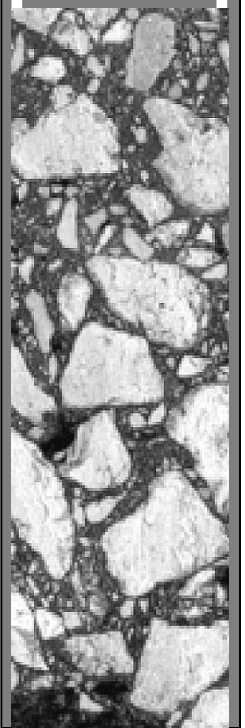


XVI CONGRESO ARGENTINO DE VIALIDAD Y TRÁNSITO

Seminario Pre Congreso
COMISIÓN PERMANENTE DEL ASFALTO

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN LOS INICIOS DEL SIGLO XXI

LA VISIÓN ARGENTINA. MEZCLAS CONVENCIONALES

Ings. Jorge A. Páramo y Hugo E. Poncino
j.paramo.arg@gmail.com h.poncino@ityac.com.ar

Córdoba, Argentina. Octubre 2012

Análisis de la Situación Actual en la Argentina

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DNV

Pliego General de Especificaciones Técnicas más Usuales para la Construcción de Obras Básicas y Calzadas. Edición 1998

CPA

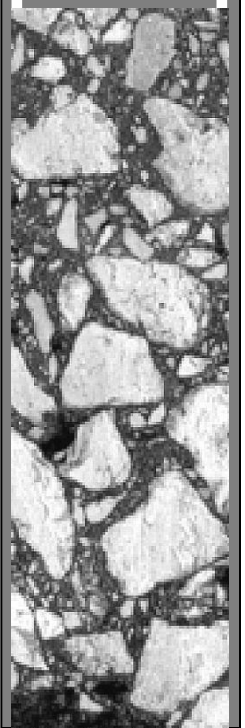
Especificaciones Técnicas Generales para Mezclas Asfálticas en Caliente

NORMAS DE ENSAYO

La Dirección Nacional de Vialidad (**DNV**), dispone de normas de ensayo (VN-E) para:

- Agregados Pétreos
- Rellenos Minerales
- Mezclas Asfálticas

El Instituto Argentino de Normalización y Certificación (**IRAM**), cuenta con normas para asfaltos de uso vial clasificados por penetración y por viscosidad



Análisis de la Situación Actual en la Argentina

MEZCLAS CONVENCIONALES DENSAS, SEMIDENSAS Y GRUESAS

a) **Selección del tipo de mezcla**
   - Posición en la estructura
   - Respuesta estructural requerida
   - Expectativa de durabilidad
   - Condiciones de producción y puesta en obra

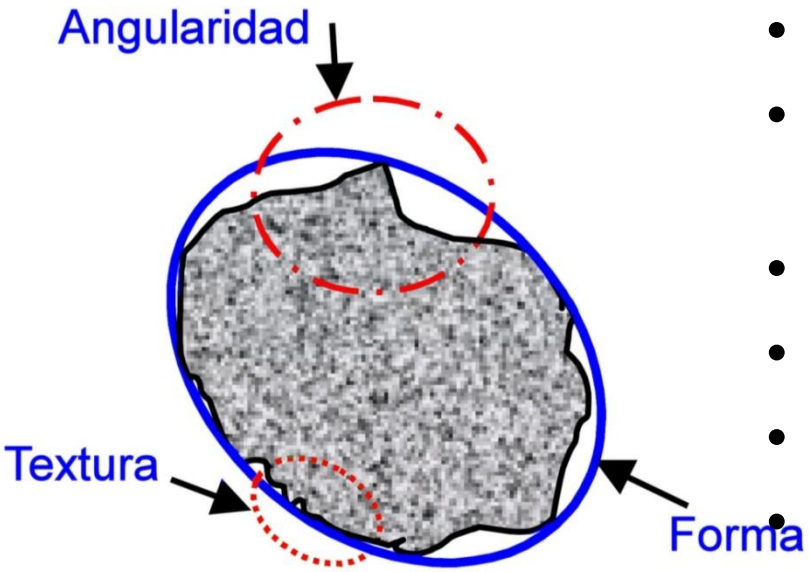
b) **Selección de los materiales**
   - Agregados pétreos
   - Ligante asfáltico
   - Filler
   - Aditivos

c) **Aplicación del procedimiento Marshall** para la dosificación

d) **Definición y ajuste de la fórmula de obra**

Selección de Materiales

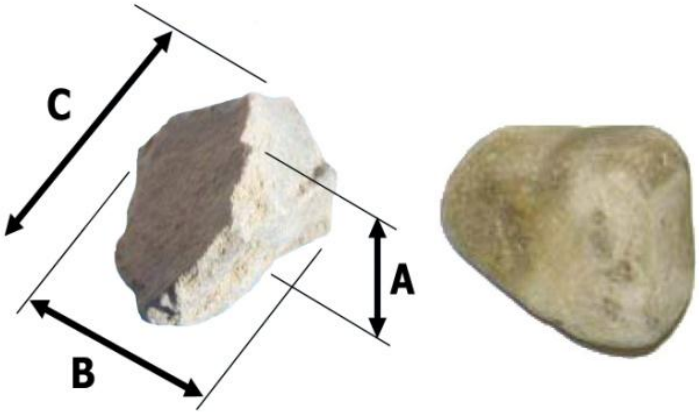
AGREGADOS PÉTREOS



- Angularidad
- Coeficiente de forma
- Desgaste Los Ángeles y Microdeval
- Pulimento Acelerado
- Polvo adherido
- Absorción
- Adhesividad con el ligante
- Peso específico
- Durabilidad

Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS GRUESOS

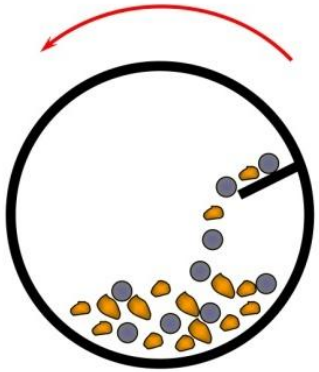


- **Angularidad**
- **Coeficiente de forma**
- Desgaste Los Ángeles y Micro-Deval
- Pulimento Acelerado
- Sustancias nocivas
- Absorción
- Adhesividad con el ligante
- Peso específico
- Durabilidad

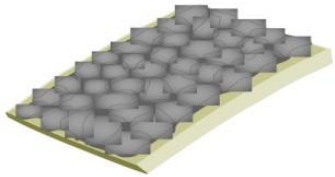
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

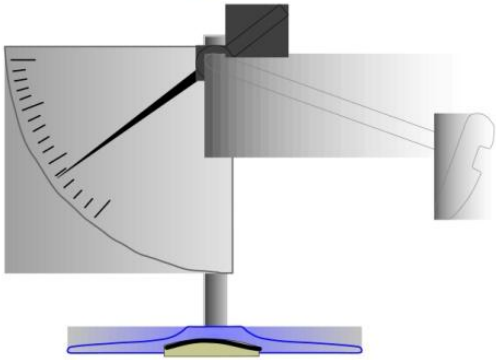
Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS GRUESOS



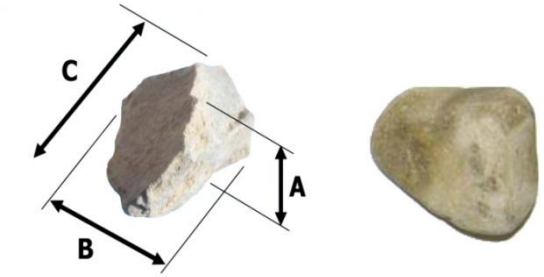
- Desgaste
  - Los Ángeles
  - Micro-Deval
- Pulimento acelerado

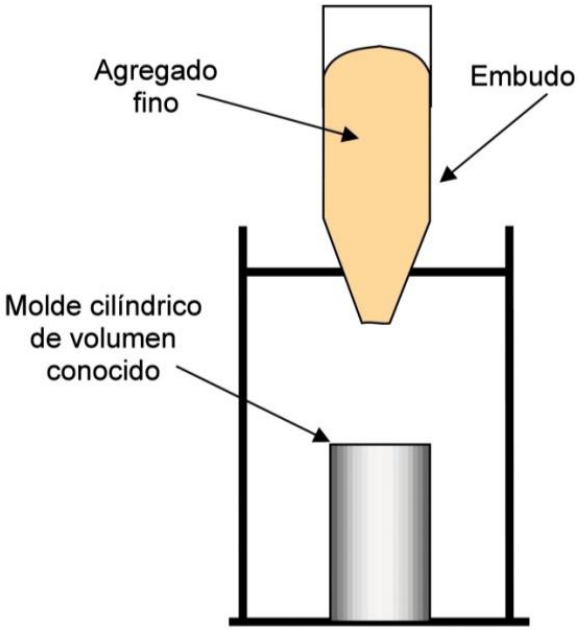




Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS FINOS

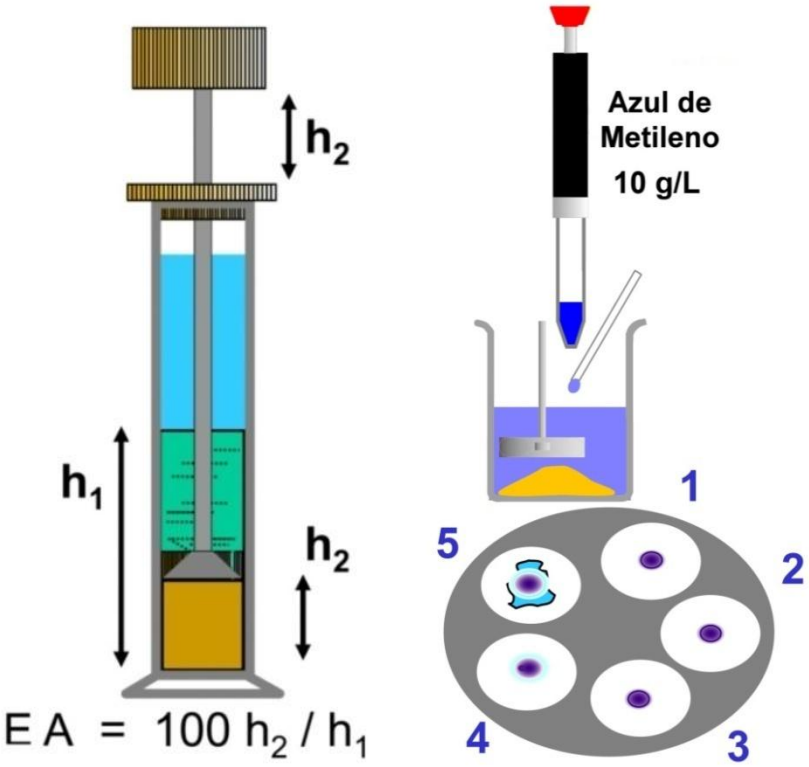




- **Angularidad**
- Coeficiente de forma
- Desgaste Los Ángeles y Micro-Deval
- Pulimento Acelerado
- Sustancias nocivas
- Absorción
- Adhesividad con el ligante
- Peso específico
- Durabilidad

Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS FINOS



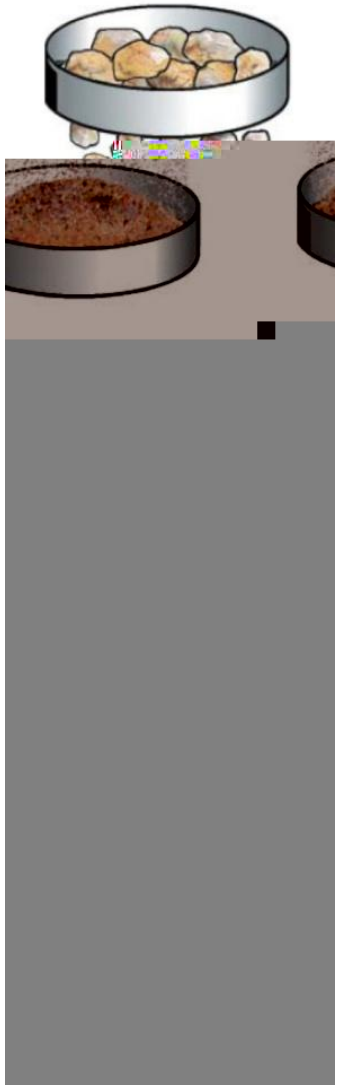
- Angularidad
- Coeficiente de forma
- Desgaste Los Ángeles y Micro-Deval
- Pulimento Acelerado
- **Sustancias nocivas**
- Absorción
- Adhesividad con el ligante
- Peso específico
- Durabilidad

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS
Granulometría

Tamices certificados



Selección de Materiales

FILLER

Seleccionar el tipo de filler, natural y de aporte y su proporción relativa

- Relación filler/betún
- Concentración crítica

CEMENTO ASFÁLTICO

Seleccionar el tipo de cemento asfáltico a emplear

ADITIVOS

Considerar la incorporación en la mezcla de aditivos, mejoradores de adherencia y/o activantes que proporcionen al asfalto propiedades específicas, (polímeros, caucho, fibras, etc.)

