

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**COMPROBACIÓN DE LA FÓRMULA WITCZAK PARA EL CÁLCULO DEL
MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

PRESENTADO POR:

BORIS JAVIER AGUILAR BATISTA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL:

MSC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**COMPROBACIÓN DE LA FÓRMULA WITCZAK PARA EL CÁLCULO DEL
MÓDULO DINÁMICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA**

Presentado por:

BORIS JAVIER AGUILAR BATISTA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. DILBER ANTONIO SANCHEZ VIDES

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES

AGRADECIMIENTOS

A los maestros de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, al Dr. Edgar Peña que desde el primer momento me ha compartido sus conocimientos, con la única finalidad de dar a la sociedad profesionales capaces y comprometidos con el mejoramiento y desarrollo del entorno.

Agradecemos de manera especial al Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides, por quien siento un profundo cariño y respeto; por su tiempo y paciencia, y por haberme compartido todos sus conocimientos para lograr que este trabajo de graduación sea de calidad, sin obtener nada a cambio.

Agradezco al Ingeniero GABRIEL GUEVARA y a los Ingenieros de la empresa constructora ECON S.A de C.V. al ingeniero Daniel Serrano, Ingeniero Carlos Velázquez y al Ingeniero Ricardo Flores por todos los conocimientos compartidos y por su valiosa ayuda en la ejecución de los ensayos requeridos en este trabajo de graduación.

DEDICATORIA

A DIOS por ser el centro de mi vida y haber permitido lograr culminar esta tesis.

A mamá María por siempre guiarme a su hijo Jesús.

A mi Esposa Fátima Guevara y a mis hijas Ana Sofía y Valeria maría y a mi hijo José Javier por ser fuente de inspiración.

A mi Suegro Gabriel Guevara por brindarme todo su apoyo con los laboratorios y sus conocimientos que han permitido que esta tesis sea de utilidad a la comunidad de ingenieros.

A mis padres por fuente de vida y comprensión en todos los aspectos de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I: GENERALIDADES	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 Módulo del pavimento (resiliente o dinámico).....	1
1.1.2 Parámetros volumétricos.....	3
1.1.3 Mezclas asfálticas.....	7
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivo general	10
1.3.2 Objetivo específicos	10
1.4 ALCANCES.....	11
1.5 LIMITACIONES	12
1.6 JUSTIFICACIÓN	13
CAPÍTULO II: MATERIALES	14
2.1 AGREGADOS PETREOS	14
2.1.1 Agregados.....	14
2.1.1.1 Clasificación de agregados.....	14
2.1.1.1.1 Rocas sedimentarias.....	15
2.1.1.1.2 Rocas ígneas.....	16
2.1.1.1.3 Rocas metamórficas.....	17
2.1.1.2 Fuentes de agregados.....	18
2.1.1.2.1 Agregados naturales.....	18
2.1.1.2.2 Agregados procesados.....	19
2.1.1.2.3 Agregados sintéticos.....	22
2.1.1.3 Producción, acopio de reservas, manejo, y muestreo de agregados.....	23
2.1.1.3.1 Producción de agregados.....	24

2.1.1.3.2 Acopio de reservas de agregado.	26
2.1.1.3.3 Manejo de agregado.	28
2.1.1.3.4 Muestreo de agregado.	29
2.1.1.4 Propiedades del agregado y su evaluación.	30
2.1.1.4.1 Graduación y tamaño máximo de partícula.	31
2.1.1.4.2 Cálculos relacionados con el agregado.	40
2.1.1.4.3 Limpieza.	48
2.1.1.4.4 Dureza.	48
2.1.1.4.5 Forma de la partícula.	49
2.1.1.4.6 Textura superficial.	50
2.1.1.4.7 Capacidad de absorción.	51
2.1.1.4.8 Afinidad por el asfalto.	51
2.1.2 El agregado grueso.	53
2.1.3 El agregado fino.	53
2.1.4 Importancia del agregado pétreo en una mezcla asfáltica.	53
2.1.5 Ensayos.	62
2.2 ASFALTO.	63
2.2.1 Cualidades y clasificación de los ligantes asfálticos.	63
2.2.1.1 Cualidades.	63
2.2.1.2 Clasificación.	64
2.2.2 Conceptos.	69
2.2.2.1 Pruebas para determinar las propiedades del cemento asfáltico.	71
2.2.2.1.1 Viscosidad.	71
2.2.2.1.2 Penetración.	73
2.2.2.1.3 Punto de inflamación.	74
2.2.2.1.4 Prueba de película delgada en horno (TFO) y prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO).	75
2.2.2.1.5 Ductilidad.	76
2.2.2.1.6 Solubilidad.	77
2.2.2.1.7 Peso Específico.	77
2.2.2.2 Manejo, almacenamiento, y muestreo de asfalto.	79

2.2.2.2.1 Seguridad en el manejo del asfalto caliente.....	79
2.2.3 Ensayos.	82
2.3 MEZCLAS ASFALTICAS	82
2.3.1 Conceptos generales.....	84
2.3.2 Método de diseño Marshall.....	85
2.3.2.1 Método Marshall – descripción.	86
2.3.2.1.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall.	87
2.3.2.1.1.1 Selección de las muestras de material.....	87
2.3.2.1.1.2 Preparación del agregado.....	88
2.3.2.1.2 Procedimiento del ensayo Marshall.	93
2.3.2.1.2.1 Determinación del peso específico total.....	93
2.3.2.1.2.2 Ensayos de estabilidad y fluencia.	93
2.3.2.1.2.3 Valor de estabilidad Marshall.	94
2.3.2.1.2.4 Valor de fluencia Marshall.	95
2.3.2.1.2.5 Análisis de densidad y vacíos.	96
2.3.2.2 Analizando los resultados del ensayo Marshall.	98
2.3.2.2.1 Graficando los resultados.	98
2.3.2.2.2 Relaciones y observaciones de los resultados de los ensayos.....	99
2.3.2.2.3 Determinación del contenido óptimo de asfalto.....	101
2.3.2.2.4 Verificando los criterios de diseño.	102
2.3.2.2.5 Seleccionando un diseño de mezcla.	103
2.3.3 Witczak.....	106
2.3.4 Ensayos.	106
2.3.5 Comparación y correlación.....	107
CAPITULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
ANEXOS	111

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 - Requisitos del agregado grueso	60
TABLA 2.2 - Rangos requeridos, granulometría de agregados para concreto asfáltico en caliente	61
TABLA 2.3 – Ensayo a Grava $\frac{3}{4}$ "	64
TABLA 2.4 – Ensayo a Grava $\frac{1}{2}$ "	64
TABLA 2.5 – Ensayos a Grava 0	65
TABLA 2.6 – Ensayos a Grava triturada	65
TABLA 2.7 – Requerimientos para mezclas de Concreto Asfáltico.....	66
TABLA 2.8 – Tolerancia en contenido asfáltico óptico	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Clasificación de Agregados.	21
FIGURA 2.2- Análisis de Tamices.	33
FIGURA 2.3 - Composición Típica del Concreto Asfáltico.....	37
FIGURA 2.4 - Grafico Típico de una Granulometría Exponencial y Ejemplo de una Banda de Granulometría.....	39
FIGURA 2.5 - Tamaños Típicos de Tamices.....	40
FIGURA 2.6 - Datos de un Análisis de Tamices, Convertidos en Granulometría de Agregado.....	42
FIGURA 2.7 - Curva de Graduación en la Figura Semi-logarítmica	45
FIGURA 2.8 - Curva de Graduación en la Figura de Potencia 0.45	45
FIGURA 2.9 - Acopio de agregado pétreo.	55
FIGURA 2.10 - Procedimiento para reducción de muestras.....	56
FIGURA 2.11 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por Viscosidad (AASHTO M 226).....	66
FIGURA 2.12 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad del Residuo de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M 226).	67
FIGURA 2.13 - Sistema de Clasificación por Penetración (AASHTO M 20).	68
FIGURA 2.14- Especificación de cementos asfálticos por grado de desempeño.	68
FIGURA 2.15 - Endurecimiento de Asfalto después de haber sido Expuesto a temperaturas Altas. ($F=9/5[°C]+32$)	70
FIGURA 2.16 - Ejemplo de Graficas para los Resultados de una Serie de Cinco Probetas Marshall.....	101
FIGURA 2.17- Criterios del Instituto del Asfalto (U.S.A.) para el Diseño Marshall.....	104
FIGURA 2.18- Porcentaje Mínimo de VMA.....	105

INTRODUCCION

En la actualidad se evidencia un constante crecimiento de las redes viales, impulsado, entre otros factores, por las necesidades de comunicación entre los diferentes sectores económicos y, principalmente, por el intercambio comercial entre países. Adicional a esto, el incremento del tráfico vehicular en el país está en constante aumento, lo que implica que dichas redes viales se diseñan y construyen para que soporten el impacto que estos factores de crecimiento generan en ellas y además las condiciones climáticas.

Dentro de las características que definen la calidad de una estructura de pavimento se encuentran las mecánicas y dinámicas, características que son muy importantes, debido a que ayudan a determinar parámetros definitivos, como el dimensionamiento de la estructura de pavimento, rehabilitación o reforzamiento; por tal razón, es de vital importancia diseñar y construir vías que soporten el tránsito futuro, para lo cual se hace un enfoque particular en las características dinámicas de la capa de concreto asfáltico de las estructuras de pavimento.

Existen diversas variables relacionadas con la determinación del módulo dinámico de una mezcla asfáltica, cuyos valores hacen que la mezcla se comporte de forma satisfactoria o no, que se presenten o no daños tanto en la

carpeta de concreto asfáltico como en la estructura de pavimento en conjunto, tales fallas son fisuras, grietas, deformaciones y fatiga, entre otros.

En este trabajo se describen, brevemente, la fórmula de Witczak para la determinación de los módulos dinámicos de las mezclas asfálticas. Una vez determinado el módulo dinámico de la mezcla asfáltica con base en la información de un ensayo Marshall, se compara con los valores obtenidos del ensayo de módulo de laboratorio, con el fin de determinar cuál de las fórmulas es más acertada y cuáles son las razones por las que existe una diferencia en los resultados.

La práctica actual del diseño de mezclas asfálticas deja ver la importancia de lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica terminada, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la capa de rodamiento en su vida de diseño. De ahí, la trascendencia de simular de manera adecuada en el laboratorio la densificación que ocurre en campo, bajo la acción vehicular, y de esta forma llegar a fórmulas de trabajo que permitan dosificar mezclas que exhiban un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.

El análisis del resultado está orientado hacia lograr una mejor explotación del potencial de nuestros materiales viales. La premisa de este trabajo es que a partir de unos mismos materiales se puede lograr un mejor producto, si aplica una

fórmula de trabajo obtenida por un método de diseño que realice controles efectivos para predecir con mayor certeza el comportamiento de las mezclas asfálticas en servicio.

Se pretende que el contenido de este trabajo facilite a los profesionales procesos más claros y el conocimiento de las variables más influyentes en la determinación del módulo dinámico de mezclas asfálticas. También facilita un punto de comparación para obtener un valor óptimo del parámetro en estudio, lo que generara ahorro tanto de recursos económicos como de tiempo, gracias a la orientación que se brinda.

Una mezcla en caliente de pavimento asfáltico consiste en una mezcla uniforme de asfalto y agregado caliente. Casi todo el asfalto utilizado hoy en día proviene de la refinación de crudos de petróleo. El cemento asfáltico (asfalto de pavimentación) está clasificada de acuerdo a su viscosidad o penetración. Unas de las propiedades físicas más importantes del asfalto en la pavimentación son: durabilidad, adhesión y cohesión, susceptibilidad a la temperatura, y resistencia al envejecimiento y al endurecimiento. Los ensayos típicos de asfalto constan de pruebas que tienen como propósito determinar la viscosidad del cemento asfáltico, su penetración, su punto de inflamación, sus características de envejecimiento y endurecimiento, su ductilidad, su solubilidad, y su peso específico.

Deben tomarse en cuenta ciertas precauciones para prevenir heridas por quemaduras y gases venenosos, debido a que el asfalto es un hidrocarburo que se mantiene caliente durante su almacenaje, manejo, y muestreo. Adicionalmente, el asfalto debe ser almacenado, manejado y muestreado apropiadamente para prevenir que sea contaminado.

El inspector debe ser capaz de calcular las correcciones de temperatura-volumen para poder mantener registros adecuados y garantizar conformidad con las especificaciones. Los agregados se clasifican como sedimentarios, ígneos, o metamórficos, dependiendo de la manera como hayan sido formados. Los agregados de pavimentación abarcan los agregados naturales, los agregados procesados, los agregados sintéticos o artificiales, y los rellenos minerales.

Se debe tener cuidado durante la producción, el acopio, el manejo, y el muestreo de agregado, para evitar contaminación, degradación y segregación. Técnicas específicas han sido desarrolladas para minimizar los efectos que pueden ocasionar que un agregado no sea apropiado para ser usado en la pavimentación. Algunas propiedades de especial interés en la pavimentación son la granulometría y el tamaño de la partícula, su limpieza, su dureza, su forma, su textura superficial, su capacidad de absorción, y su afinidad con el asfalto. Ciertos cálculos, referentes al agregado, son requeridos en el curso de la

producción de mezclas asfálticas en caliente para poder garantizar conformidad con las especificaciones. Estos incluyen el análisis de granulometría, los cálculos de proporcionamiento, y la determinación del peso específico. Un conocimiento completo de los materiales usados en las mezclas asfálticas de pavimentación constituye una herramienta necesaria para el inspector de pavimentación. Este conocimiento permitirá tomar, diariamente, decisiones confiables y correctas.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Módulo del pavimento (resiliente o dinámico).

El módulo del pavimento (Resiliente o Dinámico) es una propiedad importante del material en cualquier procedimiento mecanicistico de diseño y análisis de pavimentos flexibles. De hecho, el módulo resiliente es la propiedad del material requerida en el procedimiento empírico de diseño de la Guía de Diseño AASHTO-93 y es uno de los principales parámetros de entrada en la Guía de Diseño Mecanicistico. El módulo se ha constituido como un elemento fundamental en el diseño de pavimentos; por lo que ha sido introducido como un elemento que caracteriza de manera racional el comportamiento esfuerzo – deformación de los materiales que conforman la estructura.

El módulo en mezclas asfálticas es altamente sensible a la temperatura y a la razón de aplicación de carga. Debido a que el asfalto es un material viscoelástico, el módulo de una mezcla asfáltica puede aproximarse a un material granular sin compactar a altas temperaturas y razón lenta de aplicación de carga (por ejemplo, velocidades bajas de vehículos). Por otro lado, a temperaturas bajas y razones pequeñas de aplicación de carga, el material puede tener un comportamiento

elástico con valores de módulo cercanos a materiales de concreto de cemento Portland.

De esta manera el módulo es función de la temperatura, razón de carga, envejecimiento y características de la mezcla como viscosidad y contenido del ligante, granulometría del agregado y vacíos. Para contabilizar los efectos de la temperatura y la razón de carga en el módulo de la mezcla asfáltica, se desarrolló el concepto de la curva maestra. La curva maestra del módulo utiliza principios de superposición tiempo de carga frecuencia-temperatura, de esta manera puede describirse la dependencia del material con el tiempo; lo cual permite al ingeniero diseñador tomar en cuenta, no solamente la temperatura propia de la zona, sino también la velocidad de los vehículos, en la respuesta estructural que la mezcla asfáltica pueda brindar.

En general las consideraciones de diseño y construcción siempre se han mantenido separadas. Aunque se ha conocido de esta separación a lo largo de la historia de los pavimentos asfálticos, no se ha hecho un esfuerzo por adaptar los conceptos del método Marshall a las consideraciones de vacíos que difieren en ambos casos, y no se ha considerado un factor de peso en el deterioro de los pavimentos.

Para una mayor comprensión del problema a tratar se definirán los conceptos fundamentales enmarcados dentro de cuatro temas globales:

- Parámetros volumétricos
- Mezclas asfálticas

1.1.2 Parámetros volumétricos.

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado o, de forma más simple, los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica. Este numeral describe el análisis volumétrico de la HMA (Hot Mix Asphalt), el cual juega un rol significativo en los procedimientos de diseño de mezclas.

Las propiedades volumétricas de una mezcla asfáltica compactada [vacíos de aire (V_a), vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenados con asfalto (VFA) y contenido de Volumen de asfalto efectivo (VPbe) proporcionan una indicación del comportamiento probable de la misma. Es necesario entender las definiciones y los procedimientos analíticos descritos para poder tomar decisiones concernientes con el diseño de mezclas asfálticas. La información aplica tanto a

mezclas elaboradas en laboratorio, como a probetas asfálticas extraídas en el campo.

Definiciones.

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto en un grado variable. El cociente de absorción entre el agua y el asfalto varía con cada agregado. Los tres métodos para medir la gravedad específica del agregado toman estas variaciones en consideración. Estos métodos son la gravedad específica bulk, la gravedad específica aparente y la gravedad específica efectiva:

- Definiciones relacionadas con el agregado mineral:
 - a. Gravedad específica bulk (Gsb). ASTM C127 Y C 128 Relación entre la masa en el aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada, y la masa en el aire de una unidad de volumen de agua destilada a la temperatura indicada.
 - b. Gravedad específica efectiva (Gse). Relación entre la masa en el aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos

permeables de asfalto) a la temperatura indicada, y la masa en el aire de una unidad de volumen de agua destilada a la temperatura indicada.

c. Gravedad específica aparente (G_{sa}). Relación entre la masa en el aire de una unidad de volumen de un material impermeable, a una temperatura indicada, y la masa en el aire de una unidad de volumen de agua destilada a la temperatura indicada.

➤ Definiciones relacionadas con mezcla asfáltica:

d. Vacíos en el agregado mineral (VMA – Voids in Mineral Aggregate). Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

e. Contenido de asfalto efectivo (P_{be}). Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

f. Vacíos de aire (V_a). Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado,

expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

g. Vacíos llenados con asfalto (VFA – Voids Filled with Asphalt). Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la relación $(VMA - V_a)/VMA$.

h. Gravedad específica bulk (Gsb) ASTM D 2726 - Es la relación entre la masa (peso en el aire) de un volumen dado de material a una determinada temperatura, generalmente a 25°C para mezclas asfálticas, y la masa de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura. 2.2 Densidad bulk – Es la masa del material por metro cúbico (o pie cúbico) del material a 25°C (77°F) para mezclas asfálticas.

i. Gravedad Especifica Máxima Teórica ASTM D 2041. Es la relación entre la masa (o peso en el aire) de un volumen de mezcla sin compactar (sin tener en cuenta los vacíos que quedan entre las partículas recubiertas con asfalto, $V_a = 0$) y la masa de un volumen igual de agua a una temperatura establecida. Su valor es adimensional.

j. Volumen efectivo de asfalto (Vbe) – volumen total de asfalto menos Volumen de ligante asfáltico absorbido (VBA) por las partículas del agregado.

El procedimiento de diseño de mezclas calcula los valores de los VMA en términos de la gravedad específica neta de los agregados, G_{sb} .

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) y los vacíos de aire (V_a) se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenos de asfalto (VFA) son el porcentaje de los VMA llenos con el asfalto efectivo.

El contenido de asfalto efectivo puede ser expresado como un porcentaje de la masa total de la mezcla asfáltica o como un porcentaje de la masa del agregado de la mezcla asfáltica.

Debido a que los vacíos de aire (V_a), los VMA y los VFA son volúmenes, una mezcla asfáltica debe ser diseñada o analizada sobre la base del volumen. Para propósitos de diseño, el análisis volumétrico puede ser fácilmente convertido a valores de masas.

1.1.3 Mezclas asfálticas.

Una mezcla asfáltica se compone de una combinación de agregados mezclados uniformemente y recubiertos con cemento asfáltico. La mezcla asfáltica está

compuesta, en peso, por el peso de los agregados y del asfalto; y en volumen, por el volumen de los agregados, del asfalto y de los vacíos de aire.

Las mezclas asfálticas pueden ser en caliente o en frío, y para que tengan un buen desempeño, deben presentar las siguientes propiedades:

- Estabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir las deformaciones impuestas por las cargas vehiculares.
- Durabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir los efectos dañinos del aire, el agua, la temperatura y el tránsito.
- Flexibilidad: Es la capacidad de la mezcla de flexionarse levemente, sin agrietarse y acomodarse a los movimientos de la base o la subrasante.
- Resistencia a la fatiga: Es la capacidad de la mezcla de resistir la flexión repetida generada por el paso de los vehículos.
- Resistencia al deslizamiento: Es la capacidad de la mezcla para ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos al frenar.
- Permeabilidad: Es la resistencia de la mezcla al paso del aire y del agua a través de la capa asfáltica.
- Trabajabilidad: Es la facilidad que ofrece la mezcla para ser extendida y compactada.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para calcular el módulo de una capa de pavimento asfáltico, utilizaremos la fórmula Witczak que relaciona la estructura granular.

Es importante pensar en la probabilidad de ocurrencia de los parámetros que pueden afectar el desempeño del pavimento, por lo que cabe preguntarse lo siguiente: ¿qué valores de temperatura y frecuencia de aplicación de carga se deben emplear para determinar el módulo dinámico de diseño? Si se habla de probabilidad, se podría responder que la temperatura y frecuencia de aplicación de carga son factores que cambian o aumentan diariamente. Lo anterior es apenas una pequeña justificación de la necesidad de caracterizar dinámicamente los materiales utilizados en la construcción de pavimentos flexibles; por ello se debe poner más atención a los parámetros externos que afectan directamente el desempeño de las propiedades de los materiales.

En tal sentido, los resultados de este trabajo de investigación, nos ayudarán a tener comparaciones en base a la fórmula Witczak respecto al Módulo Dinámico del laboratorio. Para realizar un buen Diseño de Espesores y mezclas Asfálticas, debemos utilizar un módulo dinámico, que se ajuste a las necesidades cambiantes de las vías.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Establecer la comprobación del módulo dinámico a 21°C de una mezcla asfáltica dentro de la fórmula propuesta por M. Witczak según la metodología Marshall siguiendo el método del Instituto del Asfalto, Manual serie 02-metodo de diseño de mezclas.

1.3.2 Objetivo específicos

- Aplicar el Nivel 1 en la guía de diseño AASHTO- 93.
- Comprobación de la fórmula Witczak con valores medido de mezcla asfáltica en El Salvador.
- Comprobación de la fórmula Witczak con MAC de planta Grupo ECON S.A DE C.V.

1.4 ALCANCES

Calculo del módulo dinámico con la fórmula de Witczak para establecer la relación del módulo dinámico obtenido de una mezcla asfáltica en caliente (MAC) producida en la planta asfáltica del Grupo ECON S.A DE C.V. plantel San Andrés, en la cual se utilizan agregados minerales de trituración de tipo basáltico, color gris, procedente de la cantera San Diego y cemento asfáltico, clasificado por viscosidad según la norma ASTM D 3381, como AC-30 Tabla II, distribuido por UNO El Salvador.

Aplicar el nivel 1 de la guía AASHTO -93, para el diseño de estructura de pavimento que consta de ensayos de módulos de laboratorio y módulos obtenidos a través de fórmula.

Se realizará la construcción de la curva maestra en el laboratorio de ASFALCA S.A DE C.V. para la cual se van a considerar temperaturas 4 °C, 21 °C, 37 °C y 54 °C.

1.5 LIMITACIONES

- No hay un banco de datos de los módulos de mezclas asfálticas en caliente que nos permita relacionar con los parámetros obtenidos en este trabajo de investigación.
- En el país solamente hay un proveedor del servicio de construcción de curva maestra, por lo que el acceso a esta información es limitado.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La solicitud de desempeño para las estructuras de pavimento, son cada día más exigente, por lo que los diseñadores deben aplicar las últimas tendencias de diseño según la guía AASHTO-93, la cual establece la caracterización de materiales considerando propiedades de los materiales, efectos del tiempo-temperatura, categorías de materiales, espectros de carga vehicular y la frecuencia de aplicación de carga.

CAPÍTULO II: MATERIALES

2.1 AGREGADOS PETREOS

2.1.1 Agregados.

Agregado, también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria, y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento, en peso, y entre el 75 y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

2.1.1.1 Clasificación de agregados.

Las rocas se dividen en tres tipos generales: sedimentarias, ígneas, y metamórficas (Figura 2.1). Esta clasificación está basada en el tipo de formación de cada roca.

2.1.1.1.1. Rocas sedimentarias.

Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal, yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son sílice y calcireo. Rocas sedimentarias silíceas son aquellas que contienen un porcentaje alto de sílice. Aquellas rocas que contienen un alto porcentaje de carbonato de calcio (calizas) son llamadas calcireas. Las rocas sedimentarias se encuentran, característicamente, en capas (estratos), dentro de la corteza terrestre. Esta estratificación es el resultado directo de la manera en que se formaron las rocas sedimentarias: a partir de depósitos de partículas finas, generalmente sedimentados sobre el fondo de lagos o mares antiguos.

2.1.1.1.2 Rocas ígneas.

Las rocas ígneas constan de material fundido (magma) que se ha enfriado y solidificado.

Hay dos tipos de rocas ígneas: extrusivas e intrusivas.

