezcla.

3.4.2.5. CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO (PBE)

El contenido de asfalto total de la mezcla menos la porción de asfalto absorbida por el agregado.

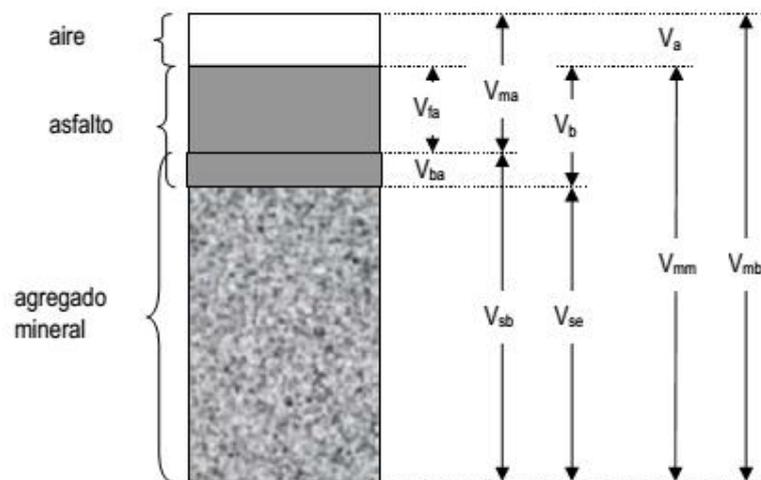
3.4.2.6. VACÍOS DE AIRE (VA)

Volumen total de las pequeñas cavidades de aire entre las partículas de agregado cubiertas en toda la mezcla, expresada como porcentaje del volumen bulk de la mezcla compactada.

3.4.2.7. VACÍOS LLENOS CON ASFALTO (VFA)

Porción del volumen de vacíos entre las partículas de agregado (VMA) que es ocupado por el asfalto efectivo.

Esquema de una Muestra HMA Compactada



- V_{ma} volumen de vacíos en agregado mineral
- V_{mb} volumen bulk de la mezcla compactada
- V_{mm} volumen de vacíos de la mezcla de pavimentación
- V_{fa} volumen de vacíos llenos con asfalto
- V_a volumen de vacíos de aire
- V_b volumen de asfalto
- V_{ba} volumen de asfalto absorbido
- V_{sb} volumen del agregado mineral (gravedad específica bulk)
- V_{se} volumen del agregado mineral (gravedad específica efectiva)

El diseño de mezclas Superpave requiere del cálculo de VMA para mezclas compactadas en función de la gravedad específica bulk del agregado. La gravedad específica efectiva es la base para el cálculo de los vacíos de aire en mezclas asfálticas compactadas.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) y los vacíos de aire (Va) se expresan como porcentaje por volumen de mezcla. Los vacíos llenos con asfalto (VFA) es el porcentaje de VMA lleno con asfalto efectivo. El contenido de asfalto puede expresarse como porcentaje del peso total de la mezcla, o por peso, del agregado de la mezcla.

El Instituto del Asfalto recomienda que los valores de VMA para mezclas compactadas deben calcularse en función de la gravedad específica bulk del agregado, G_{sb} . La gravedad específica efectiva debe ser la base para calcular los vacíos de aire en la mezcla de asfalto compactado.

3.4.3. ANÁLISIS DE MEZCLAS COMPACTADAS

La siguiente relación indica el procedimiento para analizar los vacíos de una mezcla compactada:

- Medida de la gravedad específica bulk del agregado grueso (AASHTO T85 o ASTM C127) y de los agregados finos (AASHTO T84 o ASTM C128).
- Medida de la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 o ASTM D70) y del filler mineral (AASHTO T100 o ASTM D854).
- Cálculo de la gravedad específica bulk de la combinación de agregados en la mezcla.

- Medida de la gravedad específica teórica máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041 o AASHTO T209).
- Medida de la gravedad específica bulk de la mezcla compactada (ASTM D1188 o ASTM D2726 o AASHTO T166).
- Cálculo de la gravedad específica efectiva del agregado.
- Cálculo de la gravedad específica máxima de la mezcla a otros contenidos de asfalto.
- Cálculo del asfalto absorbido por el agregado.
- Cálculo del contenido de asfalto efectivo de la mezcla.
- Cálculo del porcentaje de vacíos en el agregado mineral en la mezcla compactada.
- Cálculo del porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada.
- Cálculo del porcentaje de vacíos llenados con asfalto en la mezcla compactada.

3.4.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DEL AGREGADO

Cuando el agregado total consiste de fracciones separadas de agregados grueso, fino y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas, la gravedad específica bulk de la combinación de agregados se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

G_{sb} gravedad específica bulk de la combinación de agregados
 P_1, P_2, P_n porcentajes individuales por peso del agregado
 G_1, G_2, G_n gravedad específica bulk individual del agregado.

La gravedad específica bulk del filler mineral es difícil determinarlo actualmente. Sin embargo, si se sustituye por la gravedad específica aparente del filler, el error es mínimo.

3.4.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DEL AGREGADO

La gravedad específica efectiva se calcula con la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas (RICE) ASTM D-2041, con la siguiente expresión:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} Gravedad específica efectiva del agregado
 P_{mm} porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%
 P_b Porcentaje de asfalto para el peso total de la muestra
 G_{mm} gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire)
 G_b Gravedad específica del asfalto

El volumen de asfalto absorbido por un agregado casi invariable menos que el volumen de agua absorbida. En consecuencia, el valor de la gravedad específica efectiva de un agregado estaría siempre entre su gravedad específica bulk y aparente. Cuando la gravedad específica efectiva está fuera de estos límites, se debe asumir que este valor es incorrecto.

La gravedad específica aparente, G_{sa} , de la combinación de agregados puede calcularse de manera similar a la fórmula

empleada para bulk pero usando las gravedades aparentes de los agregados grueso, fino y filler.

3.4.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓRICA MÁXIMA DE MEZCLAS CON DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO

Cuando se diseña una mezcla con un agregado dado, se requiere la gravedad específica teórica máxima, G_{mm} , con diferentes contenidos de asfalto para calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

Luego de calcular la gravedad específica efectiva de los agregados considerando cada medición de las gravedades específicas teóricas máximas y promediando los resultados de G_{se} , la gravedad específica teórica máxima para algún otro contenido de asfalto puede obtenerse con la siguiente expresión:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm}	gravedad específica teórica máxima (ASTM D-2041) de la mezcla (sin vacíos de aire)
P_{mm}	porcentaje en peso del total de la mezcla suelta, 100%
P_s	contenido de agregado, porcentaje en peso del total de la mezcla
P_b	contenido de asfalto, porcentaje en peso del total de la mezcla
G_{se}	gravedad específica efectiva del agregado
G_b	gravedad específica del asfalto

3.4.7. ABSORCIÓN DE ASFALTO

La absorción de asfalto se expresa como el porcentaje en peso del agregado más que como el porcentaje del peso total de la mezcla, el asfalto absorbido, P_{ba} , se determina usando:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_b$$

Donde:

P_{ba}	asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.
G_{se}	gravedad especifica efectiva del agregado
G_b	gravedad especifica del asfalto
G_{sb}	gravedad especifica bulk del agregado

3.4.8. CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO DE LA MEZCLA

El contenido de asfalto efectivo, P_{be} , de una mezcla es el contenido de asfalto total menos la cantidad de asfalto absorbido dentro de las partículas de agregado. Esta es la porción del contenido de asfalto total cubre el exterior del agregado. Este es el contenido de asfalto que gobierna la performance de una mezcla asfáltica. La fórmula es:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} P_s$$

Donde:

P_{be}	contenido de asfalto efectivo, porcentaje del peso total de la mezcla.
P_b	contenido de asfalto, porcentaje del peso total de la mezcla.
P_{ba}	asfalto absorbido, porcentaje del peso de agregado.
P_s	contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla.

