

Nuevo Manual de Carreteras del Paraguay Volumen 5.2.2.: Pavimentos Asfálticos Utilización del WTT

Seminario sobre Diseño y Construcción de
Mezclas Asfálticas

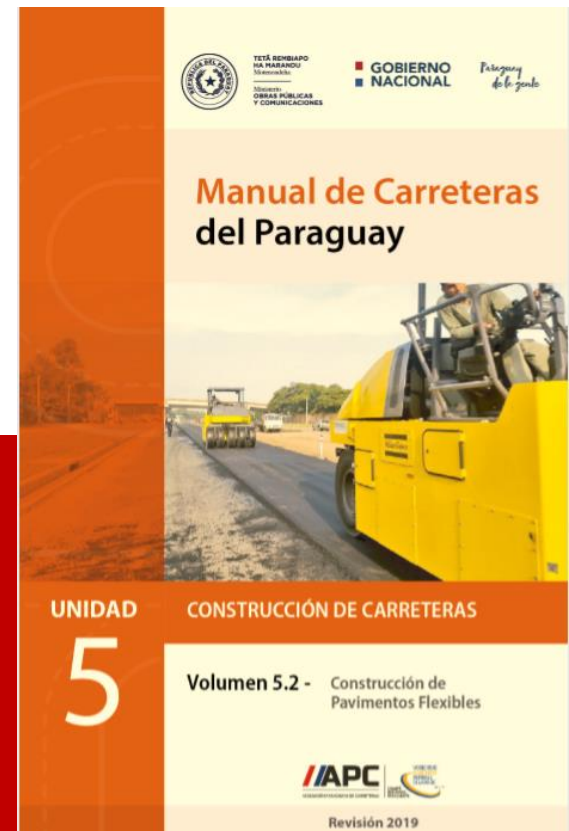
Asunción, 27 de Agosto de 2019



Rosana G. Marcozzi

Investigador CIC-LEMIT
tecnologiavial@lemit.gov.ar

Comisión Permanente del Asfalto
asfalto@cpasfalto.com.ar



Agenda

- Introducción
- Principales causas del ahuellamiento ... y sus consecuencias
- Propiedades de los materiales que contribuyen en la resistencia al ahuellamiento
- Alcance del diseño de mezclas resistentes
- Evaluación de ahuellamiento en laboratorio
- Casos de estudio
- Resumen



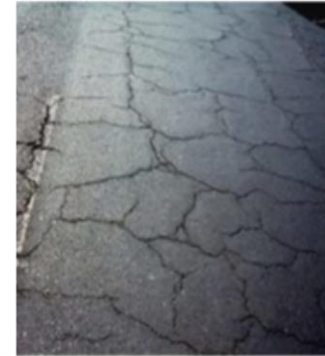
INTRODUCCION



Introducción

El diseño, caracterización y evaluación del pavimento en laboratorio se hace estudiando el comportamiento relacionado con los modos principales de falla de una mezcla asfáltica:

Fisuración (térmica o por fatiga)



Deformaciones permanentes



Verificación de sensibilidad al agua



Introducción

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.

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



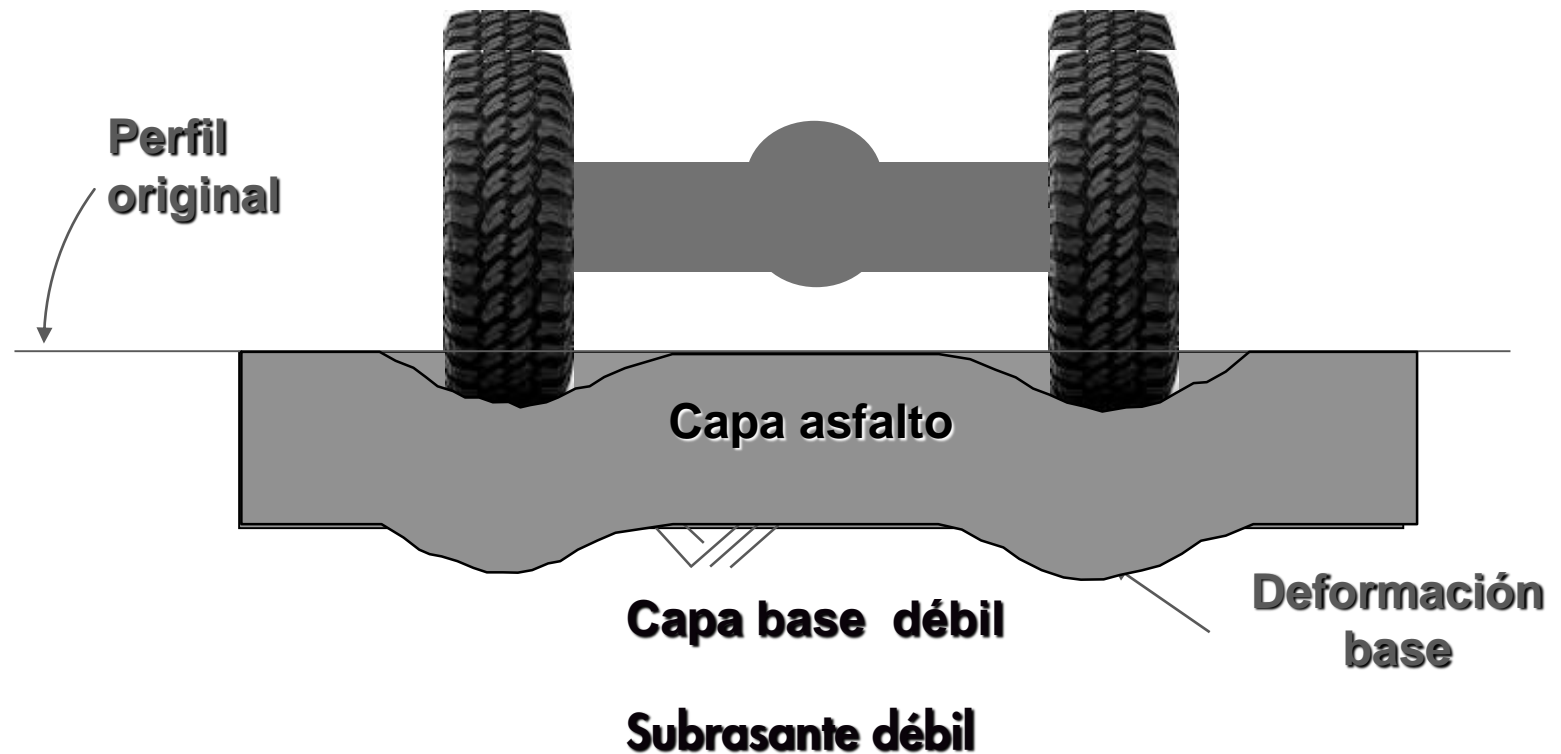
Introducción

Tipo	Definición	Posibles causas
Ondulación (<i>rippling/corrugation</i>)	Definición: ondulaciones transversales en la superficie de rodamiento en forma regular (simil chapa ondulada)	<ul style="list-style-type: none">▪ Deformación diferencial del suelo en profundidad▪ Esfuerzos tangenciales de importancia.▪ Poca estabilidad en mezclas.▪ Mala calidad y colocación de capa de rodamiento
Huellas (<i>imprint</i>)	Impresión en relieve que se localiza en la superficie de rodamiento ocasionada por el paso de vehículos pesados	<ul style="list-style-type: none">• Estacionamiento prolongado de vehículos pesados▪ Poca estabilidad en mezclas.▪ Huella de compactador▪ Exceso de ligante en riegos
Rutting	Deformación transversal por hundimiento lo largo de la huella, acompañada en general de cordones laterales por fluencia del material.	<ul style="list-style-type: none">▪ Mezclas con insuficiente resistencia a las deformaciones plásticas (debido a ligantes blandos, mala calidad de áridos, exceso de asfalto) en combinación con tráfico pesado y canalizados + temperaturas elevadas.▪ Compactación insuficiente.



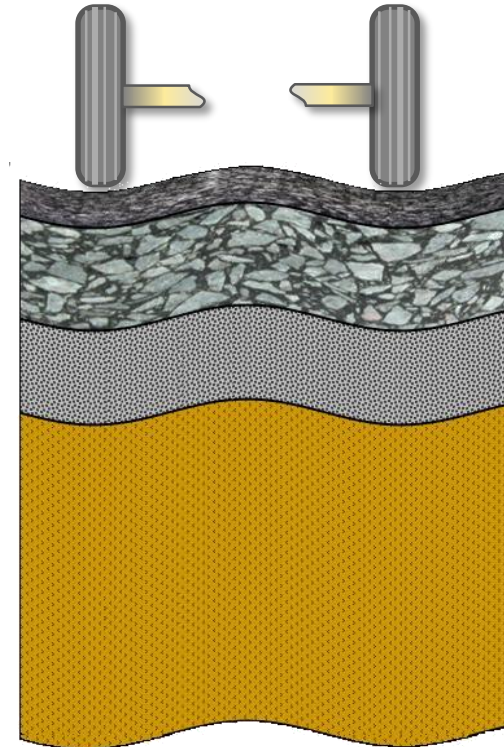
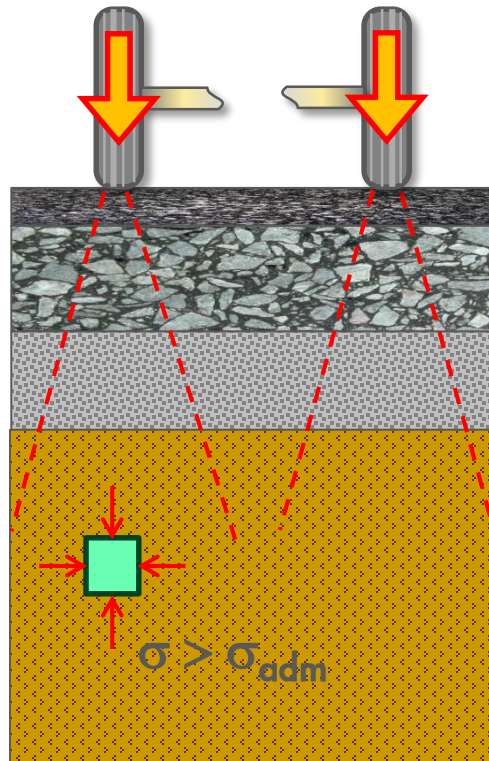
Introducción

DEFORMACIONES EN CAPAS INFERIORES



Introducción

DEFORMACIONES EN CAPAS INFERIORES



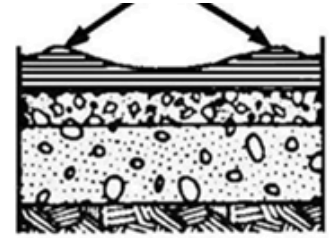
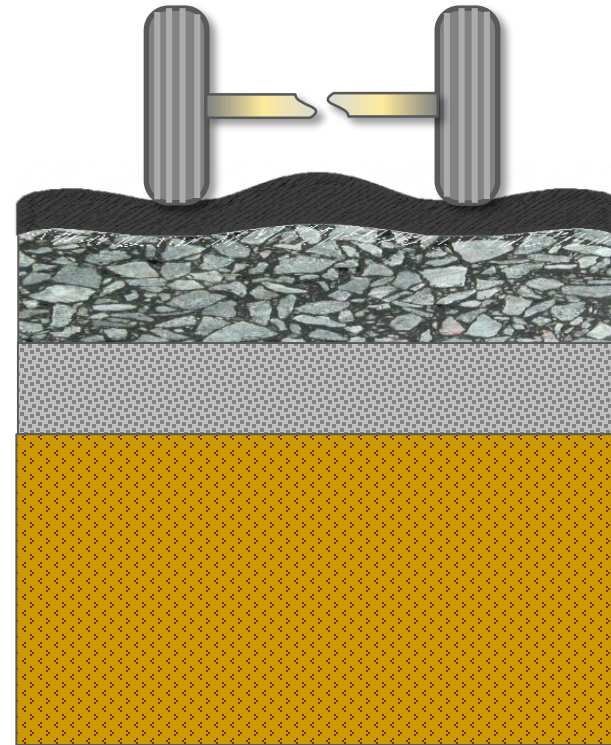
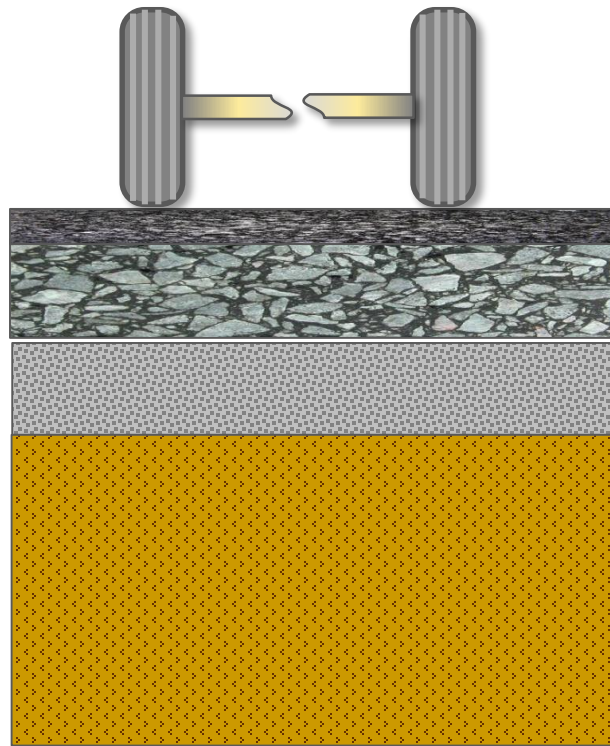
Introducción