Las rocas ígneas extrusivas son formadas a partir del material que se ha vertido afuera, sobre la superficie terrestre, durante una erupción volcánica o alguna actividad geológica similar. La roca resultante tiene una apariencia y estructura vidriosa, debido a que el material se enfría rápidamente a ser expuesto a la atmósfera. La riolita, la andesita, y el basalto son ejemplos de rocas extrusivas.

Las rocas intrusivas, por otro lado, se forman a partir del magma que queda atrapado en las profundidades de la corteza terrestre. Al ser atrapado en la corteza, el magma se enfría y endurece lentamente, permitiendo la formación de una estructura cristalina. En consecuencia, la roca ígnea intrusiva es cristalina en estructura y apariencia; siendo ejemplos el granito, la diorita, y el gabro. Los movimientos terrestres y los procesos de erosión traen rocas intrusivas a la superficie terrestre, donde pueden ser explotadas en cantera y posteriormente usadas.

2.1.1.1.3 Rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas son, generalmente, rocas sedimentarias o ígneas que han sido transformadas por procesos de intensa presión y calor dentro de la tierra, y también por reacciones químicas. Es muy difícil determinar el origen exacto de una roca metamórfica en particular, debido a que los procesos de formación son muy complejos.

Muchos tipos de rocas metamórficas presentan un rasgo característico: los minerales están alineados en capas o planos paralelos. Partir la roca en el sentido de sus planos es mucho más fácil que partirla en sus otras direcciones. Las rocas metamórficas que exhiben este tipo de estructura se denominan foliadas. Ejemplos de rocas foliadas son los gneises, los esquistos (formados de rocas ígneas) y la pizarra (formada de la arcilla esquistosa; una roca sedimentaria).

No todas las rocas metamórficas son foliadas. El mármol (formado de las calizas) y la cuarcita (formada de las areniscas) son tipos comunes de rocas metamórficas que no presentan foliación.

2.1.1.2 Fuentes de agregados.

Los agregados usados en el pavimento asfáltico se clasifican, generalmente, de acuerdo a su origen. Estos incluyen: agregados naturales, agregados procesados, y agregados sintéticos o artificiales.

2.1.1.2.1 Agregados naturales.

Los agregados naturales son aquellos que son usados en su forma natural, con muy poco o ningún procesamiento. Ellos están constituidos por partículas producidas mediante procesos naturales de erosión y degradación, tales como la acción del viento, el agua, el movimiento del hielo, y los químicos.

La forma de las partículas individuales es un producto, a la larga, de los agentes que actúan sobre ellas. Los glaciares, por ejemplo, usualmente producen rocas y guijarros redondeados. Así mismo, las corrientes de agua producen partículas lisas y redondeadas.

Los principales tipos de agregado natural usados en la construcción de pavimento son la grava y la arena. La grava se define, usualmente, como partículas de un tamaño igual o mayor que 6.35 mm (1/4 pulgada). La arena se define como partículas de un tamaño menor que 6.35 mm (1/4 pulgada) pero

mayor que 0.075 mm (No. 200). Las partículas de un tamaño menor que 0.075 mm (No. 200) son conocidas como relleno mineral (filler), el cual consiste principalmente de limo y arcilla.

Las gravas y las arenas son clasificadas, además, de acuerdo a su origen.

Los materiales producidos en canteras abiertas y usados sin ningún procesamiento adicional son conocidos como materiales en bruto, y los materiales tornados de la ribera de los ríos son conocidos como materiales de canteras de ríos.

Los depósitos de gravas varían ampliamente en composición, pero usualmente contienen alguna cantidad de arena y limo. Los depósitos de arena también contienen, comúnmente, alguna cantidad de arcilla y limo. Las arenas de playa (algunas de las cuales se encuentran tierra adentro hoy día) están compuestas de partículas de tamaño regularmente uniforme, mientras que las arenas de río contienen proporciones grandes de grava, limo y arcilla.

2.1.1.2.2 Agregados procesados.

Los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y tamizados antes de ser usados.

Existen dos fuentes principales de agregados procesados: Gravas naturales que son trituradas para volverlas más apropiadas para pavimento de mezcla asfáltica, y fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes que deben ser reducidos en tamaño antes de ser usados en la pavimentación.

La roca es triturada por tres razones: para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa, para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular, y para reducir y mejorar la distribución y el rango (graduación) de los tamaños de las partículas.

El propósito principal de la trituración, en el caso de los fragmentos de lecho de roca y de piedras grandes, es reducir las piedras a un tamaño que sea manejable. Sin embargo, los cambios en la textura superficial, y en la forma de las partículas, son también muy importantes.

El tamizado de los materiales, después de triturarlos, resulta en una granulometría con cierto rango de tamaño de partícula. Un factor importante en la construcción de pavimentos de buena calidad consiste en mantener graduaciones específicas de agregados. Sin embargo, por razones económicas, el material triturado es usado tal y como sale del triturador, con muy poco o ningún tamizado. Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con los requisitos de la obra.

CLASIFICACION GENERAL DE ROCAS

Clase	Tipo	Familia
Sedimentarias	Calcáreas	Caliza Dolomita
	Silíceas	Arcilla Esquistosa Arenisca Horsteno Conglomerado ¹ Breccia ¹
Metamórficas	Foliadas	Gneis Esquisto Anfibolita Pizarra
	No Foliadas	Cuarcita Mármol Serpentina
Igneas	Intrusivas (de grano grueso)	Granito ² Sienita ² Diorita ² Gabbro Peridotita Piroxenita Hornablendita
	Extrusivas (de grano fino)	Obsidiana Pómez Tufa Riolita ^{2,3} Traquita ^{2,3} Andesita ^{2,5} Basalto ² Diabasa

FIGURA 2.1 - Clasificación de Agregados.

El agregado triturado, sin tamizar, es conocido como agregado triturado sin cribar, y es usado satisfactoriamente en muchos proyectos de construcción de pavimento. Sin embargo, es esencial garantizar que la operación de triturado sea continuamente supervisada para poder producir un agregado que cumpla con las especificaciones.

El triturado de algunos tipos de roca, como las calizas, produce cantidades substanciales de pequeños fragmentos y partículas. Esta fracción de material es separada de las partículas que tienen diámetros iguales o mayores 6.35 mm (1/4 pulgada), casi siempre, y usada como agregado de arena triturada, o procesada hasta tamaños máximos de 0.60 mm (No. 30).

2.1.1.2.3 Agregados sintéticos.

Los agregados sintéticos o artificiales no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. Algunos son subproductos de procesos industriales de producción como el refinamiento de metales. Otros son producidos mediante el procesamiento de materias primas, para ser usados específicamente como agregado.

El producto secundario más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Una vez que es removida de la superficie del hierro, la escoria es transformada en pequeñas partículas a templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

Los agregados sintéticos manufacturados son relativamente nuevos en la industria de la pavimentación. Ellos son producidos a quemar arcilla, arcilla esquistosa, tierra diatomácea procesada, vidrio volcánico, escoria, y otros

materiales. Los productos finales son típicamente livianos y tienen una resistencia muy alta al desgaste.

Los agregados sintéticos han sido usados en la pavimentación de cubiertas de puentes y cubiertas de techos, así como en capas superficiales de pavimento donde se requiere la máxima resistencia al deslizamiento.

2.1.1.3 Producción, acopio de reservas, manejo, y muestreo de agregados.

El inspector podrá ser responsable por supervisar el procesamiento de agregados cuando la fuente de los agregados usados en el proyecto de pavimentación este localizada cerca del lugar donde se encuentra la planta. Dicho procesamiento consiste en excavar las capas de suelo (sobrecarga) encontradas sobre los depósitos de grava, trabajar los depósitos para obtener agregados adecuados, y separar en pilas las partículas de agregado.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las agencias contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la agencia requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones tendrían que ser cumplidas ya sea

durante la elaboración o acopio de reservas del agregado, o cuando la mezcla de pavimentación sea producida y colocada.

En cualquier caso, el inspector deberá estar al tanto de como las prácticas de manejo y acopio de reservas (tanto buenas y malas) afectan la selección del agregado. El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aun si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo.

2.1.1.3.1 Producción de agregados.

El inspector debe familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas para trabajar con el mismo, siempre que este supervisando la producción de agregado. Cuando se trate de arenas o gravas, se deberá tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo,

rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan solo se añade al depósito de agregado a medida que este es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado, y apilado posteriormente a agregado ya procesado. Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final, del contenido de relleno mineral.

Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y poder garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación. En instalaciones comerciales donde la producción de agregado es más o menos continua a través de la temporada de pavimentación, es suficiente llevar a cabo una o dos evaluaciones de calidad cada temporada.

Cuando una operación está comenzando por primera vez, se deberán hacer evaluaciones periódicas del agregado antes de que este sea usado en las mezclas de pavimentación.

2.1.1.3.2 Acopio de reservas de agregado.

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio. El inspector deberá estar al tanto de los efectos producidos, en la graduación del agregado, por las diferentes prácticas de acopio, y siempre deberá fomentar las buenas prácticas.

El contratista deberá estar preparado para recibir los agregados antes de que estos sean entregados en la planta. Deberán prepararse superficies firmes y limpias, y deberán tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea manteniendo las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos. El uso de muros de contención

requiere que estos sean lo suficiente fuertes para resistir el peso del agregado, y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

Las arenas, el agregado triturado fino, y los agregados que consisten de partículas de un solo tamaño (especialmente partículas pequeñas) pueden ser acopiados con muy poca segregación, utilizando cualquier método. Sin embargo, los materiales que contienen partículas que varían en tamaño de grandes (gruesas) a pequeñas (finas) requieren de ciertas precauciones en su acopio. La segregación de dichos agregados puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después juntados, en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado.

Cuando estas prácticas no sean llevadas a cabo, se deben seguir, de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente, y acumularse en la base.

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material en capas. Tales capas minimizan la segregación que puede ocurrir por gravedad. Si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberán ser vaciadas una cerca de otra, sobre la superficie

del acopio. En este caso, el volumen de carga del camión va a determinar el espesor de cada capa.

Cuando se use una grúa para acopiar el agregado, cada carga de la cubeta deberá ser vaciada una cerca de otra para garantizar uniformidad en el espesor de las capas. Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, sitios o bolsas para prevenir que sean arrastrados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual los puede aglutinar o endurecer.

2.1.1.3.3 Manejo de agregado.

El manejo de agregado degrada (rompe), hasta cierto punto, las partículas individuales de agregado, y causa segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para poder prevenir cualquier degradación y segregación. El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero si hay una norma general que casi siempre se aplica. Esta consiste en usar un cargador de tractor o cucharón de almeja para remover material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un Bulldozer, o cualquier otro vehículo de tracción, para

trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

2.1.1.3.4 Muestreo de agregado.

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado, y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación.

- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra. Obviamente, no resulta practico ensayar todo el agregado que está siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Solo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo.

Las cantidades requeridas en el muestreo están indicadas en la Sección 4.5. También se incluye información sobre el peso recomendado de la muestra, con base en el tamaño máximo de la partícula de agregado. Además, debe

recordarse que las muestras más representativas son generalmente tomadas de las bandas transportadoras de agregado, y no de los acopios o depósitos.

El muestreo estadístico está fuera del alcance de esta discusión. En caso de ser necesario, se debe hacer referencia a la norma ASTM D 3665, Método Normal para Muestreo Aleatorio, la cual describe procedimientos apropiados para efectuar dicho muestreo.

2.1.1.4 Propiedades del agregado y su evaluación.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 90 a 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad. Estas propiedades son:

- Graduación y tamaño máximo de partícula

- Textura de la superficie.
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Peso específico.
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto.

2.1.1.4.1 Graduación y tamaño máximo de partícula.

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones.

Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender como se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

Tamaño Máximo de Partícula

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado.

Existen dos formas de designar tamaños mínimos de partículas:

- Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.

- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

Para ilustrar las diferencias entre las dos designaciones, considere el siguiente ejemplo:

Se efectúa un tamizado de una muestra de agregado que va a ser usada en una mezcla de pavimentación. El tamiz de 19 mm (3/4 pulgada) retiene 4 por ciento de todas las partículas de agregado. El tamiz de 12.5 mm (1/2 pulgada), inmediatamente por debajo del tamiz de 19 mm, retiene un total de 18 por ciento

de todas las partículas de agregado. En este caso, el tamaño máximo nominal es 19 mm (3/4 pulgada), y el tamaño mínimo es 25 mm (1 pulgada).

Una mezcla de pavimentación se clasifica de acuerdo a su tamaño máximo o a su tamaño máximo nominal. Por lo tanto, en el ejemplo anterior la mezcla se denominaría "mezcla de 25 mm" de acuerdo al tamaño máximo del agregado, mientras que se denominaría "mezcla de 19 mm" de acuerdo al tamaño nominal del agregado.

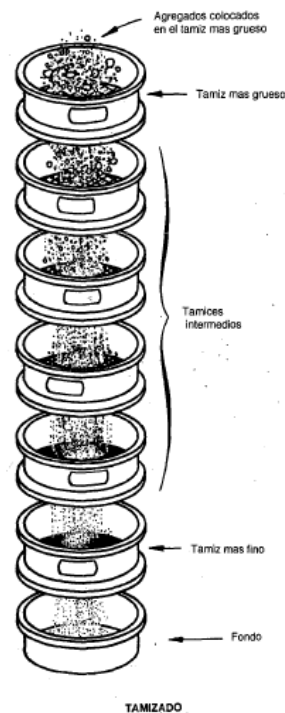


FIGURA 2.2- Análisis de Tamices.

Granulometría del Agregado

La granulometría de partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tiene aberturas de un tamaño específico (Figura 2.2). Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas finas pasan a través de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de tamices.

Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra. Los concretos asfálticos son clasificados de acuerdo a los porcentajes de partículas de agregado que contienen. La Figura 2.3 ilustra cinco tipos diferentes de concreto asfáltico y sus contenidos respectivos de agregado.

Ciertos términos son usados al hacer referencia a las fracciones de agregado, con el propósito de ayudar a la descripción de las mismas. Estos son:

- Agregado grueso - material retenido por el tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- Agregado fino -material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8).
- Relleno mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.60 mm (No. 30).
- Polvo mineral - fracciones de agregado fino que pasan el tamiz de 0.075 mm (No. 200).

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de más, o de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea la mezcla de pavimentación aparecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberían ser cuidadosamente controlados.

Las especificaciones de granulometría de agregado para una obra dada pueden ser presentadas gráficamente. La Figura 2.4 muestra un gráfico típico de granulometría. En el gráfico, los tamaños de los tamices se muestran

horizontalmente tanto en unidades métricas como en unidades habituales. El porcentaje de material que pasa se muestra verticalmente. Las especificaciones para una obra dada están representadas por la región que esta entre las líneas solidas delgadas.

La fórmula de la mezcla de pavimentación está representada por la línea salida gruesa. La banda de control de granulometría para la obra establecida como referencia para controlar la granulometría en la obra está situada dentro de la región encerrada por las líneas punteadas.

Examinemos, usando la Figura 2.4, que nos dice un gráfico de granulometría. Tomando el tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada) como ejemplo, podemos observar que la banda de control de graduación permite que pase, por este tamiz, el 65 a 80 por ciento de agregado. La fórmula de la mezcla de la obra requiere que el 72 por ciento de agregado pase a través del tamiz de 9.5 mm (3/8 pulgada). Sin embargo, el margen usado durante el mezclado y la construcción está entre el 65 y el 80 por ciento (material pasando el tamiz). Un gráfico de granulometría permite que el inspector comprenda, rápida y fácilmente, las graduaciones requeridas por la banda de especificaciones, por la formula de mezcla de la obra, y por la banda de control de graduación de la obra.

Tamaño de Tamiz	Designación de la Mezcla usando el Tamaño Máximo Nominal de Agregado				
	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)
Porcentaje Total que Pasa (en peso)					
50 mm (2 in.)	100	—	—	—	—
37.5 mm (1½ in.)	90 to 100	100	—	—	—
25.0 mm (1 in.)	—	90 to 100	100	—	—
19.0 mm (¾ in.)	56 to 80	—	90 to 100	100	—
12.5 mm (½ in.)	—	56 to 80	—	90 to 100	100
9.5 mm (¾ in.)	—	—	56 to 80	—	90 to 100
4.75 mm (No. 4)	23 to 53	29 to 59	35 to 65	44 to 74	55 to 85
2.36 mm (No. 8)*	15 to 41	19 to 45	23 to 49	28 to 58	32 to 67
1.18 mm (No. 16)	—	—	—	—	—
0.60 mm (No. 30)	—	—	—	—	—
0.30 mm (No. 50)	4 to 16	5 to 17	5 to 19	5 to 21	7 to 23
0.15 mm (No. 100)	—	—	—	—	—
0.075 mm (No. 200)**	0 to 5	1 to 7	2 to 8	2 to 10	2 to 10
Cemento Asfáltico, porcentaje en peso del total de la mezcla*	3 to 8	3 to 9	4 to 10	4 to 11	5 to 12

FIGURA 2.3 - Composición Típica del Concreto Asfáltico.

En la Figura 2.5 se muestran los tamaños y números de tamices más frecuentemente usados en la graduación de agregado para mezclas asfálticas de pavimentación.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco y tamizado per lavado. El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado per lavado.

Tamizado en Seco:

- Las muestras para el tamizado son reducidas por medio de un "cuarteador" de muestras, o mediante cuarteo manual.

- Los materiales finos y gruesos son separados usando un tamiz de 2.36 mm (No. 8).

- Las muestras son secadas hasta un peso constante.

- Las muestras finas y las muestras gruesas son tamizadas separadamente.

- El peso de las fracciones (porciones) retenidas en cada tamiz, y en el platón

- que esta al final de los tamices, es registrado, así como la graduación de cada muestra (parte fina y parte gruesa).

- En la norma AASHTO T 27 se puede encontrar el procedimiento para tamizado en seco.

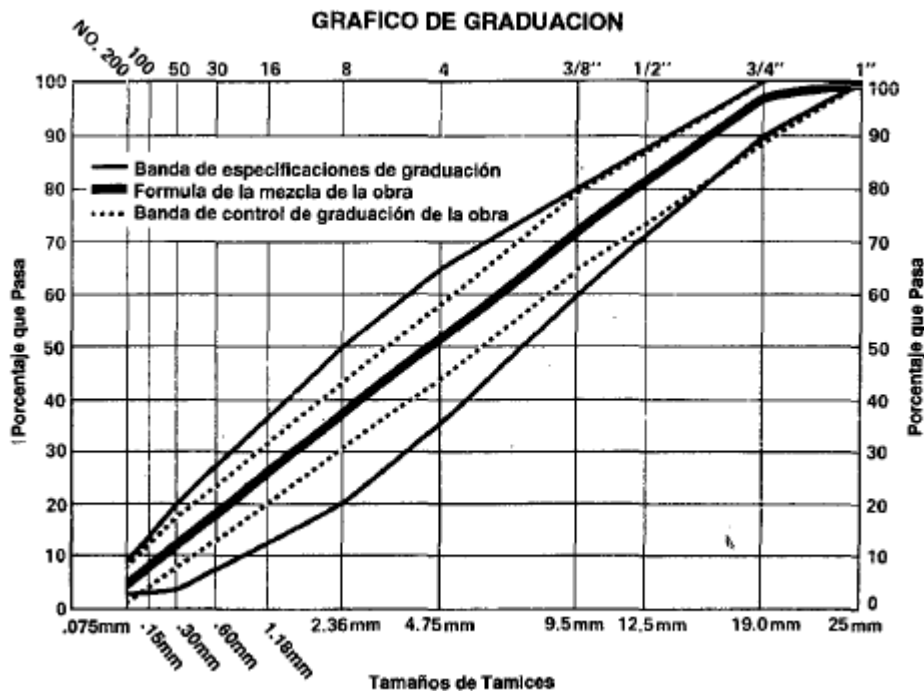


FIGURA 2.4 - Grafico Típico de una Granulometría Exponencial y Ejemplo de una Banda de Granulometría.

Tamizado por vía húmeda:

- Las muestras para este tipo de tamizado son lavadas a fondo para remover el polvo y el material limo-arcilloso, después de haber sido reducidas, separadas, secadas y pesadas.

- Después de ser lavadas, las muestras son nuevamente secadas y pesadas. La diferencia en peso antes y después del lavado representa la cantidad de polvo y material limo-arcilloso en la muestra original.

- En la norma AASHTO T II se puede encontrar el procedimiento para tamizado por vía húmeda.

Designación de Tamices para Agregados Gruesos		Designación de Tamices para Agregados Gruesos	
Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano	Sistema Métrico	Sistema Habitual Norteamericano
63 mm	2-1/2 in.	2.36 mm	No. 8
50 mm	2 in.	1.18 mm	No. 16
37.5 mm	1-1/2 in.	0.60 mm	No. 30
25.0 mm	1 in.	0.30 mm	No. 50
19.0 mm	3/4 in.	0.15 mm	No. 100
12.5 mm	1/2 in.	0.075 mm	No. 200
9.5 mm	3/8 in.		
4.75 mm	No. 4		

FIGURA 2.5 - Tamaños Típicos de Tamices.

2.1.1.4.2 Cálculos relacionados con el agregado.

En la siguiente sección se explican ciertos procedimientos necesarios para efectuar varios cálculos relacionados con el agregado. Se requiere que los inspectores sean capaces de efectuar estos cálculos, o que ayuden en la interpretación de los cálculos efectuados por otras personas. A continuación, se incluyen cálculos relacionados con la granulometría, el proporcionamiento, y el peso específico.

Análisis de Granulometría

La Figura 2.6 ilustra el método usado para determinar el porcentaje de partículas, de tamaño variable, a partir de los pesos de las fracciones obtenidas en el tamizado. Las granulometrías se expresan ya sea en porcentaje total que pasa (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado), porcentaje total retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que es retenido en un tamiz dado), o porcentaje total que pasa y retenido (el porcentaje total, en peso, de muestra de agregado que pasa a través de un tamiz dado y que es retenido en el tamiz que sigue hacia abajo).

La granulometría del agregado, después de ser calculada, se dibuja como una curva continua. Dos tipos de curvas que generalmente se usan son: curvas de gráficos semi Logarítmicos y curvas de gráficos exponenciales.

El grafico semi-logarítmico mostrado en la Figura 2.7 es similar al observado anteriormente en la Figura 2.4, en donde se presenta la formula de mezcla de la obra, la banda de especificaciones, y la banda de control de graduación. La línea mostrada en la Figura 2.7 ha sido dibujada utilizando información de un análisis de tamizado en seco.

El porcentaje que pasa cada tamiz es dibujado como un punto sobre la línea vertical correspondiente. Después de que se han dibujado todos los puntos para cada tamiz con su respectivo porcentaje, estos son unidos por medio de una línea continua. Esta línea representa la curva de granulometría del agregado en cuestión. Uno puede saber inmediatamente si la granulometría del agregado cumple con las especificaciones de gradación, si se dibuja la banda de especificaciones (Figura 2.4).

El gráfico exponencial muestra, horizontalmente, los diferentes tamaños de tamiz como potencias de 0.45. La Figura 2.8 muestra la misma curva de granulometría que aparecen el gráfico semi-logarítmico de la Figura 2.7.

Tamaño de Tamiz	Retenido en cada tamiz (gramos)	Pasando cada tamiz (gramos)	Porcentaje Total Pasando	Porcentaje Total Retenido	Porcentaje Pasando-Retenido*
19.0 mm (3/4-in.)	0	1135	100	0	.5
12.5 mm (1/2-in.)	56	1079	95	5	15
9.5 mm (3/8-in.)	171	908	80	20	23
4.75 mm (No. 4)	262	646	57	43	18
2.36 mm (No. 8)	203	443	39	61	16
0.60 mm (No. 30)	182	261	23	77	6
0.30 mm (No. 50)	68	193	17	83	5
0.15 mm (No. 100)	57	136	12	88	4.5
0.075 mm (No. 200)	51	85	7.5	92.5	7.5
Platon	85				

Total = 1135

*Pasando el tamiz correspondiente, retenido en el tamiz siguiente (mas pequeño).

FIGURA 2.6 - Datos de un Análisis de Tamices, Convertidos en Granulometría de Agregado

Cálculos de Proporcionamiento.

El análisis de granulometría de agregado, y la combinación de agregados para obtener la granulometría deseada, son pasos importantes en el diseño de la mezcla. La granulometría del agregado debe satisfacer los requisitos de graduación impuestos por las especificaciones del proyecto y debe producir un diseño de mezcla que cumpla con los criterios descritos en el método de diseño. Además, los agregados deberán ser los más apropiados y económicos que puedan ser encontrados.

Un plan recomendado para analizar agregados que van a ser usados en el diseño de mezclas asfálticas de pavimentación. Los métodos ilustrados en los ejemplos del apéndice se aplican en la combinación y ajuste de granulometrías de agregado cuando se está controlando la mezcla en el laboratorio. También se aplican en el control de la producción de agregados y en el control de planta durante la construcción.

Para poder obtener la granulometría de referencia es necesario determinar proporciones exactas de cada agregado cuando éstos se están combinando.

Cálculos de Peso Específico

El peso específico de un agregado es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

Una tonelada de agregado de bajo peso específico tiene un volumen mayor (ocupa más espacio) que una tonelada de agregado con un peso específico más alto. Por consiguiente, para poder cubrir todas las partículas de agregado, más asfalto debe ser adicionado a una tonelada de agregado con bajo peso específico (mayor volumen) que a una tonelada de agregado con un peso específico más alto (menos volumen).