3.4.9. PORCENTAJE DE VMA EN MEZCLA COMPACTADA

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definieron como los vacíos entre las partículas de agregado de la mezcla compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, se expresa como un porcentaje del volumen total. El VMA se calcula en base a la gravedad específica bulk del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen bulk de la mezcla compactada. Por consiguiente, el VMA

puede calcularse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica bulk del volumen bulk de la mezcla compactada.

Si la composición de la mezcla se determina como porcentaje por peso de la mezcla total:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

VMA	vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
G_{sb}	gravedad específica bulk del agregado total
G_{mb}	gravedad específica bulk de la mezcla compactada (AASHTO T166; ASTM D1188 o D2726)
P_s	contenido de agregado, porcentaje del peso total de la mezcla

3.4.10. PORCENTAJE DE VACÍOS DE AIRE EN MEZCLA COMPACTADA

Los vacíos de aire, V_a , en el total de la mezcla compactada consisten de los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregados recubiertos. El porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada puede determinarse usando:

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

Donde:

V_a	vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total
G_{mm}	gravedad específica teórica máxima de la mezcla
G_{mb}	gravedad específica bulk de mezcla compactada

3.4.11. PORCENTAJE VFA EN MEZCLAS COMPACTADAS

Los vacíos llenos con asfalto, VFA, es el porcentaje de los vacíos entre partículas (VMA) que se llenan con asfalto. VFA, no incluye el asfalto absorbido, y se determina usando:

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - V_a)}{VMA}$$

Donde:

VFA vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA
VMA vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen bulk
V_a vacíos de aire en mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

3.5. DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL

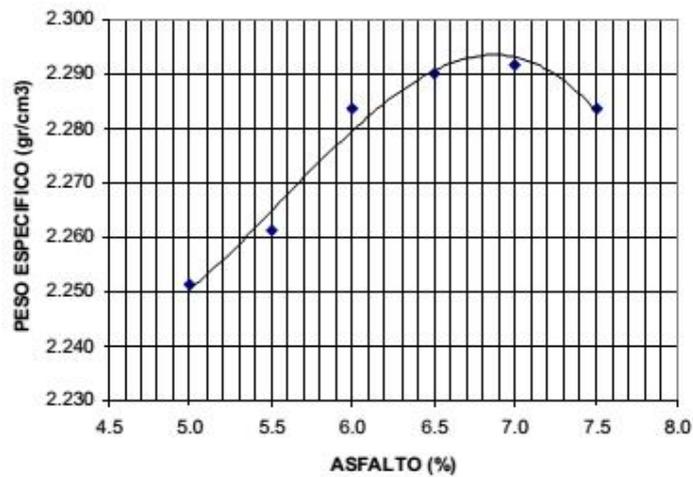
Una mezcla para pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o tamaño máximo nominal. El libro Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction de la NAPA Research and Education Foundation, especifica que para la mayoría de las mezclas asfálticas en caliente se requieren gradaciones densas (mezclas convencionales) para agregados.

Tabla N°19 Composición Típica del Concreto Asfáltico

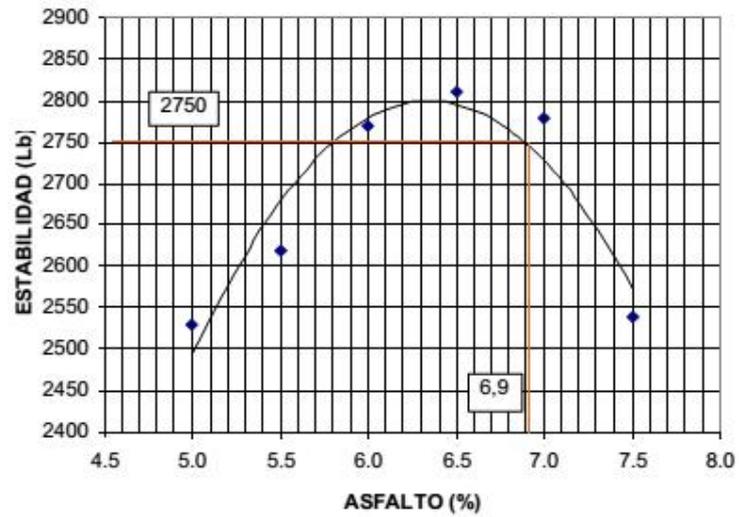
Tamiz	Tamaño máximo nominal del agregado				
	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")
Porcentaje acumulado que pasa (por peso)					
50 mm (2")	100				
37,5 mm (1 1/2")	90-100	100			
25,0 mm (1")		90-100	100		
19,0 mm (3/4")	56-80		90-100	100	
12,5 mm (1/2")		56-80		90-100	100
9,5 mm (3/8")			56-80		90-100
4,75 mm (N° 4)	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2,36 mm (N° 8)*	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0,30 mm (N° 50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0,15 mm (N° 100)					
0,075 mm (N° 200)**	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento asfáltico, % en peso de la mezcla total***	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12
	4 y 67 o 4 y 68	5 y 7 o 57	67 o 68 o 6 y 8	7 o 78	8

Resultados típicos de diseño de mezclas asfálticas ensayada en la prensa Marshall

