



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO "PEDRO ARAUZ PALACIOS"
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

**EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
UTILIZANDO EL MÉTODO DE “RESISTENCIA RETENIDA”, PARA
LA PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA
SAN RAMÓN- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA.**

*Tesis Monográfica para optar
al título de ingeniero civil.*

Autores:

**BR. HUBER JOSE MARTINEZ MENDEZ.
BR. WINSTON ELISEO MOLINA ZAVALA.**

Tutor:

Ing. Israel Morales.

Asesor:

Ing. Fabricio Montenegro.

Managua, Nicaragua
Julio, 2011



DEDICATORIA

Este trabajo monográfico está dedicado en primer instancia a Dios nuestro señor, por haberme permitido culminar mis estudios superiores, y por ayudarme a sobreponerme ante las adversidades que se presentaron durante el desarrollo de este trabajo y a lo largo de toda la carrera, también por darme la capacidad de tomar las decisiones correctas y en aquellas donde no fue así, la inteligencia de corregirlas sin causar variaciones.

A mi madre Rafaela Méndez Gutiérrez, por haberme brindado todo el apoyo moral, humano, fraternal y económico a lo largo de todo este tiempo en el cual realicé mi formación académica.

Por su apoyo y consejos, a mis hermanos:

Rafael, Douglas, Sandra y Lisseth.

De todo corazón les agradezco eternamente

Huber Martínez



DEDICATORIA

Doy gracias a Dios y a mi madre Norma Pastora Zavala Escobar, por haberme ayudado en mis estudios desde el principio y por la confianza que me ha dado para poder finalizar mi carrera. A usted dedico mi éxito.

A mis hermanos: Norma Molina y Carlos López por toda la ayuda que me pudieron dar en el transcurso de mis estudios universitarios.

Al Recinto Universitario "Pedro Arauz Palacios" y a su personal docente por proporcionarme la oportunidad de desarrollarme como profesional y como ser humano.

Winston Molina



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios nuestro señor; por permitirnos culminar de manera exitosa esta meta propuesta y por toda la bendición recibida de una u otra forma a lo largo de toda nuestra vida, por darnos salud y poder tener el pan de cada día en la mesa.

A los Ingenieros: Manuel Chávez, Henry Gutiérrez y Bernardino Guevara, que propiciaron las condiciones y el financiamiento económico necesario; para poder llevar a cabo la realización de este trabajo.

Al Ingeniero: Fabricio Montenegro, por el tiempo que ha dedicado a transmitirnos sus conocimientos, por su constante interés y preocupación por el avance de esta investigación, sin cuya ayuda no hubiésemos podido desarrollar la etapa experimental de la monografía.

Al Ingeniero: Luis López, por brindarnos información necesaria acerca de este método de ensayo.

Damos gracias a todos los compañeros del sitio donde realizamos este estudio, que nos brindaron su apoyo y toda la información necesaria para la realización de este trabajo.

También a nuestra Alma mater UNI por la disposición de todo el personal docente administrativo de la facultad, que contribuyeron a nuestra formación académica y en la culminación de este trabajo monográfico.

A nuestro tutor el Ing. Israel Morales por su disposición y ayuda para poder realizar este trabajo.

Huber Martínez

Winston Molina



RESUMEN

Los principales problemas que experimentan las mezclas asfálticas en las zonas húmedas de nuestro país están asociados con fenómenos hidrometeorológicos, que suelen producirse en tales regiones y que afectan la durabilidad y el desempeño en servicio de las mismas como son: la edad de envejecimiento y el daño producido por humedad. La tarea de evaluar y construir mezclas que puedan resistir las condiciones adversas a las que estarán expuestas, propias de las zonas húmedas, plantea la búsqueda de una metodología de evaluación de mezcla que permita no solo evaluar la resistencia de la mezcla a las cargas impuestas por el tráfico, sino también a la acción del medio ambiente.

Es por ello que se ha llevado a cabo un estudio sobre la aplicación del ensayo de resistencia retenida (AASHTO T165) como complemento al método de evaluación utilizado actualmente en nuestro país como es el método Marshall (AASHTO T-245) . El método de resistencia retenida tiene la ventaja de poder realizarse directamente sobre especímenes condicionalmente compactados en laboratorio para obtener porcentajes de vacíos parecidos a los que se obtienen de campo.

Por lo anterior, se procedió a evaluar la mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico tipo AC-30, del proyecto Pavimentación de la Carretera San Ramón- Muy Muy realizando en el laboratorio de materiales y suelos de la empresa supervisora Rocher Ingeniería S.A, un estudio sobre el comportamiento de las propiedades volumétricas y mecánicas de la mezcla que se está aplicando en el proyecto antes mencionado.

El estudio inició con la caracterización de los materiales (asfalto y agregado) y posteriormente se realizó una comparación a nivel volumétrico de las metodologías Marshall y resistencia retenida, describiendo los procedimientos y requerimientos específicos de cada metodología. Entre los resultados obtenidos se determina que la resistencia a compresión es lo suficientemente sensible para



detectar variaciones en el contenido de asfalto, y que el índice de resistencia retenida es un factor determinante para conocer la pérdida de resistencia a compresión de la mezcla en estudio, lo que permite definir cuán susceptible es al daño producido por la humedad.

Basados en los resultados volumétricos y mecánicos obtenidos, se han establecido recomendaciones de evaluación para evitar deterioros prematuros de la mezcla sometida en condiciones adversas, estableciendo un criterio de aceptación de la mezcla asfáltica puesta en obra que deja claro que este ensayo nos muestra una información muy valiosa, que complementa a los ensayos convencionales para la caracterización de los asfaltos que se utilizarán para la elaboración de mezclas asfálticas y que sirve en la toma de decisiones para elegir el diseño de mezcla que mejor se adecue a las características climatológicas del lugar donde se pretende aplicar.



INDICE

| | |
|--|----|
| I. INTRODUCCION..... | 1 |
| I.1 LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO..... | 3 |
| I.2 CARACTERÍSTICA DEL CLIMA..... | 5 |
| II. ANTECEDENTES HISTORICOS..... | 6 |
| III. JUSTIFICACION..... | 8 |
| IV. OBJETIVOS..... | 10 |
| IV.1. OBJETIVO GENERAL..... | 10 |
| IV.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 10 |
| V. MARCO TEORICO..... | 11 |
| V.1. AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS..... | 11 |
| V.1.A. Definición..... | 11 |
| V.1.B. Tipos..... | 11 |
| V.1.C. Propiedades generales de los agregados para mezclas asfálticas..... | 12 |
| V.1.D Gravedad específica de los agregados (peso específico)..... | 16 |
| V.2. EL ASFALTO..... | 18 |
| V.2.A Definición..... | 18 |
| V.2.B. Clasificación de los materiales asfálticos..... | 18 |
| V.2.C Propiedades generales de los asfaltos para mezclas asfálticas..... | 19 |
| V.2.D. Comportamiento físico-mecánico del asfalto..... | 22 |
| V.2.E Gravedad específica del Asfalto..... | 24 |
| V.3 CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE..... | 25 |
| V.3.A. Definición..... | 25 |
| V.3.B. Clasificación de las mezclas asfálticas..... | 25 |
| V.3.C. Propiedades deseables de las mezclas asfálticas..... | 26 |
| V.4 EVALUACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE..... | 33 |
| V.4.A Propiedades Volumétricas de las Mezclas Asfálticas..... | 33 |
| V.4.B Propiedades Mecánicas de las Mezclas asfálticas compactadas..... | 48 |
| VI. METODOLOGIA EXPERIMENTAL..... | 55 |
| VI.1 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES..... | 56 |
| VI.1.A Agregado mineral..... | 56 |
| VI.1.B Cemento Asfáltico..... | 58 |
| VI.1.C Mezcla Asfáltica..... | 60 |
| VI.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE..... | 61 |
| VI.2.A Ensayo Marshall..... | 66 |



| | |
|--|-----|
| VI.2.B Ensayo de Resistencia Retenida..... | 73 |
| VI.2.C Especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento..... | 77 |
| VII. RESULTADOS Y ANALISIS..... | 79 |
| VII.1.RESULTADO Y ANALISIS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS..... | 79 |
| VII.2. RESULTADO Y ANALISIS DE LABORATORIO DEL CEMENTO ASFALTICO..... | 81 |
| VII.3 RESULTADOS Y ANALISIS DE LA MEZCLA ASFALTICA..... | 83 |
| VII.3.A. Análisis de las propiedades volumétricas de la mezcla..... | 87 |
| VII.3.B. Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla..... | 94 |
| VII.3.D Análisis de especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento..... | 100 |
| VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 101 |
| VIII.1. Conclusiones..... | 101 |
| VIII.2. Recomendaciones..... | 106 |
| IX. GLOSARIO..... | 108 |
| X. BIBLIOGRAFIA..... | 111 |

XI. ANEXOS

XI ANEXO A - TABLAS

TABLA. A-1 Factores de corrección de la estabilidad medida para especímenes Marshall.

TABLA. A-2 Densidad absoluta del agua y factor de conversión K para diferentes temperaturas.

TABLA. A-3 Factor de corrección para asfalto con gravedad específica a 15.5°C (60°F) mayor o igual a 0.9654.

TABLA. A-4 Factor de corrección para asfalto con gravedad específica a 15.5°C (60°F) entre 0.8495 y 0.9653.

XI ANEXO B - GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS AGREGADOS.

XI ANEXO C - RESULTADOS DE PARAMETROS VOLUMETRICOS Y MECANICOS

XI.C1 Especímenes Marshall.

XI.C2 Especímenes de Resistencia Retenida.

XI.C3 Especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento

XI.C4 Resultados de ensayo AS-002.

XI ANEXO D – DISEÑO DE MEZCLA

XI ANEXO E. – FOTOGRAFIAS



INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1 Coordenadas Geográficas del proyecto | 3 |
| Tabla 5.1. Estabilidad. | 27 |
| Tabla 5.2: Durabilidad..... | 28 |
| Tabla 5.3: Impermeabilidad. | 29 |
| Tabla 5.4: Resistencia a la fatiga. | 30 |
| Tabla 5.5: Resistencia al deslizamiento. | 31 |
| Tabla 5.6: Trabajabilidad. | 32 |
| Tabla 6.1 Requisitos de calidad para agregados gruesos y finos..... | 56 |
| Tabla 6.2 Graduación de agregados para mezclas asfálticas. | 57 |
| Tabla 6.3 Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima | 58 |
| Tabla 6.4 Especificaciones para cemento asfáltico. | 59 |
| Tabla 6.5 Requisitos de diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente | 60 |
| Tabla 6.6 Mínimo Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) | 60 |
| Tabla 7.1 Dosificación de agregados para elaboración de la mezcla en planta. | 79 |
| Tabla 7.2: Resultados del agregado en la mezcla asfáltica. | 80 |
| Tabla 7.3 Asfalto AC-30 para mezcla asfáltica. | 81 |
| Tabla 7.3: Resultados de granulometría promedio de mezcla asfáltica. | 84 |
| Tabla 7.5 Comparación de las propiedades volumétricas de la mezcla. | 93 |
| Tabla 7.6: Variación de la densidad bulk de especímenes de resistencia retenida. | 98 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 Localización y red vial del departamento de Matagalpa. | 4 |
| Figura 1.2 Localización del Proyecto Pavimentación de la Carretera San Ramón – Muy Muy..... | 5 |
| Figura 5.1 Tipos de gravedades específicas de los agregados. | 16 |
| Figura 5.2 Componentes del diagrama de compactación de una Mezcla Asfáltica en Caliente. .. | 34 |
| Figura 5.3 Variación de densidad y contenidos de vacíos con aire en las Mezclas Asfálticas..... | 46 |
| Figura 5.4 Moldes de compactación para especímenes de resistencia retenida. | 52 |
| Figura 5.5 Grupos de especímenes para ensayo de resistencia retenida..... | 54 |



INDICE DE GRAFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico 7.1. Gráfico de viscosidad temperatura para cemento asfaltico tipo AC-30..... | 82 |
| Gráfico 7.1 Contenido de Asfaltos en la Mezcla. | 83 |
| Gráfico 7.2: Comparación del contenido de asfalto | 84 |
| Gráfico 7.3 Granulometría promedio de la Mezcla Asfáltica en caliente | 85 |
| Gráfico 7.4 Comparación de Relación Polvo- Asfalto. | 86 |
| Gráfico 7.6 Vacíos con aire (Va). | 88 |
| Gráfico 7.7 Comparación de Va. | 89 |
| Gráfico 7.8 Vacíos en los agregados minerales (V.M.A). | 90 |
| Gráfico 7.9 Comparación de V.M.A..... | 91 |
| Gráfico 7.10 Vacíos rellenos con asfalto (V.F.A). | 92 |
| Gráfico 7.11 Comparación de V.F.A..... | 93 |
| Gráfico 7.12 Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica (lbs). | 94 |
| Gráfico 7.13 Comparación de Estabilidad. | 95 |
| Gráfico 7.14 Flujo Marshall de la mezcla (1/100 plg). | 96 |
| Gráfico 7.15 Comparación de flujo. | 96 |
| Gráfico 7.16 Resistencia a compresión de especímenes de resistencia retenida..... | 98 |
| Gráfico 7.17 Índice de resistencia retenida de la mezcla (%). | 99 |
| Gráfico 7.18 Vacíos con aire de testigos extraídos de la carpeta de rodamiento..... | 100 |



LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO: Asociación Americana de carreteras y transportación oficial del estado. (American Association of State Highway and Transportation Officials).

ASTM: Sociedad Americana para pruebas y materiales. (American Society for Testing and Materials).

Dmm: Decimas de milímetro.

Dp: Relación polvo asfalto.

F. T. C: Facultad de Tecnología de la Construcción.

Gmb: Gravedad específica bruta de la mezcla.

Gmm: Gravedad específica teórica máxima de la mezcla.

INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

m.m: Unidad de longitud milímetros

M.T.I: Ministerio de Transporte e Infraestructura.

NIC-2000: Especificaciones Generales para la construcción de Caminos, Calles y Puentes en Nicaragua.

Pa-s: Unidad física de la viscosidad dinámica (pascal-segundo).

Pb: Porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla.

Pba: Porcentaje de asfalto absorbido.

Pbe: Porcentaje efectivo de asfalto.

TMN: Tamaño máximo nominal.



UNI: Universidad Nacional de Ingeniería.

Va: Vacíos con aire.

VMA: Vacíos en el agregado mineral.

Vfa: Vacíos rellenos de asfalto.

RTFO: Prueba de Rolamiento de Película Delgada. ASTM D2872 (Rolling Thin-Film Oven Test).



I. INTRODUCCION

En la construcción de una carretera, las carpetas asfálticas constituyen las capas con mayores exigencias dentro de la estructura del pavimento. Hay muchas fases involucradas y actividades diferentes que entran en el proceso de construcción de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Su elaboración, colocación y terminación son procesos complicados, donde intervienen muchos factores que definirán la calidad final de la capa.

Las mezclas asfálticas que forman estas capas se elaboran con áridos y ligante asfáltico, que respetan prescripciones y dosificaciones determinadas, con objeto de conseguir características estructurales y funcionales requeridas para garantizar su durabilidad durante el período de diseño, y a la vez, ofrecer seguridad y comodidad al usuario del camino. Estas exigencias se consiguen a través de determinadas propiedades, como estabilidad, resistencia a las deformaciones plásticas, resistencia a la fatiga, impermeabilidad, que dependen de la dosificación y de las características de los materiales empleados.

En Nicaragua y en la mayoría de los países latinoamericanos la evaluación de las mezclas suele aplicarse sobre:

- La composición de la mezcla, determinada mediante la realización de ensayo de extracción.
- La estabilidad y el contenido de vacíos de la mezcla, verificado mediante la realización del ensayo Marshall sobre el producto fabricado en planta.
- La compacidad conseguida en la ejecución, mediante la extracción de testigos de la carpeta de rodamiento.

En nuestro país, en los últimos 10 años se han presentado cambios drásticos de temperatura debido a los fenómenos del niño y de la niña. Estos cambios



generan que las mezclas asfálticas experimenten problemas de durabilidad durante su vida útil de servicio.

Actualmente existe la necesidad de profundizar en el análisis de la influencia que tienen sobre las mezclas asfálticas los agentes ambientales: agua, luz ultravioleta, gradientes de temperatura, aire. Las mezclas asfálticas al estar en contacto directo con el medio ambiente experimentan problemas de durabilidad debido principalmente a:

- Envejecimiento por oxidación que experimenta el cemento asfáltico, y por lo tanto las mezclas, cuando es solicitado a diferentes gradientes de temperatura y exposición a radiación ultra-violeta.
- Pérdida de adhesión y/o cohesión debido a la susceptibilidad del agregado pétreo por el agua en las mezclas asfálticas, resultando la reducción de resistencia o rigidez de la mezcla asfáltica.

Por lo anteriormente expuesto, en esta investigación se ejecutará una serie de actividades experimentales tendientes al análisis de la influencia que tiene el agua sobre el comportamiento de mezclas asfálticas en caliente utilizando el método de Resistencia retenida aplicada a un proyecto en ejecución como es el proyecto "**Pavimentación de la Carretera San Ramón – Muy Muy**", el cual consistirá en la medición de la pérdida de la resistencia a compresión que resulta de la acción del agua sobre mezcla asfáltica compactada, cada uno de los cálculos se harán sujetos y amparados en el ensayo AASHTO T165.

En este estudio no se tendrán en cuenta el efecto que puede causar el aire y los cambios de temperatura o la combinación aire-agua-temperatura tal como ocurre in situ.

Cabe señalar que se harán los estudios en función de la mezcla asfáltica en caliente que actualmente se está colocando y compactando en el proyecto antes mencionado.



I.1 LOCALIZACION GENERAL DEL PROYECTO.

El proyecto "Pavimentación de la Carretera San Ramón Muy Muy" se localiza en el departamento de Matagalpa. Siendo el camino que une los Municipios de San Ramón y Muy Muy, con una longitud total de 40.36 km, inicia en la entrada al poblado de San Ramón y termina en la intersección con la carretera Matigüas - Esquipulas. Se encuentra a 145 km de la ciudad de Managua y 12 km de la ciudad de Matagalpa (Cabecera Departamental). El proyecto se ubica en las siguientes coordenadas:

Tabla 1.1 Coordenadas Geográficas del proyecto

| PROYECTO | LATITUD | LONGITUD |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|
| INICIO | Norte 12 ⁰ 55' 30" | Oeste 85 ⁰ 50' 32" |
| FIN | Norte 12 ⁰ 46' 05" | Oeste 85 ⁰ 38' 12" |

El tramo en estudio corresponde desde la Comarca El Tepeyac (Estac 4+280) hasta la comarca Ocalca (Estac. 14+040), con una longitud total de 10 km.



Figura 1.1 Localización y red vial del departamento de Matagalpa.



Fuente: Ministerio de transporte e infraestructura MTI.



Figura 1.2 Localización del Proyecto Pavimentación de la Carretera San Ramón – Muy Muy.



Fuente: Google Earth

I.2 CARACTERÍSTICA DEL CLIMA.

El municipio de San Ramón se caracteriza por tener un clima de tipo sabana tropical, presenta un relieve muy variado, la altura sobre el nivel del mar es de 640.93 metros y su temperatura media anual es de 25°C. Las precipitaciones pluviales se encuentran entre los 1,000 a 2,500 mm, caracterizándose por una buena distribución durante el periodo de invierno¹.

¹ Fuente: Caracterización Municipal. AMUNIC-INETER



II. ANTECEDENTES HISTORICOS

El desempeño de las capas asfálticas en los pavimentos construidos en los últimos diez años en Nicaragua, particularmente después del huracán Mitch, ha sido variable, elaborándose cambios en sus propiedades visco elásticas, incorporando agregados de alta competencia (angularidad, limpieza, dureza, etc.) aumentando en consecuencia la estabilidad Marshall, la cual, se ve influenciada por la fricción interna de los agregados en la mezcla, la cohesión aportada por el ligante asfáltico y la viscosidad de la masa, generándose así una mezcla de alto desempeño².

En algunos casos se ha observado deterioro prematuro de las carpetas asfálticas, mientras en otros casos la superficie ha mostrado mayor resistencia ante los agentes actuantes: las cargas de tráfico, las variables medioambientales y particularmente el efecto de las precipitaciones. No obstante, con independencia de la capacidad estructural de la capa asfáltica, ha sido una constante en la mayoría de carreteras del país la aparición de grietas longitudinales en la superficie de rodamiento. En otros casos han aparecido como grietas transversales con cierto patrón de regularidad, con cierta distancia entre grietas que luego se ha incrementado, interconectándose, hasta presentar la apariencia de “malla de gallina” o más comúnmente conocida como “piel de cocodrilo”. Es sabido que las fallas por agrietamiento de las capas asfálticas pueden ser un indicativo de deficiencias, ya sea en el diseño, calidad de los materiales, por factores ambientales o en defectos de construcción, o quizás por una combinación de estos factores.

En teoría, el agrietamiento de las capas asfálticas es una señal de “fatiga” de la carpeta o capas como resultado de la acumulación de esfuerzos horizontales de tensión generados por las cargas transmitidas por los vehículos pesados.

² *Agrietamientos de las capas asfálticas en las carreteras de Nicaragua*². Msc. Oswaldo Chávez Arévalo. Especialista en Pavimentos .Portal Construcción Edición No. 48



De acuerdo a la teoría elástica, estas grietas se inician en la fibra inferior de la capa asfáltica o cerca de ella, propagándose luego hacia arriba para aparecer en la superficie, siendo visible al ojo humano cuando ya el daño ha ocurrido y ha atravesado toda la capa. Sin embargo, estudios realizados en fallas recientes observadas en algunos pavimentos, han ofrecido evidencias que contradicen esta teoría. En la práctica, se ha observado con frecuencia la aparición de grietas que se concentran en la superficie de la capa, en los primeros 10 milímetros y se conocen como agrietamiento de "arriba-abajo"³.

Para prevenir el agrietamiento de las capas asfálticas y el posible deterioro acelerado de la estructura del pavimento (en los municipios con clima tropical de sabana), éstas deben recibir el mantenimiento adecuado y oportuno. El fenómeno del agrietamiento de la superficie, como se ha demostrado en repetidos casos recientes, permite el ingreso del agua durante la temporada lluviosa, lo cual con el paso de los vehículos pesados aumenta la presión interna en la mezcla, que debilita la cohesión o liga entre partículas, aumentándose el daño (las grietas) hasta afectar toda la capa. En esta fase el agua ingresa hacia las capas granulares y afecta su capacidad soporte, magnificándose el proceso y conduciendo al daño de toda la estructura. De tal manera que el mantenimiento de la capa asfáltica debería ejecutarse antes que se desencadene el daño hacia la base y las otras capas.

³ *Agrietamientos de las capas asfálticas en las carreteras de Nicaragua*³. Msc. Oswaldo Chávez Arévalo. Especialista en Pavimentos .Portal Construcción Edición No. 48



III. JUSTIFICACION

Existe cierto convencimiento general al pensar que la evaluación de las capas asfálticas resulta muchas veces insatisfactorio, pero también es importante reconocer que la evaluación tiene características propias que dificultan la puesta en práctica de nuevas metodologías de evaluación, que complementen las actualmente utilizadas, con el objetivo de determinar con mayor eficacia la calidad de la mezcla aplicada, y es por ello que se requiere una adaptación específica de las mismas.

Durante el proceso de transporte, extendido y compactación de la mezcla pueden producirse fallos y deterioros, como escurrimiento del ligante, segregación del arido grueso, trituración del material mineral, etc; que pueden influir en la calidad del producto final y que de este modo no son considerados ni detectados .

Actualmente la evaluación de la mezcla suele establecerse sobre las características volumétricas y sobre la resistencia a las deformaciones plásticas (estabilidad Marshall), ignorando otras propiedades igualmente significativas en el comportamiento del material como es la resistencia a la compresión.

Muchas veces se han detectado problemas mecánicos y resistentes en las mezclas colocadas, como baja cohesión, que no han sido detectados con los controles habituales. Esto significa que el producto final puede bajar su calidad, debido a variaciones en la mezcla, sin afectar a las características Marshall ni a la densidad final de los testigos, quedando esta pérdida momentáneamente oculta y sin conocer sus causas.

Asimismo, en el momento de tomar la decisión de aceptar o rechazar la capa, empleando únicamente el control de densidades sobre el producto final, se desconoce su calidad mecánica y resistente ante los efectos ambientales.



La evaluación de estas dos propiedades mediante algún tipo de ensayo permitiría estudiar el comportamiento de la capa asfáltica construida, y analizar la susceptibilidad de la mezcla al agua.

Las limitaciones que presenta el actual procedimiento de evaluación de las mezclas asfálticas en caliente, carente de un análisis de las características mecánicas del producto final tomando en cuenta los efectos ambientales, se agudiza en los lugares donde las precipitaciones son muy constantes y frecuentes, como es la zona donde se desarrolla el proyecto antes mencionado; por lo cual se hace necesario conocer si la mezcla asfáltica en caliente que se está aplicando es susceptible a la humedad, este ha sido el motivo para la investigación desarrollada en la presente monografía.

De tal manera que de ser el caso tomar las medidas de prevención pertinentes para proteger dicha mezcla y que la carretera sea más duradera en su vida útil, en caso contrario con este estudio se logre determinar y ratificar la calidad de esta mezcla bajo el método de Resistencia Retenida.



IV. OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL.

- Evaluación de la susceptibilidad bajo los efectos del agua en mezcla asfáltica en Caliente del Proyecto **“Pavimentación de la Carretera San Ramón - Muy Muy”**, utilizando el Método de Resistencia Retenida (AASHTO T165).

IV.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Presentar un documento que detalle el procedimiento de fabricación de mezcla asfáltica compactada en laboratorio, con el propósito de medir el efecto del agua sobre la resistencia a compresión de dicha mezcla.
- Detallar la forma de cálculo para la obtención de los parámetros normalmente usados en la evaluación de mezcla.
- Comparar las propiedades volumétricas obtenidas del procedimiento Marshall con las obtenidas del procedimiento de Resistencia Retenida.
- Conocer la variación de la resistencia a la compresión que resulta de la acción del agua, sobre la mezcla asfáltica en caliente compactada que contenga cemento asfáltico AC-30.



V. MARCO TEORICO

V.1. AGREGADOS PARA MEZCLAS ASFALTICAS.

V.1.A. Definición.

Los agregados se definen como cualquier material mineral, en forma de partículas graduadas o fragmentos que adecuadamente proporcionados en diferentes tamaños, forman parte de una mezcla asfáltica.

V.1.B. Tipos.

Los agregados utilizados para mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a diferentes parámetros, entre ellos:

a. Según su tamaño.

Gruesos: Fracción del agregado que pasa el tamiz de 2 pulgada y es retenida en el tamiz No. 4.

Finos. Fracción de Agregado que pasa el tamiz No. 4 y es retenida en el tamiz No. 200.

Polvo Mineral: Fracción del agregado fino que pasa el tamiz No. 200.

b. Según su origen.

Naturales: Son gravas y arenas encontradas en depósitos de ríos o minas, y son empleadas sin ningún procesamiento adicional, salvo el tamizado o lavado, en caso de que ello sea necesario.

Procesados: Son gravas o rocas que se someten a procesos de trituración y tamizado para lograr incrementar su resistencia, mejorar su granulometría,



reducir el tamaño máximo de las partículas, cambiar su forma y mejorar su textura superficial.

Estabilizados: Son materiales locales que por no lograr alcanzar propiedades físicas que les permitan ser empleados en las capas del pavimento, son mejorados mediante la incorporación de agentes externos tales como cemento y cal.

V.1.C. Propiedades generales de los agregados para mezclas asfálticas.

Independientemente del tipo de mezcla asfáltica, las siguientes propiedades son deseables en los agregados que la constituyen:

- Granulometría y tamaño adecuado.
- Resistencia y durabilidad.
- Forma cúbica.
- Baja porosidad.
- Textura superficial adecuada.
- Buena adherencia.
- Limpieza.

a. Granulometría y tamaño.

Una de las características más importantes de los agregados que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas es la granulometría. De acuerdo con esta los materiales pueden clasificarse en:

Densamente gradados: Son agregados que contienen cantidades adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos.



Granulometrías abiertas: Son materiales con una gradación incompleta, que contienen menos finos que las densas.

Granulometrías discontinuas: Son agregados que presentan discontinuidades o saltos en su gradación.

Granulometrías uniformes: Estos materiales están constituidos por agregados de prácticamente un tamaño; y son generalmente utilizados en sellos y tratamientos superficiales.

b. Resistencia y durabilidad.

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos de manipuleo y compactación en las etapas de construcción y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el período de acción bajo el tráfico. Estos efectos tienden a triturar y degradar las partículas. La habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como resistencia.

Los agregados deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la desintegración y degradación de las partículas, lo cual normalmente se produce, y acelera, en presencia de agua.

c. Forma de las partículas.

La forma de la partícula es también otro factor importante en los agregados, ya que afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que tienden a entrelazarse cuando son compactadas. El mejor entrelazamiento generalmente se da con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas, casi siempre por trituración.



Las partículas alargadas o planas son indeseables, ya que aun cuando resisten el manipuleo, tienden a romperse y degradarse bajo los efectos de la compactación y del tráfico. Los agregados con partículas de forma redondeada son de más fácil compactación, con lo que se logran, aparentemente mayores zonas de contacto entre las mismas. Obteniéndose mayor estabilidad, pero debido a su forma, son muy susceptibles a "rodar" o desplazarse al ser sometidas al tráfico, es decir a largo plazo tienden a deformarse.

d. Textura superficial.

Se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación (llamada estabilidad), debido a la fricción que se desarrolla entre las diversas partículas, como consecuencia del grado de textura que presentan los granos.

Adicionalmente, las películas de asfalto se adhieren más fácilmente a las superficies rugosas que a las superficies lisas. Las gravas naturales son frecuentemente trituradas durante su procesamiento, debido a que generalmente contienen superficies lisas. El trituramiento produce texturas superficiales rugosas en las caras fracturadas, así como cambios en la forma de la partícula.

e. Porosidad.

Se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos sean algo poroso, para que el asfalto "penetre" dentro de ellos y se adhiera mecánicamente a las partículas, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de las mismas ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua. Los agregados muy porosos, sin embargo, al absorber mucho asfalto, requieren contenidos muy elevados de ligante para mantener su contenido efectivo, lo cual puede resultar antieconómico.



f. Adherencia.

Es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, su textura y composición química, también en parte importante del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

Los materiales hidrófobos, aquellos que repelen la humedad, son los que mejor adherencia tienen con el asfalto y son de naturaleza básica, como las calizas.

g. Limpieza

Los agregados gruesos deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

El agregado fino no debe contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños.

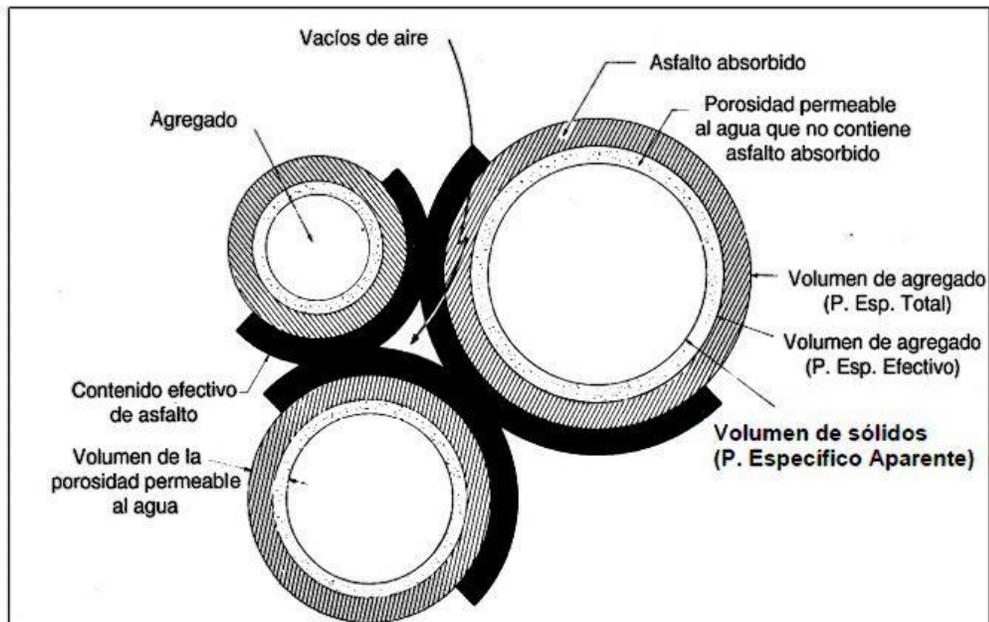
V.1.D Gravedad específica de los agregados (peso específico).