Otra razón importante podría ser que es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicado más adelante en el Diseño de Mezclas.

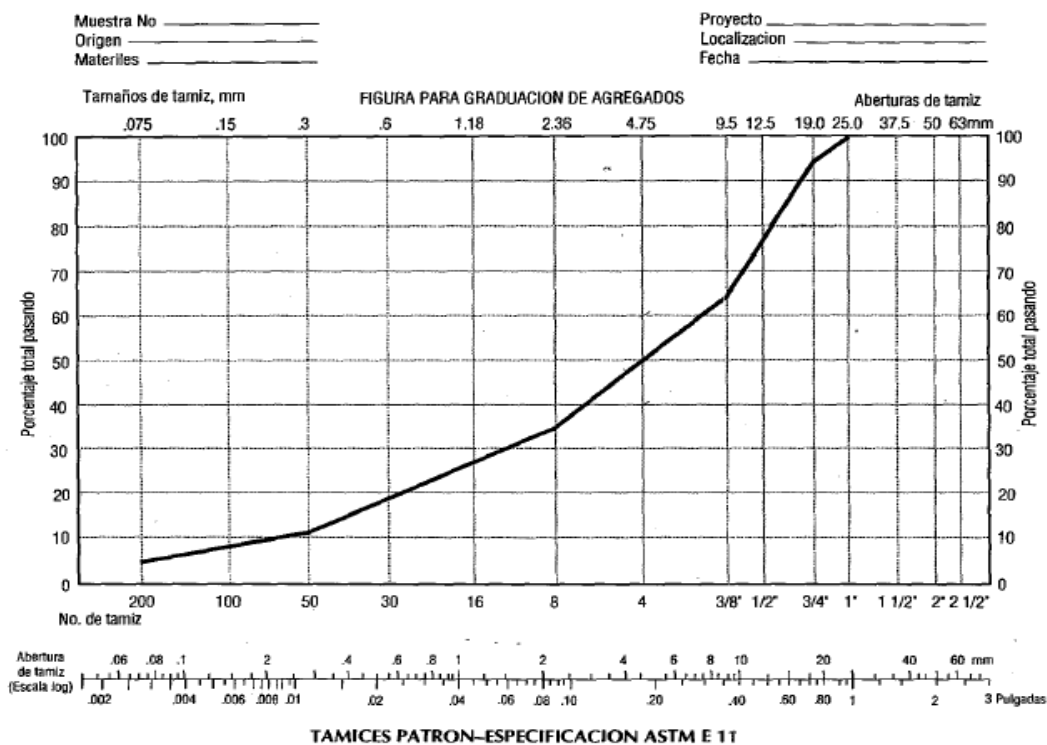


FIGURA 2.7 – Curva de Graduación en la Figura Semi-logarítmica

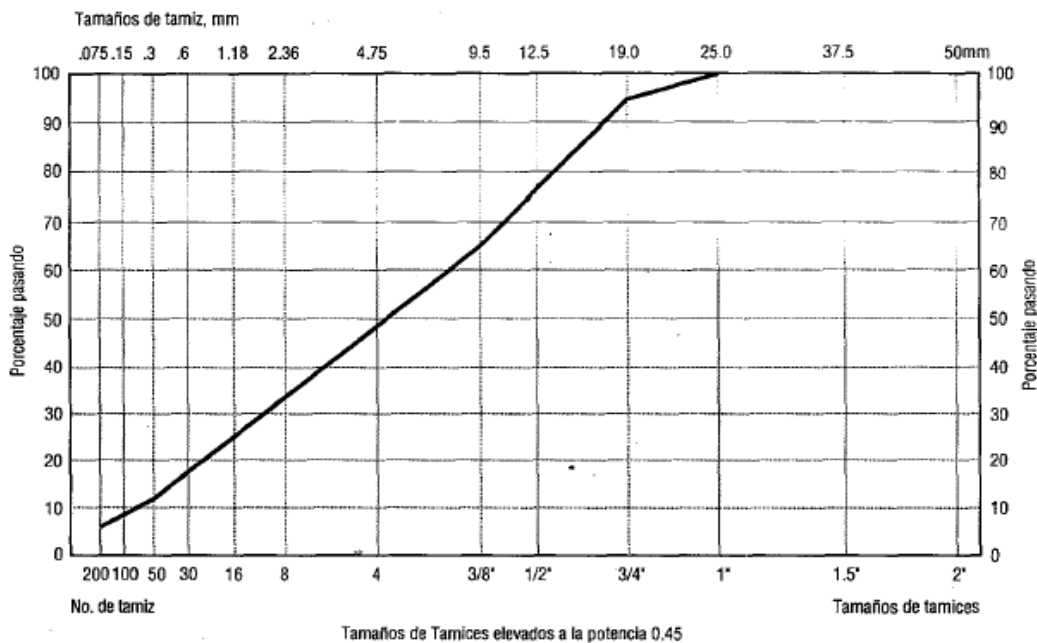


FIGURA 2.8 – Curva de Graduación en la Figura de Potencia 0.45

Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Otra razón importante podría ser que es necesario conocer el peso específico de los agregados usados es que este ayuda en el cálculo del porcentaje de vacíos de aire (espacios de aire) de las mezclas compactadas. Todas las mezclas de pavimentación deben incluir un cierto porcentaje (en volumen) de vacíos o espacios de aire, como será explicado más adelante, Diseño de Mezclas. Estos espacios desempeñan una labor importante en el pavimento terminado. La única manera de calcular el porcentaje de vacíos de aire en un volumen dado de mezcla de pavimentación es midiendo el peso específico de una muestra de la mezcla de pavimentación y luego restando, de su valor, los pesos específicos del agregado y el asfalto que conforman la mezcla. El resultado es una indicación del volumen de vacíos de aire en la muestra.

Todos los agregados son, hasta cierta punta, porosos. Se han desarrollado tres tipos de peso específico, para tener en cuenta la porosidad del agregado, debido a que esta afecta la cantidad de asfalto que se requiere para cubrir las partículas

de agregado y también el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla final. Estos tres tipos son:

- Peso específico total
- Peso específico aparente, y
- Peso específico efectivo.

El peso específico total de una muestra incluye todos los poros de la muestra.

El peso específico aparente no incluye, como parte del volumen de la muestra, los poros y espacios capilares que se llenarían de agua al mojar la muestra.

El peso específico efectivo excluye, del volumen de la muestra, todos los poros y espacios capilares que absorben asfalto.

El peso específico total asume que los poros que absorben agua no absorben asfalto. El peso específico aparente asume que todos los poros que son permeables al agua absorben asfalto. Ninguna de estas suposiciones, excepto en casos muy raros, es verdadera. Por lo tanto, el peso específico efectivo, el cual discrimina entre poros permeables al agua y *paros* permeables al asfalto, es el que más se acerca al valor correcto que debe ser usado en los cálculos de mezclas asfálticas.

2.1.1.4.3 Limpieza.

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables (vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, etcétera) en el agregado. Las cantidades excesivas de estos materiales pueden afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. La Limpieza del agregado puede determinarse, usualmente, mediante inspección visual, pero un tamizado por Lavado (donde el peso de la muestra de agregado antes de ser Lavada es comparado con su peso después de ser Lavada) proporciona una medida exacta del porcentaje de material indeseable más fino que 0.075 mm (No. 200). El ensayo de equivalente-arena (AASHTO TI 76) es un método para determinar la proporción indeseable de polvo fino y arcilla en la fracción (porción) de agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4).

2.1.1.4.4 Dureza.

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento. Los agregados que están en, o cerca de, la superficie, deben ser más duros (tener más resistencia) que los agregados usados en las capas inferiores de la estructura

del pavimento. Esto se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

El Ensayo de Desgaste de Los Ángeles (AASHTO T 96) mide la resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión.

2.1.1.4.5 Forma de la partícula.

La forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla de pavimentación durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida.

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 con partículas de bordes puntiagudos y de forma cubica, producidas, casi siempre, por trituración. Muchas de las mezclas asfálticas de pavimentación contienen partículas angulares y redondas. Las partículas gruesas (grandes) de agregado proporcionan la resistencia en el pavimento y

proviene generalmente de piedra o grava triturada. Las partículas finas de agregado suministran la trabajabilidad necesaria en la mezcla y provienen generalmente de arenas naturales.

2.1.1.4.6 Textura superficial.

La textura superficial de las partículas de agregado es otro factor que determina no solo la trabajabilidad y resistencia final de la mezcla de pavimentación, sino también las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento. Algunos consideran que la textura superficial es más importante que la forma de la partícula. Una textura áspera, como la del papel de lija, aumenta la resistencia en el pavimento debido a que evita que las partículas se muevan unas respecto a otras, y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro. 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.

No existe un método directo para evaluar la textura superficial. Es tan solo una característica, como la forma de la partícula, que está reflejada en los ensayos de resistencia y en la trabajabilidad de la mezcla durante la construcción.

2.1.1.4.7 Capacidad de absorción.

Todos los agregados son porosos, y algunos más que otros. La cantidad de Líquido que un agregado absorbe cuando es sumergido en un baño determina su porosidad. La capacidad de un agregado de absorber agua (o asfalto) es un elemento importante de información. Si un agregado es altamente absorbente, entonces continuaría absorbiendo asfalto después del mezclado inicial en la planta, dejando así menos asfalto en su superficie para ligar las demás partículas de agregado. Debido a esto, un agregado poroso requiere cantidades mucho mayores de asfalto que las que requiere un agregado menos poroso.

Los agregados altamente porosos y absorbentes no son normalmente usados, a menos de que posean otras características que los haga deseables, a pesar de su alta capacidad de absorción. Algunos ejemplos de dichos materiales son la escoria de alto horno y ciertos agregados sintéticos. Estos materiales son altamente porosos, pero también son livianos en peso y poseen alta resistencia al desgaste.

2.1.1.4.8 Afinidad por el asfalto.

La afinidad de un agregado con el asfalto es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. Las calizas, las dolomitas, y las rocas trapéanos tienen alta afinidad con el asfalto y son conocidas como hidrofóbicas (repelen el agua) porque resisten los esfuerzos del agua por separar el asfalto de sus superficies.

Los agregados hidrofílicos (atraen el agua) tienen poca afinidad con el asfalto. Por consiguiente, tienden a separarse de las películas de asfalto cuando son expuestos al agua. Los agregados silíceos (cuarcita y algunos granitos) son ejemplos de agregados susceptibles al desprendimiento y deben ser usados con precaución.

No es muy claro por qué los agregados hidrofóbicos e hidrofílicos se comportan de tal manera. A pesar de esto, existen varios ensayos para determinar su afinidad con el asfalto y su tendencia al desprendimiento. En uno de estos ensayos, la mezcla de agregado-asfalto, sin compactar, es sumergida en agua, y las partículas cubiertas son observadas visualmente. En otro ensayo, comúnmente conocido como ensayo de inmersión-compresión, dos muestras de mezcla son preparadas y una es sumergida en agua. Posteriormente, ambas son ensayadas para determinar sus resistencias. La diferencia en resistencia es considerada un indicativa de la susceptibilidad del agregado al desprendimiento.

2.1.2 El agregado grueso.

Se define como las partículas de mayor tamaño que producen o proporcionan vacíos.

2.1.3 El agregado fino.

Son las partículas de menor tamaño que rellenan los vacíos.

2.1.4 Importancia del agregado pétreo en una mezcla asfáltica.

La calidad de la mezcla asfáltica en caliente producida es tan buena como la calidad de los materiales usados en la producción. En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables, los agregados pétreos y el asfalto, para nuestro caso se usará asfalto normal (tipo AC-30) sin aditivos; los agregados son importantes porque una mezcla asfáltica posee, el 90% y el 95% en peso, y entre el 75% y 85% en volumen, de la mayoría de estructuras de pavimento; la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica. El control de la calidad del agregado usado es un factor crítico en el comportamiento de una carpeta de concreto asfáltico, sin

embargo, además de la calidad se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación, estos criterios incluyen el costo, la disponibilidad del agregado su origen y, además, deberá cumplir con ciertas propiedades para poder ser considerado apropiado para concreto asfáltico de buena calidad.

Definición de agregado pétreo.

Agregado pétreo, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

Los agregados utilizados para este trabajo de graduación serán los proporcionados de la planta asfáltica de la Planta de San Andrés de Grupo ECON S.A. de C.V, ubicada en Lourdes y consisten en grava TMN 19 mm (3/4"), grava de 1/2, grava cero y arena triturada.

Acopio de agregado pétreo.

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados pétreos retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio.



FIGURA 2.9 –Acopio de agregado pétreo.

Importancia del muestreo y reducción de agregado pétreo

Importancia del muestreo de agregado pétreo:

La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo.

En la norma AASHTO T-2 (Muestreo de Agregados) se describen los diferentes procedimientos para el muestreo.

Importancia de la reducción de agregado pétreo:

Después que se ha realizado el muestreo en campo para realizar cualquier ensayo es necesario hacer una reducción del material que se ha muestreado a un tamaño de muestra suficiente para realizar dicho ensayo, éste proceso de reducción de muestra de campo a muestra de ensayo es necesario realizarlo con el equipo y procedimientos adecuados para poder garantizar que una muestra de unos cuantos gramos presentará las mismas características y propiedades del agregado en bruto al cual representa. La norma ASSHTO T248 (Reducción de Muestras de Agregado a Tamaño de Ensayo), establece los lineamientos básicos para la reducción de agregados. En la figura 2.10 se observa uno de los procedimientos establecidos para la reducción de muestras según AASHTO T284.

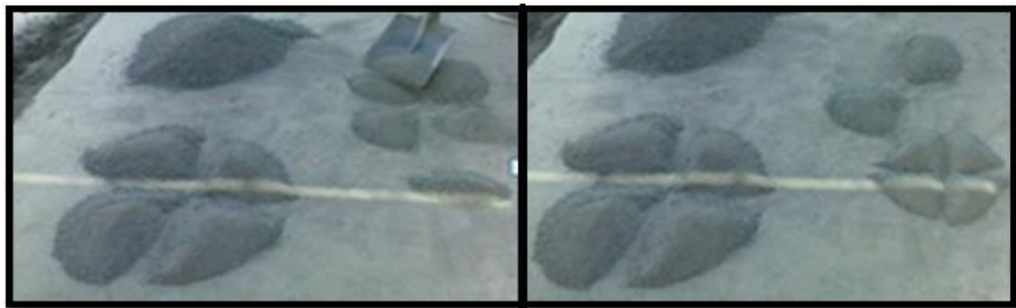


FIGURA 2.10 –Procedimiento para reducción de muestras.

Propiedades de los agregados que se utilizan en mezclas asfálticas en caliente (M.A.C).

Graduación:

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones.⁶ La graduación que utilizaremos en el diseño es tomada resultado de la granulometría BAILEY el cual corresponde a grava TMN 19mm (3/4") 48% y grava "0" 52%.

Tamaño máximo de partícula.

Se determina de acuerdo a la Norma ASTM C-136 (Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales). Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

- Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices. Nuestro tamaño máximo nominal es 19mm (3/4").

- Tamaño máximo de partícula, designado como un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100 por ciento de las partículas de agregado.

El tamaño máximo de los agregados pétreos utilizados es de 1/2”

Limpieza:

Las especificaciones de la obra generalmente ponen un límite a los tipos y cantidades de materiales indeseables en el agregado como lo son: vegetación, arcilla esquistosa, partículas blandas, terrones de arcilla, entre otros.

El material proporcionado por la empresa constructora DISA S.A de C.V, estaba libre de impurezas orgánicas, arcilla o algún otro contaminante que pudiera afectar el diseño de la MAC, ya que sus acopios de agregados pétreos se encuentran debidamente cubiertos y drenados.

Dureza:

En el Manual de Series 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), define que los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión (desgaste irreversible) y

degradación durante la producción, colocación, y compactación de la mezcla de pavimentación, y durante la vida de servicio del pavimento.

Una manera de medir la dureza del agregado es el método de ensayo para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles basado en la norma AASHTO T-96 El porcentaje de desgaste del agregado grueso TMN 19mm (3/4") obtenido es del 13%.

Forma de la partícula:

El Manual de Series 22 del Instituto del Asfalto (MS-22), define que la forma de la partícula afecta la trabajabilidad de la mezcla asfáltica en caliente durante su colocación, así como la cantidad de fuerza necesaria para compactar la mezcla a la densidad requerida. La forma de la partícula también afecta la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida. La forma de los agregados pétreos utilizados en el presente trabajo es angulosa y áspera.

Especificaciones para agregados en mezclas asfálticas en caliente (M.A.C.)

Especificaciones. Son todas las normativas, disposiciones y requisitos, relativos a la ejecución de la obra.

Especificaciones especiales: Son el complemento y/o revisión de las especificaciones generales, que abarcan las condiciones peculiares de una obra individual.

Especificaciones técnicas: Son aquellas que se utilizan para establecer los requisitos de calidad de los materiales pétreos que son utilizados para la elaboración del esqueleto de una carpeta asfáltica.

Requisitos que deben cumplir los agregados gruesos

Agregados gruesos: Es el retenido en la malla de 4.75 milímetros. Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados en la Tabla 2.1 y que además llene los requisitos de la tabla 2.2.

TABLA 2.1 - Requisitos del agregado grueso

REQUISITOS	
(1) Abrasión de los Ángeles, AASHTO T 96	40% máx.
(2) Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio(5 ciclos), AASHTO T 104	12% máx.
(3) Caras fracturadas, FLH T 507	75% min.
(4) Índice durabilidad (agregado grueso) AASHTO T 210	35% min.

Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Edición 2004, apartado 703.07

TABLA 2.2 - Rangos requeridos, granulometría de agregados para concreto asfáltico
en caliente

Malla	Porcentaje por peso que pasa la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T 11)					
	Designación de la Granulometría					
Mm	A	B	C	D	E	F
37.5	100	-	-	-	-	-
25	97-100	100	100	-	-	-
19	-	97-100	97-100	100	100	-
12.5	-	76-88(±5)	*(±5)	97-100	97-100	-
9.5	53-70(±6)	-	*(±6)	-	*(±5)	100
4.75	40-52(±6)	49-59(±7)	*(±7)	57-69(±6)	*(±6)	33-47(±6)
2.36	25-39(±4)	36-45(±5)	*(±5)	41-49(±6)	*(±6)	7-13(±4)
600 µm	12-22(±4)	20-28(±4)	*(±4)	22-30(±4)	*(±4)	-
300 µm	8-16(±3)	13-21(±3)	*(±3)	13-21(±3)	*(±3)	-
75 µm	3-8(±2)	3-7(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	3-8(±2)	2-4(±2)

Notas: * El Contratante especifica el valor del rango y límites.

() Desviación permisible

(±) del rango de valores.

Fuente: Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Edición 2004, tabla 703-07.

2.1.5 Ensayos.

Los Ensayos de los materiales se sacaron de los resúmenes de la Empresa ECON S.A. Se identifican los materiales a utilizar, la composición de la mezcla por cada agregado, las propiedades físicas de los agregados.

Se determinaron los porcentajes de mezcla de cuatro diferentes granulometrías de materiales provenientes de Banco La Cantera, a fin de obtener una graduación de agregados que cumplan con lo establecido en el Instituto del asfalto de los Estados Unidos de Norte América (USA). ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL PROYECTO, materiales 100 % de trituración de roca de mina.

La compactación de especímenes de Tamaño máximo Nominal de la Mezcla $\frac{3}{4}$ "

Composición de la mezcla:

22%	GRAVA DE	3/4"	Banco La Cantera, Trituradora Altex.
32%	GRAVA DE	1/2"	Banco La Cantera, Trituradora Altex.
20%	GRAVA CERO		Banco La Cantera, Trituradora Altex
26 %	ARENA TRITURADA		Banco La Cantera, Trituradora TELMITH

2.2 ASFALTO

El asfalto usado en pavimentación, es un material viscoso y pegajoso. Que se adhiere fácilmente a las partículas de los agregados pétreos y por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregados pétreos en un pavimento de mezcla en caliente

2.2.1 Cualidades y clasificación de los ligantes asfálticos.

2.2.1.1 Cualidades.

Ligante Asfáltico: Término genérico aplicado a cualquier material adhesivo conteniendo asfalto.

Las cualidades de los asfaltos que los hacen tan importantes en el campo de construcción y mantenimiento de vías de comunicación son las siguientes:

- Poder Aglomerante.
- Agente Estabilizante
- Agente Impermeabilizante.
- Manejabilidad.
- Resistencia a los Agentes Atmosféricos.

Clasificación:

El Comité Europeo de Normalización (Terminology of Bituminous Binders), establece la siguiente clasificación.

Ligante asfáltico:

Término genérico aplicado a cualquier material adhesivo conteniendo asfalto.

- Asfaltos para pavimentación.
- Asfaltos industriales.
- Asfaltos fluidificados o “cut back”.
- Asfaltos fluxados.
- Asfaltos modificados.
- Emulsión de Asfalto

2.2.1.2 Clasificación.

Los asfaltos de pavimentación pueden clasificarse bajo tres tipos generales:

- Cemento asfáltico;
- Asfalto diluido (o cortado); y

- Asfalto emulsificado.

Cada tipo está definido en el Apéndice B. Los asfaltos diluidos y los emulsificados son usados, casi por completo, en mezclas en frío y en riegos, y no se discutirán más en esta sección. Los cementos asfálticos se clasifican bajo tres sistemas diferentes. Ellos son: viscosidad, viscosidad después de envejecimiento, y penetración. Cada sistema abarca diferentes grados, cada uno con diferentes rangos de consistencia.

El sistema más usado en los Estados Unidos está basado en la viscosidad del asfalto. La Figura 2.11 muestra el sistema en forma de tablas. Algunas de las agencias, hoy día, han modificado los parámetros del sistema para poder cumplir con necesidades específicas. El inspector debe usar, como referenciada, las especificaciones asfálticas de su propia agencia.

En el sistema de viscosidad, el poise es la unidad normal de medida para viscosidad absoluta. Refiriéndose a la Figura 2.11, observe que cuanto más alto es el número de poises, más viscoso es el asfalto. El AC-2.5 (cemento asfáltico con una viscosidad de 250 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "blando". El AC-40 (cemento asfáltico con una viscosidad de 4000 poises a 60°C o 140°F) es conocido como un asfalto "duro".

REQUISITOS 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, 100 g., 5 segundos-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 tetracloretileno, por ciento-mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas sobre el residuo del ensayo TFO:						
Perdida por calentamiento, por ciento-máximo (opcional) ¹		1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Viscosidad, 80° C, poises-máximo	1000	2000	4000	8000	12000	16000
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-mínimo	100 ²	100	75	50	40	25
Prueba de mancha (usando y como se especifica) ³ 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. En el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

³ El uso del requisito de pérdida por calentamiento es opcional.

FIGURA 2.11 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por Viscosidad (AASHTO M 226).

Varios estados del Oeste, en Estados Unidos, clasifican el asfalto de acuerdo a su viscosidad después de envejecido. La idea es identificar cuáles serán las características de viscosidad después de que se ha colocado el asfalto en el pavimento. Para poder simular el envejecimiento que ocurre en la planta asfáltica durante el mezclado, el asfalto debe ser ensayado en el laboratorio utilizando un ensayo patrón de envejecimiento.

El residuo asfáltico que queda después del envejecimiento es clasificado, posteriormente, de acuerdo a su viscosidad. Una vez más, la unidad normal de

medida es el poise. La Figura 2.12 identifica los posibles grados bajo este Sistema.

REQUISITOS PARA CEMENTO ASFALTICO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD A 60° C
(Clasificación basada en el residuo del ensayo de RTFO)

PRUEBAS SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE LA NORMA AASHTO T 240 ¹	GRADO DE VISCOSIDAD				
	AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viscosidad, 60° C, poises	1000 ± 250	2000 ± 500	4000 ± 1000	8000 ± 2000	16000 ± 4000
Viscosidad, 135° C, Cs-mínimo	140	200	275	400	550
Penetración, 25° C, 100 g., 5 segundos-mínimo	65	40	25	20	20
Porcentaje de Pen original, 25° C-mínimo	—	40	45	50	52
Ductilidad, 25° C, 5 cm por minuto, cm-mínimo	100 ²	100 ²	75	50	52
PRUEBAS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL					
Punto inflamador, Cleveland, ° C (°F)-mínimo	205 (400)	219 (425)	227 (440)	232 (450)	239 (460)
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento-mínimo	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0

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

² Si la ductilidad es menor que 100, el material será aceptado si la ductilidad a 15.8° C tiene un valor mínimo de 100.

FIGURA 2.12 - Requisitos para Cemento Asfáltico Graduado por la Viscosidad del Residuo de la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (AASHTO M 226).

En la Figura 2.12, la abreviación "AR" corresponde a "Residuo Envejecido." Obsérvese que el AR-10 (viscosidad de 1 000 poises) se conoce como un asfalto "blando", mientras que el AR- 160 (viscosidad de 16000 poises) se conoce como un asfalto "duro".