Selección de Materiales

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO

Se selecciona en función de:

Espesor de la capa en la estructura

Función de la capa en la estructura

Solicitación del tránsito o respuesta estructural requerida

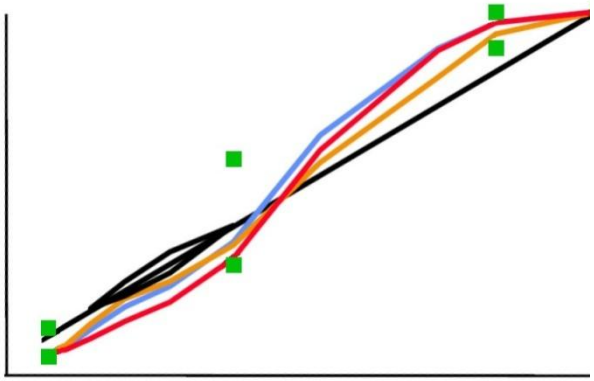
Selección de Materiales

HUSO GRANULOMÉTRICO

Es quizás la propiedad más importante en la formulación de la mezcla

Afecta a casi todas las propiedades de las mezclas asfálticas

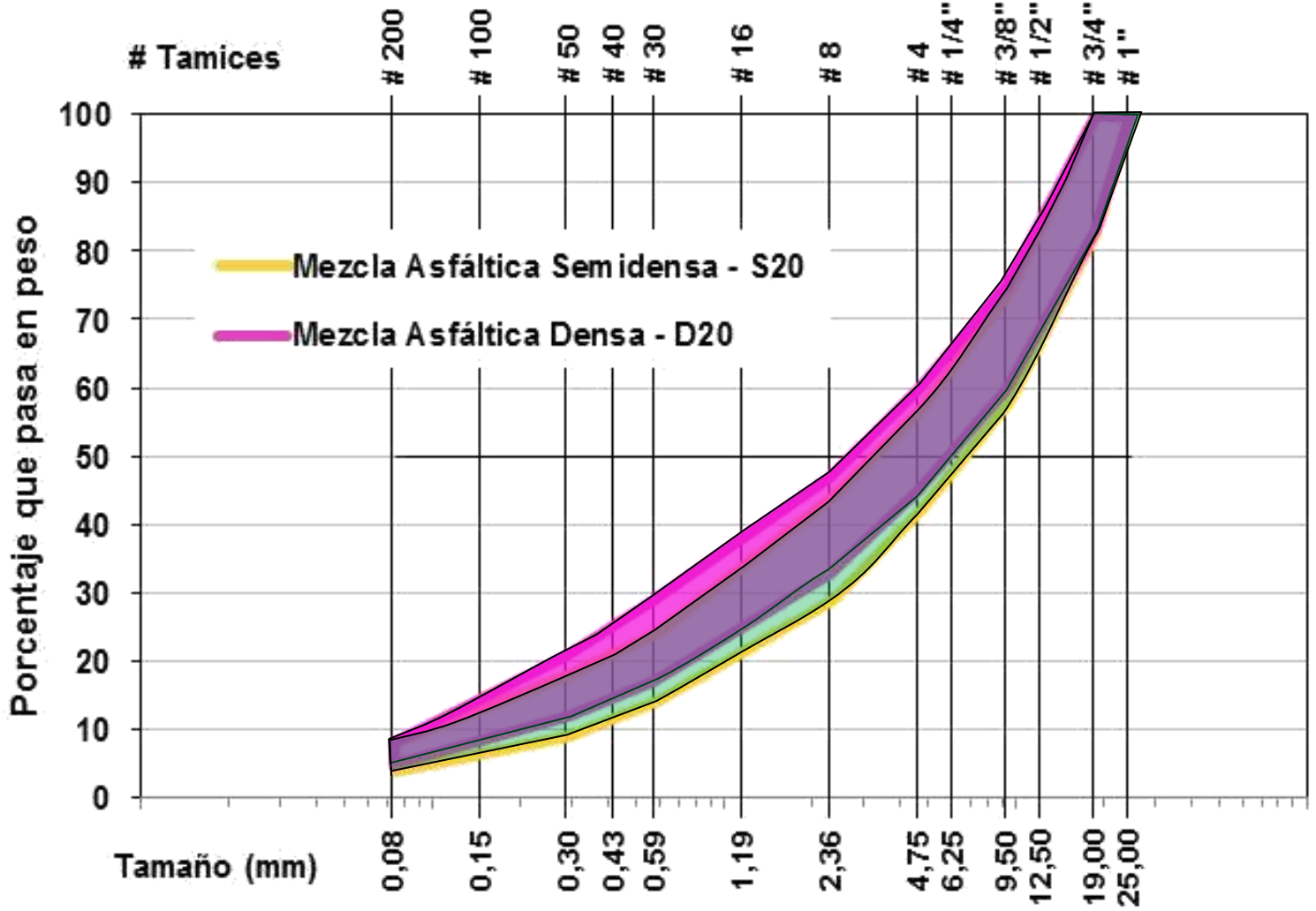
En el campo de **mezclas convencionales** se selecciona el huso granulométrico: **Denso, Semidenso o Grueso**, según la función que cumplirá la mezcla en estudio



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Selección de Materiales

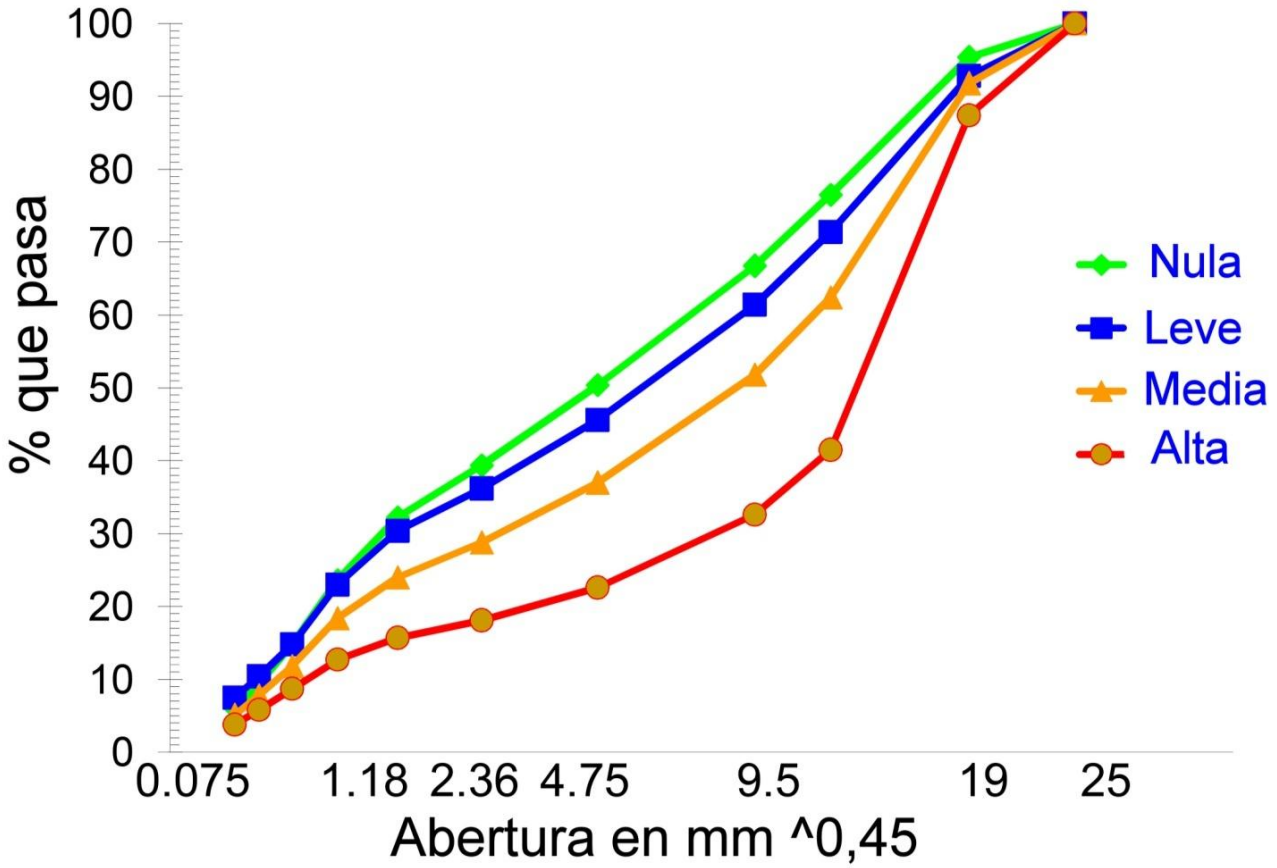
HUSO GRANULOMÉTRICO



Selección de Materiales

AGREGADOS PÉTREOS GRANULOMETRÍA

Susceptibilidad a la segregación de materiales



Selección del Tipo de Mezcla

MEZCLAS PARA CAPA DE RODAMIENTO:

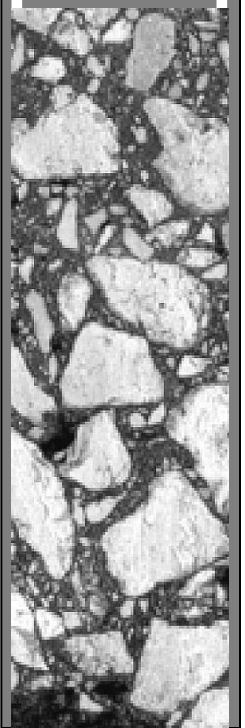
Se prefieren mezclas de hasta 50 mm de espesor y preferentemente del tipo "Semidensas" de la **CPA**, de 12 y 19 mm de tamaño máximo

Se procura obtener macrotextura con la granulometría

MEZCLAS PARA CAPAS DE BASE Y BANQUINAS

Se prefieren mezclas densas tamaño máximo 19 mm

Las mezclas gruesas tamaño máximo 25 mm suelen evitarse por ser más proclives a la segregación de materiales

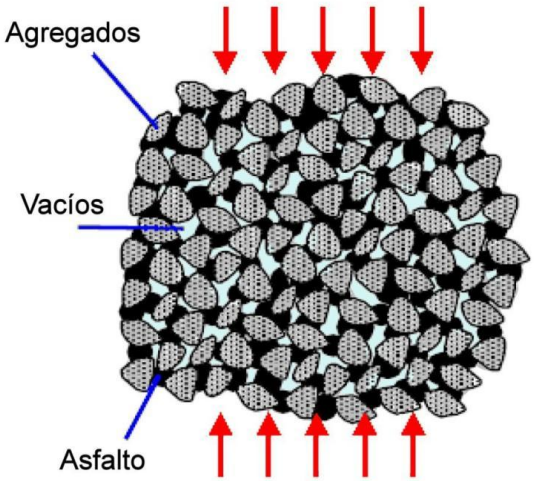


DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Proporciones Volumétricas

Son las mejores herramientas disponibles para proveer información sobre el desempeño de la mezcla en servicio