La gravedad específica (G_s) se define como la relación entre el peso de un volumen de una cantidad determinada de agregados y el peso de un volumen igual de agua. Este valor se emplea en los cálculos volumétricos de una mezcla asfáltica.

En las mezclas asfálticas se emplean tres tipos diferentes de gravedades específicas, tal como se ilustra en la figura 5.1:

- Gravedad específica bulk. (G_{sb}).
- Gravedad específica aparente. (G_{sa}).
- Gravedad específica efectiva. (G_{se}).

Figura 5.1 Tipos de gravedades específicas de los agregados.



Fuente: Apuntes de Pavimento Vol. 2 Ing. Gustavo Corredor.

De acuerdo a lo indicado en la figura 5.1 el volumen empleado en el cálculo de la gravedad específica bulk incluye el volumen total de agregados que es igual a la suma del volumen de sólidos más el volumen de la porosidad permeable al agua,



el valor de la gravedad específica bulk es el menor de las tres gravedades específicas que se emplean en la evaluación de mezclas.

La gravedad específica aparente (G_{sa}) se calcula empleando solo el volumen de sólidos, por lo cual resulta mayor a la gravedad específica bulk (G_{sb}).

La gravedad específica efectiva (G_{se}) se calcula empleando el volumen de sólidos más el volumen de la porosidad permeable al agua que no contiene asfalto absorbido. El valor de G_{se} es, por lo tanto, mayor que la G_{sb} pero menor a G_{sa} , ya que considera un volumen que está comprendido entre el volumen bulk y el volumen aparente, y es llamado volumen efectivo.

En los cálculos volumétricos asociados con los agregados se emplea también la gravedad específica saturada superficialmente seca (G_{ss}), pero este valor no se utiliza en las mezclas asfálticas en caliente ya que los agregados son secados y calentados tanto en laboratorio como en planta en caliente, por lo cual pierden toda la humedad.

En el capítulo XI Anexo B se describe brevemente los métodos y las formulas empleadas en el procedimiento de laboratorio para calcular los valores de gravedades específicas de los agregados gruesos y finos.



V.2. EL ASFALTO.

V.2.A Definición.

La ASTM define al asfalto o cemento asfáltico como "Un cementante de color marrón oscuro a negro en el que sus componentes predominantes son los bitumen que pueden ser naturales u obtenidos como residuo en la destilación del petróleo crudo⁴. Así mismo la ASTM define bitumen como una clase de sustancia cementante negro o color oscuro (sólido, semisólido o viscosa) natural o manufacturado, compuesto principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular de los cuales el asfalto y el alquitrán son los típicos.

V.2.B. Clasificación de los materiales asfálticos.

Como se mencionó anteriormente, los productos asfálticos para pavimentos se obtienen de la refinación del crudo, estos son:

- a. **Asfaltos rebajados:** Materiales asfálticos líquidos compuestos por asfalto y un solvente, utilizados regularmente en la elaboración de carpetas de mezclas en frío e imprimaciones. Actualmente peligrosos para el medio ambiente debido a que el solvente se evapora al esparcirlo en el pavimento.
- b. **Emulsiones asfálticas:** Materiales asfálticos líquidos estables, compuestos por la unión de agua y asfalto.
- c. **Asfaltos soplados con aire:** Son asfaltos sometidos a un tratamiento de soplado de aire a altas temperaturas para proporcionar ciertas características deseadas para la realización de ciertos trabajos como aplicaciones hidráulicas, material para techar, etc.
- d. **Asfaltos AC:** Son los cementos asfálticos obtenidos del proceso de destilación del petróleo. También se les conoce como asfaltos no modificados.

⁴ ASTM D8 Terminología Estándar que se Relaciona con Materiales para los Caminos de Pavimentos.



- e. **Asfaltos Modificados:** Son los cementos asfálticos combinados con algún polímero para mejorar las propiedades físicas de este.

V.2.C Propiedades generales de los asfaltos para mezclas asfálticas.

El asfalto posee las siguientes propiedades físicas, mismas que son determinantes para calificar la capacidad de un asfalto:

a. Consistencia.

La consistencia se define como el grado de fluidez (plasticidad), o resistencia a la deformación, de un material asfáltico a una temperatura determinada. Esta es una característica fundamental para cualquier asfalto, y que los permite definir como termoplásticos, es decir que su consistencia cambia con la temperatura, mientras más caliente esté un asfalto menor será su viscosidad, es decir más fluido.

Es muy importante conocer la variación de la consistencia con los cambios en la temperatura de los asfaltos, ya que de ella se determina la temperatura a la cual se debe calentar el asfalto para ser mezclado con los agregados en planta, y también la temperatura a la cual la mezcla debe ser compactada en el sitio de colocación.

Experimentalmente se ha determinado que el rango de viscosidades que debe alcanzar un cemento asfáltico en el momento de ser mezclado con el agregado debe estar entre los 0.15 y 0.19 Pa-s⁵. Con estas viscosidades el asfalto será suficientemente fluido como para ser bombeado y mezclado con el agregado para lograr un adecuado cubrimiento de las partículas del agregado, pero al mismo tiempo ser suficientemente viscoso para no drenar libremente durante el tiempo que se está mezclando.

⁵ *Apuntes de Pavimento. Vol. 2 Ing. Gustavo Corredor.*



La temperatura a la que la mezcla debe ser compactada, corresponde a aquella a la que el cemento asfáltico presente una viscosidad entre los 0.25 y 0.31 Pa-s. Cuando el asfalto esté a estas viscosidades podrá actuar como un fluido viscoso que permita lubricar las partículas de agregado ya cubiertas con el asfalto en forma tal que estas logren su mejor acomodo y así la mayor densidad posible, pero una vez compactada la mezcla, debe volverse lo suficientemente viscoso para mantener los agregados unidos a lo largo de la vida de servicio de la capa asfáltica.

Actualmente se utiliza la curva viscosidad-temperatura con el fin de determinar las temperaturas para alcanzar el rango de viscosidades de mezclado (0.15 a 0.19 Pa-s y 0.25 a 0.31 Pa-s). Para su empleo debe conocerse la viscosidad del asfalto propuesto a dos temperaturas diferentes. Cabe mencionar que el gráfico se encuentra en unidades Pa-s, deben llevarse a esta unidad los resultados de los ensayos de viscosidad absoluta a 60°C que es reportado en poises (P) y los de viscosidad cinemática a 135°C que son reportados en centistokes (cSt). Para ello deben emplearse los siguientes factores de conversión.

$$1P = 0.1 Pa - s \quad (1)$$

$$1cSt = 0.001 Pa - s \quad (2)$$

Cabe mencionar que la temperatura de mezclado en obra no es la obtenida con este gráfico, sino que normalmente estará entre los 5 y 10°C menos que la obtenida en laboratorio. Al igual que en el caso de la temperatura de mezclado, la temperatura de compactación en campo no será exactamente la leída de este gráfico, sino que, aun cuando sea cercana a esta, debe ser fijada en obra en base a la respuesta de la mezcla a las condiciones de compactación: espesor de capa, capacidad de los equipos de compactación, etc. La aplicabilidad del gráfico se realizará en los capítulos siguientes para un mayor entendimiento.



b. Durabilidad.

La durabilidad se define como la capacidad de un asfalto para mantener sus propiedades originales cuando es sometido a los procesos normales de trabajo de obra. Estos procesos son los de almacenamiento, mezclado en planta, transporte, extendido y compactación en el pavimento, y luego durante la etapa de servicio en obra. Esta depende no solamente del material asfáltico sino del diseño de mezcla, características del agregado, procesos de producción y compactación en obra así como de las condiciones climatológicas del sitio en el cual se construye el pavimento.

c. Adherencia.

La adherencia es la capacidad de un asfalto para mantenerse unido a un agregado después de enfriarse, aun en presencia de agua y paso de los vehículos. Esta se mide en la combinación asfalto-agregado ya sea por ensayos de inmersión estática y mejor aún por la pérdida de la resistencia mecánica de la mezcla, comparando la resistencia de las mezclas condicionadas y la de mezclas normalizadas.

d. Cohesión.

La cohesión es la habilidad de un material asfáltico para mantener firmemente unidas las partículas de agregado, después de que la mezcla ha sido compactada y se ha enfriado a la temperatura ambiente.

e. Pureza.

La pureza de un asfalto está relacionada con el grado de carencia de materiales insolubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos provenientes de proceso de refinación son, en forma general, más del 99% soluble⁶ y por lo tanto son

⁶ *Apuntes de Pavimento Vol.2 Ing. Gustavo Corredor.*



bitúmenes puros. Normalmente, por otra parte, la pureza también se relaciona con que los asfaltos no contengan agua.

V.2.D. Comportamiento físico-mecánico del asfalto.

Por las características visco-elásticas del asfalto, el mismo presenta una variedad de comportamientos, tanto ante cargas como a temperatura, los cuales se describen a continuación:

a. Reacción del asfalto ante altas temperaturas.

En condiciones calientes o bajo cargas aplicadas suavemente (movimiento despacio de vehículos pesados), el asfalto actúa como un líquido viscoso. Bajo estas circunstancias, el agregado es la parte de la mezcla asfáltica que soporta la carga, mucho más que el asfalto.

Los asfaltos líquidos exhiben comportamiento plástico porque una vez que empiezan a fluir, no retornan a su posición original. Esta es la razón del por qué en climas cálidos algunas mezclas menos estables, empiezan a fluir bajo las cargas de tráfico (cargas repetidas) y producen una acumulación de deformación al paso de los vehículos (deformación permanente). Produciendo de esta manera ahuellamientos, al mismo tiempo que pierde adherencia entre el agregado y el asfalto.

b. Reacción del asfalto ante bajas temperaturas.

En épocas frías o bajo cargas aplicadas rápidamente, el asfalto actúa como un sólido elástico. Un sólido elástico posee un esfuerzo último el cual, cuando es cargado más allá de su nivel, puede fracturarse.

Las grietas por temperatura ocurren en las capas asfálticas en climas fríos cuando una carga térmica es aplicada por los esfuerzos de tensión



internos que pueden suceder en el pavimento cuando se contrae, mientras está siendo restringida por las capas inferiores (base y sub-base).

c. Reacción del asfalto a temperatura ambiente.

Cuando el asfalto se encuentra a temperatura ambiente, la capa asfáltica tiende a comportarse de las dos formas descritas anteriormente, líquida plástica y sólida elástica, lo cual permite que el asfalto tenga una buena adherencia con el agregado. Por otro lado esto explica el buen funcionamiento de este, porque utiliza las ventajas de ambos estados, por un lado al calentarse se fluidifica cubriendo el agregado, formando así una mezcla. Después una vez que el asfalto se enfría, este trabaja como ligante uniendo al agregado formando una mezcla sólida, la cual, en su estado final se comporta de manera visco-elástica.

d. Envejecimiento del asfalto.

La "oxidación" es una reacción química del asfalto cuando este entra en contacto con el ambiente, la cual afecta al cemento asfáltico ocasionando que se vuelva más frágil, ya que existe un endurecimiento excesivo de la carpeta. Y a pesar que esta reacción generalmente se da en forma lenta, esta puede acelerarse cuando el asfalto está expuesto a altas temperaturas. Por otro lado las carpetas asfálticas con un número considerable de años, por no llamarlas antiguas, o las que sufrieron una mal compactación son candidatas perfectas para presentar oxidación, la primera por el deterioro, y la segunda por que al estar mal compactada sufre un mayor porcentaje de vacíos, lo cual genera una mayor penetración del oxígeno en la mezcla.

Estas reacciones del cemento asfáltico ante las distintas temperaturas descritas anteriormente son conductas generales para cualquier asfalto, sin embargo, estas pueden variar según la capacidad de las propiedades físico-mecánicas del mismo para mejorar su comportamiento.



V.2.E Gravedad específica del Asfalto.

Se define como la relación de su masa a una temperatura determinada y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura. La gravedad específica de un asfalto cambia cuando el asfalto se expande al ser calentado.

El valor de ensayo para esta propiedad normalmente no se determina en obra sino que es tomada directamente del Certificado de calidad que remite la refinería cuando suministra un despacho de material al contratista. En la mayoría de los casos este valor es reportado a una temperatura de 15.5°C (60°F).

Para el ingeniero de pavimentos es muy importante conocer el valor del peso específico (G_b) del material asfáltico a la temperatura de 25°C, ya que a esa temperatura es como participa el valor de G_b en los diseños y evaluación de las mezclas asfálticas. La gravedad específica debe ser determinada en laboratorio a ambas temperaturas, para disponer de la información necesaria para los cálculos requeridos en un diseño de mezcla.

La gravedad específica del asfalto a 25°C puede ser determinada a partir de la temperatura de 15.5°C mediante la siguiente ecuación⁷:

$$G_{b25^{\circ}C} = G_{b15.5^{\circ}C} \times M_t \times (G_{w15.5^{\circ}C} / G_{w25^{\circ}C}) \quad (3)$$

Dónde:

$G_{b25^{\circ}C}$ = Peso específico del asfalto a 25°C.

$G_{b15.5^{\circ}C}$ = Peso específico del asfalto a 15.5°C.

M_t = Multiplicador para $t=25^{\circ}C$ descrito en la tabla 3 y 4 (ver capítulo XI anexo A) en función de la gravedad específica a 15.5°C y de la temperatura de transporte del asfalto.

$G_{w15.5^{\circ}C}$ = Gravedad específica del agua a 15.5°C = 0.9988 gr/cm³ (valor constante).

$G_{w25^{\circ}C}$ = Gravedad específica del agua 25°C = 0.9970 gr/cm³ (valor constante).

⁷ Fuente: *Apuntes de Pavimentos. Vol. 2. Ing. Gustavo Corredor.*



V.3 CARACTERIZACION DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

V.3.A. Definición.

Se entiende por mezcla asfáltica a la mezcla de agregados minerales pétreos y asfalto, de tal manera que las partículas queden cubiertas por una película continua de este último.

V.3.B. Clasificación de las mezclas asfálticas.

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

a. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.

Mezclas cerradas o densas: Son las más empleadas en capas asfálticas, puesto que su bajo porcentaje de vacíos con aire de 3 a 5% las vuelve casi impermeables.

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

Mezclas abiertas: La proporción de vacíos con aire supera el 12%, la estructura formada adquiere resistencia por rozamiento interno.

Mezclas porosas o drenantes: La proporción de vacíos con aire es superior al 20%, tienen de este modo una gran permeabilidad, permiten evacuar el agua de lluvia rápidamente al utilizarlas como capas de pavimento. Difieren de las mezclas cerradas en que su granulometría está formada por un bajo contenido de agregado fino para alcanzar tanta porosidad y suelen utilizarse asfaltos modificados para proporcionar mayor durabilidad.



Tanto las mezclas abiertas como porosas tienen características y comportamiento muy diferentes a las cerradas y semi-cerradas, y en consecuencia necesitan otros métodos de dosificación y ensayos, por lo que su estudio no se incluye en este trabajo.

b. Por el tamaño máximo del agregado pétreo.

Mezclas gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado excede los 10 mm.

Mezclas finas: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico.

c. Por la granulometría.

Mezclas continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregados pétreos en el uso granulométrico.

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

V.3.C. Propiedades deseables de las mezclas asfálticas.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste, de un modo muy general, en seleccionar el tipo y la granulometría de los agregados a utilizar, más el tipo y el contenido de ligante, de manera tal que se cumplan los requerimientos específicos del proyecto para obtener las propiedades pretendidas en una mezcla, estas propiedades son:

a. Estabilidad.

La estabilidad es la capacidad para resistir las tensiones que provocarán las cargas del tráfico sin deformarse. Si un pavimento es estable, quiere decir que es



capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, si es inestable desarrolla ahuellamientos (roderas), ondulaciones y otros defectos que indican cambios en la mezcla. En la siguiente tabla se plantea las siguientes causas y efectos relacionados con la baja estabilidad.

Tabla 5.1. Estabilidad.

| ESTABILIDAD BAJA | |
|---|--|
| Causa | Efecto |
| Exceso de asfalto en la mezcla. | Ondulaciones, Ahuellamientos y exudación. |
| Exceso de agregado de tamaño medio en la mezcla. | Baja resistencia, arrollamiento y dificultad para la compactación. |
| Agregado redondeado, con pocas o ninguna caras fracturadas. | Ahuellamientos |

Fuente: Instituto del Asfalto (MS-22) 1,991.

b. Durabilidad.

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir deterioros diversos tales como baches, fisuras, peladuras, etc., provocados por la acción del tráfico u otras agresiones externas, como la radiación solar, la oxidación del ligante producida por el aire y el agua, el derrame de aceites y combustibles.

El envejecimiento de las mezclas asfálticas se manifiesta por microfisuras, desenvuelta del agregado grueso, etc. Es considerado un fenómeno muy complejo, por un lado debido a la variedad de causas que lo provocan y por otro a la dificultad para definir los procesos de tipo físico-químico que se producen. Algunos de estos procesos son irreversibles, otros pueden detenerse o minimizarse mediante el empleo de rejuvenecedores que actúan sobre el ligante de la mezcla devolviéndole sus características reológicas iniciales.



También se puede mejorar la durabilidad de una mezcla utilizando la mayor cantidad de asfalto posible, usando una granulometría densa de agregado resistente a la separación (buena adherencia asfalto-agregado) y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. Al aumentar el espesor de la película de asfalto se consigue que no envejezca tan rápido, y al disminuir el porcentaje de vacío disminuye la penetración del aire y del agua. La granulometría densa también aumenta la impermeabilidad de la mezcla y la buena adherencia asfalto-agregado permite soportar la acción de las cargas y del agua, que tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado.

Algunos motivos de poca durabilidad se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla 5.2: Durabilidad.

| POCA DURABILIDAD | |
|--|--|
| Causa | Efecto |
| Bajo contenido de asfalto. | Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida del agregado. |
| Alto contenido de vacíos con aire debido al diseño o a la falta de compactación. | Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración. |
| Agregados susceptibles al agua. (Hidrófilos). | Desprendimiento de la película de asfalto, dejando un pavimento desgastado o desintegrado. |

Fuente: Instituto del asfalto (MS-22) 1,991.

c. Impermeabilidad.

Es la resistencia de la mezcla asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior, esta propiedad se relaciona con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, aunque el grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.



De todos modos siempre se acepta que una mezcla tenga un cierto grado de permeabilidad, que esté dentro de límites especificados en el método Marshall (ver capítulo VI.1.C).

A continuación se ilustra la siguiente tabla de causa y efecto de la poca impermeabilidad.

Tabla 5.3: Impermeabilidad.

| MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE | |
|------------------------------------|---|
| Causa | Efecto |
| Bajo contenido de asfalto. | Las películas delgadas de asfalto causarán un envejecimiento temprano y una desintegración de la mezcla. |
| Alto contenido de vacíos con aire. | El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el firme, causando oxidación y desintegración de la mezcla. |
| Compactación inadecuada. | El contenido de vacíos con aire es alto, y así permite el paso del agua. |

Fuente: Instituto del asfalto (MS-22) 1,991.

d. Flexibilidad.

Es la capacidad de una mezcla asfáltica que le permite adaptarse a las deformaciones por asentamientos de la base y sub-rasante sin agrietarse. La flexibilidad es una característica deseable en toda mezcla debido a que generalmente todas las sub-rasantes se asientan o se expanden, productos de cambios volumétricos del suelo.



e. Resistencia a la fatiga.

Es la resistencia a la flexión bajo las cargas repetidas del tráfico; manifestada por una pérdida de rigidez y posteriormente por una figuración generalizada conocida como piel de cocodrilo. Este deterioro se debe al comportamiento fundamentalmente elástico de las mezclas cuando las cargas pasan a velocidades elevadas y a bajas temperaturas. Estas cargas normalmente muy inferiores a la de rotura producen un agotamiento progresivo por fatiga del material.

Entre los factores que pueden influir en la resistencia a la fatiga de la mezcla está: la porosidad, cuando el porcentaje de vacíos con aire de una mezcla aumenta, por diseño o por falta de compactación. También bajará esta resistencia si el asfalto ha envejecido considerablemente. En la siguiente tabla se pueden apreciar algunos motivos de poca resistencia a la fatiga:

Tabla 5.4: Resistencia a la fatiga.

| MALA RESISTENCIA A LA FATIGA. | |
|--------------------------------------|--|
| Causa | Efecto |
| Bajo contenido de asfalto. | Agrietamiento por fatiga. |
| Alto contenido de vacíos con aire. | Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga. |
| Falta de compactación. | Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga. |
| Espesor insuficiente de capa. | Flexión excesiva, seguida por agrietamiento por fatiga. |

Fuente: Instituto del asfalto (MS-22) 1,991.



f. Resistencia al deslizamiento.

Es la capacidad de una superficie de pavimento asfáltico para ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos, especialmente cuando la superficie está mojada. El neumático debe mantenerse en contacto con el pavimento en lugar de rodar sobre la película de agua, fenómeno conocido como hidropelaje.

Es evidente que una superficie áspera y rugosa tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa, y para obtener estas características hay que evaluar la textura del agregado y su resistencia al pulimento así como de la granulometría de la mezcla.

También es importante considerar que una mezcla con exceso de asfalto o una mezcla inestable, puede deformarse demasiado y provocar exudación ocasionando problemas de deslizamiento.

La tabla siguiente permite ver algunos casos de poca resistencia al deslizamiento.

Tabla 5.5: Resistencia al deslizamiento.

| POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO. | |
|---|---|
| Causa | Efecto |
| Exceso de asfalto. | Exudación, poca resistencia al deslizamiento. |
| Agregado mal graduado o con mala textura. | Pavimento liso, posibilidad de hidropelaje. |
| Agregado pulido en la mezcla. | Poca resistencia al deslizamiento. |

Fuente: Instituto del asfalto (MS-22) 1,991.



g. Trabajabilidad.

Es la facilidad con que una mezcla puede ser extendida y compactada, que puede conseguirse modificando el tipo de agregado y su granulometría. La tendencia a segregarse de una mezcla gruesa puede atenuarse mediante el añadido de un agregado fino (agregado de tamaño mediano, agregado liso y redondeado) o mayor contenido de asfalto, cuidando que también se verifiquen los criterios de contenido de vacíos con aire y estabilidad.

El exceso de polvo mineral puede afectar la trabajabilidad de la mezcla, al darle demasiada viscosidad, complicando su compactación.

Por otro lado, una mezcla muy trabajable puede resultar demasiado inestable para ser colocada y compactada correctamente.

En menor medida también puede afectar el asfalto, puesto que una temperatura demasiado baja en la mezcla afectará la viscosidad del asfalto y volverá a la mezcla poco trabajable. También el tipo y porcentaje de asfalto pueden influir en esta propiedad. La mala trabajabilidad puede deberse a los siguientes factores que se muestran a continuación:

Tabla 5.6: Trabajabilidad.

| MALA TRABAJABILIDAD | |
|-------------------------------------|--|
| Causa | Efecto |
| Tamaño máximo de partícula grande. | Dificultad para colocar |
| Exceso de agregado grueso. | Dificultad para compactar. |
| Exceso de agregado de tamaño medio. | Mezcla que se desplaza, muy blanda. |
| Bajo contenido de polvo mineral. | Mezcla blanda, muy permeable. |
| Alto contenido de polvo mineral. | Mezcla muy viscosa, difícil de manejar y poco durable. |

Fuente: Instituto del asfalto (MS-22) 1,991.



V.4 EVALUACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE.

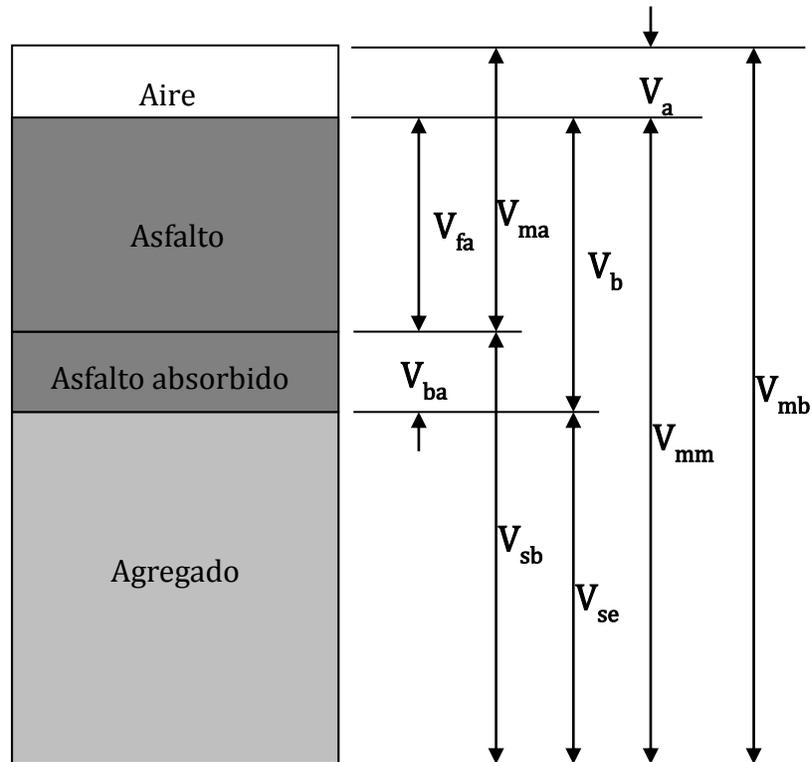
V.4.A Propiedades Volumétricas de las Mezclas Asfálticas.

El modelo utilizado para describir las propiedades de masa y volumen de una mezcla asfáltica es el diagrama de componentes (ver figura 5.2). Este considera una muestra compactada de mezcla asfáltica en caliente con vacíos de aire, cemento asfáltico y agregado mineral. A la muestra compactada se le asigna un volumen unitario (1m^3 , 1cm^3), con peso conocido (kg o gr). El diagrama de componentes se adapta particularmente bien a las unidades métricas, pues, en este sistema, peso específico y gravedad específica son numéricamente iguales, ya que el peso específico del agua es muy cercano a $1\text{gr}/\text{cm}^3$ y su gravedad específica es igual a 1 a 25°C .

El diagrama de componentes ofrece una clara visión de peso específico, esto es, el peso dividido por el volumen del material compactado. Como el modelo está compuesto de diferentes materiales, el peso específico de la muestra completa se llama frecuentemente "peso específico neto". Se calcula dividiendo el peso total de la muestra por su volumen total.

Para un dado contenido de asfalto, el máximo peso específico teórico es el peso del agregado más asfalto dividido por el volumen de ambos componentes, sin incluir el volumen de vacíos con aire. El máximo peso específico teórico es una propiedad muy útil porque puede usarse como referencia para calcular otras propiedades como el contenido de vacíos con aire.

Figura 5.2 Componentes del diagrama de compactación de una Mezcla Asfáltica en Caliente.



Fuente: Instituto Mexicano del transporte. Publicación Técnica No. 271

V_{ma} = Volumen de vacíos en agregado mineral.

V_{mb} = Volumen total de la mezcla asfáltica.

V_{mm} = Volumen de la mezcla asfáltica sin vacíos.

V_{fa} = Volumen de vacíos llenados con asfalto.

V_a = Volumen de vacíos de aire.

V_b = Volumen de asfalto.

V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido.

V_{sb} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa).

V_{se} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva).



a. Contenido de asfalto en la Mezcla, P_b . (AASHTO T164).

La prueba de extracción mide el contenido de asfalto total de una muestra de mezcla suelta y proporciona agregado para el análisis granulométrico. Consiste en extraer el asfalto (ligante asfáltico) de una muestra, mediante la aplicación de sucesivas adiciones de solventes (tricloroetileno o gasolina) en la maquina centrifuga, la cual consta de un recipiente que gira en su centro, con lo cual, la acción de este solvente más la fuerza centrípeta a que está sometida la muestra separa el asfalto del agregado.

El contenido de asfalto se calcula por diferencia del peso inicial de la muestra y el peso obtenido luego de la extracción, se expresa como porcentaje en peso de las mezclas libres de humedad y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_b = \frac{P_{nm} - P_{ne}}{P_{nm}} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

P_b : Contenido de Asfalto de la muestra.

P_{nm} : Peso neto de la muestra.

P_{ne} : Peso neto de la muestra después de la extracción.

b. Gravedad específica neta de la combinación de agregado, G_{sb} .

Con la gravedad específica bulk de los agregados individuales (AASHTO T84 y T85), se determina el proceso de integración de las gravedades específicas con respecto al porcentaje de agregados utilizados en la mezcla asfáltica. Esta gravedad específica neta para el agregado total se calcula por medio de la formula siguiente:



$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}} \quad (5)$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

P_1, P_2, P_N = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G_1, G_2, G_N = Gravedad específica neta individual del agregado.

c. Determinación de la gravedad específica máxima teórica y densidad de la mezcla asfáltica.

Esta gravedad específica, es la masa por unidad de volumen máxima que puede llegar a tener la mezcla asfáltica; y existen dos formas de encontrarla, ya sea por el ensayo Rice AASHTO T209, o por la ecuación de densidad máxima teórica de la mezcla (G_{mm}).

Ensayo Rice (AASHTO T209).

La determinación de la gravedad específica máxima RICE de la mezcla asfáltica, es la prueba de laboratorio más importante para definir las características volumétricas de la mezcla asfáltica.

Para esta prueba se utiliza un picnómetro de vacío según la norma AASHTO T209. Se realiza en la mezcla asfáltica en forma suelta y consiste en saturar de agua el picnómetro y aplicar vacío, con el fin de extraer todo el aire que contiene la mezcla.

Para calcular la gravedad específica máxima RICE de la mezcla asfáltica, se utiliza la fórmula siguiente:



$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \quad (6)$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica máxima RICE de la muestra.

A = Masa de la muestra seca, g.

B = Masa del picnómetro con agua a 25°C antes del vacío, g.

C = Masa del picnómetro con agua y muestra después del vacío a 25°C, g.

La gravedad máxima teórica a 25°C también puede ser determinada a partir del cálculo de la gravedad específica máxima teórica a cualquier otra temperatura a como se explica:

$$\text{Grav. max. teórica } 25^{\circ}\text{C} = K \times \text{Grav. max. teórica a cualquier temperatura} \quad (7)$$

Donde:

K: Factor de corrección descrito en la tabla 2 del capítulo XI Anexo A.

Determinación de la gravedad máxima teórica para distintos porcentajes de asfalto.

En este procedimiento es necesario haber realizado por lo menos un ensayo Rice. Primero se debe calcular la gravedad específica efectiva del agregado la cual se determina mediante la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (8)$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica máxima RICE obtenida del ensayo AASHTO T209.

P_{mm} = Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100.

P_b = Contenido de asfalto, obtenido del ensayo de extracción (AASHTO T-164).

G_b = Gravedad específica del asfalto



La gravedad máxima teórica para cualquier otro contenido de asfalto, supone que la gravedad específica efectiva del agregado es constante, y ésta es válida puesto que la absorción del asfalto no varía apreciablemente con los cambios en el contenido de asfalto. La gravedad teórica máxima se determina mediante la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (9)$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica.

P_{mm} = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100.

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

Calculo de la densidad máxima teórica de la mezcla.

La densidad máxima teórica de la mezcla se obtiene multiplicando la gravedad máxima teórica por la densidad del agua a 25°C.

$$\text{Densidad max. teorica} = G_{mm} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \quad (10)$$

d. Prueba de gravedad específica bulk y densidad de la mezcla asfáltica compactada G_{mb} (AASHTO T275).

Esta prueba se realiza para estimar el grado de densificación que tendrá la mezcla asfáltica colocada en la estructura del pavimento. Debe tenerse en cuenta que esta densificación es el valor estimado que tendrá la mezcla asfáltica después de un tiempo de haberse colocado en el pavimento. Esto es debido a que la carpeta asfáltica después de ser colocada, sigue sufriendo densificación debido al paso de los vehículos.



Los procedimientos de ensayo varían en función del método de la compactación y porcentaje de absorción en la mezcla compactada.

Procedimiento 1: Para especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

Masa del espécimen en agua: Se sumerge el espécimen en un baño de agua a 25°C (77°F) durante 3 o 5 minutos, luego se determina la masa del espécimen en agua. Designamos esta masa como W_w .

Medimos la temperatura del agua y si esta difiere de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77^\circ\text{F} \pm 1.8^\circ\text{F}$) debe realizarse una corrección a la gravedad específica bulk a 25°C como se mencionará más adelante.