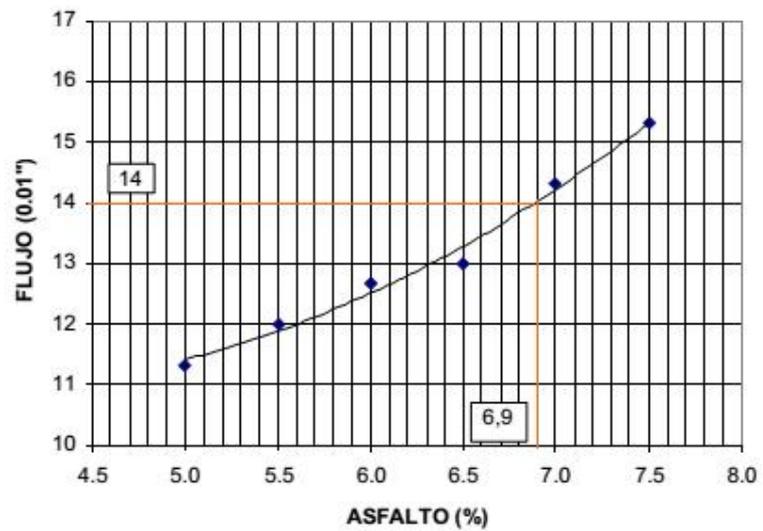
PESO ESPECIFICO VS. % DE ASFALTO



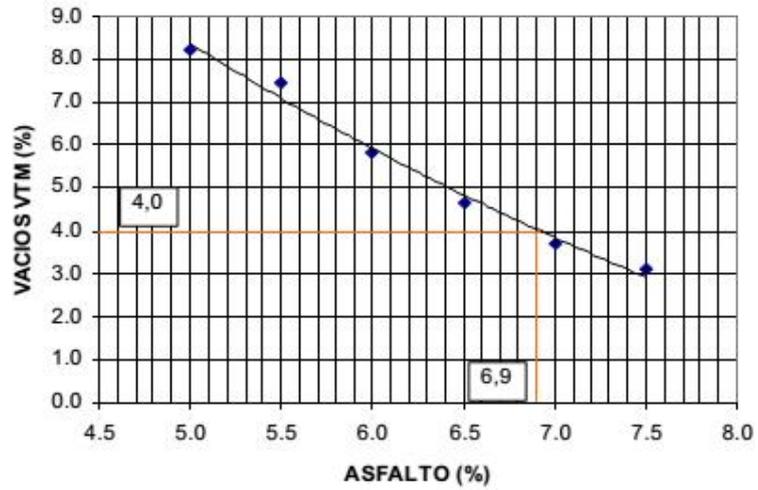
ESTABILIDAD VS. % DE ASFALTO



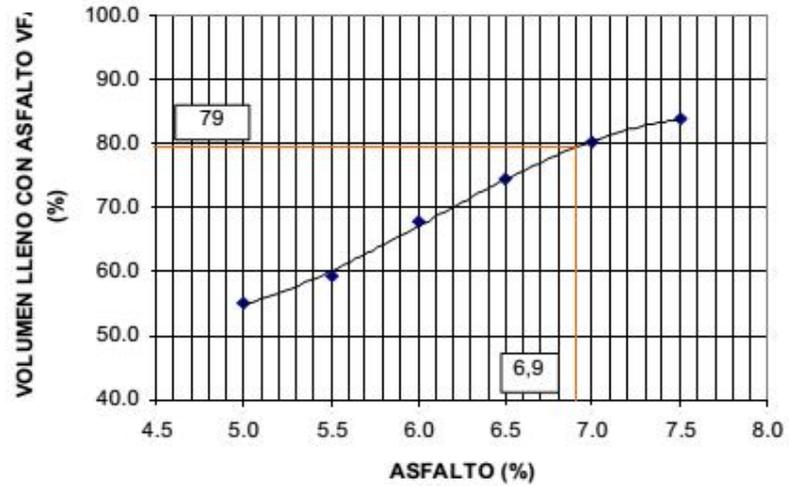
FLUJO VS. % DE ASFALTO



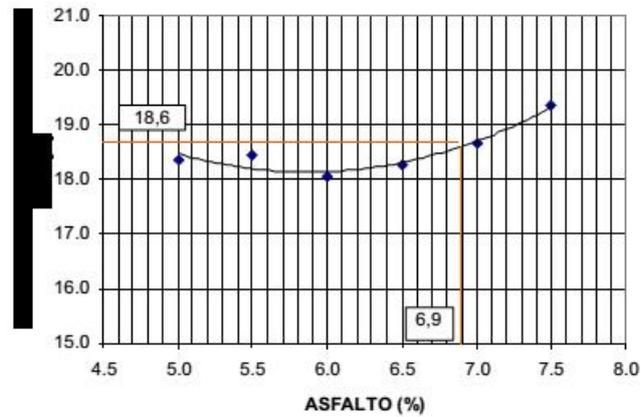
% VACIOS VS. % DE ASFALTO



% VACIOS LLENOS DE CON ASFALTO VS. % DE ASFALTO



**% VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO MINERAL
VS. % DE ASFALTO**



Especificaciones para Gradaciones Densas, ASTM D3515

Tamiz	Mezcla Densa								
	Tamaño máximo nominal de agregados								
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16
Gradación de agregados (grava; fino y filler si se requiere) Porcentaje en peso									
2 1/2" (63mm)	100	-	-	-	-	-	-	-	-
2" (50mm)	90-100	100	-	-	-	-	-	-	-
1 1/2" (37.5mm)	-	90-100	100	-	-	-	-	-	-
1" (25.0mm)	60-80	-	90-100	100	-	-	-	-	-
3/4" (19.0mm)	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-	-
1/2" (12.5mm)	35-65	-	56-80	-	90-100	100	-	-	-
3/8" (9.5mm)	-	-	-	56-80	-	90-100	100	-	-
Nº4 (4.75mm)	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	-	100
Nº8 (2.36mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	-	95-100
Nº16 (1.18mm)	-	-	-	-	-	-	40-80	-	85-100
Nº30 (600µm)	-	-	-	-	-	-	25-65	-	70-95
Nº50 (300µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	-	45-75
Nº100 (150µm)	-	-	-	-	-	-	3-20	-	20-40
Nº200 (75µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	-	9-20

Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. NAPA, 1996.

CAPITULO III

DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

1. INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta la fórmula de trabajo para la ejecución del Pavimento de Concreto Asfáltico, correspondiente el uso de un PEN 60/70, mezcla que servirá para el diseño de la carpeta asfáltica en *“ESTUDIO DE LA REHABILITACIÓN DE LA CARPETA ASFÁLTICA DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL CORONEL FAP CARLOS CIRIANI SANTA ROSA DE TACNA”*

2. OPERATIVIDAD DE LA PLANTA DE ASFALTO

El objetivo de las Plantas de Asfalto continua es la producción de concreto asfáltico en caliente para pavimentar carreteras, calles y aeropuertos, de acuerdo a las normas de validez nacional. La producción de la planta está directamente vinculada a los siguientes factores:

- Humedad de los agregados
- Temperatura de la mezcla asfáltica
- Temperatura ambiente
- Altitud
- Las condiciones de operación para la producción nominal son los siguientes:
 - Humedad máxima de los agregados = 5%
 - Temperatura de la mezcla asfáltica = 150°C
 - Temperatura ambiente mínima = 10°C
 - Altitud máxima = 4.500 msnm

Está prohibida la utilización del equipo para cualquier otra finalidad que no sea la producción de mezcla bituminosa en caliente.