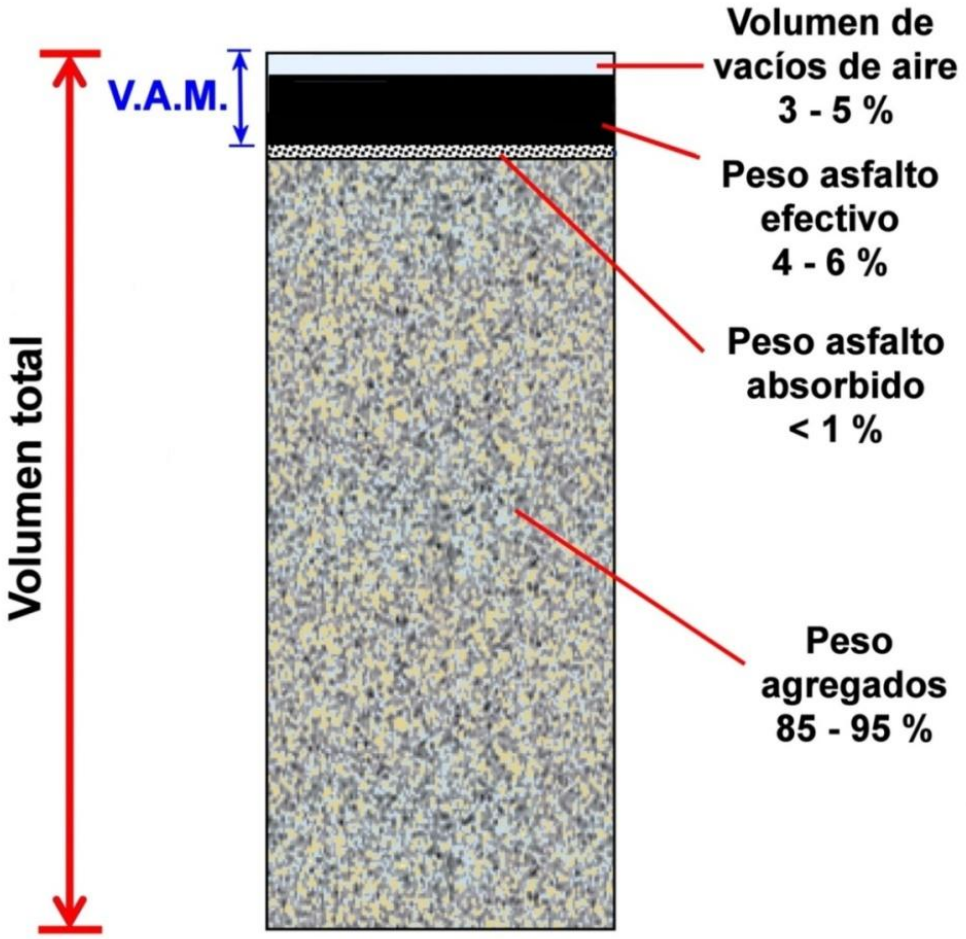
- Vacíos de Aire **"V"**
- Vacíos del Agregado Mineral **"VAM"**
- Vacíos ocupados por Asfalto **"RBV** *(Relación Betún Vacíos)*
- Volumen efectivo de asfalto **Cae**
- Relación Filler / Asfalto y/o Relación **"C/Cs"**



La asociación de criterios de análisis empleados en el procedimiento de diseño **SUPERPAVE**, permiten traer a un **primer plano** los parámetros relacionados a las **proporciones volumétricas"**

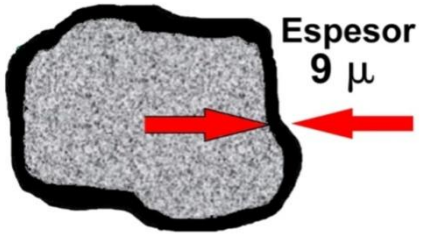
Proporciones Volumétricas

REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS VOLÚMENES



Proporciones Volumétricas

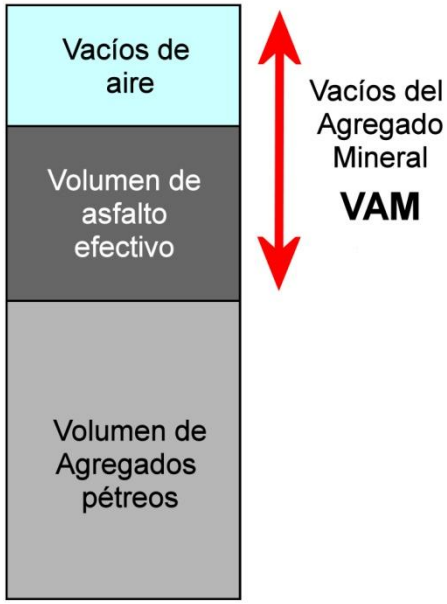
CONCEPTOS SOBRE EL VAM



El mínimo de VAM se establece para obtener el espacio necesario para alojar alrededor de **4 % de vacíos de aire** y un **espesor de película de ligante** que provea durabilidad a la mezcla

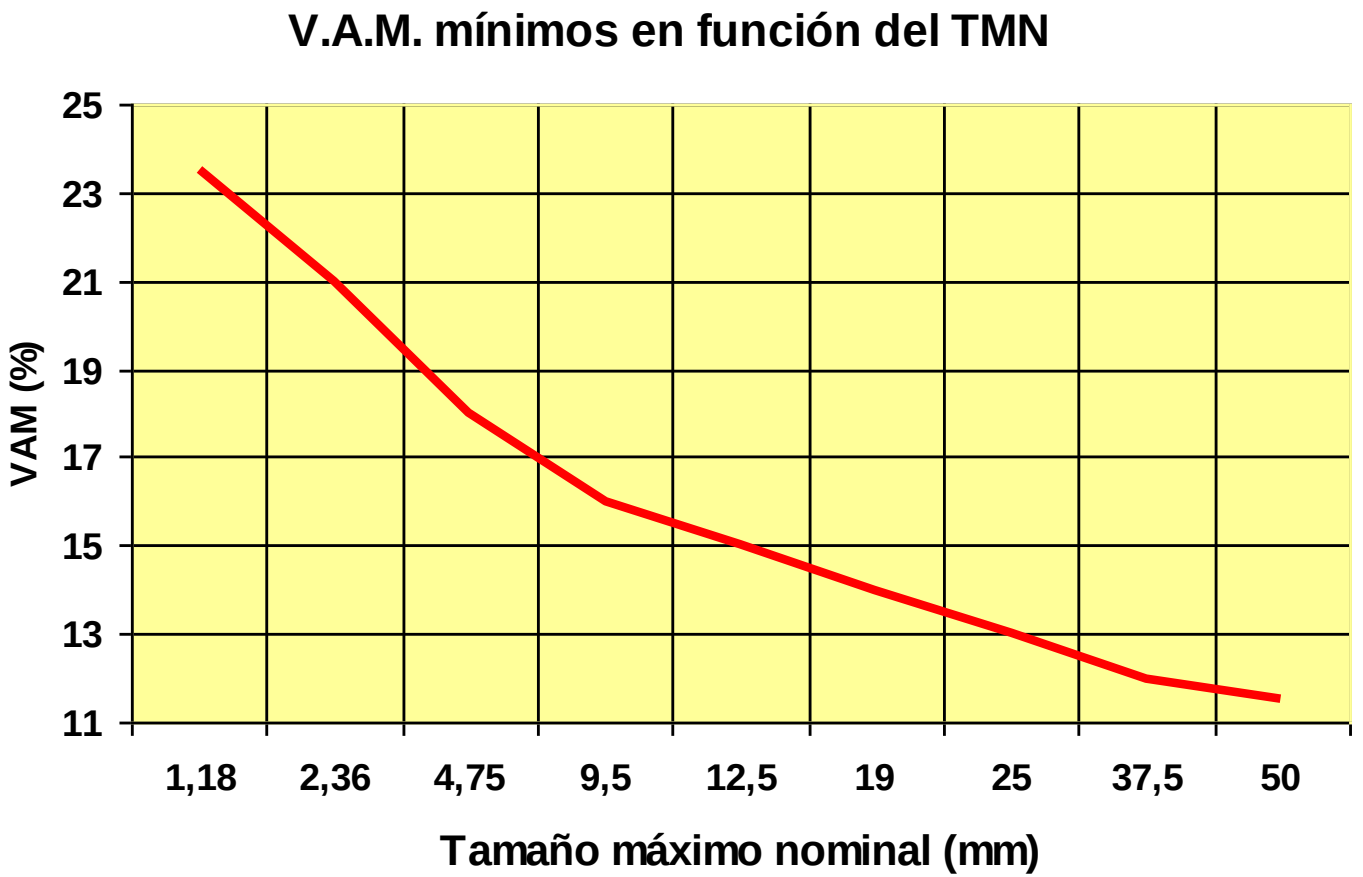
Las mezclas con bajos VAM, son muy sensibles en sus propiedades frente a pequeños cambios del contenido de asfalto

El VAM es preponderantemente afectado por la fracción que pasa el tamiz 200



Proporciones Volumétricas

REQUERIMIENTO MÍNIMO DE VAM

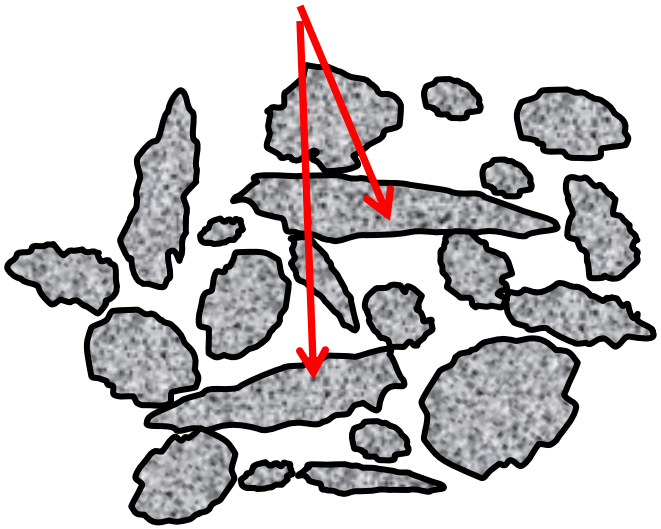


Es conveniente que los VAM no superen en más del 2 % el mínimo requerido por el tamaño máximo de agregado

Proporciones Volumétricas

EFECTO DE LOS AGREGADOS LAJOSOS Y EL VAM

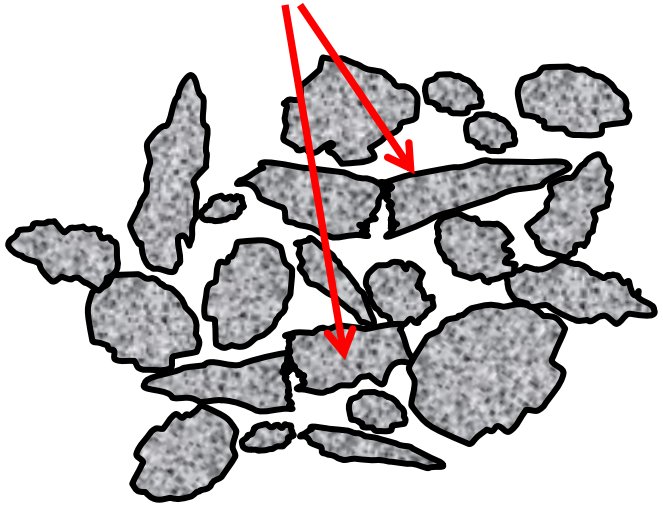
Agregados gruesos lajosos



VAM de diseño de la mezcla

Mezcla difícil de compactar

Compactación y servicio: los agregados lajosos se parten



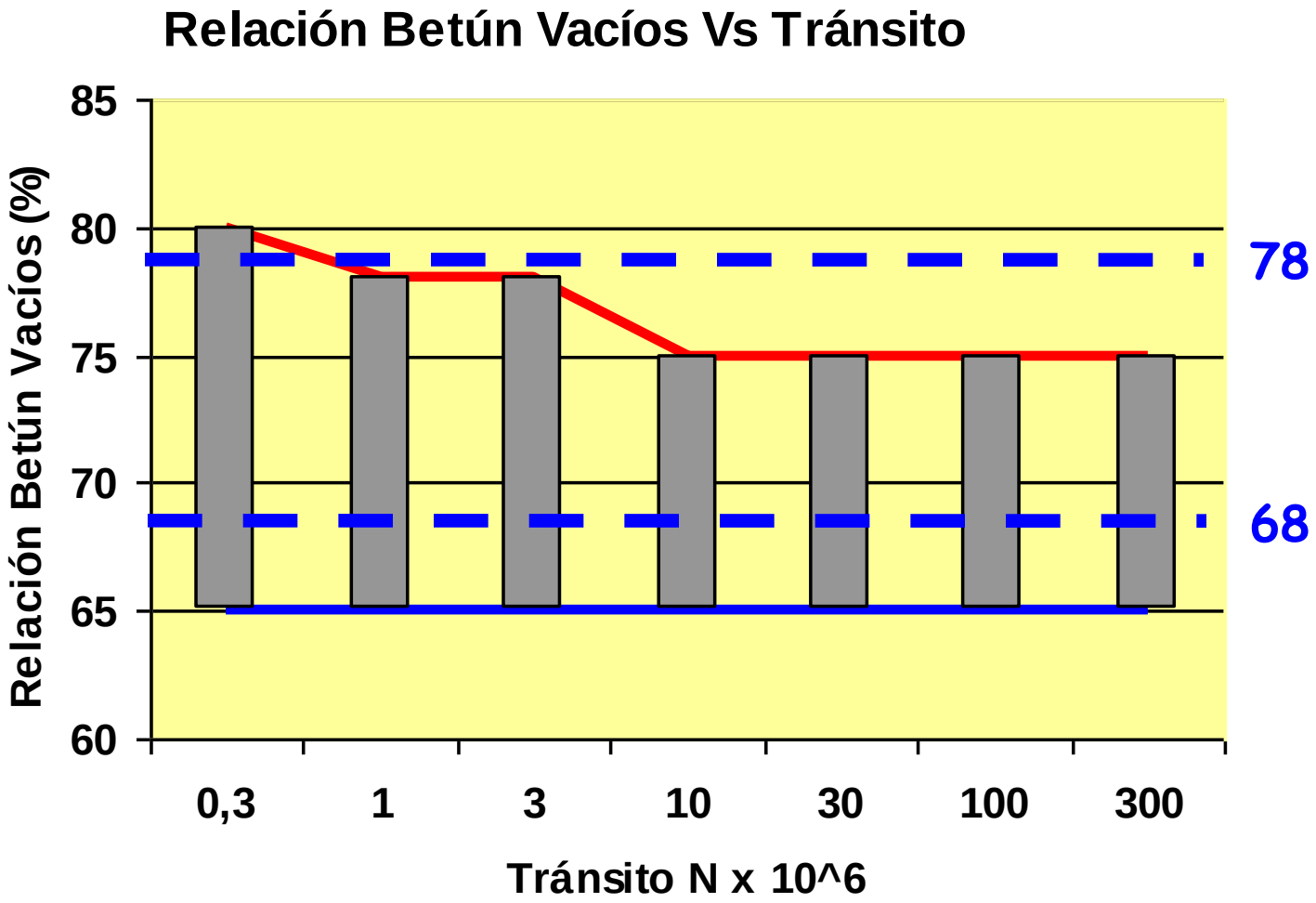
VAM disminuyen

RBV se incrementa,

Mezcla inestable

Proporciones Volumétricas

VACÍOS OCUPADOS POR ASFALTO *(RBV)*



Proporciones Volumétricas

CONTENIDO DE ASFALTO, ASFALTO EFECTIVO Y ABSORCIÓN

La **absorción** del asfalto por los agregados resulta crítica en la determinación del contenido de asfalto.