AHUELLAMIENTO EN CAPA ASFÁLTICA



Introducción

AHUELLAMIENTO EN CAPA ASFÁLTICA

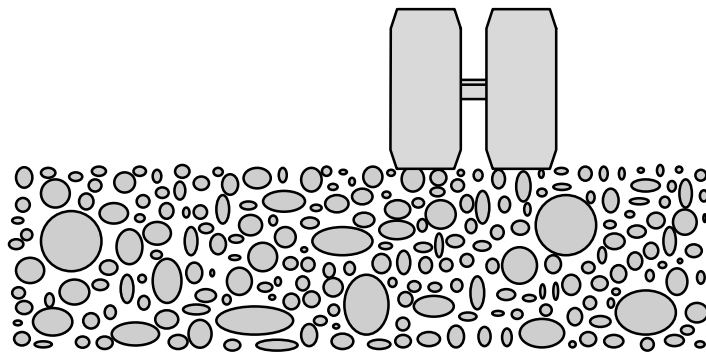


Ahuellamiento (*Rutting*)
Аһуеллamiento (Rutting)



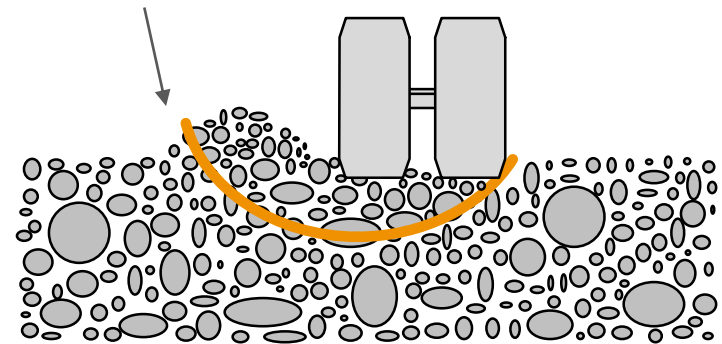
Introducción

COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA



Antes de la carga

Plano cortante

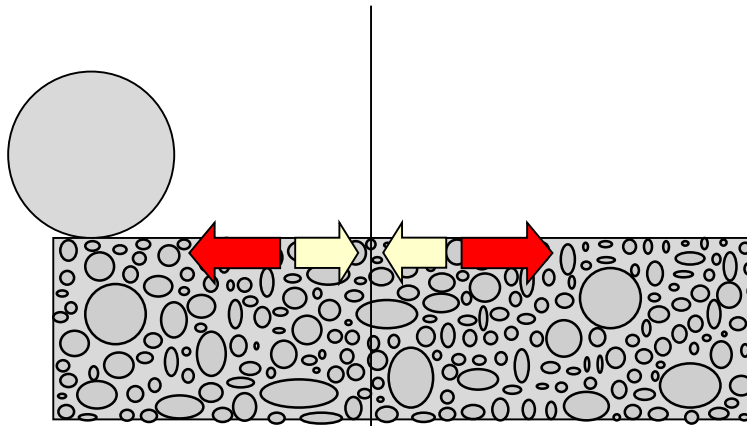


Después de la carga

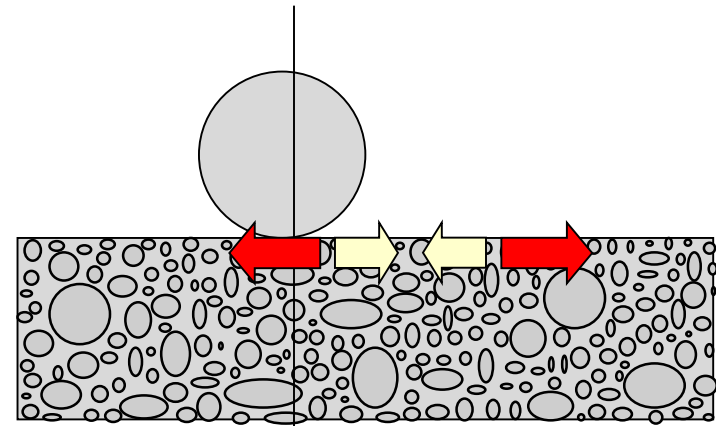


Introducción

DEFORMACIONES PERMANENTES



Paso de la rueda por la sección

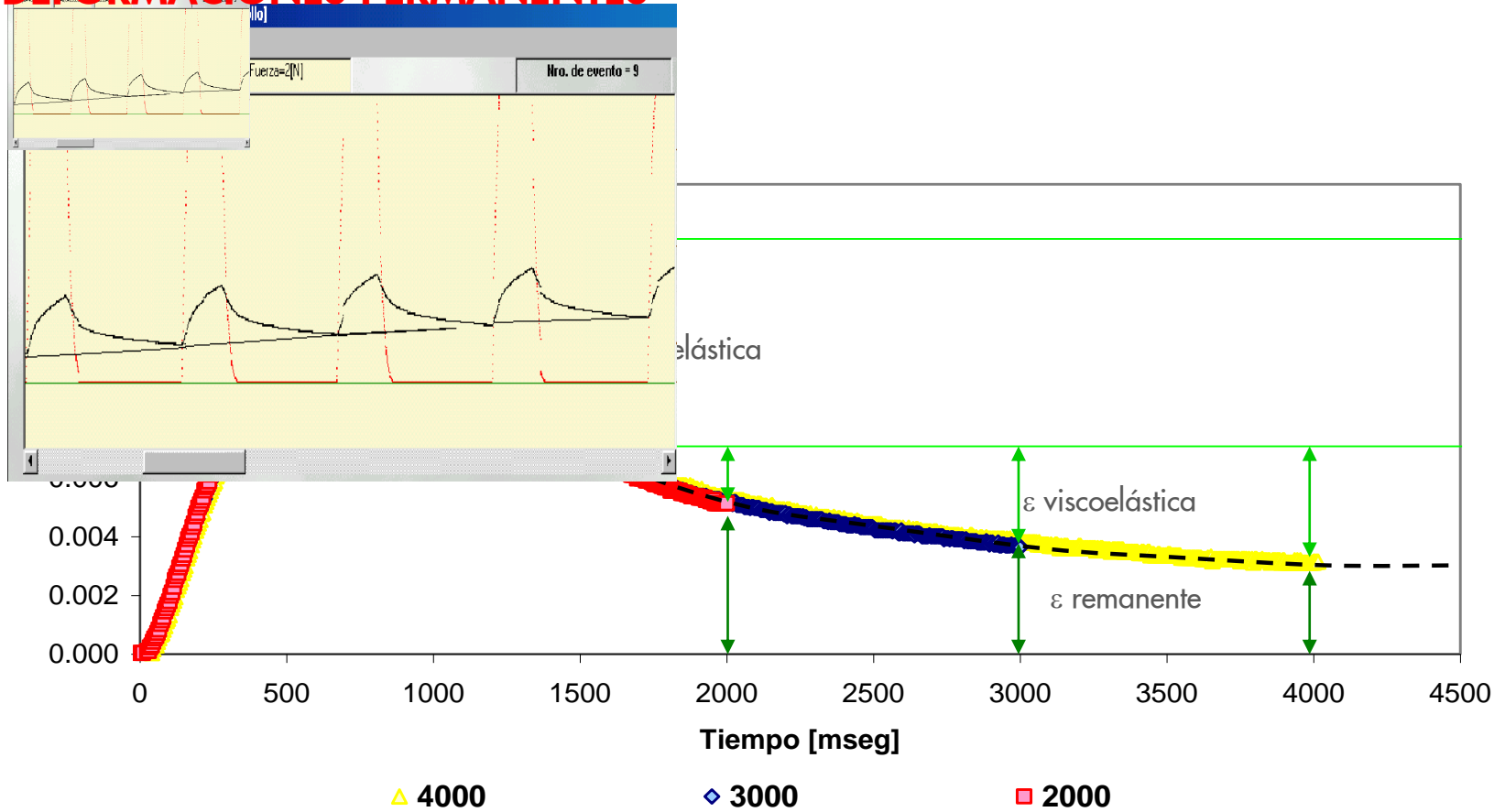


Luego del paso de la rueda por la sección



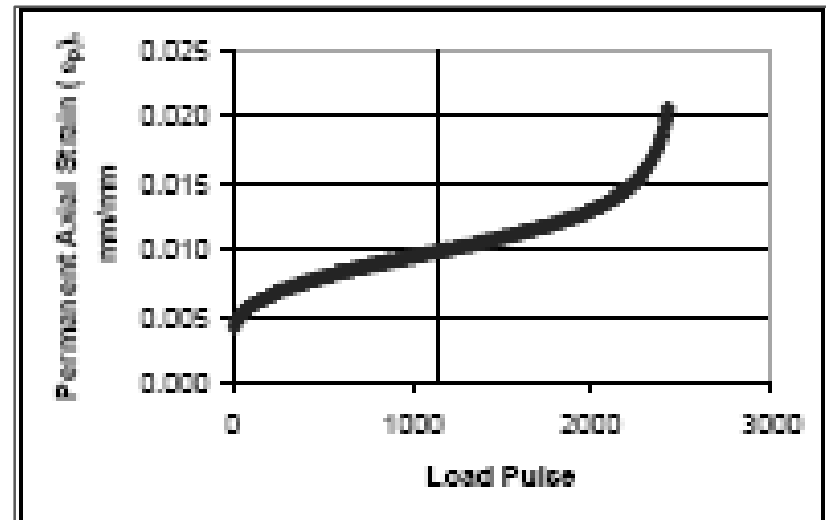
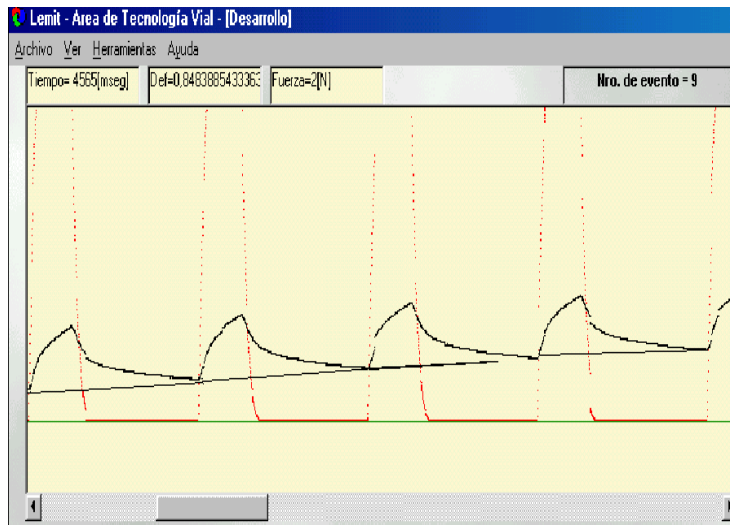
Introducción

DEFORMACIONES PERMANENTES



Introducción

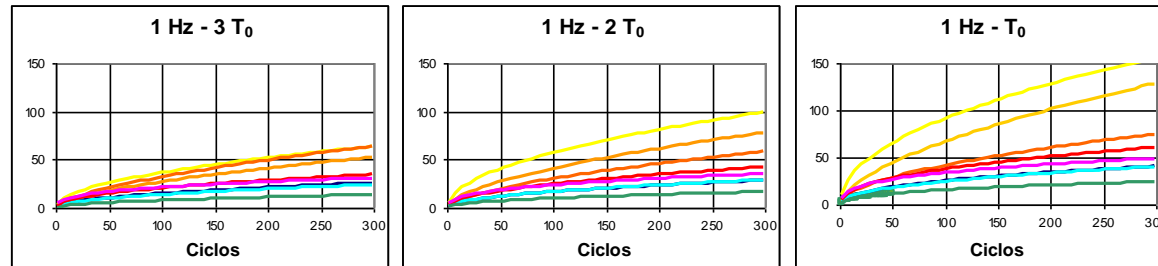
DEFORMACIONES PERMANENTES



Introducción

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 un asfalto muy rígido.



