



PRE-XVII CONGRESO ARGENTINO  
**de Vialidad y Tránsito**

8º EXPOVIAL ARGENTINA

3 AL 6 DE NOVIEMBRE 2014

HOTEL PANAMERICANO - Buenos Aires, Argentina



# Principales causas del ahuellamiento Alcance del diseño de mezclas resistentes

*Ing. Rosana G. Marcozzi*  
*Comisión Permanente del Asfalto*

X CONGRESO INTERNACIONAL ITS

X SIMPOSIO DEL ASFALTO

II SEMINARIO INTERNACIONAL DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN



[www.congresodevialidad.org.ar](http://www.congresodevialidad.org.ar)

# Temario

- **Introducción:** definición de “ahuellamiento”
- **Causas principales y consecuencias.**
- **Propiedades de los materiales:** contribución a la resistencia a las deformaciones permanentes
- **Diseño de mezclas asfálticas de comportamiento superior**
- **Otros aspectos fundamentales**



# *Deformaciones permanentes*

## **QUÉ SON LAS DEFORMACIONES PERMANENTES DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE?**

Las deformaciones permanentes son un deterioro de la sección transversal del pavimento causado por la acumulación de deformaciones irrecuperables al finalizar cada aplicación de la carga de tránsito.

Junto con la fatiga y la fisuración térmica, la deformación permanente es considerada uno de los modos principales de falla de los pavimentos.

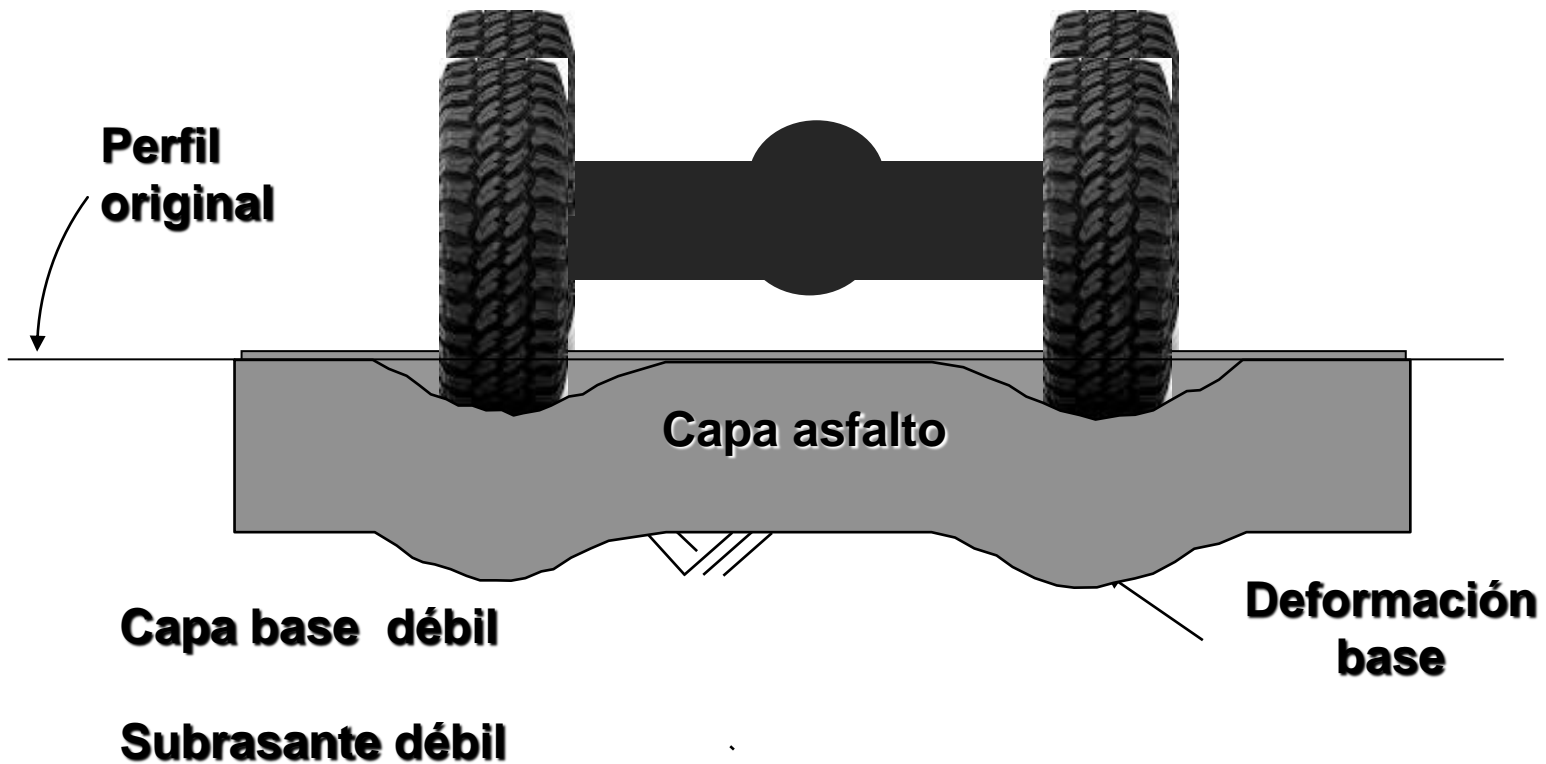
La manifestación de esta falla es una depresión canalizada en la dirección de circulación de los vehículos.





X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

# Ahuellamiento en base o capas inferiores





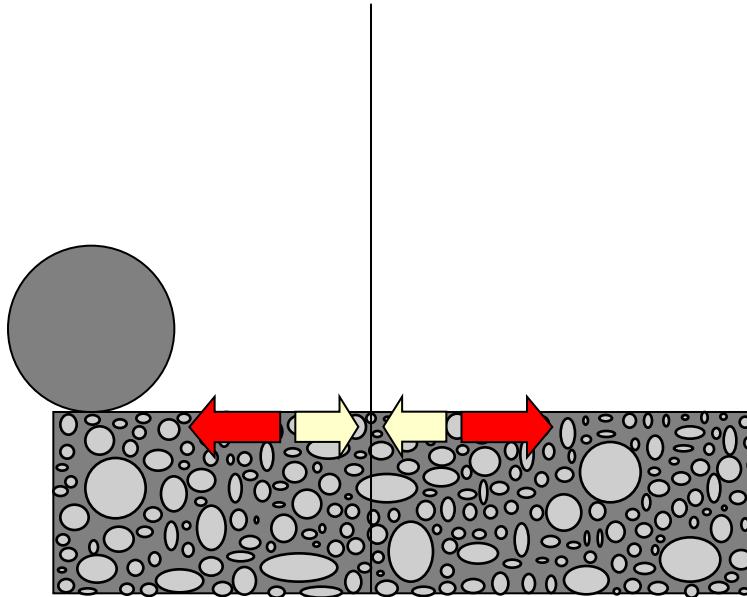
X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