Masa del espécimen saturado y superficialmente seco en el aire: Secamos superficialmente el espécimen pasándole rápidamente un paño húmedo y luego determinamos la masa pesándola en el aire. Designamos esta masa como W_{ss} .

Después de determinar la masa en el agua y en la condición saturada superficialmente seca, secamos por completo el espécimen a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) hasta una masa constante. Esperamos que el espécimen se enfríe y determinamos su peso en el aire. Designando esta masa como W_a .

Procedimiento 2: Para especímenes completamente secos compactados en laboratorio.

Masa del espécimen seco en el aire: Determinamos la masa al pesar el espécimen después que ha permanecido en el aire a temperatura ambiente por al menos 1 hora. Designamos esta masa como W_a .

Masa del espécimen en agua: Se emplea lo establecido en el procedimiento 1 anteriormente descrito.



Masa del espécimen saturado superficialmente seco en el aire: Secamos superficialmente el espécimen pasándole rápidamente un paño húmedo y luego determinamos la masa pesándolo en el aire. Designando esta masa como W_{ss} .

Cálculos para la determinación de la densidad bulk.

La gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada se determina mediante la siguiente fórmula:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{W_{ss} - W_w} \quad (11)$$

Donde:

W_a : Masa del espécimen seco en el aire, g.

$(W_{ss} - W_w)$: Masa del volumen de agua equivalente al volumen del espécimen a 25°C.

W_{ss} : Masa del espécimen saturado superficialmente seco en el aire, g.

W_w : Masa del espécimen en el agua, g.

También la gravedad específica bulk del espécimen a 25°C, puede ser calculado a partir de la gravedad específica del espécimen medida a cualquier otra temperatura utilizando la siguiente ecuación:

$$Grav. Esp. Bulk a 25^{\circ}C = K \times Gravedad Esp. cualquier temperatura. \quad (12)$$

Dónde:

K: Se determina a partir de la tabla 2, establecida en el capítulo XI Anexo A.

Este cálculo es válido para la precisión del método de ensayo si la temperatura del agua difiere de 25°C por menos de 3°C (5.4°F).

Para una diferencia en la temperatura mayor de 3°C (5.4°F), debe realizarse una corrección a la masa del agua desplazada utilizando la siguiente ecuación.



$$\text{Corrección} = \Delta T \times K_s \times (W_{ss} - W_w) \quad (13)$$

Dónde:

ΔT : 25°C menos la temperatura del baño de agua.

K_s : 6×10^{-5} ml/ml/°C, coeficiente promedio de la expansión térmica cubica del cemento asfáltico.

Calculo de la densidad bulk del espécimen. La densidad bulk del espécimen se obtiene multiplicando la gravedad específica bulk por la densidad del agua a 25°C.

$$\text{Densidad bulk} = \text{Gravedad Esp. Bulk} \times 1 \text{ gr/cm}^3 \quad (14)$$

Calculo del porcentaje de absorción del espécimen.

$$\text{Agua absorbida (\%)} = \frac{(W_{ss} - W_a)}{(W_{ss} - W_w)} \times 100 \quad (15)$$

Nota: Si el porcentaje de agua absorbida supera el 2% se debe utilizar el procedimiento 3 descrito en este documento, en caso contrario se determina la gravedad específica de los especímenes calculada anteriormente.

Procedimiento 3: Determinación de la gravedad específica bulk y densidad de mezcla asfáltica absorbente.

Este procedimiento describe la determinación de la gravedad específica bulk de los especímenes compactados de mezclas asfálticas recubiertos de parafina.

Se procede a emparafinar el espécimen con el propósito de que al momento de sumergirlo no le ingrese el agua, recordando que debe de conocerse previamente la densidad de la parafina. Se obtiene su peso en el aire y sumergido con parafina (P_{ACP} y P_{AGCP} respectivamente) utilizando las siguientes ecuaciones:



$$Wp = P_{ACP} - P_{ASP} \quad (16)$$

$$V_p = \frac{W_p}{\delta_p} \quad (17)$$

Donde:

W_p : Peso de la parafina.

P_{ASP} : Peso en aire sin parafina, es el peso en el aire de los especímenes, calculado en el procedimiento 1 y 2. ($P_{ASP} = W_a$).

P_{ACP} : Peso en al aire con parafina.

V_p : Volumen de la parafina.

δ_p : Densidad de la parafina.

Ahora que tenemos el volumen de la parafina, calculamos el volumen del espécimen con parafina mediante la siguiente ecuación:

$$V_{PCP} = P_{ACP} - P_{AGCP} \quad (18)$$

Donde:

P_{AGCP} : Peso en el agua con parafina.

Restando el volumen de la parafina del volumen del espécimen con parafina encontramos el volumen del espécimen aplicando la ecuación siguiente:

$$V_{PE} = V_{PCP} - V_p \quad (19)$$

Donde:

V_{PCP} : Volumen del espécimen con parafina.

V_{PE} : Volumen del espécimen.



Por tanto, la densidad bulk del espécimen compactado se calcula de la siguiente manera:

$$Densidad\ bulk = \frac{P_{ASP}}{V_{PE}} \quad (20)$$

Donde:

P_{ASP} : Peso en el aire sin parafina.

V_{PE} : Volumen del espécimen.

e. Contenido de asfalto absorbido, P_{ba} .

El asfalto absorbido se expresa como un porcentaje de la masa del agregado, más que como un porcentaje del total de la masa de la mezcla. El asfalto absorbido, P_{ba} , se determina mediante la siguiente fórmula:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb}G_{se}} \times G_b \quad (21)$$

Donde:

P_{ba} = Contenido de asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica neta del agregado.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

f. Contenido de asfalto efectivo, P_{be} .

El porcentaje de asfalto efectivo, P_{be} , de una mezcla asfáltica es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica, se calcula mediante la siguiente fórmula:



$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba} \times P_s}{100} \right) \quad (22)$$

Donde:

P_{be} = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla.

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla.

g. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral, VMA.

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. El VMA puede calcularse sobre la base de la gravedad específica neta del agregado, y expresarse como un porcentaje del volumen de mezcla asfáltica compactada.

Si la composición de la mezcla se determina como el porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica se utiliza la fórmula siguiente:

$$VMA = 100 - \left[\frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right] \quad (23)$$

Donde:

VMA = Vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto).

G_{sb} = Gravedad específica neta del agregado.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (AASHTO T275).

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica.



O, si la composición de la mezcla es determinada como el porcentaje de la masa del agregado se utiliza la siguiente fórmula:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100 \quad (24)$$

Donde:

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa del agregado.

h. Porcentaje de vacíos con aire, V_a .

El contenido de vacíos de aire es, por sí solo, uno de los parámetros de desempeño esenciales de una mezcla asfáltica. Existe acuerdo en que el rango adecuado de desempeño de una mezcla compactada en laboratorio se consigue para contenidos de vacíos de 3 a 5%, y para el control de mezclas compactadas en campo el rango de vacíos es de 6 a 8%.⁸

Para las mezclas compactadas en laboratorio con contenidos de vacíos inferiores al mínimo de 3%, la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado para las mezclas asfálticas compactadas en campo con vacíos superiores al 8 % puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración.

Para determinar el contenido de asfalto óptimo, el criterio de diseño del método Marshall especifica un contenido de vacíos de 3 a 5 %. Estos valores se refieren a la condición de la mezcla tras dos a tres años de servicio, una vez que ha sido compactada por el tráfico, como se aprecia en la Figura 5.3.⁹

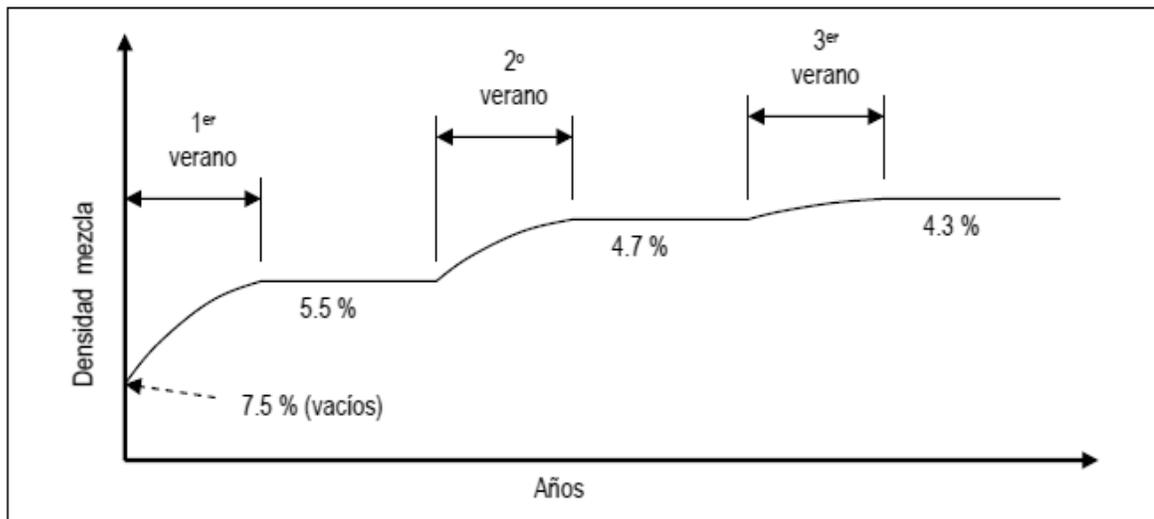
Por lo tanto, para alcanzar esta condición en terreno, es necesario compactar la mezcla hasta un nivel de vacíos cercano al 8 %, ya que el tráfico densificará la mezcla hasta su nivel final, en el rango de 3 a 5 %. Una sobre compactación de

⁸ Brown, 1990; Asphalt Institute, 1,997

⁹ Foster (1,984)

la mezcla, ya sea por error de diseño, exceso de compactación durante la colocación, o por un tráfico pesado no considerado durante el diseño, producirá una disminución en el contenido de vacíos que puede producir ahuellamientos y/o la exudación de la mezcla.

Figura 5.3 Variación de densidad y contenidos de vacíos con aire en las Mezclas Asfálticas.



Fuente: Análisis de Casos de Ahuellamientos en Mezclas Asfálticas. Universidad Católica de Chile.

Los vacíos de aire V_a , en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$V_a = \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}}\right) \times 100 \quad (25)$$

Donde:

V_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total.

G_{mb} = Gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada AASHTO T275.

G_{mm} = Gravedad específica máxima RICE de la mezcla asfáltica AASHTO T209.



i. Porcentaje de vacíos llenos con asfalto, VFA.

Es el porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, no incluyendo el asfalto absorbido, el porcentaje de vacíos llenos con asfalto se determina mediante la siguiente fórmula:

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA} \quad (26)$$

Donde:

VFA = Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VMA.

VMA = Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total.

V_a = Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total.



V.4.B Propiedades Mecánicas de las Mezclas asfálticas compactadas.

a. Método Marshall (AASHTO T 245).

El método original es aplicable únicamente a mezclas asfálticas en caliente, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Se usa tanto para el diseño en laboratorio, como para el control y evaluación de mezclas elaboradas en planta.

Propósito del Método Marshall en la evaluación de mezclas.

El propósito es evaluar las propiedades de una mezcla asfáltica para una combinación específica de agregados, tal que resulte una mezcla con las características de estabilidad, durabilidad y trabajabilidad que han sido definidas anteriormente.

Resumen del método.

El procedimiento del Método Marshall comienza con la preparación de los especímenes de ensayo y previamente se requiere que:

- Los materiales, tanto agregado como asfalto, cumplan con las especificaciones de calidad establecidas en las Normas NIC-2000 (Ver capítulo VI.1.A y VI.1.B).
- La combinación de los agregados resulte dentro de las especificaciones granulométricas establecidas para la mezcla seleccionada.
- Que se hayan determinado los pesos específicos bulk y aparente de los diversos agregados empleados en la mezcla.
- Que se conozca el peso específico del cemento asfáltico (G_{sb}), a 25°C.



Compactación de los especímenes (Numero de golpes por cara).

El Método Marshall utiliza especímenes de 101.6 mm (4 plg) de diámetro y 63.5 mm (2.5 plg) de altura, las cuales son preparados siguiendo un procedimiento normalizado de calentamiento, mezclado y compactación dinámica de la mezcla.

Una vez que se verifica que la mezcla posee la temperatura de compactación establecida, se procede a compactarla mediante el empleo del martillo Marshall, el cual tiene un peso de 10 lbs y una altura de caída de 18 pulgadas, las briquetas se moldean sobre un pedestal de madera de 20 x 20 x 45cm, que debe tener un peso determinado (entre 12.8 y 14.5 kg); sobre el pedestal se coloca una plancha de acero de 25 mm de espesor, con este pedestal normalizado se logra que a la energía de compactación estandarizada por el peso fijo del martillo, corresponda una reacción también estandarizada por la acción del pedestal. El número de golpes que se aplica sobre cada extremo del espécimen dependen del tráfico esperado (ver capítulo VI.1.C).

Determinación de la estabilidad y flujo Marshall.

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga que ocurre en la mezcla.

Las especímenes son calentados en un baño de agua (baño maría) a 60°C (140°F) en un lapso de 30 minutos. Esta temperatura representa, normalmente la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar y el hecho de sumergirlas representa condición de ocurrencia de una lluvia intensa en un momento de alta temperatura, que hace que el agua se deslice sobre la superficie de la carpeta asfáltica.

El espécimen es removido del baño, secado y colocado rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga



sobre el espécimen, el cual está provisto de medidores de carga y flujo para dar lectura a los resultados del ensayo.

La carga del ensayo es aplicada al espécimen a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que el espécimen puede resistir.

La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall en milímetros y la lectura del medidor de flujo se registra como flujo expresado en unidades de 0.25 mm (1/100").

Debe señalarse que la estabilidad leída en el ensayo debe ser multiplicada por la constante del anillo Marshall para obtener su lectura en libras, y luego ser corregida en función de la altura del espécimen, o más simplemente en función del volumen de cada espécimen, para esta correlación se emplea la tabla 1 del capítulo XI Anexo A, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_C = E_L \times K \times C_A \quad (27)$$

Donde:

E_C : Estabilidad Corregida.

E_L : Estabilidad Leída.

K : Factor de corrección por altura del espécimen (ver tabla 1 en capítulo XI Anexo A).

C_A : Constante del anillo.



b. Ensayo de Resistencia Retenida (AASHTO T165).

Propósito del Método de Resistencia retenida en la evaluación de Mezcla Asfáltica.

El propósito es evaluar la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas de agregado y asfalto compactado.

Resumen del método.

Dicho método describe la medición de la pérdida de resistencia a compresión producida por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas (a aproximadamente 6% de vacíos con aire). Obteniéndose un índice numérico de la reducción de la resistencia a compresión, comparando la resistencia a compresión de especímenes moldeados y curados recientemente; con la resistencia a compresión de especímenes reproducidos de forma similar; que han sido sumergidos en agua, en diversos periodos de tiempo con variaciones en la temperatura de inmersión.

Procedimiento.

Primeramente debemos ajustar la masa de la muestra para la fabricación de los especímenes que vamos a ensayar; esto se logra moldeando un espécimen de prueba para determinar el peso correcto de material para producir el espécimen de altura deseada.

Obteniéndose el peso necesario para la elaboración de los especímenes; verificamos la temperatura de la mezcla, para la cual se recomienda temperaturas entre los 135°C y 163°C para cementos asfálticos de grados AC-20 y AC-30 respectivamente, luego el material es transferido al molde de compactación.



Estos moldes en los cuales se compactará la mezcla deberán tener suficiente altura para permitir la fabricación de especímenes de 101.6 mm por 101.6 mm (4 pulgadas por 4 pulgadas), de igual manera deben poseerse soportes y pistones, para permitir levantar los moldes durante la operación de moldeo (ver figura 5.4)

Figura 5.4 Moldes de compactación para especímenes de resistencia retenida.



1: Molde de 101.6 m.m x 101.6 m.m, 2: Pistón superior, 3: Pistón inferior, 4 y 5: Juego de separadores

Se debe contar con una maquina hidráulica que permita la compactación de los mismos con una velocidad de deformación de 5.08mm/min (0.2 pulgadas/minuto), para determinar la resistencia a compresión.

Luego se coloca aproximadamente la mitad de la mezcla en el cilindro de moldeo, el cual junto con el pistón superior e inferior deben haber sido precalentados durante al menos dos horas en un horno mantenido a una temperatura entre los 93 a 135°C. Con el pistón superior en su sitio, atravesamos la mezcla vigorosamente 25 veces con una espátula caliente, de los cuales se aplican 15 golpes alrededor de la zona interna del molde para bajar la cima del



material, y los 10 restantes de forma aleatoria sobre la mezcla. Rápidamente transferimos la mitad sobrante de la mezcla al cilindro de moldeo y hacemos el mismo procedimiento con la espátula. Debemos darle una forma ligeramente cónica a la parte superior de la mezcla para ofrecer un apoyo firme del pistón superior.

Comprimos la mezcla entre el pistón superior e inferior bajo una carga inicial de alrededor de 150 psi, para mover la mezcla contra los lados del molde. Posteriormente, mediante el tanteo se determina la carga a compresión que debe aplicarse a los especímenes para obtener al menos 6% de vacíos.

Luego de dos horas, retiramos el espécimen del molde con un dispositivo de eyección (gato hidráulico).

Debemos fabricar al menos seis especímenes cilíndricos 101.6mm (4 por 4 pulgadas) para cada ensayo. Luego determinamos la gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos con aire de cada espécimen.

Se ordenan cada conjunto de seis especímenes en dos grupos de tres especímenes, de modo que la gravedad específica bulk promedio de los especímenes en el primer grupo sea esencialmente próxima al segundo grupo.

Al primer grupo lo llamaremos especímenes no condicionados (especímenes secos), y se mantienen en un baño de aire durante no menos de 4 horas para luego ser ensayados a compresión axial sin soporte lateral a una velocidad uniforme de deformación vertical de 5.08 mm/ min (0.2 pulg/min) (ver figura 5.5).

Al segundo grupo lo llamaremos especímenes condicionados (especímenes sumergidos), los cuales son sumergidos en un baño maría a una temperatura de

60°C durante 24 horas y luego son trasladados a un baño de agua a una temperatura de 25°C durante 2 horas.

Figura 5.5 Grupos de especímenes para ensayo de resistencia retenida.



- Finalmente se determina la resistencia a compresión sin soporte lateral de los especímenes condicionados.

b. Cálculos.

El índice numérico de resistencia de la mezcla asfáltica al efecto perjudicial del agua, se expresa como el porcentaje de la resistencia original que resulta retenida después del periodo de inmersión como sigue:

$$\text{Índice de resistencia retenida}(\%) = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (28)$$

Donde:

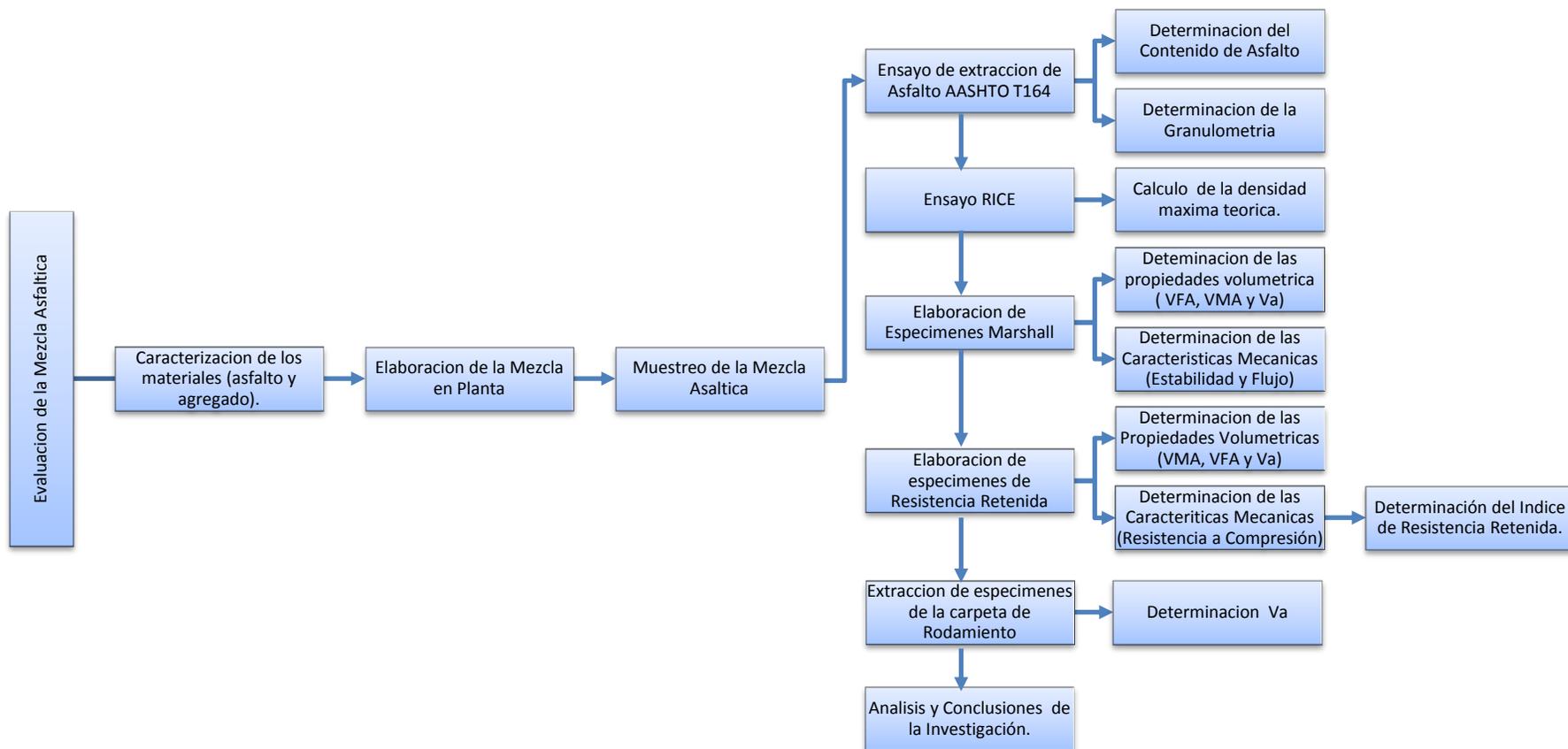
S_1 : Resistencia a compresión de los especímenes secos (Grupo 1).

S_2 : Resistencia a compresión de los especímenes sumergidos (Grupo 2).



VI. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

DIAGRAMA DE METODOLOGIA EXPERIMENTAL





VI.1 CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES.

Antes de proceder a la evaluación de la mezcla asfáltica producida en planta, se debe conocer las características de los materiales utilizados en la elaboración de la mezcla asfáltica. En este capítulo se mencionan las normas y especificaciones para determinar las características de los materiales. También se mencionan los criterios de evaluación establecidos para el análisis de las características volumétricas y mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

VI.1.A Agregado mineral.

Para la caracterización del agregado mineral se deben realizar los siguientes ensayos, de acuerdo a las especificaciones establecidas en las Normas NIC-2000 (Sección 1003.10).

Tabla 6.1 Requisitos de calidad para agregados gruesos y finos.

| PRUEBA | NORMA | ESPECIFICACION |
|--|-------------|----------------|
| Índice de plasticidad | AASHTO T99 | 3 Max |
| Desgaste de los ángeles | AASHTO T96 | 40 Max |
| Perdida por sanidad del agregado grueso | AASHTO T104 | 12 Max |
| Perdida por sanidad del agregado fino | AASHTO T104 | 15 Max |
| Partículas chatas y alargadas | ASTM D4791 | 20 Max |
| Adherencia del asfalto | AASHTO T182 | >95% |
| Porcentaje de caras fracturadas | FLH T507 | 85 Min |
| Equivalente de arena | AASHTO T176 | 60 Min |
| Índice de durabilidad del agregado grueso y fino | AASHTO T210 | 35 Min |
| Peso unitario suelto del agregado grueso y fino | AASHTO T19 | N.E |
| Peso específico y absorción del agregado grueso | AASHTO T-85 | N.E |
| Peso Específico y absorción del agregado Fino | AASHTO T-84 | N.E |

Fuente: Sección 1003.10 Agregados para Concreto Asfáltico en Caliente. Normas NIC-2000



Para determinar las características de los agregados también se debe conocer su granulometría; en el diseño de mezclas asfálticas podemos hablar de material grueso y fino, pero se hace la aclaración que el material grueso, la mayoría de las veces se separa en dos tamaños, gruesos de tamaños grandes y gruesos de tamaños más pequeños, llamándolos comúnmente gruesos e intermedios, que luego con el agregado fino, vienen constituyendo los agregados en GRUESOS, INTERMEDIOS Y FINOS.

Las tolerancias de graduación para mezclas asfálticas en caliente establecidas en las especificaciones del Manual Centroamericano de Mantenimiento de Carreteras Edición 2010 (Sección 1,352), se clasifican según el tamaño máximo nominal del agregado adoptado, basados en la norma ASTM D3515. Estas tolerancias se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.2 Graduación de agregados para mezclas asfálticas.

| Tamiz | Mezclas Densas | | | | | | | | |
|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|--------|
| | Tamaño Máximo Nominal de los Agregados | | | | | | | | |
| | 2" | 1 1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No. 4 | No.8 | No. 16 |
| Graduación de agregados (grava, fino y filler si se requiere). Porcentaje en peso. | | | | | | | | | |
| 2 1/2" (63 mm) | 100 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 2" (50 mm) | 90-100 | 100 | - | - | - | - | - | - | - |
| 1 1/2" (37.5 mm) | - | 90-100 | 100 | - | - | - | - | - | - |
| 1" (25 mm) | 60-80 | - | 90-100 | 100 | - | - | - | - | - |
| 3/4" (19mm) | - | 56-80 | - | 90-100 | 100 | - | - | - | - |
| 1/2" (12.5 mm) | 35-65 | - | 56-80 | - | 90-100 | 100 | - | - | - |
| 3/8" (9.5 mm) | - | - | - | 56-80 | - | 90-100 | 100 | - | - |
| No. 4 (4.75 mm) | 17-47 | 23-53 | 29-59 | 35-65 | 44-74 | 55-85 | 80-100 | - | 100 |
| No. 8 (2.36 mm) | 10 - 36 | 15-41 | 19-45 | 23-49 | 28-58 | 32-67 | 65-100 | - | 95-100 |
| No. 16 (1.18 mm) | - | - | - | - | - | - | 40-80 | - | 85-100 |
| No. 30 (600µm) | - | - | - | - | - | - | 25-65 | - | 70-95 |
| No. 50 (300µm) | 3-15 | 4-16 | 5-17 | 5-19 | 5-21 | 7-23 | 7-40 | - | 45-75 |
| No. 100 (150 µm) | - | - | - | - | - | - | 3-20 | - | 20-40 |
| No. 200 (75µm) | 0-5 | 0-6 | 1-7 | 2-8 | 2-10 | 2-10 | 2-10 | - | 9-20 |

Fuente: Norma ASTM D3515.



VI.1.B Cemento Asfáltico.

Para seleccionar el tipo de cemento asfáltico utilizado en la mezcla, se debe tomar en cuenta la temperatura media anual del aire donde se aplicará la mezcla asfáltica. La clasificación del tipo de asfalto se encuentra en las especificaciones descritas en el Manual Centroamericano para diseño de Pavimentos Edición 2002. (Capítulo 7) y se presenta en la tabla siguiente.

Tabla 6.3 Grados de asfalto de acuerdo al tipo de clima.

| CLIMA | TEMPERATURA MEDIA ANUAL DEL AIRE (TMAA) | GRADO DE ASFALTO |
|----------|---|---------------------|
| Frio | Menor o igual a 7°C | AC-5, AC-10 |
| Templado | Entre 7° y 24°C | AC-10, AC-20 |
| Cálido | Mayor de 24°C | AC-20, AC-30, AC-40 |

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, Noviembre 2002.

En cuanto a las pruebas que se deben realizar al cemento asfáltico, las normas NIC-2000 (Sección 1002.01) establecen las siguientes pruebas de control de calidad para los cementos asfálticos utilizados en Nicaragua tomando como referencia la norma AASHTO M226.

Cabe mencionar que la viscosidad del asfalto tiene su incidencia en la determinación de la temperatura de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica, así mismo la gravedad específica utilizada para analizar los parámetros Marshall es la gravedad específica a 25°C. El análisis de ambas propiedades se mostrará en los capítulos posteriores.



Tabla 6.4 Especificaciones para cemento asfáltico.

| REQUISITO PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60°C (Clasificación basada en asfalto original). | | | | | | |
|--|--------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| PRUEBA | GRADO DE VISCOSIDAD | | | | | |
| | AC-2.5 | AC-5 | AC-10 | AC-20 | AC-30 | AC-40 |
| Viscosidad, 60°C,poises | 250±50 | 500±100 | 1000±200 | 2000±400 | 3000±600 | 4000±800 |
| Viscosidad, 135°C, Cs mínimo | 125 | 175 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| Penetración, 25°C, 100g, 5 seg-mínimo | 220 | 140 | 80 | 60 | 50 | 40 |
| Punto inflamador, Cleveland,°C(°F)-mínimo | 163(325) | 177(350) | 219(425) | 232(450) | 232(450) | 232(450) |
| Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-mínimo | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 | 99.0 |
| Pruebas sobre el residuo del ensayo RTFO: | | | | | | |
| Perdida por calentamiento, porcento-máximo (opcional) ³ | | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Viscosidad, 60°C, poises- máximo | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | 15000 | 16000 |
| Ductilidad, 25°C , 5 cm por minuto, cm-mínimo | 100 ¹ | 100 | 75 | 50 | 40 | 25 |
| Prueba de mancha (cuando y como se especifique)² con: | | | | | | |
| Solvente normal de nafta | Negativo para todos los grados | | | | | |
| Solvente de nafta-xileno, %xileno | Negativo para todos los grados | | | | | |
| Solvente de heptano-xileno, %xileno | Negativo para todos los grados | | | | | |
| ¹ Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.6°C tiene un valor /mínimo de 100 | | | | | | |
| ² El uso de la prueba de mancha es opcional. El Ingeniero deberá especificar el tipo de solvente usado cuando se va a usar la prueba. | | | | | | |
| ³ El uso del requisito de perdida por calentamiento es opcional. | | | | | | |

Fuente: Norma AASHTOO M226.



VI.1.C Mezcla Asfáltica.

Los requisitos que deben cumplir las mezclas en calientes diseñadas por el método Marshall se encuentran en las Normas NIC-2000, donde se establecen las propiedades volumétricas y mecánicas, las cuales varían en función del tráfico para el cual deberá ser diseñada la mezcla asfáltica en caliente. Las especificaciones para evaluar la mezcla en estudio se muestran a continuación.

Tabla 6.5 Requisitos de diseño Marshall para mezclas asfálticas en caliente.

| Parámetros de Diseño Marshall (AASHTO T245) | No. Ejes Equivalentes (ESALS _{DISEÑO}) | | |
|---|--|-----------------------------------|------------------|
| | >10 ⁶ | 10 ⁴ - 10 ⁶ | <10 ⁴ |
| | Tráfico Pesado | Trafico Mediano | Tráfico Ligero |
| Estabilidad min. libras (KN) | 1800 (8.00) | 1200 (5.34) | 1000 (4.45) |
| Flujo, 0.25 mm | 8 - 14 | 8 - 16 | 8 - 20 |
| Porcentaje de Vacíos con aire (Va). | 3 - 5 | 3 - 5 | 3 - 5 |
| Vacíos en el agregado mineral (VMA). | Ver tabla 6.8 | | |
| Compactación, número de golpes en cada extremo del espécimen de prueba. | 75 | 50 | 50 |
| Vacíos rellenos con asfalto (VFA). | 65 - 75 | 65 - 78 | 70 - 80 |
| Relación polvo- asfalto. | 0.6 - 1.3 | 0.6 - 1.3 | 0.6 - 1.3 |
| Índice de Resistencia Retenida | AASHTO T165 | | 70% min. |

Fuente: Sección 405.03. Normas NIC-2000.

Tabla 6.6 Mínimo Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).

| Máximo tamaño de Partícula Nominal | | Porcentaje Mínimo de VMA |
|------------------------------------|-------------|--------------------------|
| Tamiz (Pulg). | Tamiz (m.m) | Ensayo Marshall |
| No. 8 | 2.36 mm | 21.0 |
| No. 4 | 4.75 mm | 18.0 |
| 3/8 | 9.5 mm | 16.0 |
| 1/2 | 12.5 mm | 15.0 |
| 3/4 | 19.0 mm | 14.0 |
| 1 | 25 mm | 13.0 |
| 1 1/2 | 37.5 mm | 12.0 |
| 2 | 50.0 mm | 11.5 |

Fuente: Sección 405.03. Normas NIC-2000.