CAUSAS DEL AHUELLAMIENTO



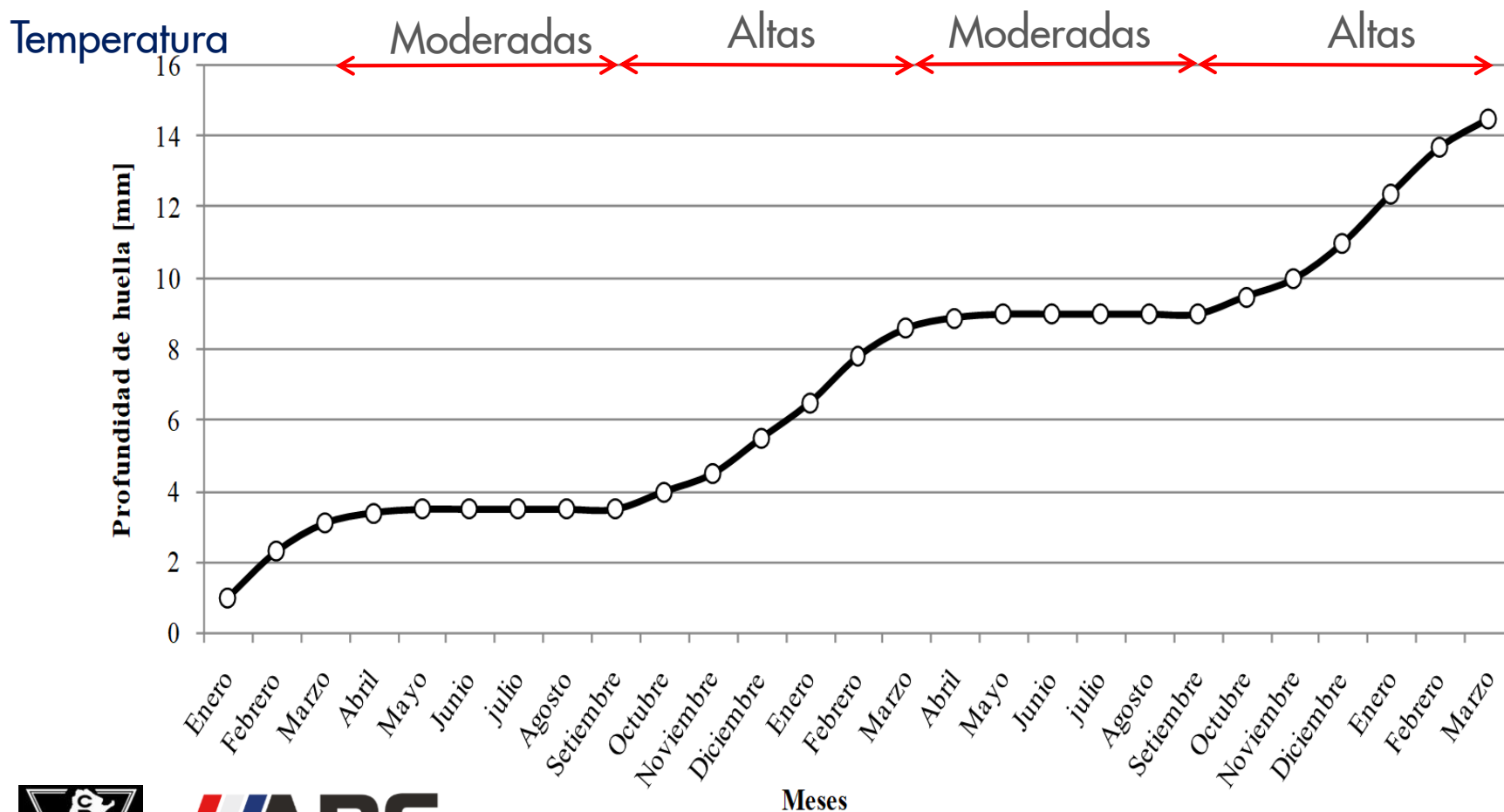
Principales causas del ahuellamiento

- 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



Principales causas del ahuellamiento

TEMPERATURA DE SERVICIO



Principales causas del ahuellamiento

VELOCIDAD DE CARGA

A bajas velocidades de tránsito el ligante asfáltico responde con menor rigidez, aumenta la componente plástica e irrecuperable de las deformaciones.

Este es un efecto equivalente a un aumento de la temperatura.

CARGAS DE TRÁNSITO



- Peso por rueda/eje (Carga máxima permitida por Ley)
- Presión de contacto entre la rueda y el pavimento



... y algunas de sus consecuencias



PROPIEDADES DE LOS MATERIALES QUE CONTRIBUYEN EN LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO



Aporte de los materiales

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

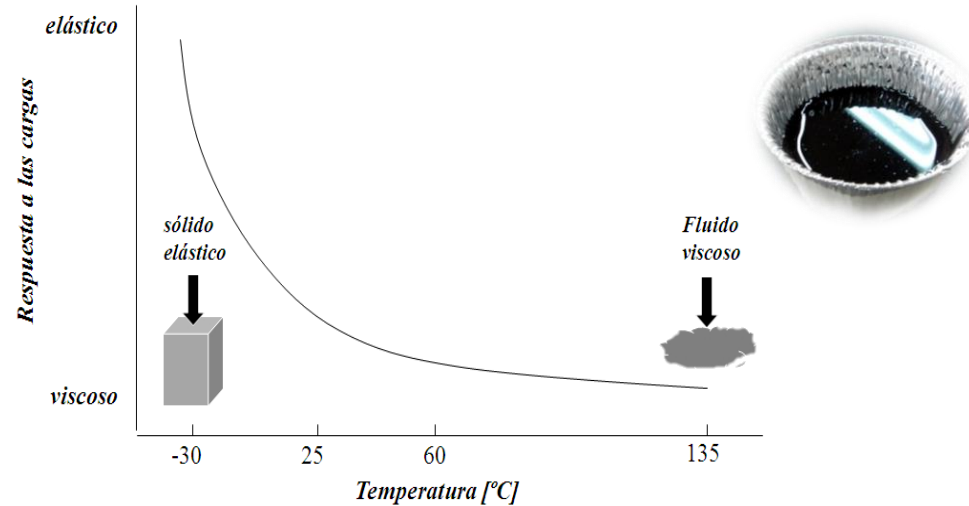
Agregados: su aporte será función de:
Forma de las partículas
Características de superficie
Gradación

La mezcla asfáltica se comportará entonces en función de:
Comportamiento del asfalto
Comportamiento del agregado
Combinación de Características



Aporte de los materiales

EL ASFALTO



- $> T^{\circ}$ en pavimento
 - $<$ frecuencia de sollicitación f \longrightarrow $<$ Rigidez
-
- $< T^{\circ}$ en pavimento
 - $>$ frecuencia de sollicitación f \longrightarrow $>$ Rigidez



→ Uso responsable del material reciclado RAP, en acopios caracterizados



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)

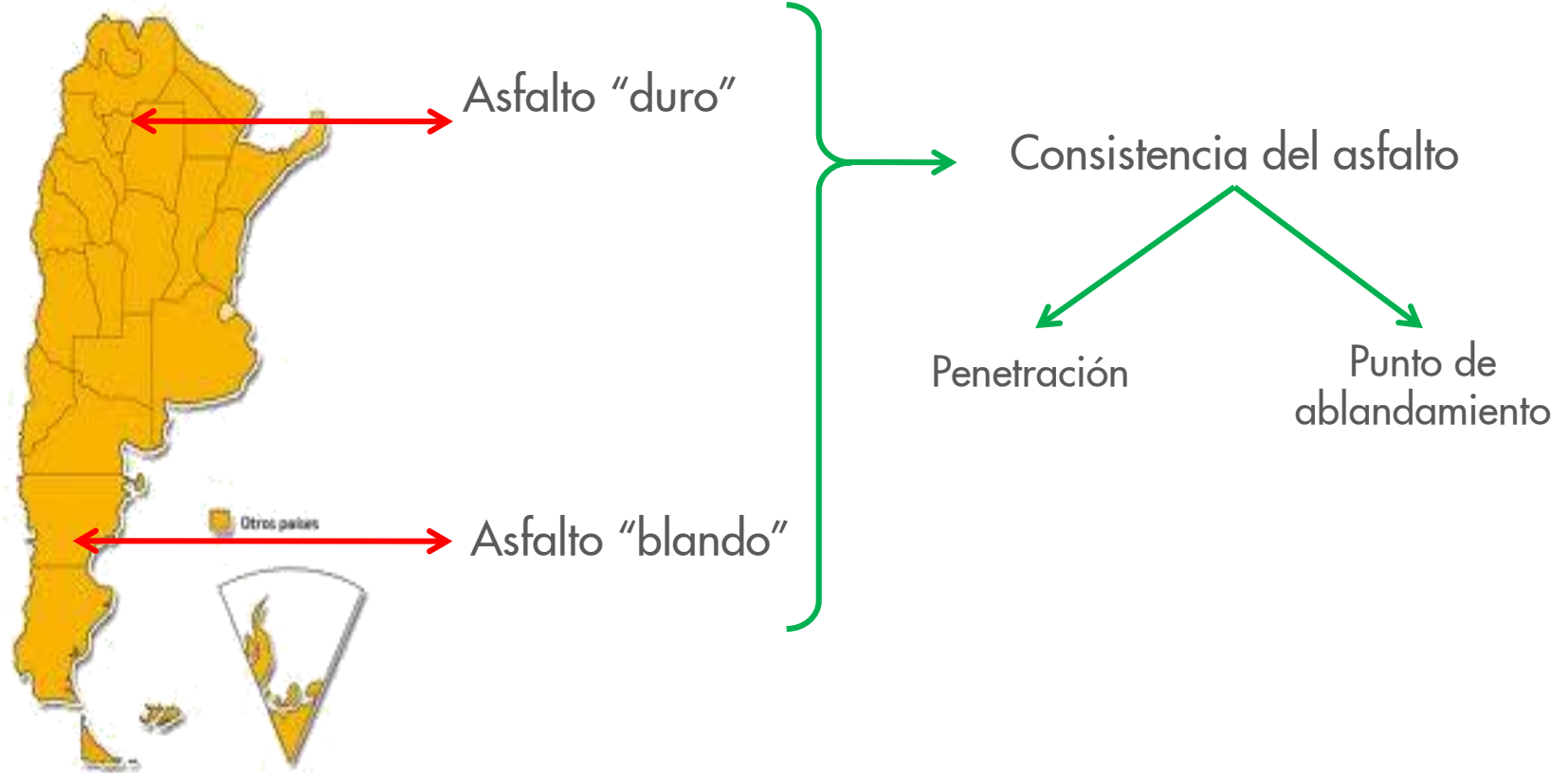


- Ensayos fundamentales relacionados con la consistencia (viscosidades)