# Ahuellamiento en capa asfáltica

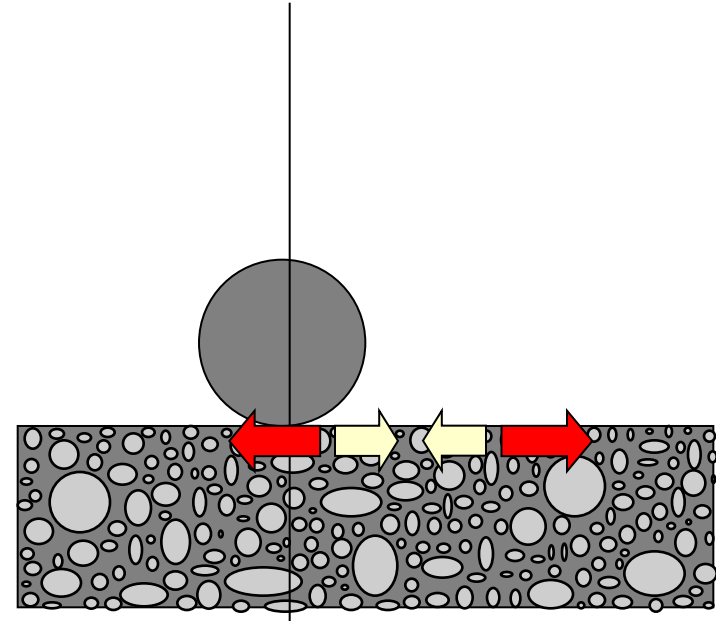




# *Deformaciones permanentes*



Paso de la rueda  
por la sección

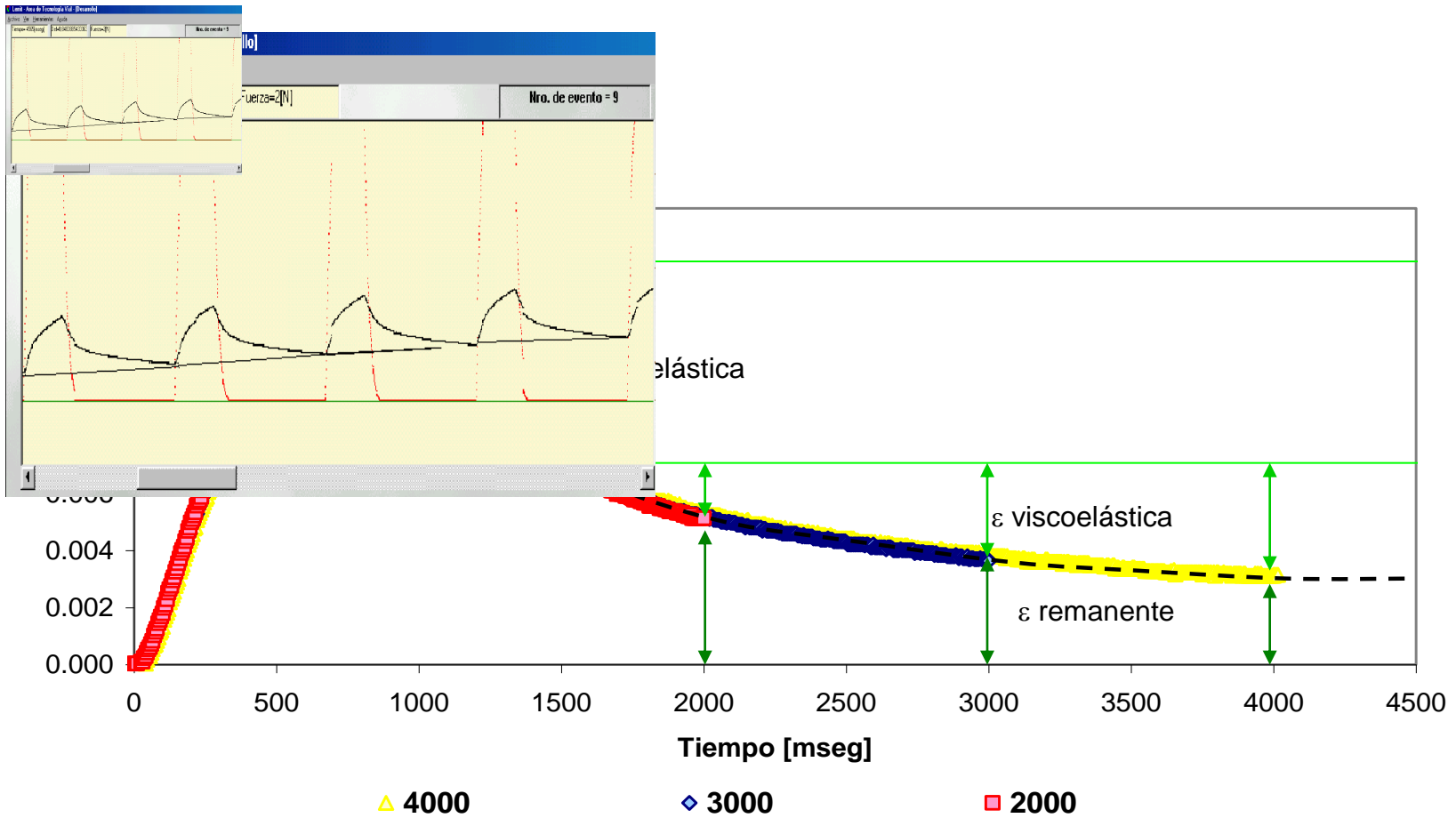


Luego del paso de la  
rueda por la sección



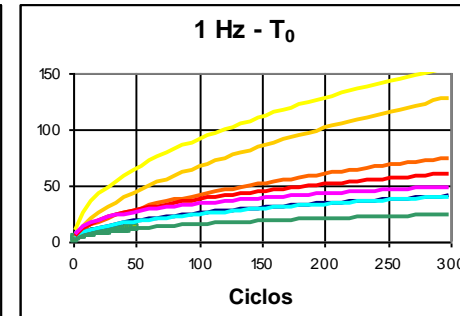
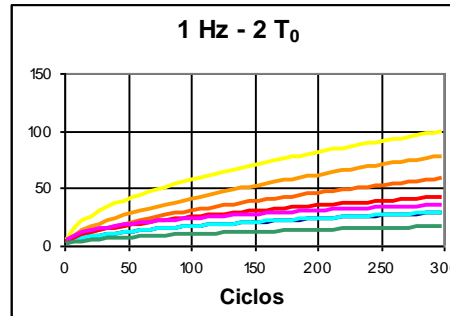
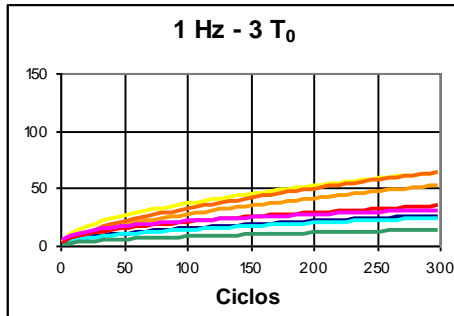
X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

# Deformaciones permanentes



# Deformaciones permanentes

$$\varepsilon_{\text{acum}} = a * N^b$$



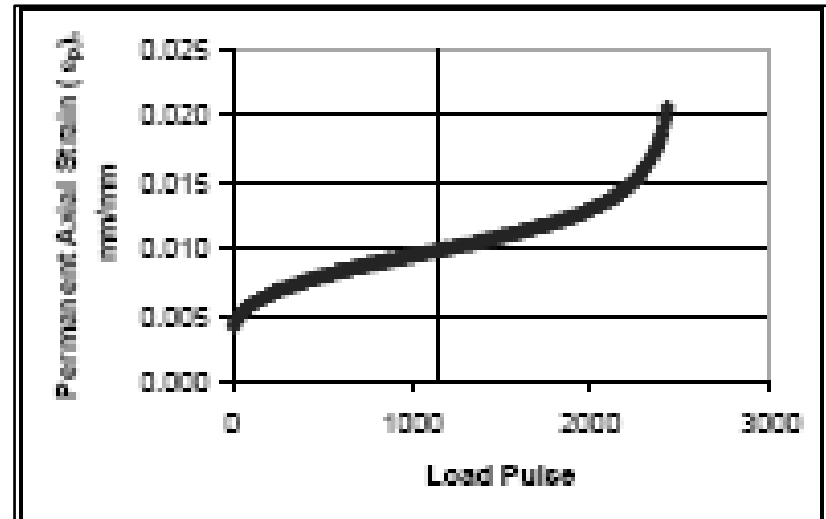
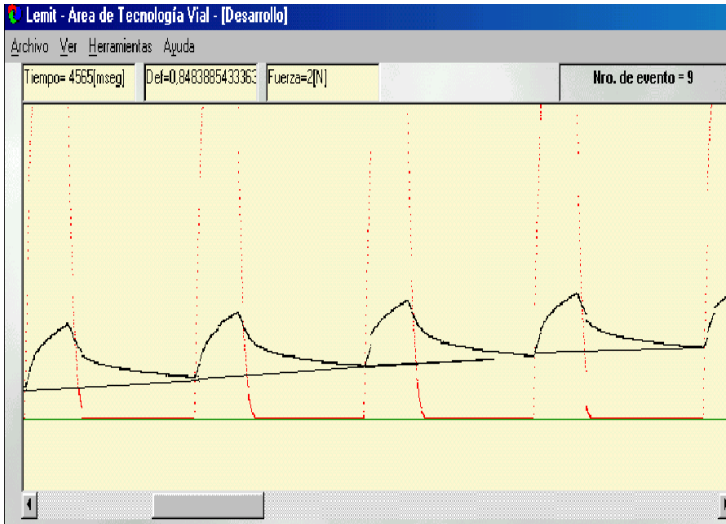
Dentro de los tiempos reales entre sucesivas cargas, las mezclas con asfaltos convencionales se ven nuevamente solicitadas antes de permitir importantes recuperaciones viscoelásticas. Esto permite que se alcance el límite de comportamiento lineal viscoelástico mucho antes que en las mezclas con asfaltos modificados con polímeros o con asfalto multigrado.