VI.2 PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.

A continuación se realiza una descripción del proceso llevado a cabo, mediante la realización de un ejemplo correspondiente al ensayo **AS-002** de la base de datos, cuyos resultados se encuentran en el capítulo XI anexo C.

a. Elaboración de la Mezcla.

La mezcla asfáltica fue elaborada en la planta asfáltica el Mirador ubicada en la estación 12+960 banda izquierda, carretera hacia Muy Muy. Para la elaboración de la mezcla asfáltica en planta se utilizó la dosificación de asfalto del 6.3% sobre la mezcla (6.7% sobre el agregado) establecida en el diseño de mezcla (Ver capítulo XI Anexo D). En cuanto a la dosificación de agregados, se utilizó la establecida en el diseño de mezcla de 33% de agregado grueso (3/4"), 19% de agregado intermedio (3/8") y 48% de agregado fino (3/16").

b. Muestreo.

El lugar de muestreo se determinó una vez estando en el sitio mediante el método de los números aleatorios, tomando como referencia la longitud del tramo y el ancho de rodamiento.

El muestreo de la mezcla asfáltica suelta elaborada en planta se realizó aplicando la norma ASTM D979, obteniendo muestras representativas extraídas directamente de las extendedoras de mezcla, previo a su colocación.

Se elaboraron en total 40 ensayos, abarcando un tramo representativo de 10 km de carretera partiendo desde la estación 4+280 y finalizando en la estación 14+040.



c. Ensayo de Extracción de Asfalto.

Se determinó el contenido de asfalto, en correspondencia a la norma AASHTO T164 utilizando la maquina centrifuga. Aplicando la fórmula 4 del capítulo V.4.A, el cálculo es el siguiente:

$$P_b = ((830.1 - 777.12)/830.1) \times 100 = 6.38\%$$

d. Análisis Granulométrico.

El análisis granulométrico se realizó al agregado extraído del ensayo de extracción de asfalto para revisar si la graduación cumple con las tolerancias correspondientes a un tamaño máximo nominal de 3/4" (ver tabla 6.2 en este capítulo). Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla. 6.7 Resultados de granulometría obtenida del ensayo de extracción de asfalto.

| Tamiz " | Tamiz mm | Peso ret. Acumulado | % ret Acumulado | % Pasa | Graduación | |
|---------|----------|---------------------|-----------------|--------------|------------|-----|
| 1" | 25 | 0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.4 | 8.5 | 1.1 | 98.9 | 90 | 100 |
| 3/8" | 9.5 | 209.2 | 27.1 | 72.9 | 56 | 80 |
| 4 | 4.75 | 359.0 | 46.5 | 53.5 | 35 | 65 |
| 8.0 | 2.36 | 495.6 | 64.2 | 35.8 | 23 | 49 |
| 50 | 0.30 | 680.9 | 88.2 | 11.8 | 5 | 19 |
| 200 | 0.075 | 735.7 | 95.3 | 4.7 | 2 | 8 |
| <200 | <0.075 | 768.9 | 99.6 | 0.4 | | |

e. Gravedad específica neta de la mezcla de agregados.

Para obtener la gravedad específica neta de la combinación de agregados es necesario determinar primero las gravedades específicas individuales de cada fracción de agregado utilizado en la mezcla aplicando los ensayos AASHTO T-84 y T-85 (ver capítulo XI Anexo B) para los agregados finos y gruesos respectivamente.



Siguiendo los procedimientos resumidos en el anexo B se han obtenido los siguientes resultados de ensayos de laboratorio para las diferentes fracciones granulométricas en que se descompone el agregado en estudio. Los datos para el presente ejemplo se muestran en el capítulo XI anexo C y los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.8. Resultado de gravedades específicas individuales de los agregados.

| Fracción | Peso Especifico | | % de Material |
|----------------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| | Bulk (G_{sb}) | Aparente (G_{sa}) | |
| Agregado Intermedio | 2.600 | 2.781 | 19.4 |
| Agregado Grueso | 2.737 | 2.819 | 27.1 |
| Agregado Fino | 2.497 | 2.724 | 53.6 |
| | | Total | 100.0 |

La gravedad específica neta de los agregados integrados se obtiene aplicando la ecuación 5 descrita en el capítulo V.4.A, resultando el cálculo siguiente:

$$G_{sb} = (19.4 + 27.1 + 53.6) / ((19.4/2.600) + (27.1/2.737) + (53.6/2.497)) = 2.578$$

De igual forma, sustituyendo en la misma ecuación los resultados de la gravedad específica aparente para cada fracción granulométrica se obtuvo el siguiente resultado:

$$G_{sa} = 2.760$$

f. Gravedad Específica del cemento Asfáltico. (G_b)

El valor de la gravedad específica del cemento asfáltico es proporcionada por la empresa que proporciona el certificado de control de calidad, en este caso los resultados fueron emitido por la empresa Perenco Guatemala Limited, la cual estableció una gravedad específica a 15.5°C igual a 1.065 y una temperatura de transporte del crudo a 15°C. Por tanto se decidió utilizar la tabla 3 establecida en



el capítulo XI anexo A; para cementos asfálticos con gravedad específica mayor de 0.9654, del cual se obtuvo un factor de reducción de volumen igual a 1. Aplicando la ecuación 3 establecida en el capítulo V.2.E la gravedad específica del asfalto a una temperatura de 25°C es:

$$G_{b25^{\circ}C} = (1.065)(1.000)(0.9988/0.9970) = 1.067$$

g. Determinación mediante ensayo de laboratorio (AASHTO T209) de la densidad máxima teórica de la mezcla suelta.

Este ensayo es importante en la determinación de las características volumétricas. Se determina la densidad máxima de la mezcla sin compactar y sin vacíos, realizando el cálculo de acuerdo a la fórmula 6 y 10 del capítulo V.4.A.

Los resultados de este ensayo para la muestra analizada se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 6.9 Resultado de ensayo de gravedad especifica máxima teórica de la mezcla.

| A | Identificación de La Muestra | | 1 | 2 | 3 |
|----------|---|-----------|----------------|----------------|----------------|
| B | % de Cemento Asfáltico | | 6.38% | 6.38% | 6.38% |
| C | Peso Muestra seca | | 1,352.9 | 1421.1 | 1425.1 |
| D | Peso del Frasco | | 3,009.0 | 3,009.0 | 3,009.0 |
| E | Peso del Frasco + Muestra seca | C + D = | 4,361.9 | 4,430.1 | 4,434.1 |
| F | Peso del Frasco + Agua | | 7,630.0 | 7,630.0 | 7,630.0 |
| G | Peso del Frasco + Muestra + Agua después del Vacío | | 8,415.6 | 8,463.1 | 8,461.4 |
| H | Peso del Frasco + Muestra + Agua | F + C = | 8,982.9 | 9,051.1 | 9,055.1 |
| I | Peso de un Volumen de Agua igual a la Muestra | H - G = | 567.3 | 588.0 | 593.7 |
| J | Temperatura del Ensayo (° C) | | 25° C | 25° C | 25° C |
| K | Densidad Máxima Teórico de la Mezcla a la Temperatura de Ensayo | C / I = | 2.385 | 2.417 | 2.400 |
| L | Factor para referir el ensayo a 25 ° C | Ver Tabla | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| M | Densidad Máxima Teórica de la Mezcla a 25° C | K * L = | 2.385 | 2.417 | 2.400 |
| N | Densidad Máxima Teórica de la Mezcla | Promedio | 2.401 | | |



Los valores de la densidad máxima teórica también se calculan para distintos porcentajes de asfalto, tomando como premisa el hecho que se puede calcular la gravedad específica efectiva (G_{se}) por medio de la fórmula 8 del capítulo V.4.A. Cabe mencionar que para el cálculo de la gravedad específica efectiva debe realizarse por lo menos un ensayo RICE como el realizado anteriormente. El valor de la G_{se} , será entonces:

$$G_{se} = (100 - 6.38) / ((100/2.401) - (6.38/1.067)) = 2.624$$

Como control de evaluación de la mezcla, el valor de gravedad específica efectiva (G_{se}), debe estar entre los valores de gravedad específica aparente (G_{sa}) y la gravedad específica bulk (G_{sb}) del agregado combinado.

En nuestro ejemplo se observa que se cumple esta condición ya que:

$$G_{sa} > G_{se} > G_{sb}$$

$$2.760 > 2.624 > 2.578$$

Conocido el valor de la gravedad específica efectiva, se puede calcular el valor de la gravedad máxima teórica para cualquier otro porcentaje de asfalto mediante la ecuación No. 9 del capítulo V.4.A.

$$G_{mm} = 100 / ((93.62/2.624) + (6.38/1.067)) = 2.401$$

Cabe mencionar que en esta fórmula para el 6.38% de asfalto se determina el contenido de los agregados en la mezcla (P_s) realizando el siguiente cálculo:

$$P_s = 100 - P_b = 100 - 6.38 = 93.62\%$$

La densidad máxima teórica para el porcentaje de asfalto obtenido se obtiene aplicando la ecuación 10 del capítulo V.4.A, el resultado es el siguiente:

$$\text{Densidad maxima teorica} = 2.401 \times 1 \text{ gr/cm}^3 = 2.401 \text{ gr/cm}^3$$



VI.2.A Ensayo Marshall.

a. Dosificación y compactación de los especímenes.

El Método Marshall utiliza especímenes con una altura de 63 mm (2.5"), para determinar la gravedad específica bulk de la mezcla compactada, estabilidad y flujo Marshall. La cantidad de material que se utilizó para elaborar cada espécimen fue de 1,200gr de mezcla suelta.

Antes de realizar la compactación se debe verificar la temperatura de la mezcla, determinada en función del tipo de cemento asfáltico utilizado, las tolerancias que se establecieron para el asfalto AC-30 utilizado en este estudio son de 145 a 150°C.

La compactación se logró mediante golpes del martillo Marshall. El número de golpes del martillo (50 y 75) depende del tránsito vehicular para el cual fue diseñada la carretera (en ESALS). En esta investigación los resultados del diseño del pavimento establecen un tráfico vehicular de 1, 683,662 lo que indica un tráfico pesado (ver tabla 6.6 en este capítulo), determinando un total de 75 golpes en cada extremo del espécimen.

b. Determinación de la densidad bulk de los especímenes Marshall.

El ensayo de gravedad específica bulk se basa en la norma AASHTO T275. El análisis se realiza para un juego de tres especímenes compactados en laboratorio aplicando el procedimiento 2 del capítulo V.4.A, en este caso el factor de corrección es 1 ya que se llevó un estricto control de la temperatura del agua a 25°C.

El peso de los especímenes al aire, sumergido y al aire después de sumergido y superficialmente seco son los siguientes:



Tabla 6.10 Resultados de peso específico bulk de la mezcla compactada.

| Muestra No. | Porcentaje de asfalto | Peso en aire (g) | Peso en agua (g) | Peso en aire SSS (g) |
|-------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|
| 1 | 6.38 | 1,209.7 | 688.3 | 1211.1 |
| 2 | 6.38 | 1,211.8 | 689.8 | 1213.7 |
| 3 | 6.38 | 1,210.1 | 679.8 | 1213.1 |

La gravedad específica bulk de cada espécimen se calcula con la ecuación 11, del capítulo V.4.A y la densidad bulk de la mezcla compactada se obtiene aplicando la ecuación 14 del capítulo antes mencionado.

Adicionalmente se deberá calcular el porcentaje de absorción de la mezcla asfáltica compactada para saber si se debe utilizar un recubrimiento de parafina sobre los especímenes. La norma AASHTO T275 establece que si el porcentaje de absorción es menor del 2.0% no se debe utilizar la parafina, si sucede lo contrario deberá seguirse otro procedimiento de cálculo.

El porcentaje de absorción de la mezcla asfáltica compactada se calcula utilizando la ecuación 15 del capítulo V.4.A, el resumen de los resultados se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.11 Resultados de densidad bulk de la mezcla compactada

| Muestra No. | Porcentaje de asfalto | Peso en aire (g) | Peso en agua (g) | Peso en aire SSS (g) | % Absorción | Densidad Bulk (gr/cm ³) |
|-----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|-------------|-------------------------------------|
| 1 | 6.38 | 1,209.7 | 688.3 | 1211.1 | 0.3 | 2.314 |
| 2 | 6.38 | 1,211.8 | 689.8 | 1213.7 | 0.4 | 2.313 |
| 3 | 6.38 | 1,210.1 | 679.8 | 1213.1 | 0.6 | 2.269 |
| Promedio | | | | | 0.4 | 2.299 |

Como se observa en estos resultados no hubo necesidad de utilizar parafina ya que los porcentajes de absorción resultaron inferiores a 2.0%. El peso específico bulk es de gran importancia por ser empleado en la determinación de las propiedades volumétricas de la mezcla.



c. Determinación de las propiedades volumétricas de los especímenes Marshall.

Las gravedades específicas analizadas en los capítulos anteriores son de gran importancia para la determinación de las propiedades volumétricas, por tanto se muestra un resumen de cada una de ellas en la siguiente tabla.

Tabla 6.12 Resumen de resultados.

| Propiedad | Resultado |
|--|-----------|
| Contenido total de asfalto en la mezcla | 6.38% |
| Gravedad específica neta de la combinación de agregados. | 2.578 |
| Gravedad específica aparente de la combinación de agregados. | 2.760 |
| Gravedad específica del cemento asfáltico. | 1.067 |
| Gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada | 2.299 |
| Gravedad específica efectiva del agregado | 2.624 |
| Gravedad específica máxima teórica sin vacíos de la mezcla asfáltica suelta. | 2.401 |

c.1 Contenido de asfalto absorbido (P_{ba}).

Para determinar el asfalto absorbido por los agregados en la mezcla se aplica la ecuación 21 del capítulo V.4.A, resultando el siguiente cálculo:

$$P_{ba} = 100 \times ((2.624 - 2.578)/(2.578 \times 2.624)) \times 1.067 = 0.73\%$$

c.2 Contenido de asfalto efectivo (P_{be}).

A partir del cálculo del asfalto absorbido y en base al asfalto total determinado en el ensayo AASHTO T164, se determina el contenido de asfalto efectivo, cuyo cálculo se realiza aplicando la ecuación 22 del capítulo V.4.A :

$$P_{be} = 6.38 - \left(\frac{0.73 \times 93.62}{100} \right) = 5.70\%$$



c.3 Vacíos en el agregado mineral (V.M.A).

El cálculo de los vacíos intergranulares entre los agregados se determina como el porcentaje total de la masa de la mezcla asfáltica. Aplicando la ecuación 23 del capítulo V.4.A, se obtiene el siguiente resultado:

$$V.M.A = 100 - ((2.299 \times 93.6)/2.578) = 16.53\%$$

c.4 Vacíos con aire (V_a).

El contenido de vacíos con aire se determina a través de la ecuación No. 25 del capítulo V.4.A, de la siguiente manera:

$$V_a = \left(1 - \left(\frac{2.299}{2.401}\right)\right) \times 100 = 4.25\%$$

c.5 Vacíos llenos con asfalto (V.F.A).

A partir de los resultados de V_a y V.M.A, se calculan los vacíos llenos con asfalto mediante la ecuación No. 26 del capítulo V.4.A, por tanto para un porcentaje de asfalto de 6.38% se obtiene el siguiente cálculo:

$$VFA = 100((16.53 - 4.25)/16.53) = 74.29\%$$

Nota: Para cada uno de los 39 ensayos restantes se realizó el mismo procedimiento para los especímenes Marshall compactados en laboratorio (ver resultados en capítulo XI Anexo C).



d. Determinación de las características mecánicas de los especímenes Marshall.

d.1 Medición en laboratorio de la estabilidad y flujo Marshall.

Una vez concluido el análisis de la densidad y análisis de vacíos de la mezcla asfáltica se procedió a colocar los especímenes Marshall moldeados en laboratorio en un baño de agua a una temperatura de 60°C por un periodo de 30 minutos, al final del cual los especímenes son fallados en la maquina Marshall. De los especímenes 1,2 y 3 analizados en este ejemplo, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 6.13 Resultados de estabilidad Marshall leída y flujo.

| Muestra No. | % Asfalto | Estabilidad leída (lbs). | Flujo (1/100 plg) |
|--------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | 6.38 | 3,268.58 | 11.8 |
| 2 | 6.38 | 3,236.96 | 12.0 |
| 3 | 6.38 | 3,268.58 | 11.7 |

Cabe mencionar que la lectura de estabilidad leída debe ser corregida en base al volumen del espécimen compactado, aplicando factores de corrección para aquellos especímenes que no tengan exactamente la altura de 2.5" (63m.m), estos factores se encuentran en la tabla No. 1 del capítulo XI Anexo A.

Los valores de flujo se promediaron directamente sin aplicar ningún factor de corrección. En nuestro estudio el factor de corrección para la estabilidad leída fue igual a 1.00 ya que los especímenes cumplen con la altura normalizada (63.5 m.m) establecida en el ensayo. Aplicando la ecuación 27 del capítulo V.4.B, los resultados de estabilidad se muestran a continuación:



Tabla 6.14 Resultados de flujo y estabilidad Marshall corregida.

| Muestra No. | % Asfalto | Estabilidad leída (lbs). | Factor de Corrección. | Estabilidad Corregida (lbs). | Flujo (1/100 plg) |
|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| | | a | b | a*b | |
| 1 | 6.38 | 3,268.58 | 1.00 | 3,268.58 | 11.8 |
| 2 | 6.38 | 3,236.96 | 1.00 | 3,239.96 | 12.0 |
| 3 | 6.38 | 3,268.58 | 1.00 | 3,268.58 | 11.7 |
| Promedio | | | | 3,258.00 | 11.9 |

Nota: El resto de los 39 ensayos de estabilidad y flujo Marshall se realizaron siguiendo el mismo procedimiento de ensayo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS



EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE UTILIZANDO METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA.

RESUMEN DE LAS PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA Y ANALISIS DE VACIOS

Ensayo No: AS-002

Procedencia de la Muestra: Muestra elaborada en planta asfáltica El Mirador.

| Muestra No. | Peso en aire (g) | Peso en agua (g) | Peso en aire (SSS) (g) | Densidad Bulk (gr/cm ³) | Cemento Asfáltico (%) | Densidad máxima RICE (gr/cm ³) | % VACIOS | | | Estabilidad Leída (lbs) | Factor de Corrección | Estabilidad Corregida (lbs) | Flujo (1/100") |
|-----------------|------------------|------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|----------------|-------|-------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------|
| | | | | | | | V _a | V.M.A | V.F.A | | | | |
| | ENSAYO | | | FORMULA | ENSAYO | | FORMULAS | | | ENSAYO | TABLA | FORMULA | ENSAYO |
| 1 | 1,209.7 | 688.3 | 1211.1 | 2.314 | | | | | | 3,268.58 | 1.00 | 3,268.58 | 11.8 |
| 2 | 1,211.8 | 689.8 | 1213.7 | 2.313 | | | | | | 3,239.96 | 1.00 | 3,239.96 | 12.0 |
| 3 | 1,210.1 | 679.8 | 1213.1 | 2.269 | | | | | | 3,268.58 | 1.00 | 3,268.58 | 11.7 |
| PROMEDIO | | | | 2.299 | 6.38 | 2.401 | 4.25 | 16.53 | 74.29 | 3,258.00 | 1.00 | 3,258.00 | 11.9 |

Gravedad específica del Cemento Asfáltico: 1.067

Gravedad específica neta de los Agregados: 2.578



VI.2.B Ensayo de Resistencia Retenida.

a. Dosificación y Compactación de los especímenes.

Los especímenes de resistencia retenida con relación 1:1, tienen una altura promedio de 102 mm, o sea de mayores dimensiones que los realizados en el ensayo Marshall, por lo cual se tuvo que utilizar una mayor cantidad de material para lograr la altura deseada, dando como resultado un peso total de 1,750 grs de mezcla suelta para la realización de cada espécimen.

Una vez que se verificó la temperatura de compactación de la mezcla (145 a 150°C), se procedió a determinar la carga de compactación por medio de tanteo, con el objetivo de lograr obtener especímenes con al menos 6% de vacíos con aire (V_a) y semejar lo más cercano posible a los que se obtienen normalmente en campo. En nuestro estudio se determinó una carga equivalente de 2,100 psi aplicada durante un minuto.

b. Determinación de la densidad bulk.

Se determina el peso del espécimen en el aire, sumergidos y al aire después de sumergido y superficialmente seco aplicando el procedimiento 2 del capítulo V.4.A, a como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6.15 Resultados de peso en aire, sumergidos y superficialmente seco de especímenes de resistencia retenida.

| Muestra No. | Porcentaje de asfalto | Peso en aire (g) | Peso en agua (g) | Peso en aire SSS (g) |
|-------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|
| 1 | 6.38 | 1,752.6 | 972.7 | 1,759.2 |
| 2 | 6.38 | 1,751.0 | 972.6 | 1,757.8 |
| 3 | 6.38 | 1,754.8 | 973.1 | 1,761.8 |
| 4 | 6.38 | 1,758.6 | 977.8 | 1,766.4 |
| 5 | 6.38 | 1,757.9 | 975.9 | 1,764.9 |
| 6 | 6.38 | 1,764.0 | 978.4 | 1,770.7 |



La densidad bulk de cada uno de los especímenes se determina aplicando la ecuación 11 y 14 del capítulo V.4.A, de igual forma se calculó el porcentaje de absorción utilizando la fórmula No. 15 del capítulo antes mencionado, cabe destacar que en este estudio el factor de corrección es igual a 1 ya que se llevó un estricto control de la temperatura del agua a 25°C. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 6.16 Resultados de densidad bulk de los especímenes compactados.

| Muestra No. | Porcentaje de asfalto | Peso en aire (g) | Peso en agua (g) | Peso en aire SSS (g) | % Absorción | Densidad Bulk (g/cm ³) |
|-----------------|-----------------------|------------------|------------------|----------------------|-------------|------------------------------------|
| 1 | 6.38 | 1,752.6 | 972.7 | 1,759.2 | 0.84 | 2.228 |
| 2 | 6.38 | 1,751.0 | 972.6 | 1,757.8 | 0.87 | 2.230 |
| 3 | 6.38 | 1,754.8 | 973.1 | 1,761.8 | 0.89 | 2.225 |
| 4 | 6.38 | 1,758.6 | 977.8 | 1,766.4 | 0.99 | 2.230 |
| 5 | 6.38 | 1,757.9 | 975.9 | 1,764.9 | 0.89 | 2.228 |
| 6 | 6.38 | 1,764.0 | 978.4 | 1,770.7 | 0.85 | 2.226 |
| PROMEDIO | | | | | 0.89 | 2.228 |

Como se observa los resultados de absorción (menor a 2%) indican que no es necesario utilizar recubrimiento de parafina.

c. Determinación de las propiedades volumétricas de los especímenes de resistencia retenida.

c.1 Vacíos en el agregado mineral (V.M.A).

Mediante la ecuación 23 del capítulo V.4.A se obtiene:

$$V.M.A = 100 - ((2.228 \times 93.6)/2.578) = 19.11\%$$



c.2 Vacíos con aire (Va).

Aplicando la ecuación No. 25 del capítulo V.4.A:

$$V_a = \left(1 - \left(\frac{2.228}{2.401} \right) \right) \times 100 = 7.21\%$$

c.3 Vacíos rellenos con asfalto (VFA).

Aplicando la ecuación 26 del capítulo V.4.A:

$$VFA = 100((19.11 - 7.21)/19.11) = 62.27\%$$

e. Determinación de las características mecánicas de los especímenes de Resistencia Retenida.

Luego de analizar las propiedades volumétricas de los especímenes, y verificar que se obtuvieron porcentajes de vacíos con aires mayores al 6%, se procede a separar los seis especímenes en dos grupos, de tal forma que la densidad bulk promedio de cada grupo sea parecida. Los dos grupos de especímenes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.17. Grupos de especímenes para ensayo de resistencia retenida.

| Grupo 1 | | Grupo 2 | |
|-------------|-------------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| No. Muestra | Densidad bulk (gr/cm ³) | No. Muestra | Densidad bulk (gr/cm ³). |
| 1 | 2.228 | 2 | 2.230 |
| 3 | 2.225 | 4 | 2.230 |
| 5 | 2.228 | 6 | 2.226 |
| Promedio | 2.227 | Promedio | 2.228 |



Se designa al grupo 2 como grupo de especímenes condicionados y al grupo 1 como grupo de especímenes no condicionados.

El grupo 2 designado como el grupo de especímenes condicionados se sumergen en un baño de agua a 60°C por un periodo de 24 hrs y posteriormente son sumergidos en un baño de agua a 25°C por 2 horas, mientras que los especímenes del grupo 1 designados como no condicionados son sometidos a un baño de aire a 25°C, por 4 hrs.

d.1 Determinación de la resistencia a compresión.

Los dos grupos de especímenes se someten luego al ensayo de compresión sin soporte lateral una vez que finalizaron su periodo de acondicionamiento. Los resultados obtenidos se describen en la siguiente tabla:

Tabla 6.18 División de especímenes condicionados y no condicionados.

| Grupo 1 (Especímenes no condicionados) | | Grupo 2 (Especímenes condicionados) | |
|---|-------------------------------------|--|--------------------------------------|
| No. Muestra | Esfuerzo (kg/cm²) | No. Muestra | Esfuerzo (kg/cm²). |
| 1 | 33.30 | 2 | 24.85 |
| 3 | 31.74 | 4 | 22.81 |
| 5 | 30.91 | 6 | 26.60 |
| Promedio: | 31.98 | Promedio: | 24.75 |

d.2 Determinación del Índice de Resistencia Retenida.

El Índice de Resistencia retenida se determina aplicando la ecuación No. 28 del capítulo V.4.B, el resultado es el siguiente:

$$\text{Indice de Resistencia Retenida} = (24.75/31.98) \times 100 = 77.39\%$$



VI.2.C Especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

a. Muestreo:

El muestreo de los especímenes extraídos se realiza aplicando la norma AASHTO T230 y el lugar de muestreo se decidió por medio del método de los números aleatorios. La extracción se realiza días después de colocada la mezcla (3 a 7 días), tiempo durante el cual la mezcla ha sido sometida a la acción de las cargas de tráfico.

b. Determinación de la densidad bulk.

Una vez extraídos los especímenes se determina su peso en el aire, sumergidos y al aire después de sumergidos y superficialmente secos aplicando el procedimiento No.1 del capítulo V.4.A.

Se determinó la densidad bulk de cada espécimen utilizando la fórmula 11 y 14 del capítulo V.4.A, el porcentaje de absorción se determinó aplicando la ecuación 15. Cabe mencionar que en este estudio el factor de corrección es igual a 1 ya que se llevó un estricto control de la temperatura del agua a 25°C. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 6.19 Densidad bulk de especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| Especimen No. | Porcentaje de Asfalto | Peso aire (g) | Peso (SSS) (g) | Peso sumergido (g) | % Absorción | Densidad bulk (gr/cm ³) |
|---------------|-----------------------|---------------|----------------|--------------------|-------------|-------------------------------------|
| 1 | 6.38 | 851.5 | 853.9 | 471.2 | 0.63 | 2.225 |
| 2 | 6.38 | 785.5 | 789.2 | 434.0 | 1.04 | 2.211 |
| 3 | 6.38 | 866.0 | 868.5 | 477.1 | 0.64 | 2.213 |
| PROMEDIO | | | | | 0.77 | 2.216 |



c. Determinación del contenido de vacíos con aire.

Se determinó el porcentaje de vacíos con aire mediante la ecuación 25 del capítulo V.4.A

$$V_a = \left(1 - \left(\frac{2.216}{2.401} \right) \right) \times 100 = 7.70\%$$

d. Determinación del porcentaje de compactación.

El porcentaje de compactación de los especímenes se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Compactacion} = \frac{\text{Peso especifico bulk del especimen extraido}}{G_{mm}} \times 100$$

$$\% \text{ Compact} = \left(\frac{2.2160}{2.401} \right) \times 100 = 92.30\%$$

En la siguiente tabla se muestra las propiedades volumétricas anteriormente analizadas de los especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

Tabla 6.21 Tabla de resultados del análisis densidad y vacíos de los especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| Especimen No. | % de Asfalto | Peso aire (g) | Peso (SSS) (g) | Peso sumergido (g) | Densidad bulk (gr/cm ³) | % Absorción | % V _a | % Compactación |
|---------------|--------------|---------------|----------------|--------------------|-------------------------------------|-------------|------------------|----------------|
| 1 | 6.38 | 851.5 | 853.9 | 471.2 | 2.225 | 0.63 | 7.33 | 92.67 |
| 2 | 6.38 | 785.5 | 789.2 | 434.0 | 2.211 | 1.04 | 7.90 | 92.10 |
| 3 | 6.38 | 866.0 | 868.5 | 477.1 | 2.213 | 0.64 | 7.85 | 92.15 |
| PROMEDIO | | | | | 2.216 | 0.77 | 7.70 | 92.30 |



VII. RESULTADOS Y ANALISIS.

VII.1.RESULTADO Y ANALISIS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS.

El agregado utilizado en la mezcla asfáltica para los ensayos Marshall y resistencia retenida es procedente del Banco de Materiales Panteón Viejo. Su extracción se realizó utilizando explosivos y a través de métodos mecánicos (martillo hidráulico y tractor de oruga); el banco cuenta con un volumen de explotación de 1, 200,000 mts³ de manto rocoso y se localiza en el km. 1+000 costado derecho, el material extraído fue triturado en el plantel El Plomo en el km. 2+500 costado derecho; ambos se ubican carretera hacia Muy Muy.

De los resultados granulométricos individuales de cada agregado (ver diseño de mezcla, en capítulo XI Anexo D), se determinó un tamaño máximo nominal de 3/4", por tanto se aplicaron las tolerancias granulométricas establecidas en el capítulo VI.1.A para un tamaño máximo nominal de 3/4".

Una vez que se establecieron las tolerancias de graduación que deben cumplir los agregados en base al tamaño máximo nominal adoptado, se definió la estructura del mismo calculando la granulometría de la mezcla por medio de métodos analíticos de las granulometrías individuales de los materiales, logrando obtener la dosificación de agregados para la elaboración de la mezcla en planta, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 7.1 Dosificación de agregados para elaboración de la mezcla en planta.

| Material | Tamaño (plg) | Porcentaje de aporte a la mezcla total |
|------------|--------------|--|
| Grueso | 3/4 | 33 |
| Intermedio | 3/8 | 19 |
| Fino | 3/16 | 48 |

Fuente: Diseño de Mezcla



La calidad de los agregados utilizados en la mezcla asfáltica se determinó de acuerdo a los parámetros mencionados en el capítulo VI.1.A y conforme a las especificaciones establecidas en las normas NIC-2000, estos resultados se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.2: Resultados del agregado en la mezcla asfáltica.

| PRUEBA | NORMA | RESULTADOS | ESPECIFICACION |
|--|-------------|------------|----------------|
| Índice de plasticidad | AASHTO T99 | 0% | 3 Max |
| Desgaste de los ángeles | AASHTO T96 | 12.8% | 40 Max |
| Perdida por sanidad del agregado grueso | AASHTO T104 | 6% | 12 Max |
| Perdida por sanidad del agregado fino | AASHTO T104 | 8% | 15 Max |
| Partículas chatas y alargadas | ASTM D4791 | 11.7% | 20 Max |
| Adherencia del asfalto | AASHTO T182 | 100% | >95% |
| Porcentaje de caras fracturadas | FLH T507 | 100% | 85 Min |
| Equivalente de arena | AASHTO T176 | 63.3% | 60 Min |
| Índice de durabilidad del agregado grueso | AASHTO T210 | 66.0% | 35 Min |
| Índice de durabilidad del agregado fino | AASHTO T210 | 66.0% | 35 Min |
| Peso unitario suelto del agregado grueso | AASHTO T19 | 1378 | N.E |
| Peso unitario suelto del agregado Intermedio | AASHTO T19 | 1302 | N.E |
| Peso Unitario del agregado Fino | AASHTO T19 | 1392 | N.E |
| Peso específico del agregado grueso | AASHTO T-85 | 2.696 | N.E |
| Eso específico del agregado Intermedio | AASHTO T-85 | 2.634 | N.E |
| Peso Específico del agregado Fino | AASHTO T-84 | 2.497 | N.E |
| % de Absorción del agregado Grueso | AASHTO T85 | 1.1 | N.E |
| % de Absorción del agregado Intermedio | AASHTO T85 | 2.5 | N.E |
| % de Absorción del Agregado Fino | AASHTO T84 | 3.3 | N.E |

Los valores muestran que el agregado utilizado cumple satisfactoriamente con las especificaciones mínimas establecidas para ser utilizado en la elaboración de la mezcla.