Debe adicionarse suficiente cemento asfáltico para compensar la absorción y recubrir las partículas con un **espesor adecuado de ligante**

Aparece el concepto de contenido total de ligante y **asfalto efectivo**

El contenido de **asfalto efectivo** es el volumen de asfalto no absorbido por los agregados, forma **una película que vincula los agregados**

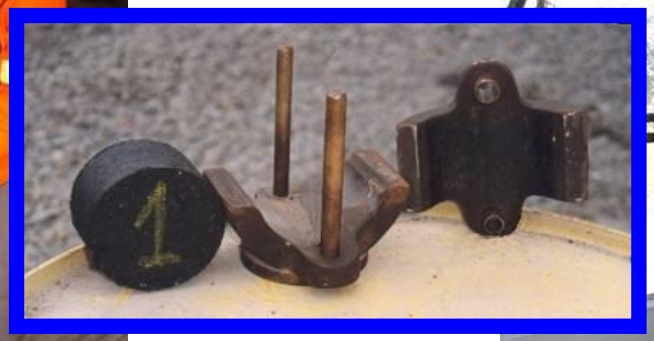
La fuerza de adhesión entre los agregados de la mezcla se denomina cohesión

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

Criterios para su aplicación y complementos que mejoran la caracterización de las mezclas asfálticas

Dosificación de Ligante

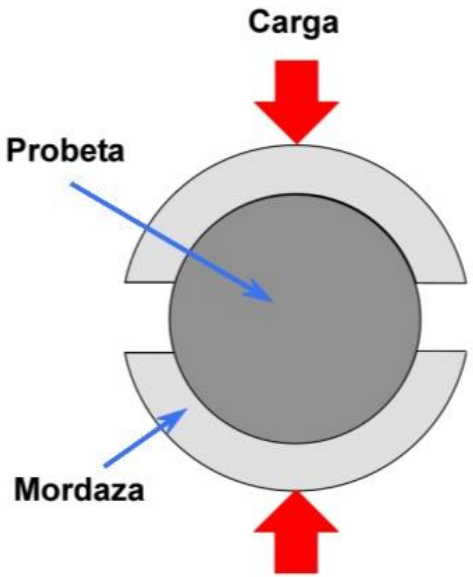


DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

Se encuentra muy ampliamente difundido en la Argentina

El equipamiento relativamente sencillo y accesible, ha contribuido a su permanencia y expansión. Por los mismos motivos **su vigencia puede prolongarse por varios años**



Se aplica en la **dosificación del ligante** y se emplea como **control de producción**

Permite obtener relaciones volumétricas y parámetros mecánicos

Procedimiento de Ensayo Marshall

Ensayo de compresión diametral semi confinado sobre probetas cilíndricas

El moldeo se realiza compactando la mezcla en cilindros, aplicando 50 o 75 golpes en toda la superficie y en ambas caras

Es aplicable sólo a mezclas asfálticas que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm

La probeta se lleva a rotura deformándola a 50,8 mm por minuto a 60 °C de temperatura

La carga de rotura se denomina Estabilidad y la deformación Fluencia

Puede usarse tanto para el diseño en laboratorio como en el control de producción en obra

Procedimiento de Ensayo Marshall

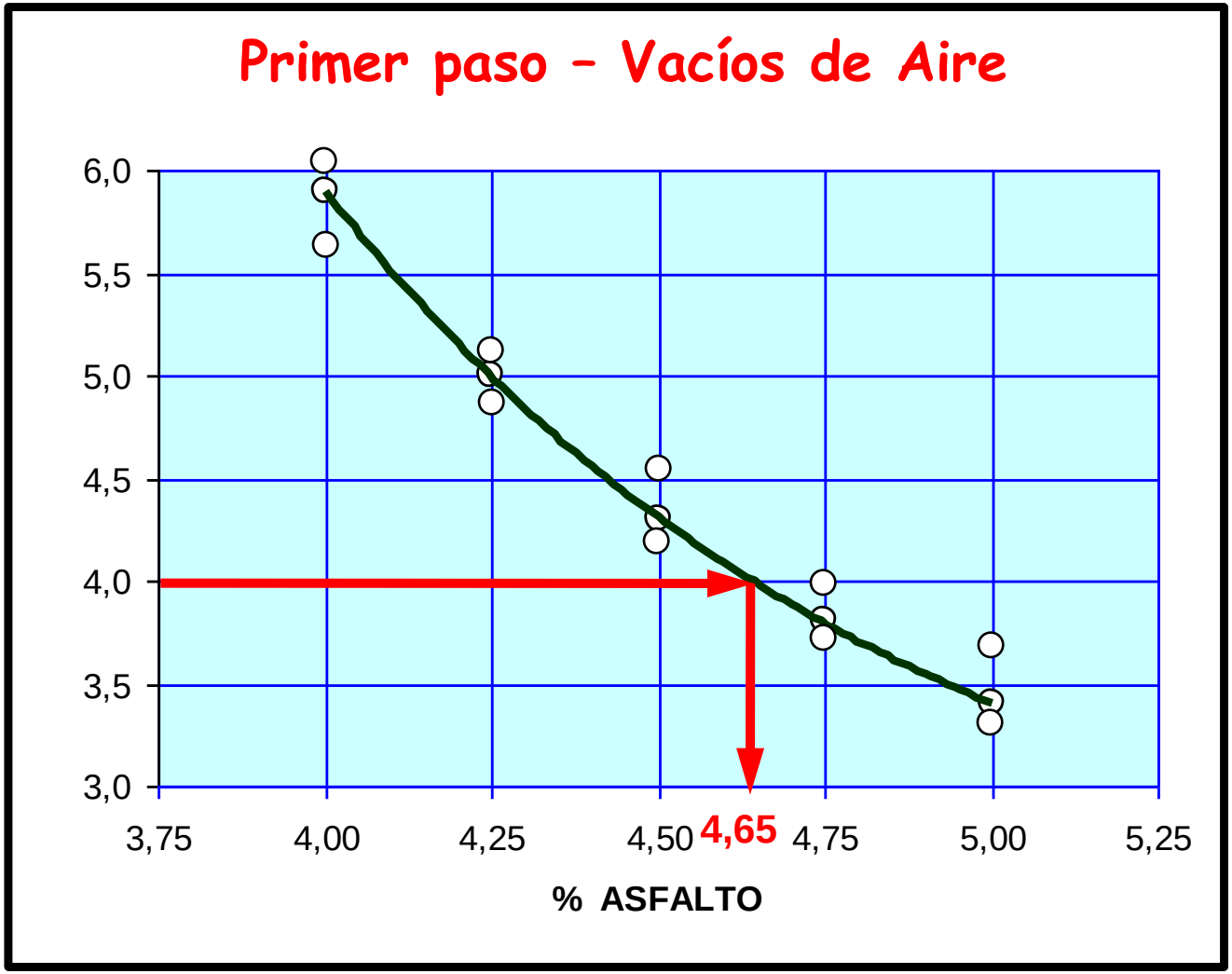
Criterios para la adopción del porcentaje de ligante

Sugerencia: al ser los resultados de la dosificación obtenido de representaciones gráficas estas deben obtenerse; graficando los resultados individuales para cada testigo analizado. Normalmente tres para cada contenido de asfalto