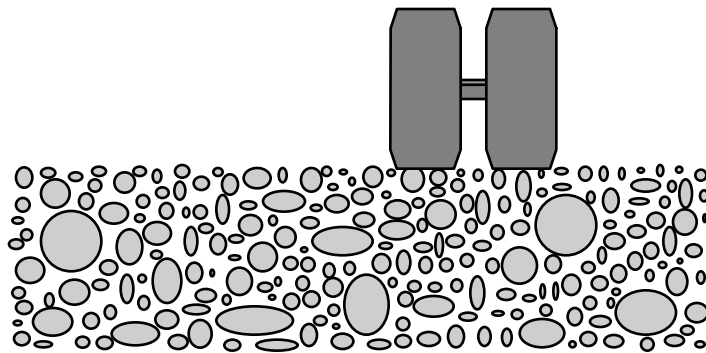
X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

# Deformaciones permanentes



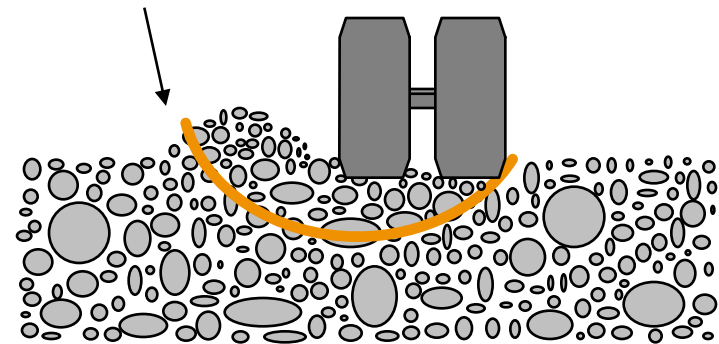
# *Deformaciones permanentes*

## COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ASFÁLTICO



**Antes de la carga**

### Plano cortante



**Después de la carga**

## *Causas principales*

- **Altas temperaturas**
- **Baja velocidad de circulación**
- **Altas cargas de tránsito**
- **Desacertada selección de materiales pétreos y/o ligantes asfálticos**
- **Diseños inadecuados al nivel de tránsito**
- **Falta de calidad en la producción y construcción**
- **Sobrecargas y la falta de control en el uso de las vías de comunicación**





X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

# Consecuencias



## *Aporte de los materiales*

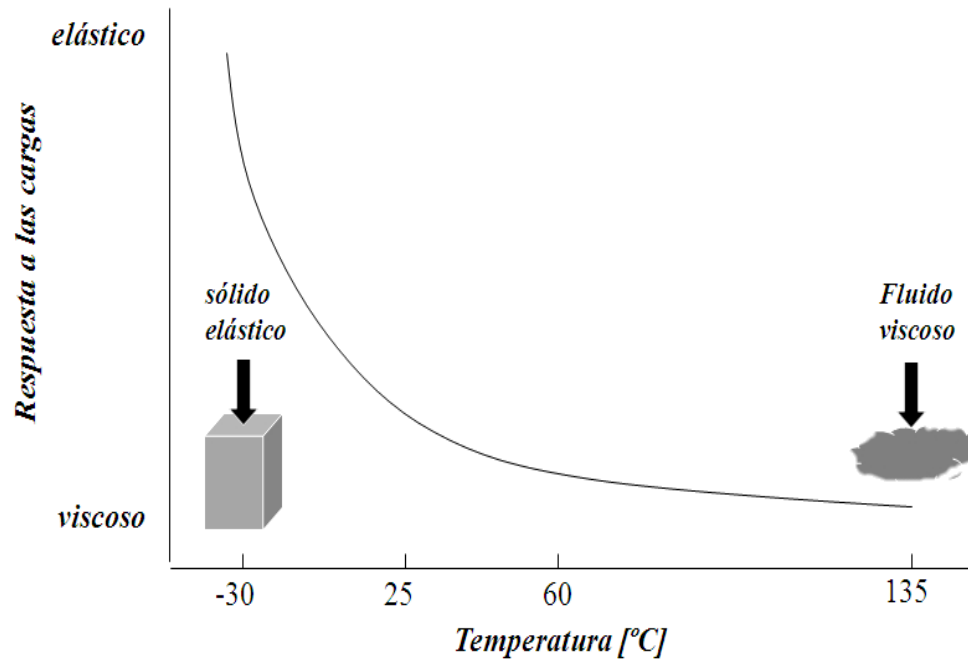
Asfalto: su aporte será función de Temperatura de servicio  
Tiempo de carga  
Edad (importante)

Agregados: su aporte será función de Forma de las partículas  
Características de superficie  
Gradación

El concreto asfáltico se comportará en función de

Comportamiento del asfalto  
Comportamiento del agregado  
Combinación de Características

# Aporte de los materiales: el asfalto



- $> T^0$  en pavimento
- $<$  frecuencia de sollicitación  $f$



$<$  Rigidez

- $< T^0$  en pavimento
- $>$  frecuencia de sollicitación  $f$

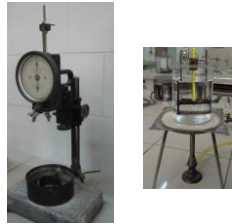


$>$  Rigidez

# *Aporte de los materiales: el asfalto*

Parámetros de evaluación de la contribución del asfalto a la resistencia al ahuellamiento

- Ensayos empíricos relacionados con la consistencia (penetración, punto de ablandamiento)



- Ensayos fundamentales relacionados con la consistencia (viscosidades)



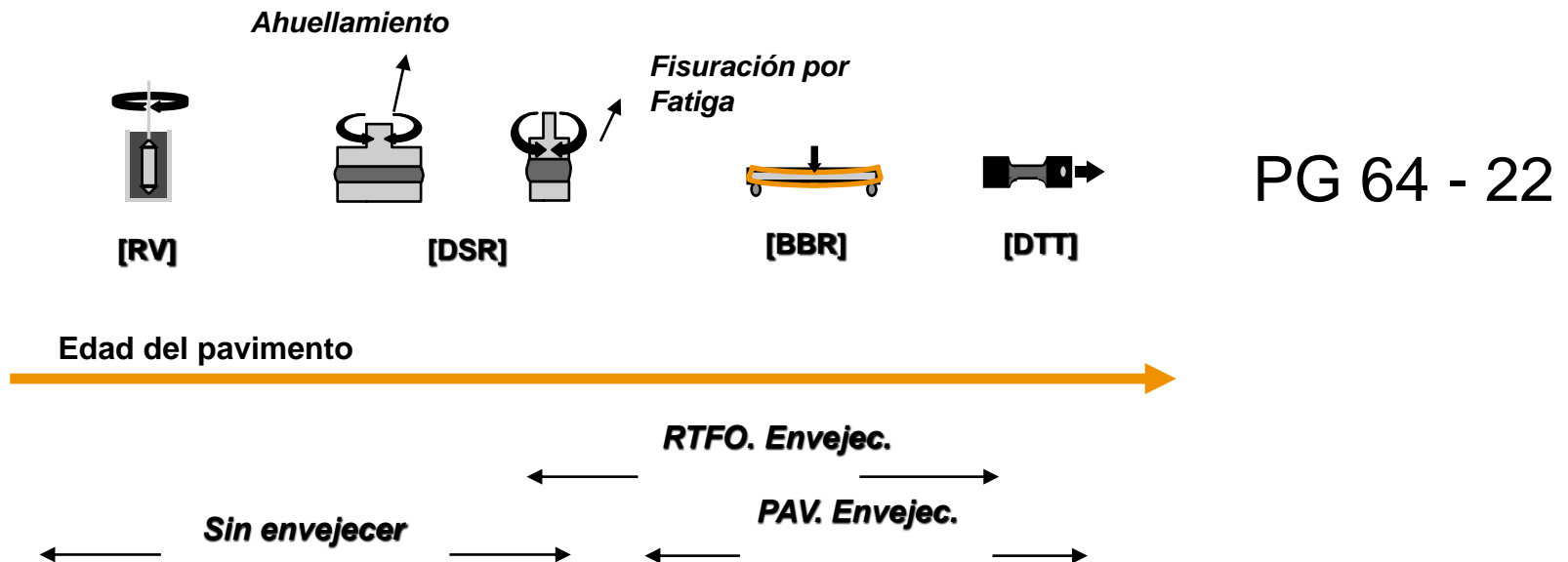
# Aporte de los materiales: el asfalto

Parámetros de evaluación de la contribución del asfalto a la resistencia al ahuellamiento

- Análisis mecánico dinámico de los ligantes
- Caracterización por desempeño PG (SHRP)