Aporte de los materiales

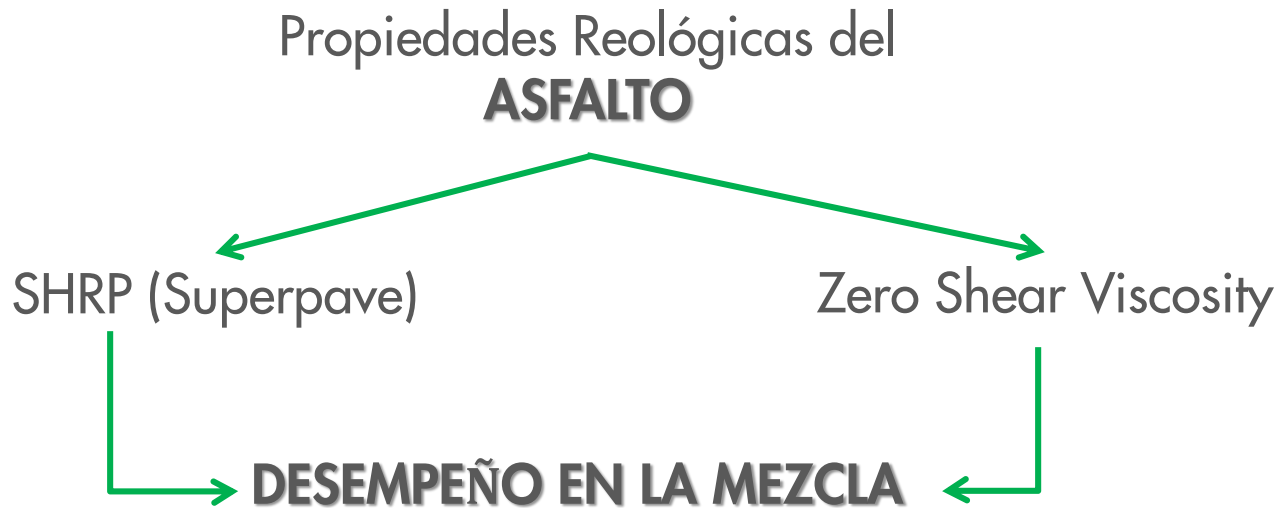
EL ASFALTO



Aporte de los materiales

EL ASFALTO

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



Aporte de los materiales

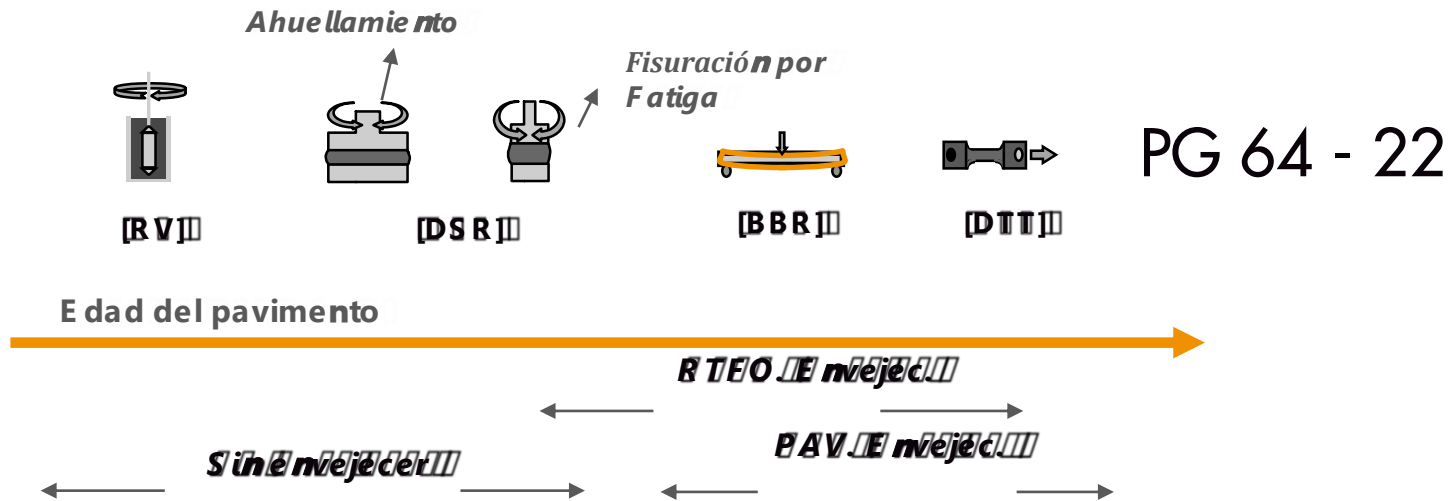
EL ASFALTO

Parámetros de evaluación de la contribución del asfalto a la resistencia al ahue llamiento

- 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

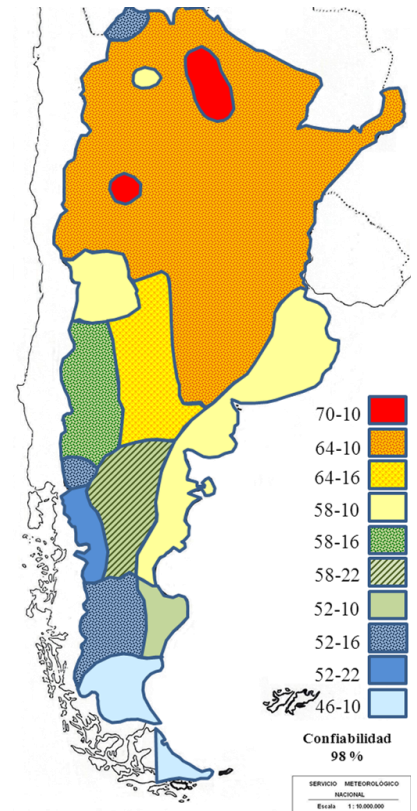
EL ASFALTO

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

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

temperaturas extrema superior (de alta)

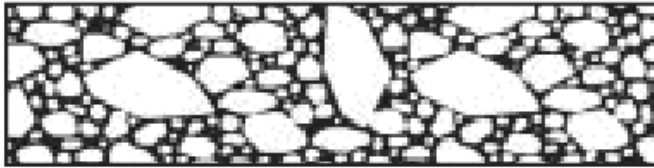
temperaturas extrema inferior (de baja)



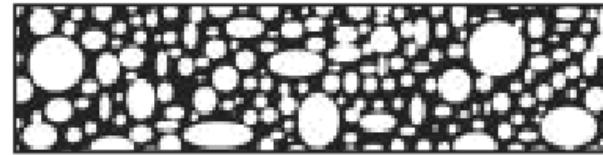
Aporte de los materiales

LOS AGREGADOS

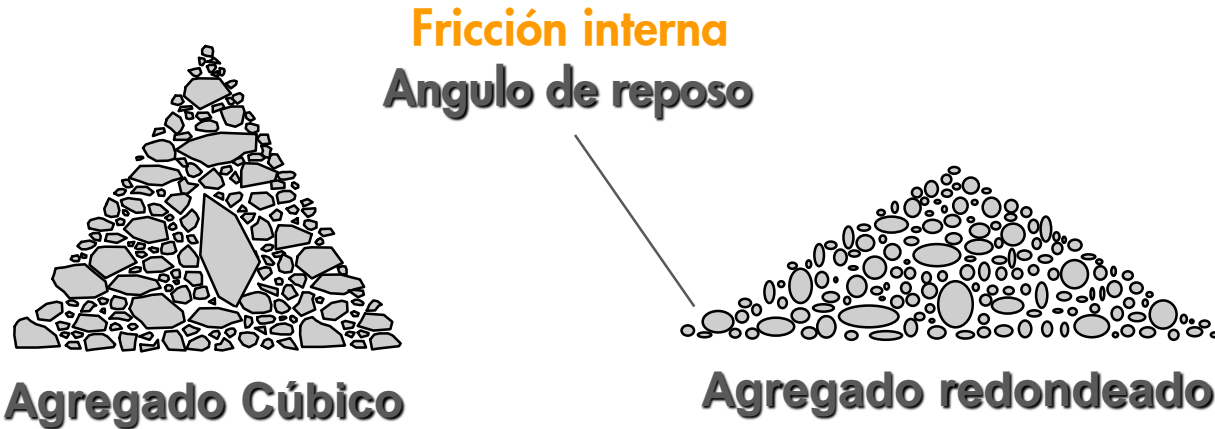
- Forma de las partículas: Angularidad del agregado grueso, angularidad del agregado fino
- Microtextura, Aspereza, Resistencia



Agregado Angular



Agregado redondeado



Agregado Cúbico

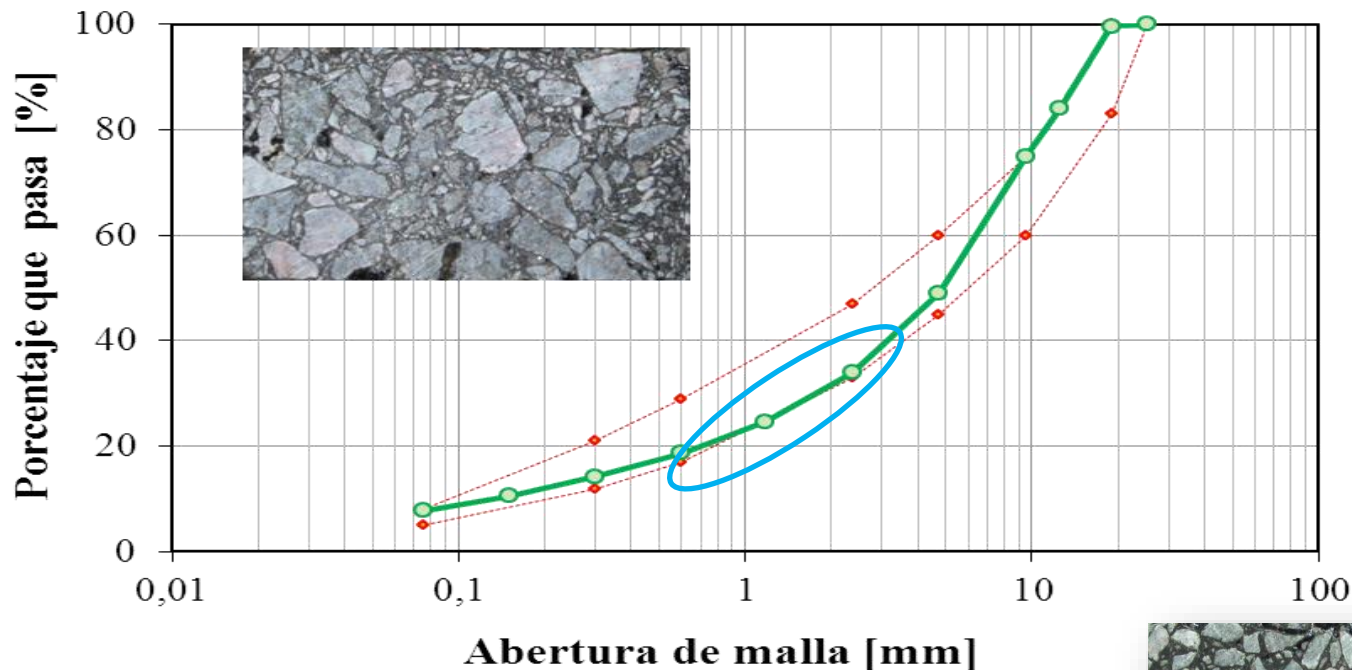
Agregado redondeado



Aporte de los materiales

LOS AGREGADOS

- Gradación: la estructura de agregados pétreos aportará trabazón entre partículas en función de los husos granulométricos seleccionados.



Aporte de los materiales

LOS AGREGADOS

E. REQUISITOS DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS QUE COMPONEN EL ESQUELETO MINERAL.

La combinación de las diferentes fracciones de agregados que componen el esqueleto granular debe cumplir las prescripciones de la Tabla 5.2_17.