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

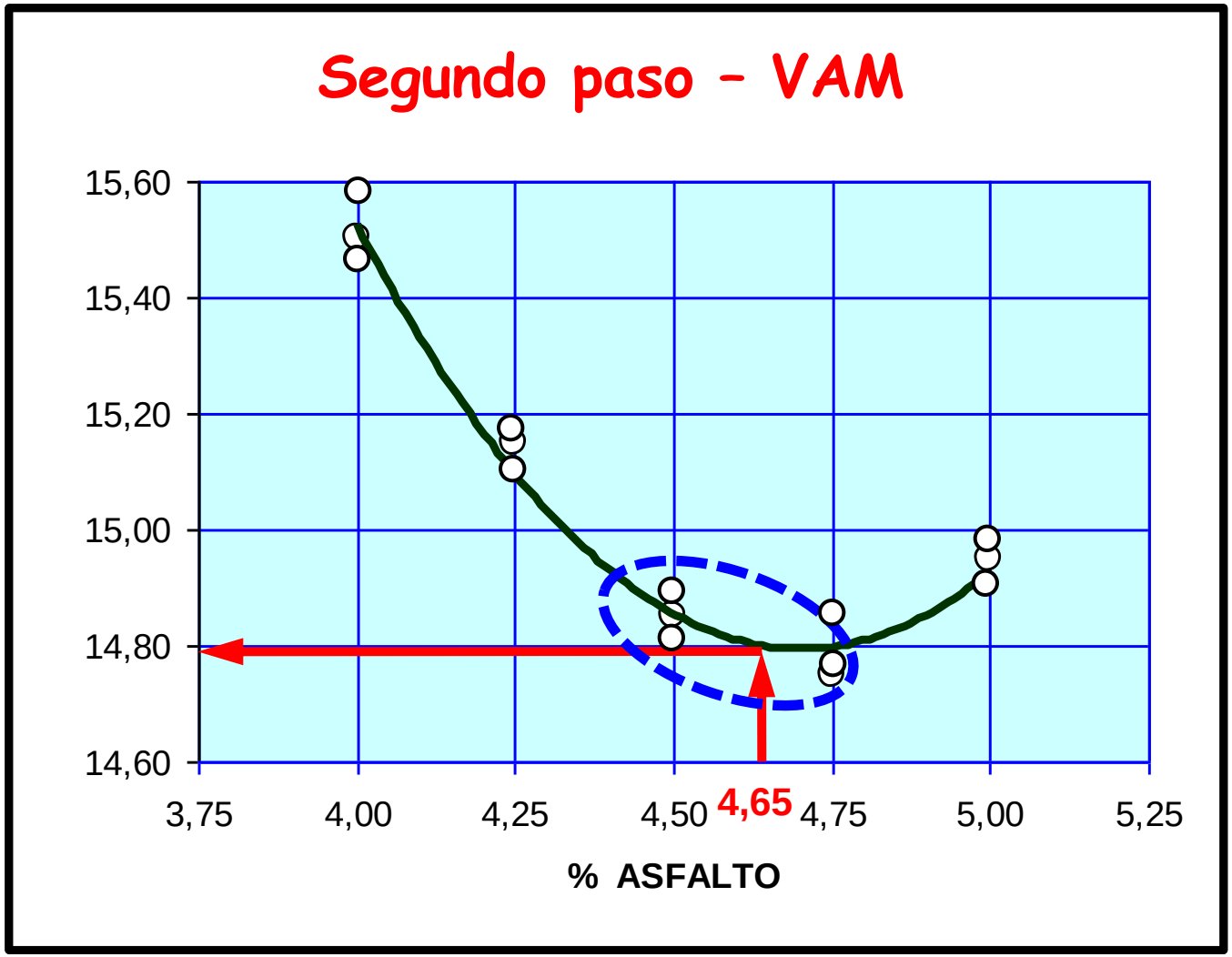
Dosificación del Contenido de Ligante



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

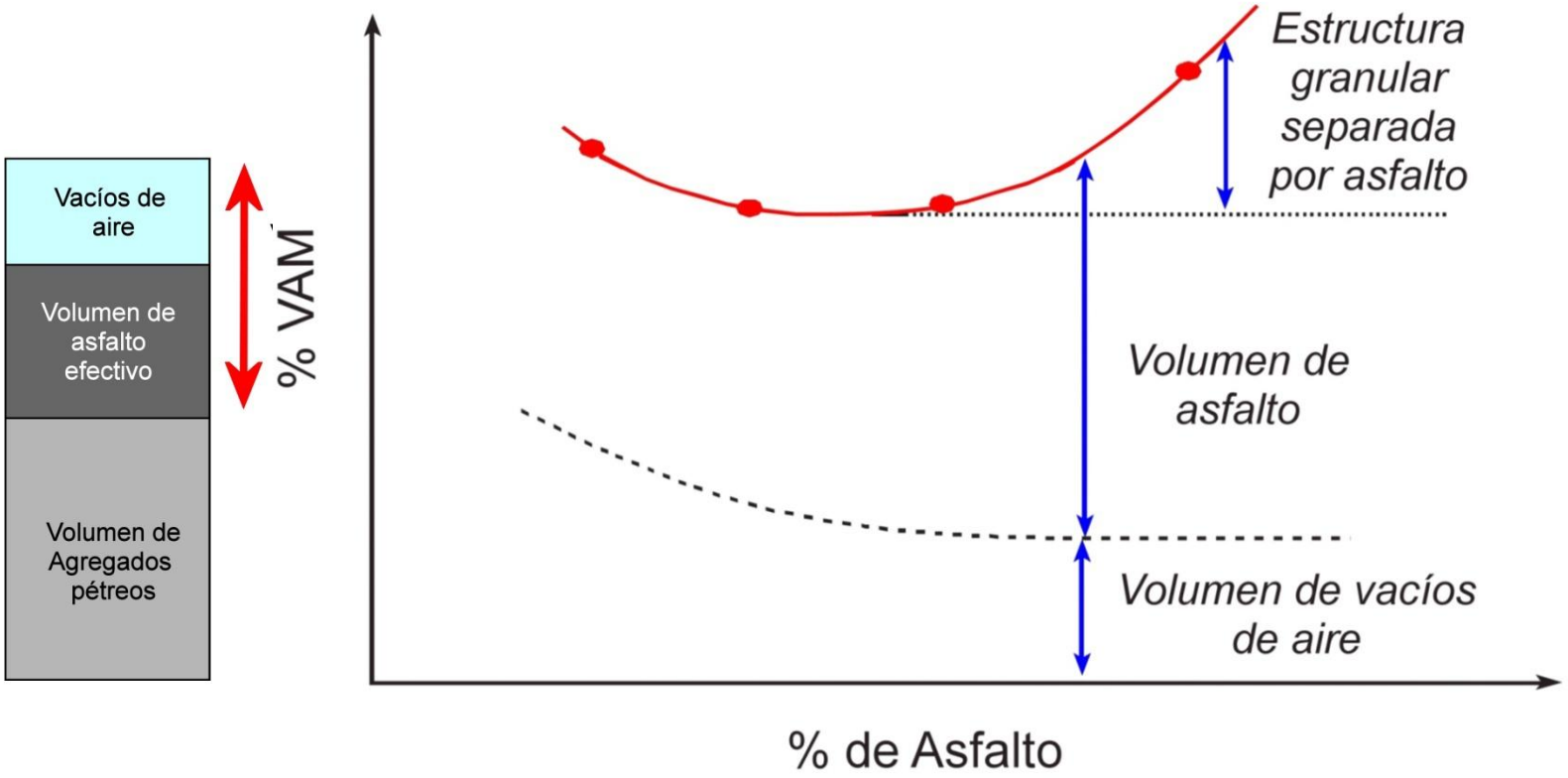
Dosificación del Contenido de Ligante



Procedimiento de Ensayo Marshall

Dosificación del Contenido de Ligante

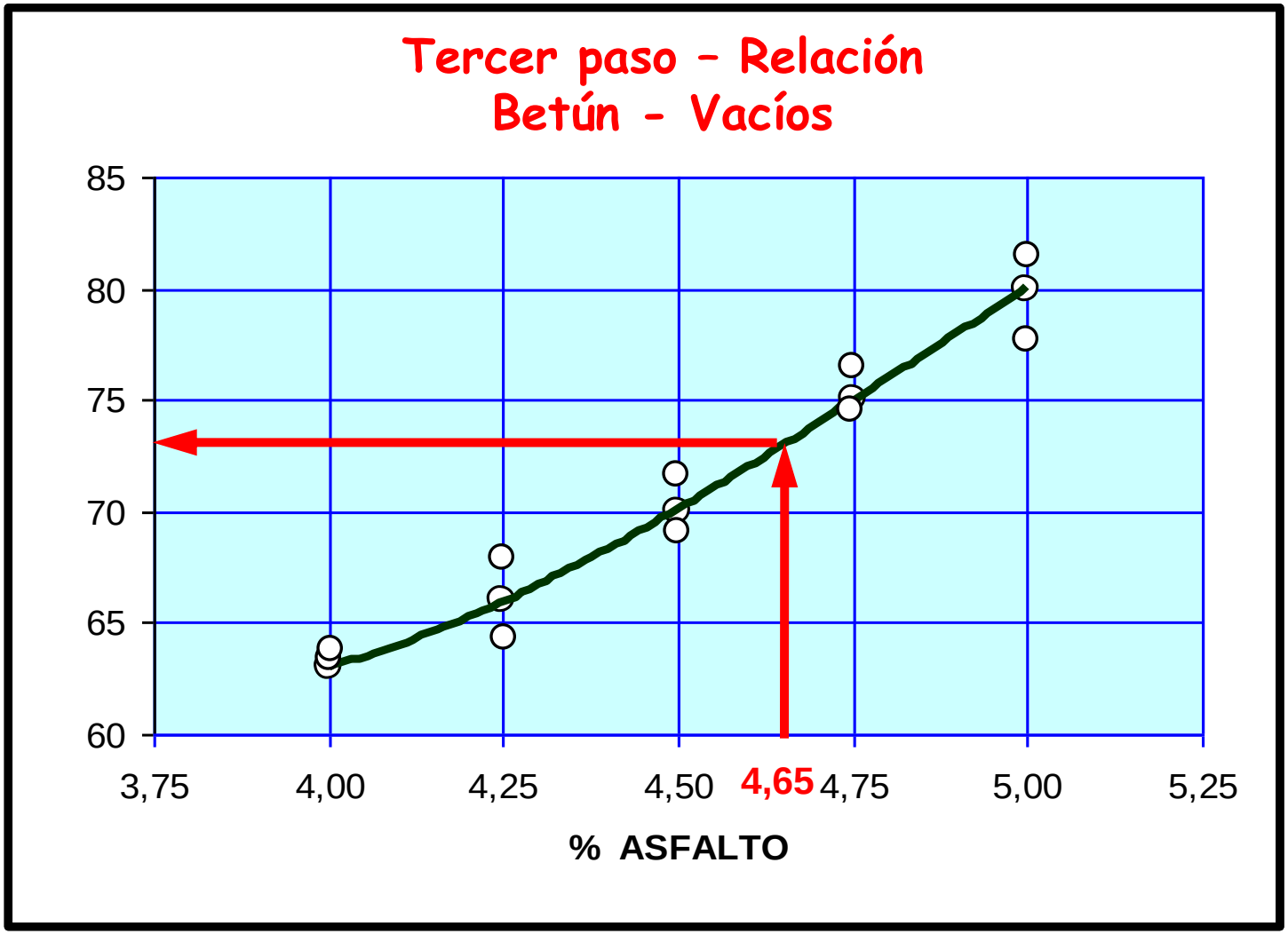
Segundo paso – VAM



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

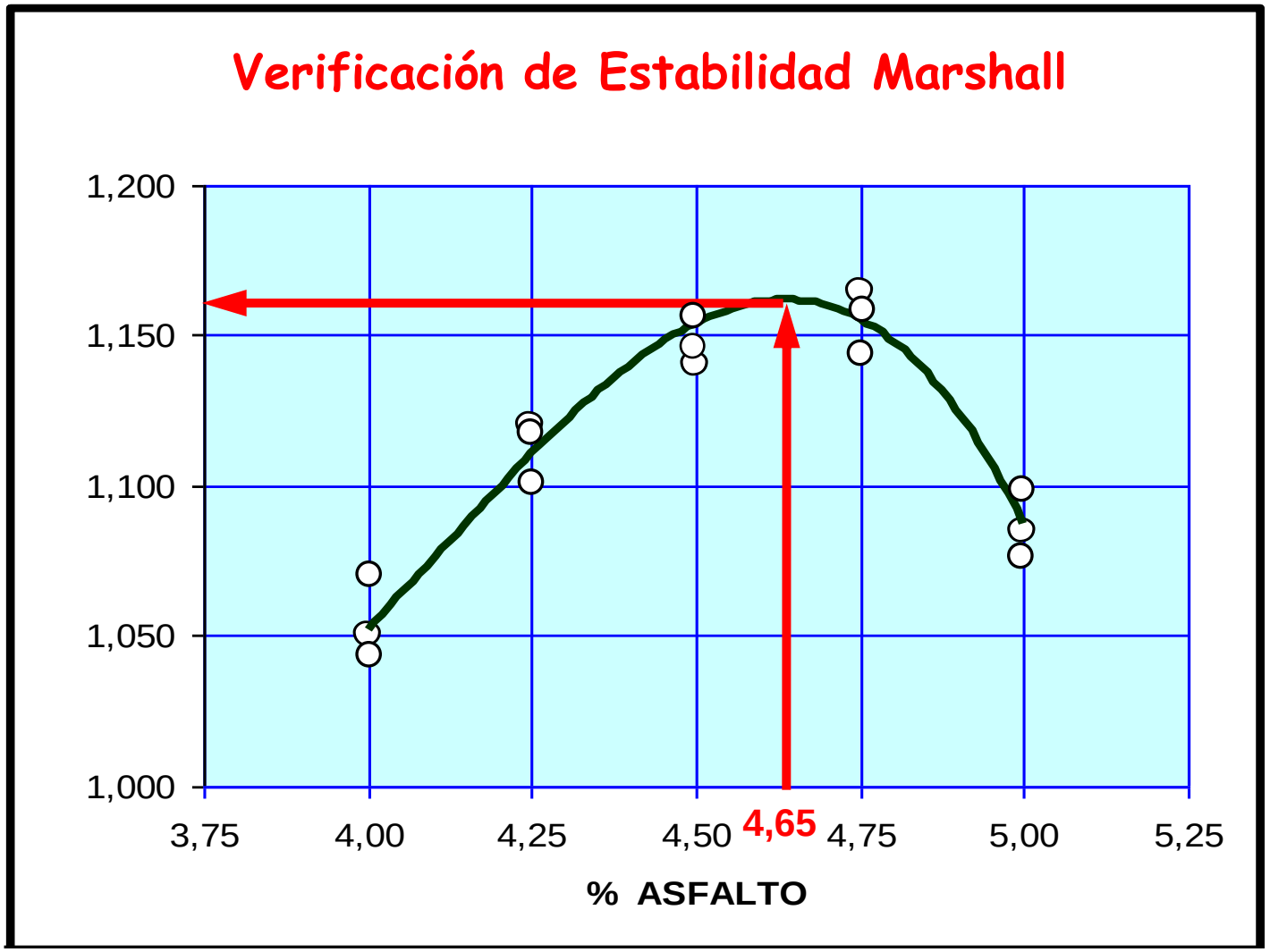
Dosificación del Contenido de Ligante



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

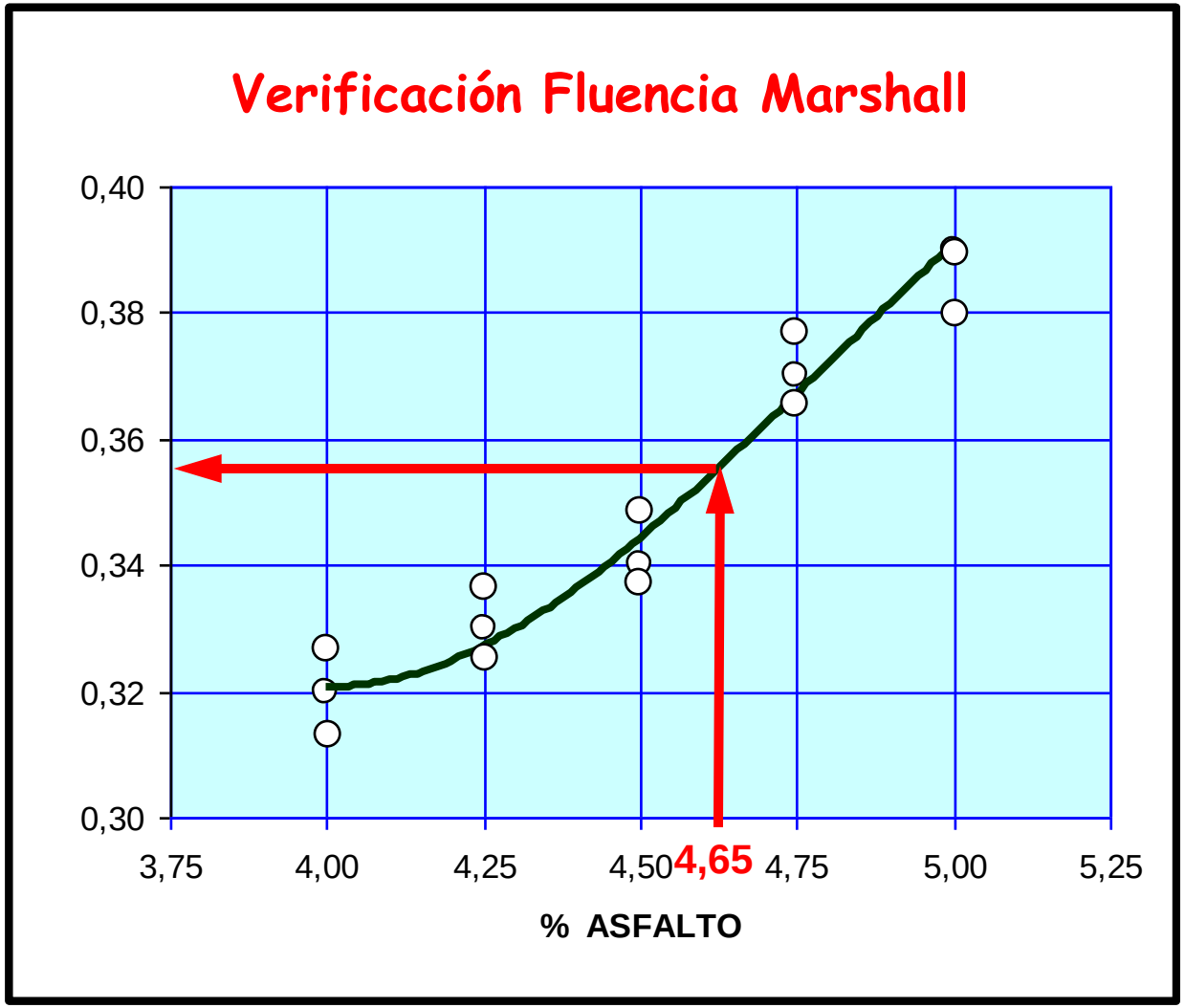
Dosificación del Contenido de Ligante



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

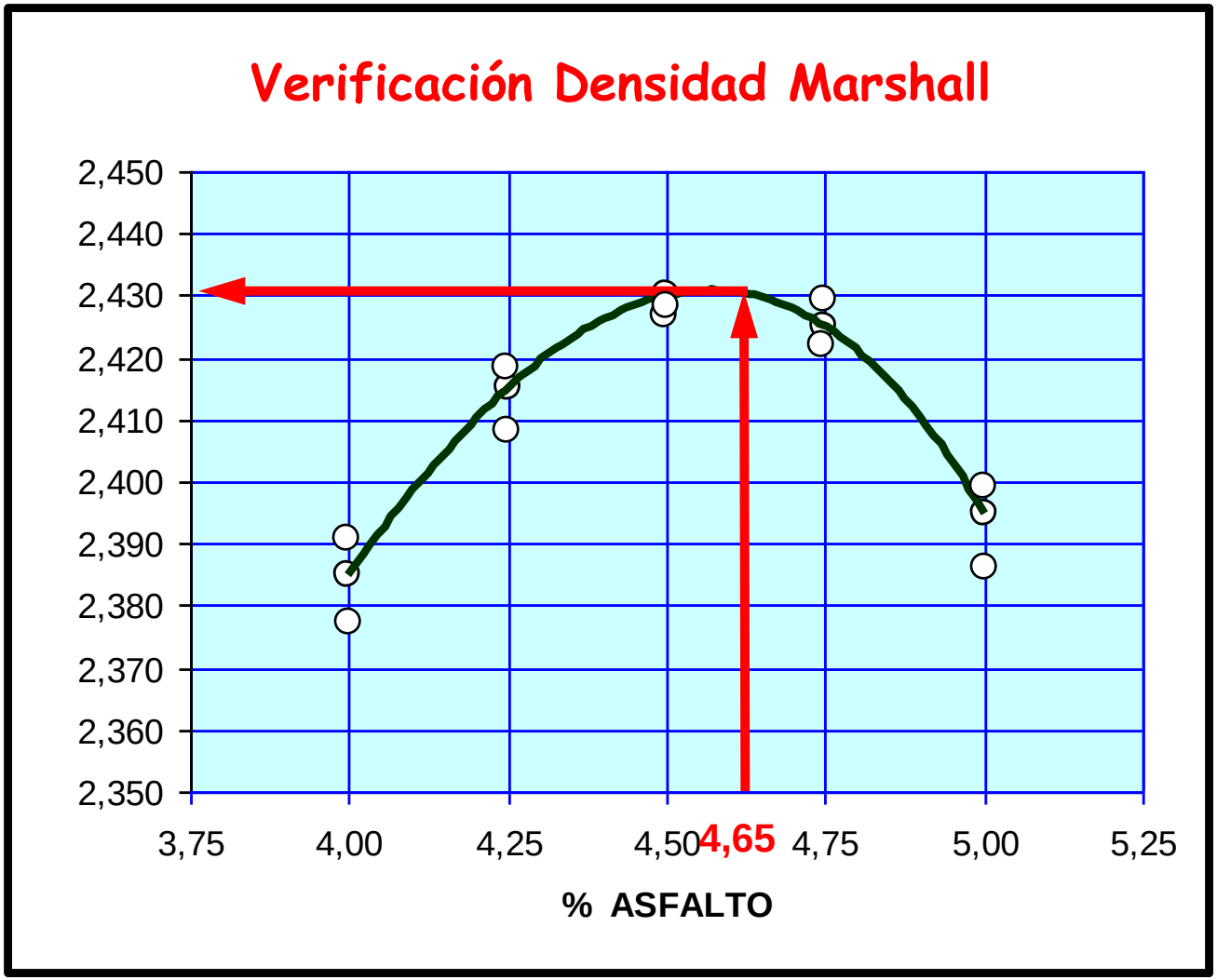
Dosificación del Contenido de Ligante



DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Procedimiento de Ensayo Marshall

Dosificación del Contenido de Ligante



Aspectos Complementarios de la Dosificación Marshall

Verificaciones recomendadas para la dosificación adoptada

Una vez seleccionado el contenido de asfalto, deben realizarse ***comprobaciones adicionales*** sobre la mezcla

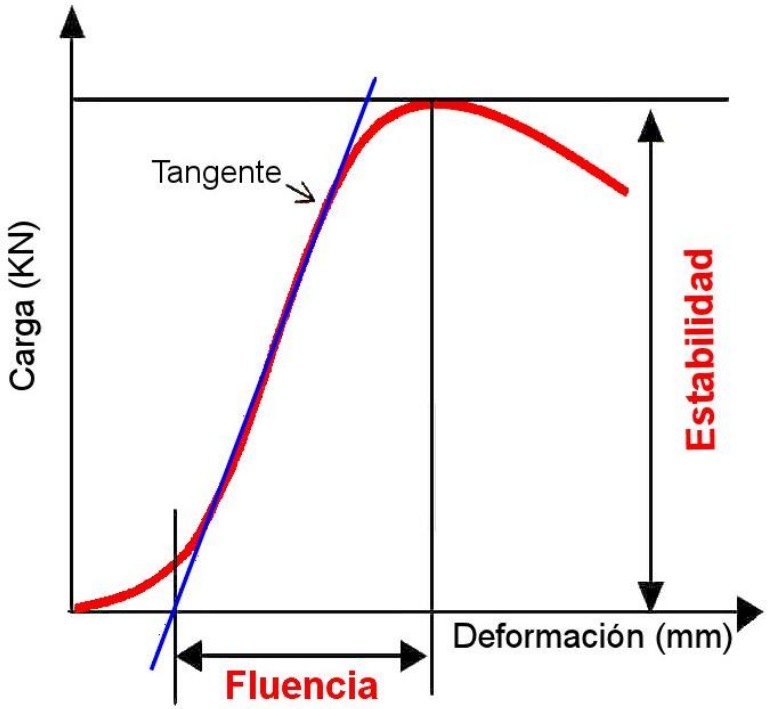
Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios
Propiedades Mecánicas

Ensayo de compresión diametral semi confinado sobre probetas cilíndricas

Es aplicable sólo a mezclas asfálticas que contengan agregados con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm

La probeta se lleva a rotura deformándola a 50,8 mm por minuto a 60 °C de temperatura



La carga de rotura se denomina **Estabilidad** y la deformación **Fluencia**

Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a las Deformaciones Permanentes

A la Estabilidad Marshall suele adjudicársele correlación con la resistencia de la mezcla a las deformaciones permanentes

Sin embargo, muchas veces, la experiencia ha demostrado que esta asociación es errónea

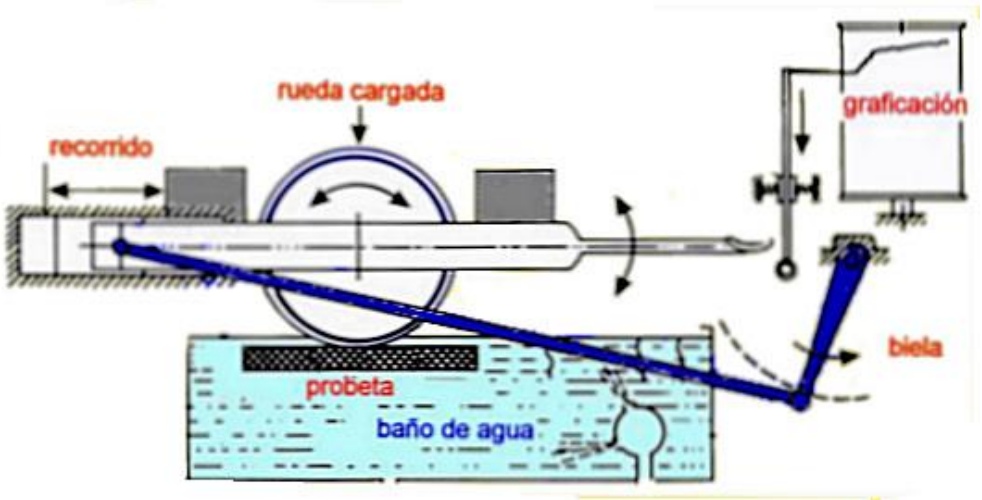
Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a las Deformaciones Permanentes

Definida la dosificación del ligante, debe verificarse la capacidad de la mezcla para resistir las deformaciones permanentes que le impone el tránsito

Ensayo de **rueda cargada** (Wheel Tracking Test)



Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a las Deformaciones Permanentes

Ensayo de rueda cargada

Consiste en someter una probeta de mezcla asfáltica, al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura

Parámetros que se informan:

- Profundidad Huella (mm)
- Pendiente de ahuellamiento ($mm/10^3$ ciclos)

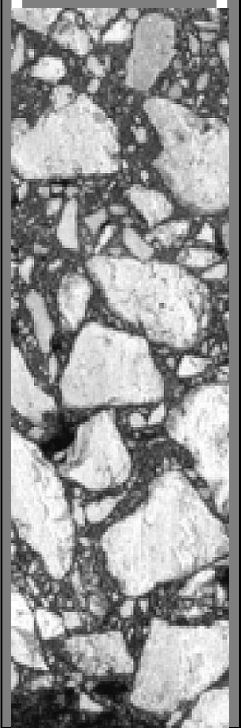
Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a la Acción del Agua

Pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre la cohesión de mezclas asfálticas

- Ensayo de inmersión - tracción por compresión diametral **resistencia conservada**
- Ensayo de **hervido de Texas**
- Ensayo de Estabilidad Remanente Marshall, (con limitaciones)



Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a la Acción del Agua

Ensayo de susceptibilidad al agua: Tracción por compresión diametral

Pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre la interfase ligante - agregado