2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El proceso productivo de esta planta se inicia con la dosificación de agregados en pesaje dinámico individual. La etapa siguiente es el secado de los agregados en horno rotativo con llama directa. Una vez secos, los agregados pasan a la etapa de mezclado con la inyección de C.A y filler. El dopaje del C.A se realiza en función de las toneladas hora que pasa en la faja de pesaje a través de su programa (blend), es inyectado el C.A en forma continua con una bomba dosificadora. El filler se dosifica a través de un motor DC, controlado en forma automática desde la cabina de control. El aditivo mejorador de adherencia es incluido al flujo del C.A mediante una bomba eléctrica. La mezcla elaborada es conducida hasta el silo de almacenamiento mediante un elevador de arrastre, este silo tiene capacidad de hasta 42 toneladas, para posteriormente ser descargada, una vez obtenido la carga esta es depositada en los volquetes de forma automática, el silo se encuentra acondicionado con tres sensores de carga en la parte inferior que registra el peso, También dispone el sistema de alimentación de polvo que podría transmitirse hacia el medio ambiente, previniendo la contaminación ambiental, en el trayecto de expulsión de polvo se encuentra ubicado 72 spray de agua que atrapan los finos y estos son conducidos a través del extractor de polvo hacia la poza de sedimentación.

2.2. VERIFICACION DE CALIBRACIÓN DE TOLVAS

Con el Diseño Teórico se procedió a calibrar tolva por tolva para las 4 tolvas que tiene la planta de Asfalto. Se realizaron para cada una de ellas 3 pesadas, a fin de observar la variabilidad en la

alimentación de agregado por tolva, asociándolo al porcentaje señalado en el Diseño Teórico por agregado.

2.3. VERIFICACIÓN DE DISTRIBUCIÓN GRANULOMETRICA DEL MATERIAL INTEGRAL DE FAJA

En la operación, en planta, se realizó una granulometría de la faja, ahora del material integral, con los agregados piedra de 1/2" y arena zarandeada tomando 1 m de material con un muestreador especialmente preparado. Esta operación se realizó por varias veces, para examinar también el cumplimiento de la granulometría y su variabilidad. Se presenta una granulometría de faja, mostrando sostenibilidad en la dosificación, gradación y distribución de los áridos en la granulometría.

2.4. VERIFICACIÓN DE LA INYECCIÓN DEL FILLER MINERAL (CEMENTO PORTLAND 1P)

Se realizaron varias pruebas en el surtidor de filler mineral, tomando tiempo por cada 30 segundos, verificando la cantidad de cemento que ingresa a la planta, hasta alcanzar el valor de 8.33 kg por cada 30 segundos, equivalente al ingreso de 1 % de cemento portland en la mezcla asfáltica.

2.5. VERIFICACIÓN DE LA INYECCIÓN DE CEMENTO ASFALTICO

Se examinaron las granulometrías integrales de agregados extraídos mediante lavado asfáltico, habiendo preparado la mezcla asfáltica de acuerdo al Diseño Teórico con C.A. PEN 60/70.

2.6. VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS MARSHALL

Se ensayó por la metodología Marshall, el comportamiento mecánico de densidad-vacíos y estabilidad-flujo de la mezcla, de performance de la mezcla asfáltica, analizando el funcionamiento mecánico de la mezcla.

2.7. VERIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN PISTA

Asfaltado de tramo de prueba, aprobado por la supervisión, con el transporte de mezcla asfáltica en volquetes debidamente preparados, verificando los controles de carpeta asfáltica: control de temperaturas pista, control de compactación: densidades y control de espesores.

2.8. COMPACTACIÓN

Terminado los trabajos en pista de tramo de prueba, se procedió a tomar valores de compactación para todo los casos se sobrepasó el valor mínimo de 98%.

Se vuelve a colocar los resultados encontrados luego de finalizados los trabajos de producción en planta de asfalto. Trabajos que reiterando consistieron en la verificación al Diseño Teórico, en términos de la granulometría de faja, granulometría de lavado asfáltico, lavado asfáltico para cálculo de % de cemento asfáltico inyectado y parámetros de Marshall.

3. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

3.1. MATERIALES

3.1.1. AGREGADOS MINERALES GRUESOS

Los agregados gruesos que son utilizados en la mezcla asfáltica, proveniente de la cantera Arunta acopiados, zarandeados y chancados en el mismo lugar donde el contratista tiene instalada una de sus chancadoras, Primaria, Secundaria, Zaranda de gravedad, y Planta de Asfalto. El agregado grueso proviene de de trituración de rocas de origen aluvial, material rodado conformado por granitos, lícitos

andesitas basálticas y otros minerales en menores proporciones, los que luego del chancado para obtener el uso Granulométrico del Proyecto para alturas <3000 msnm, deberán presentar una o más caras planas provenientes de la fractura. Además el mismo deberá ser limpio, compacto durable y estar libre de arcillas e impurezas orgánicas adheridas. Su forma deberá tender a ser cubica y de elongación. Así mismo deberá poseer suficiente resistencia al desgaste por fricción mecánica y resistencia a la desintegración por durabilidad química. Por último será necesario que el agregado presente una textura superficial con micro rugosidades para favorecer su adherencia al asfalto y colaborar aportando fricción interna en la mezcla, condiciones que cumple el agregado a ser utilizado.

Debe tenerse en cuenta con respecto a la Granulometría, que es conveniente, tal como lo especifica el Proyecto, que el tamaño máximo sea de $\frac{3}{4}$ " , posibilitando de esta manera utilizar el Método de Marshall para elaborar el Diseño. Así mismo, las curvas granulométricas además de estar comprendidas en el uso Granulométrico de proyecto, como ya se dijo, deberán también mostrar ser bien graduadas y densas, presentando concavidad dirigida hacia el límite superior. En el Diseño teórico la piedra de $\frac{1}{2}$ " ingresa con un 40% del total de agregados.

Los agregados pétreos presentan una dureza tal que les permitan resistir condiciones climáticas rigurosas. No sufrirán cambios debido a la acción de calor en el secador de la Planta, compactación, tránsito, etc. La especificación exige un desgaste por abrasión máximo 40%, lo cual se cumple con los

agregados pétreos que serán utilizados para elaborar mezcla asfáltica.

Con respecto a la forma de las partículas componentes del grueso, es importante este parámetro para formar el esqueleto mineral de la estructura. Este influye en la resistencia de la mezcla asfáltica. De esta manera con inconvenientes formas de lascas y agujas, ya que son susceptibles de romperse con facilidad durante la compactación y bajo cargas del tránsito, causando de esta manera modificaciones en la granulometría del árido. Es aceptable un máximo de 10% de este tipo de formas. En el caso de los agregados con los que cuenta esta obra poseen granos de formas cúbicas y asociadas.

Finalmente, el agregado grueso al menos tendrá 02 caras fracturadas en un porcentaje min de 50%.

3.1.2. AGREGADOS MINERALES FINOS

El agregado fino a ser utilizado en el Diseño de la Mezcla Asfáltica proviene de una fuente aluvial, resultando un material producto conformado por arenas naturales zarandeadas y lavadas y un porcentaje por arenas chancadas lavada de tamaño máximo $\frac{1}{4}$ ", Luego de aprobar los controles de calidad indicados en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, se encuentra lista como insumo para elaborar la mezcla asfáltica, ingresando al Diseño Teórico en un porcentaje de 58% de total de agregados.

Se realizaron los ensayos de control de calidad solicitados en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, resultando que este agregado fino apruebe todo los controles, incluyendo los parámetros de índice de plasticidad y Equivalente de arena.