TABLA 5.2_17. REQUISITOS DEL ESQUELETO GRANULAR

Parámetro	Norma	Exigencia			
Partículas no trituradas	(1)	Porcentaje en peso de agregado no triturado respecto del total del agregado (2)			
		Clasificación por tránsito			
		T1	T2	T3	T4
		Rodamiento	0%	0%	≤ 3%
Bases	0%	≤ 3%	≤ 5%	≤ 7%	

- (1) La determinación de este parámetro se debe realizar calculando el porcentaje de agregado no triturado, respecto del total del agregado pétreo.
- (2) Cuando el agregado no triturado no provenga de ríos, previa aprobación del Supervisor de Obra, los porcentajes indicados pueden incrementarse en hasta un cinco por ciento (5 %) por encima de los valores límites establecidos, siempre y cuando el Contratista demuestre que dicho incremento no afecta la resistencia a la deformación permanente (medida mediante el ensayo de Wheel Tracking Test).



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).
 - Controlar la relación *filler/betún* y la *finura del filler* y afinidad con el agua.
 - ↑ relación *filler/betún*, ↑ viscosidad del mastic y más rígida es la mezcla.
 - ↑ Aumenta la rigidez ↓ disminuye la magnitud de las deformaciones permanentes, sobre todo a altas temperaturas.



ALCANCE DEL DISEÑO DE MEZCLAS RESISTENTES AL AHUELLAMIENTO



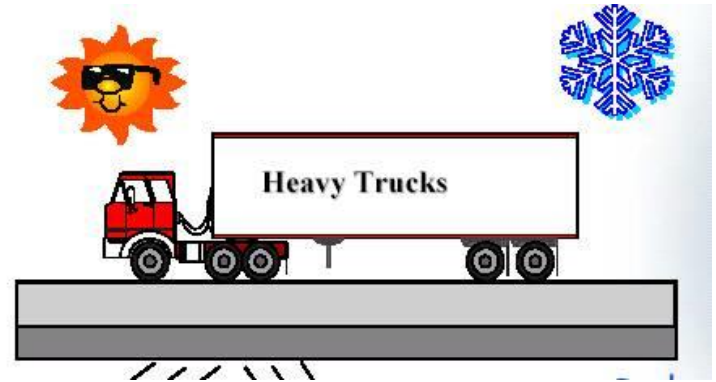
Alcance del diseño

LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

- ✚ Características volumétricas
 - ✚ Porcentaje de vacíos
 - ✚ Vacíos del agregado Mineral
 - ✚ Porcentaje de Asfalto
 - ✚ Granulometría de Agregados
- ✚ Propiedades de los materiales
 - ✚ Efecto de los agregados
 - ✚ Efecto del Filler
 - ✚ Efecto del asfalto

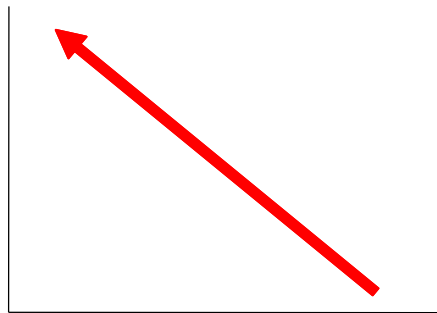


Aporte de los materiales



< Deformaciones

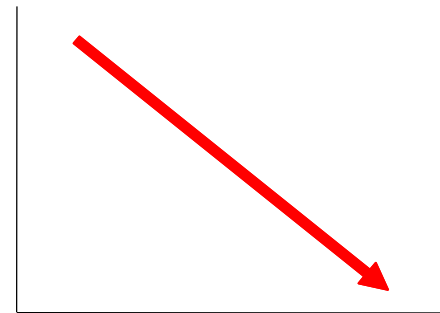
Rigidez



% asfalto

< Fisuración

Rigidez



% asfalto



EVALUACION DE AHUELLAMIENTOS EN LABORATORIO



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA - WTT

Simula el efecto del tránsito sobre el pavimento en condiciones extremas de tránsito y temperatura.

Se miden las deformaciones que sufre la mezcla asfáltica durante el tiempo de ensayo.



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – DIFERENTES EQUIPOS WTT

Equipo		Inglés	Español	Francés	USA
Tipo de rueda		Rígida	Rígida	Neumática	Neumática
Dimensiones de la probeta	[mm]	300-300-50	300-300-50	500-180-50	300-125-75
Temperatura de ensayo	[°C]	45 ó 60	60	70	40 a 60
Carga	[N]	520	900	700	445
Presión de Contacto	[kPa]	520	900	710	454



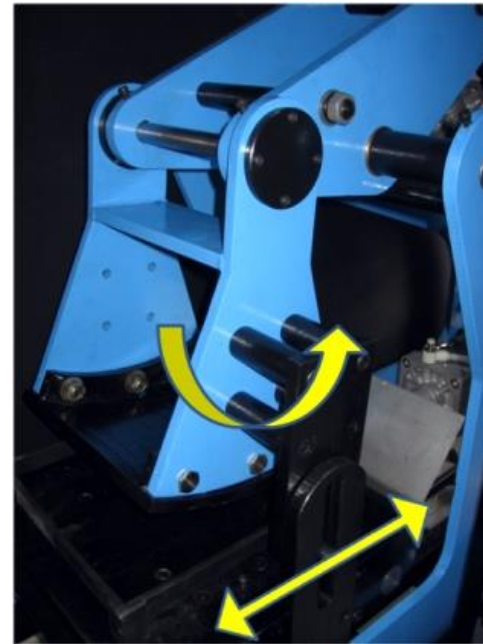
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device



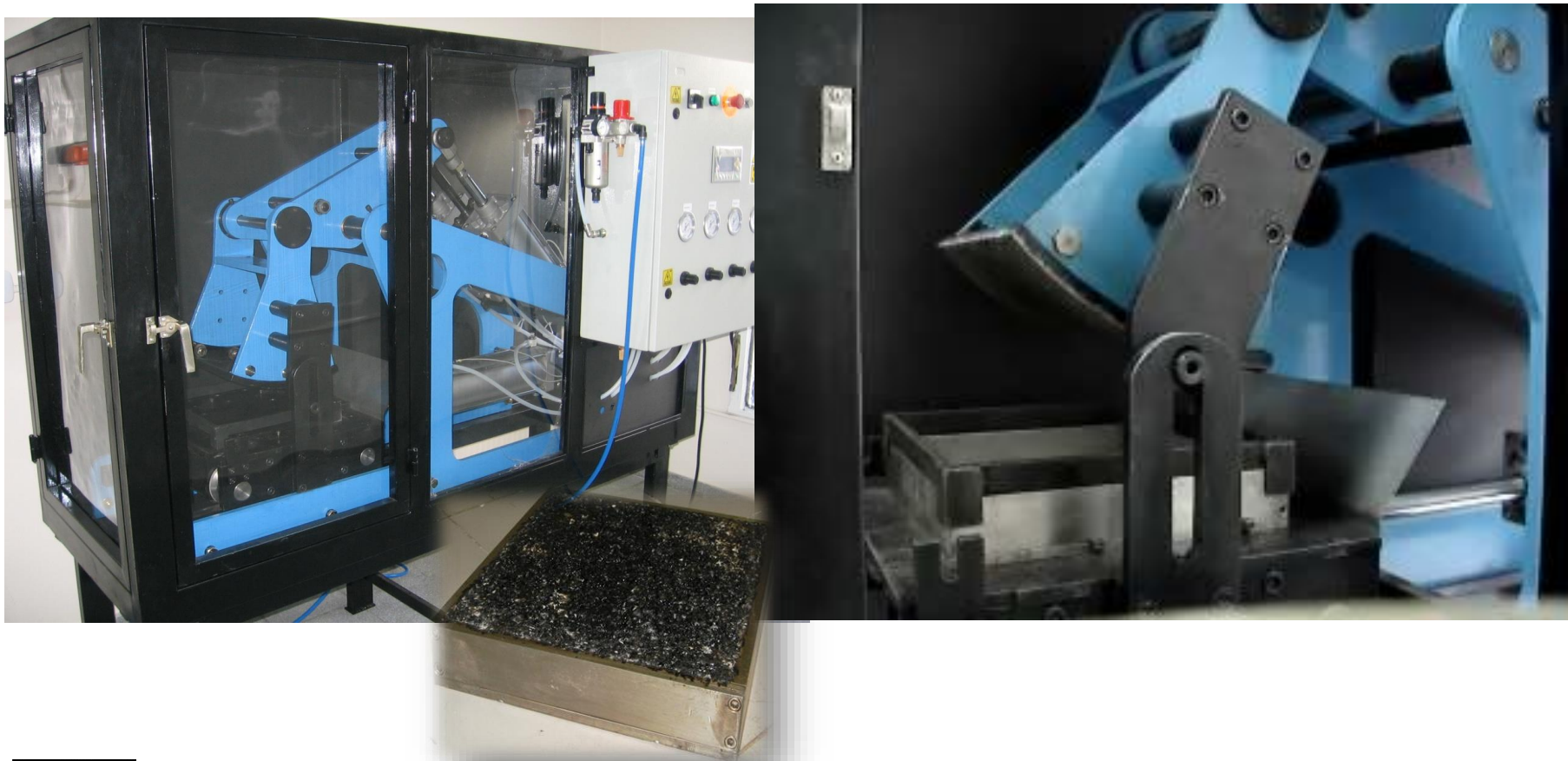
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – COMPACTACIÓN EN ROLLER COMPACTOR EN 12697-33



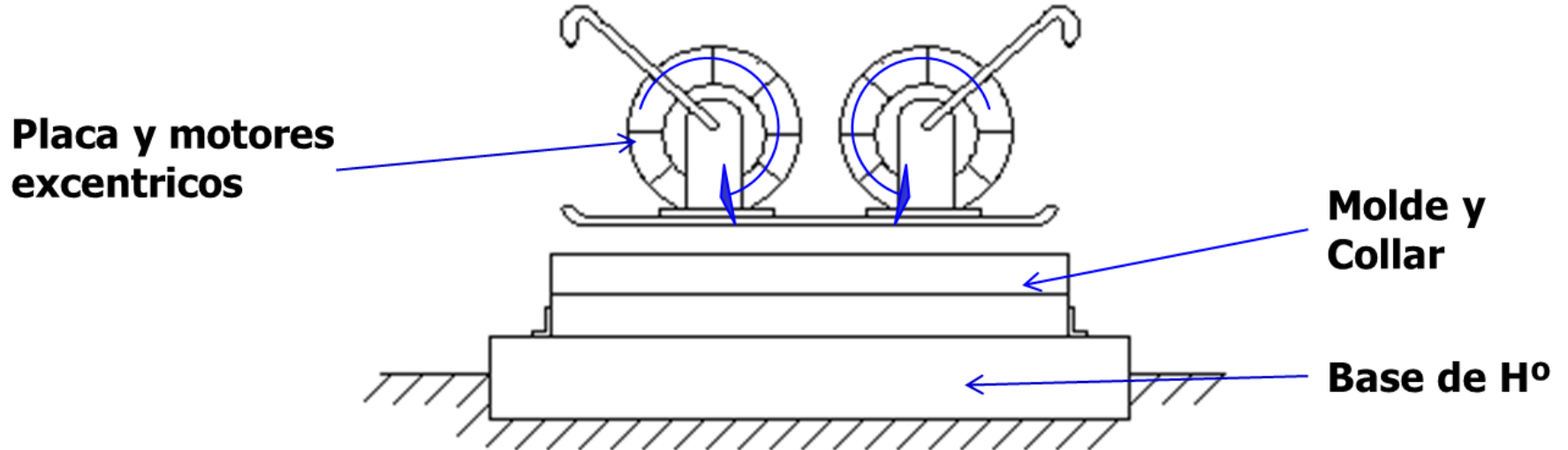
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – COMPACTACIÓN EN ROLLER COMPACTOR



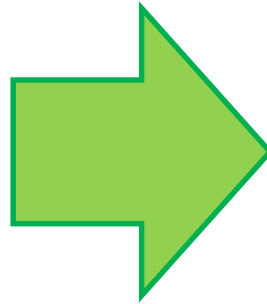
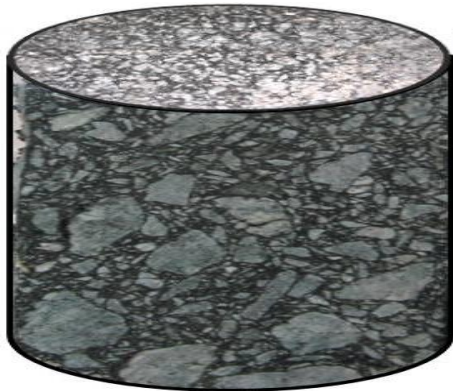
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – PROBETAS MOLDEADAS SEGÚN EN 12697-32