VII.2. RESULTADO Y ANALISIS DE LABORATORIO DEL CEMENTO ASFALTICO.

Datos suministrados por INETER indican que la temperatura media anual del municipio de San Ramon es de 25°C, por tanto se verificó utilizar cemento asfáltico del tipo AC-30 (Ver capítulo VI.1.A). La dosificación de asfalto utilizado en la elaboración de la mezcla fue del 6.3% sobre la mezcla (6.7% sobre el agregado) determinado en base a los parámetros obtenidos de las gráficas de propiedades Marshall establecidas en el diseño de mezcla.

A continuación se muestran las características del cemento asfáltico utilizado, como se observa los resultados cumplen con las especificaciones mínimas establecidas en el capítulo VI.1.B para ser utilizado para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Tabla 7.3 Asfalto AC-30 para mezcla asfáltica.

| REQUISITO PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60°C (Clasificación basada en asfalto original). | | | |
|---|--|-------------------------|----------------|
| PRUEBA | GRADO DE VISCOSIDAD | | |
| | ESPECIFICACION ASTM D 3381 TABLA 2 | RESULTADOS OBTENIDOS | METODO ASTM |
| Gravedad específica a 15.5°C | N.E | 1.065 | D 70 |
| Peso (Lbs/Gal) | N.E | 8.763 | D 70 |
| Viscosidad, 60°C,poises | 3000±600 | 2,931 | D 2171 |
| Viscosidad, 135°C, Cs mínimo | 350 | 497 | D 2170 |
| Penetración, 25°C, 100g, 5 seg-minimo | 50 | 70 | D 5 |
| Punto inflamador, Cleveland,°C(°F)-mínimo | 232(450) | 520 | D 92 |
| Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-mínimo | 99.0 | 100.0 | D 2042 |
| Punto de ablandamiento °F | N.E | 115 | D 36 |
| Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO: | | | |
| Perdida por calentamiento, porciento-máximo (opcional) ³ | 0.5 | | |
| Viscosidad, 60°C, poises- máximo | 15000 | 8,741 | D 2171 |
| Ductilidad, 25°C , 5 cm por minuto,cm-minimo | 40 | >105 | D 113 |

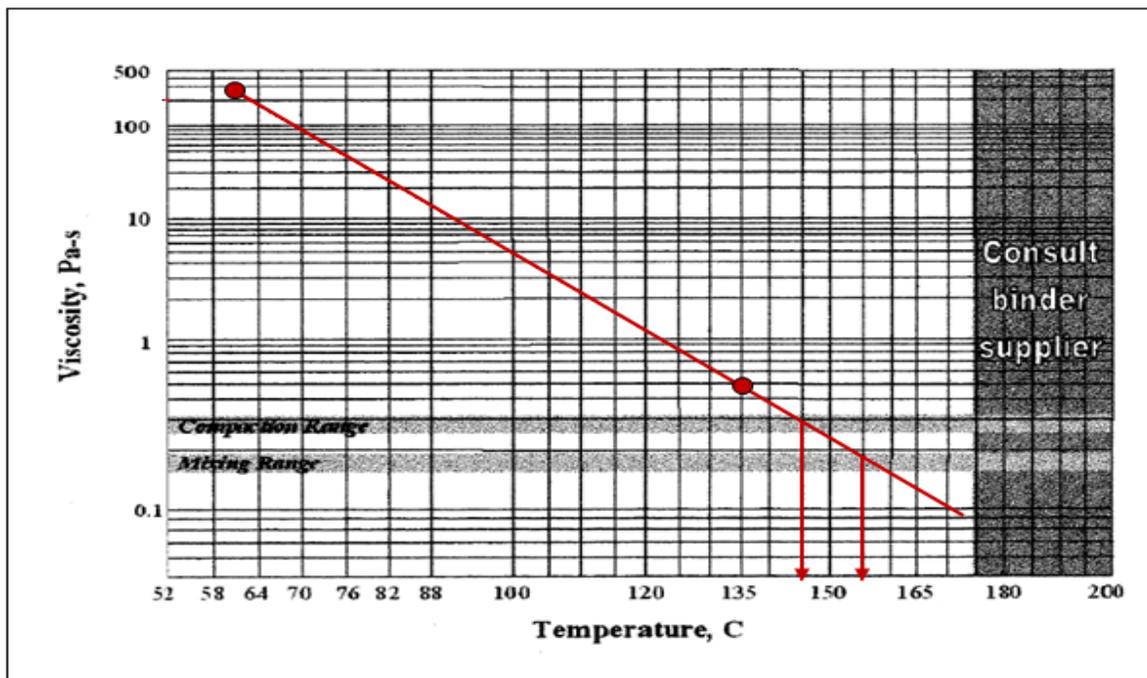
Fuente: Diseño de Mezcla



A partir de los resultados de viscosidad absoluta y viscosidad cinemática, se determinó la temperatura de mezclado y compactación de la mezcla. Aplicando las ecuaciones 1 y 2 establecidas en el capítulo V.2.C, se procedió a graficar ambos puntos en la curva viscosidad temperatura (ver gráfico 7.1), obteniendo como resultado una temperatura promedio de mezclado y compactación en laboratorio de 155°C y 145°C respectivamente. Por lo tanto de acuerdo a lo establecido en el capítulo antes mencionado y según las especificaciones del proyecto (ver capítulo XI Anexo D) se estableció una temperatura mínima de compactación en campo de 140°C y de mezclado en planta de 150°C.

A continuación se muestra el gráfico de la curva viscosidad temperatura, donde se determinan la temperatura de compactación y mezclado de laboratorio anteriormente mencionadas.

Gráfico 7.1. Gráfico de viscosidad temperatura para cemento asfáltico tipo AC-30 utilizado en la mezcla.





VII.3 RESULTADOS Y ANALISIS DE LA MEZCLA ASFALTICA.

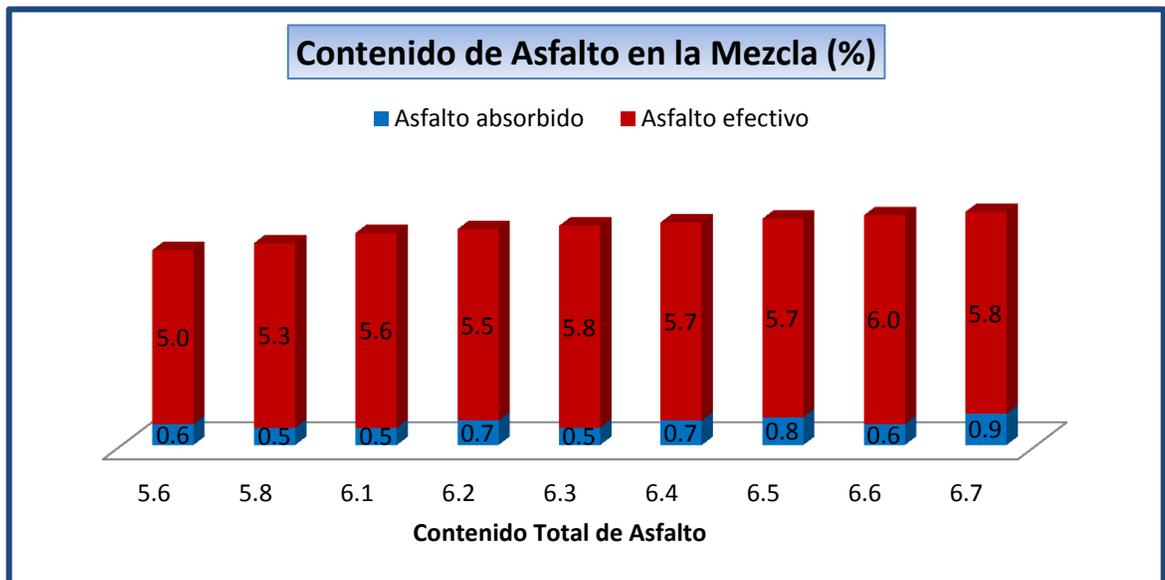
A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis de la mezcla asfáltica producida en planta extraída de las extendedoras, previo a su colocación en el proyecto.

a. Granulometría del agregado en la mezcla asfáltica.

Para determinar la granulometría de la combinación de los agregados ya integrados en la mezcla asfáltica, se realizó primeramente el ensayo de extracción de asfalto (AASHTO T164) obteniendo un contenido de asfalto mínimo de 5.6% y un máximo de 6.7%, dando como resultado un valor promedio del 6.36%, en el siguiente grafico se muestra la variación del contenido de asfalto obtenido de los 40 ensayos realizados a la mezcla producida en planta, al mismo tiempo se representan el contenido de asfalto efectivo y absorbido para cada uno.

Gráfico 7.1 Contenido de Asfaltos en la Mezcla.

Tramo: 4+280 - 14+040.





A continuación se muestra el resultado promedio de los 40 ensayos y su comparación con el obtenido del diseño de mezcla.

Gráfico 7.2: Comparación del contenido de asfalto



En el gráfico se observa que la variación del contenido de asfalto presenta un aumento del 0.94% de la mezcla producida en planta, lo que puede deberse a variaciones del sistema calibrador.

El análisis granulométrico se efectuó sobre el agregado extraído, estos por ser agregados del tipo procesados resultaron densamente gradados en su granulometría, obteniéndose un tamaño máximo nominal de 19 m.m (>10m.m) y los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 7.3: Resultados de granulometría promedio de mezcla asfáltica.

| Tamiz " | Tamiz mm | Peso ret. Acumulado | % ret Acumulado | % Pasa | Graduación | |
|---------|----------|---------------------|-----------------|--------------|------------|-----|
| 1" | 25 | 0 | 0.0 | 100.0 | 100 | 100 |
| 3/4" | 19.4 | 8.5 | 1.1 | 98.9 | 90 | 100 |
| 3/8" | 9.5 | 209.2 | 27.1 | 72.9 | 56 | 80 |
| 4 | 4.75 | 359.0 | 46.5 | 53.5 | 35 | 65 |
| 8.0 | 2.36 | 495.6 | 64.2 | 35.8 | 23 | 49 |
| 50 | 0.30 | 680.9 | 88.2 | 11.8 | 5 | 19 |
| 200 | 0.075 | 735.7 | 95.3 | 4.7 | 2 | 8 |
| <200 | <0.075 | 768.9 | 99.6 | 0.4 | | |

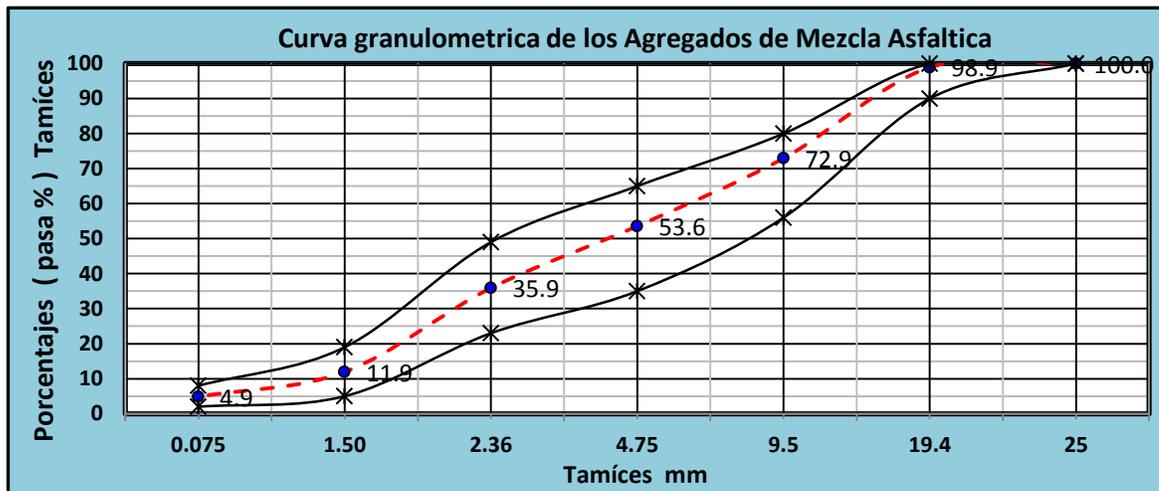


Los resultados de graduación son satisfactorios por encontrarse dentro de las tolerancias establecidas para el tamaño máximo nominal antes mencionado, en referencia a la granulometría estipulada en el capítulo VI.1.A.

A continuación se muestra el gráfico granulométrico, conformado por los porcentajes pasantes de cada tamiz, basado en los resultados anteriormente descritos.

Gráfico 7.3 Granulometría promedio de la Mezcla Asfáltica en caliente.

Estac. 4+280 a 14+040



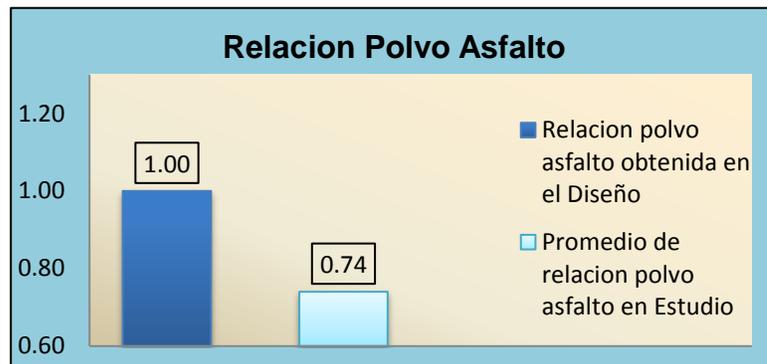
La curva obtenida muestra un adecuado uso granulométrico con cantidades adecuadas de todos los tamaños de grueso a fino que se encuentra dentro del rango de tolerancias mínimas y máximas, lo que demuestra una adecuada graduación en planta.

En base al porcentaje de asfalto y polvo mineral pasante en la malla No. 200 se obtuvo una relación polvo-asfalto de 0.74, resultando dentro de lo establecido en el capítulo VI.1.C y en correspondencia a las normas NIC-2000.



El siguiente gráfico muestra la comparación del resultado obtenido con el calculado en el diseño de mezcla.

Gráfico 7.4 Comparación de Relación Polvo- Asfalto.



La relación polvo asfalto experimenta una disminución del 26% , lo que evidencia una variación en la dosificación de los materiales (asfalto y agregado) en planta, sin embargo se encuentra dentro de las tolerancias mínimas y máximas establecidas (0.6 a 1.3), lo que garantiza una buena impermeabilidad y durabilidad en la mezcla.



VII.3.A. Análisis de las propiedades volumétricas de la mezcla.

a. Prueba de densidad máxima RICE de la mezcla.

Conforme el capítulo V.4.A se realizó el cálculo de la densidad máxima RICE (AASHTO T209) sobre la mezcla suelta extraída de las extendedoras, resultando una densidad máxima promedio de los cuarenta ensayos realizado igual a 2.397 gr/cm^3 .

b. Prueba de densidad bulk de la mezcla compactada.

Se determinó la densidad bulk, para cada grupo de especímenes analizados aplicando la norma de ensayo AASHTO T275. De los especímenes Marshall se obtuvo un resultado de 2.294 gr/cm^3 , mientras que para los especímenes de resistencia retenida, se obtuvo un resultado de 2.228 gr/cm^3 . Estos resultados son importantes porque sirven para determinar los porcentajes de vacíos con aire para cada grupo de especímenes.

Con los resultados de densidad bulk y densidad máxima teórica se procede a mostrar los resultados correspondientes al análisis de las propiedades volumétricas de la mezcla que se mencionan a continuación.

c. Vacíos con Aire, Va.

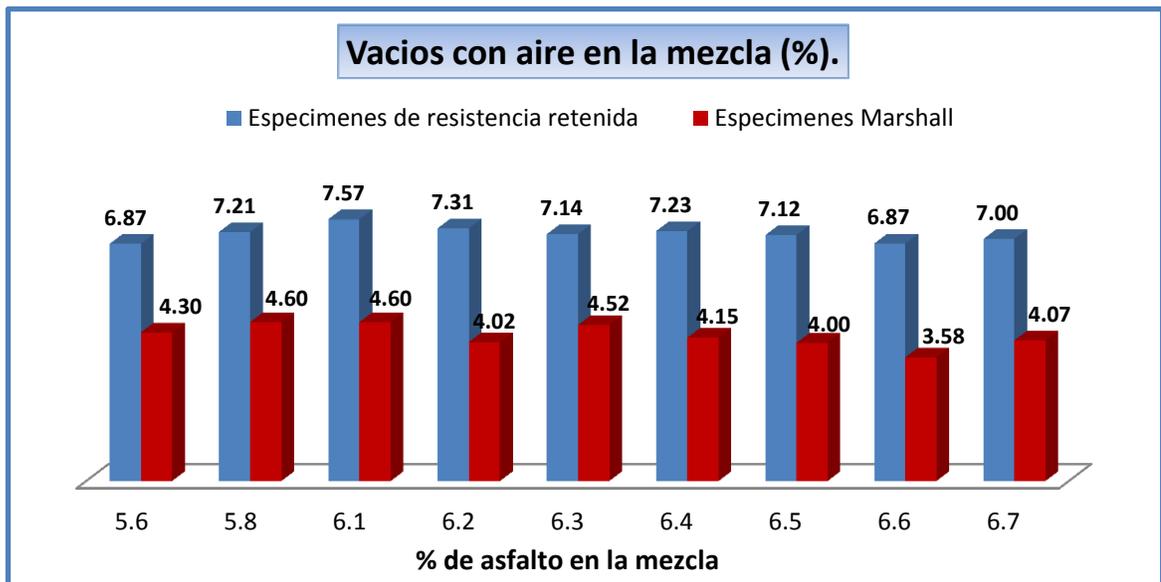
Una característica volumétrica muy importante lo constituyen el porcentaje de vacíos con aire, como se observa en el grafico siguiente, los resultados de los especímenes Marshall se mantuvieron dentro de la banda de tolerancia (3 a 5%) establecida en el capítulo VI.1.C de acuerdo a las norma NIC-2000, lo que indica que la mezcla es del tipo densa y que puede alcanzar bajo ciertas condiciones controladas de compactación y temperatura, una adecuada densidad en campo.

En cuanto a los especímenes de resistencia retenida a como se mencionó en el capítulo V.4.B, el método establece como mínimo 6% de vacíos con aire para



simular lo más cercano posible los porcentajes de vacíos iniciales en campo; establecidos por el método Marshall los cuales deberán variar del 6 a 8% (ver capítulo V.4.A), a como se muestra, se obtuvieron resultados satisfactorios que superaron el mínimo establecido de 6%, lo que indica que la carga de compactación establecida de 2,100 psi fue lo suficientemente acertada. A continuación se muestra el gráfico representativo del contenido de vacíos con aire obtenidos del proceso de evaluación.

Gráfico 7.6 Vacíos con aire (Va).
Tramo: 4+280 - 14+040.



Del gráfico se obtiene el comportamiento o tendencia de los valores obtenidos, los cuales indican que el porcentaje de vacíos con aire influye en la contribución del asfalto en las propiedades de la mezcla, lo que conlleva a que a menor contenido de vacíos, mayor es la influencia del mismo en la deformación y resistencia de la mezcla.



Se obtuvo como resultado promedio de los especímenes Marshall y Resistencia Retenida igual a 4.13% y 7.16% respectivamente. A continuación se muestra el gráfico representativo de ambos valores obtenidos.

Gráfico 7.7 Comparación de Va.



El gráfico señala una disminución del contenido de vacíos con aire en los especímenes Marshall del 42,31%, este resultado es consecuencia de la variación en la energía de compactación establecida en cada método de ensayo. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados, comparando estos resultados con la densidad bulk obtenida para cada grupo de especímenes, se determina que entre más alta es la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa.

d. Vacíos en los agregados minerales VMA.

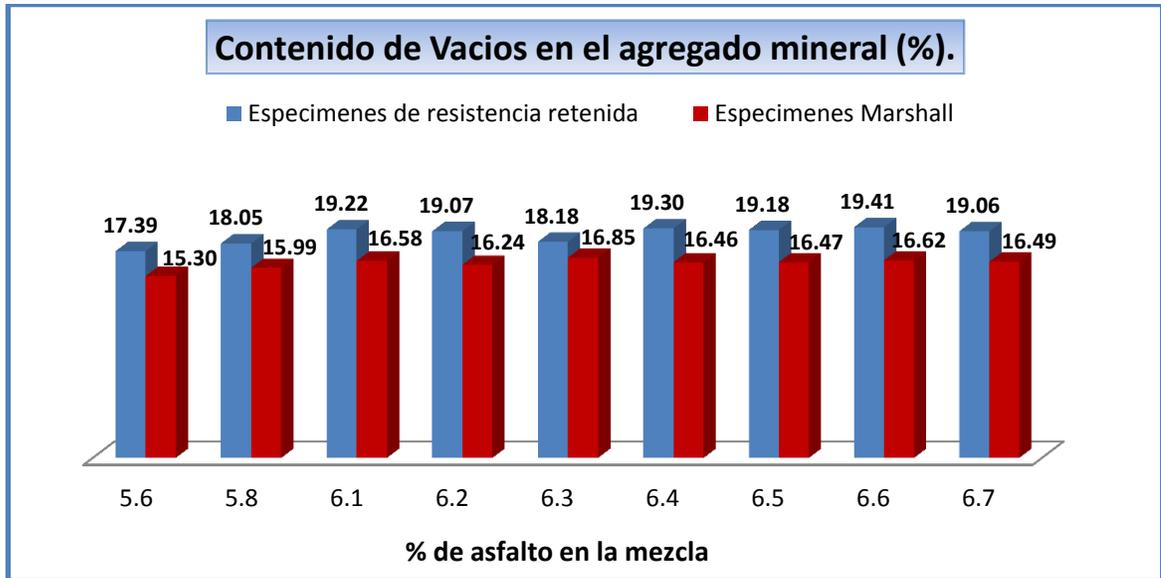
Es importante recordar que los vacíos en el agregado mineral (VMA), representan el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos con aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. De acuerdo al capítulo VI.1.C, los requisitos de diseño Marshall para el V.M.A en una mezcla asfáltica deben alcanzar un valor mayor al 14% mínimo, esto en correspondencia al tamaño máximo nominal del agregado determinado anteriormente (19 m.m).



En el grafico se muestra el comportamiento de los valores obtenidos en base a los resultados de laboratorio de ambas pruebas realizadas.

Gráfico 7.8 Vacíos en los agregados minerales (V.M.A).

Estac. 4+280 a 14+040



Como se observa, los valores de los especímenes Marshall superan el mínimo requerido de 14%, lo que indica que existe un adecuado balance de las partículas internas en la mezcla. Los especímenes de resistencia retenida experimentan un aumento considerable del V.M.A, lo cual es debido a que al haber un aumento en el contenido de vacíos para un mismo porcentaje de asfalto habrá un aumento del V.M.A.



En el grafico siguiente se muestran los resultados promedios, obtenidos para cada ensayo.

Gráfico 7.9 Comparación de V.M.A.



El grafico muestra una disminución del V.M.A del 13.26% de especímenes Marshall con respecto a los de resistencia retenida. Este resultado deja en evidencia la influencia de la energía de compactación en las propiedades volumétricas de la mezcla para una misma granulometría y contenido de asfalto.

e. Vacíos rellenos con asfalto VFA.

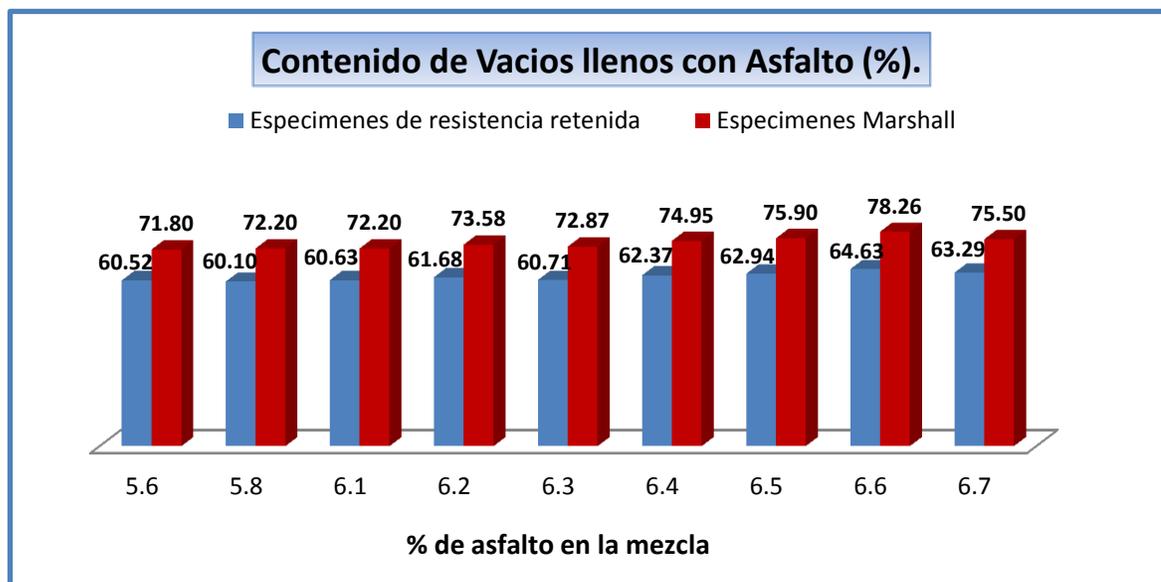
El VFA es el porcentaje de VMA que contiene asfalto. El concepto de VFA es de gran importancia ya que nos asegura que el porcentaje de asfalto efectivo (P_{be}) no sea demasiado pequeño como para producir una mezcla poco durable, o demasiado alto como para obtener una mezcla demasiado inestable. En este estudio se determinó un contenido de asfalto efectivo promedio de 5.80% y un contenido de asfalto absorbido de 0.56%, ambos conforman el contenido total de asfalto de 6.36% cuyo valor promedio fue determinado anteriormente en el ensayo AASHTO T164.



El rango aceptable de VFA para los especímenes Marshall depende del nivel de tránsito, altos niveles de tránsito requieren menores porcentajes de VFA, debido a que en estas condiciones la resistencia y la estabilidad de las mezclas son la mayor preocupación. Bajos niveles de tránsito requieren porcentajes de VFA mayores para garantizar la durabilidad de la mezcla, en nuestro estudio se determinó un tráfico pesado, por lo cual se procedió a utilizar las tolerancias establecidas en el capítulo VI.1.C, de acuerdo a lo establecido en las normas NIC-2000.

Gráfico 7.10 Vacíos rellenos con asfalto (V.F.A).

Estac. 4+280 a 14+040



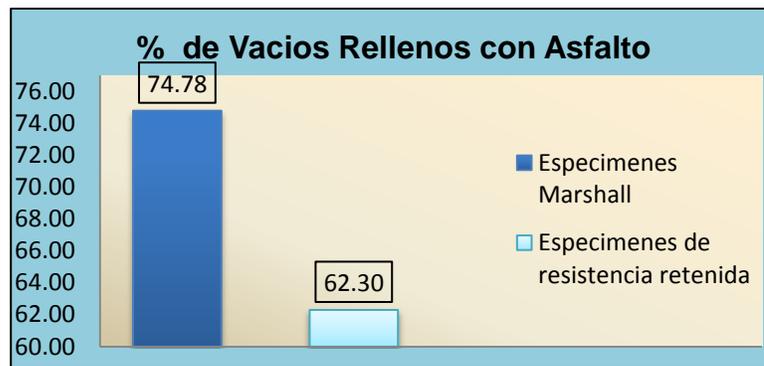
En los resultados de VFA para los especímenes Marshall se observa que a contenidos de asfalto inferiores al 6.4% los resultados cumplen con la especificación (65 a 75), sin embargo a porcentajes mayores, ósea superiores al 6.4% estos superan el máximo establecido, lo que indica que existe un exceso de asfalto en la mezcla.



En cuanto a los resultados obtenidos de los especímenes de resistencia retenida, resultaron mucho menores y por debajo del mínimo establecido por el método Marshall, esto debido al alto porcentaje de vacíos con aire obtenidos.

A continuación, se muestra el gráfico con los resultados promedios de VFA obtenidos de los especímenes Marshall y Resistencia Retenida, cabe aclarar que estos resultados son el resultado promedio de los 40 ensayos realizados en cada método.

Gráfico 7.11 Comparación de V.F.A.



El gráfico permite visualizar un aumento del V.F.A en los especímenes Marshall de 16.70%, lo cual es evidente debido a que al haber un aumento en el porcentaje de vacíos con aire en los especímenes de resistencia retenida se produce una disminución del VFA en la mezcla. A continuación se resumen en la siguiente tabla cada una de las propiedades volumétricas anteriormente analizadas.

Tabla 7.5 Comparación de las propiedades volumétricas de la mezcla.

| Propiedad | Método Marshall | Método Resistencia Retenida |
|--|-----------------|-----------------------------|
| Densidad bulk (gr/cm ³) | 2.294 | 2.228 |
| Vacíos con aire. Va (%) | 4.13 | 7.16 |
| Vacíos en el agregado mineral, V.M.A (%) | 16.48 | 19.00 |
| Vacíos llenos con asfalto. V.F.A (%) | 74.78 | 62.30 |



VII.3.B. Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla.

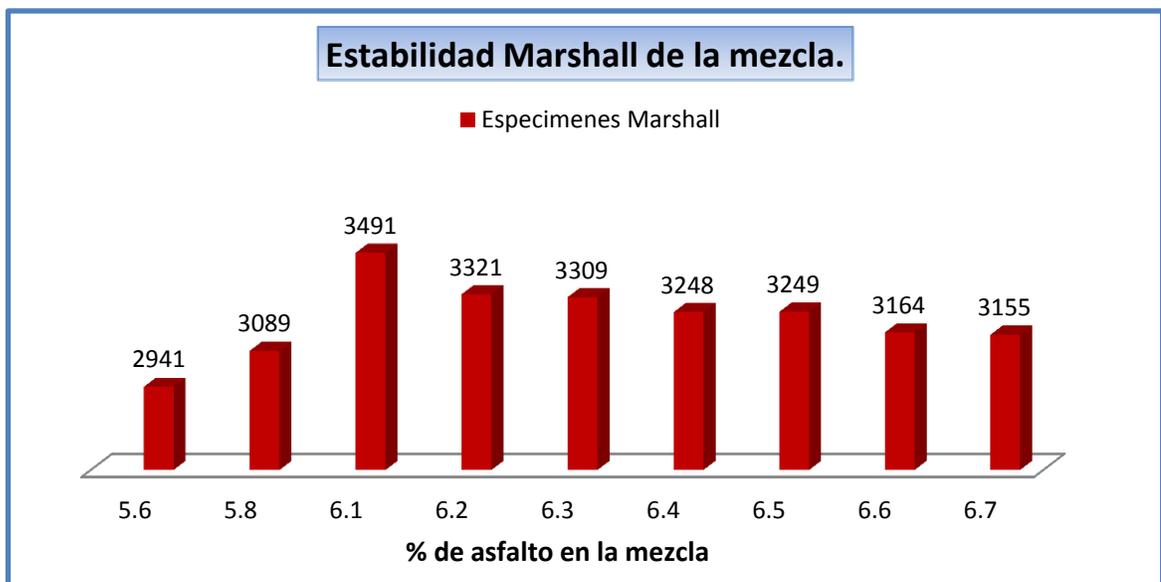
Estas pruebas las realizamos con la finalidad evaluar la resistencia de la mezcla asfáltica compactada bajo diferentes condiciones y tipos de carga, utilizando diversos equipos como es la máquina de ensayos Marshall y la máquina de compresión simple. El fin de estos ensayos es evaluar el comportamiento de la mezcla asfáltica compactada bajo diferentes criterios de falla como son su resistencia y humedad.

a. Prueba de estabilidad.

Se realizó la prueba de estabilidad sobre los especímenes Marshall, aplicando las tolerancias establecidas en el diseño de mezcla de 2000 lbs. (Ver capítulo XI Anexo D) y aplicando de igual forma las especificaciones establecidas en el capítulo VI.1.C de acuerdo a las normas NIC-2000 (1,800 lbs). Los valores obtenidos se muestran en el siguiente gráfico:

Gráfico 7.12 Estabilidad Marshall de la mezcla asfáltica (lbs).

Est 4+280 a 14+040.





Como se observa los resultados superaron las tolerancias mínimas mencionadas anteriormente, sin embargo se obtuvo un valor máximo de estabilidad igual a 3,491 lbs con 6.1% de asfalto, se observa que valores superiores al 6.1% de asfalto, la estabilidad empieza a disminuir hasta un mínimo de 3,155 lbs.