Buen desempeño del ligante en el rango de temperaturas definido





# Aporte de los materiales: el asfalto

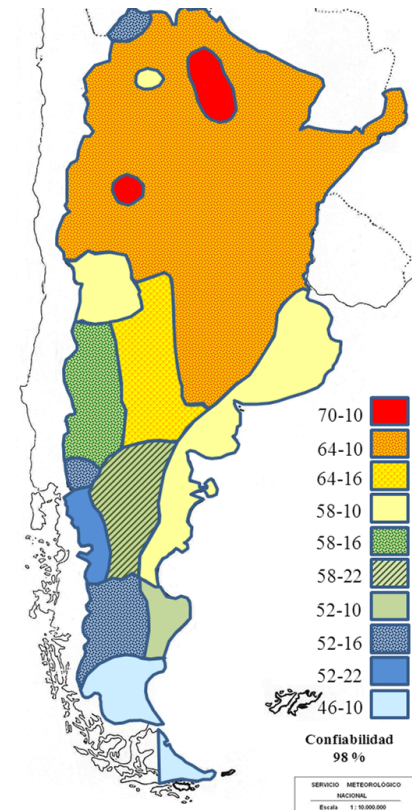
## Mapa de temperaturas de servicio para el control del ahuellamiento, losco y Agnusdei (1997)

Cálculo de temperaturas extremas:

- Registro de estaciones meteorológicas
- Análisis estadístico asumiendo una determinada confiabilidad

temperaturas  
extrema superior  
(de alta)

temperaturas  
extrema inferior  
(de baja)

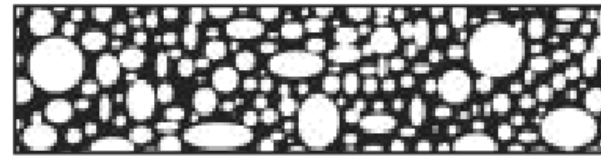


# Aporte de los materiales: los agregados

- Forma de las partículas: Angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino

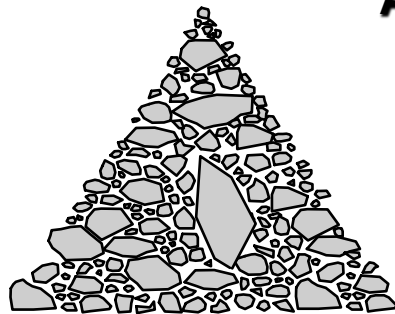


*Agregado Angular*

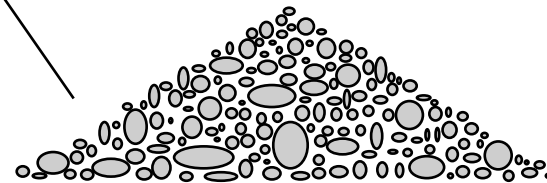


*Agregado redondeado*

**Fricción interna**  
**Angulo de reposo**



**Agregado Cúbico**



**Agregado redondeado**

## ***Aporte de los materiales: los agregados***

- Aporte del material llenante (filler): en función de sus propiedades y su concentración volumétrica puede contribuir a la resistencia al ahuellamiento al aportar rigidez al mástico (no siempre, es algo que hay que verificar).
- Gradación: la estructura de agregados pétreos aportará trabazón entre partículas en función de los husos granulométricos seleccionados.

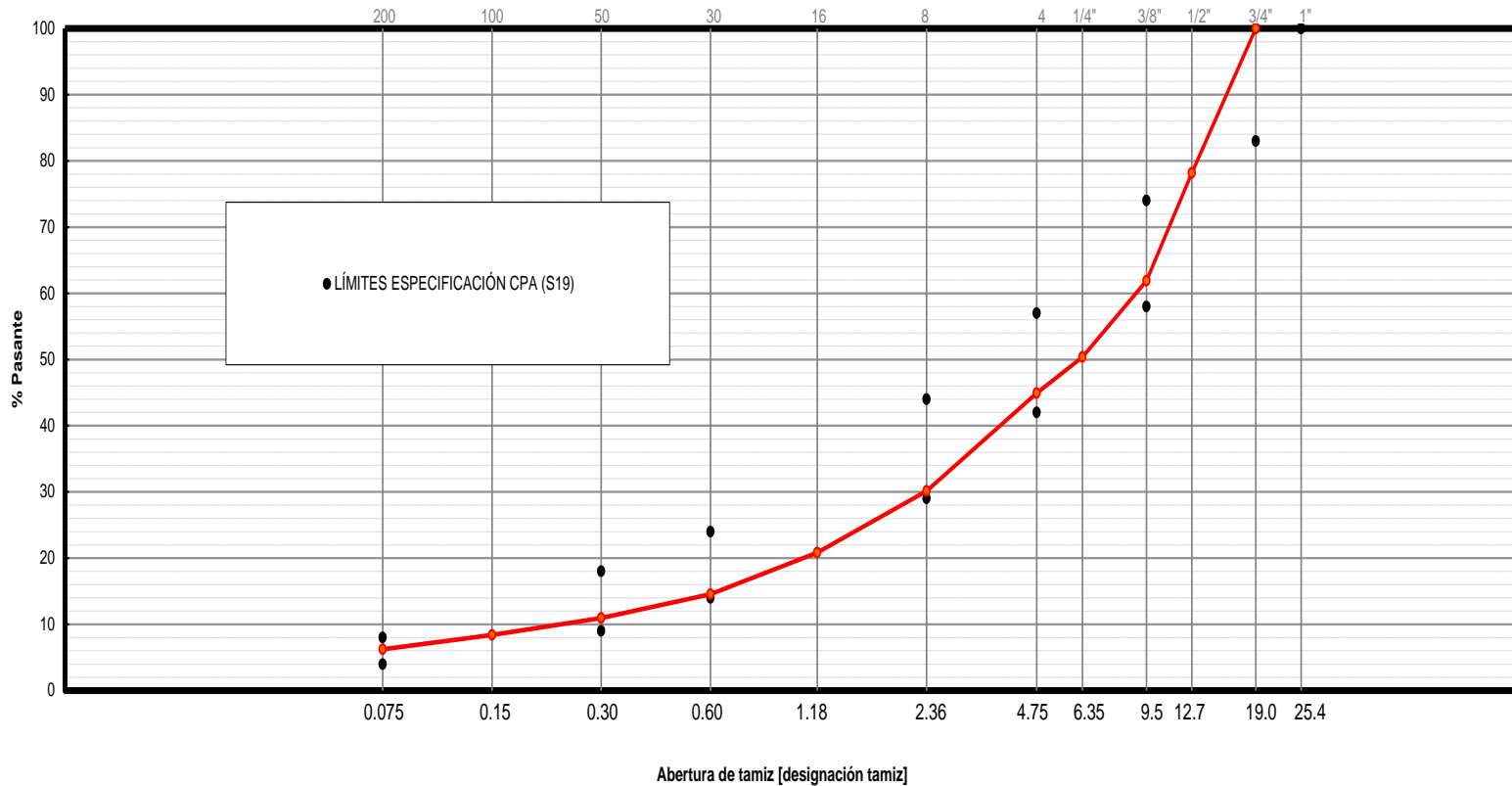
Las mezclas asfálticas fueron evolucionando a mezclas semidensas, SMA, F10, etc., en busca de una estructura de agregados más resistente.