**REQUISITOS PARA UNA ESPECIFICACION PARA CEMENTO ASFALTICO
AASHTO M 20**

	Grado de Penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Penetración a 25° C, 100 g., 5 segundos.....	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto inflamador, Ensayo Cleveland, ° C	450		450		450		425		350	
Ductilidad a 25° C, 5 cm. por min., cm.	100		100		100		100		100	
Solubilidad en tricloroetileno, por ciento	99		99		99		99		99	
TFO, 3.2 mm, 163° C, 5 horas										
Pérdida por calentamiento, por ciento		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original	56		54		50		46		40	
Ductilidad del residuo a 25° C, 5 cm., por min., cm.			50		75		100		100	
Prueba del Mancha (cuando y como se especifique) (ver nota) con: Solvente normal de nafta Solvente de nafta-xileno, % xileno Solvente de heptano-xileno, % xileno	Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados Negativo para todos los grados									

NOTA: El uso de la prueba de mancha es opcional. El ingeniero deberá especificar el tipo de solvente cuando se va a usar la prueba, y en el caso de los solventes de xileno, deberá especificar el porcentaje de xileno a ser usado.

FIGURA 2.13- Sistema de Clasificación por Penetración (AASHTO M 20).

Lectura de la especificación por PG con los resultados obtenidos en laboratorio:



ESPECIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS POR GRADO DE DESEMPEÑO

Adaptación de la Norma ASTM D6373 - 2007

Requisitos para Grado de Desempeño	PG 64					PG 70					PG 76					PG 82							
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34	
Temperatura Máxima de Diseño, °C	<64					<70					<76					<82							
Temperatura Mínima de Diseño, °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	
Etapa I: Ensayos muestra original																							
Temperatura de Inflamación, °C	> 230					> 230					> 230					> 230							
Temperatura, Viscosidad η <30 Poise, °C	< 135					< 135					< 135					< 135							
Temperatura, DSR, 10 r/s; G/Sen \geq 1KPa, °C	64					70					76					82							
Etapa II: Ensayos después de RTFO																							
Pérdida de Masa por Calentamiento, %	< 1					< 1					< 1					< 1							
Temperatura, DSR, 10 r/s; G/Sen \geq 2.2 Kpa, °C	64					70					76					82							
Etapa III: Ensayos después de PAV																							
Temperatura de Envejecimiento	100					100					100					100							
Temperatura, DSR, 10 r/s; G/Sen \geq 5000KPa	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28	
Temperatura, BBR 60s, S<300MPa, Valor m>0.30, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24	

FIGURA 2.14- Especificación de cementos asfálticos por grado de desempeño.

2.2.2 Conceptos.

Debe entenderse que es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

Endurecimiento y envejecimiento.

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado.

La Figura 2.15 muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la Prueba de Película Delgada en Homo Rotatorio - RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

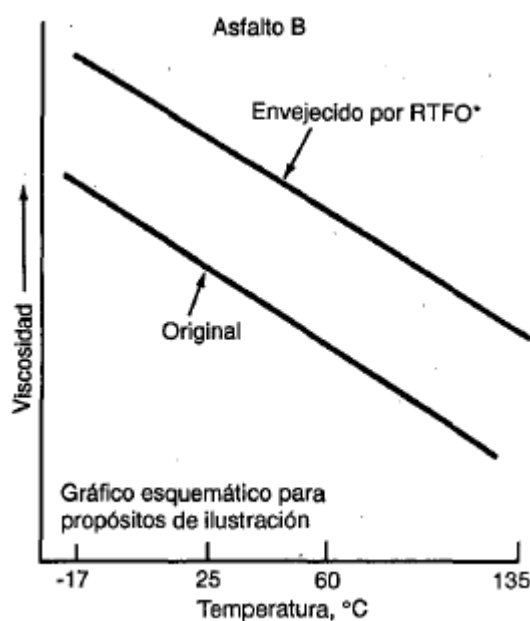


FIGURA 2.15 - Endurecimiento de Asfalto después de haber sido Expuesto a temperaturas Altas. ($F=9/5[°C]+32$)

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes

incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continua en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

2.2.2.1 Pruebas para determinar las propiedades del cemento asfáltico.

Esta sección describe, en términos generales, las pruebas necesarias para determinar y medir las siguientes propiedades: viscosidad, penetración, punto de inflamación, endurecimiento y envejecimiento, ductilidad, solubilidad y peso específico.

2.2.2.1.1 Viscosidad.

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación requieren, generalmente, ciertos valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140°F) y 135°C (275°F). La viscosidad a 60°C (140°F) es la viscosidad usada para clasificar el cemento asfáltico. Ella representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La

viscosidad a 135°C (275°F) corresponde, aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación.

El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas ayuda a determinar si el asfalto es apropiado o no para el pavimento que está siendo diseñado.

La prueba de viscosidad a 60°C (140°F) utiliza un viscosímetro de tubo capilar, el cual consiste en un tubo calibrado de vidrio que mide el flujo del asfalto. El viscosímetro es colocado en un baño de agua con temperatura controlada y es pre-calentado a 60°C (140°F).

Luego se vierte, en el extremo ancho del viscosímetro, una muestra de cemento asfáltico calentada a la misma temperatura.

A una temperatura de 60°C (140°F), es necesario aplicar un vacío parcial al extremo pequeño del tubo para pasar el asfalto a través del mismo, debido a que el cemento asfáltico es muy viscoso y no puede fluir fácilmente a través de la estrecha abertura del tubo capilar. El tiempo que el asfalto toma para pasar de una marca a otra del tubo es registrado, a medida que este comienza a fluir. Este tiempo es convertido fácilmente a poises, siendo la unidad normal de medida para viscosidad de asfaltos.

El ensayo de viscosidad a 135°C (275°F) es similar al ensayo escrito anteriormente; sin embargo, debe haber ciertas variaciones debido a que la temperatura es más alta. En primer lugar, es necesario usar un aceite claro en el baño con temperatura controlada debido a que el agua se evaporaría a 135°C (275°F). En segundo lugar, se utiliza un viscosímetro que no requiera de la aplicación de vacío debido a que el cemento asfáltico posee suficiente fluidez a 135°C (275°F). Por último, la medida de viscosidad utilizada es convertida a centistokes en vez de poises, debido que el flujo a través del tubo es inducido por gravedad y no por vacío.

2.2.2.1.2 Penetración.

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). La prueba normal de penetración consiste, como primera medida, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C (77°F) en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas se coloca sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 segundos. La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm.

La cantidad de estas unidades es llamada la "penetración" de la muestra.

2.2.2.1.3 Punto de inflamación.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un destello en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto.

El punto de inflamación de un cemento asfáltico se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado.

El procedimiento básico para determinar el punto de inflamación consiste en calentar, gradualmente, una muestra de cemento asfáltico en una copa de latón mientras se está aplicando una pequeña llama sobre la superficie de la muestra.

La temperatura a la cual se presentan destellos instantáneos de vapores sobre la superficie se denomina punto de inflamación.

El Ensayo de Copa Abierta de Cleveland es el procedimiento más comúnmente usado para determinar el punto de inflamación. Sin embargo, el Ensayo de Pensky-Martens es a veces usado. Ambos sirven el mismo propósito.

2.2.2.1.4 Prueba de película delgada en horno (TFO) y prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO).

Estas pruebas no son verdaderas pruebas. Solamente son procedimientos que exponen una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan las ocurridas durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de 1FO o R1FO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado, del material, durante la construcción y durante el servicio del pavimento.

El procedimiento de TFO consiste en colocar una cantidad exacta de cemento asfáltico en un platillo de fondo plano tal que la muestra cubra el fondo del platillo con un espesor aproximado de 3 mm (1/8 pulgada). La muestra y el platillo se colocan, luego, en un plato rotatorio dentro de un horno, y se mantiene una

temperatura de 163°C (325°F) por cinco horas. En seguida se ensaya la muestra envejecida y endurecida artificialmente, para determinar su valor de viscosidad y/o penetración.

El procedimiento de RTFO ha sido desarrollado por las agencias ubicadas en el Oeste de los Estados Unidos. Tiene el mismo propósito del ensayo TFO, pero utiliza equipos y procedimientos diferentes.

El equipo requerido por la prueba RTFO incluye un horno especial y un bote lijado especialmente diseñados para contener la muestra del ensayo. La muestra de cemento asfáltico se coloca en la botella, y luego se pone, de costado, en un soporte rotatorio, el cual hace girar continuamente la botella dentro del horno (mantenido a 163°C (325°F)). La rotación de la botella expone continuamente el cemento asfáltico en forma de películas delgadas. La abertura de la botella pasa, durante cada rotación completa, por un chorro de aire que remueve de la botella cualquier acumulación de vapores.

Las ventajas del ensayo de RTFO sobre el ensayo de TFO consisten en que el horno del RTFO permite acomodar un mayor número de muestras y que el tiempo requerido para endurecer las muestras es menor.

2.2.2.1.5 Ductilidad.

La ductilidad es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. La ductilidad es medida mediante una prueba de "extensión", en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y una temperatura específica. El estiramiento continuo basta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo de material en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad de la muestra.

2.2.2.1.6 Solubilidad.

El ensayo de solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbón libre, y los contaminantes inorgánicos, no se disuelven, sino que se depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como una proporción de la muestra original.

2.2.2.1.7 Peso Específico.

El peso específico es la proporción del peso de cualquier volumen de material al peso de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. Como ejemplo, una sustancia con un peso específico de 1.6, el cual pesa 1.6 veces más que el agua. El peso específico de un cemento asfáltico no se indica, normalmente, en las especificaciones de la obra.

De todas maneras, hay dos razones importantes por las cuales se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura-volumen, las cuales serán discutidas más adelante.

- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos (espacios de aire) de un pavimento compactado. El peso específico es determinado, generalmente, usando el método del picnómetro (Figura 2.17) (AASHTO T 228). Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que el peso específico varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico, a diferentes temperaturas.

2.2.2.2 Manejo, almacenamiento, y muestreo de asfalto.

El historial de seguridad para el manejo, almacenamiento y muestreo de asfalto es bueno. De todas maneras, ha habido accidentes que han ocasionado daños a propiedad, lesiones personales y pérdida de vida. Para prevenir tales desgracias, todo el mundo debe conocer y seguir buenas prácticas de seguridad. Cuando ocurre un accidente, cada quien debe saber cómo reaccionar y cuál tratamiento de primeros auxilios es el apropiado.

El inspector debe estar al tanto de las fuentes potenciales de contaminación que puedan existir en el lugar donde el asfalto es manejado o almacenado. El inspector también debe ser capaz de identificar y evitar prácticas que conduzcan a la contaminación de muestras, debido a que el mismo puede verse obligado a tomar muestras de asfalto para ensayos. Finalmente, el inspector debe entender los cambios que ocurren en el volumen de asfalto cuando este es calentado o enfriado. Estos conocimientos son especialmente importantes cuando se comparan cantidades de asfalto a diferentes temperaturas.

2.2.2.2.1 Seguridad en el manejo del asfalto caliente.

En una planta de asfalto las temperaturas usualmente exceden los 150°C (300°F). Las superficies de metal de los equipos de la planta generalmente

oscilan entre los 65°C (150°F) y los 95°C (200°F). En consecuencia, cualquier contacto momentáneo con el asfalto caliente o con el equipo de la planta, incluyendo tanques, tuberías, secadores, calderas, y casas de calderas, puede quemar severamente la pie expuesta.

Cuatro precauciones generales contra estas dolorosas, y a veces desfigurantes quemaduras son:

- Este consciente de donde están localizados los riesgos de quemaduras.
- Use las áreas designadas para caminar y manténgase alejado de situaciones peligrosas.
- Siempre use la ropa adecuada de trabajo.
- Conozca y siga todos los procedimientos de seguridad relacionados con el manejo de material y equipo caliente.

En caso de que ocurra una quemadura, siga las siguientes normas generales para el tratamiento:

- En el caso de quemaduras locales de asfalto en la piel, aplique agua fría o una bolsa de hielo para reducir el calor del asfalto y la piel.

- En el caso donde las quemaduras cubran más del 0 por ciento del cuerpo (aproximadamente el área de pie de un brazo o de media pierna) aplique agua tibia en vez de agua fría.
- El agua tibia reducirá la temperatura del asfalto y de la piel sin causar un shock, el cual puede ser inducido si se aplica agua fría o hielo a quemaduras mayores.
- No remueva el asfalto de la piel.
- No cubra el área afectada con una venda.
- Asegúrese que un médico revise la quemadura inmediatamente.

El sulfuro de hidrogeno es un producto de la reacción entre el hidrogeno y el azufre presente, naturalmente, en el asfalto. En concentraciones bajas, el sulfuro de hidrogeno no es peligroso; sin embargo, en concentraciones altas, como las encontradas en tanques de almacenamiento y otras áreas encerradas, puede ser letal. Para prevenir demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrogeno:

- Mantenga su cara alejada, por lo menos un metro, de las escotillas de los tanques de asfalto.

- Mantenga su cara en dirección contraria al viento al estar cerca de las escotillas abiertas.
- Evite respirar los vapores cuando abra las tapas de las escotillas o cuando obtenga muestras.

En caso de demasiada exposición a los vapores de sulfuro de hidrogeno:

- Mueva la victima a un área de aire fresco.
- Administre oxigeno si la victima respira con dificultad.
- Comience respiración artificial si la victima deja de respirar.
- Haga que la victima sea examinada inmediatamente por un médico.

2.2.3 Ensayos.

2.3 MEZCLAS ASFALTICAS

Mezclas asfálticas.

Una mezcla asfáltica se compone de una combinación de agregados mezclados uniformemente y recubiertos con cemento asfáltico. La mezcla asfáltica está

compuesta, en peso, por el peso de los agregados y del asfalto; y en volumen, por el volumen de los agregados, del asfalto y de los vacíos de aire.

Las mezclas asfálticas pueden ser en caliente o en frío, y para que tengan un buen desempeño, deben presentar las siguientes propiedades:

- Estabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir las deformaciones impuestas por las cargas vehiculares.
- Durabilidad: Es la capacidad de la mezcla de resistir los efectos dañinos del aire, el agua, la temperatura y el tránsito.
- Flexibilidad: Es la capacidad de la mezcla de flexionarse levemente, sin agrietarse y acomodarse a los movimientos de la base o la subrasante.
- Resistencia a la fatiga: Es la capacidad de la mezcla de resistir la flexión repetida generada por el paso de los vehículos.
- Resistencia al deslizamiento: Es la capacidad de la mezcla para ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos al frenar.

- Permeabilidad: Es la resistencia de la mezcla al paso del aire y del agua a través de la capa asfáltica.
- Trabajabilidad: Es la facilidad que ofrece la mezcla para ser extendida y compactada.

2.3.1 Conceptos generales.

El módulo del pavimento (Resiliente o Dinámico) es una propiedad importante del material en cualquier procedimiento mecanístico de diseño y análisis de pavimentos flexibles. De hecho, el módulo resiliente es la propiedad del material requerido en el procedimiento empírico de diseño de la Guía de Diseño AASHTO 1993.

El parámetro módulo se ha constituido como un elemento fundamental en el diseño de pavimentos; por lo que ha sido introducido como un elemento que caracteriza de manera racional el comportamiento esfuerzo – deformación de los materiales que conforman la estructura. El módulo en mezclas asfálticas es altamente sensible a la temperatura y a la razón de aplicación de carga. Debido a que el asfalto es un material viscoelástico, el módulo de una mezcla asfáltica puede aproximarse a un material granular sin compactar a altas temperaturas y razón lenta de aplicación de carga (por ejemplo, velocidades bajas de vehículos).

2.3.2 Método de diseño Marshall.

El concepto del Método Marshall de diseño de mezclas de pavimentación fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

El Cuerpo de Ingenieros decidió adoptar el Método Marshall, y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del ensayo Marshall, y posteriormente desarrollo criterios de diseño de mezclas.

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee

información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El Método Marshall, como se presenta en esta sección, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm (1 pulgada) o menos. El método puede ser usado para el diseño en Laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El Método Marshall usa muestras normalizadas de prueba (pro betas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 100 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

2.3.2.1 Método Marshall – descripción.

A continuación, se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas. El procedimiento completo y detallado que debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D 1559).

2.3.2.1.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall.

El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etcétera) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

2.3.2.1.1.1 Selección de las muestras de material.

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de

agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula o "receta" para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

2.3.2.1.1.2 Preparación del agregado.

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio.

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos

procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

Secando el Agregado.

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan practico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110°C (230°F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, y se registra su valor. La muestra se calienta completamente una segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

Análisis Granulométrico por Vía Húmeda.

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado

de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- 1) Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- 2) Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075 mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo al agregado.
- 3) Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- 4) El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
- 5) Para obtener pasos detallados del procedimiento referirse a la norma AASHTO T 11.

Determinación del Peso Específico.

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua (ver Capítulo de Materiales).

El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

2.3.2.1.1.3 Preparación de las muestras (probetas) de ensayo.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.

- 2) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall, como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfrié la superficie de la mezcla al golpearla.

- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación.

El número de golpes del martillo (35, 50 o 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes.

Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

2.3.2.1.2 Procedimiento del ensayo Marshall.

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

2.3.2.1.2.1 Determinación del peso específico total.

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T 166.

2.3.2.1.2.2 Ensayos de estabilidad y fluencia.

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.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- 3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta 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 la briqueta puede resistir.
- 4) La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la Lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

2.3.2.1.2.3 Valor de estabilidad Marshall.

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Se muestra un medidor para lecturas de estabilidad. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende

la carga una vez se obtiene la carga máxima. La Carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall. Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

2.3.2.1.2.4 Valor de fluencia Marshall.

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. Un medidor típico de fluencia para medir la deformación que ocurre durante el ensayo Marshall. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tiene valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

2.3.2.1.2.5 Análisis de densidad y vacíos.

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de vacíos.

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de una probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).

Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y en agua.

Análisis de peso unitario.

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 kg/m³ (62.41b/ft).

Análisis de VMA.

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

Análisis de VFA.

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y, por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos

de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

2.3.2.2 Analizando los resultados del ensayo Marshall.

2.3.2.2.1 Graficando los resultados.

Los técnicos de laboratorio trazan los resultados del ensayo Marshall en gráficas, para poder entender las características particulares de cada probeta usada en la serie. Mediante el estudio de las gráficas ellos pueden determinar cuál probeta, de la serie, cumple mejor los criterios establecidos para el pavimento terminado. Las proporciones de asfalto y agregado en esta probeta se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final. La Figura 2.36 muestra seis graficas de resultados del ensayo Marshall. Cada grafica tiene trazados los resultados de las diferentes pruebas. Los valores de estos resultados están representados por puntos. La primera grafica muestra los porcentajes de vacíos; la segunda los porcentajes de vacíos en el agregado mineral (VMA); la tercera los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA); la cuarta los pesos unitarios (densidades); la quinta los valores de estabilidad Marshall; y la sexta los valores de fluencia Marshall.

En cada grafica los puntos que representan los diferentes valores son conectados mediante líneas para formar curvas suaves.

2.3.2.2.2 Relaciones y observaciones de los resultados de los ensayos.

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, como las de la Figura 2.16, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación, se citan ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas de la Figura 2.16:

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto (Grafica 1).

- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) general mente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto (Grafica 2).

- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto (Grafica 3).

- La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido

de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad (Grafica 4).

- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Mas allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto (Grafica 5).

- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto (Grafica 6).

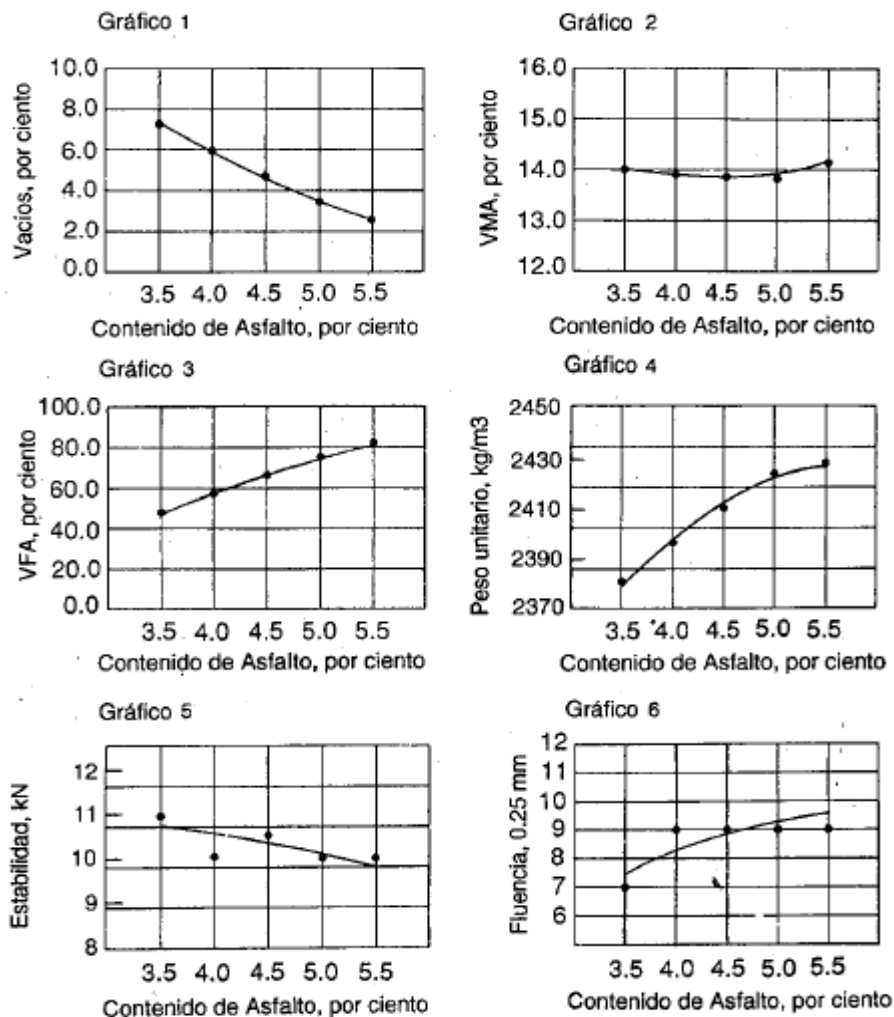


FIGURA 2.16 • Ejemplo de Graficas para los Resultados de una Serie de Cinco

Probetas Marshall.

2.3.2.2.3 Determinación del contenido óptimo de asfalto.

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero, determine el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4 por ciento.

Luego, evalúe todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y compárelas con los criterios de diseño de la Figura 2.17. Si se cumplen todos los criterios, este es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios, será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

2.3.2.2.4 Verificando los criterios de diseño.

Usando los datos de la Figura 2.16, podemos observar que el contenido de asfalto (Gráfica 1), para un contenido de vacíos de 4 por ciento, es de 4.7 por ciento.

Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados para garantizar que cumplen con los criterios de diseño Marshall. Refiriéndonos de nuevo a las gráficas de la Figura 2.16, encontramos que un contenido de asfalto de 4.7 por ciento representa los siguientes valores de las otras propiedades:

Estabilidad (Gráfico 5) = 10,200 N (2,300 lbf)

Fluencia (Gráfico 6) = 9

Porcentaje de VFA (Gráfico 3) = 70

Porcentaje de V~A (Gráfico 2) = 14

Podemos ahora comparar estos valores con los valores recomendados por el Instituto del Asfalto (U.S.A.) en los Criterios de Diseño Marshall (Figura 2.17), para una mezcla superficial con tránsito pesado. El valor de estabilidad de 10,200 N (2,300 lbf) excede el criterio mínimo de 8,007 N (1,800 lbf). El valor de flujo (de 9) cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual es de 8 a 14. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual es de 65 a 75.

El porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral también puede ser revisado usando la Figura 2.18, donde debe ser comparado con el VMA de la graduación del agregado en cuestión.

Asuma que los datos de la Figura 2.16 son para una graduación con un tamaño máximo nominal de agregado de 19 mm (3/4 pulgada). Podemos observar, entonces, que el valor de VMA de 14 sobrepasa el mínimo requerido de 13 para una mezcla de 19 mm que tiene un contenido de vacíos de 4 por ciento.

2.3.2.2.5 Seleccionando un diseño de mezcla.

El diseño de mezcla seleccionado para ser usado en un pavimento es, generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo, no se deberá diseñar una mezcla para

optimizar una propiedad en particular. Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseables, debido a que los pavimentos que contienen este tipo de mezclas tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito. Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida solo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria.

Criterios para Mezcla del Metodo Marshall	Transito Liviano Carpeta y Base		Transito Mediano Carpeta y Base		Transito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactacion, número de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad, N (lb.)	3336 (750)	—	5338 (1200)	—	8006 (1800)	—
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulgadas)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacios	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacios en el Agregado Mineral (VMA)	Ver Figura 3.20					
Porcentaje de Vacios llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

NOTAS

¹ Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60°C, se consideraran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38°C, y si se colocan a 100 mm o mas por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas mas bajas de ensayo.

² Clasificaciones del Tránsito
 Liviano Condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño < 104
 Mediano Condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño entre 104 y 106
 Pesado Condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño > 106

³ Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el tránsito.

⁴ Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.

⁵ Cuando se este calculando el porcentaje de vacios, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado

⁶ El porcentaje de vacios en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

FIGURA 2.17- Criterios del Instituto del Asfalto (U.S.A.) para el Diseño Marshall.

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de Diseño, por ciento ³		
mm	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

¹ Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)

² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.

³ Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

FIGURA 2.18- Porcentaje Mínimo de VMA.

2.3.3 Witczak.

TRABAJO DE GRADUACION DETERMINACION DE MODULO DE ELASTICIDAD DE MEZCLAS ASFALTICAS							
DEFINICION DE MODULOS DE ELASTICIDAD DE MEZCLAS ASFATICAS - MODELO DE WITCZAK							
$\log(E^*) = 3.750063 + 0.02932 r_{200} - 0.001767 (r_{200})^2 - 0.002841 r_4 - 0.058097 U_A - 0.802208 \left(\frac{U_{beff}}{U_A + U_{beff}} \right) + \frac{3.871977 - 0.0021 r_4 + 0.003958 r_{38} - 0.000017 (r_4)^2 + 0.005470 r_{34}}{1 + e^{(-0.603313 - 0.313351(f) - 0.393532 \log(\eta))}}$							
DATOS GENERALES DE MEZCLAS ASFALTICA							
Va:	4.00%	P34:	1.00%	P38:	40.00%	P4:	57.00%
Vbeff:	11.50%	P200:	5.40%				
TEMPERATURA DE 4.0°C							
FRECUCENCIA:		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
VISCOSIDAD (η):		970.2614xE6	970.2614xE6	970.2614xE6	970.2614xE6	970.2614xE6	970.2614xE6
MODULO E*	(psi):	4,411,111.2	3,977,239.9	3,652,011.6	2,921,936.4	2,624,290.2	1,988,413.2
	(Mpa):	30,413.5	27,422.1	25,179.7	20,146.0	18,093.8	13,709.6
TEMPERATURA DE 21.0°C							
FRECUCENCIA:		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
VISCOSIDAD (η):		6.6926xE6	6.6926xE6	6.6926xE6	6.6926xE6	6.6926xE6	6.6926xE6
MODULO E*	(psi):	1,729,637.6	1,435,063.7	1,235,085.3	847,074.1	711,651.2	463,343.2
	(Mpa):	11,925.4	9,894.4	8,515.6	5,840.4	4,906.7	3,194.6
TEMPERATURA DE 38.0°C							
FRECUCENCIA:		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
VISCOSIDAD (η):		0.1504xE6	0.1504xE6	0.1504xE6	0.1504xE6	0.1504xE6	0.1504xE6
MODULO E*	(psi):	568,941.3	443,055.3	364,440.3	227,822.4	185,146.3	113,760.7
	(Mpa):	3,922.7	3,054.8	2,512.7	1,570.8	1,276.5	784.4
TEMPERATURA DE 54.0°C							
FRECUCENCIA:		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
VISCOSIDAD (η):		0.0093xE6	0.0093xE6	0.0093xE6	0.0093xE6	0.0093xE6	0.0093xE6
MODULO E*	(psi):	209,690.7	159,171.4	129,025.0	79,295.1	64,458.9	40,336.1
	(Mpa):	1,445.8	1,097.4	889.6	546.7	444.4	278.1

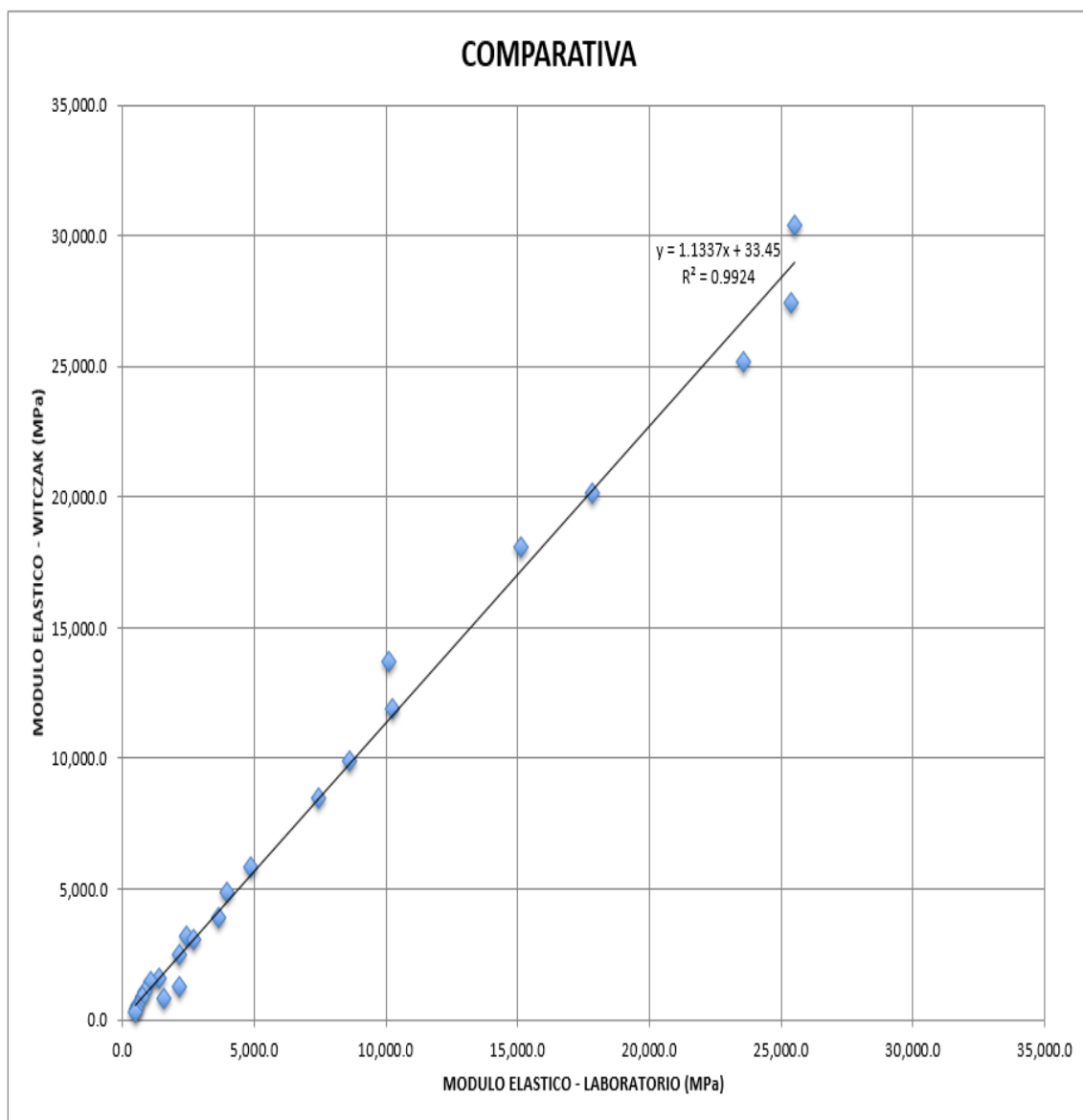
2.3.4 Ensayos.

2.3.5 Comparación y correlación.

TEMPERATURA	FRECUENCIA	WITCZAK	LABORATORIO
4.0°C	25.0 Hz.	30,413.5	25,528.0
4.0°C	10.0 Hz.	27,422.1	25,391.4
4.0°C	5.0 Hz.	25,179.7	23,577.3
4.0°C	1.0 Hz.	20,146.0	17,854.3
4.0°C	0.5 Hz.	18,093.8	15,130.6
4.0°C	0.1 Hz.	13,709.6	10,111.6
21.0°C	25.0 Hz.	11,925.4	10,257.6
21.0°C	10.0 Hz.	9,894.4	8,609.1
21.0°C	5.0 Hz.	8,515.6	7,445.4
21.0°C	1.0 Hz.	5,840.4	4,867.0
21.0°C	0.5 Hz.	4,906.7	3,972.7
21.0°C	0.1 Hz.	3,194.6	2,444.4
38.0°C	25.0 Hz.	3,922.7	3,639.6
38.0°C	10.0 Hz.	3,054.8	2,699.1
38.0°C	5.0 Hz.	2,512.7	2,176.1
38.0°C	1.0 Hz.	1,570.8	1,379.0
38.0°C	0.5 Hz.	1,276.5	2,178.7
38.0°C	0.1 Hz.	784.4	1,575.6
54.0°C	25.0 Hz.	1,445.8	1,061.1
54.0°C	10.0 Hz.	1,097.4	851.3
54.0°C	5.0 Hz.	889.6	754.4
54.0°C	1.0 Hz.	546.7	587.5
54.0°C	0.5 Hz.	444.4	547.5
54.0°C	0.1 Hz.	278.1	472.8

INTERCEPTO:	33.45
PENDIENTE:	1.13
R2:	0.99
C.V.:	1.00

Nota: Es importante recalcar que para que el módulo dinámico de la fórmula Witczak, tenga una relación más cercana con el módulo dinámico de laboratorio, se tenía que haber aplicado un factor de corrección que permitiera que los valores tuvieran diferencias mínimas de precisión.



CAPITULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para las muestras ensayadas en este estudio se encontró que existe una correlación entre módulo dinámico hecho por WITCZAK (Excel) y módulo dinámico hecho en el laboratorio, a las mismas condiciones de carga y temperatura. Por otro lado, al comparar el módulo dinámico a la misma frecuencia y temperatura de carga del ensayo de deformación plástica por la Maquina Universal Dinámica (4°C @ 54°C y 25 Hz @ 0.1 Hz), se obtuvo una buena correlación ($R^2=0.9924$) y como se esperaba, con forme aumenta el módulo dinámico es de esperar una reducción de la deformación plástica con la aplicación de ciclos de carga.

Es importante destacar que el módulo dinámico refleja de una forma más real el efecto de la aplicación de cargas, donde tanto el esqueleto mineral como el ligante son los encargados de la resistencia de estas cargas, mientras que un módulo resiliente por tensión considera prioritariamente los efectos sobre el ligante (cohesión) y las interacciones con el agregado (adherencia ligante – agregado).

La ecuación de witzzak no sustituye al ensayo de laboratorio y solo es válida para asfalto convencionales.

Witczak sobreestima el valor. En el caso de esta investigación ha sobre estimado el valor alrededor de un 13% adicional, lo cual puede generar que al momento de utilizar la ecuación de witczak para determinar las características de la mezcla asfáltica considerado como característica de diseño, el módulo de la mezcla asfáltica pueda generar problema en la estimación, que se sub-dimensione la estructura y que posteriormente cuando este en la etapa de ejecución y se elabore las mediciones reales por medio de laboratorio o deflectómetro de impacto del módulo, esta sea inferior al módulo sugerido.

Teniéndose que optar por otra tecnología como el asfalto modificado o aplicar un factor de corrección para cada tipo de mezcla.

ANEXOS

ENSAYOS AL AGREGADO

Ensayo a los agregados y reducción de muestras.

TABLA 2.3 – Ensayo a Grava ¾”

ENSAYOS DE GRAVA ¾”		
NOMBRE DEL ENSAYO	RESULTADO	PARAMETRO
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.543	—
Absorción de agua. ASTM C-127	1.8%	—
Ensayo de resistencia a la abrasión en Maquina de Los Ángeles, ASTM C 131	25.10%	40.0% Max
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90.0%Min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	3.00%	10.0%Max
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	1.94%	12 Max %
ÍNDICE DE DURABILIDAD ASTM D 3744	96.00%	35.0% Min.
PESOS VOLUMETRICO SUELTO	1387	
PESOS VOLUMETRICO VARILLADO	1478	

TABLA 2.4 – Ensayo a Grava ½”

ENSAYOS DE GRAVA ½”		
NOMBRE DEL ENSAYO	RESULTADO	PARAMETRO
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.531	—
Absorción de agua. ASTM C-127	1.4%	—
Ensayo de resistencia a la abrasión en Maquina de Los Ángeles, ASTM C 131	24.60%	40.0% Max
Caras fracturadas ASTM D 5821	100%	90.0%Min.
Partículas Planas y Alargadas ASTM D 4791	2.30	10.0%Max
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	1.54%	12 Max %
ÍNDICE DE DURABILIDAD ASTM D 3744	96.00%	35.0% Min.
PESOS VOLUMETRICO SUELTO	1,452.00	
PESOS VOLUMETRICO VARILLADO	1,503.00	

TABLA 2.5 – Ensayos a Grava 0

ENSAYOS DE GRAVA 0"		
NOMBRE DEL ENSAYO	RESULTADO	PARAMETRO
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.542	—
Absorción de agua. ASTM C-127	2.10%	—
Equivalente de Arena ASTM D 2419	83.6%	45.0%Min.
Indice de Plasticidad	N/P	NP
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	3.27%	12 Max %
INDICE DE DURABILIDAD	80.00%	35%
PESOS VOLUMETRICO SUELTO	1,540.0	
PESOS VOLUMETRICO VARILLADO	1,806.0	
INDICE DE ANGULARIDAD FINOS	47.7	45.0Min.
ENSAYOS A LA MEZCLA DE AGREGADOS		
GRUMOS DE ARCILLA Y PART. DESMENUZABLES	0.63	1.0MAXIMO

TABLA 2.6 – Ensayos a Grava triturada

ENSAYOS DE ARENA TRITURADA"		
NOMBRE DEL ENSAYO	RESULTADO	PARAMETRO
Gravedad Especifica seca. ASTM C 127	2.522	—
Absorción de agua. ASTM C-127	2.2%	—
Equivalente de Arena ASTM D 2419	88.70%	45.0%Min.
Indice de Plasticidad	N/P	NP
ENSAYO DE SANIDAD (SULFATO DE SODIO) ASTM C 88	1.43%	12 Max %
Grumos de Arcillas y Particulas Friables en la Mezcla de Agregados ASTM C 142	0.63	1.00%
PESOS VOLUMETRICO SUELTO	1638	
PESOS VOLUMETRICO VARILLADO	1796	
INDICE DE DURABILIDAD FINOS	71%	35%
Indice de Angularidad de los finos AT	43.7	
Indice de Angularidad de los finos combinada grava cero 50.0 y AT 50.0%	45	45.0MIN%

TABLA 2.7 – Requerimientos para mezclas de Concreto Asfáltico

REQUERIMIENTOS PARA MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO	
DISEÑADAS POR EL METODO MARSHALL	
PARAMETRO DE DISEÑO	INDICES DE CONTROL
a)	Marshall (AASHTO T 245)
1) ESTABILIDAD LIBRAS	1,800 - 4,500
2) FLUJO mm (0.01pulgdas)	2.0-4.0 o (8-14)
3) Vacios Aire en la Mezcla %	3.0 - 5.0
4) VMA Vacios en el Agregado Mineral	VER TABLA A
5) golpes por Cara en la compactacion	75
6) VFA (VACIOS LLENOS DE ASFALTO	65 A 75
Tension Indirecta AASHTO T 283	
c) 1) Estabilidad Retenida (para mezclas asfálticas en caliente) Resistencia Retenida (%) min.	80%
2) Saturacion en los especimenes de Prueba (%)	55-80
3) Vacios en los especimnes de prueba (%)	
d) Razon de Polvo/asfalto efectivo	0.60 1.6


TABLA 2.8 – Tolerancia en contenido asfáltico óptico

DATOS CORRESPONDIENTE A LA TOLERANCIA EN CONTENIDO ASFALTICO ÓPTIMO				
Indice	Tolerancia Inferior	Óptimo de Grafico	Tolerancia Superior	Punto de comprobación lab
% Contenido asfáltico	4.75	5.05	5.35	5.04
% Vacíos Aire	4.9	4.0	3.4	4.2
% VMA	14.4	14.2	14.2	14.3
% VFA	64	69.0	74	70.3
Estabilidad libras	3,015	3,070	3,100	3,156
Flujo mm	3.1	3.20	3.3	3.2
Gravedad Esp. Bulk	2.278	2.290	2.296	2.288
Gravedad Esp. Máxima Teórica	2.400	2.390	2.378	2.389
Película de asfalto sobre el agregado	9.0	9.7	10.8	7.5
Relación filler asfalto efectivo	1.20	1.10	1.04	0.94
Relación estabilidad/Flujo kg/mm	445	439	433	445

**ENSAYOS DE COMBINACION DE
MATERIALES**

GRAVA 19.0mm	22.0%
GRAVA 12.5mm	32.0%
GRAVA CERO	20.0%
ARENA TRITURADA	26.0%

FORMULACION BAILEY

		3/4"																			
Design Number:	DISEÑO 2017, PLANTAS ASFALTICAS																				
Design Date:																					
Mix Producer Name:	PLANTA ASFALTICA SAN ANDRES																				
Mixture Name/Code:	PASA PASD																				
Aggregate	#1-CA	#2-CA	#3-CA	#4-CA	#1-FA	#2-FA	#4-FA	MF	AC												
Code																					
Source id	La Cantera	La Cantera	La Cantera	La Cantera	La Cantera	La Cantera															
Name	3/4"	1/2"	3/8"		Grava Cero	Arena Triturada															
Location	San Diego	San Diego	San Diego	San Diego	San Diego	San Diego															
Wght %s	22	32	0.0		20	26			100.0												
%s with RAP																					
Sieve, mm	#1-CA	#2-CA	#3-CA	#4-CA	#1-FA	#2-FA	#4-FA	MF	GRANULOMETRIA COMBINADA BAILEY												
37.5	100.0	100.0			100.0	100.0			100.0												
25.0	100.0	100.0			100.0	100.0			100.0												
19.0	95.5	100.0			100.0	100.0			99												
12.5	42.0	71.0			100.0	100.0			78												
9.5	19.0	31.1			100.0	100.0			60												
4.75	1.7	1.5			92.8	95.1			43												
2.36	1.6	1.1			62.9	73.3			32												
1.18	1.6	1.1			41.5	54.0			23												
0.600	1.6	1.1			27.8	38.8			16												
0.300	1.6	1.1			18.4	26.4			11												
0.150	1.5	1.1			12.4	17.6			8												
0.075	1.5	1.1			8.6	11.9			5.4												
% CA LUW	85.0								100.0	0.00											
LUW	1387.0	1452.0			1540.0	1638.0															
CHOSEN UW	1179.0	1234.2			1806.0	1796.0	0.0														
RUW	1478.0	1502.0			1806.0	1796.0															
Bulk Spec Gr	2.543	2.531			2.542	2.522															
Apparent Gr	2.665	2.624			2.685	2.670															
% Absptn.	1.80	1.40			2.10	2.20															
Loose Voids	45.5	42.6			39.4	35.1															
Rodded Voids	41.9	40.7			29.0	28.8															
Enter the multiplication factor to be used with the Bulk Specific Gravity of the Aggregates according to the values entered for the Unit Weights (e.g. 62.4 lbs./ft ³ or 1000 kg/m ³)									1000												
Desired Blends by VOLUME of VIRGIN Aggregates																					
Coarse Agg's	42.0	58.0	0.0		100.0	← MUST TOTAL 100.0%		Volume	47.8												
Fine Agg's	← MUST TOTAL 100.0%				43.0	57.0		Volume	52.2												
Enter the percent passing the 0.075mm sieve desired in the VIRGIN Blend									5.40												
Combined Bulk Specific Gravity of the VIRGIN Aggregates (Gsb)									2.534												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <p style="font-size: 10pt;">For Fine-Graded mixes, where the % CA LUW (cell D36) is ≤ 90%</p> </div>																					
<table border="1" style="border-collapse: collapse; font-size: 10pt;"> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;">CONDICION FINA</td> </tr> <tr> <td style="width: 10%;">0.60 A 1.0</td> <td style="width: 10%;">CA</td> <td style="width: 10%;">0.8</td> </tr> <tr> <td>0.35 A 0.50</td> <td>FAc</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>FAf</td> <td>0.5</td> </tr> </table>										CONDICION FINA			0.60 A 1.0	CA	0.8	0.35 A 0.50	FAc	0.5		FAf	0.5
CONDICION FINA																					
0.60 A 1.0	CA	0.8																			
0.35 A 0.50	FAc	0.5																			
	FAf	0.5																			

GRANULOMETRIA DE COMPROBACION DE FORMULACION BAILEY



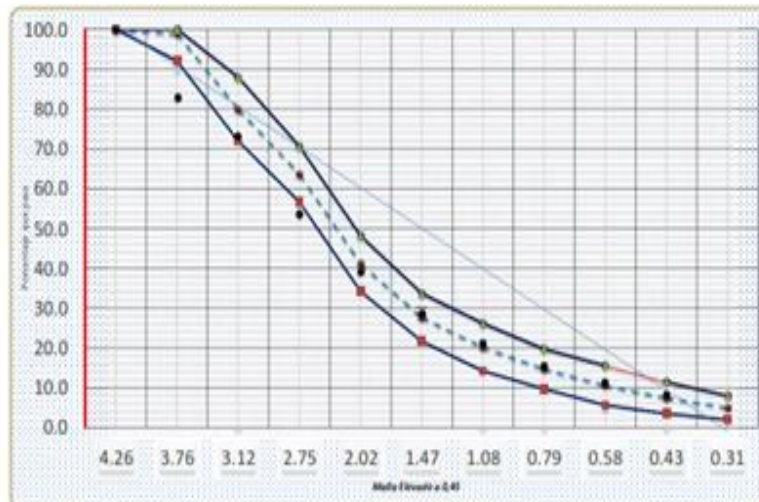
GRUPO ECON S.A DE C.V.


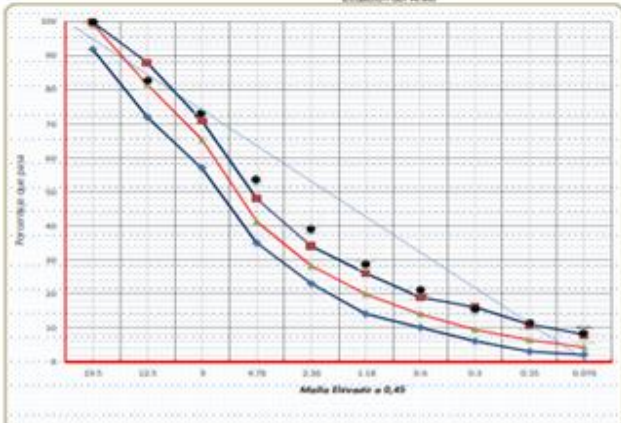


GRANULOMETRIA DE COMPROBACION DE PROPORCIONES DE FORMULACION BAILEY .