En el siguiente gráfico se muestra el valor de estabilidad obtenida y su comparación con el establecido en el diseño de mezcla, determinado en función del porcentaje óptimo de asfalto de 6.30%:

Gráfico 7.13 Comparación de Estabilidad.



Como se observa en el gráfico, en el presente estudio se obtuvo un valor de estabilidad promedio igual a 3,243 lbs., este valor es satisfactorio porque supera las especificaciones mínimas anteriormente mencionadas. Con respecto a la obtenida en el diseño de mezcla, este valor presenta una disminución del 0.52%, lo que resulta evidente debido a que en nuestro estudio se obtuvo un porcentaje de asfalto promedio mayor ($6.36\% > 6.30$).

b. Flujo de la mezcla asfáltica.

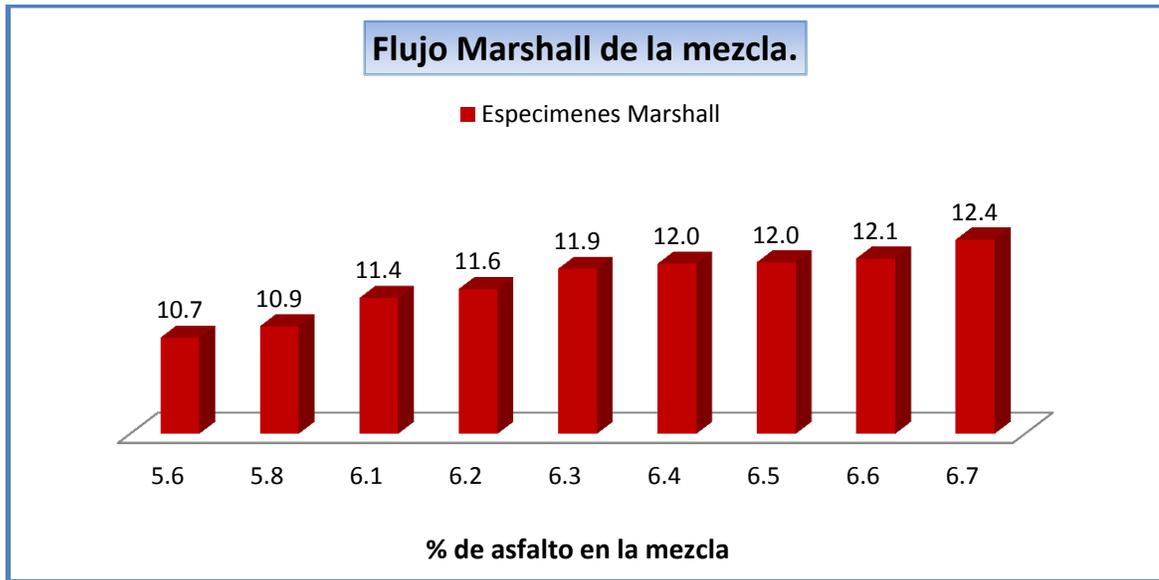
Al mismo tiempo que se determina la resistencia de la mezcla ante las cargas de tráfico se realizó la prueba de flujo sobre los especímenes Marshall para medir la deformación de la mezcla ante la aplicación de cargas. Las especificaciones técnicas establecen tolerancias mínimas y máximas de 8 a 14 (1/100").



Como se observa en el grafico los resultados se mantuvieron dentro de estos límites, el mayor valor de flujo Marshall se obtuvo para un 6.7% de asfalto, para menores contenidos de asfalto el flujo comienza a disminuir hasta alcanzar un valor de 10.7 (1/100plg).

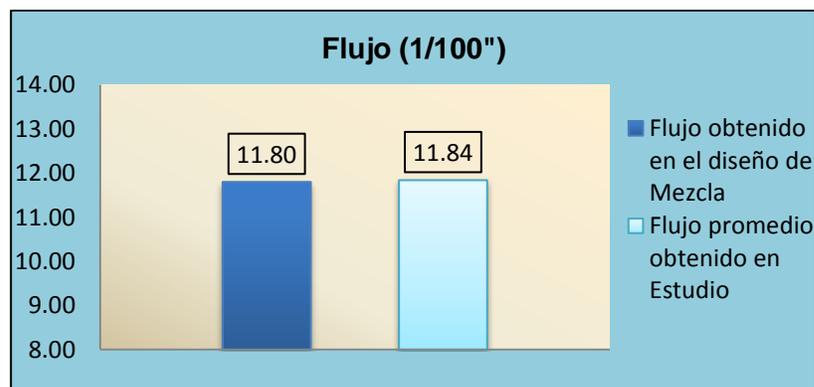
Gráfico 7.14 Flujo Marshall de la mezcla (1/100 plg).

Est 4+280 a 14+040



A continuación se muestra el grafico comparativo del valor obtenido en el presente estudio con el establecido en el diseño de mezcla calculado en base al contenido óptimo de asfalto de 6.30%.

Gráfico 7.15 Comparación de flujo.





En el presente estudio se obtuvo un promedio de 11.84 (1/100"), el cual cumple con las especificaciones antes descritas, lo que garantiza un eficiente comportamiento visco-elástico.

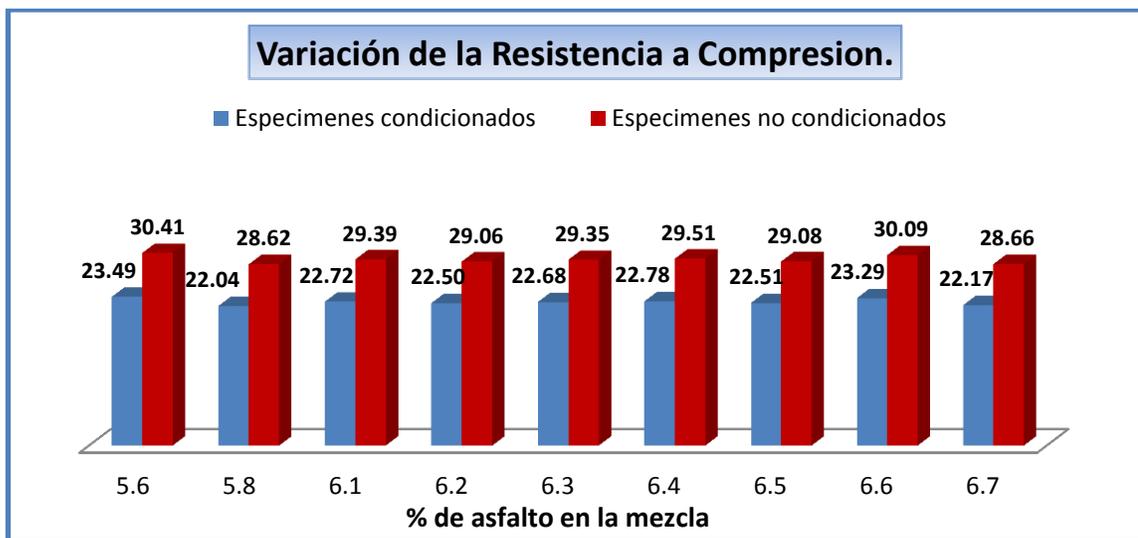
La comparación con el diseño de mezcla indica que en nuestro estudio hubo un aumento 0.3%, esto es lógico debido al aumento del contenido de asfalto en la mezcla, que resultó de 6.36% mayor al establecido en el diseño de mezcla de 6.30%.



c. Determinación del Índice de Resistencia Retenida.

Para la determinación del índice de resistencia retenida, se debe obtener primeramente la resistencia a compresión de los especímenes condicionados y no condicionados para cada uno de los 40 ensayos realizados, en el siguiente gráfico se representa la variación de la resistencia a compresión experimentada como consecuencia de la variación del porcentaje de asfalto en la mezcla.

Gráfico 7.16 Resistencia a compresión de especímenes de resistencia retenida (kg/cm^2).



A continuación se muestra las densidades determinadas para cada porcentaje de asfalto, de los especímenes de resistencia retenida.

Tabla 7.6: Variación de la densidad bulk de especímenes de resistencia retenida.

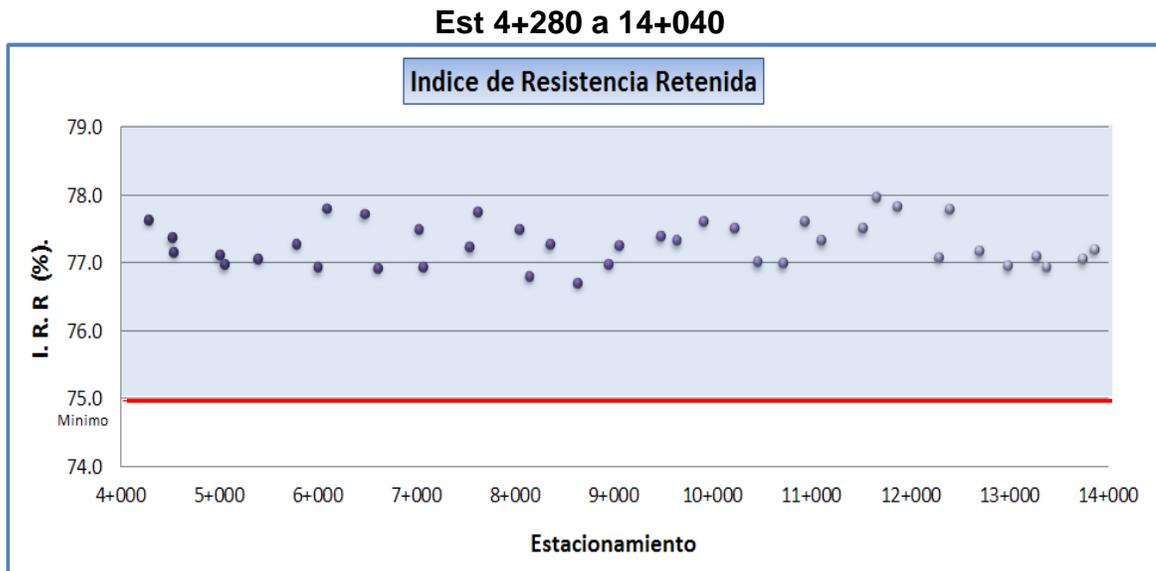
| Variación de la densidad bulk para distintos porcentajes de asfalto, para especímenes de resistencia retenida. | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Contenido de Asfalto (%). | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.5 | 6.6 | 6.7 |
| Densidad bulk (gr/cm^3). | 2.225 | 2.234 | 2.218 | 2.224 | 2.227 | 2.226 | 2.232 | 2.229 | 2.236 |



El gráfico muestra que la diferencia de resistencia a compresión entre las mezclas con un contenido de asfalto entre el 6.2% al 6.4% son muy pequeñas y aumentan para los otros contenidos. Emplear un 5.6% de ligante en vez del 5.8% supone aumentar en 1.45 kg/cm^2 la resistencia, mientras que para el 6.6% y 6.7% se obtienen valores muy similares.

El gráfico siguiente muestra los 40 ensayos realizados, donde se aprecia la variación del Índice de resistencia retenida del cual se obtuvo un resultado promedio de 77.3%, mayor al establecido en las especificaciones propias del proyecto (capítulo XI Anexo D.) donde se establece un mínimo de 75%, y de igual forma superando el mínimo establecido en el capítulo VI.1.C de acuerdo a las normas NIC-2000 que establecen un mínimo del 70%.

Gráfico 7.17 Índice de resistencia retenida de la mezcla (%).

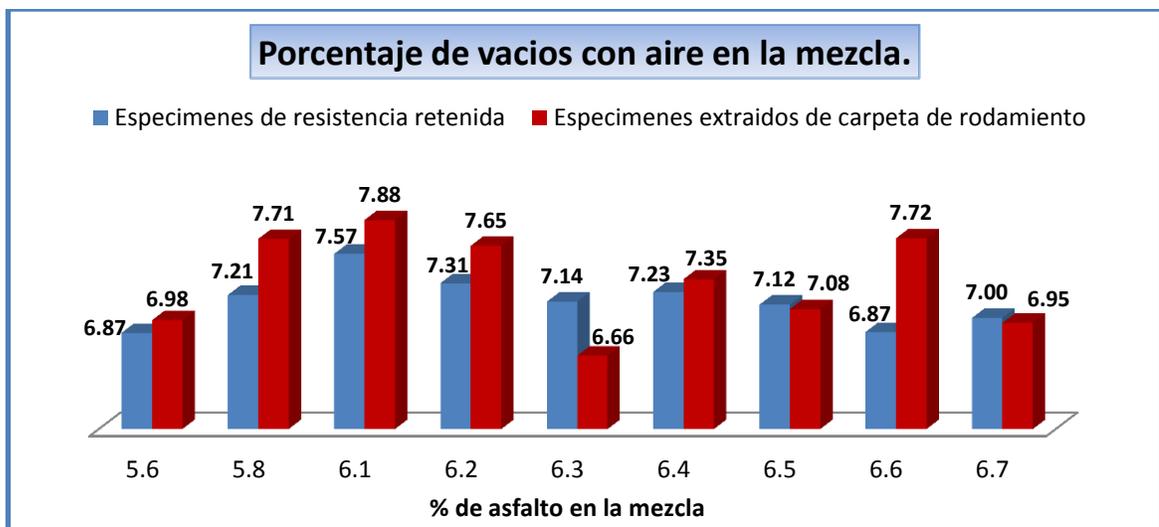


Estos resultados indican que la combinación asfalto agregado utilizado en la mezcla no es susceptible a la acción del agua, lo que repercute significativamente en una mejor afinidad, teniendo como consecuencia el aumento en la durabilidad de la mezcla.

VII.3.D Análisis de especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

Se realizó la extracción de especímenes de la carpeta de rodamiento días después de su colocación para determinar el contenido de vacíos en campo, como se muestra en el siguiente gráfico, estos tienen gran similitud con los del método de resistencia retenida:

Gráfico 7.18 Vacíos con aire de testigos extraídos de la carpeta de rodamiento (Estac. 4+280 a 14+040).



Los resultados de vacíos con aire de los especímenes de campo se encuentran dentro de los rangos descritos en el capítulo V.4.A de vacíos iniciales con aire en campo, donde se establecen tolerancias de 6 a 8%, lo que indica que la mezcla fue colocada con los equipos de compactación adecuados para el nivel de tránsito proyectado para la carretera. El porcentaje de vacíos con aire promedio resultó de 7.29%, este resultado muestra similitud con el obtenido de los especímenes de resistencia retenida que resultaron de 7.16%, lo que garantiza que se cumplieron las expectativas exigidas por el método, cuyo objetivo es simular el contenidos de vacíos con aire obtenidos de campo para determinar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica al agua.



VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII.1. Conclusiones.

- Conforme a los resultados obtenidos en el capítulo VII.1 acerca de las propiedades de los agregados, se concluye que los agregados del tipo procesados presentan una forma angular y una textura superficial rugosa en sus caras fracturadas, obteniendo un tamaño máximo nominal del agregado de 19 mm. Dando como resultado una granulometría del tipo densa conveniente para las mezclas asfálticas, ya que contiene cantidades adecuadas de todos los tamaños incluyendo polvo mineral.
- Debido a su forma angular y textura estos oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga, y su granulometría densamente gradada permite la formación de buenas áreas de contacto entre las partículas. Originando un alto grado de fricción interna del agregado fino permitiendo una alta resistencia al ahuellamiento, y de igual forma alcanzando mayores estabilidades en la mezcla asfáltica, obteniendo bajos porcentajes de vacíos lo que hace la mezcla poco permeable. Por tanto los agregados son lo suficientemente estables ante los efectos impuestos por el manipuleo durante su paso a través de la planta de asfalto y resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y la degradación de las partículas.
- Del capítulo VII.2 se determina que la viscosidad del ligante tiene su incidencia en la cohesión de la mezcla para mantener las presiones de contacto desarrolladas entre las partículas del agregado, por tanto el tipo de asfalto clasificado de acuerdo a su viscosidad depende de las condiciones climáticas del lugar, en nuestro estudio se verificó utilizar asfalto del tipo AC-30.



- El grafico 7.6, muestra que en nuestro estudio a medida que aumenta el contenido de asfalto en la mezcla, para una misma granulometría y esfuerzo de compactación, se van llenando los espacios que ocupa el aire entre los agregados, y en consecuencia el porcentaje de vacíos con aire respecto al volumen del espécimen empieza a disminuir.
- El grafico 7.8 del capítulo VII.3.A muestra el comportamiento del VMA para ambos métodos, se observa que a medida que incrementa el porcentaje de asfalto en la mezcla, este cubre las partículas y hace que ellas comiencen a separarse, perdiéndose el contacto grano a grano, y por lo tanto el espacio no ocupado por los agregados (VMA), comienza a crecer. Sin embargo para un asfalto del 6.4% se observa que este comienza a actuar como agente lubricante, las partículas vuelven a buscar un mejor acomodo, y los espacios entre los granos (VMA) tiende a disminuir, ya que el espacio que ocupa el aire disminuye a una mayor velocidad que el incremento que aporta el asfalto en la formación del VMA.
- El grafico 7.10 del capítulo anteriormente mencionado representa la consecuencia lógica del aumento en el porcentaje de asfalto, se observa que a mayores contenidos de asfalto existe un aumento de los VFA, que en este caso sería la parte del VMA que son llenados por el asfalto.
- La comparación de las propiedades volumétricas obtenidas por el ensayo Marshall y Resistencia Retenida, resultan notablemente distintas para ambos métodos. Esto se debe a que el Método Marshall refleja las propiedades de la capa asfáltica después de varios años de servicio, cuando las cargas de tráfico han densificado la mezcla. Mientras que el método de Resistencia Retenida refleja el comportamiento actual de la mezcla en su colocación, lo que permite determinar las propiedades de la mezcla en su estado más crítico. La aplicación de ambos métodos permite



determinar la resistencia de la mezcla ante los efectos ambientales y ante las cargas de tráfico.

- De los datos obtenidos llegamos a la conclusión de que las relaciones volumétricas son una expresión directa del contenido de asfalto y granulometría con que se formula la mezcla. Las relaciones volumétricas inciden en la durabilidad de la mezcla. Un valor de VFA (vacíos llenados con asfalto) próximo a 75 % y vacíos con aire del orden de 3 a 5 % son indicadores de una mezcla durable. Sin embargo valores que se alejen de estas magnitudes (vacíos con aire menores al 3% y mayores al 5%) producirán una mezcla sensible a la humedad y envejecimiento prematuro si tiene poco asfalto, o una mezcla propensa a exudarse y deformarse si tiene un contenido de asfalto excesivamente alto.
- El grafico 7.12 del capítulo VII.3.B muestra que la estabilidad aumenta con el contenido de asfalto hasta llegar a un punto máximo y luego comienza a descender con incrementos en el porcentaje de asfalto por encima del correspondiente al de mayor estabilidad. Esto indica que a bajos contenidos de asfalto y ante un esfuerzo dado de compactación, para una granulometría establecida, el total de la resistencia proviene prácticamente del contacto grano a grano de las partículas de agregado, con un aporte mínimo de la cohesión. A medida que se incrementa el porcentaje de asfalto, el aporte de la cohesión se va haciendo mayor, y se va sumando al aporte de la fricción interna del agregado. Por otra parte el asfalto va lubricando mejor las partículas del agregado, que consiguen mejor acomodo y su contacto grano a grano se hace mayor, y aumenta la fricción interna entre las partículas. Esto sucede hasta un punto en el cual, ante un exceso de asfalto se comienza a perder el contacto grano a grano, y la estabilidad comienza a ser aportada especialmente por la cohesión del ligante y la fracción fina de los agregados.



- Como se observa en el grafico 7.14 del capítulo VII.3.B, que el flujo aumenta con valores mayores de ligante, lo cual es una consecuencia lógica de que mezclas más ricas, al tener mayor cantidad de asfalto, son más flexibles y deformables que mezclas más secas.
- Cuando existe una modificación de la estructura de pavimento de seco a húmedo, se presenta un disminución de la resistencia de la mezcla asfáltica, lo que indica pérdida de cohesión entre el agregado y el asfalto en la mezcla debido principalmente a que el agua tiende a separar la capa de asfalto que se encuentra unida al agregado, ocasionando el desprendimiento de la película, provocando una disminución de la resistencia mecánica de la mezcla.
- En el grafico 7.16 del capítulo VII.3.B es muy importante señalar que los dos parámetros utilizados en la caracterización de la mezcla (densidad y resistencia), este último resulta mucho más sensible a la variación del contenido de asfalto. Aumentar en un 0.1% el contenido de asfalto partiendo del 6.2% de asfalto, supone aumentar en un 1% su resistencia y en 0.13% su densidad. Es decir si aumentamos el porcentaje de asfalto en la mezcla podríamos detectarlo en caso de determinar su resistencia, pero difícilmente lo detectamos si solo controlamos su densidad.
- La variación del índice de resistencia retenida de las 40 muestras analizadas en el grafico 7.17 del capítulo VII.3.B, indican que a la temperatura de 25°C a que se realiza el ensayo, la mezcla se comporta como un material rígido, y su resistencia máxima de rotura está relacionada con la compacidad de la mezcla y con la dureza de los agregados, siendo estos factores los que determinan la calidad de la mezcla. Comprobando así que este ensayo es lo suficientemente sensible para detectar variaciones en la resistencia de las mezclas cuando se modifican las



propiedades de los materiales componentes, tales como contenido de asfalto y granulometría del agregado.

- El resultado promedio del Índice de resistencia retenida fue de 77.3% este valor indica que existe buena adherencia entre el asfalto y el agregado en condiciones de humedad asegurando la vida útil de la mezcla asfáltica para el cual ha sido diseñada.
- Los resultados obtenidos en la aplicación del ensayo de resistencia retenida nos muestran la posibilidad de emplear este ensayo en el control de ejecución de las mezclas asfálticas, ya que sus resultados se traducen en características mecánicas de la mezcla que brinda una idea mejor respecto al comportamiento esperado para cualquier mezcla.
- El tema analizado fue por demás interesante, pues se realizó un documento que presentara el procedimiento para la fabricación de la mezcla asfáltica compactada en laboratorio, en el cual se logró detallar el cálculo para la obtención de los parámetros volumétricos y mecánicos que normalmente son usados en la evaluación de mezcla asfáltica. Esperamos que motivados por este documento que hemos realizado sobre la evaluación de mezcla asfáltica en nuestro país, más estudiantes dediquen su tiempo a la obtención de nuevos resultados en el campo de las mezclas asfálticas.
- Se establece un criterio de aceptación de la mezcla asfáltica puesta en obra, debido a que la mezcla no es susceptible a la humedad y cuyos parámetros mecánicos y volumétricos han cumplido con las normas antes descritas.



VIII.2. Recomendaciones.

- Se debe cumplir a cabalidad los procedimientos y condiciones para la realización de los ensayos de laboratorio.
- Se recomienda que la evaluación de las mezclas asfálticas no se restrinja solamente al análisis de las propiedades Marshall de la mezcla, sino también se aplique el método de resistencia retenida establecido en las normas AASHTO T165, con el fin de evaluar la susceptibilidad de la mezcla bajo los efectos del agua, logrando garantizar sus propiedades mecánicas y no solo su compacidad, principalmente en aquellos sitios donde existe una alta pluviosidad.
- Para las mezclas asfálticas susceptibles al agua que no cumplan la condición de resistencia retenida (menor a 70%), se recomienda utilizar un aditivo promotor de adherencia para mejorar la afinidad química entre el asfalto y el agregado.
- La selección del contenido óptimo de asfalto deberá de tomar en consideración tres características importantes como son: trabajabilidad, impermeabilidad y flexibilidad. Estas con el objetivo de evitar un exceso o escasez de asfalto que produzca fallas en la capa asfáltica tales como baches, disgregación y exudación.
- Deberá utilizarse una adecuada combinación de agregados para que la mezcla sea lo suficientemente trabajable que permita una adecuada y rápida compactación. Ya que una deficiente compactación producirá fallas como ahuellamientos, ondulaciones, hundimientos e hinchamiento en la capa asfáltica.



- En la elaboración de la mezcla en planta se debe emplear personal con experiencia con el fin de lograr una buena calibración que permita la dosificación exacta de los agregados y del cemento asfáltico.
- Para la colocación de la mezcla en campo se recomienda verificar la temperatura de la mezcla en planta y una vez puesta en obra, para evitar problemas de colocación debido a una mezcla muy fría que permita deformaciones o fisuramiento.
- Debe garantizarse mediante la supervisión de puesta en obra de la mezcla asfáltica en caliente, el espesor de capa de concreto asfáltico requerido en la especificación de cada proyecto, con el fin de evitar que se produzca flexión excesiva de la carpeta asfáltica, seguida por un agrietamiento por fatiga.
- Recomendamos asegurar el porcentaje de compactación necesario de puesta en obra de la mezcla asfáltica mediante el equipo llamado Densímetro Nuclear, debido a que altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad, al permitir la circulación de aire y agua a través del pavimento pudiendo ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o posible desprendimiento del asfalto en el agregado.
- Se recomienda realizar a futuro la implementación de otros tipos de pruebas para la evaluación de mezclas asfálticas que se apliquen a las diversas condiciones climatológicas que existen en las regiones de nuestro país, ya que actualmente existe información hasta cierto punto escasa (por tener limitaciones de textos en español y falta de experiencia local) acerca de la evaluación de mezcla asfáltica en caliente con este tipo de método, como es Resistencia Retenida.



IX. GLOSARIO

- Ahuellamiento.** Son deformaciones que se desarrollan en el pavimento, en los carriles de las ruedas. Pueden ser resultado de una consolidación por movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico o, pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Ocurren como resultado del movimiento plástico de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tráfico.
- Arrollamiento.** Es una deformación del pavimento que se asocia normalmente a una baja estabilidad de las mezclas que se manifiesta en una deformación plástica perpendicular al eje de la vía.
- Bitumen** Sustancia cementante de color negro (sólida, semi-sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas o alquitranes, los betunes y las asfaltitas.
- Compactación** Acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Generalmente la compactación se logra usando los rodillos o compactadores neumáticos.
- Deformación** Cualquier cambio que presente un pavimento respecto a su forma original.
- Desintegración** Separación progresiva de las partículas del agregado en el pavimento desde la superficie hacia abajo, o desde los bordes hacia el interior. Puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa de rodadura muy delgada en períodos fríos, agregado sucio o desintegrable,



muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

- Estabilidad** Capacidad de una mezcla asfáltica de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad está en función de la cohesión y la fricción interna del material.
- Exudación** Es la presencia de ligante asfáltico o polvo mineral en la superficie de un pavimento.
- Filler.** Son sustancias finamente divididas las cuales son insolubles en asfalto pero que pueden ser dispersadas en el, como un medio de modificar sus propiedades mecánicas y consistencia.
- Flexibilidad** Capacidad del pavimento asfáltico de ajustarse a los asentamientos en la fundación.
- Fluidificante:** Material cementante, comúnmente llamado reductor de agua, son aditivos que, por sus características, pueden producir aumento o disminución del contenido de agua para lograr una mejor trabajabilidad en la mezcla sin producir segregación.
- Grietas** Fracturas en la superficie del pavimento asfáltico.
- Hidroplaneo** Es un fenómeno físico que se presenta cuando un vehículo ingresa a alta velocidad a un charco de agua produciéndose un efecto hidrodinámico, el agua forma un cuña entre el pavimento y la llanta, el vehículo pierde el control y sin la más mínima posibilidad de usar los frenos con éxito, pues se ha perdido el contacto rueda-pavimento.



| | |
|-------------------------------------|---|
| Impermeabilidad | Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo. |
| Ondulaciones | Deformación en el pavimento, dando origen a un movimiento plástico caracterizado por ondas en la superficie del pavimento. |
| Poises. | Unidad de viscosidad del Sistema Cegesimal, equivalente a la viscosidad de un fluido en el cual el gradiente de velocidad, sometido a un esfuerzo constante de una dina por centímetro cuadrado, es de un centímetro por segundo cada centímetro, perpendicularmente al plano de deslizamiento. |
| Reologia | Es el estudio de la deformación y fluir de los asfaltos como: consistencia, viscosidad, susceptibilidad térmica, trabajabilidad, seguridad, durabilidad y envejecimiento. |
| Resistencia a la fatiga | Capacidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por cargas móviles. Entre más alto contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga. |
| Resistencia al deslizamiento | Propiedad de la superficie asfáltica de resistir deslizamiento particularmente cuando está mojado. |
| Trabajabilidad | Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas. |



X. BIBLIOGRAFIA

1. ASTM: Determinación del porcentaje de partículas chatas y alargadas ASTM D4791, Graduación de agregados para mezclas asfálticas densas ASTM D3515, Terminología estándar para los materiales en la construcción de pavimentos ASTM D8, Ensayo de rodamiento de película delgada ASTM D2872, Ensayo de estabilidad y flujo Marshall ASTM D1559, Muestreo de mezclas asfálticas ASTM D979.
2. AASHTO: Ensayo de resistencia retenida AASHTO T165, Ensayo de desgaste de los ángeles AASHTO T96, Ensayo de sanidad de los agregados gruesos y finos AASHTO T104, Ensayo de Angularidad de los Agregados finos AASHTO T304, Ensayo de absorción de los agregados finos AASHTO T84, Ensayo de absorción de los agregados gruesos AASHTO T85, Ensayo de adherencia AASHTO T182, Ensayo de equivalente de arena AASHTO T176, Ensayo de Índice de Plasticidad AASHTO T99, Índice de durabilidad del agregado fino AASHTO T210, Ensayo de graduación de los agregados AASHTO T11 y T27, Clasificación de los asfalto según su viscosidad AASHTO M226, Ensayo de extracción de asfalto AASHTO T164, Ensayo de gravedad específica máxima RICE AASHTO T209, Determinación del porcentaje de vacíos con aire de una mezcla asfáltica compactada AASHTO T269, Ensayo de gravedad específica bulk de las mezclas asfálticas compactadas AASHTO T275, Extracción de núcleos de pavimentos compactados AASHTO T230.
3. Revista Asociación de municipios de Nicaragua AMUNIC. Caracterización municipal de Nicaragua. Edición 2007.
4. MTI: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y puentes. NIC-2000.



5. Rocher Ingeniería- Capacitación – Geotecnia - Gerencia de proyectos- Ingeniería Ambiental - Ingeniería Económica - Perito en vías terrestres- Topografía. Supervisión de Proyecto: Pavimentación de la carretera San Ramón- Muy Muy.
6. Asphalt Institute, Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Serie de manuales No. 22 (MS-22), Asphalt Institute, Lexington, 1991.
7. Manual centroamericano para el diseño de pavimentos. Secretaría de integración económica centroamericana SIECA. Ing. Jorge Coronado Iturbide. Noviembre 2002.
8. Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Instituto mexicano del transporte. publicación Técnica No. 271 Sanfandila, Qro, 2005.
9. Apuntes de pavimentos. Vol. 2 Mezclas asfálticas materiales y diseño, Ing. Gustavo Corredor M. Edición Enero 2005.
10. Análisis del ahuellamiento en mezclas asfálticas chilenas. Dpto. de ingeniería y gestión de la construcción. Pontificia Universidad Católica de Chile. 1995.
11. www.construccion.com.ni Agrietamientos de las capas asfálticas en las carreteras de Nicaragua. Msc. Oswaldo Chávez Arévalo. Especialista en Pavimentos. Edición No. 48
12. www.virtual.umng.edu.co Influencia del agua en mezclas densas en caliente. Allan Eduardo Sánchez. Erazo. Abril de 2010.



XI ANEXOS



XI ANEXO A - TABLAS



TABLA 1
FACTORES DE CORRECCION DE LA ESTABILIDAD MEDIDA
EN ESPECIMENES ELABORADOS SIGUIENDO EL METODO MARSHALL.

| Volumen del espécimen (cm ³) | Altura aproximada del espécimen | | Factor multiplicador de la estabilidad leída. |
|--|---------------------------------|----------|---|
| | m.m | pulgadas | |
| 368 a 379 | 46.0 | 1 13/16 | 1.79 |
| 380 a 392 | 47.6 | 1 7/8 | 1.67 |
| 393 a 405 | 49.2 | 1 15/16 | 1.56 |
| 406 a 420 | 50.8 | 2 | 1.47 |
| 421 a 431 | 52.4 | 2 1/16 | 1.39 |
| 432 a 443 | 54.0 | 2 1/8 | 1.32 |
| 444 a 456 | 55.6 | 2 3/16 | 1.25 |
| 457 a 470 | 57.2 | 2 ¼ | 1.19 |
| 471 a 482 | 58.7 | 2 5/16 | 1.14 |
| 483 a 495 | 60.3 | 2 3/8 | 1.09 |
| 496 a 508 | 61.9 | 2 7/16 | 1.04 |
| 509 a 522 | 63.5 | 2 ½ | 1.00 |
| 523 a 535 | 64.0 | 2 9/16 | 0.96 |
| 536 a 546 | 65.1 | 2 5/8 | 0.93 |
| 547 a 559 | 66.7 | 2 11/16 | 0.89 |
| 560 a 573 | 68.3 | 2 ¾ | 0.86 |
| 574 a 585 | 71.4 | 2 13/16 | 0.83 |
| 586 a 598 | 73.0 | 2 7/8 | 0.81 |
| 599 a 610 | 74.6 | 2 15/16 | 0.78 |
| 611 a 625 | 76.2 | 3 | 0.76 |

Fuente: Apuntes de Pavimento Vol. 2 Ing., Gustavo Corredor.