Especial control en el contenido de vacíos, VAM, RBV



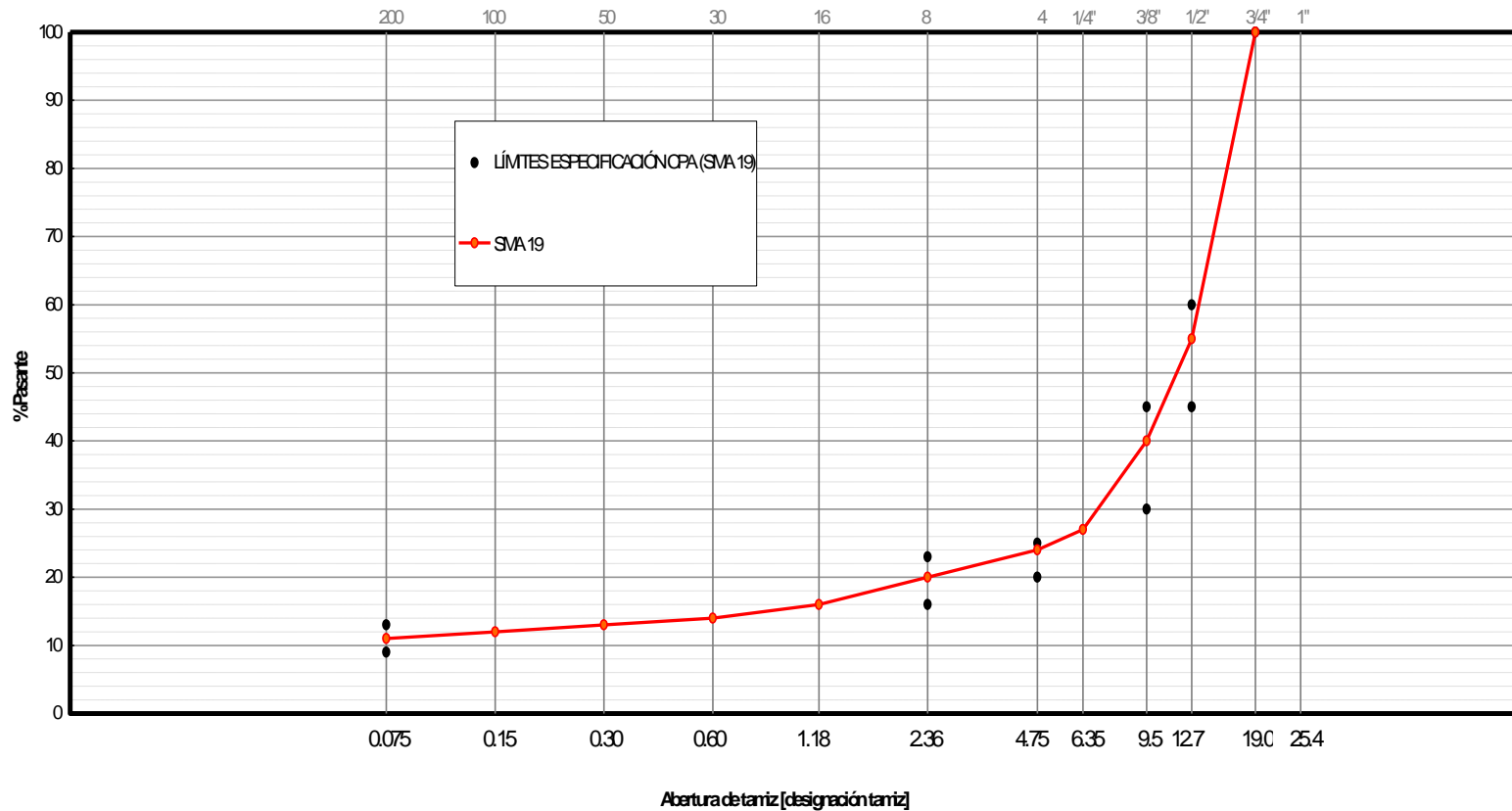
# Aporte de los materiales: los agregados

CURVA GRANULOMÉTRICA



# Aporte de los materiales: los agregados

CURVA GRANULOMÉTRICA



## **SMA (Stone Mastic Asphalt)**

- Agregados gruesos en contacto interparticular
- Vacíos del agregado grueso llenos de mastic rico en filler y asfalto
- Contenido mínimo de fibras
- Asfalto modificado o convencional

# Aporte de los materiales: los agregados

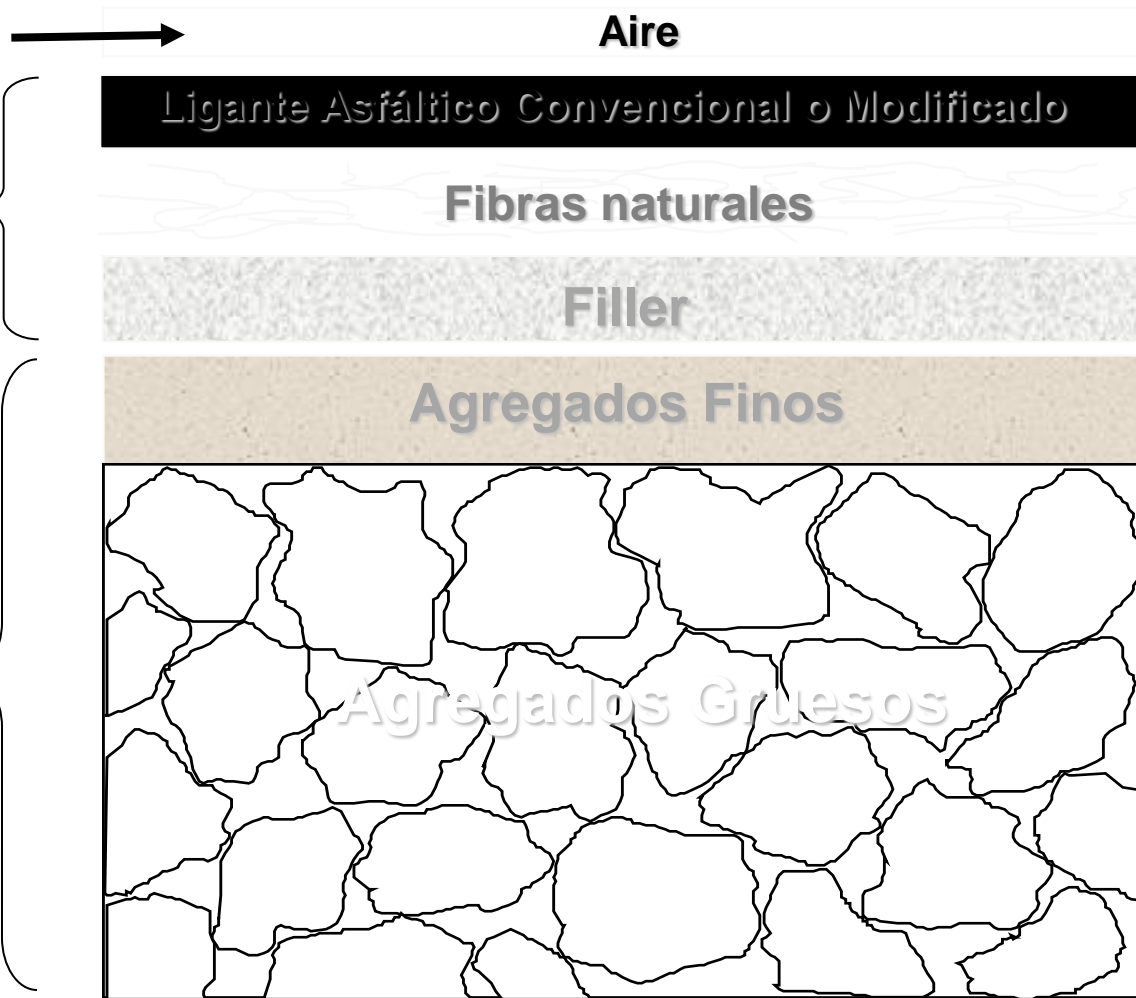
Componentes en Volumen

Va: 2-4 %

**Mastic**

VAM:

Min 17 %



RBV:

Min 75 %

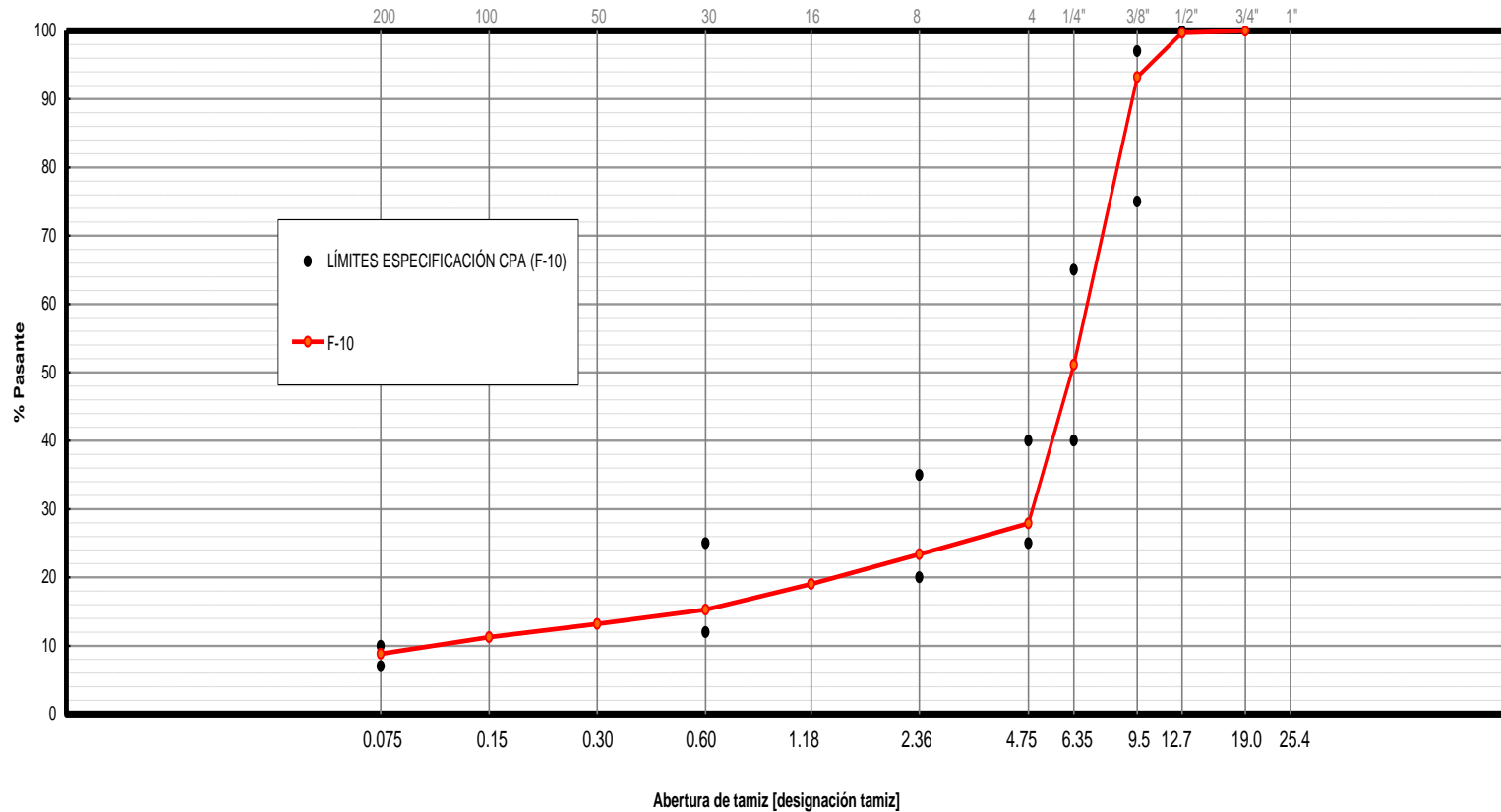
# *Aporte de los materiales: los agregados*





# Aporte de los materiales: los agregados

CURVA GRANULOMÉTRICA



## MICROAGLOMERADOS

- Bajo espesor
- Para reconstitución de las propiedades superficiales
- Elevada macrotextura superficial: salto granulométrico
- Mejora la adherencia neumático – calzada: evita la formación de una película continua de agua de lluvia en superficie.
- Asfalto modificado

## *Diseño de mezclas asfálticas*

DURABILIDAD ✓ IMPERMEABILIDAD ✓

RIGIDEZ ✓ ESTABILIDAD ✓

RESISTENCIA ✓ FLEXIBILIDAD ✓

RESISTENCIA A LA FATIGA ✓

RESISTENCIA A LAS DEFORMACIONES PERMANENTES ✓



REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

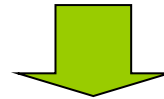
# *Diseño de mezclas asfálticas*

SELECCIÓN  
DE MATERIALES ✓

DISEÑO DE CURVA  
GRANULOMÉTRICA ✓



PREPARACIÓN DE PROBETAS



PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y MECÁNICAS ✓



## Requisitos dosificación D, S, y Micros F

		Mezclas D,S	Mezclas MAC F
Ensayo Marshall	Nº golpes por cara	75	50
	Estabilidad (kN)	>9	>7,5
	Vacíos en mezcla (%)	3-5	4,7
	Relación E/F	2500-4000(*)	---
	Porcentaje Vacíos Agregado Mineral VAM (%)	Determinación obligatoria. Se fija en la Especificación Técnica Particular en función del tamaño nominal y el % de vacíos de diseño	≥17
	Porcentaje relación betún-vacíos	68%-78%	65%-75%
Evaluación de la resistencia al ahuellamiento (Anexo V)		Determinación obligatoria.	
% de res.conservada mediante el ensayo de tracción indirecta (Anexo I)		>80	☺
% de árido fino no triturado en mezcla		0	
% mínimo cal recomendado		1	---
% máximo cal recomendado			(***)
Contenido mínimo de ligante (Total % en masa sobre mezcla)		---	>5,2
Relaciones en peso filler – asfalto		0,8-1,3	<1,6
Proporciones máximas de filler en mezcla (**)		$C_v/C_s < 1,0$ Se limita la proporción relativa de rellenos minerales cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 ( $C_s < 0,22$ ) en un máximo de 2% en peso de la mezcla	



## Requisitos dosificación D12, S12, y Micros F

		Mezclas D,S	Mezclas MAC F
Ensayo Marshall	Nº golpes por cara	75	50
	Estabilidad (kN)	>9	>7,5
	Vacíos en mezcla (%)	3-5	4-7
	Relación E/F	2500-4000(*)	---
	Porcentaje Vacíos Agregado Mineral VAM (%)	Determinación obligatoria. Se fija en la Especificación Técnica Particular en función del tamaño nominal y el % de vacíos de diseño	≥17
	Porcentaje relación betún-vacíos	68%-78%	65%-75%
Evaluación de la resistencia al ahuecamiento (Anexo V)		Determinación obligatoria	
% de res. conservada mediante el ensayo de tracción indirecta (Anexo I)		>80	
% de árido fino no triturado en mezcla		0	
% mínimo cal recomendado		1	---
% máximo cal recomendado			(***)
Contenido mínimo de ligante (Total % en masa sobre mezcla)		---	>5,2
Relaciones en peso filler - asfalto		0,8-1,3	<1,6
Proporciones máximas de filler en mezcla (**)		$C_v/C_s < 1,0$ Se limita la proporción relativa de rellenos minerales cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 ( $C_s < 0,22$ ) en un máximo de 2% en peso de la mezcla	

# Diseño de mezclas asfálticas

## Requisitos dosificación SMA 10-12

Dosificación SMA		
Ensayo Marshall VN_E 9	Nº golpes por cara	50
	Porcentaje de Vacíos en mezcla	2%-4%
	Porcentaje de VAM	>18
	Porcentaje de Relación Betún-Vacíos	75%-85%
Resistencia Conservada (%) mediante el ensayo de Tracción Indirecta (Anexo I)		> 80
Porcentaje de Arido Fino no triturado en mezcla		0
Porcentaje mínimo de fibras de celulosa,		0.35
Porcentaje Máximo de Cal Hidratada o Cemento		3,0
Esgurrimiento de Ligante, (según Anexo) %		< 0.3
VCA mix (AASHTO MP8) menor que VCA varillado (Anexo IV)		

# Diseño de mezclas asfálticas

→ **Uso responsable del material reciclado RAP, en acopios caracterizados**

RAP



ARIDOS VIRGENES



ASFALTO VIRGEN



Rejuvenecedor

MEZCLA RECICLADA



+

+

+

=



ARIDOS RAP



ASFALTO RAP



ASFALTO RESULTANTE



RECICLABLE



# *Diseño de mezclas asfálticas*

## VERIFICACIONES DE VAG

- Verificación en SMA

$$VAG_{\text{mezcla}} < VAG_{\text{PUV}}$$

- Arreglo de los agregados en la mezcla compactada con contacto interparticular
- Condición necesaria para la gran resistencia a las deformaciones permanentes que caracteriza a estas mezclas

# *Diseño de mezclas asfálticas*

## VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO

- Requerido para la verificación de un diseño
- En camino de obtener valores límites recomendados para el diseño
- Aplicable a probetas y testigos
- Profundidad de huella en f(tiempo de ensayo)
- 60 ° C



X SIMPOSIO  
DEL ASFALTO

## *Resumen*

### **RESISTENCIA DE LA MEZCLA AL AHUELLAMIENTO**

#### **Ligante asfáltico**

- Rigidez y elasticidad a altas temperaturas

#### ➤ **Agregado**

- Fricción alta entre partículas
- Gradación con un comportamiento de gran elasticidad

## **EVOLUCION DEL TRÁNSITO**

### **Cambios en las condiciones de carga**

- 10% aumento de carga
- 40-50% aumento de presión para pavimento

**Llantas radiales, presión de contacto alta.**

**Mayores velocidades.**

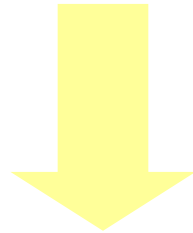
## *Resumen: herramientas del diseño*

### **DISMINUCION EN EL RENDIMIENTO**

- **Surcos en vías de tránsito pesado.**
- **línea fina entre buenas y malas mezclas.**
- **Falla por fatiga mucho antes de cumplir su vida útil**
- **Falta de adherencia pavimento-neumático**