GRADATION PLOT FOR 19.0 mm NOMINAL MAXIMUM SIZE

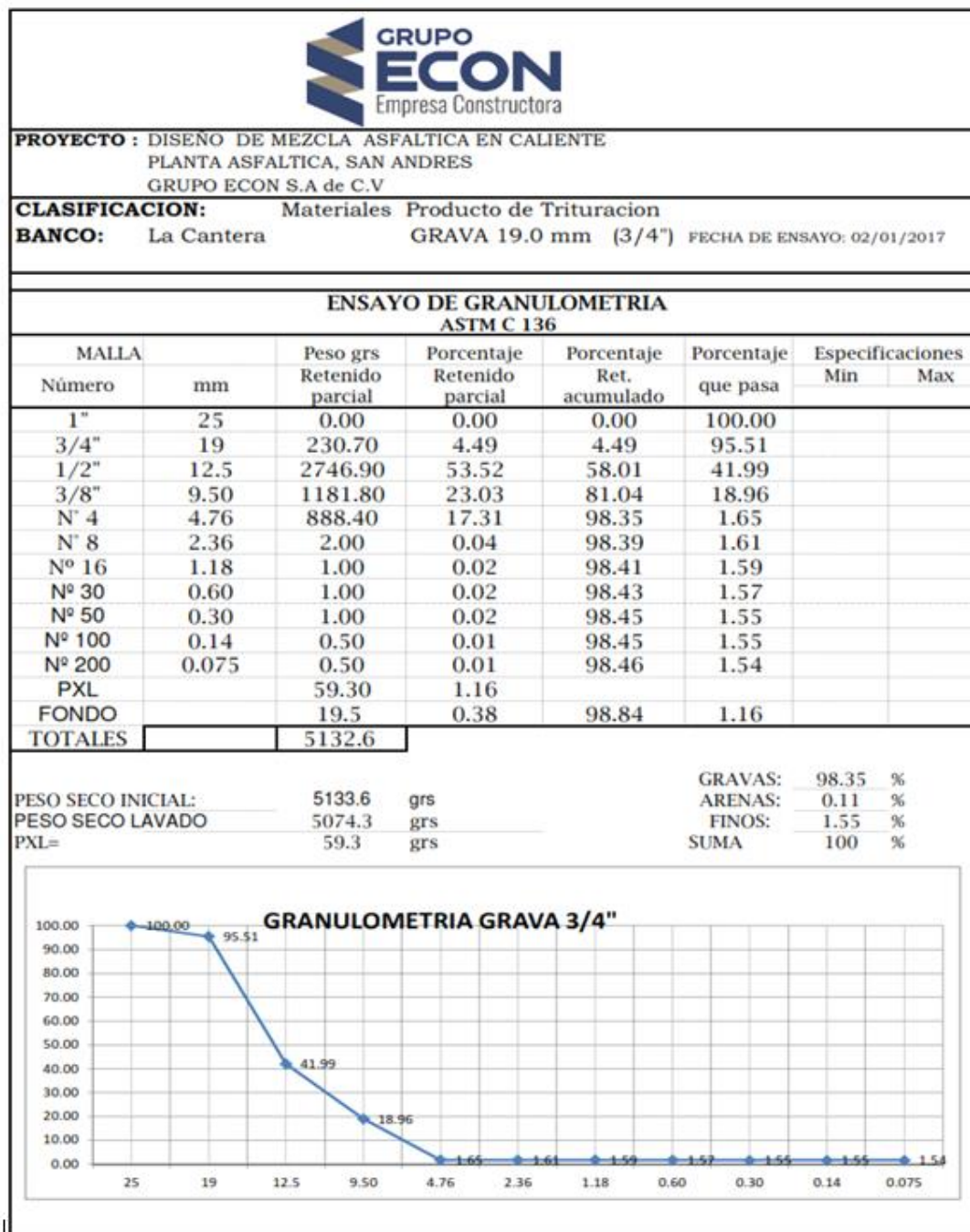
05/01/2017


BANDA DE ESPECIFICACIONES TEC										tolerancias TIPO "3/4"		0.45 chart Max Dens		BANDA DE ESPECIFICACION		GRANULOMETRIA DE PROPORCIONES DE MATERIALES			
Sieve		µm	0.45	BANDA DE TRABAJO															
25.00	4.26	25000	95	100.0	100.0	8.0	100.0	100.0	100.0										
19.00	3.76	19000	84	92	100	8.0	88.4	90	100										
12.50	3.12	12500	70	72	88	8.0	73.2	0	0										
9.50	2.75	9500	62	57	71	7.0	64.7	56	80										
4.75	2.02	4750	45	34	48	7.0	47.4	35	65										
2.36	1.47	2360	33	22	34	6.0	34.6	23	49	Tamiz	PESOS								
1.18	1.08	1180	24	14	26	6.0	25.3	0	0	37.5	0.0	0.0							2021.2
0.60	0.79	600	18	10	20	5.0	18.7	0	0	25	0.0	0.0							1926.4
0.30	0.58	300	13	6	16	5.0	13.7	5	19	19	23.2	1.1							99
0.15	0.43	150	10	3	11	4.0	10.0	0	0	12.5	382.6	18.9							80
0.075	0.31	75	7	2	8	3.0	7.3	2	8	9.5	330.1	16.3							64
										4.75	454.3	22.5							41
Macro Textura				19.0						2.36	272.6	13.5							28
Cu=		31.67	D60	9.5						1.18	151.1	7.5							20
Cc=		2.02	D30	2.4						0.6	110.2	5.5							15
Macro textura		0.72	D10	0.3						0.3	83.2	4.1							11
Area Superficial del Agregado Combinado norma INV				16.9		m^2/kg				0.15	63.6	3.1							7
formula de reporte 673 NCHRP Ss 5-14				4.6		m^2/kg				0.075	50.1	2.5							5.0
formula de reporte 673 NCHRP Ss 5-15				4.8		m^2/kg				Fondo	5.4	0.3							4.7
										PXL	94.8	4.7							0.0



		Fecha de Colocación : lunes, 16 de enero de 2017		REPORTE DE ENSAYOS	
		Proyecto : DISEÑO 2017 rev			
		Cliente: Tipo de MAC. 3/4" TIPO DE ASFALTO AC-30		COMPROBACION DE LABORATORIO	
Pagina 1/1					
CONTENIDO DE ASFALTO ASTM D 6307 METODO A		METODO BAILEY		GRAVEDAD ESPECIFICA MAXIMA TEORICA, ASTM D 2041	
MB = total mass of the HMA sample prior to ignition,	2150.5	CA	0.69	A= MASS OF DRY SAMPLE IN AIR, grs.	2512.6 2519.7
MA = total mass of aggregate remaining after ignition,	2021.8	FA ₁	0.48	D = MASS OF COVER PLATE AND FLASK FILLED WITH WATER 25°C [77°F], g	7216.3 7216.3
CF = correction factor obtained in Section 9 and entered	0.94	FA ₂	0.48	E = MASS OF FLASK, COVER PLATE, SAMPLE AND WATER AT 25°C (77°F), grs	8677.7 8680.8
MC = measured asphalt content percent by mass of the	5.04	6.25mm	48.83	FORMULA A A+(D-E)	2.390 2.388
				PROMEDIO	2.389
				DESV ESTANDAR 0.008	0.002
				0.023	0.002
ANALISIS GRANULOMETRICO ASTM D 5488				GRAVEDAD ESPECIFICA BULK ASTM D 2726	
PESO SECO LAVADO	1941.5	PXL	80.3		
TAMIZ	PESO RETENIDO grs.	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	BANDAS DE CONTROL GRANULOMETRICO
3/4"	9.0	0.4	0.4	100	92 100
1/2"	364.9	18.0	18.5	82	72 88
3/8"	328.2	16.2	34.7	65	57 71
4	486.0	24.0	58.8	41	35 48
8	263.5	13.0	71.8	28	23 34
16	167.7	8.3	80.1	20	10 20
30	119.7	5.9	86.0	14	10 19
50	90.6	4.5	90.5	10	6 16
100	62.6	3.1	93.6	6	3 11
200	43.0	2.1	95.7	4	2 8
FONDO	6.3	0.3	96.0	4.0	
PXL	80.3	4.0	100.0	0.0	
Ecuación del Anillo					
					
 DANIEL SERRANO GRANADOS ING DE CONTROL DE CALIDAD CEL: 7780-5720				GRUPO ECON S.A. DE C.V.	
		VCA _{1.18} = 46.9		VLA = VACIOS del Agregado Grueso	
		Relacion filler/CA efect.		0.94 0.60 a 1.60	
		Relacion Estabilidad Flujo		445 300 a 600	
		% Asfalto Efectivo		4.54	
		G _{1.18}		2.534	
		G _{1.18}		2.568	
		Gravedad Especifica del CA		1.035	
		Absorcion de Agua		0.16% Max 2.0	
		Indice de Calidad de la MAC		0.90 0.75 - 1.0	
		Macro Textura Estimada		0.69 Min 0.63	
		Película de Asfalto sobre el Agregado Mineral, %		7.5 > 7.0	
		Modulo Dinamico kg/cm ²		38,877.8 H y Klomp	
		Modulo Dinamico kg/cm ²		29,566.4 Witczak	

Resultados de ensayos al agregado grueso 3/4".



		GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO ASTM C 127		
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V				
		GRAVA DE 19.0 mm	3/4"	
CLASIFICACION:		Materiales Producto de Trituracion		
BANCO: La Cantera		FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017		
Muestras N°		1	2	
Peso de la muestra al aire secada en horno (A)		3169.9	3280.2	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)		3228.3	3338.4	
Peso de la muestra saturada en el agua (C.)		1983.4	2046.6	
B - C		1244.9	1291.8	
A - C		1186.5	1233.6	
B - A		58.4	58.2	Promedio =
Gravedad Sspecifica Seca =	$A/(B-C)$	2.546	2.539	2.543
Gravedad Especifica saturada con superficie seca =	$B/(B-C)$	2.593	2.584	2.589
Gravedad Especifica Aparente =	$A/(A-C)$	2.672	2.659	2.665
Porcentaje de Absorción =	$100X (B - A)/A$	1.8	1.8	1.8



**% DE PARTICULAS PLANAS Y LARGAS Y CARAS
FRACTURADAS**

FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017

DISEÑO

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL 19.0 mm

GRUPO ECON S.A DE C.V.

DESCRIPCION: GRAVA 3/4" PROCEDENTE DE LA CANTERA SAN DIEGO

ASTM D 4791

% PARTICULAS LARGAS

RELACION 1:5

Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material		%Retenido calibrador
pasa	retiene	(grs.)	Retenido Calbr.		por
1"	3/4"		0		
3/4"	1/2"	0.0	0.0		0.0
1/2"	3/8"	1587.0	24.7	1.6	1.6
3/8"	1/4"	0	0.0		0.0
TOTALES		1587	24.7	1.6	1.6

SUMATORIA (% RET. CALIBRADOR POR %RET GRADACION ORIGINAL)

SUMATORIA (% RET. GRADACION ORIGINAL)

% DE PARTICULAS PLANAS

RELACION 1:5

Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material		%Pasa calibrador
pasa	retiene	(grs.)	Pasa Calbr.		
1"	3/4"	0.0	0.0		0.00
3/4"	1/2"	0.0	0		
1/2"	3/8"	2756.7	40.3		1.5
3/8"	1/4"				0.0
TOTALES		2756.7	40.3		1.5

SUMATORIA (% PASA CALIBRADOR POR % RET GRADACION ORIGINAL)

SUMATORIA (% RET. GRADACION ORIGINAL)

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.

Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material	Caras	Promedio de Caras
pasa	retiene	(grs.)	1	acturadas	Fracturadas.
1"	3/4"	0.0	0.00		0.00
3/4"	1/2"	1587.0	1587.00	100.00	100.00
1/2"	3/8"	2756.7	2756.70	100.00	100.00
TOTALES		4343.7	4343.7	100.00	100.00

% DE CARAS FRACTURADAS = $\frac{\text{TOTAL PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS.}}{\text{TOTAL PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL}}$

INDICE DE ALARGAMIENTO	1.6	%
INDICE DE APLANAMIENTO	1.5	%
% DE CARAS FRACTURADAS	100	%



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
Indice de Durabilidad en Agregados Gruesos
ASTM D-3744

Proyecto: Control de Calidad de Agregados Planta Asfáltica Grupo ECON S.A de C.V.,
San Andres, La Libertad

PROCEDENCIA MATERIAL : Planta Asfáltica, San Andres, La Libertad.

FECHA DE MUESTREO: 23-dic-16
 FECHA ENSAYO : 2-ene-17

TEC RESPONSABLE : C. Galicia
 REVISOR: Ing. Funes

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTURA SEDIMENTO (H)	INDICE DE DURABILIDAD
AGREGADO 3/4"	A	0.100	96.4%
		0.100	96.4%
		0.110	96.0%
Promedio =			96%

FORMULA EMPLEADA PARA GRUESOS: $ID = 30.3 + 20.8 \cot (0.29 + 0.15 H)$
 Altura (H) en Pulgadas.

OBSERVACIONES : MUESTREO PLANTA ASFALTICA San Andres, La Libertad


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Técnico


 Ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99)

PROYECTO **Control de Calidad de Agregados Planta Asfáltica Grupo ECON S.A de C.V.,**
San Andres, La Libertad

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : **Grava 3/4"**

FECHAS : Ingreso **28-dic-16** Realizó : **C.Galicia**
 Final de ensayo **02-ene-17** Revisó : **Ing.Funes**

EXAMEN CUANTITATIVO

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo despues del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en perdida de peso
mm	Nº					

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO GRUESO

<4.75	<N°8	---	---	---	---	---
9.5 a 4.75	3/8" a N° 4	8.9	300	298.0	0.67	0.06
12.5 a 9.5	1/2" a 3/8"	22.1	330	328.0	0.61	0.13
19.0 a 12.5	3/4" a 1/2"	54.2	500	490.0	2.00	1.08
25.0 a 19.0	1" a 3/4"	14.8	1000	955.0	4.50	0.67
37.5 a 25.0	1 1/2" a 1"	---	---	---	---	---
50.0 a 37.5	2" a 1 1/2"	---	---	---	---	---
PERDIDA TOTAL DESPUES DE 5 CICLOS, % :						1.94

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Técnico

ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.



Designation: C 29/C 29M American Association of State

Highway and Transportation Officials Standard

FECHA DE ENSAYO: 03 DE ENERO 2017

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

PESOS VOLUMETRICOS SUELTOS

GRAVA 3/4"

PESO MOLDE + MUESTRA KG	19,379.3	19,365.2	19,367.3
PESO MOLDE	6,156.7	6,156.7	6,156.7
PESO MUESTRA	13,222.6	13,208.5	13,210.6
VOLUMEN DEL MOLDE	9,525.0	9,525.0	9,525.0
PESO VOLUMETRICO	1.388	1.387	1.387
PROMEDIO	1.387		

PESOS VOLUMETRICOS VARILLADOS

GRAVA 3/4"

PESO MOLDE + MUESTRA	20,331.3	20,330.0	20,029.1
PESO MOLDE	6,156.7	6,156.7	6,156.7
PESO MUESTRA	14,174.6	14,173.3	13,872.4
VOLUMEN DEL MOLDE	9,525.0	9,525.0	9,525.0
PESO VOLUMETRICO	1.488	1.488	1.456
PROMEDIO	1.478		



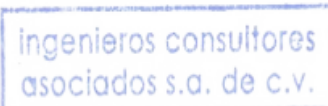
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE
ASTM C-131**

SOLICITA: GRUPO ECON S.A. DE C.V.
 PROYECTO: Control de Calidad Pétreos Planta Asfáltica Grupo ECON S.A de C.V., San Andrés, La Libertad.
 RECEPCIÓN: 23 de Diciembre de 2016
 ENSAYO: 02 de Enero de 2017


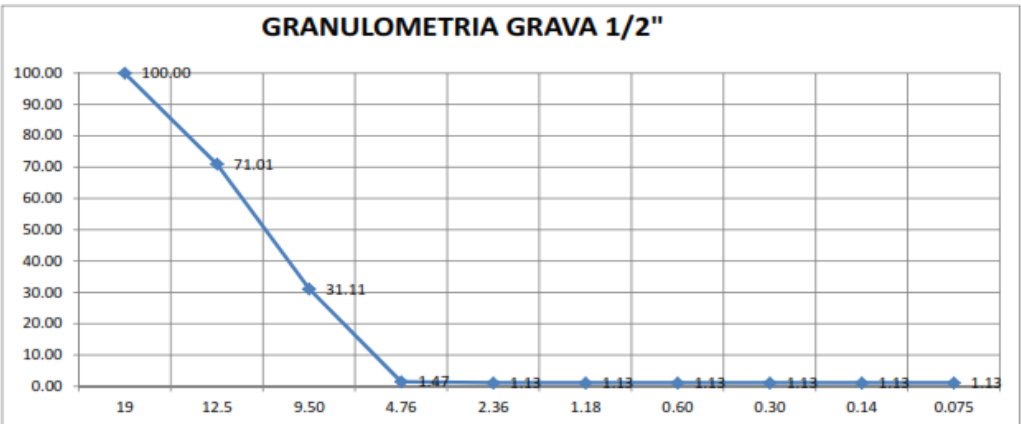
MUESTRA No.	1	2	3
GRAVA:	3/4"	1/2"	3/8"
PROCEDENCIA	Planta GRUPO ECON, SAN ANDRES	Planta GRUPO ECON, SAN ANDRES	Planta GRUPO ECON, SAN ANDRES
ENSAYO DE GRADUACIÓN	"B"	"B"	"C"
PESO INICIAL grs.	5,015	5,005	5,008
PESO RETENIDO MALLA #12 grs.	3,756	3,774	3,826
DIFERENCIA grs.	1,259	1,231	1,182
% DE DESGASTE	25.1	24.6	23.6

OBSERVACIONES: Muestreo realizado en Planta Asfáltica San Andrés, La Libertad


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Tecnico


 ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.

Resultados de ensayos al agregado grueso 1/2".

							
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V							
CLASIFICACION: Materiales Producto de Trituracion							
BANCO: La Cantera GRAVA 12.5 mm (1/2") FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017							
ENSAYO DE GRANULOMETRIA ASTM C 136							
MALLA		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Especificaciones	
Número	mm	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. acumulado	que pasa	Min	Max
1"	25	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	100.00		
1/2"	12.5	930.1	28.99	29.0	71.01		
3/8"	9.50	1280.0	39.90	68.9	31.11		
N° 4	4.76	951.0	29.64	98.5	1.47		
N° 8	2.36	10.6	0.33	98.9	1.13		
Nº 16	1.18	0.0	0.00	98.9	1.13		
Nº 30	0.60	0.0	0.00	98.9	1.13		
Nº 50	0.30	0.0	0.00	98.9	1.13		
Nº 100	0.14	0.0	0.00	98.9	1.13		
Nº 200	0.075	0.0	0.00	98.9	1.13		
PXL		28.2	0.88	99.7	0.26		
FONDO		8.3	0.26	100.0	0.00		
TOTALES		3208.20					
PESO SECO INICIAL:		3208.1	grs	GRAVAS:		98.5	%
PESO SECO LAVADO		3179.9	grs	ARENAS:		0.3	%
PXL =		28.2	grs	FINOS:		1.1	%
				SUMA		100.0	%
GRANULOMETRIA GRAVA 1/2"							
							





**GRAVEDAD ESPECIFICA DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 127**

PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES
GRUPO ECON S.A de C.V

GRAVA DE 12.5 mm 1/2"
CLASIFICACION: Materiales Producto de Trituracion
BANCO: La Cantera, San Diego FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017

Muestras N°	1	2		
Peso de la muestra al aire secada en horno (A)	2171	2171.7		
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (B)	2200.1	2201.3		
Peso de la muestra saturada en el agua (C.)	1343.5	1341.9		
B - C	856.6	859.4		
A - C	827.5	829.8		
B - A	29.1	29.6	Promedio =	
Gravedad Sspecifica Seca =	$A/(B-C)$	2.534	2.527	2.531
Gravedad Especifica saturada con superficie seca =	$B/(B-C)$	2.568	2.561	2.565
Gravedad Especifica Aparente =	$A/(A-C)$	2.624	2.617	2.620
Porcentaje de Absorción =	$100X (B - A)/A$	1.3	1.4	1.4

	% DE PARTICULAS PLANAS Y LARGAS Y CARAS FRACTURADAS				
	FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017 UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA		DISEÑO TAMAÑO MAXIMO 12.5 mm GRUPO ECON S.A DE C.V.		
DESCRIPCION: GRAVA PROCEDENTE DE LA CANTERA SAN DIEGO					
ASTM D 4791					
% PARTICULAS LARGAS					
RELACION 1:5					
Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material	%Retenido	%Retenido calibrador
pasa	retiene	(grs.)	Retenido Calbr.	Calibrador	por %Ret.Grad.Original
1"	3/4"				
3/4"	1/2"	0.0	0.0		
1/2"	3/8"	1725.7	20.5	1.19	1.2
3/8"	N°4	0	0		
TOTALES		1725.7	20.5	1.19	1.2
INDICE DE ALARGAMIENTO =		$\frac{\text{SUMATORIA (\% RET. CALIBRADOR POR \% RET. GRADACION ORIGINAL)}}{\text{SUMATORIA (\% RET. GRADACION ORIGINAL)}}$			
% DE PARTICULAS PLANAS					
RELACION 1:5					
Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material	%Pasa	%Pasa calibrador
pasa	retiene	(grs.)	Pasa Calbr.	Calibrador	por %Ret.Grad.Original
1"	3/4"				
3/4"	1/2"	0.0			0.00
1/2"	3/8"	1276.8	13.6	1.07	1.07
3/8"	1/4"	0	0	0.00	0.00
TOTALES		1276.8	13.6	0.00	1.07
INDICE DE APLANAMIENTO =		$\frac{\text{SUMATORIA (\% PASA CALIBRADOR POR \% RET. GRADACION ORIGINAL)}}{\text{SUMATORIA (\% RET. GRADACION ORIGINAL)}}$			
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.					
Tamaño del agregado		Peso Muestra	Peso Material	Caras	Promedio de Caras
pasa	retiene	(grs.)	con Caras Fract.	Fracturadas %	Fracturadas.
1"	3/4"				
3/4"	1/2"	0.00	0.00		0.00
1/2"	3/8"	3002.50	3002.50	100.00	100.00
TOTALES		3002.50	3002.50	100.00	100.0
% DE CARAS FRACTURADAS =		$\frac{\text{TOTAL PROMEDIO DE CARAS FRACTURADAS.}}{\text{TOTAL PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL}}$			
INDICE DE ALARGAMIENTO		1.2 %			
INDICE DE APLANAMIENTO		1.1 %			
% DE CARAS FRACTURADAS		100 %			

	Designation: C 29/C 29M American Association of State Highway and Transportation Officials Standard		
	FECHA DE ENSAYO: 03 DE ENERO 2017		DISEÑO MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA			
PESOS VOLUMETRICOS SUELTO			
GRAVA 1/2"			
PESO MOLDE + MUESTRA	19,980.3	19,985.7	19,997.4
PESO MOLDE	6,156.7	6,156.7	6,156.7
PESO MUESTRA	13,823.6	13,829.0	13,840.7
VOLUMEN DEL MOLDE	9,525.0	9,525.0	9,525.0
PESO VOLUMETRICO	1.451	1.452	1.453
PROMEDIO	1.452		
PESOS VOLUMETRICOS VARILLADO			
GRAVA 1/2"			
PESO MOLDE + MUESTRA	20,470.3	20,461.9	20,471.5
PESO MOLDE	6,156.7	6,156.7	6,156.7
PESO MUESTRA	14,313.6	14,305.2	14,314.8
VOLUMEN DEL MOLDE	9,525.0	9,525.0	9,525.0
PESO VOLUMETRICO	1.503	1.502	1.503
PROMEDIO	1.502		



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99)

PROYECTO Control de Calidad de Agregados Planta Asfáltica Grupo ECON S.A de C.V.,
San Andres, La Libertad

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : Grava 1/2"

FECHAS : Ingreso 28-dic-16 Realizó : C.Galicia
Final de ensayo 02-ene-17 Revisó : Ing.Funes

EXAMEN CUANTITATIVO

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo después del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en perdida de peso
mm	Nº					

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO GRUESO

<4.75	<Nº8	...	...	...	...	...
9.5 a 4.75	3/8" a Nº 4	49.6	300	296.0	1.33	0.66
12.5 a 9.5	1/2" a 3/8"	36.1	330	324.0	1.82	0.66
19.0 a 12.5	3/4" a 1/2"	12.3	500	491.0	1.80	0.22
25.0 a 19.0	1" a 3/4"	...	...	...	...	...
37.5 a 25.0	1 1/2" a 1"	...	...	...	...	...
50.0 a 37.5	2" a 1 1/2"	...	...	...	...	...
PERDIDA TOTAL DESPUES DE 5 CICLOS, % :						1.54

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**


Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
Gerente Técnico

ingenieros consultores
asociados s.a. de c.v.



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
Indice de Durabilidad en Agregados Gruesos
ASTM D-3744

Proyecto: Control de Calidad de Agregados Planta Asfaltica Grupo ECON S.A de C.V.,
San Andres, La Libertad

PROCEDENCIA MATERIAL : Planta Asfaltica, San Andres, La Libertad.

FECHA DE MUESTREO: 23-dic-16
 FECHA ENSAYO : 2-ene-17

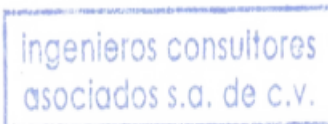
TEC RESPONSABLE : C. Galicia
 REVISO: Ing. Funes

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTURA SEDIMENTO (H)	INDICE DE DURABILIDAD
AGREGADO 1/2"	A	0.100	96.4%
		0.100	96.4%
		0.100	96.4%
Promedio =			96%


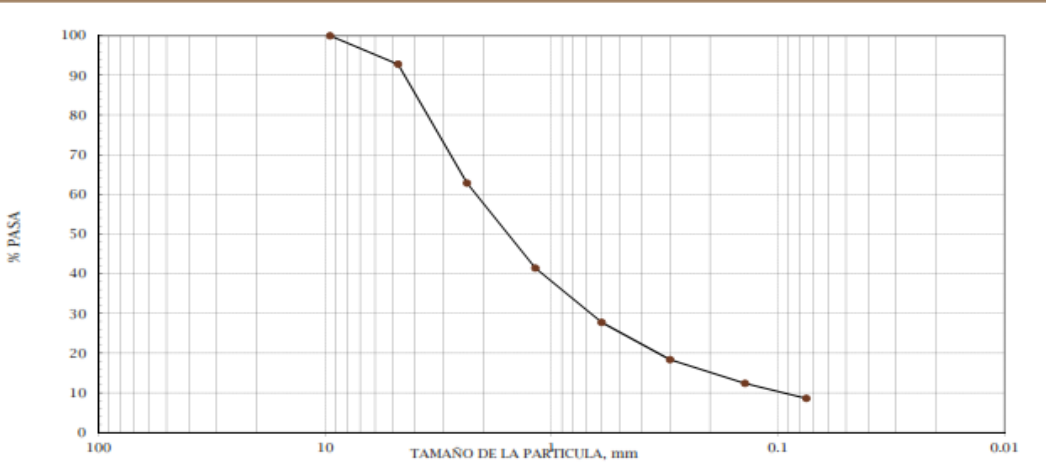
FORMULA EMPLEADA PARA GRUESOS: $ID = 30.3 + 20.8 \cot (0.29 + 0.15 H)$
 Altura (H) en Pulgadas.


OBSERVACIONES : MUESTREO PLANTA ASFALTICA San Andres, La Libertad


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Tecnico



Resultados de ensayos a la grava cero.