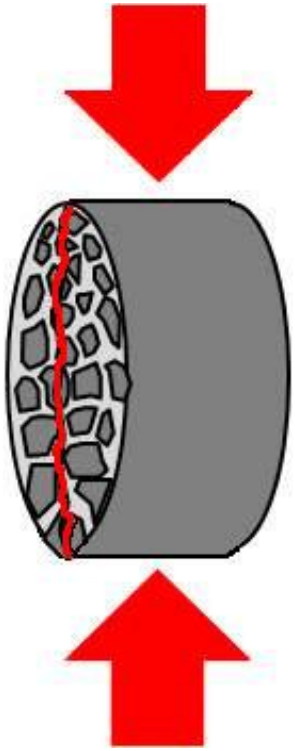
Ensayo de inmersión - tracción por compresión diametral

Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a la Acción del Agua

Se obtiene un **índice numérico de la pérdida de cohesión** producida al comparar las resistencias a tracción por compresión diametral, entre probetas mantenidas al aire y probetas duplicadas sometidas a la acción del agua por un tiempo y a una temperatura dada



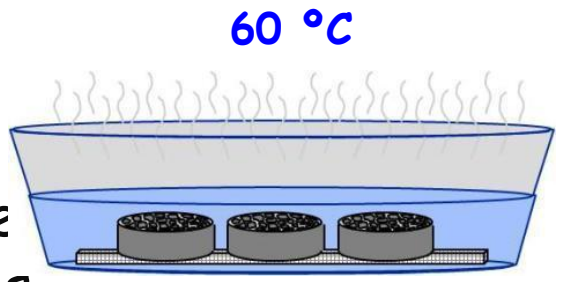
Debe destacarse que el Índice de Estabilidad Residual (VN-E32), Marshall al 100 % de compactación no presenta sensibilidad adecuada para evaluar el daño

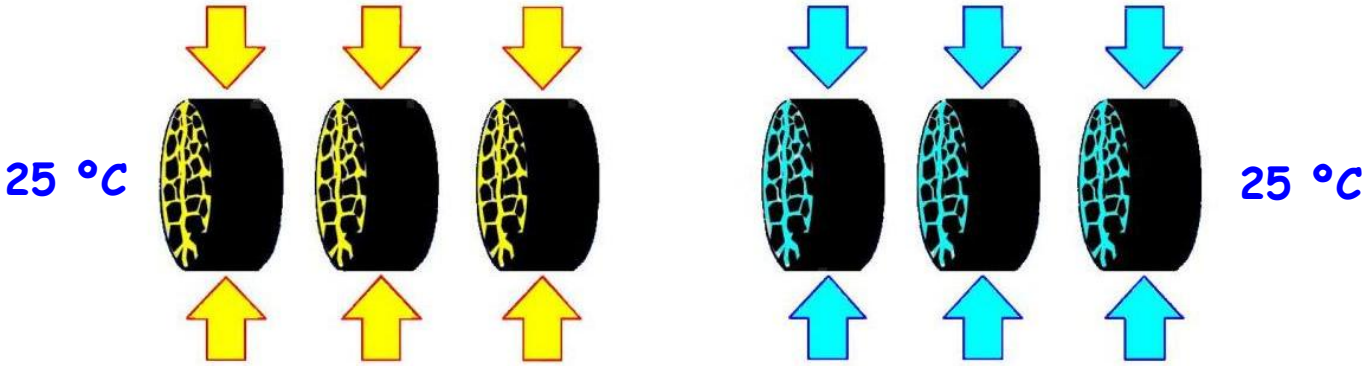
Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Resistencia a la Acción del Agua

Al solo efecto de **poner de manifiesto de un modo más directo la acción del agua** sobre la mezcla, el moldeo de las probetas se efectúa con un tenor mínimo de vacíos de aire entre 6,5 y 7,5 %, con independencia de los vacíos con que fue dosificada y se coloque la mezcla





Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Procedimiento de hervido

El ensayo de hervido de Texas fue desarrollado por Kennedy y colaboradores en 1984

Verificación expeditiva de la pérdida de adhesividad del ligante con el agregado

Una fracción de la mezcla suelta se somete 10 minutos a hervido en agua destilada y se aprecia el grado de descubrimiento de los agregados

Es un procedimiento cualitativo que puede emplearse para comparar los efectos de un agente mejorador de adherencia

Procedimiento de Ensayo Marshall

Aspectos Complementarios

Adición de Cal

- Aditivo multifuncional en la mezcla asfáltica.
- Actúa como mejorador de adherencia ligante – agregado
- Incrementa la consistencia del sistema filler – betún
- Mezclas con mejor aptitud para resistir deformaciones permanentes
- Reduce de la oxidación del ligante y el envejecimiento
- Disminuye la susceptibilidad térmica del ligante
- Trabaja sinérgicamente de múltiples modos mejorando la calidad de la mezcla
- En cementos asfálticos modificados con polímeros se complementa en mejorar las propiedades de la mezcla

Conceptos Generales

Concentración Crítica de Filler

El agregado de fillers a los betunes asfálticos, eleva el punto de ablandamiento y la resistencia a la tracción, en tanto decrece la penetración y la ductilidad

Estos cambios son aproximadamente proporcionales al contenido de filler hasta un cierto **valor crítico**; superado éste, el sistema filler – betún tiende a comportarse como un **sólido rígido**. Corresponde a la distribución del filler dentro del asfalto en el estado más suelto posible, pero con contacto entre partículas

Se denomina concentración crítica de filler a aquella situación donde **el sistema filler – betún deja de ser viscoso**, y se designa con el símbolo ***Cs***

Conceptos Generales

Conceptos sobre durabilidad de la mezcla

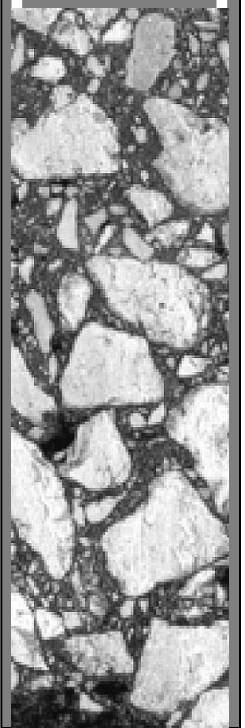
Las granulometrías densamente graduadas con agregados resistentes, contribuyen de a la durabilidad por:

a) Provee de mayor cantidad de contactos entre agregados

b) Los agregados resistentes soportan mejor la degradación bajo tránsito

c) Se logra una mayor impermeabilidad

La insuficiente durabilidad es la causa de diversos tipos de fallas en el pavimento



Conceptos Generales

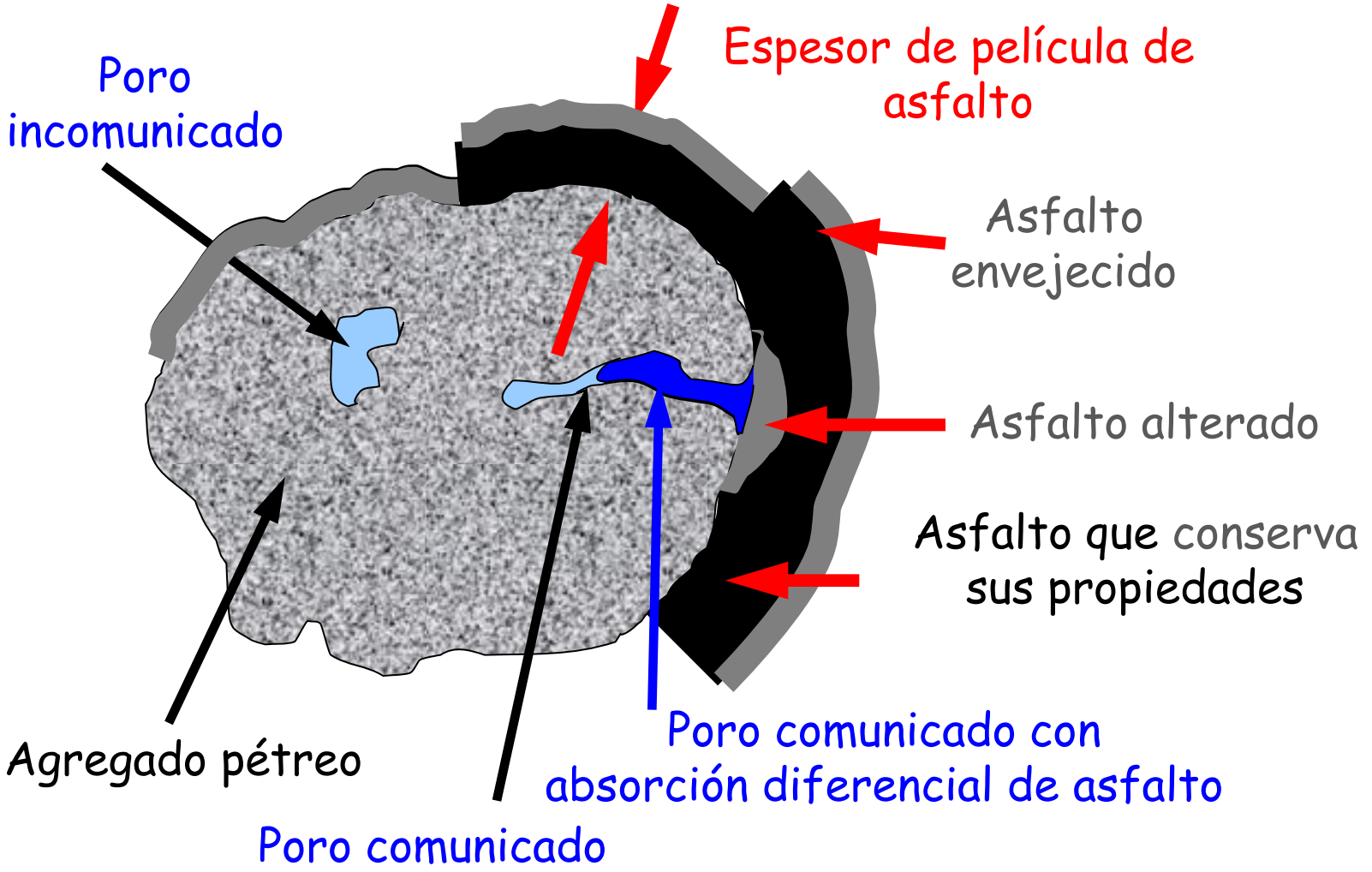
Conceptos sobre durabilidad de la mezcla

¿Cómo Mejorar la Durabilidad?

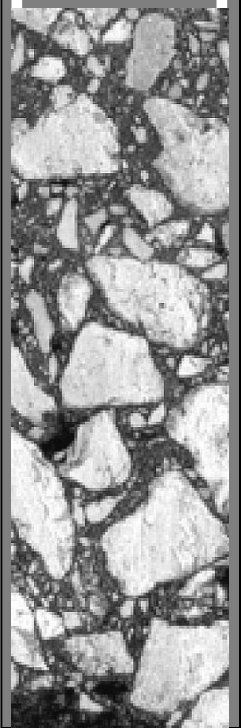
- Con el empleo de la máxima cantidad de ligante posible
- Con el incremento de la calidad del ligante
- Con el empleo de agregados resistentes
- Con el empleo de cal o filler calcáreo
- Manteniendo las temperaturas de mezclado y compactación en los rangos especificados
- Diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad al agua y al aire

Conceptos Generales

Conceptos sobre durabilidad de la mezcla



Conceptos Generales



Espesor de Película de Ligante

El volumen del asfalto efectivo se calcula en base al contenido de asfalto, su peso específico y el % de asfalto absorbido por los agregados

El área superficial de los agregados se calcula en base a su granulometría y su peso específico

Existen factores para calcular la superficie de cada fracción y a partir de ello puede determinarse el espesor medio de la película de ligante

Conceptos Generales

Compactabilidad de la Mezcla

Conceptos Generales

Compactabilidad de la Mezcla

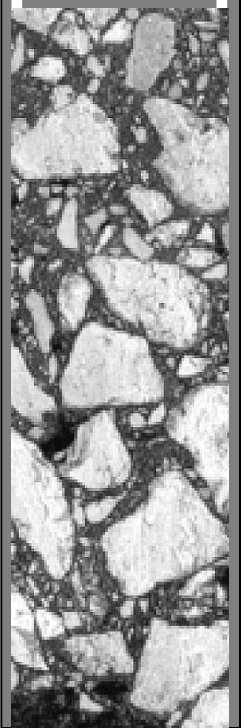
Índice de compactabilidad

Mediante un índice se expresa la aptitud de la mezcla para ser densificada bajo el esfuerzo de compactación adoptado

Se calcula relacionando las densificaciones de probetas moldeadas con diferentes energías de compactación

$$Ic = \frac{\log n/n'}{Dn - Dn'}$$

- **n** = N° de golpes empleado en la dosificación
- **n´** = N° menor de golpes
- **Dn** y **Dn´** = densidades alcanzadas para cada energía



Conceptos Generales

Establecimiento de la Fórmula de Obra

¡¡¡ No es estática !!!

¡¡¡ Es dinámica !!!