## ***Resumen: herramientas del diseño***

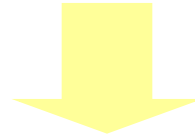
Se producen asfaltos que responden a los nuevos requerimientos: asfaltos especiales



Asfaltos multigrado  
Asfaltos de muy baja penetración  
Asfaltos resistentes a los solventes

## ***Resumen: herramientas del diseño***

Se requiere un asfalto más resistente



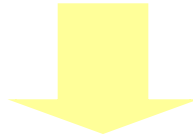
a las deformaciones plásticas: Asfalto modificado con  
polímero EVA



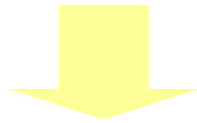
al ahuellamiento, a la fatiga y a la fisuración térmica:  
Asfalto modificado con polímero SBS

## ***Resumen: herramientas del diseño***

Mejores diseños de estructuras de agregados



Mezclas menos deformables



Control de propiedades mecánicas



# *Otros aspectos fundamentales*

- **Control de la Fabricación**



# *Otros aspectos fundamentales*

- **Control de la Colocación**



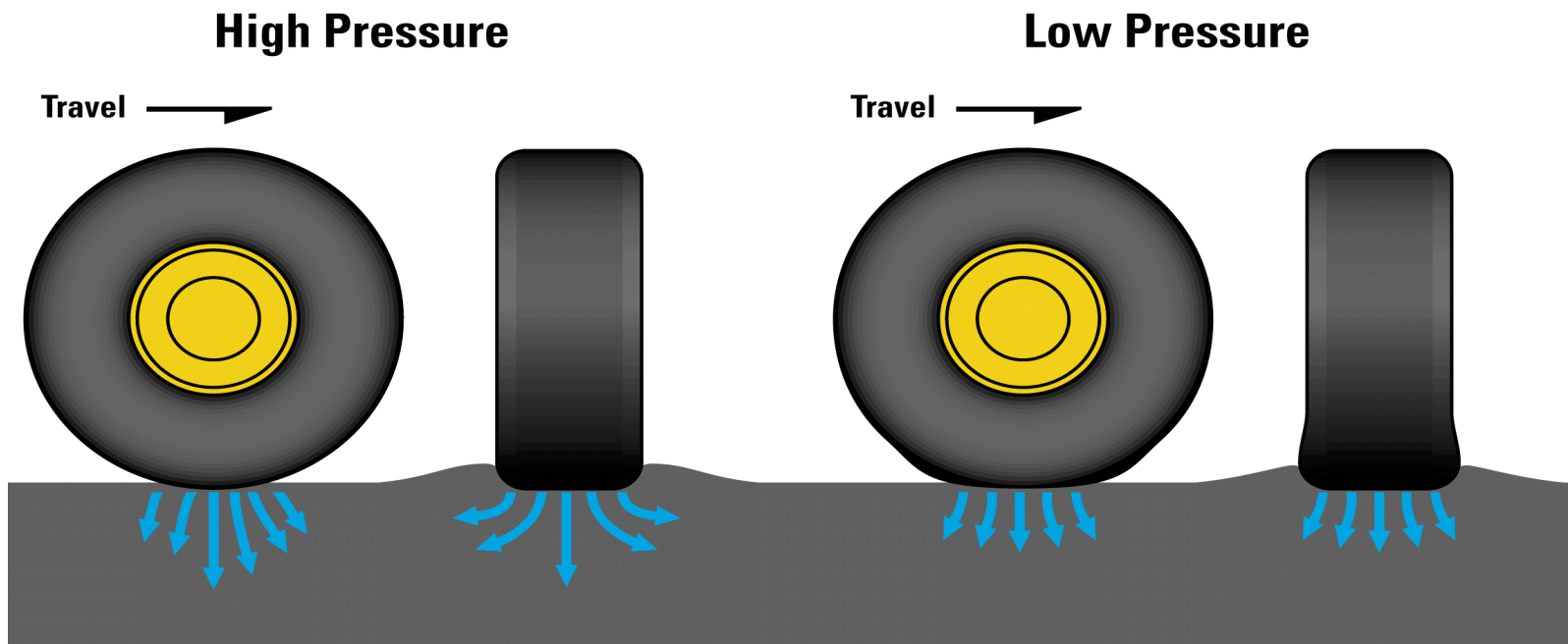
# *Otros aspectos fundamentales*

## Textura Uniforme



# Otros aspectos fundamentales

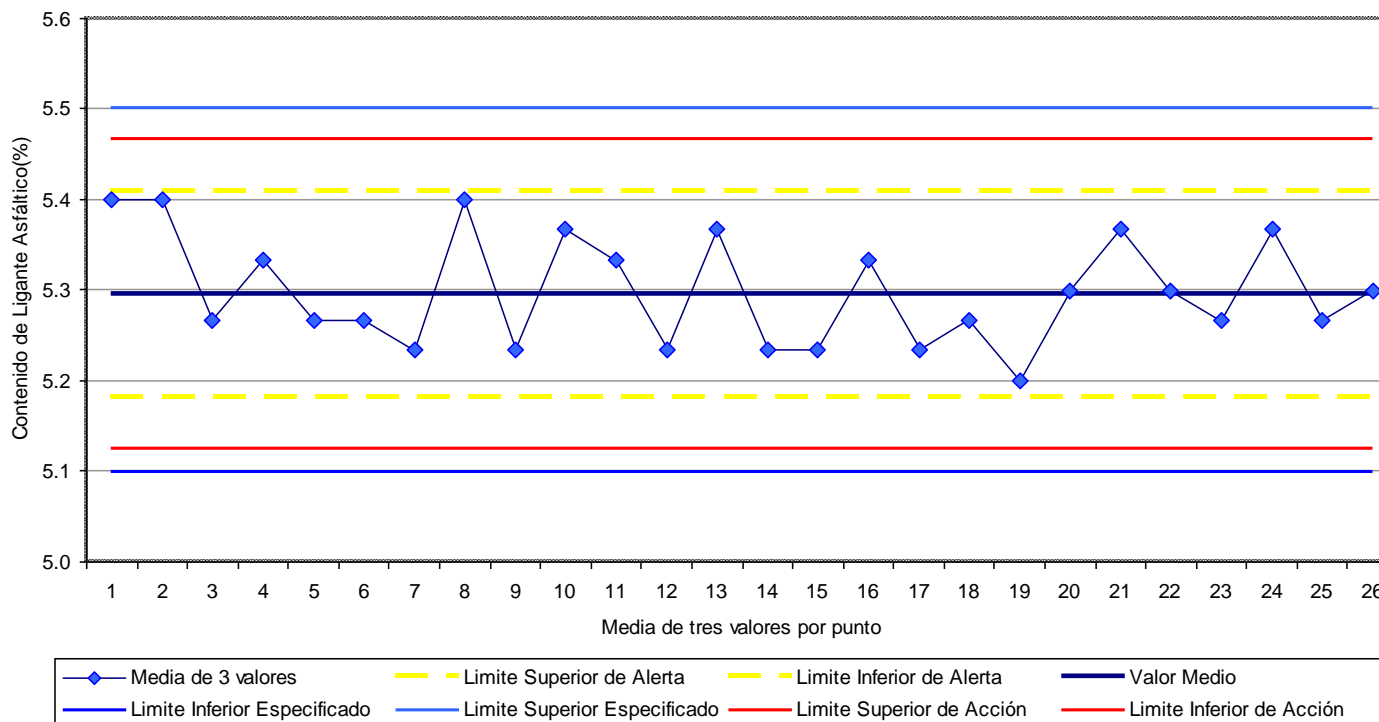
- Control de la Compactación



# Otros aspectos fundamentales

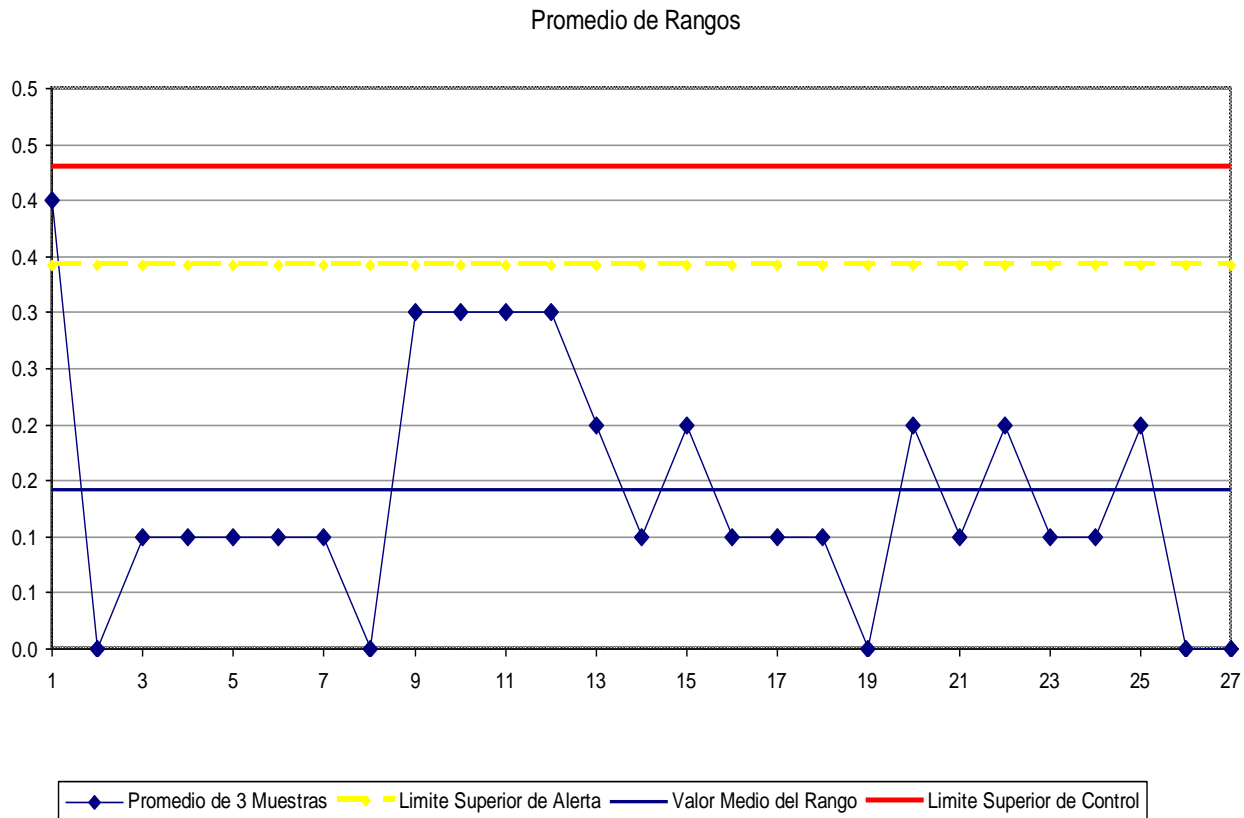