TABLA 2. DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA Y FACTOR DE CONVERSIÓN K PARA DIFERENTES TEMPERATURAS.

| Temperatura °C | Densidad absoluta del agua. | Factor de corrección K. |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|
| 10 | 0.999728 | 1.002661 |
| 11 | 0.999634 | 1.002567 |
| 12 | 0.999526 | 1.002458 |
| 13 | 0.999406 | 1.002338 |
| 14 | 0.999273 | 1.002204 |
| 15 | 0.999129 | 1.002060 |
| 16 | 0.998972 | 1.001903 |
| 17 | 0.998804 | 1.001734 |
| 18 | 0.998625 | 1.001555 |
| 19 | 0.998435 | 1.001364 |
| 20 | 0.998234 | 1.001162 |
| 21 | 0.998022 | 1.000950 |
| 22 | 0.997801 | 1.000728 |
| 23 | 0.997569 | 1.000495 |
| 24 | 0.997327 | 1.000253 |
| 25 | 0.997075 | 1.000000 |
| 26 | 0.996814 | 0.999738 |
| 27 | 0.996544 | 0.999467 |
| 28 | 0.996264 | 0.999187 |
| 29 | 0.995976 | 0.998898 |
| 30 | 0.995678 | 0.998599 |

Fuente: Apuntes de Pavimento Vol. 2 Ing., Gustavo Corredor.



XI ANEXO B

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS



Definición:

La gravedad específica o peso específico de un agregado es el cociente entre el peso de un volumen unitario de material y el peso de igual volumen de agua, a una temperatura entre 20 y 25°C. De acuerdo a esta teoría el valor de la gravedad específica es adimensional.

Tipos:

De acuerdo a la manera en que se toma en cuenta el volumen ocupado por las partículas del agregado, existen tres tipos de gravedades específicas que se emplean en las determinaciones de las propiedades de las mezclas asfálticas:

- **Gravedad específica Aparente (Gsa).**

Cuando se considera el volumen del agregado incluyendo los espacios ocupados por los vacíos impermeables al agua, pero excluyendo aquellos vacíos que pueden ser ocupados por el agua (vacíos permeables al agua), durante un periodo de inmersión de 24 horas.

- **Gravedad específica bulk (Gsb).**

Cuando se considera el volumen del agregado incluyendo tanto los espacios ocupados por los vacíos impermeables al agua, como aquellos vacíos que pueden ser ocupados por el agua (vacíos permeables al agua) durante un periodo de inmersión de 24 horas.

- **Gravedad específica saturada superficialmente seca (Gss).**

Cuando se considera el volumen del agregado en condición saturada superficialmente seca que incluyan tanto los espacios ocupados por los vacíos



impermeables al agua, como aquellos vacíos llenados por el agua, pero no incluye los poros entre las partículas.

a. Ensayo para la determinación de la gravedad específica de los agregados gruesos (AASHTO T-85).

Primeramente se seca la muestra en un horno hasta peso constante, la muestra es sumergida en agua por 24 horas para esencialmente llenar los poros. Después la muestra es retirada del agua, secada superficialmente hasta que no se observe película de agua sobre la superficie de los agregados. Subsecuentemente se determina el peso de la muestra saturada superficialmente seca (B), la muestra con superficie saturada con superficie seca se coloca en una balanza hidrostática y se le determina su peso sumergido en agua (C). Finalmente la muestra se seca en el horno y se determina su peso seco (A). A partir de los valores de ensayo se determina:

Gravedad específica total o bulk (G_{sb})

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Gravedad específica en condición saturada superficialmente seca (G_{ss}).

$$G_{ss} = \frac{B}{B - C}$$

Gravedad específica aparente (G_{sa}).

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Porcentaje de absorción.

$$\% \text{ Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$



Donde:

A: Peso del agregado grueso seco, al aire (horno).

B: Peso del agregado saturado superficialmente seco, al aire.

C: Peso del agregado en el agua (sumergido).

b. Ensayo para determinar la gravedad especifica de los agregados finos (AASHTO T-84).

En este caso el ensayo cambia ya que ahora se utiliza un matraz de 500 ml. Se pesa una muestra de agregado en la condición saturada y superficialmente seca (S), se determina el peso del frasco más agua (B). Colocamos los 500 gramos de agregado en la condición de SSS en el frasco volumétrico y se llena de agua hasta un nivel cercano a la marca de aforo, dejándolo reposar por cinco minutos. Eliminamos el aire atrapado, agitando el frasco volumétrico, esta operación tarda de 15 a 20 minutos. Después de eliminar el aire atrapado, agregamos agua hasta la marca de aforo. Determinamos el peso de frasco más peso de arena y el agua añadida para completar la capacidad del frasco (C).

Retiramos el agua y la arena contenida en el frasco, depositándolo en una tara, colocándola en el horno a temperatura de 110 ± 5 °C por un periodo de 24 horas. Transcurrido este tiempo, retiramos la tara del horno, refrescamos la muestra a temperatura ambiente y determine su peso seco (A). Se determina la gravedad específica con las formulas siguientes:

Gravedad especifica total o bulk.

$$G_{sb} = \frac{A}{B + S - C}$$

Gravedad especifica en condición saturada superficialmente seca.

$$G_{ss} = \frac{S}{B + S - C}$$



Gravedad específica aparente.

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Porcentaje de absorción.

$$\% \text{ absorcion} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde:

A: Peso del agregado seco, al aire (horno).

B: Peso del matraz (500 ml + agua)

S: Peso del agregado saturado superficialmente seco (SSS).

C: Peso del matraz (500 ml) + agua + peso del agregado en condición seco saturado.

c. Gravedad específica efectiva del agregado (Gse).

La gravedad específica efectiva no se mide directamente, a diferencia de las gravedades específicas bulk, aparente y saturada superficialmente seca. Esta se calcula conociendo la gravedad específica máxima de la mezcla (G_{mm}) y el contenido de asfalto (P_b), (Ver capítulo V.4.A).

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

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica máxima RICE obtenida del ensayo AASHTO T209.

P_{mm} = Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100.

P_b = Contenido de asfalto, obtenido del ensayo de extracción (AASHTO T-164).

G_b = Gravedad específica del asfalto



XI ANEXO C

RESULTADOS DE PARAMETROS VOLUMETRICOS Y MECANICOS



XI. C1 ESPECIMENES MARSHALL



XI. C2 ESPECIMENES DE RESISTENCIA RETENIDA



XI. C3 ESPECIMENES EXTRAIDOS DE LA CARPETA DE RODAMIENTO



XI. C4

RESULTADOS DE ENSAYO AS-002



Tabla 1. Ensayos realizados a especímenes Marshall.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|------|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------|---------|
| | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES COMPACTADOSE EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | Granulometría de mezcla de Asfalto en caliente | | | | | | | | % de Asfalto | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk | % Vacios | | | Ensayo Marshall | | I, R, R |
| | De | A | Lado | | 25 mm | 19mm | 9.5 mm | 4.75mm | 2.36mm | 0.300mm | 0.075 mm | Mezcla Va | | | | Agg Mineral VMA | Llenado con Asfalto VFA | Estabilidad | Flujo | IRR | |
| | | | | | 100% | 90- 100 % | 56 - 80 % | 35 - 65 % | 23 - 49 % | 5 - 19 % | 2 - 8 % | | | | | | | | | | |
| AS-001 | 4+280 | 4+290 | D | 150 C° | 100.0 | 98.2 | 71.0 | 52.1 | 38.0 | 11.2 | 4.8 | 6.4 | 2.383 | 2.281 | 4.3 | 16.9 | 74.9 | 3237 | 12.0 | 77.65 | |
| AS-002 | 4+290 | 4+540 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 70.3 | 56.3 | 37.4 | 12.6 | 4.6 | 6.4 | 2.401 | 2.299 | 4.3 | 16.5 | 74.3 | 3258 | 11.9 | 77.39 | |
| AS-003 | 4+540 | 4+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 73.1 | 55.2 | 37.1 | 11.5 | 4.6 | 6.4 | 2.388 | 2.286 | 4.3 | 16.6 | 74.4 | 3205 | 12.0 | 77.18 | |
| AS-004 | 4+790 | 5+040 | I | 155 C° | 100.0 | 100.0 | 72.2 | 51.8 | 37.9 | 14.1 | 6.2 | 6.3 | 2.375 | 2.265 | 4.6 | 16.9 | 73.0 | 3458 | 13.8 | 77.13 | |
| AS-005 | 5+040 | 5+290 | D | 155 C° | 100.0 | 98.3 | 72.2 | 56.4 | 42.7 | 13.0 | 5.4 | 6.4 | 2.402 | 2.330 | 3.2 | 15.6 | 80.7 | 3290 | 11.8 | 76.99 | |
| AS-006 | 5+290 | 5+540 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 76.0 | 61.4 | 32.7 | 14.6 | 4.2 | 6.2 | 2.402 | 2.316 | 3.6 | 15.8 | 77.4 | 3477 | 10.7 | 77.08 | |
| AS-007 | 5+540 | 5+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 76.9 | 56.3 | 39.6 | 10.7 | 6.0 | 6.1 | 2.400 | 2.289 | 4.6 | 16.6 | 72.2 | 3491 | 11.4 | 77.30 | |
| AS-008 | 5+790 | 6+040 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 73.5 | 58.4 | 34.7 | 13.4 | 6.3 | 6.4 | 2.404 | 2.302 | 4.3 | 16.6 | 74.4 | 3224 | 11.7 | 76.95 | |
| AS-009 | 6+040 | 6+290 | D | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 75.1 | 54.5 | 35.3 | 8.4 | 5.0 | 6.2 | 2.414 | 2.300 | 3.3 | 16.4 | 71.0 | 3236 | 11.4 | 77.82 | |
| AS-010 | 6+290 | 6+540 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 75.7 | 55.5 | 37.1 | 10.0 | 4.9 | 6.6 | 2.383 | 2.304 | 3.3 | 16.6 | 79.9 | 3194 | 11.9 | 77.74 | |



Tabla 2. Ensayos realizados a especímenes Marshall.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|------|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------|---------|
| | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES COMPACTADOSE EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | Granulometría de mezcla de Asfalto en caliente | | | | | | | | % de Asfalto | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk | % Vacios | | | Ensayo Marshall | | I, R, R |
| | De | A | Lado | | 25 mm | 19mm | 9.5 mm | 4.75mm | 2.36mm | 0.300mm | 0.075 mm | Mezcla Va | | | | Agg Mineral VMA | Llenado con Asfalto VFA | Estabilidad | Flujo | IRR | |
| | | | | | 100% | 90- 100 % | 56 - 80 % | 35 - 65 % | 23 - 49 % | 5 - 19 % | 2 - 8 % | | | | | | | | | | |
| AS-011 | 6+540 | 6+790 | D | 150 C° | 100.0 | 94.0 | 73.0 | 50.0 | 32.0 | 9.4 | 3.4 | 6.4 | 2.390 | 2.285 | 4.4 | 17.2 | 74.4 | 3274 | 11.5 | 76.94 | |
| AS-012 | 6+790 | 7+040 | I | 155 C° | 100.0 | 94.0 | 61.7 | 44.0 | 26.9 | 11.5 | 4.7 | 6.2 | 2.405 | 2.305 | 4.1 | 16.4 | 75.0 | 3244 | 11.9 | 77.52 | |
| AS-013 | 7+040 | 7+290 | D | 150 C° | 100.0 | 96.7 | 70.8 | 51.7 | 35.4 | 11.4 | 4.6 | 6.4 | 2.406 | 2.304 | 4.2 | 16.6 | 74.5 | 3254 | 11.9 | 76.96 | |
| AS-014 | 7+290 | 7+540 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 72.4 | 48.6 | 30.7 | 9.3 | 3.7 | 6.4 | 2.412 | 2.311 | 4.2 | 16.8 | 75.2 | 3246 | 14.0 | 77.25 | |
| AS-015 | 7+540 | 7+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 75.0 | 59.0 | 37.3 | 9.5 | 4.2 | 6.3 | 2.373 | 2.269 | 4.4 | 16.5 | 73.3 | 3340 | 11.0 | 77.77 | |
| AS-016 | 7+790 | 8+040 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 74.1 | 56.6 | 35.1 | 8.7 | 3.6 | 6.5 | 2.414 | 2.342 | 3.0 | 15.2 | 80.4 | 3433 | 12.2 | 77.52 | |
| AS-017 | 8+040 | 8+290 | D | 155 C° | 100.0 | 100.0 | 74.0 | 52.6 | 37.5 | 13.6 | 4.4 | 6.2 | 2.401 | 2.289 | 4.7 | 16.9 | 72.5 | 3374 | 11.1 | 76.82 | |
| AS-018 | 8+290 | 8+540 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 70.6 | 52.0 | 37.0 | 17.6 | 7.5 | 6.4 | 2.418 | 2.320 | 4.0 | 15.9 | 74.5 | 3212 | 11.5 | 77.29 | |
| AS-019 | 8+540 | 8+790 | D | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 70.2 | 53.1 | 35.5 | 13.7 | 5.1 | 6.4 | 2.417 | 2.319 | 4.0 | 16.3 | 75.3 | 3254 | 11.5 | 76.72 | |
| AS-020 | 8+790 | 9+040 | I | 148 C° | 100.0 | 100.0 | 72.1 | 51.4 | 35.0 | 10.4 | 3.5 | 6.3 | 2.37 | 2.255 | 4.8 | 17.2 | 72.1 | 3256 | 11.4 | 77.00 | |



Tabla 3. Ensayos realizados a especímenes Marshall.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------|------|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------|---------|
| | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES COMPACTADOSE EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | Granulometría de mezcla de Asfalto en caliente | | | | | | | | % de Asfalto | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk | % Vacios | | | Ensayo Marshall | | I, R, R |
| | De | A | Lado | | 25 mm | 19mm | 9.5 mm | 4.75mm | 2.36mm | 0.300mm | 0.075 mm | Mezcla Va | | | | Agg Mineral VMA | Llenado con Asfalto VFA | Estabilidad | Flujo | IRR | |
| | | | | | 100% | 90- 100 % | 56 - 80 % | 35 - 65 % | 23 - 49 % | 5 - 19 % | 2 - 8 % | | | | | | | | | | |
| AS-021 | 9+040 | 9+290 | D | 150 C° | 100.0 | 98.4 | 74.9 | 61.7 | 32.9 | 8.4 | 4.5 | 6.7 | 2.414 | 2.306 | 4.5 | 17.0 | 73.6 | 3254 | 12.3 | 77.28 | |
| AS-022 | 9+290 | 9+540 | I | 150 C° | 100.0 | 97.4 | 73.2 | 49.6 | 33.3 | 13.5 | 4.5 | 6.5 | 2.395 | 2.290 | 4.4 | 17.1 | 74.3 | 3133 | 11.5 | 77.41 | |
| AS-023 | 9+540 | 9+790 | D | 150 C° | 100.0 | 96.0 | 69.6 | 47.6 | 36.2 | 14.1 | 4.1 | 6.5 | 2.399 | 2.288 | 4.6 | 17.1 | 73.0 | 3182 | 12.4 | 77.35 | |
| AS-024 | 9+790 | 10+040 | I | 150 C° | 100.0 | 98.0 | 73.1 | 59.3 | 40.3 | 13.6 | 4.6 | 6.6 | 2.400 | 2.317 | 3.4 | 16.7 | 79.4 | 3161 | 12.3 | 77.63 | |
| AS-025 | 10+040 | 10+290 | D | 157 C° | 100.0 | 96.8 | 73.1 | 54.5 | 38.3 | 12.8 | 4.7 | 6.3 | 2.369 | 2.260 | 4.2 | 16.8 | 72.6 | 3284 | 11.7 | 77.54 | |
| AS-026 | 10+290 | 10+540 | I | 150 C° | 100.0 | 97.4 | 74.2 | 47.0 | 29.4 | 11.1 | 5.0 | 6.4 | 2.401 | 2.300 | 4.2 | 16.2 | 74.0 | 3278 | 11.7 | 77.03 | |
| AS-027 | 10+540 | 10+790 | D | 150 C° | 100.0 | 95.0 | 74.6 | 45.9 | 33.1 | 14.5 | 4.5 | 5.8 | 2.407 | 2.290 | 4.6 | 16.0 | 72.2 | 3089 | 10.9 | 77.01 | |
| AS-028 | 10+790 | 11+040 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 77.9 | 63.7 | 39.3 | 11.3 | 5.7 | 6.6 | 2.393 | 2.309 | 3.5 | 16.5 | 78.7 | 3173 | 11.5 | 77.63 | |
| AS-029 | 11+040 | 11+290 | D | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 74.2 | 57.7 | 34.0 | 10.8 | 4.7 | 6.4 | 2.408 | 2.305 | 4.3 | 16.6 | 74.2 | 3254 | 11.8 | 77.35 | |
| AS-030 | 11+290 | 11+540 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 64.8 | 48.4 | 33.3 | 13.3 | 4.9 | 6.4 | 2.413 | 2.310 | 4.3 | 16.8 | 74.5 | 3264 | 11.4 | 77.53 | |



Tabla 4 Ensayos realizados a especímenes Marshall.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------|------|---|--|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|--------------|-------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|-------------|-----------------|-------|---------|
| | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES COMPACTADOSE EN LABORATORIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | Granulometría de mezcla de Asfalto en caliente | | | | | | | | % de Asfalto | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk | % Vacios | | | Ensayo Marshall | | I, R, R |
| | De | A | Lado | | 25 mm | 19mm | 9.5 mm | 4.75mm | 2.36mm | 0.300mm | 0.075 mm | Mezcla Va | | | | Agg Mineral VMA | Llenado con Asfalto VFA | Estabilidad | Flujo | IRR | |
| | | | | | 100% | 90- 100 % | 56 - 80 % | 35 - 65 % | 23 - 49 % | 5 - 19 % | 2 - 8 % | | | | | | | | | | |
| AS-031 | 11+540 | 11+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 73.7 | 48.7 | 34.4 | 14.3 | 4.0 | 6.2 | 2.407 | 2.301 | 4.4 | 15.7 | 72.0 | 3274 | 12.7 | 77.99 | |
| AS-032 | 11+790 | 12+040 | I | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 77.0 | 53.7 | 37.9 | 15.2 | 4.2 | 6.7 | 2.400 | 2.310 | 3.8 | 16.1 | 76.7 | 3103 | 11.2 | 77.85 | |
| AS-033 | 12+040 | 12+290 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 73.4 | 48.8 | 36.9 | 8.8 | 5.0 | 6.3 | 2.372 | 2.265 | 4.5 | 17.0 | 73.6 | 3254 | 13.2 | 77.10 | |
| AS-034 | 12+290 | 12+540 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 67.2 | 44.7 | 29.6 | 10.7 | 4.5 | 6.4 | 2.423 | 2.200 | 4.1 | 15.8 | 74.3 | 3226 | 11.7 | 77.81 | |
| AS-035 | 12+540 | 12+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 75.0 | 59.0 | 37.3 | 9.5 | 4.2 | 6.3 | 2.373 | 2.264 | 4.6 | 16.7 | 72.6 | 3262 | 11.8 | 77.19 | |
| AS-036 | 12+790 | 13+040 | I | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 73.9 | 52.4 | 37.3 | 13.2 | 4.0 | 6.6 | 2.401 | 2.307 | 3.9 | 16.6 | 76.2 | 3184 | 11.5 | 76.97 | |
| AS-037 | 13+040 | 13+290 | D | 150 C° | 100.0 | 100.0 | 73.0 | 55.3 | 38.0 | 10.9 | 4.8 | 6.4 | 2.383 | 2.283 | 4.1 | 16.5 | 74.7 | 3237 | 13.7 | 77.11 | |
| AS-038 | 13+290 | 13+540 | I | 157 C° | 100.0 | 100.0 | 76.8 | 56.0 | 39.2 | 10.1 | 5.5 | 6.7 | 2.400 | 2.306 | 3.9 | 16.4 | 76.2 | 3107 | 11.4 | 76.96 | |
| AS-039 | 13+540 | 13+790 | D | 145 C° | 100.0 | 100.0 | 77.1 | 56.5 | 39.7 | 10.5 | 2.9 | 6.6 | 2.391 | 2.300 | 3.8 | 16.7 | 77.1 | 3109 | 11.6 | 77.07 | |
| AS-040 | 13+790 | 14+040 | I | 150 C° | 100.0 | 96.7 | 71.2 | 52.3 | 36.2 | 12.5 | 5.8 | 5.6 | 2.389 | 2.286 | 4.3 | 15.3 | 71.8 | 2941 | 10.7 | 77.22 | |



Tabla 5. Ensayos realizados a especímenes de resistencia retenida.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-----------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--------|--------------|--|----------------------------|----------------------|
|  | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES DE RESISTENCIA RETENIDA MOLDEADOS Y COMPACTADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | |
| | | | | No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | % de Asfalto | % Absorción de la mezcla compactada | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk |
| De | A | Lado | Vacios con aire Va | | Vacios en agregado mineral VMA | Vacios llenados con Asfalto VFA | IRR | | | | | |
| AS-001 | 4+280 | 4+290 | D | 150 C° | 6.37 | 1.00 | 2.383 | 2.213 | 6.6 | 19.4 | 63.3 | 77.7 |
| AS-002 | 4+290 | 4+540 | I | 150 C° | 6.38 | 0.89 | 2.401 | 2.228 | 7.2 | 19.1 | 62.3 | 77.4 |
| AS-003 | 4+540 | 4+790 | D | 145 C° | 6.38 | 0.76 | 2.388 | 2.215 | 7.2 | 19.2 | 62.4 | 77.2 |
| AS-004 | 4+790 | 5+040 | I | 155 C° | 6.27 | 1.14 | 2.375 | 2.226 | 7.4 | 18.3 | 59.3 | 77.1 |
| AS-005 | 5+040 | 5+290 | D | 155 C° | 6.41 | 0.79 | 2.402 | 2.229 | 7.2 | 19.2 | 62.5 | 77.0 |
| AS-006 | 5+290 | 5+540 | I | 145 C° | 6.19 | 0.75 | 2.402 | 2.220 | 7.6 | 19.3 | 60.6 | 77.1 |
| AS-007 | 5+540 | 5+790 | D | 145 C° | 6.08 | 0.93 | 2.400 | 2.218 | 7.6 | 19.2 | 60.6 | 77.3 |
| AS-008 | 5+790 | 6+040 | I | 150 C° | 6.38 | 0.89 | 2.404 | 2.240 | 6.8 | 18.8 | 63.8 | 77.0 |
| AS-009 | 6+040 | 6+290 | D | 150 C° | 6.17 | 0.90 | 2.414 | 2.211 | 7.6 | 19.6 | 61.2 | 77.8 |
| AS-010 | 6+290 | 6+540 | I | 145 C° | 6.56 | 0.71 | 2.383 | 2.207 | 7.4 | 20.1 | 63.2 | 77.7 |



Tabla 6. Ensayos realizados a especímenes de resistencia retenida.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-----------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--------|--------------|--|----------------------------|----------------------|----------|
|  | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES DE RESISTENCIA RETENIDA MOLDEADOS Y COMPACTADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | | |
| | | | | No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | % de Asfalto | % Absorción de la mezcla compactada | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk | % Vacios |
| De | A | Lado | Vacios con aire Va | | Vacios en agregado mineral VMA | Vacios llenados con Asfalto VFA | IRR | | | | | | |
| AS-011 | 6+540 | 6+790 | D | 150 C° | 6.43 | 0.85 | 2.390 | 2.217 | 7.2 | 19.7 | 63.3 | 76.9 | |
| AS-012 | 6+790 | 7+040 | I | 155 C° | 6.24 | 1.26 | 2.405 | 2.216 | 7.5 | 19.6 | 61.8 | 77.5 | |
| AS-013 | 7+040 | 7+290 | D | 150 C° | 6.36 | 1.10 | 2.406 | 2.218 | 7.2 | 19.8 | 63.7 | 77.0 | |
| AS-014 | 7+290 | 7+540 | I | 145 C° | 6.42 | 1.04 | 2.412 | 2.227 | 7.7 | 19.9 | 61.4 | 77.3 | |
| AS-015 | 7+540 | 7+790 | D | 145 C° | 6.25 | 0.78 | 2.373 | 2.222 | 7.1 | 18.2 | 61.2 | 77.8 | |
| AS-016 | 7+790 | 8+040 | I | 150 C° | 6.51 | 0.97 | 2.414 | 2.238 | 7.3 | 19.0 | 61.7 | 77.5 | |
| AS-017 | 8+040 | 8+290 | D | 155 C° | 6.18 | 1.01 | 2.401 | 2.243 | 6.6 | 18.6 | 64.7 | 76.8 | |
| AS-018 | 8+290 | 8+540 | I | 150 C° | 6.38 | 0.90 | 2.418 | 2.234 | 7.6 | 19.0 | 59.9 | 77.3 | |
| AS-019 | 8+540 | 8+790 | D | 150 C° | 6.39 | 0.99 | 2.417 | 2.222 | 7.2 | 19.8 | 63.8 | 76.7 | |
| AS-020 | 8+790 | 9+040 | I | 148 C° | 6.32 | 1.06 | 2.370 | 2.228 | 6.7 | 18.2 | 63.4 | 77.0 | |



Tabla 7. Ensayos realizados a especímenes de resistencia retenida.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | |
|---|--------|--------|-----------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--------|--------------|--|----------------------------|----------------------|
|  | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES DE RESISTENCIA RETENIDA MOLDEADOS Y COMPACTADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | |
| | | | | No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | % de Asfalto | % Absorción de la mezcla compactada | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk |
| De | A | Lado | Vacios con aire Va | | Vacios en agregado mineral VMA | Vacios llenados con Asfalto VFA | IRR | | | | | |
| AS-021 | 9+040 | 9+290 | D | 150 C° | 6.70 | 0.94 | 2.414 | 2.245 | 7.0 | 19.2 | 63.5 | 77.3 |
| AS-022 | 9+290 | 9+540 | I | 150 C° | 6.47 | 1.04 | 2.395 | 2.225 | 7.1 | 19.4 | 63.5 | 77.4 |
| AS-023 | 9+540 | 9+790 | D | 150 C° | 6.49 | 0.94 | 2.399 | 2.232 | 7.0 | 19.1 | 63.6 | 77.4 |
| AS-024 | 9+790 | 10+040 | I | 150 C° | 6.58 | 0.96 | 2.400 | 2.229 | 7.1 | 19.8 | 64.2 | 77.6 |
| AS-025 | 10+040 | 10+290 | D | 157 C° | 6.30 | 1.07 | 2.369 | 2.234 | 7.2 | 17.8 | 59.3 | 77.5 |
| AS-026 | 10+290 | 10+540 | I | 150 C° | 6.37 | 1.18 | 2.401 | 2.225 | 7.3 | 19.0 | 61.4 | 77.0 |
| AS-027 | 10+540 | 10+790 | D | 150 C° | 5.77 | 1.01 | 2.407 | 2.234 | 7.2 | 18.0 | 60.1 | 77.0 |
| AS-028 | 10+790 | 11+040 | I | 145 C° | 6.59 | 1.01 | 2.393 | 2.229 | 6.9 | 19.4 | 64.6 | 77.6 |
| AS-029 | 11+040 | 11+290 | D | 150 C° | 6.41 | 0.84 | 2.408 | 2.235 | 7.2 | 19.1 | 62.5 | 77.4 |
| AS-030 | 11+290 | 11+540 | I | 145 C° | 6.37 | 1.16 | 2.413 | 2.227 | 7.7 | 19.7 | 61.0 | 77.5 |



Tabla 8. Ensayos realizados a especímenes de resistencia retenida.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | EVALUACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE, UTILIZANDO EL METODO DE RESISTENCIA RETENIDA PARA LA PAVIMENTACION DE LA CARRETERA SAN RAMON - MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. | | | | | | | | |
|---|--------|--------|-----------------------|--|--------------------------------------|------------------------------------|-------|--------|--------------|--|----------------------------|----------------------|
|  | | | | MATRIZ DE RESULTADOS PARA ESPECIMENES DE RESISTENCIA RETENIDA MOLDEADOS Y COMPACTADOS EN LABORATORIO | | | | | | | | |
| | | | | No. Ensayo | Lugar de muestreo | | | Tem C° | % de Asfalto | % Absorción de la mezcla compactada | Densidad Maxima Teorica | Densidad maxima Bulk |
| De | A | Lado | Vacios con aire Va | | Vacios en agregado mineral VMA | Vacios llenados con Asfalto VFA | IRR | | | | | |
| AS-031 | 11+540 | 11+790 | D | 145 C° | 6.17 | 1.05 | 2.407 | 2.232 | 7.3 | 18.2 | 60.1 | 78.0 |
| AS-032 | 11+790 | 12+040 | I | 145 C° | 6.66 | 1.24 | 2.400 | 2.227 | 7.2 | 19.1 | 62.2 | 77.9 |
| AS-033 | 12+040 | 12+290 | D | 145 C° | 6.33 | 1.06 | 2.372 | 2.232 | 7.3 | 18.2 | 59.9 | 77.1 |
| AS-034 | 12+290 | 12+540 | I | 150 C° | 6.41 | 1.22 | 2.423 | 2.250 | 7.1 | 18.6 | 61.9 | 77.8 |
| AS-035 | 12+540 | 12+790 | D | 145 C° | 6.25 | 1.11 | 2.373 | 2.221 | 7.1 | 18.3 | 61.2 | 77.2 |
| AS-036 | 12+790 | 13+040 | I | 150 C° | 6.60 | 1.05 | 2.401 | 2.242 | 6.6 | 18.8 | 64.9 | 77.0 |
| AS-037 | 13+040 | 13+290 | D | 150 C° | 6.37 | 0.88 | 2.383 | 2.210 | 7.2 | 19.2 | 62.3 | 77.1 |
| AS-038 | 13+290 | 13+540 | I | 157 C° | 6.65 | 1.13 | 2.400 | 2.237 | 6.8 | 18.9 | 64.2 | 77.0 |
| AS-039 | 13+540 | 13+790 | D | 145 C° | 6.64 | 0.97 | 2.391 | 2.238 | 6.4 | 18.9 | 66.3 | 77.1 |
| AS-040 | 13+790 | 14+040 | I | 150 C° | 5.61 | 0.94 | 2.389 | 2.225 | 6.9 | 17.4 | 60.5 | 77.2 |