							
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V							
CLASIFICACION: Materiales Producto de Trituracion							
BANCO: La Cantera		GRAVA CERO		FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017			
ENSAYO DE GRANULOMETRIA ASTM C 136							
MALLA Número	mm	Peso grs	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Especificaciones	
		Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. acumulado	que pasa	Min	Max
		0.00	0.00	0.00	100.0		
1/2"		0.00	0.00	0.00	100.0		
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.0		
N° 4	4.76	33.9	7.2	7.2	92.8		
N° 8	2.36	141.4	30.0	37.1	62.9		
N°16	1.18	100.9	21.4	58.5	41.5		
Nº 30	0.60	64.8	13.7	72.2	27.8		
Nº 50	0.30	44.2	9.4	81.6	18.4		
N°100	0.14	28.1	6.0	87.6	12.4		
Nº 200	0.075	17.9	3.8	91.4	8.6		
PXL		38.1	8.1	99.4	0.6		
FONDO		2.7	0.57	100.0	0.0		
TOTALES		472.0	100.0				
PESO SECO INICIAL: 471.7 grs		GRAVAS: 7.18 %					
PESO SECO LAVADO 433.6 grs		ARENAS: 84.17 %					
PXL= 38.1 grs		FINOS: 8.64 %					
		SUMA 100 %					
							

		GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO ASTM C 128		
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V				
GRAVA CERO				
CLASIFICACION: Materiales Producto de Trituracion				
BANCO: La Cantera		FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017		
PROPORCION				
Muestras N°	1	2		
Recipiente N°	1	1		
Peso Frasco				
Peso Frasco + material	***	***		
Peso Agregado S.S.S. (W)	500.2	500.4		
Peso Seco + Tara	845.8	844.9		
Tara	355.4	354.9		
Peso Seco (A)	490.4	490.0		
Picnometro lleno de agua (B)	1438.2	1442.0		
Picnometro lleno de agua + Aforado (C)	1746.5	1748.6		Promedios.
Gravedad Especifica Seca	2.555	2.528		2.542
Gravedad especifica saturada con superficie seca	2.607	2.582		2.594
Gravedad especifica Aparente	2.693	2.672		2.682
Porcentaje de Absorción	2.0	2.1		2.1
$\frac{A}{B+W-C}$ = Peso especifico seco	2.542			
$\frac{W}{B+W-C}$ = Peso especifico saturado con superficie seca	2.594			
$\frac{A}{B+A-C}$ = Peso especifico aparente	2.682			
$\frac{W-A}{A}$ = Absorción % =	2.1			



DETERMINACION DEL
EQUIVALENTE DE ARENA

AASHTO T- 176


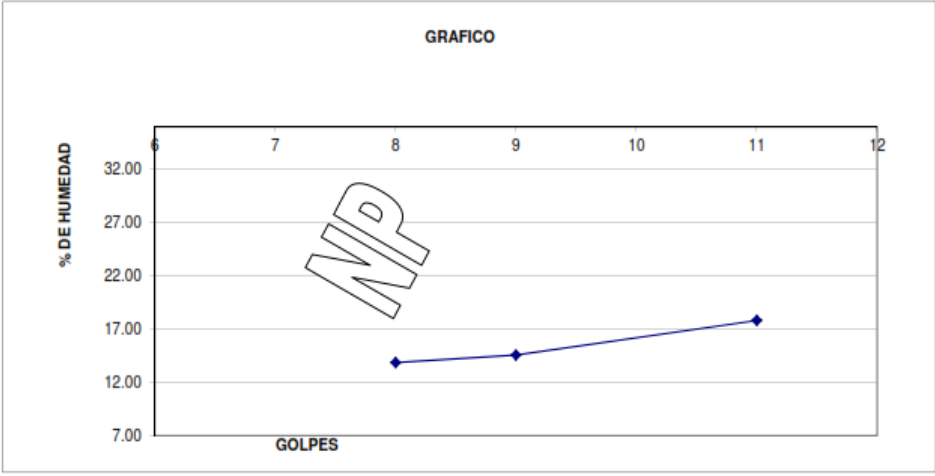
FECHA DE ENSAYO: 02 DE ENERO 2017 **DISEÑO** MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

MUESTRA **GRAVA CERO**

DESCRIPCIÓN MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA SAN DIEGO

PRUEBAS	1	2	
PROBETA No.	A	B	
A,cm.	11.0	10.4	
B,cm	9.3	8.6	
$C=A/B \times 100\%$	84.5%	82.7%	
Promedio	83.6%		
			45.00%

A= LECTURA DE TOTAL
B= LECTURA DE ARENA
C= EQUIVALENTE DE ARENA

	DETERMINACION DE LIMITE PLASTICO Y LIQUIDO														
	EQUIPOS DE CONSTRUCCION S.A DE C.V				AASHTO T 90 Y 89										
FECHA DE ENSAYO:	02 DE ENERO 2017			DISEÑO	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE										
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA					GRAVA CERO										
DESCRIPCION:															
	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO										
ENSAYO No	1	1	1	1	1	1	1	1							
Recipiente No	A	B	C	D											
Golpes	8	9	11												
P. Suelo W + Recip Gs.	47.79	46.33	51.55												
P. Suelo Seco + Recip Gs.	43.69	42.25	45.87												
P. Agua	4.1	4.1	5.68												
Peso Recipiente	14.1	14.22	13.98												
P. Suelo Seco Gs.	29.59	28.03	31.89												
% de humedad.	13.86	14.56	17.81												
								0.00							
GRAFICO															
															
<table border="1"> <tr> <td>LIMITE LIQUIDO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMITE PLASTICO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>INDICE PLASTICO</td> <td></td> </tr> </table>				LIMITE LIQUIDO		LIMITE PLASTICO		INDICE PLASTICO		<table border="1"> <tr> <td>ASTM D 2487 CLASIFICACION</td> </tr> </table>					ASTM D 2487 CLASIFICACION
LIMITE LIQUIDO															
LIMITE PLASTICO															
INDICE PLASTICO															
ASTM D 2487 CLASIFICACION															



Designation: C 29/C 29M American Association of State

Highway and Transportation Officials Standard

FECHA DE ENSAYO: 03 DE ENERO 2017

DISEÑO MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA SAN ANDRES

TIPO DE MATERIAL

PESOS VOLUMETRICOS SUELTOS

GRAVA CERO*

PESO MOLDE + MUESTRA KG	7513.2	7520.0	7521.3
PESO MOLDE	5416.3	5416.3	5416.3
PESO MUESTRA	2096.9	2103.7	2105.0
VOLUMEN DEL MOLDE	1365.1	1365.1	1365.1
PESO VOLUMETRICO	1.536	1.541	1.542
PROMEDIO	1.540		

PESOS VOLUMETRICOS VARILLADOS

GRAVA CERO

PESO MOLDE + MUESTRA	7885.7	7880.6	7880.9
PESO MOLDE	5416.5	5416.5	5416.5
PESO MUESTRA	2469.2	2464.1	2464.4
VOLUMEN DEL MOLDE	1365.1	1365.1	1365.1
PESO VOLUMETRICO	1.809	1.805	1.805
PROMEDIO	1.806		



LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
Indice de Durabilidad en Agregados Finos
 ASTM D-3744

Proyecto: Control de Calidad de Agregados Planta Asfaltica Grupo ECON S.A de C.V.,
 San Andres, La Libertad

PROCEDENCIA MATERIAL : Planta Asfaltica, San Andres, La Libertad.

FECHA DE MUESTREO: 23-dic-16

TEC RESPONSABLE : C.Galicia


FECHA ENSAYO : 2-ene-17

REVISOR: Ing. Funes

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTUTA INICIAL	ALTURA SEDIMENTO	INDICE DE DURABILIDAD
AGREGADO GRAVA CERO	B	5.100	4.100	80.4%
		5.100	4.100	80.4%
		5.100	4.000	78.4%

Promedio = 80%

OBSERVACIONES : MUESTREO PLANTA ASFALTICA San Andres, La Libertad


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Tecnico

ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99)

PROYECTO Control de Calidad de Agregados Planta Asfáltica Grupo ECON S.A de C.V.,
San Andres, La Libertad

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : Grava Cero

FECHAS : Ingreso 28-dic-16 Realizó : C.Galicia

Final de ensayo 02-ene-17 Revisó : Ing.Funes

EXAMEN CUANTITATIVO

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo después del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en perdida de peso
mm	Nº					


SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO FINO						
<0.150	<Nº100	..	..	..	..	..
0.300 a 0.150	Nº 50 a Nº 100	7.3	100	98	2.00	0.15
0.600 a 0.300	Nº 30 a Nº 50	9.9	100	97	3.00	0.30
1.800 a 0.600	Nº 16 a Nº 30	13.8	100	96	4.00	0.55
2.360 a 1.180	Nº 8 a Nº 16	22.1	100	96	4.00	0.88
4.750 a 2.360	Nº 4 a Nº 8	27.9	100	95	5.00	1.40
9.500 a 4.750	Nº 3/8 a Nº 4	..	..	..	..	..
PERDIDA TOTAL, % :						3.27


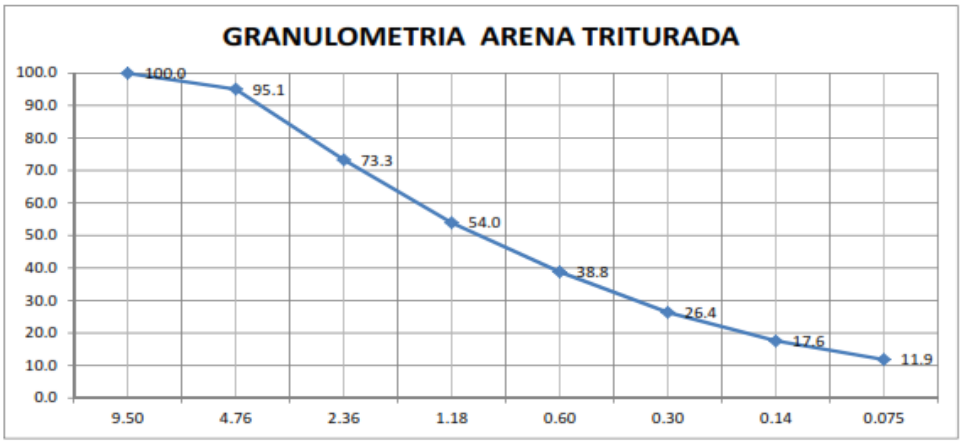
SANIDAD EN SULFATO DE SODIO


Gs. SOLUCIÓN: **1.166**



 Ing. Nelson Alberto Funes Moroy
 Gerente Técnico


ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.

Resultados de ensayos a la arena triturada.

							
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V							
CLASIFICACION: Materiales Producto de Trituracion							
BANCO: La Cantera		ARENA TRITURADA			FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017		
ENSAYO DE GRANULOMETRIA ASTM C 136							
MALLA		Peso	Porcentaje	Porcentaje	Porcentaje	Especificaciones	
Número	mm	Retenido parcial	Retenido parcial	Ret. acumulado	que pasa	Min	Max
		0.0	0.0	0.0	100.0		
1/2"	12.5	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.50	0.0	0.0	0.0	100.0		
N° 4	4.76	26.2	4.9	4.9	95.1		
N° 8	2.36	116.0	21.8	26.7	73.3		
N°16	1.18	103.2	19.4	46.0	54.0		
N° 30	0.60	80.6	15.1	61.2	38.8		
N° 50	0.30	66.4	12.5	73.6	26.4		
N°100	0.14	46.7	8.8	82.4	17.6		
N° 200	0.075	30.7	5.8	88.1	11.9		
PXL		57.2	10.7	98.9	1.1		
FONDO		6.1	1.1	100.0	0.0		
TOTALES		533.1	100.0				
PESO SECO INICIAL: 533.1		GRAVAS: 4.91 %					
PESO SECO LAVADO 475.9		ARENAS: 83.21 %					
PXL 57.2		FINOS: 11.87 %					
		SUMA 100 %					
GRANULOMETRIA ARENA TRITURADA							
							

		GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO ASTM C 128		
PROYECTO : DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE PLANTA ASFALTICA, SAN ANDRES GRUPO ECON S.A de C.V				
ARENA TRITURADA				
CLASIFICACION Materiales Producto de Trituracion				
BANCO: La Cantera		FECHA DE ENSAYO: 02/01/2017		
PROPORCION				
Muestras N°	1	2		
Recipiente N°	1	1		
Peso Frasco				
Peso Frasco + material	***	***		
Peso Agregado S.S.S. (W)	505.5	505.7		
Peso Seco + Tara	848.7	851.5		
Tara	354.5	356.2		
Peso Seco (A)	494.2	495.3		
Picnometro lleno de agua (B)	1442.5	1442.0		
Picnometro lleno de agua + Aforado (C)	1752.2	1751.2		Promedios.
Gravedad Especifica Seca	2.524	2.521		2.522
Gravedad especifica saturada con superficie seca	2.582	2.574		2.578
Gravedad especifica Aparente	2.679	2.661		2.670
Porcentaje de Absorción	2.29	2.10		2.2
$\frac{A}{B+W-C}$ = Peso especifico seco	2.522			
$\frac{W}{B+W-C}$ = Peso especifico saturado con superficie seca	2.578			
$\frac{A}{B+A-C}$ = Peso especifico aparente	2.670			
$\frac{W-A}{A}$ = Absorción % =	2.2			

	DETERMINACION DEL EQUIVALENTE DE ARENA AASHTO T- 176																														
	FECHA DE ENSAYO: 02 DE ENERO 2017	DISEÑO MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE																													
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA																															
MUESTRA		ARENA TRITURADA																													
DESCRIPCIÓN	MATERIALES PROCEDENTES DE LA CANTERA SAN DIEGO																														
<table border="1"> <tr> <td>PRUEBAS</td> <td>1</td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>PROBETA No.</td> <td>A</td> <td>B</td> <td></td> </tr> <tr> <td>A,cm.</td> <td>10.1</td> <td>10.3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B,cm</td> <td>9.0</td> <td>9.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C=A/Bx100%</td> <td>89.1%</td> <td>88.3%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Promedio</td> <td colspan="2">88.7%</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="2"></td> <td>45.00%</td> </tr> </table>				PRUEBAS	1	2		PROBETA No.	A	B		A,cm.	10.1	10.3		B,cm	9.0	9.1		C=A/Bx100%	89.1%	88.3%		Promedio	88.7%						45.00%
PRUEBAS	1	2																													
PROBETA No.	A	B																													
A,cm.	10.1	10.3																													
B,cm	9.0	9.1																													
C=A/Bx100%	89.1%	88.3%																													
Promedio	88.7%																														
			45.00%																												
A= LECTURA TOTAL B= LECTURA DE ARENA C= EQUIVALENTE DE ARENA																															



**GRUPO
ECON**
Empresa Constructora

DETERMINACION DE LIMITE

PLASTICO Y LIQUIDO

EQUIPOS DE CONSTRUCCION S.A DE C.V

AASHTO T 90 Y 89

FECHA DE ENSAYO:

02/01/2017

MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

AT

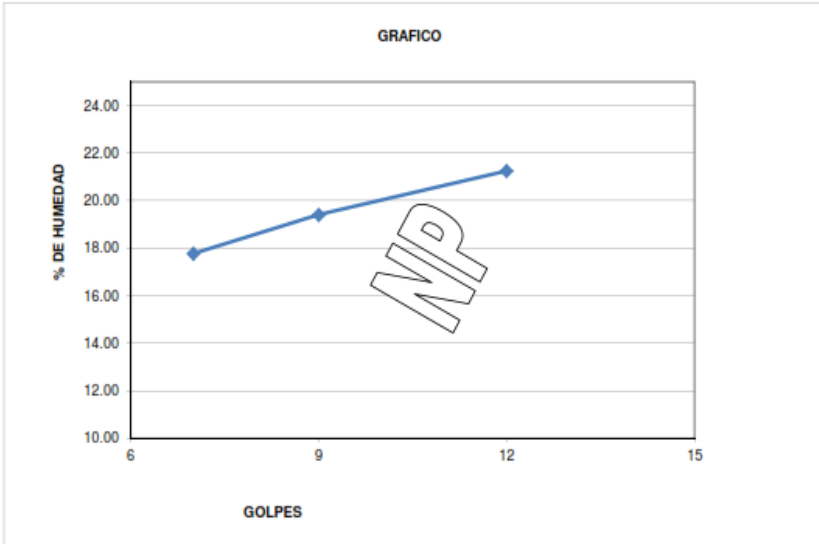
DESCRIPCION: ARENA TRITURADA PROCEDENTE DE LA CANTERA SAN DIEGO

LIMITE LIQUIDO

LIMITE PLASTICO

ENSAYO No	1	1	1	1	1	1	1	1
Recipiente No	A	B	C	D				
Golpes	7	9	12					
P Suelo W + Recip Gs.	43.24	49.05	38.35					
P. Suelo Seco + Recip Gs.	38.86	43.35	34.10					
P. Agua	4.38	5.7	4.25					
Peso Recipiente	14.22	13.98	14.1					
P. Suelo Seco Gs.	24.64	29.37	20.00					
% de humedad.	17.78	19.41	21.25					
								0.00

GRAFICO



LIMITE LIQUIDO	
LIMITE PLASTICO	
INDICE PLASTICO	

ASTM D 2487
CLASIFICACION



Designation: C 29/C 29M American Association of State
Highway and Transportation Officials Standard

FECHA DE ENSAYO: 03 DE ENERO 2017 **DISEÑO** MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

TIPO DE MATERIAL

PESOS VOLUMETRICOS SUELTOS

ARENA TRITURADA

PESO MOLDE + MUESTRA	7650.7	7654.7	7653.0
PESO MOLDE	5416.5	5416.5	5416.5
PESO MUESTRA	2234.2	2238.2	2236.5
VOLUMEN DEL MOLDE	1365.1	1365.1	1365.1
PESO VOLUMETRICO	1.637	1.640	1.638
PROMEDIO	1.638		

PESOS VOLUMETRICOS VARILLADOS

ARENA TRITURADA

PESO MOLDE + MUESTRA	7860.5	7880.1	7863.9
PESO MOLDE	5416.5	5416.5	5416.5
PESO MUESTRA	2444.0	2463.6	2447.4
VOLUMEN DEL MOLDE	1365.1	1365.1	1365.1
PESO VOLUMETRICO	1.790	1.805	1.793
PROMEDIO	1.796		



LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99)

PROYECTO Control de Calidad de Agregados Planta Asfaltica Grupo ECON S.A de C.V.

San Andres, La Libertad

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA :

Arena Triturada

FECHAS : Ingreso

28-dic-16

Realizó : C.Galicia

Final de ensayo

02-ene-17

Revisó : Ing.Funes

EXAMEN CUANTITATIVO

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo despues del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en perdida de peso
mm	Nº					

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

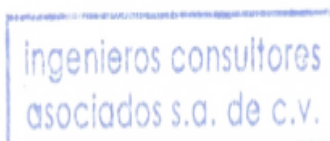
Gs. solución: **1.166**

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO FINO						
<0.150	<Nº100	..	..	..	..	..
0.300 a 0.150	Nº 50 a Nº 100	..	..	..	..	..
0.600 a 0.300	Nº 30 a Nº 50	7.1	100	97	3.00	0.21
1.800 a 0.600	Nº 16 a Nº 30	12.3	100	99	1.00	0.12
2.360 a 1.180	Nº 8 a Nº 16	22.3	100	99	1.00	0.22
4.750 a 2.360	Nº 4 a Nº 8	35.2	100	98	2.00	0.70
9.500 a 4.750	Nº 3/8 a Nº 4	9.9	300	295	1.67	0.17
PERDIDA TOTAL, % :						1.43

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. solución: **1.166**


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Técnico


 ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.



LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES Y MEZCLAS ASFALTICAS
 Indice de Durabilidad en Agregados Finos
 ASTM D-3744

Proyecto: Control de Calidad de Agregados Planta Asfaltica Grupo ECON S.A de C.V.,

San Andres, La Libertad

PROCEDENCIA MATERIAL : Planta Asfaltica, San Andres, La Libertad.

FECHA DE MUESTREO: 23-dic-16

TEC RESPONSABLE : C.Galicia

FECHA ENSAYO : 2-ene-17

REVISO: Ing. Funes

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	METODO	ALTUTA INICIAL	ALTURA SEDIMENTO	INDICE DE DURABILIDAD
AGREGADO ARENA TRITURADA	B	5.100	3.600	70.6%
		5.100	3.600	70.6%
		5.000	3.600	72.0%

Promedio = 71%

OBSERVACIONES : MUESTREO PLANTA ASFALTICA San Andres, La Libertad


 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy
 Gerente Tecnico

ingenieros consultores
 asociados s.a. de c.v.



GRUPO ECON S.A DE C.V

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTES
GRUMOS DE ARCILLA Y PARTICULAS DESMENUZABLES.
 NORMA ASTM C 142

PROYECTO: DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

FECHA ENSAYO : 02 DE ENERO DE 2017

PROCEDENCIA DEL MATERIAL LA CANTERA SAN DIEGO

COMBINACION DE MATERIALES


GRAVA 3/4' 22%

GRAVA 1/2" 32%

Grava Cero 20%

ARENA TRIT 26%

DIAMETRO DE LA FRACCION ENSAYADA	% RETENIDO EN LA GRANULOMETRIA	PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO	PESO DE LA MUESTRA DESPUES DEL ENSAYO	PERDIDA EN GRAMOS	% DE GRUMOS DE ARCILLA PARCIAL	% DE GRUMOS DE ARCILLA EN LA MUESTRA ORIGINAL
3/4" -3/8"	36	394	393.1	0.9	0.23	0.08
3/8" - 4.76	61	354	352.7	1.3	0.37	0.22
4.76 mm -1.18	80	225	224.1	0.9	0.40	0.32
SUMATORIA DE % DE GRUMOS DE ARCILLA DE LA MUESTRA						0.63

	INDICE DE ANGULARIDAD DEL	
	AGREGADO FINO	
GRUPO ECON S.A DE C.V	INV E -239	ASTM C- 1242
FECHA 02 DE ENERO 2017	DISEÑO	MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA	MATERIAL	ARENA TRITURADA
PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA SAN DIEGO		
METODO UTILIZADO "C"		
	M1	M2
Peso del Recipiente grs.	14.1	14.1
Peso del Recipiente + Material precipitado grs.	131.52	128.88
Peso Material precipitado grs.	117.42	114.78
Gravedad especifica del material	2.522	2.522
Volumen del Recipiente mm	81.8	81.8
<p>Formula = $(V - (F/G)/V) * 100$</p> <p>DONDE: V= volumen del recipiente F= Peso Neto del Agregado Fino G=Gravedad Especifica del fino</p>		
Resultado Obtenido	43.1	44.4
Promedio de Resultados	43.7	



INDICE DE ANGULARIDAD DEL

AGREGADO FINO

GRUPO ECON S.A DE C.V

INV E -239

ASTM C- 1242

FECHA DE ENSAYO: 02 DE ENERO 2017

MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA

MATERIAL

GRAVA CERO

PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA SAN DIEGO

METODO UTILIZADO "C"

	M1	M2
Peso del Recipiente grs.	14.1	14.1
Peso del Recipiente + Material precipitado grs.	122.16	123.6
Peso Material precipitado grs.	108.06	109.5
Gravedad especifica del material	2.542	2.542
Volumen del Recipiente mm	81.8	81.8

Formula = $(V - (F/G)/V) * 100$

DONDE: V= volumen del recipiente

F= Peso Neto del Agregado Fino

G=Gravedad Especifica del fino

Resultado Obtenido	48.0	47.3
Promedio de Resultados	47.7	



INDICE DE ANGULARIDAD DEL

AGREGADO FINO

GRUPO ECON S.A DE C.V

INV E -239

ASTM C- 1242

FECHA DE ENSAYO: 02 DE ENERO 2017

MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

UBICACIÓN ACOPIOS DE PLANTA ASFALTICA **MATERIAL****PROCEDENCIA DEL MATERIAL: LA CANTERA SAN DIEGO**

METODO UTILIZADO "C"

	M1	M2
Peso del Recipiente grs.	14.1	14.1
Peso del Recipiente + Material precipitado grs.	129.09	127.02
Peso Material precipitado grs.	114.99	112.92
Gravedad especifica del material	2.532	2.532
Volumen del Recipiente mm	81.8	81.8

Formula = $(V - (F/G)/V) * 100$

DONDE: V= volumen del recipiente

F= Peso Neto del Agregado Fino

G=Gravedad Especifica del fino

Resultado Obtenido	44.5	45.5
Promedio de Resultados	45.0	

AGREGADO COMBINADO ARENA TRITURADA 50 % Y GRAVA CERO 50.0%

ENSAYOS AL LIGANTE ASFÁLTICO

Ensayos al cemento asfáltico clasificado por viscosidad (AC-30) tabla II de la norma ASTM- D 3381



ORIGEN: <u>TERMINAL UNO BITUMEN</u>		FECHA: <u>15 DICIEMBRE 2016</u>		
LOTE: <u>AC30 2016 12</u>		CERTIFICADO No. <u>3429</u>		
PRODUCTO: <u>BITUMEN AC30</u>		ENSAYOS: <u>30 NOVIEMBRE 2016</u>		
REF. A: <u>ASTM D 3381 - TABLA 2</u>		ANALIZADO POR: <u>G. JUÁREZ</u>		
REPORTE DE ANÁLISIS				
N°	ANÁLISIS	METODO ASTM	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES
1	VISCOSIDAD, 140°F (60°C); P	D 4402	3,150	3,000 ± 600
2	VISCOSIDAD, 275°F, (135°C); cSt	D 4402	489	350 min.
3	PENETRACIÓN 25°C, 100g, 5S; mm/10	D 5	62	50 min.
4	PUNTO DE DESTELLO, COC; °C	D 92	325	230 min.
5	PUNTO DE ABLANDAMIENTO; °C	D 36	50	REPORTAR
6	GRAVEDAD ESPECÍFICA; A 60°F	D 70	1.035	REPORTAR
7	DUCTILIDAD, 25°C; cm	D 113	> 150	100 min.
8	SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO; %	D 2042	99.9	99 min.
	ENSAYOS AL RESIDUO DE RTFOT	D 2872		
9	VISCOSIDAD, 140°F (60°C), P	D 4402	11,800	12,000 max.
10	DUCTILIDAD A 25°C, cm	D 113	>150	40 min.