3.1.3. CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

Es importante tener en cuenta el tipo de cemento asfáltico a ser utilizado, de acuerdo a las condiciones en las que trabajara en obra. De esta manera, varios son los factores que influye en la Variación de las propiedades iniciales del cemento asfáltico, mostrando tendencias al endurecimiento y consecuentemente a restar flexibilidad a la estructura, proviniendo fisuraciones.

Los factores tiempo y temperatura de mezclado afectan a la mezcla desde su elaboración hasta su puesta en servicio.

Se sabe que en el proceso de oxidación del asfalto, la película que se encuentra expuesta al medio ambiente es la que endurese. Un alto contenido de vacíos promoverá un aceleramiento de tal endurecimiento, por lo que será importante considerar este concepto para no tener la mezcla con los mayores porcentajes de vacíos. Esta recomendación, principalmente para lo que son capas de rodadura, que es el caso de esta obra.

Según lo explicado, se recomienda para el diseño la utilización de cemento asfáltico de grado de penetración PEN 60/70.

3.1.4. FILLER MINERAL (CEMENTO PORTLAND 1P)

Entre los diversos cuidados que se deben considerar para atender la durabilidad de la carpeta asfáltica, está técnicamente probado los beneficios que le otorga incrementar un filler mineral (cemento portland 1p) a la mezcla asfáltica, actuando también como un espesante, rellenedor de vacíos, resistente al envejecimiento del asfalto.

Complementariamente actúa como un mejorador de adherencia.

Cantidades usuales para asfalto no modificados, que es el caso, suelen considerar porcentajes de 1% a 2% de cal hidratada como filler. La cantidad de filler a incorporar a la mezcla asfáltica debe ser estudiada para cada caso, ya que esta depende de la naturaleza del agregado, del tipo de cemento asfáltico, de la relación filler-betún específico, etc. Definida la cantidad de cemento asfáltico y la dosificación de la combinación de agregados en la mezcla asfáltica, se deben realizar dosificaciones de cal hidratada, realizando controles de calidad del desarrollo de los parámetros Marshall. De los resultados obtenidos se definió un porcentaje de 2% en peso.

3.1.5. ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

Uno de los controles, asociado directamente a la durabilidad de la carpeta asfáltica, muy importante que debe ser realizado es la afinidad que presenta el agregado grueso y fino con el cemento asfáltico. La habilidad que presenta el agregado para evitar que la película de PEN se desprenda de este, ante la presencia de agua por ejemplo de lluvias, indicador si el agregado es hidrofílico es necesaria de ser evaluada.

Así fue que se vio necesario realizar una batería de ensayos para evaluar la susceptibilidad al desprendimiento que presenta los agregados.

Se iniciaron los ensayos de adherencia para el agregado grueso la patente de mejorador de adherencia Morlife 5000, para diferentes dosificaciones: 0.30%, 0.50% y, 0.80% del peso del cemento asfáltico. Asimismo también se realizaron los ensayos para el patrón es decir, sin aditivo.

Así mismo para una evaluación complementaria se desarrolló el ensayo de Lottman según AASHTO T 283, el cual muestra la necesidad de utilizar un mejorador de adherencia en un 0.5% C. A.

Así los resultados de los ensayos señalados arrojan buen comportamiento del Morlife 5000 para menores dosificaciones, seleccionado el valor de 0.5% C. A. como el más adecuado en términos de recubrimiento y espesores de película.

3.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS MECÁNICAS DE LOS MATERIALES PÉTREOS DISPONIBLES

A continuación se presenta un cuadro resumen con las características mecánicas físicas- químicas de los áridos que se utilizarán en el diseño.

Tabla N°20

AGREGADO GRUESO Y FINO PARA CONCRETO ASFALTICO

DESCRIPCION DEL ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	OBTENIDO	EVALUACIÓN	ASTM	MTC
Granulometría	Uso gran. MAC-2	Uso gran. MAC-2	APROBADO	D422,C-117	E-202,E204
Durabilidad grava(Sulfato de magnesio)	< 18%	4.69	APROBADO	C-88	E-209
Durabilidad Arena(sulfato de magnec)	< 18%		APROBADO	C-88	E-209
Abrasión	< 40%	19.75	APROBADO	C-131	E-207
Partículas Chatas y Alargadas	< 10%	8.93	APROBADO	D-4791	
Partículas con una cara fracturada	> 90%	94.4	APROBADO	D-5821	E-210
Partículas con dos caras fracturadas	> 70%	85.9	APROBADO	D-5821	E-210

Sales solubles totales ag. grueso	0.5% Max	0.012	APROBADO		E-219
Sales soluble totales ag. fino	0.5% Max	0.027	APROBADO		
Adhesividad (Riedel Weber)	4 min	Grado 4	APROBADO	D-1664	E-220
Impurezas organics Agregado fino	0.5 Max	0.33	APROBADO	C-40	E-213
Impurezas organicas Agregado Grueso	NO ESPECIFICA	Nivel 1	APROBADO	C-40	E-213
Índice de Durabilidad agregado fino	MIN 35%	-	APROBADO		E-214
Índice de Durabilidad agregado grueso	Min 35%		APROBADO		E-214
Índice de plasticidad (malla # 200)	Max 4%	N.P.	APROBADO	D-4318	
Equivalente de Arena	Min 70%	63.6	APROBADO		E-114

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede apreciar, los áridos, tanto agregado grueso, como agregado fino aprueban los controles de calidad de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del Proyecto.

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

El comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente para el tráfico de diseño, de acuerdo a las Especificaciones Técnicas del Proyecto deberá ser evaluada utilizando el método ASTM D-1559 / MTC E 504²⁰. Los valores de los parámetros medidores de la calidad de la mezcla asfáltica, utilizando el método señalado, indicando en el documento citado son:

²⁰ Resistencias de Mezclas Bituminosas empleando el aparato Marshall.

Tabla N°21
Parámetros Marshall

PARÁMETROS MARSHALL	ESPECIFICACIONES
OPTIMO CONTENIDO DE C.A.	
PESO UNITARIO (grs/cc)	
Vacíos (%)	3 – 5
V.M.A. (%)	-
FLUJO (mm)	3 – 5.5
ESTABILIDAD (kgs)	MIN 815
INDICE DE REGIDEZ (kgs/cm)	1700 – 4000
ESTABILIDAD RETENIDA (%)	MIN 70
INDICE DE COMPACTABILIDAD	MIN 5

Fuente: ASTM D-1559 / MTC E 504

La mezcla se compondrá de agregados minerales gruesos, finos (separados por tamaños), en proporciones tales que se produzca una curva continua, como ya se le dijo. La fórmula de la mezcla de Obra con el cemento asfáltico será verificada para las condiciones de operación regular de la planta de asfalto.