Tabla 9: Ensayos realizados a especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|-----------------------|-------|--------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|------------------|----------------|
|  | | | | | | | | | | | | | |
| EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO DE "RESISTENCIA RETENIDA", PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA SAN RAMÓN- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. RESULTADOS DE ESPECIMENES EXTRAIDOS DE LA CARPETA DE RODAMIENTO. | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación de extracción | Lado | Distancia de LC Mts | Espesor del Núcleo cm | Seco | Ps sat. seco | Ps sumergido en agua | Densidad máxima Bulk en campo | Densidad máxima Bulk en Laboratorio | Contenido de Asfalto (%) | % Absorción. | Densidad Máxima Teórica RICE | % Vacios | |
| | | | | | | | | | | | | Mezcla Va (RICE) | % Compactación |
| 04+300 | Lc | 0.5 | 5.7 | 851.5 | 853.9 | 471.2 | 2.225 | 2.281 | 6.37 | 0.63 | 2.383 | 6.63 | 93.4 |
| 04+520 | I | 4 | 5 | 785.5 | 789.2 | 434.0 | 2.211 | 2.299 | 6.38 | 1.04 | 2.401 | 7.90 | 92.1 |
| 04+750 | D | 3.1 | 5.6 | 866 | 868.5 | 477.1 | 2.213 | 2.286 | 6.38 | 0.64 | 2.388 | 7.35 | 92.7 |
| 04+855 | Lc | 1.2 | 5.4 | 795 | 800.5 | 442.7 | 2.222 | 2.265 | 6.27 | 1.54 | 2.375 | 6.45 | 93.6 |
| 05+223 | I | 4.1 | 4.5 | 630 | 634.1 | 349.5 | 2.214 | 2.330 | 6.41 | 1.44 | 2.402 | 7.84 | 92.2 |
| 05+353 | D | 5 | 5 | 740.5 | 743.4 | 408.5 | 2.211 | 2.315 | 6.19 | 0.87 | 2.402 | 7.95 | 92.1 |
| 05+565 | Lc | 0.96 | 5.1 | 784.2 | 786.8 | 432.1 | 2.211 | 2.289 | 6.08 | 0.73 | 2.400 | 7.88 | 92.1 |
| 05+845 | I | 3.6 | 5.4 | 810.5 | 813.8 | 449.2 | 2.223 | 2.302 | 6.38 | 0.91 | 2.404 | 7.53 | 92.5 |
| 06+188 | D | 4 | 5 | 698 | 699.6 | 384.9 | 2.218 | 2.300 | 6.17 | 0.51 | 2.414 | 8.12 | 91.9 |
| 06+495 | Lc | 0.6 | 5 | 758.9 | 762.7 | 416.8 | 2.194 | 2.304 | 6.56 | 1.10 | 2.383 | 7.93 | 92.1 |



Tabla 10: Ensayos realizados a especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS  EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO DE "RESISTENCIA RETENIDA", PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA SAN RAMÓN- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. RESULTADOS DE ESPECIMENES EXTRAIDOS DE LA CARPETA DE RODAMIENTO. | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|-----------------------|-------|-------------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| Ubicación de extracción | Lado | Distancia de LC Mts | Espesor del Núcleo cm | Seco | Ps sat. Sup. seco | Ps sumergido en agua | Densidad máxima Bulk en campo | Densidad máxima Bulk en Laboratorio | Contenido de Asfalto (%) | % Absorción. | Densidad Máxima Teórica RICE | % Vacios | |
| | | | | | | | | | | | | Mezcla Va (RICE) | % Compactación |
| 06+773 | I | 3.45 | 5 | 764.4 | 767.1 | 420.9 | 2.208 | 2.285 | 6.43 | 0.78 | 2.390 | 7.62 | 92.4 |
| 06+913 | D | 4.6 | 5.5 | 821.7 | 825.6 | 458.6 | 2.239 | 2.305 | 6.24 | 1.06 | 2.405 | 6.90 | 93.1 |
| 07+063 | Lc | 0.75 | 3.7 | 553.5 | 556.1 | 310.8 | 2.256 | 2.304 | 6.36 | 1.06 | 2.406 | 6.22 | 93.8 |
| 07+390 | I | 4.75 | 6.2 | 944.9 | 948.5 | 521.3 | 2.212 | 2.311 | 6.42 | 0.84 | 2.412 | 8.30 | 91.7 |
| 07+703 | D | 3.4 | 5.7 | 839.8 | 841.9 | 460.1 | 2.200 | 2.269 | 6.25 | 0.55 | 2.373 | 7.31 | 92.7 |
| 07+878 | Lc | 0.5 | 5.5 | 859.9 | 862.7 | 481 | 2.253 | 2.342 | 6.51 | 0.73 | 2.414 | 6.68 | 93.3 |
| 08+243 | I | 3.65 | 5.1 | 772.4 | 774.8 | 425.7 | 2.213 | 2.289 | 6.18 | 0.69 | 2.401 | 7.85 | 92.2 |
| 08+295 | I | 4.00 | 5.2 | 758.2 | 762.1 | 419.9 | 2.216 | 2.320 | 6.38 | 1.14 | 2.418 | 8.37 | 91.6 |
| 08+638 | LC | 0.50 | 4.8 | 725.8 | 727.3 | 400.6 | 2.222 | 2.319 | 6.39 | 0.46 | 2.417 | 8.08 | 91.9 |
| 08+848 | D | 3.64 | 4.7 | 678.5 | 681.5 | 373.5 | 2.203 | 2.255 | 6.32 | 0.97 | 2.37 | 7.05 | 93.0 |



Tabla 11: Especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|-----------------------|-------|--------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|------------------|----------------|
|  | | | | | | | | | | | | | |
| EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO DE "RESISTENCIA RETENIDA", PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA SAN RAMÓN- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. RESULTADOS DE ESPECIMENES EXTRAIDOS DE LA CARPETA DE RODAMIENTO. | | | | | | | | | | | | | |
| Ubicación de extracción | Lado | Distancia de LC Mts | Espesor del Núcleo cm | Seco | Ps sat. seco | Ps sumergido en agua | Densidad máxima Bulk en campo | Densidad máxima Bulk en Laboratorio | Contenido de Asfalto (%) | % Absorción. | Densidad Máxima Teórica RICE | % Vacios | |
| | | | | | | | | | | | | Mezcla Va (RICE) | % Compactación |
| 09+088 | I | 5.00 | 4.6 | 687.3 | 689.1 | 380.8 | 2.229 | 2.306 | 6.70 | 0.58 | 2.414 | 7.65 | 92.3 |
| 09+350 | LC | 0.50 | 5.1 | 782.2 | 786.2 | 436.1 | 2.234 | 2.290 | 6.47 | 1.14 | 2.395 | 6.71 | 93.3 |
| 09+735 | D | 4.30 | 5.6 | 853.6 | 855.6 | 469.5 | 2.211 | 2.288 | 6.49 | 0.52 | 2.399 | 7.84 | 92.2 |
| 09+903 | I | 3.60 | 5.2 | 760.5 | 761.9 | 418.5 | 2.215 | 2.317 | 6.58 | 0.41 | 2.400 | 7.72 | 92.3 |
| 10+123 | LC | 0.30 | 5.2 | 798.3 | 800.2 | 440.5 | 2.219 | 2.260 | 6.30 | 0.53 | 2.369 | 6.32 | 93.7 |
| 10+470 | D | 3.30 | 5.0 | 753.2 | 755.6 | 420.8 | 2.250 | 2.300 | 6.37 | 0.72 | 2.401 | 6.30 | 93.7 |
| 10+775 | I | 3.90 | 4.5 | 719.3 | 721.8 | 398 | 2.221 | 2.290 | 5.77 | 0.77 | 2.407 | 7.71 | 92.3 |
| 10+823 | D | 3.90 | 4.7 | 864.3 | 866.6 | 476.3 | 2.214 | 2.309 | 6.59 | 0.59 | 2.393 | 7.46 | 92.5 |
| 11+135 | I | 3.55 | 4.9 | 727.3 | 729.1 | 405.4 | 2.247 | 2.305 | 6.41 | 0.56 | 2.408 | 6.69 | 93.3 |
| 11+433 | LC | 0.50 | 5.2 | 791.6 | 794.2 | 440.2 | 2.236 | 2.310 | 6.37 | 0.73 | 2.413 | 7.33 | 92.7 |



Tabla 12: Especímenes extraídos de la carpeta de rodamiento.

| UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS  EVALUACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO EL MÉTODO DE "RESISTENCIA RETENIDA", PARA LA PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA SAN RAMÓN- MUY MUY, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA. RESULTADOS DE ESPECIMENES EXTRAIDOS DE LA CARPETA DE RODAMIENTO. | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|---------------------|-----------------------|-------|--------------|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------|------------------------------|--------------------|----------------|
| Ubicación de extracción | Lado | Distancia de LC Mts | Espesor del Núcleo cm | Seco | Ps sat. seco | Ps sumergido en agua | Densidad máxima Bulk en campo | Densidad máxima Bulk en Laboratorio | Contenido de Asfalto (%) | % Absorción. | Densidad Máxima Teórica RICE | % Vacios | |
| | | | | | | | | | | | | Mezcla Va (RICE) | % Compactación |
| 11+860 | I | 3.10 | 4.5 | 707.0 | 709.1 | 394.6 | 2.248 | 2.310 | 6.66 | 0.67 | 2.400 | 6.33 | 93.7 |
| 12+265 | LC | 0.40 | 5.0 | 727.8 | 730 | 403.6 | 2.230 | 2.265 | 6.33 | 0.67 | 2.372 | 6.00 | 94.0 |
| 12+420 | D | 3.15 | 5.0 | 738.8 | 741.9 | 417.2 | 2.275 | 2.200 | 6.41 | 0.95 | 2.423 | 6.09 | 93.9 |
| 12+780 | I | 3.90 | 5.0 | 757.8 | 760.1 | 417.3 | 2.211 | 2.264 | 6.25 | 0.67 | 2.373 | 6.84 | 93.2 |
| 12+953 | LC | 1.04 | 4.5 | 660.5 | 662.6 | 363.6 | 2.209 | 2.307 | 6.60 | 0.70 | 2.401 | 8.00 | 92.0 |
| 13+065 | D | 3.50 | 5.0 | 751.2 | 753.7 | 411.2 | 2.193 | 2.283 | 6.37 | 0.73 | 2.383 | 7.96 | 92.0 |
| 13+520 | I | 5.10 | 4.3 | 631.8 | 633.8 | 351.1 | 2.235 | 2.306 | 6.65 | 0.71 | 2.400 | 6.88 | 93.1 |
| 13+583 | LC | 0.50 | 5.3 | 810.0 | 812.3 | 446.2 | 2.213 | 2.300 | 6.64 | 0.63 | 2.391 | 7.47 | 92.5 |
| 13+888 | D | 4.30 | 5.2 | 759.8 | 762.4 | 420.5 | 2.222 | 2.286 | 5.61 | 0.76 | 2.389 | 6.98 | 93.0 |



XI ANEXO D

DISEÑO DE MEZCLA



1. INFORMACION GENERAL

1.1 NOMBRE DEL LABORATORIO RESPONSABLE.

El Diseño de Mezcla Asfáltica, es presentado por el laboratorio TECNOLOGIA & NORMAS Sub-contratado por el CONSORCIO GRUPO PICSA S.A Y MECO S.A.

1.2 FECHA DEL INFORME DE LABORATORIO:

El presente informe tiene fecha de elaboración: 13 de Agosto del 2010.

1.3 INDICACION DE LA FUENTE DE AGREGADO CON LAS QUE SE VA HA, PRODUCIR LA MEZCLA QUE CORRESPONDE AL DISEÑO:

La fuente del Agregado se conoce como: Bco. Panteón Viejo Localizado en el Km: 1+000 Costado Derecho, y Triturado en el Plantel El Plomo Km: 2+500 Costado Derecho.

1.4 FECHA DE MUESTREO DE LOS AGREGADOS.

Los Agregados se Muestrearon en el periodo correspondiente del 13 al 24 de Julio del 2010. Diseñándose con el promedio de 10 pruebas Correspondientes a 10 días de Producción.

1.5 TECNICA DE MUESTREO UTILIZADA:

El muestreo se llevó a cabo en los apilamientos producto del material, de acuerdo con la normativa AASHTO T-2.

1.6 INDICAR SI LOS AGREGADOS MUESTREADOS HAN SIDO LAVADOS:

Los agregados muestreados proceden del Bco. Panteón Viejo no han sido lavados.

1.7 INDICAR EL TIPO DE RELLENO MINERAL A UTILIZAR, SUS CARACTERISTICAS Y SU FORMA DE ADAPTACION A LA PLANTA.

El relleno mineral es producido durante el proceso de trituración del Material.

2. LIGANTE ASFALTICO:

2.1 CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ASFALTO UTILIZADO EN EL DISEÑO:

Certificado de calidad del Asfalto utilizado en el diseño se encuentra al final de este documento.

2.2 INDICACION DEL EMISOR DEL CERTIFICADO DEL ASFALTO UTILIZADO EN LA MEZCLA:

El Certificado de Calidad y el Tipo de Asfalto es emitido por: **Perenco Guatemala Limited.**



3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADO DE APILAMIENTOS:

3.1 PROPORCIONES EN QUE SE MEZCLAN LOS AGREGADOS DE APILAMIENTOS PARA OBTENER LA GRANULOMETRIA DE DISEÑO:

Los agregados se han mezclado en una proporción de 33% de agregado grueso "A" 19% de agregado intermedio "B" y 48% de agregado fino "C".

3.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO GRUESO, AASHTO T-27/11

AGREGADO "A"

| No. De tamiz | % que pasa |
|--------------|------------|
| 1" | 100 |
| 3/4" | 99.8 |
| 3/8" | 22.1 |
| No. 4 | 3.6 |
| No. 8 | 2.4 |
| No. 50 | 1 |
| No. 200 | 0.6 |

3.2 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO INTERMEDIO, AASHTO T-27/11

AGREGADO "B"

| No. De tamiz | % que pasa |
|--------------|------------|
| 1" | 100 |
| 3/4" | 100 |
| 3/8" | 100 |
| No. 4 | 24.9 |
| No. 8 | 2.6 |
| No. 50 | 0.7 |
| No. 200 | 0.5 |

3.2 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO, AASHTO T-27/T-11

AGREGADO "C"

| No. De tamiz | % que pasa |
|--------------|------------|
| 1" | 100 |
| 3/4" | 100 |
| 3/8" | 100 |
| No. 4 | 99.2 |
| No. 8 | 74.7 |
| No. 50 | 19.8 |
| No. 200 | 11 |



4. GRANULOMETRIA DE DISEÑO:

PROPORCION DE 33% AGREGADO GRUESO "A", 19% AGREGADO INTERMEDIO "B" Y 48% AGREGADO FINO "C".

INTEGRACION DEL DISEÑO

| No. De tamiz | % que pasa | BANDA DE ACEPTACION % Pasado |
|--------------|------------|---------------------------------|
| 1" | 100 | 100 |
| 3/4" | 100 | 90 - 100 |
| 3/8" | 76 | 56 - 80 |
| No. 4 | 54 | 35 - 65 |
| No. 8 | 37.8 | 23 - 49 |
| No. 50 | 10.8 | 5 - 19 |
| No. 200 | 6.3 | 2 - 8 |

5. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCION DE LOS AGREGADOS DE DISEÑO: GRAVEDADES ESPECÍFICAS BULK Y % DE ABSORCION, AASHTO T-85

AGREGADO GRUESO DE MEZCLA DE PRUEBA.

| PASA EL TAMIZ | RETENIDO EN EL TAMIZ | PESO ESPECIFICO BULK | % DE ABSORCION |
|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| 1" | 3/8" | 2.604 | 1.91 |

AGREGADO INTERMEDIO DE MEZCLA DE PRUEBA.

| PASA EL TAMIZ | RETENIDO EN EL TAMIZ | PESO ESPECIFICO BULK | % DE ABSORCION |
|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| 3/8" | No. 4 | 2.574 | 2.06 |

AGREGADO FINO DE MEZCLA DE PRUEBA.

| PASA EL TAMIZ | RETENIDO EN EL TAMIZ | PESO ESPECIFICO BULK | % DE ABSORCION |
|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| No. 4 | 0 | 2.508 | 3.00 |

GRAVEDADES ESPECÍFICAS Y % DE ABSORCION INTEGRADOS:

| | | |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|
| GRAVEDAD ESPECIFICA BULK | AASHTO T-85 | 2.552 gr/cm ³ |
| % DE ABSORCION | AASHTO T-85 | 2.35% |



CALCULO DEL PESO ESPECÍFICO NETO.

Agregado Proveniente: Banco Panteón Viejo km: 1+000 Costado Derecho **Fecha:** julio 22, 2010

| Material | Tamaño | % Agregado | P.E Bulk | P.E Aparente | P.E. SSS | % Absorción |
|----------|---------|------------|----------|--------------|----------|-------------|
| "A" | 3/4" | 100.00 | 2.604 | 2.740 | 2.653 | 1.91 |
| | | | | | | |
| | Average | 100.00 | 2.604 | 2.740 | 2.653 | 1.91 |

Agregado Proveniente: Banco Panteón Viejo km: 1+000 Costado Derecho

| Material | Tamaño | % en Agregado | P.E Bulk | P.E Aparente | P.E. SSS | % Absorción |
|----------|---------|---------------|----------|--------------|----------|-------------|
| "B" | 3/8" | 100.00 | 2.574 | 2.718 | 2.627 | 2.06 |
| | | | | | | |
| | Average | 100.00 | 2.574 | 2.718 | 2.627 | 2.06 |

Agregado Proveniente: Banco Panteón Viejo km: 1+000 Costado Derecho

| Material | Tamaño | % Agregado | P.E Bulk | P.E Aparente | P.E. SSS | % Absorción |
|----------|---------|------------|----------|--------------|----------|-------------|
| "C" | 3/16" | 100.00 | 2.508 | 2.712 | 2.583 | 3.00 |
| | | | | | | |
| | Average | 100.00 | 2.508 | 2.712 | 2.583 | 3.00 |

PESO ESPECÍFICO INTEGRADO Y % DE ABSORCION DE LA MEZCLA DE AGREGADOS.

| MATERIAL | APORTE (%) | P.E BULK | FRACCION | % ABS | FRACCION |
|----------|------------|----------|----------|-------|----------|
| "A" | 33 | 2.604 | 12.67 | 1.91 | 17.31 |
| "B" | 19 | 2.574 | 7.38 | 2.06 | 9.22 |
| "C" | 48 | 2.508 | 19.14 | 3.00 | 15.99 |
| | | TOTAL | 39.19 | | 42.52 |

PESO ESPECIFICO Y % DE ABSORCION INTEGRADO 2.552 2.35

OBSERVACIONES: Agregado no absorbente % < 2.50



6.1 PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.

A continuación se muestran los datos correspondientes a:

- Densidad
- Densidad Teórica RICE
- Estabilidad
- Flujo
- V.M.A
- V.F.A
- Va
- Grafica de mejor ajuste para cada parámetro Marshall.
- Relación polvo/asfalto.
- Adherencia al asfalto.
- Gravedad específica efectiva.
- Densidad teórica máxima (Gmm).
- % de Asfalto Absorbido con respecto al peso total de agregados.
- % de Contenido de Asfalto Efectivo con respecto al peso total de la Mezcla (Pbe).

7. PARAMETROS OBTENIDOS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE DISEÑO.

De acuerdo con el método de diseño Marshall y analizando los diferentes parámetros y sus rangos de aceptación, se ha encontrado que la mezcla al 4.2% de vacíos requiere de un 6.3% de asfalto sobre el peso de la mezcla, para este porcentaje de asfalto la mezcla presenta los siguientes parámetros.

| PARAMETRO MARSHALL | RESULTADOS | ESPECIFICACION |
|---|-------------------|-----------------------|
| Estabilidad (lbs). | 3,260 | >2000 |
| Flujo (1/100 pulg.) | 11.8 | 8Mín – 14Máx |
| Densidad (grs/cm³) | 2.269 | - |
| Densidad Máxima RICE | 2.370 | - |
| % de Vacíos con aire (Va). | 4.2 | 3%Mín – 5%Máx |
| % de V.M.A | 16.88 | 14% Min. |
| % DE V.F.A | 73.50 | 65%Mín – 75%Máx |
| Relación polvo/asfalto | 1.00 | 0.6 – 1.3 |
| Gravedad específica Efectiva (Gse) | 2.582 | - |
| Gravedad Teórica máxima (Gmm) | 2.370 | - |
| % Asfalto absorbido (Pba). | 0.5% | - |
| % Asfalto efectivo (Pbe). | 5.8% | - |



Evaluación de mezcla asfáltica en caliente utilizando el método de "Resistencia retenida", para la pavimentación de la carretera San Ramón- Muy Muy, departamento de Matagalpa.

Perenco Guatemala Limited.

RESULTADO DE ANALISIS DE LABORATORIO

| | |
|------------------------|---------------------|
| PRODUCTO: | ASFALTO |
| ESPECIFICACION: | AC-30 (ASTM D 3381) |
| FECHA: | Junio 18 de 2,010 |
| HORA: | 17:05 |
| TANQUE: | 01 |
| LOTE: | 066-2010 |

| REQUISITO PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60°C (Clasificación basada en asfalto original). | | | |
|--|---|---------------------------------|------------------------|
| PRUEBA | GRADO DE VISCOSIDAD | | |
| | ESPECIFICACION ASTM D 3381 TABLA 2 | RESULTADOS OBTENIDOS | METODO ASTM |
| Gravedad especifica a 15.5°C | N.E | 1.065 | D 70 |
| Peso (Lbs/Gal) | N.E | 8.763 | D 70 |
| Viscosidad, 60°C,poises | 3000±600 | 2,931 | D 2171 |
| Viscosidad, 135°C, Cs mínimo | 350 | 497 | D 2170 |
| Penetración, 25°C, 100g, 5 seg-minimo | 50 | 70 | D 5 |
| Punto inflamador, Cleveland,°C(°F)-mínimo | 232(450) | 520 | D 92 |
| Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-mínimo | 99.0 | 100.0 | D 2042 |
| Punto de ablandamiento °F | N.E | 115 | D 36 |
| Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO: | | | |
| Perdida por calentamiento, porciento-máximo (opcional) ³ | 0.5 | | |
| Viscosidad, 60°C, poises- máximo | 15000 | 8,741 | D 2171 |
| Ductilidad, 25°C , 5 cm por minuto,cm-minimo | 40 | >105 | D 113 |

Min=mínimo

Máx: máximo

N.E: No especifica.

Temp. De transporte: 15°C

LABORATORIO REFINERIA LA LIBERTAD
2384-6100 ext. 224 La Libertad, Petén
Email: laboratoriolibertas@gt.perenco.com

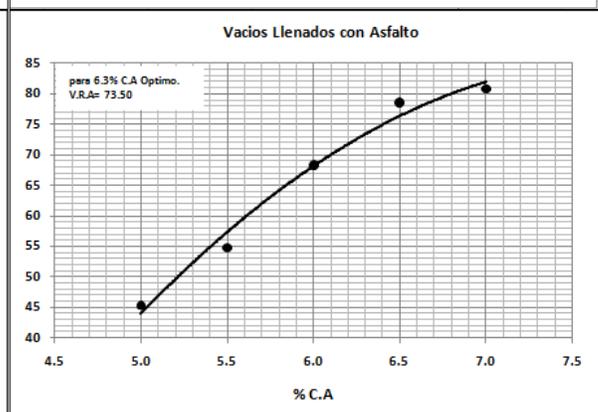
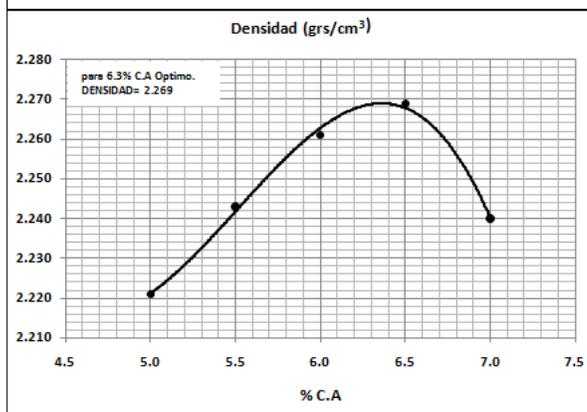
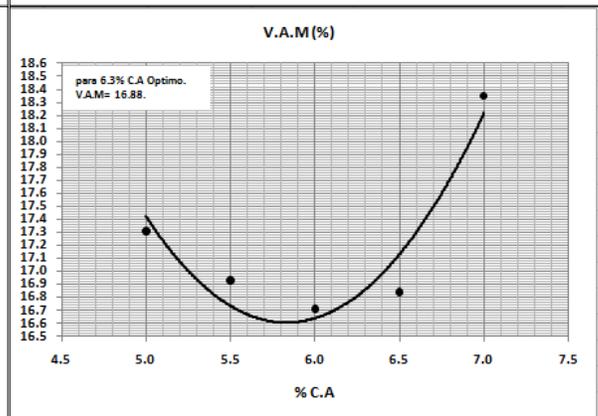
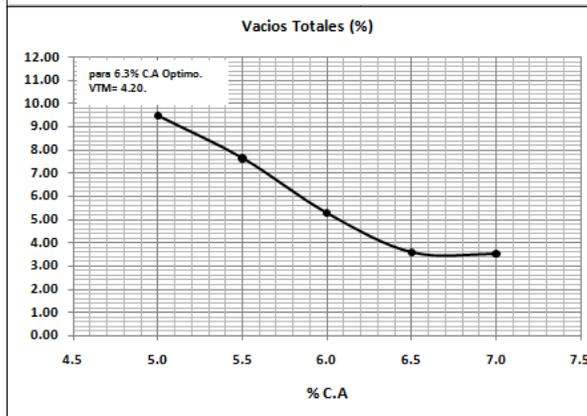
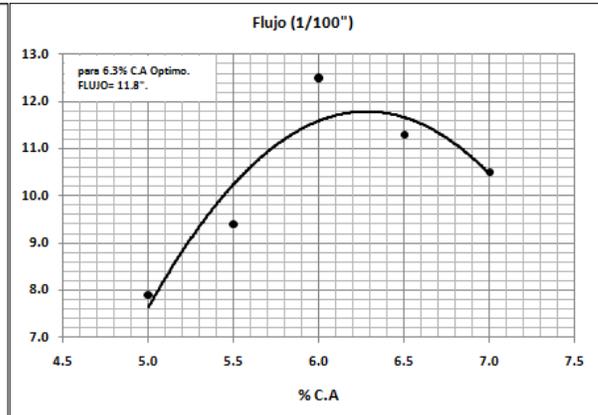
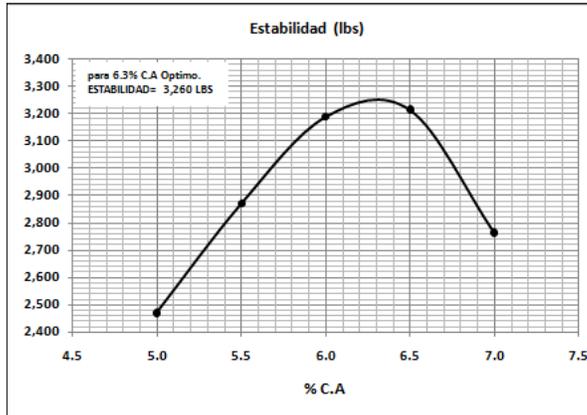


GRAFICAS DE PARAMETROS MARSHALL DE LA MEZCLA

Banco: Banco Panteón Viejo km: 1+000 Costado Derecho.

Mezcla Tipo: Especificación del Proyecto

| Contenido de C.A | Estabilidad (lbs.) | Flujo (1/100") | Densidad (grs/cm ³) | V.A.M (%) | Vacios Llenados | Vacios Totales. (%) |
|------------------|--------------------|----------------|---------------------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| 5.00 | 2,471 | 7.9 | 2.221 | 17.31 | 45.27 | 9.48 |
| 5.50 | 2,870 | 9.4 | 2.243 | 16.93 | 54.80 | 7.65 |
| 6.00 | 3,189 | 12.5 | 2.261 | 16.71 | 68.40 | 5.28 |
| 6.50 | 3,215 | 11.3 | 2.269 | 16.84 | 78.64 | 3.60 |
| 7.00 | 2,764 | 10.5 | 2.240 | 18.35 | 80.80 | 3.52 |





XI. ANEXO E

FOTOGRAFÍAS



Foto 1: Banco Panteón Viejo.



Foto 2: Trituración de material. Plantel El Plomo.





Foto 3: Apilamientos de agregado triturado en planta asfáltica Las Marías.



Foto 4: Planta Asfáltica Las Marías.





Foto 5: Tolvas de agregados.



Foto 6: Cargas de camiones con mezcla.





Foto 7: Muestreo de Mezcla suelta.



Foto 8: Extendedora de mezcla.





Foto 9: Compactador neumático y compactador de rodillo.



Foto 10: Termómetro para control de temperatura en campo.





Foto 11: Lectura de temperatura en campo.



Foto 12: Densímetro Nuclear para control de compactación en campo.

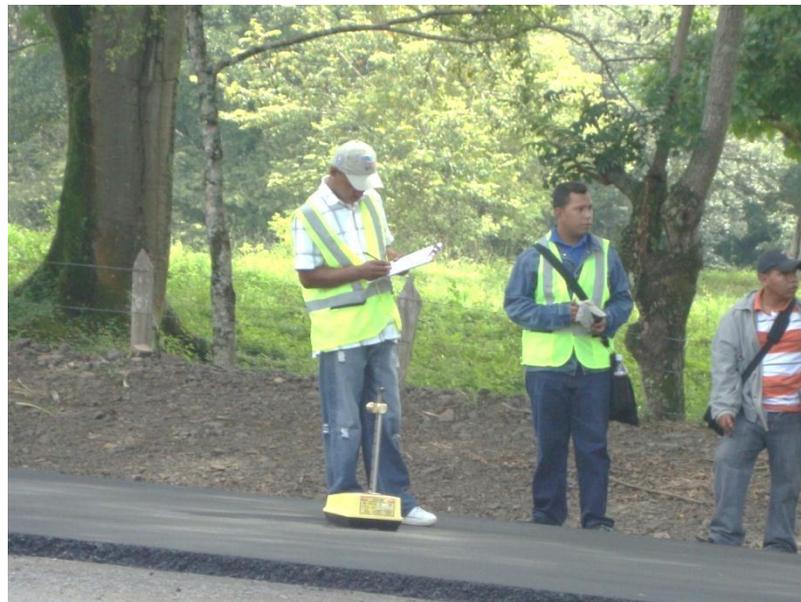




Foto 13: Lectura de compactación en campo.

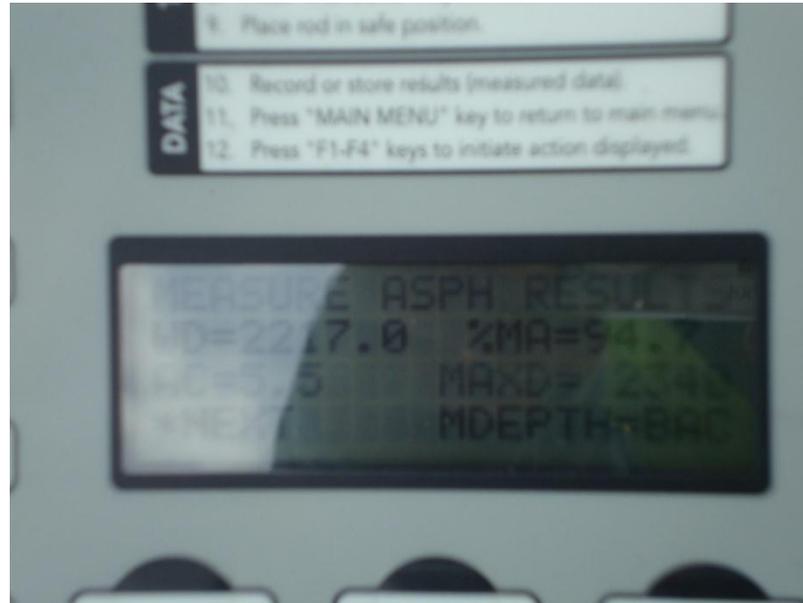


Foto 14: Termómetro para control de temperatura en laboratorio.





Foto 15: Muestra de ensayo.



Foto 16: Maquina Centrifuga para extracción de asfalto.





Foto 17: Maquina Centrifuga y filtros.



Foto 18: Pesaje de agregados provenientes de extracción de asfalto.





Foto 19: Juegos de tamices para granulometría de los agregados gruesos y finos.



Foto 20: Picnómetro de vacío para ensayo de gravedad específica máxima RICE.





Foto 21: Horno para calentamiento previo de los moldes y martillo Marshall.



Foto 22: Moldes de compactación Marshall.





Foto 23: Elaboración de especímenes de ensayo.



Foto 24: Compactación de especímenes con el martillo Marshall.





Foto 25: Extracción de especímenes compactados en laboratorio.



Foto 26: Especímenes moldeados en laboratorio.





Foto 27: Peso seco de los especímenes.



Foto 28: Recipiente con agua a 25°C para la determinación de los pesos sumergidos.





Foto 29: Peso saturado superficialmente seco de especímenes compactados.



Foto 30: Balanza con precisión de 0.01 gramo.





Foto 31: Baño María utilizado para inmersión a 60°C de especímenes compactados.



Foto 32: Prensa eléctrica para ensayo Marshall.





Foto 33: Moldes para ensayo de resistencia retenida



Foto 34: Medición de especímenes. Ensayo de resistencia retenida





Foto 35: Aplicación de carga a los especímenes compactados.



Foto 36: Extracción de testigos en carpeta de rodamiento.





Foto 37: Testigo extraído de carpeta de rodamiento.



Foto 38: Testigos extraídos de carpeta de rodamiento.





Foto 39: Pavimento terminado. Entrada a San Ramón.