## ■ Registro del control de Procesos

Gráfica de Gran Media



# Otros aspectos fundamentales

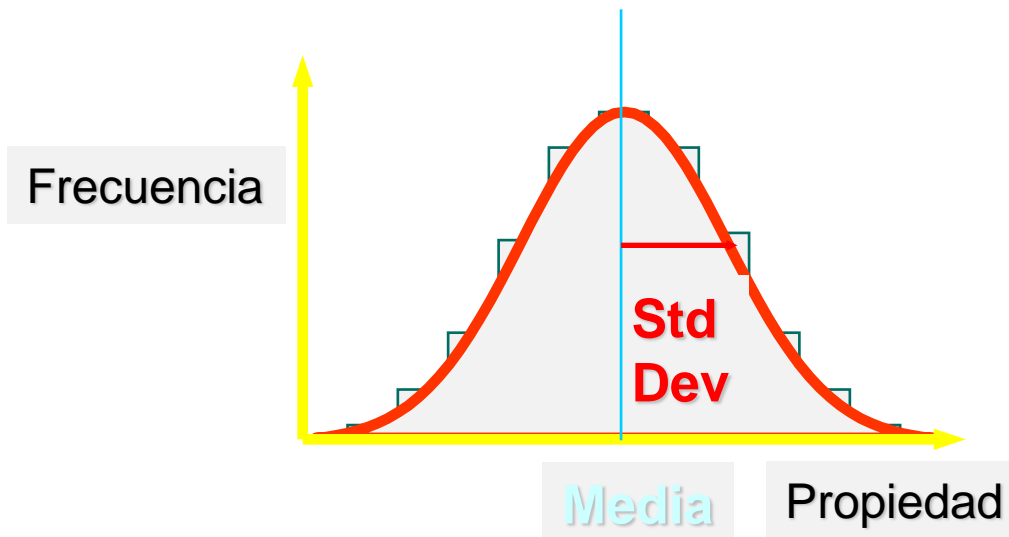
## ■ Cartas de Control de Procesos



# Otros aspectos fundamentales

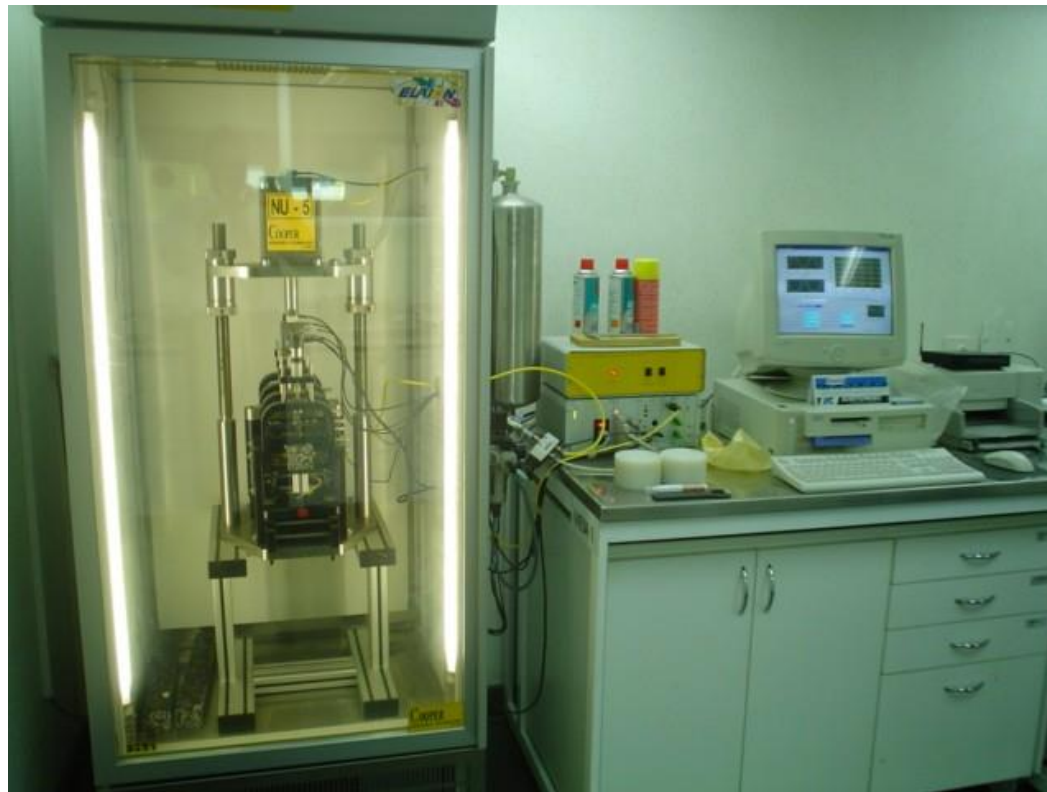
## ■ Medidas de la variabilidad

- Rango
- Desviación estándar
- Coeficiente de variación



## *Otros aspectos fundamentales*

- **Análisis avanzado del comportamiento mecánico**





# *Otros aspectos fundamentales*

## ■ **Especificaciones técnicas**

1. Calidad de los Materiales
2. Parámetros de Diseño
3. Control de Calidad / AC
4. Tolerancias
5. Aspectos Constructivos
6. Incentivos / Penalidades

# Otros aspectos fundamentales

- Sistema eficiente de control de cargas

## PESOS MÁXIMOS POR EJES

PESOS MÁXIMOS POR EJES		
TIPO DE EJE	ESQUEMA	PESO (Tn)
<b>EJE AISLADO</b> (Rodado simple: 1 Simple)		6,0
<b>EJE AISLADO</b> (Rodado doble: 1 Dual)		10,5
<b>DOBLE EJE *</b> (2 Simples)		10,0 (5,0 + 5,0)
<b>DOBLE EJE *</b> (1 Dual + 1 Simple)		14,0 (9,0 + 5,0)
<b>DOBLE EJE *</b> (2 Duales)		18,0 (9,0 + 9,0)
<b>TRIPLE EJE **</b> (2 Duales + 1 Simple)		21,0 (8,5 + 8,5 + 4,0)
<b>TRIPLE EJE **</b> (3 Duales)		25,5 (8,5 + 8,5 + 8,5)



***Gracias por su atención***