Con referencia al uso granulométrico de la combinación de agregados obedecerá al siguiente:

Tabla N°22
Uso Granulométrico

ABERTURA	AASTHO	ESPECIFICACIONES	MAC-2	
MALLA	T-27 (MM)	MIN	MAX	TOLERANCIA
1"		100	100	±
¾"	19.050	100	100	±5%
½"	12.500	80	100	±5%
3/8"	9.500	70	88	±5%

N°- 4	4.750	51	68	±5%
N°- 10	2.000	38	52	±4%
N°- 40	0.425	17	28	±3%
N°- 80	0.180	8	17	±3%
N°- 200	0.075	4	8	±3%

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones²¹

La variación permisible (tolerancia) se refiere a la fórmula de trabajo

3.4. ADHERENCIA PARA AGREGADO-BITUMEN

El agregado fino será ensayado por el método de Riedel- weber (Norma NLT-355/74)²². Deberá tener un grado de adhesividad min de 4. Delo contrario, deberá mejorarse la afinidad agregado-asfalto, mediante el uso de un mejorador de adherencia, el cual será estudiado debidamente para alcanzar la dosificación necesaria y adecuada, debiéndose verificar el cumplimiento del requisito de Estabilidad Retenida. Fue fundamental también realizar un análisis de la adherencia del agregado grueso, estudio que fue ejecutado en coordinación con la Supervisión, resultando la necesidad de un aditivo mejorador de adherencia en 0.5% del C.A. cumpliendo así mismo con la estabilidad retenida.

3.5. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Con los acopios al pie de la Planta Chancadora de la producción de agregados pétreos piedra de 1/2", y arena zarandeada de 1/4"

²¹ Norma E-2013: Manual de Carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción: Tabla 439-01

²² Adhesividad a los áridos finos de los ligantes bituminosos (procedimiento Riedel-Weber)

se tomaron muestra de varios días de producción, procediendo a realizar las granulometrías de cada agregado por separado.

De cada agregado se realizaron ensayos de granulometrías por tamizado, luego de lo cual se obtuvieron las curvas granulométricas promedio para cada árido.

En base a las granulometrías obtenidas de los agregados, las iteraciones de aproximación ejecutadas, llevando a una combinación de agregados dentro del uso Granulométrico, en la misión principal de cumplir los controles de calidad de la mezcla asfáltica por Marshall.

La curva granulométrica de la combinación de agregados, de acuerdo al dosaje señalado es la siguiente:

Tabla N°23

Curva Granulométrica

Abertura	AASHTO	% Combinado	MAC	2	TOTAL
Malla	T – 27(mm)	Que pasa	MIN	MAX	
1"	25.00	100.0			
¾"	19.050	100.0	100.0	100.0	± 5%
½"	12.50	85.2	80	100	± 5%
3/8"	9.500	73.2	70	88	± 5%
N°- 4	4.750	60.2	51	68	± 5%
N°- 10	2.000	47.7	38	52	± 4%
N°- 40	0.425	23.3	17	28	± 4%
N°- 80	0.180	8.7	8	17	± 3%
N°- 200	0.075	4.6	4	8	± 3%

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a lo criterios del Método de Marshall, estipulado en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, basándose en el Estudio de las Curvas de energía de compactación constante vs el contenido de cemento asfáltico, se elaboraron series de mezclas con porcentajes crecientes de cemento asfáltico a partir de 5.0% hasta 7.0%, con incrementos de 0.5% del mismo, para proyectar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se confeccionaron tres especímenes con dimensiones de acuerdo a lo estipulado por el procedimiento de Marshall. Así los resultados para cada porcentaje de cemento asfáltico provienen del promedio de haber realizado los ensayos de densidad-vacíos y estabilidad-flujo para tres especímenes.

3.5.1. TEMPERATURAS OBTENIDAS DE MEZCLADO Y COMPACTACIÓN DEL DISEÑO

El método de laboratorio ASTM 1559-82 que se utiliza para mezcla bituminosas mediante el procedimiento de Marshall, establece que se debe usar una temperatura a la cual el asfalto al ser mezclado alcance una viscosidad de 170+/-10 cSt. Para la compactación de la mezcla la temperatura del cemento asfáltico debe ser tal que su viscosidad sea de 280+/-cSt

3.6. METODO MARSHALL (ASTM D-1559).

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas para pavimentación. El procedimiento puede emplearse tanto para el proyecto de mezclas en el laboratorio como para el control en obra de las mismas.

Este método consiste en moldear briquetas con la mezcla de agregados y asfalto en caliente. Estas briquetas dispuestas en serie y cada serie con diferentes porcentajes de asfalto, se las moldea una vez que los materiales (agregados y asfalto) hayan sido aprobados según sus respectivas especificaciones de calidad, tamaño, etc.

3.6.1. PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS

Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 5 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variara con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

Para fijar el contenido de asfalto a emplear en estos ensayos de laboratorio, primero se debe estimar aproximadamente el contenido teórico óptimo de asfalto, para esto se utiliza la fórmula empírica, para así partir con dos contenidos de asfalto por encima y dos por debajo del valor teórico.

Determinación de la Cantidad Aproximada de Asfalto.

$$\%CA = 0.035a + 0.045b + K.c + F$$

Donde:

- %CA= % de asfalto en la mezcla.
- a =% Retenido tamiz N°8.
- b = % Pasante tamiz N°8.
- c= % de agregado que pasa la malla N°200.
- K = 0.15 si él % que retiene el tamiz 3/4" está entre 11% y 15%.
- 0.18 si él % que retiene está entre 6% y 10%.
- 0.20 si él % que retiene es el 5% o menos.
- F= de 0 a 2% que varía según la absorción del material.

Para obtener resultados adecuados se realizaran tres briquetas para cada contenido de asfalto.

Equipo:

- Martillo Marshall de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza eléctrica $A \pm 0.01$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro blindado.
- Espátula.



Figura N°25: Pesado del material para ensayo Marshall



**Figura N°26: Mezclado del material para ensayo
Marshall**



Figura N°27: Moldeo de testigos para ensayo Marshall



Figura N°28: Rotura de testigos en prensa Marshall

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C.

Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 175 a 190 °C.

Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 137°C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se pesan luego sobre una bandeja las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos .Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la bandeja sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente (ver Fotografía 21), hasta completar el peso total de agregados más asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Se mezcla el asfalto con los agregados (ver Fotografía 22), hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 107°C ni en ningún caso someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura.



La compactación se hace usando el martillo Marshall de compactación con una zapata circular de 37/8" de diámetro, peso de 10 libras y una altura de caída de 18".

Colocamos papel filtro en la base del molde.

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado.

El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.



Figura N°30: Centrifuga para Lavado Asfáltico



Figura N°31: Lavado Asfáltico



Figura N°32: Lavado Asfáltico

3.6.2. PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO.

Luego de extraer las briquetas de los moldes se somete cada una a los siguientes ensayos:

- Determinación del peso específico "BULK" (densidad aparente).
- Ensayo de Estabilidad y flujo.
- Determinación de la densidad máxima teórica.

3.6.2.1. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE.

Esta determinación se realiza tan pronto como las briquetas recién compactadas se han enfriado a la temperatura ambiente, la densidad aparente de las briquetas se determina calculando la relación entre su peso en aire y el peso en agua. La densidad aparente viene dada por la fórmula:

Densidad Aparente.

$$D= Pa/(Pa-Pag)$$

Donde:

- Pa = Peso de la probeta en el aire en gramos.
- Pag = Peso de la probeta en el agua en gramos.