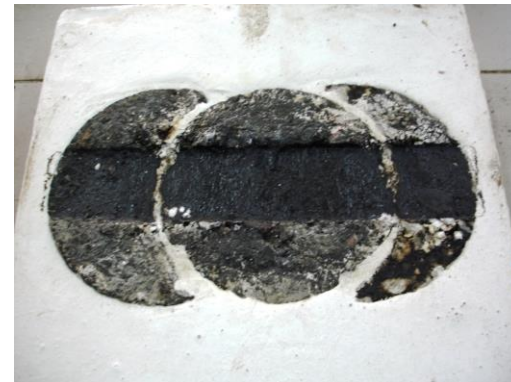
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – TESTIGOS DE PAVIMENTOS, DISTINTAS CAPAS



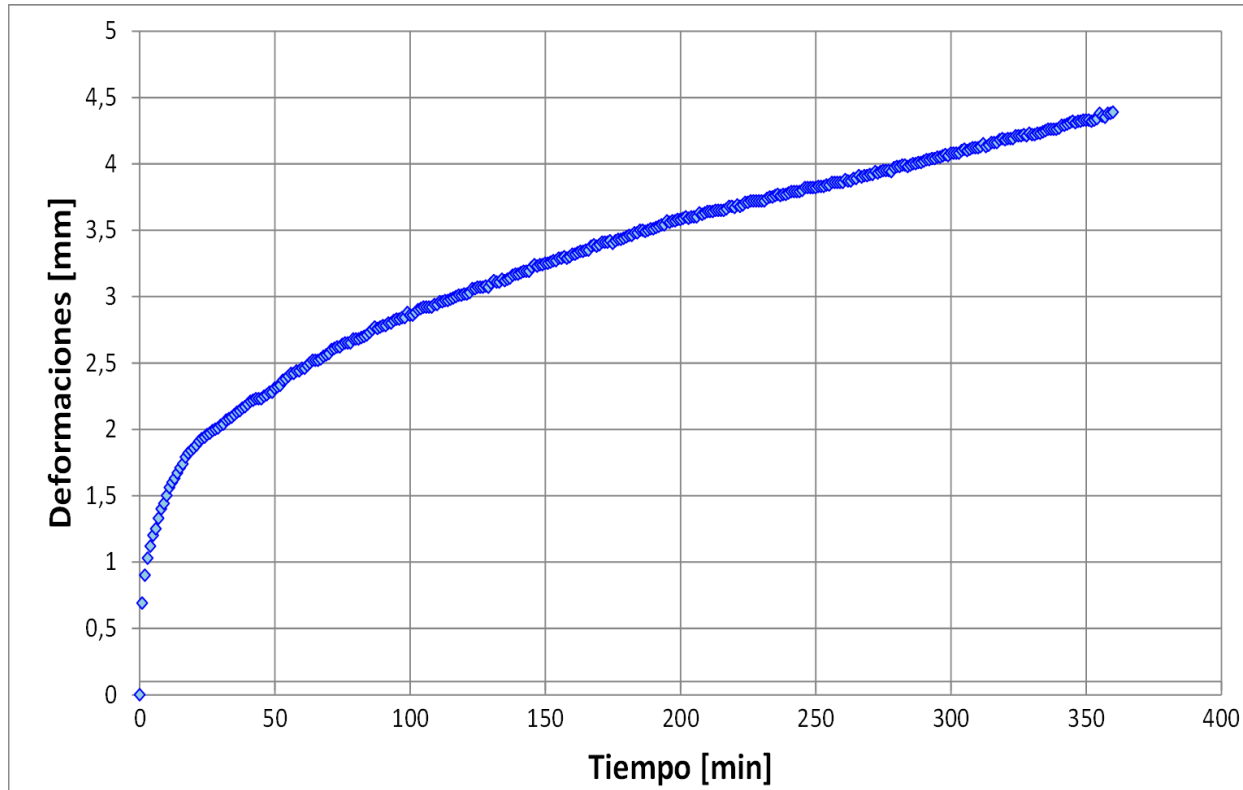
Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – TESTIGOS DE PAVIMENTOS, DISTINTAS CAPAS



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device

Cálculos del ensayo

-Proportional Rut Depth

$$PRD = \frac{D_{\text{final}}}{\text{espesor}} [\%]$$

-Wheel Tracking Slope (Velocidad de deformación)

$$WTS = \frac{D_{10.000} - D_{5000}}{5} \left[\frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right]$$



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA

Límites sugeridos (ensayo BS 598 Part 110) para que una mezcla de concreto asfáltico no sea deformable

(Agnusdei et al, 2002)

Condiciones de ensayo.

Parámetros especificados.

Carga de 520 ± 5 Newtons (53 kg)
 $T = 60^{\circ}\text{C}$, tiempo de ensayo de 60 min.

$V_{d60} < 0,0093$ mm/min
 $E_{d60} > 4500$ pasadas/mm

Carga de 520 ± 5 Newtons (53 kg)
 $T = 60^{\circ}\text{C}$, tiempo de ensayo de 120 min.

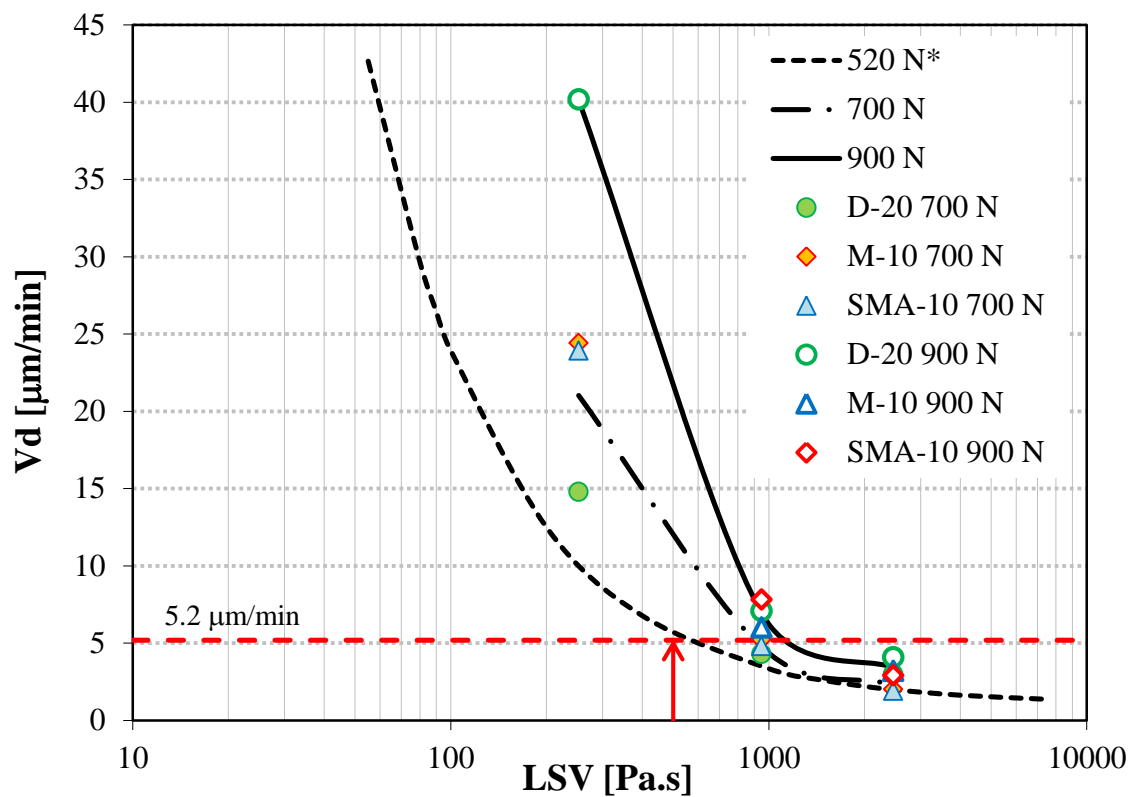
$V_{d120} < 0,0052$ mm/min
 $E_{d120} > 8000$ pasadas/mm



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA

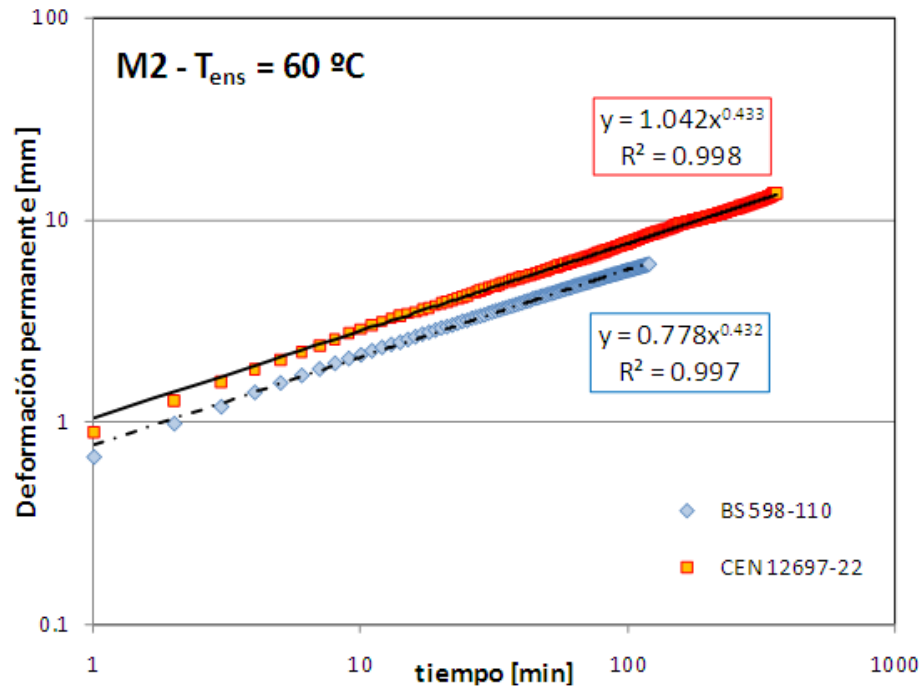
Límites BS 598/110 – Relación con la LSV