UNO

TERMINAL ASFÁLTICA

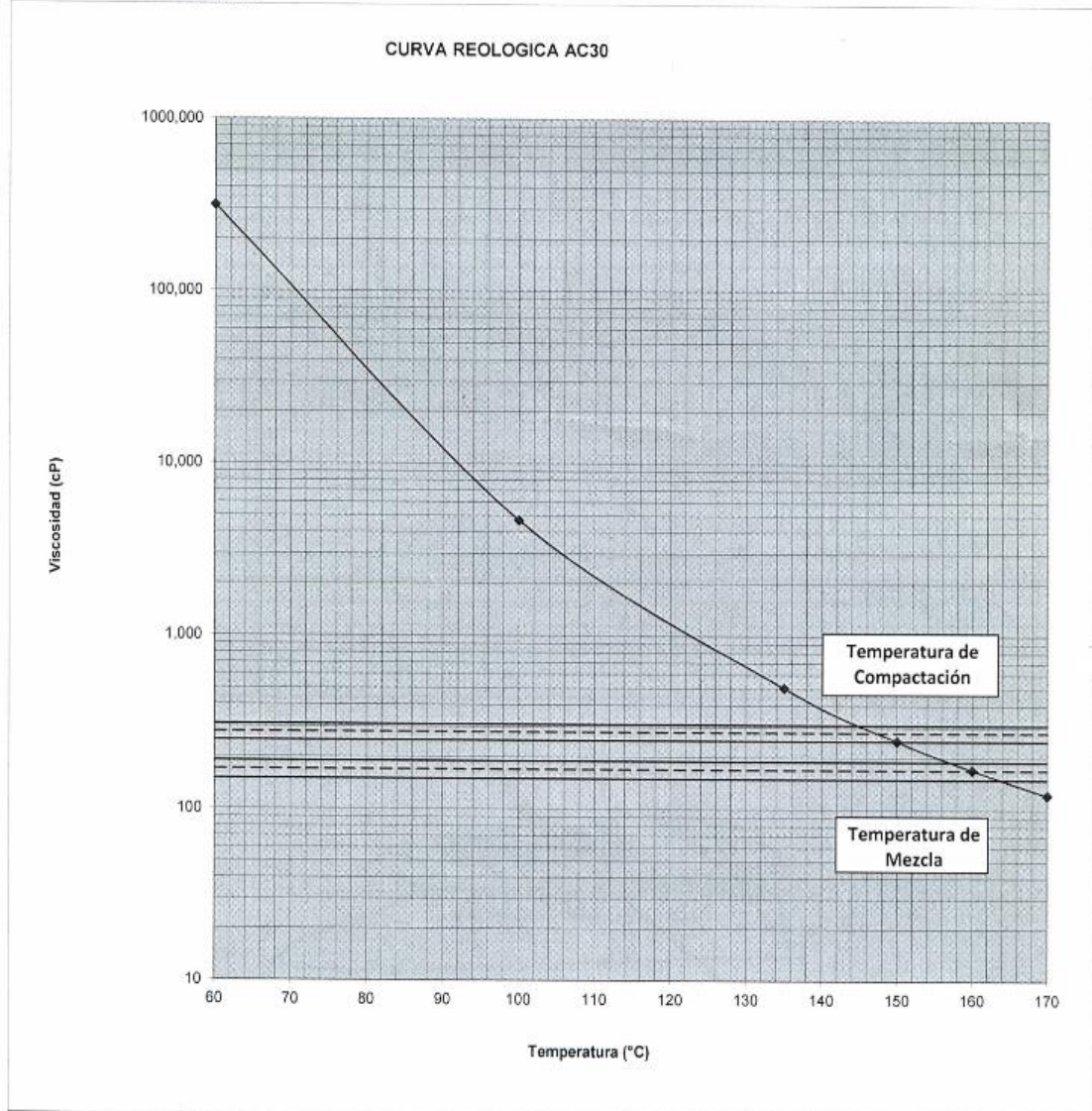
 Laboratorista

EQUIPOS DE CONTROL S.A. DE C.V.
RECIBIDO
 21.12.16.



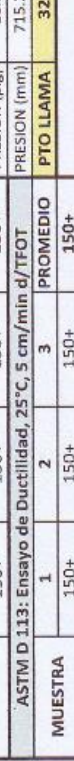
TANQUE: TK01
 LOTE: AC30 2016 12
 FECHA: 15 DICIEMBRE 2016

TEMP. DE COMPACTACION: 145 -- 150 °C
 TEMP. DE MEZCLA: 157 -- 162°C




Laboratorio de Control de Calidad, Km 39.5 Carretera a Sonsonate, Canton Tres Ceibas, Armenia, Sonsonate		Asfalca	
CARACTERIZACION DE ASFALTO CLASIFICADO POR VISCOSIDAD DE ACUERDO A ASTM D 3381			
DATOS DEL CLIENTE			
EMPRESA:	GRUPO ECON, S.A. DE C.V.	ID MUESTRA:	ASF-16-0212
DIRECCION:	Boulevard del Hipódromo, # 473, San Salvador	PROCEDENCIA MUESTRA:	Tanques de almacenamiento Grupo ECON
PROYECTO:	Diseño de mezcla asfáltica	FECHA DE RECEPCION:	21/12/2016
SOLICITANTE:	Ing. Daniel Serrano	ENSAYADO POR:	Tec. C. Palacios
DATOS DE LA MUESTRA		FECHA DE REPORTE:	
TIPO DE ASFALTO:	AC-30 UNO	23/12/2016	
FECHA DE MUESTREO:	20/12/2016	Viscosidad Dinamica o Absoluta a 60° C.	
MUESTREADO POR:	Solicitante	Viscosidad Cinematica a 135° C.	
FECHA INICIO/ FIN ANALISIS:	22 al 23/12/2016	Viscosidad Dinamica o Absoluta a 60° C.	
ASTM D-4402-06: VISCOSIMETRO		d/TFOT	
BROOKFIELD RVD/II+		1 2 3	
MUESTRA		SC4-29	
AGUJA N°		SC4-27	
VELOCIDAD DE ROTACION DE LA AGUJA (rpm)		100	
RANGO DEL VISCOSIMETRO (cP)		2500	
TORQUE (%)		0	
LECTURA DE VISCOSIDAD (centiPoises) (cP)		18.7	
PROMEDIO (centiPoises cP)		18.6	
VISCOSIDAD A TEMP DE ENSAYO (Pa.s)		465.0	
VISCOSIDAD A TEMP DE ENSAYO (mm ² /seg)		465.8	
ASTM D 1754: Ensayo de la película delgada al horno (TFOT) (%)		ASTM D 5: Penetración a 25°C, 100 gr., 5 seg. (dmm)	
DESCRIPCION	M1	M2	M3
TARA (grs)	126.2986	129.2108	129.4186
TARA + MUESTRA ANTES DEL HORNO (grs)	176.2303	179.1849	179.4089
MUESTRA ANTES DEL HORNO (grs)	49.9317	49.9741	49.9903
TARA + MUESTRA DESPUES DEL HORNO (grs)	176.1562	179.1100	179.3320
DESPUES DEL HORNO - TARA (grs)	49.8576	49.8992	49.9134
PERDIDA DE MASA (%)	-0.1484	-0.1489	-0.1538
PROMEDIO (%)	-0.1512		
ASTM D 113: Ensayo de Ductilidad, 25°C, 5 cm/min		ASTM D 92: Punto de Llama	
MUESTRA	1	2	3
150+	150+	150+	150+
PROMEDIO	326.8		
ASTM D 113: Ensayo de Ductilidad, 25°C, 5 cm/min d/TFOT		PRESION (plg)	
MUESTRA	1	2	3
150+	150+	150+	150+
PROMEDIO	715.264		
ASTM D 2042: Solubilidad en Tricloroetileno, (%)		MEDIDAS	
OBSERVACIONES		ASTM D 2042: Solubilidad en Tricloroetileno, (%)	
despues de 20 min a 110 °C		despues de 20 min a 110 °C	
temperatura ambiente		temperatura ambiente	
despues de 20 min a 110 °C		despues de 20 min a 110 °C	
%		%	
99.955		99.955	

Ing. Karen de Jandillo, Gerente de Control de Calidad



ENSAYOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA



LABORATORIO DE INVESTIGACION & DESARROLLO
DESARROLLO DE CURVA MAESTRA DE MODULO DINAMICO DE MEZCLA ASFALTICA

Proyecto: MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO: CA01W - LIB04S	
Mezcla: MAC TMN ¾"	Especimen: MUESTRA 1
Normativa: AASHTO T342	Fecha: Friday 28 de July 2017

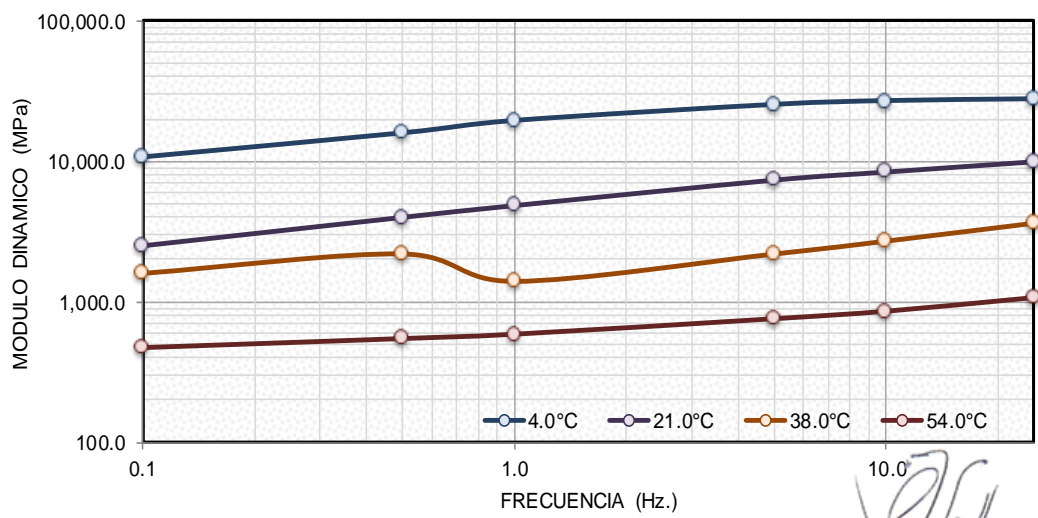
MODULOS DINAMICOS (MPa)


TEMP.	FRECUENCIA					
	25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	27,560.7	26,768.1	25,181.9	19,422.2	15,893.5	10,764.7
21.0°C	9,970.2	8,410.8	7,360.5	4,824.3	3,968.8	2,477.6
38.0°C	3,639.6	2,699.1	2,176.1	1,379.0	2,178.7	1,575.6
54.0°C	1,061.1	851.3	754.4	587.5	547.5	472.8

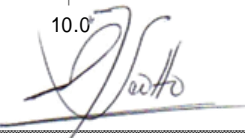
ANGULOS DE FASE

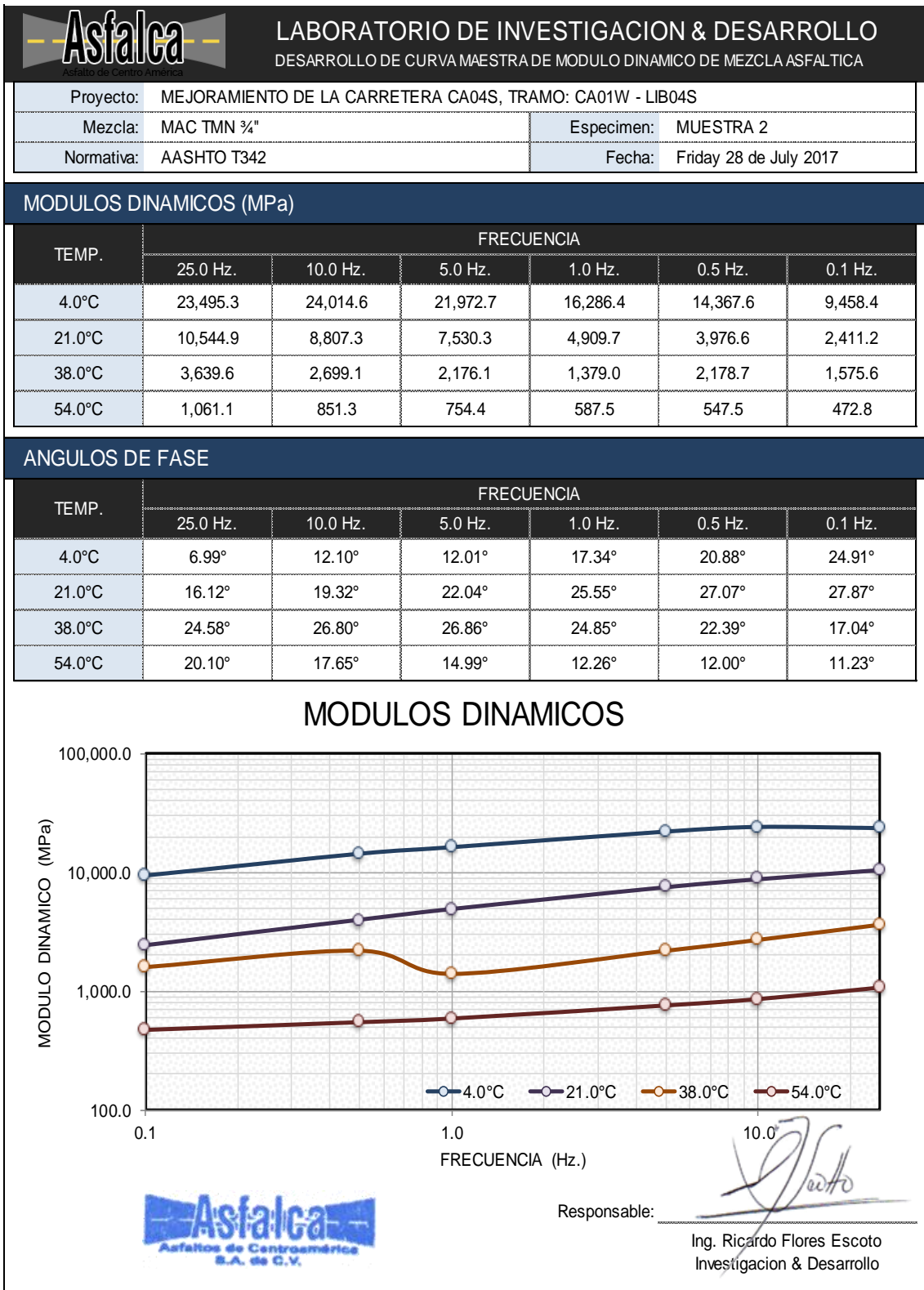
TEMP.	FRECUENCIA					
	25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	9.05°	13.91°	12.88°	20.18°	22.57°	27.59°
21.0°C	16.32°	19.37°	22.24°	26.95°	27.95°	29.56°
38.0°C	24.58°	26.80°	26.86°	24.85°	22.39°	17.04°
54.0°C	20.10°	17.65°	14.99°	12.26°	12.00°	11.23°

MODULOS DINAMICOS






Responsable: 
Ing. Ricardo Flores Escoto
Investigacion & Desarrollo



TEMP.		FRECUENCIA					
		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	M1	27,560.7	26,768.1	25,181.9	19,422.2	15,893.5	10,764.7
	M2	23,495.3	24,014.6	21,972.7	16,286.4	14,367.6	9,458.4
	X	25,528.0	25,391.4	23,577.3	17,854.3	15,130.6	10,111.6
	C.V.	11.3	7.7	9.6	12.4	7.1	9.1
21.0°C	M1	9,970.2	8,410.8	7,360.5	4,824.3	3,968.8	2,477.6
	M2	10,544.9	8,807.3	7,530.3	4,909.7	3,976.6	2,411.2
	X	10,257.6	8,609.1	7,445.4	4,867.0	3,972.7	2,444.4
	C.V.	4.0	3.3	1.6	1.2	0.1	1.9
38.0°C	M1	3,639.6	2,699.1	2,176.1	1,379.0	2,178.7	1,575.6
	M2	3,639.6	2,699.1	2,176.1	1,379.0	2,178.7	1,575.6
	X	3,639.6	2,699.1	2,176.1	1,379.0	2,178.7	1,575.6
	C.V.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
54.0°C	M1	1,061.1	851.3	754.4	587.5	547.5	472.8
	M2	1,061.1	851.3	754.4	587.5	547.5	472.8
	X	1,061.1	851.3	754.4	587.5	547.5	472.8
	C.V.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TEMP.		FRECUENCIA					
		25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	M1	9.05°	13.91°	12.88°	20.18°	22.57°	27.59°
	M2	6.99°	12.10°	12.01°	17.34°	20.88°	24.91°
	X	8.02°	13.01°	12.45°	18.76°	21.72°	26.25°
	σ	1.5	1.3	0.6	2.0	1.2	1.9
21.0°C	M1	16.3	19.4	22.2	27.0	27.9	29.6
	M2	16.1	19.3	22.0	25.6	27.1	27.9
	X	16.22°	19.34°	22.14°	26.25°	27.51°	28.71°
	σ	0.1	0.0	0.1	1.0	0.6	1.2
38.0°C	M1	24.6	26.8	26.9	24.8	22.4	17.0
	M2	24.6	26.8	26.9	24.8	22.4	17.0
	X	24.58°	26.80°	26.86°	24.85°	22.39°	17.04°
	σ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
54.0°C	M1	20.1	17.7	15.0	12.3	12.0	11.2
	M2	20.1	17.7	15.0	12.3	12.0	11.2
	X	20.10°	17.65°	14.99°	12.26°	12.00°	11.23°
	σ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



LABORATORIO DE INVESTIGACION & DESARROLLO
DESARROLLO DE CURVA MAESTRA DE MODULO DINAMICO DE MEZCLA ASFALTICA

Proyecto:	MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CA04S, TRAMO: CA01W - LIB04S		
Mezcla:	MAC TMN ¾"	Especimen:	RESUMEN
Normativa:	AASHTO T342	Fecha:	Friday 28 de July 2017

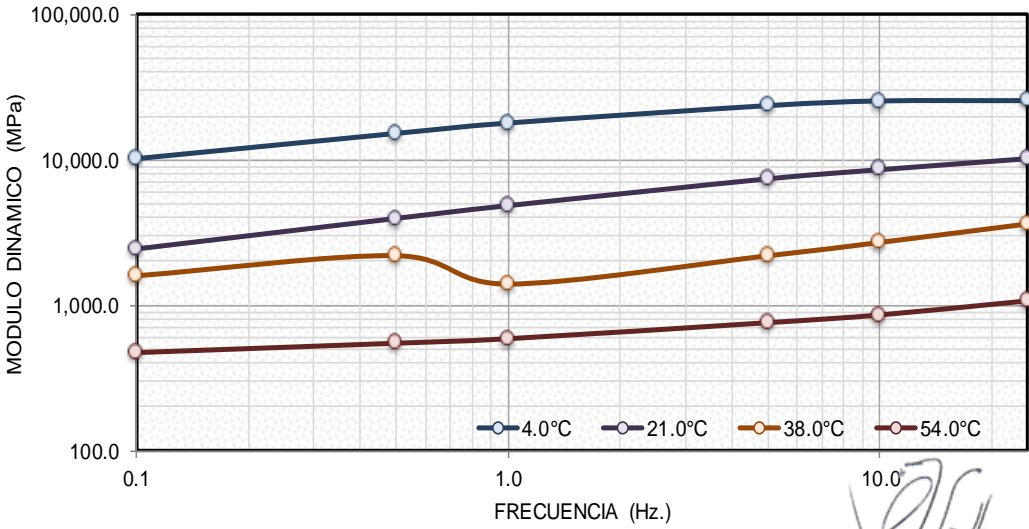
MODULOS DINAMICOS (MPa)


TEMP.	FRECUENCIA					
	25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	25,528.0	25,391.4	23,577.3	17,854.3	15,130.6	10,111.6
21.0°C	10,257.6	8,609.1	7,445.4	4,867.0	3,972.7	2,444.4
38.0°C	3,639.6	2,699.1	2,176.1	1,379.0	2,178.7	1,575.6
54.0°C	1,061.1	851.3	754.4	587.5	547.5	472.8

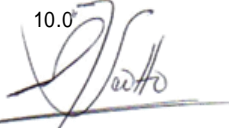
ANGULOS DE FASE

TEMP.	FRECUENCIA					
	25.0 Hz.	10.0 Hz.	5.0 Hz.	1.0 Hz.	0.5 Hz.	0.1 Hz.
4.0°C	8.02°	13.01°	12.45°	18.76°	21.72°	26.25°
21.0°C	16.22°	19.34°	22.14°	26.25°	27.51°	28.71°
38.0°C	24.58°	26.80°	26.86°	24.85°	22.39°	17.04°
54.0°C	20.10°	17.65°	14.99°	12.26°	12.00°	11.23°

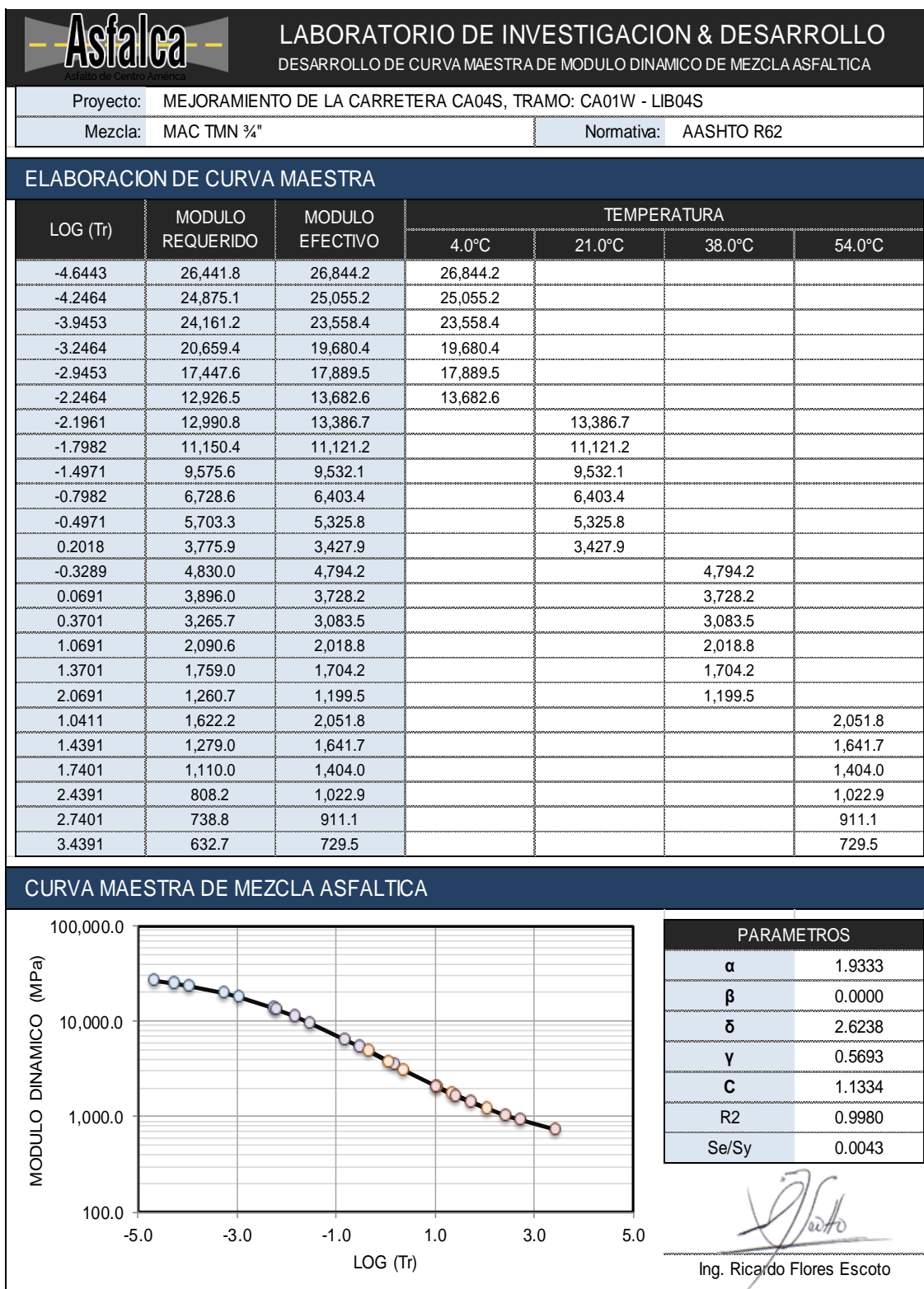
MODULOS DINAMICOS





Responsable: 

Ing. Ricardo Flores Escoto
Investigacion & Desarrollo



EQUIPO EMPLEADO PARA ENSAYO WITCZAK.



ESPECIMENES SOMETIDOS A ENASAYO WITCZAK.