3.6.2.2. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO.

Primeramente las briquetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F), durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos. La temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

La briqueta es removida del baño, secado y colocado rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la briqueta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

La carga del ensayo es aplicada a la briqueta a una velocidad constante de 51 mm (2"/minuto) hasta que se produce la rotura. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.

La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

3.6.2.3. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA.

Para determinar la densidad máxima teórica se utilizo el Ensayo Rice.

ENSAYO RICE (ASTM D-2041).

Este ensayo sirve para determinar la gravedad y densidad máxima teórica de las mezclas asfálticas no compactadas a una temperatura de 25 °C.

Equipo:

- Equipo Rice.
- Frasco volumétrico capacidad 2000ml.
- Balanza A±0.01 gr.
- Termómetro.

Procedimiento:

Para este ensayo primero se debe calibrar el frasco para determinar exactamente el peso del agua a 25°C que pueda llenarlo.

Las muestras preparadas con diferentes porcentajes de asfalto son enfriadas a temperatura ambiente, para luego ser pesadas designando este peso de la muestra.

Agregar agua suficiente aproximadamente a 25°C para cubrir la muestra.

Remover el aire atrapado sometiendo todos los contenidos a un vacío parcial de 30mm de Hg (4Kpa) o menor de presión absoluta, durante un periodo de 5 a 15 minutos, agitar el recipiente con los contenidos, a intervalos de alrededor de 2 minutos, inmediatamente

después de la remoción del aire atrapado, proceder a llenar el frasco con agua y llevar sus contenidos a una temperatura de $25\pm 1^{\circ}\text{C}$, determinar el peso del recipiente y los contenidos completamente llenos.

Densidad máxima teorica

$$d_{max.t.} = A/(A+B-C)$$

Donde:

- A = Peso de la muestra seca en el aire, en (gr).
- B = Peso del recipiente lleno con agua a 25°C (77°F), en (gr).
- C = Peso del recipiente lleno con agua y muestra a 25°C (77°F), en (gr).

Una vez que se determinado, la densidad aparente, la densidad máxima teórica, la estabilidad y el flujo con cada una de las briquetas correspondientes a los 5 grupos cuyos contenidos de asfalto varían en 0.5 % se procede a tabular los resultados y complementar los datos con otros valores calculados.

3.6.3. RESULTADOS Y COMPARACION DEL DISEÑO MARSHALL

3.6.3.1. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 1% DE CAL.

Tabla N°24

Parámetros De Diseño Marshall	Unidad	Especificación	Obtenido
Número de Golpes en cada lado	Nº	75	75
Optimo contenido de C.A	%	-	5.6
Peso unitario	Gr/cc	-	2.32
Estabilidad	kg	Mín. 815	1181
Flujo	mm	3 – 5.5	5.0
Porcentaje Vacíos de aire	%	3 – 5	3.3
Vacíos en el agregado mineral	%	-	14.3
Vacios llenos con Asfalto	%	-	76.5
Índice de Rigidez	kg/cm	1700 – 4000	2360

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3.2. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 2% DE CAL.

Tabla N°25

Parámetros De Diseño Marshall	Unidad	Especificación	Obtenido
Número de Golpes en cada lado	Nº	75	75
Optimo contenido de C.A	%	-	5.8
Peso unitario	Gr/cc	-	2.324
Estabilidad	kg	Mín. 815	1228
Flujo	mm	3 – 5.5	4.95
Porcentaje Vacíos de aire	%	3 – 5	2.00
Vacíos en el agregado mineral	%	-	14.4
Vacios llenos con Asfalto	%	-	85
Índice de Rigidez	kg/cm	1700 – 4000	2470

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3.3. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON 3% DE CAL.

Tabla N°26

Parámetros De Diseño Marshall	Unidad	Especificación	Obtenido
Número de Golpes en cada lado	Nº	75	75
Optimo contenido de C.A	%	-	5.9
Peso unitario	Gr/cc	-	2.322
Estabilidad	kg	Mín. 815	1230
Flujo	mm	3 – 5.5	4.55
Porcentaje Vacíos de aire	%	3 – 5	1.5
Vacíos en el agregado mineral	%	-	14.7
Vacios llenos con Asfalto	%	-	87
Índice de Rigidez	kg/cm	1700 – 4000	2630

Fuente: Elaboración Propia

3.6.4. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

3.6.4.1. RESULTADOS ENSAYO MARSHALL.

La densidad de la mezcla está definida como su peso unitario, para 1%, 2% y 3% es 2.3 Kg/m³.

Este resultado es usado como referencia para determinar la densidad del pavimento terminado y poder saber el porcentaje de compactación del pavimento que no debe ser menor al 98% ni mayor al 100%.

La densidad es una característica muy importante para la mezcla, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

Para la estabilidad Marshall de los asfaltos con 1% de cal tiene el valor de 1181 Kg, los asfaltos con 2% de cal tiene un valor de 1228 Kg y los asfaltos con 3% de cal 1230 Kg, donde los dos últimos presentan valores casi iguales y superiores al primero en 47 Kg y 49 Kg respectivamente.

Los resultados obtenidos de la estabilidad de la mezcla, están dentro de los parámetros y son más altas de lo que exigen las especificaciones, permitiéndole tener al pavimento estabilidad, capaz de mantener su forma y capacidad para resistir el desplazamiento bajo las cargas respectivas.

En cuanto al flujo los asfaltos con 1% de cal tienen el valor de 5.0 mm, los asfaltos con 2% de cal tienen 4.95 mm y los asfaltos con 3% de cal 4.55 mm, en este parámetro los valores son casi iguales.

Los valores del Flujo están dentro de los parámetros que exige la norma, evitando así que la carpeta terminada presente exudación y se desgaste rápido.

Los porcentajes de vacíos de aire de los asfaltos con 1% de cal tienen el valor 3.3%, los asfaltos con 2% de cal tienen un valor de 2.0% y los asfalto con 3% de cal 1.5%, estos dos últimos presentan menores vacíos y no están dentro de las especificaciones.

La mezcla con 1% de cal es el único con el porcentaje de vacíos de aire adecuado y que permitirá al pavimento su durabilidad y las mezclas con 2% y 3% de cal están demasiado bajas de vacíos pudiendo producir en la carpeta exudación de asfalto.

Los vacíos en el agregado mineral (%VMA) de los asfaltos con 1% de cal tienen el valor de 14.3%, los asfaltos con 2% de cal tienen 14.4% y los asfaltos con 3% de cal 14.7%, en este parámetro los valores son casi similares.

El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA), generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto y en los porcentajes de cal.

Los valores mínimos obtenidos de %VMA en el ensayo están dentro de las recomendaciones que exigen las especificaciones, permiten lograr un espesor durable de película de asfalto, a valores por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca.

Los vacíos llenos con asfalto (%VFA) de los asfaltos con 1% de cal tienen el valor 76.5%, los asfaltos con 2% de cal tienen 85% y los asfaltos con 3% de cal 87%, donde los dos primeros se diferencian de 9% y los dos últimos en 2%.