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA

Comparación de normativas

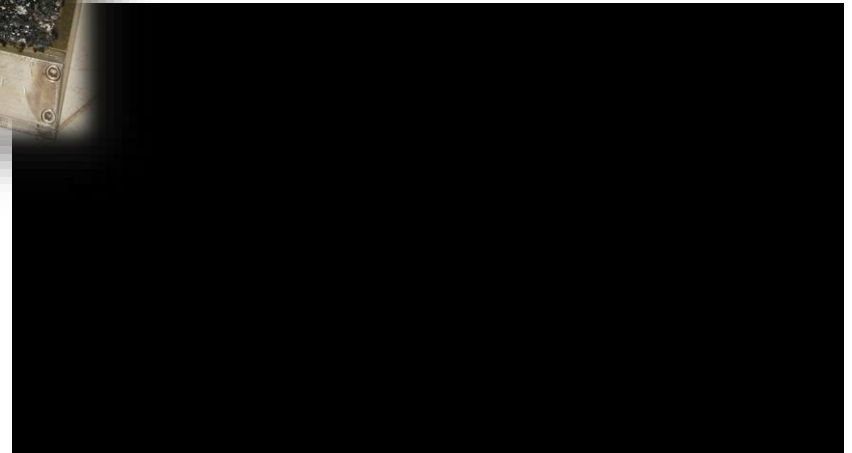


**$V_d = 5,2 \mu\text{m}/\text{min}$ equivale a
 $WTS = 0,134 \text{ mm}/10^3 \text{ ciclos}$**



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

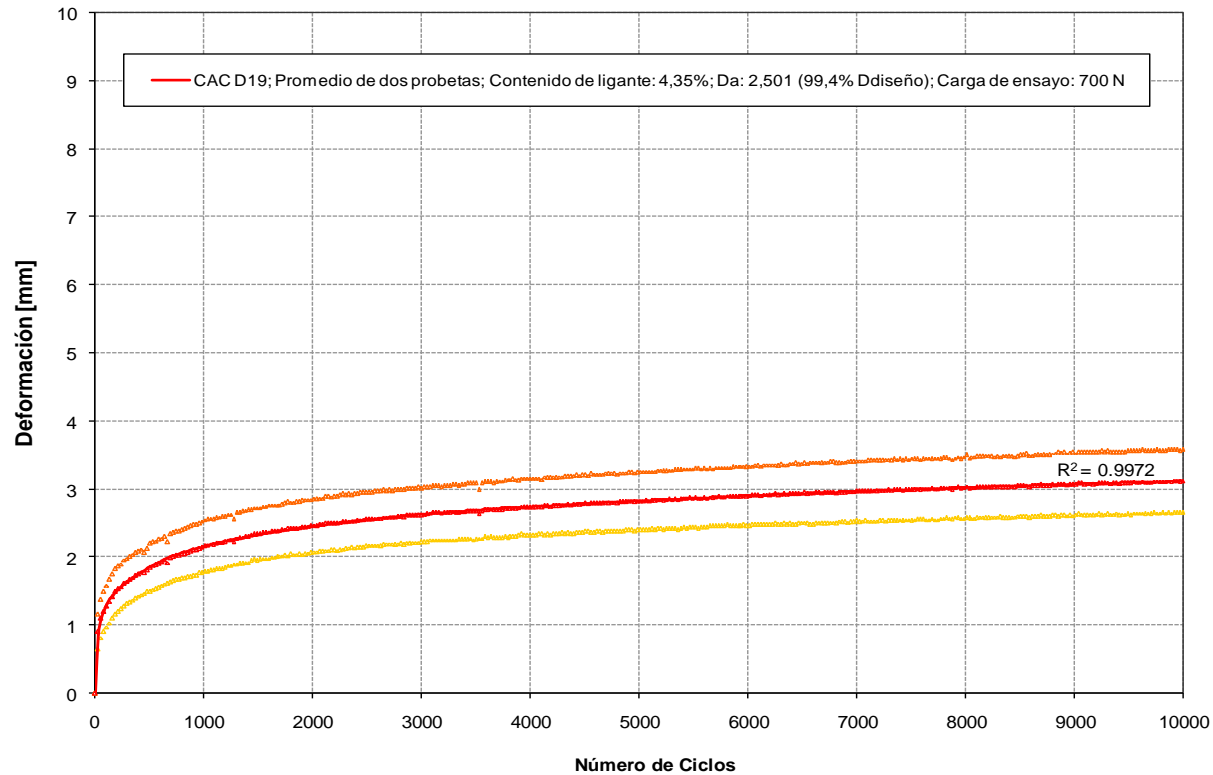
EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device

Wheel Tracking Test (60°C)



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device

Cálculos del ensayo

-Proportional Rut Depth

$$PRD = \frac{D_{\text{final}}}{\text{espesor}} [\%]$$

-Wheel Tracking Slope (Velocidad de deformación)

$$WTS = \frac{D_{10.000} - D_{5000}}{5} \left[\frac{\text{mm}}{10^3 \text{ ciclos}} \right]$$



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device

PROBETA	WTS [mm/10 ³ ciclos]	RD [mm]	PRD [%]
1	0,077	3,6	8,1
2	0,067	2,7	6,1

WTS _{promedio} [mm/10 ³ ciclos]	RD _{promedio} [mm]	PRD _{promedio} [%]
0,072	3,18	7,07



Evaluación de ahuellamientos en laboratorio

EL ENSAYO DE RUEDA CARGADA – EN 12697-22 – Small Size Device

- (*) Se debe utilizar como metodología de ensayo la descrita en el Procedimiento B en aire para dispositivo pequeño de la Norma EN12697-22. La duración del mismo es de 10000 ciclos. La temperatura de ensayo debe ser de 60 °C.
- Para el molde de la probeta de ensayo se deben utilizar los procedimientos establecidos en las Normas EN 12697-32 o EN 12697-33 considerando las temperaturas indicadas en el comentario uno (*). Se debe informar el porcentaje de vacíos alcanzado en las probetas, el cual debe estar comprendido dentro del rango de menos cinco décimas por ciento (- 0,5%) y más uno por ciento (+ 1 %) respecto del porcentaje de vacíos correspondiente a la Fórmula de Obra adoptada. El espesor de la probeta asfáltica debe ser de cincuenta milímetros (50 mm).

Los requisitos para la resistencia al ahuellamiento se establecen en la Tabla 5.2_58.

TABLA 5.2_58. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO "WHEEL TRACKING TEST"

Pendiente Media de Deformación (WTS AIRE) [mm/1000 ciclos de carga] en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos y Profundidad Media de la Huella (PRD) [%]				
Tipo de capa	Clasificación por tránsito			
	T1	T2	T3	T4
Rodamiento	WTS aire \leq 0,08 PRD \leq 5%	WTS aire \leq 0,10 PRD \leq 8%	WTS aire \leq 0,12 PRD \leq 10%	WTS aire \leq 0,15 PRD \leq 10%
Bases	WTS aire \leq 0,10 PRD \leq 8%	WTS aire \leq 0,12 PRD \leq 10%	WTS aire \leq 0,15 PRD \leq 10%	WTS aire \leq 0,15 PRD \leq 12%



CASOS DE ESTUDIO



Casos de estudio

■ Clima, Tránsito

- Elección del tipo de mezclas
 - Diseño estructural
 - Posición en la estructura



■ Diseño de la/las mezclas

- Agregados (desgaste/forma/angularidad)
- Curva granulométrica ("**tipo**" de mezcla)
- Tipo y contenido de ligante
- **Análisis de "sensibilidad", cuando sea necesario**



Mezclas y por ende
estructuras
"antihuellamiento"



Casos de estudio

- Dilemas y **tentaciones!!!!**
 - “Secar” las mezclas para aumentar su rigidez
 - Pretender que **sólo** con el cambio de ligante (ligantes más duros, multigrados, modificados ó de “mayor PG”), puede resolverse el problema de una mezcla deformable (ej. mezclas densas con altos contenidos de arena silíceo ó con finos de mala calidad)
 - Considerar que buenos parámetros volumétricos (léase Marshall) **siempre** deben garantizar mezclas con buenos comportamientos mecánicos...**error!!!!**



Casos de estudio

- Portafolio de mezclas, **a priori**, “poco deformables”

Mezcla	Materiales	Sugerencias
Densa ó semidensa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar agregados 100% de trituración ▪ Uso de ligantes duros CA 30 o CA 40 convencionales ▪ Opción: ligantes multigrados o modificados con polímeros 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificación de sensibilidad al cambio de ligantes mediante ensayos de rueda cargada (WTT) y/ó Hamburgo, que justifiquen el cambio
Alto módulo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar agregados 100% de trituración ▪ Uso de ligantes duros pen 10-20 convencionales o modificados del tipo AM1 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ajustar fórmula: % de asfalto óptimo puede variar si se utilizan ligantes convencionales o modificados ▪ Deben cubrirse con capa de rodamiento (tipo F10 ó SMA delgada)
MAC F10 CAC D12/19 SMA 12/19	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizar agregados 100% de trituración ▪ Uso de ligantes modificados ▪ Opción: ligantes multigrados o modificados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilizarlas en baja espesor en combinación con bases resistentes al ahuellamiento



Casos de estudio

■ Caso 1

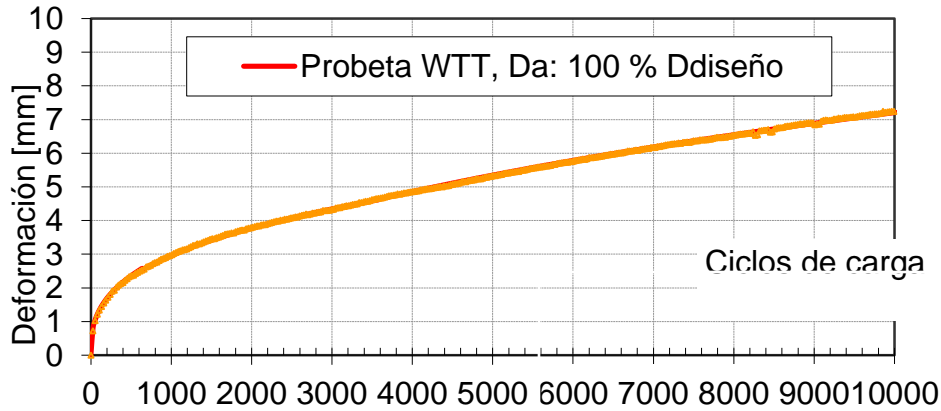
- Mezcla CAC S19 con ligante AC 30
- Estabilidades >14 kN
- Vacíos < 3% a pesar de % bajos de ligante (4,5%)
- Aspecto: exudación en superficie! A pesar del bajo contenido de asfalto
- Primer sospechoso...**EL ASFALTO!!!!**

Y entonces?????



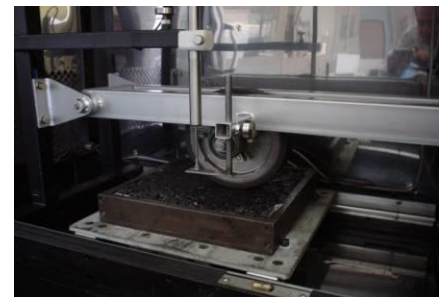
Casos de estudio

■ Caso 1 (cont.): Evaluación WTT



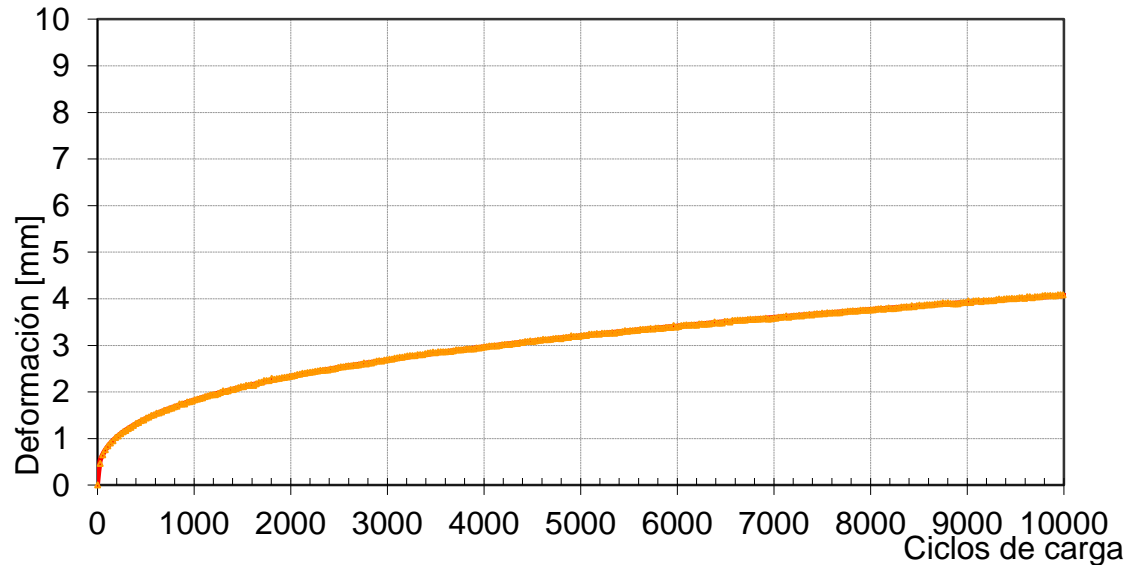
Parámetros de Ahuellamiento de la línea de tendencia del promedio

	10000 ciclos		5000 ciclos	
Profundidad huella (mm)	4,26	7,21	3,44	5,35
PRD ₁₀₀₀₀ [%]	8,52	14,41		
WTS ₁₀₀₀₀ [mm/10 ³ ciclos]	0,164	0,372		
Estabilidad Dinámica	12165	5381		



Casos de estudio

■ Caso 1 (cont.): Fórmula original de diseño



Parámetros de Ahuellamiento de la línea de tendencia del promedio

	10000 ciclos	5000 ciclos
Profundidad huella (mm)	4,07	3,20
PRD ₁₀₀₀₀ [%]	8,14	
WTS ₁₀₀₀₀ [mm/10 ³ ciclos]	0,173	



Casos de estudio

- Caso 1 (cont.)