Debe recrearse en función de modificaciones en los materiales y / o debido a ajustes en los procesos de producción y colocación

Marshall y el Control de Calidad en el Camino

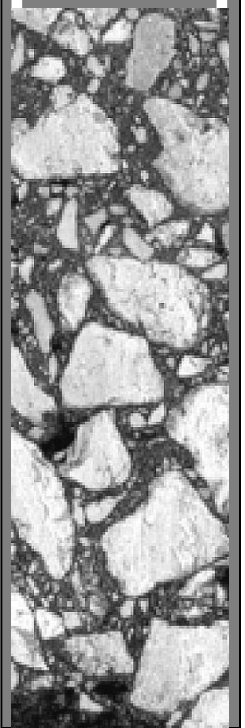
Es muy común emplear la denominada **"densidad Marshall"** como parámetro de referencia para el control de densificación en el terreno. Esta forma de control es limitada y debe reemplazarse

El moldeo de probetas Marshall durante la producción genera especímenes que no pueden recrearse sin alterar las condiciones en que fueron confeccionados

Se parte de un patrón de medida que no ofrece confianza y confiabilidad.

La dependencia de varios factores torna vulnerable este elemento como patrón de cotejo

La **Comisión Permanente del Asfalto**, ha elaborado un proyecto de especificaciones generales para mezclas asfálticas, que incorpora el concepto de control de compactación en el camino mediante vacíos

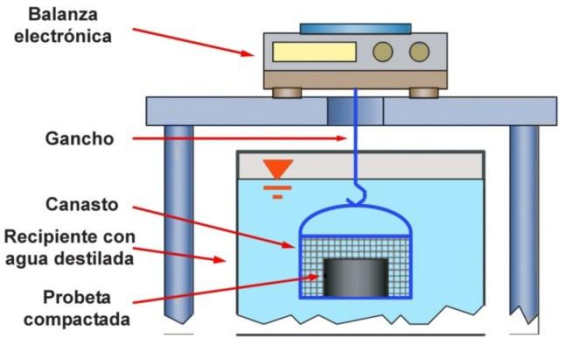


DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

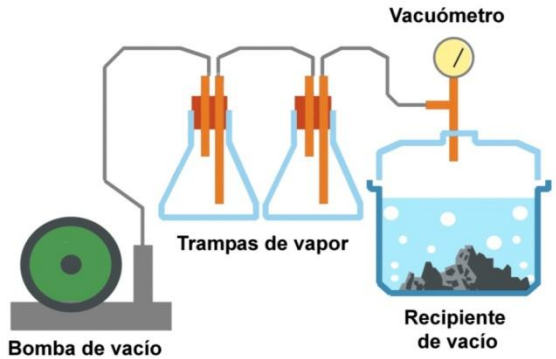
Marshall y el Control de Calidad en el Camino

Los vacíos de aire deben encontrarse entre el 3 y el 6 % y con un desvío estándar no superior a 1,5 %

El cálculo de los vacíos ofrece más confiabilidad que la referencia de densidad Marshall. Además, posibilita la repetición de determinaciones



Determinación del peso sumergido



Saturación por vacío para determinar el peso específico máximo de mezclas asfálticas

Consideraciones Finales

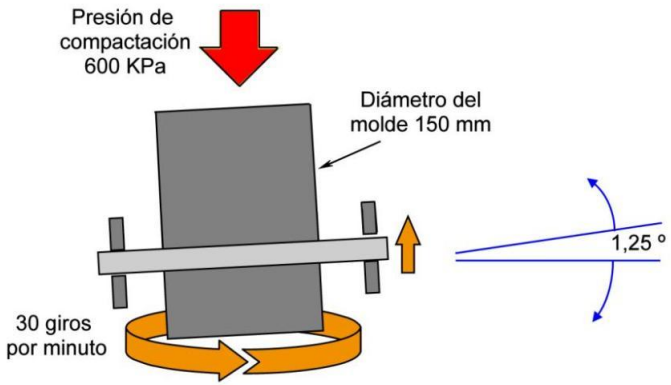
Resistencia a las Deformaciones Permanentes

Ensayo de Tracción Indirecta y la Aptitud a la Deformación Permanente

Tracción indirecta: ensayo promisorio para la evaluación rutinaria de la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas

Realizado sobre probetas de 15 cm de diámetro compactadas con el compactador giratorio SHARP

Ensayo a 50 °C yvelocidad de deformación de 3,75 mm/minuto, o a 50 mm/min a una temperatura 20 °C inferior al promedio de máxima temperatura del pavimento durante 7 días en el año



Consideraciones Finales

Resistencia a las Deformaciones Permanentes

Guía para interpretar la tensión de rotura en el ensayo de tracción indirecta a altas temperaturas		
Nivel de Tránsito de Diseño* N	**Categoría de resistencia al ahuellamiento**	**Resistencia a tracción indirecta (KPa) a 50 ºC y 3,75 mm/m**
-	Muy pobre	< 50
< 0,3	Pobre	50 a < 110
0,3 a < 0,3	Mínima	110 a < 170
3 a < 10	Regular	170 a < 270
10 a < 30	Buena	270 a < 430
30 a < 300	Muy buena	430 a < 660
100 a < 300	Excelente	≥ 660

Consideraciones Finales

Caracterización de la Mezcla

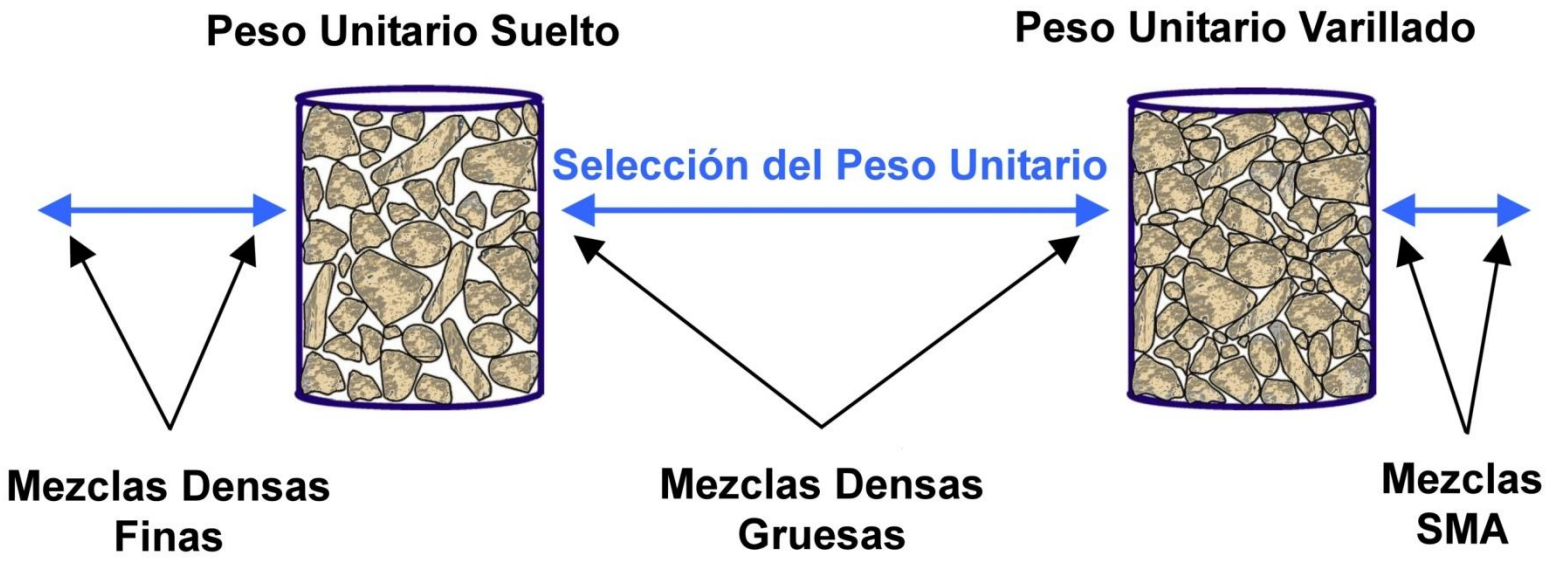
Recomendado:

Módulo dinámico de deformación.
Caracterización de la mezcla para su chequeo estructural por métodos racionales

Consideraciones Finales

Diseño de la Estructura Granular
Procedimiento de Bailey

Procedimiento desarrollado para optimizar la trabazón intergranular y proveer adecuadas proporciones volumétricas

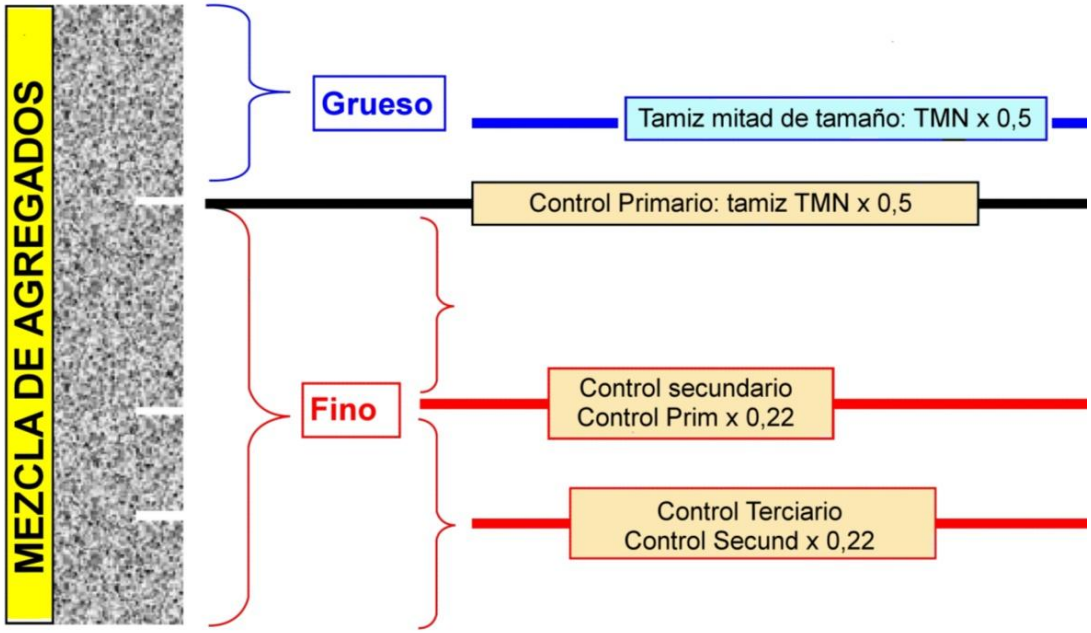


Procedimiento de Bailey: Selección del Peso Unitario

Consideraciones Finales

Diseño de la Estructura Granular
Procedimiento de Bailey

- Trabazón intergranular de la fracción gruesa
- Definición de fracciones gruesa y fina
- Combinación los agregados por volumen
- Análisis la mezcla de áridos

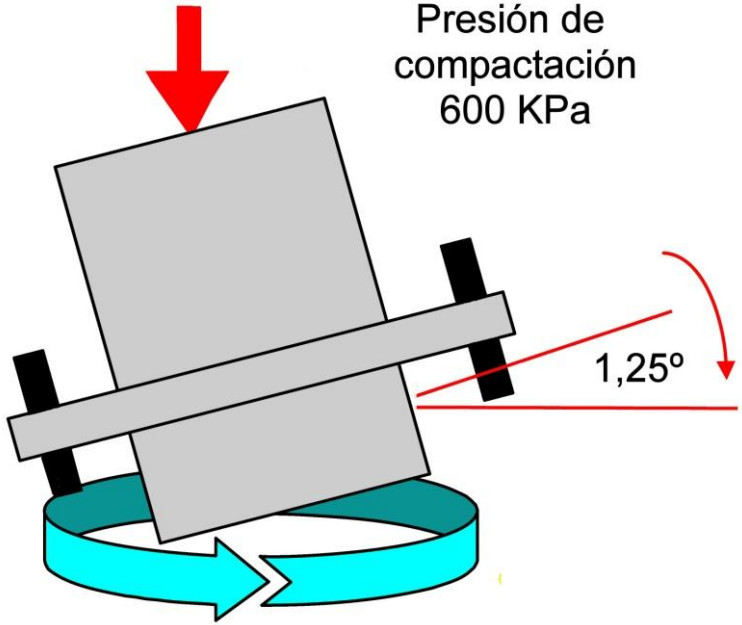


Consideraciones Finales

Hacia el Compactador Giratorio Superpave

El compactador giratorio Superpave es un procedimiento mejorado para la compactación de mezclas asfálticas

Su aceptación como el instrumento adecuado para compactación de laboratorio parece ser casi universal



MUCHAS GRACIAS

POR LA ATENCIÓN