El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%VFA), aumenta con aumentos en el contenido de asfalto y en el porcentaje de cal.

Junto con los resultados del %VMA logran una buena estabilidad y comportamiento de la mezcla, sumados deben llegar al 100%.

La rigidez de los asfaltos con 1% de cal tienen en valor de 2360 Kg/cm, los asfaltos con 2% de cal tienen 2470 Kg/cm y los asfaltos con 3% de cal 2630 Kg/cm.

Los tres valores calculados están dentro de los parámetros que indican las especificaciones, permitiendo a la carpeta asfáltica terminada una buena resistencia al deslizamiento y resistir la flexión repetida causada por las cargas de tránsito.

El índice de rigidez depende del flujo y la estabilidad del diseño si estos dos fallan el índice de rigidez tiende a fallar.

3.7. DISEÑO LA MEZCLA ASFALTICA

Considerado los resultados obtenidos de la metodología Marshall desarrollados en este Expediente, tanto para la etapa de evaluación del Diseño para varias dosificaciones de cemento asfáltico, y luego realizando la verificación correspondiente con el óptimo determinado, y las condiciones resultantes del análisis de la incorporación de filler mineral, así como de la inserción de un aditivo mejorador de adherencia para los agregados y las condiciones medio ambiente en las que va a trabajar la carpeta asfáltica, se propone en peso el siguiente Diseño Teórico para la mezcla asfáltica en caliente: considerando al 100% como la suma de todo los componentes áridos.

Tabla N°27

VERIFICACIÓN DE ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO DE DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA			
MEZCLA ASFALTICA			
PARÁMETROS MARSHALL DE DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE / PEN 60 - 70			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A. (%)	5.6		PROPUESTA
PESO UNITARIO (grs/cc)	2.320	DE ACUERDO A DISEÑO	
VACIOS (%)	3.4	3 – 5	APROBADO
V.M.A. (%)	15.1		APROBADO
FLUJO (mm)	4.19	3 – 5.5	APROBADO
ESTABILIDAD (kg)	1002	MIN 815	APROBADO
ÍNDICE DE RIGIDEZ (Kg/cm)	2394	1700 - 4000	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°28

Cemento Asfáltico (PEN 60/70)	PETRO PERU	5.6%
Agregado grueso Chancado de 1/2"	material aluvial	39%
Agregado grueso chancado de 3/8"	material aluvial	
Arena chancada de 1/4"	material aluvial	-
Arena natural zarandeada de 1/4"	material aluvial	60%
Cemento portland 1 p	Cemento 1P	1.0%
Aditivo Mejorador de adherencia	Morlife 5000	0.5% C.A.

Fuente: Elaboración Propia

3.8. CONSIDERACIONES FINALES

Terminado esta etapa, el Diseño Teórico deberá ser ensayado en producción industrial en planta para el cual se admite tolerancias de +/- 0.3% de C.A.

Conjuntamente con la calibración de la planta y tramo de prueba, se daría por concluido los trabajos del Diseño Teórico de la mezcla asfáltica y trabajos previos a la colocación en pista.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones

- 1.1.** La selección final de la fuente de materiales (cantera Arunta), fue un aporte importante para la calidad final de la mezcla ya que los materiales ensayados (piedra ½" y la arena zarandeada) cumplieron con las exigencias de las normas aplicables en cuanto a la dureza, abrasión, limpieza, angularidad, etc.
- 1.2.** Se logró constatar que se cuenta con especificaciones técnicas y normas para el diseño de mezclas de asfalto en caliente ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA LA CONSTRUCCION EG-2013 - sección 423. En estas se establecen las recomendaciones sobre el uso de estos tipos de mezclas en pavimentos, además de las normas AASHTO, ASTM.
- 1.3.** De acuerdo a los resultados obtenidos se logró determinar los parámetros mecánicos (estabilidad flujo y vacíos) y llegar al grado óptimo de porcentaje de cemento asfáltico los cuales son los siguientes:

MEZCLA ASFÁLTICA			
ESPECIFICACIONES MARSHALL	OBTENIDO	ESPECIFICACION	EVALUACIÓN
OPTIMO CONTENIDO DE C.A.	5.60	5.30-5.90	PROPUESTA
PESO UNITARIO (grs/cc)	2.32	-	
VACÍOS (%)	3.6	3--5	APROBADO
V.M.A. (%)	14.7	MIN 14	APROBADO
VFA (%)	76.3	65 - 75%	APROBADO
FLUJO (mm)	4.30	2 - 5.5	APROBADO
ESTABILIDAD (kgs)	1400	MIN 815	APROBADO
INDICE DE RIGIDEZ (kgs/cm)	3310	1700 - 4000	APROBADO

DOSIFICACIÓN			
CEMENTO ASFÁLTICO	5.60	CEMENTO ASFÁLTICO	REFER SÓLO A CURVA GRANUL
ARENA CHANCADA CANTERA ARUNTA	60.00	ARENAS	60.00
ARENA ZARANDEADA Y LAVADA CANT ARUNTA			
PIEDRA CHANCADA 3/4" CANT. ARUNTA	39.00	PIEDRAS	39.00
PIEDRA CHANCADA 1/2" CANT. ARUNTA			
FILLER MINERAL (CAL)	1.00	FILLER	1.00
ADITIVO MEJORADOR ADHERENCIA	0.5	ADHERENTE	0.5

2. RECOMENDACIONES

- 2.1.** Para el diseño de una mezcla asfáltica en caliente, el tipo de agregado a utilizar puede proceder de cualquier banco de material, siempre y cuando se tengan resultados satisfactorios en la caracterización de los mismos.
- 2.2.** Los resultados han sido obtenidos en laboratorio, simulando las condiciones de trabajo lo mejor posible. Es necesario hacer pruebas de campo estos resultados proporcionan una guía bastante confiable del comportamiento de este tipo de mezclas bajo condiciones reales, tales como el tipo de tráfico, clima predominante, posición geográfica, entre otras.
- 2.3.** Los resultados finales del diseño con el método MARSHALL son satisfactorios, se recomienda también un mantenimiento periódico para que su vida útil del pavimento se alargue.
- 2.4.** Se debe descartar el esfuerzo mayor dirigido hacia las mezclas asfálticas, que en la actualidad parecen un poco preteridas en comparación con el producto asfalto.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

- M.Sc. SILENE MINAYA GONZÁLEZ - M.Sc. e ING. ABEL ORDÓÑEZ HUAMÁN. 2006. Diseño moderno de pavimentos asfálticos. Universidad Nacional de Ingeniería.
- DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES. VICEMINISTERIO DE TRANSPORTES. 2013. EG-2013: Manual de Carreteras. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción. Ministerio De Transportes Y Comunicaciones.
- Facultad de Ciencias y Tecnología. Universidad Nacional de San Simón. 2004. Carreteras II.
- Estudio Definitivo de Ingeniería. EDI- SPTN-RH-0211. 2011. Aeropuertos Andinos del Peru. JBO Consultores.

ANEXOS