Resultado:

Evidencia un cambio en la calidad de la fracción fina de un frente de trabajo respecto del otro. Se verifica que la mejora en el comportamiento al ahuellamiento de la mezcla en este caso (sensibilidad), debía lograrse más por corrección granulométrica y cambio de la fracción fina que por las propiedades del asfalto.



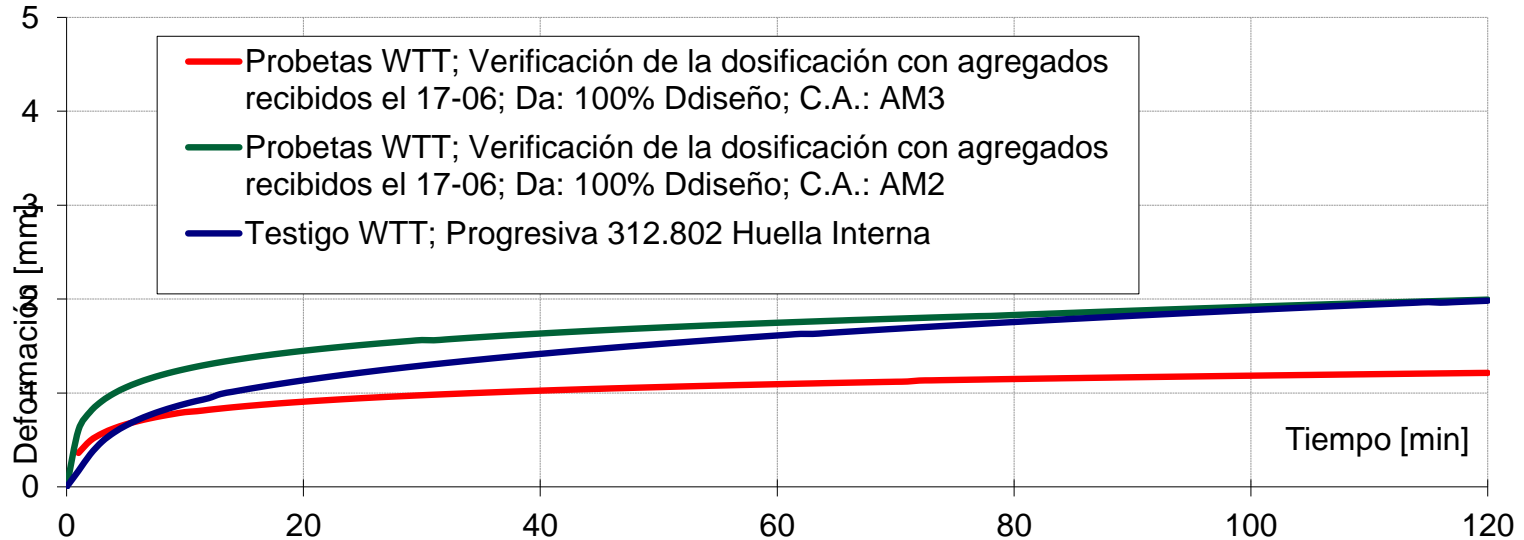
Casos de estudio

- Caso 2 (2013)
 - Mezcla CAC S19 con ligante AM3
 - Evaluación comparativa de WTT (entre normas y vs. testigos)
 - Análisis de sensibilidad por cambio a AM2



Casos de estudio (cont.)

■ Caso 2 (cont.): comparativa BS 598



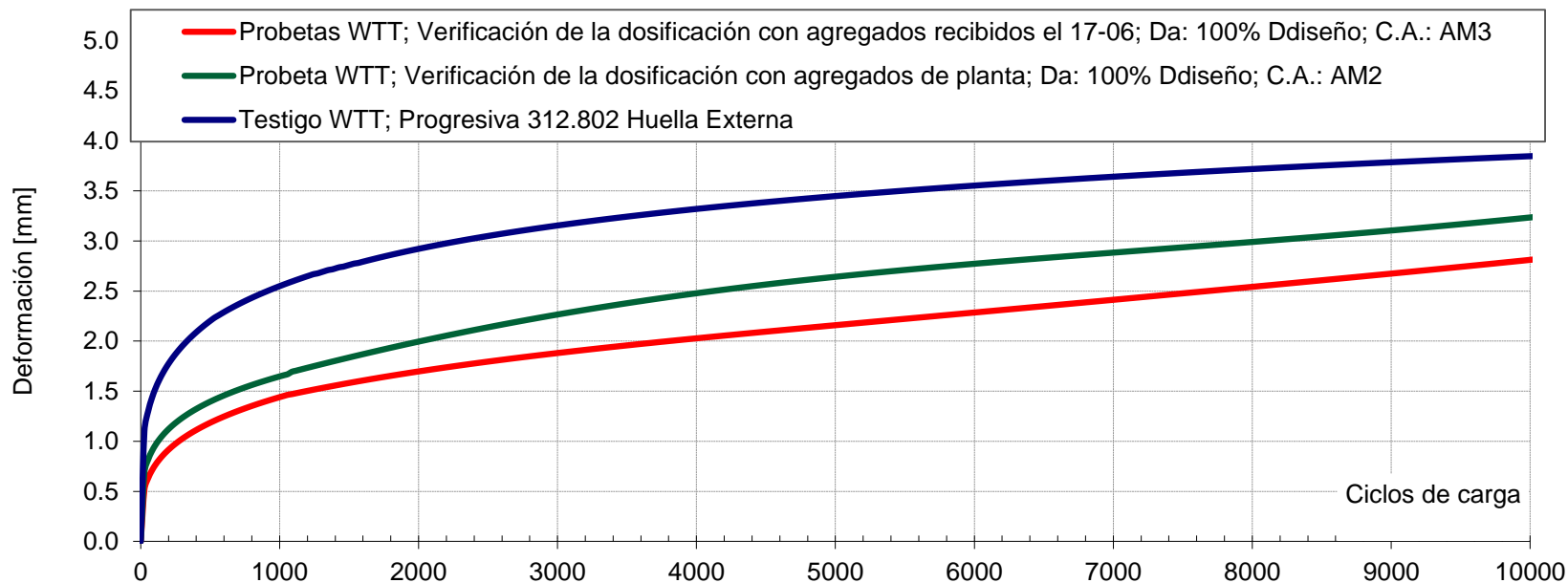
Valores de referencia:
42 pasadas,
2hs ensayo, carga 520N, 60°C

**Parámetros de Ahuellamiento de la línea de
tendencia del promedio (120min)**

	AM3	AM2	Testigo con AM3
Profundidad huella (mm)	1,21	1,99	1,98
Velocidad deformación	0,0015	0,0029	0,004
Estabilidad dinámica (>8000)	28769	14385	10500



Casos de estudio



Valores de referencia:
 60 ciclos (26,5/min),
 6hs ensayo, carga 705N, 60°C

Parámetros de Ahuellamiento de la línea de tendencia del promedio (10000 ciclos)

	AM3	AM2	Testigo con AM3 HE
Prof. Huella D_{10000} (mm)	2,81	3,23	3,85
PRD ₁₀₀₀₀ [%]	5,62	6,47	7,69
Pend. Ahuellam. WTS_{10000} [mm/10 ³ ciclos]	0,13	0,119	0,08



Casos de estudio

- Caso 2 (cont.)

Resultado:

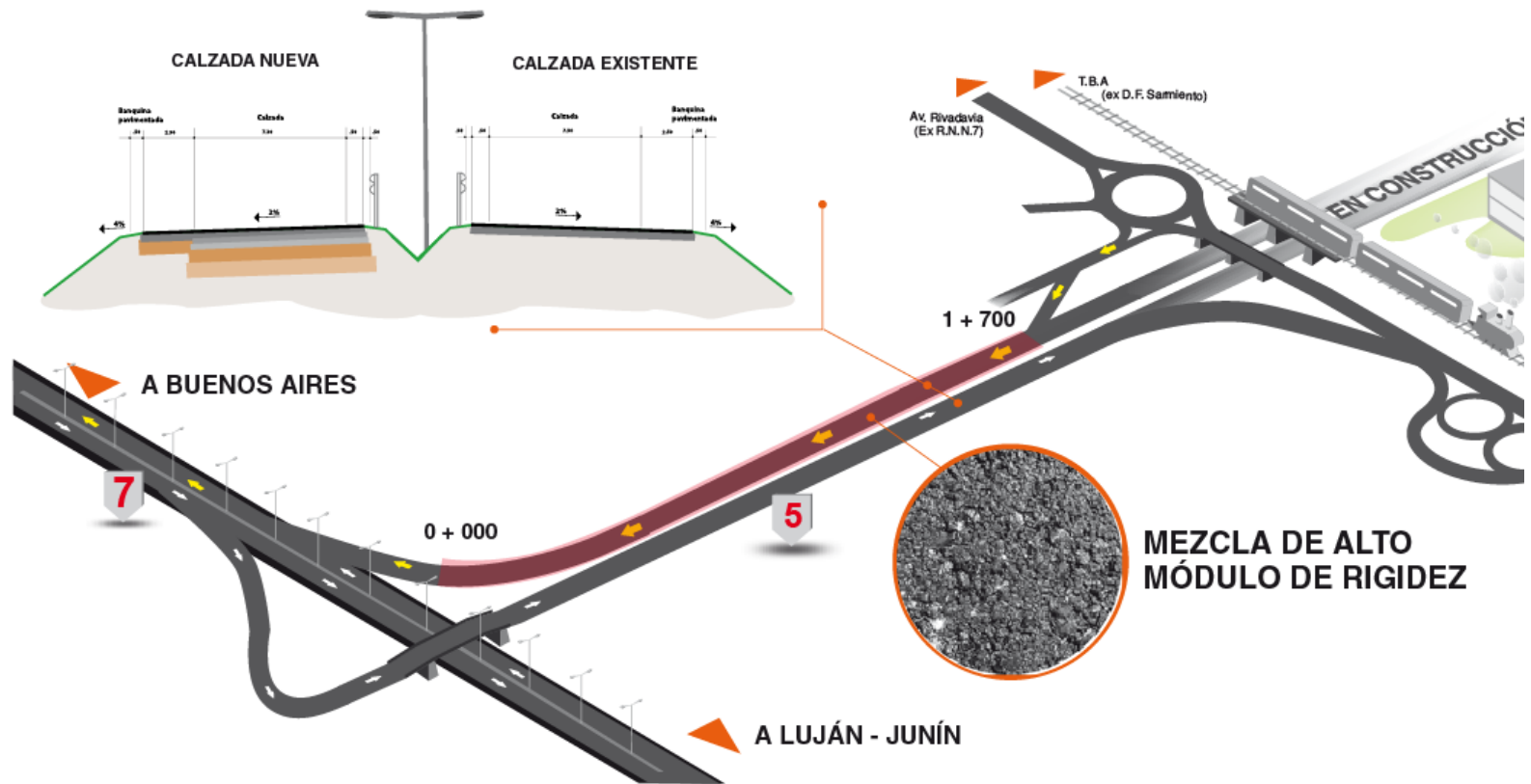
validación de comportamiento por ambos métodos y correlación probetas de laboratorio vs. testigos.

Adicionalmente comprobar la baja sensibilidad de la mezcla al cambio de ligante y por consiguiente la posibilidad de optimizar la solución con el uso de AM2.



Casos de estudio

- Caso 3 (2007-2008) Solución “integral”: Mezcla CAC S19 AM con MAC F10



Casos de estudio

■ Caso 3 (cont.): WTT (BS) y macrotextura s/testigos (2012)

Capa	MAC F10+ 1ra capa de MAM			
Prog.	1,600	1,300	600	500
Profundidad de huella [mm]	0.91	0.85	0.73	0.83
Estabilidad dinámica [pasadas/mm]	21,232	16,591	22,500	17,027

Prog.	Carril I	Huella	Promedio textura [h; mm]
1,600	I	Izquierda	0.8
	II	Derecha	1.0
1,300	I	Izquierda	1.0
	II	Derecha	0.9
600	I	Izquierda	0.8
	II	Derecha	1.1
500	I	Izquierda	0.8
	II	Derecha	0.8



Casos de estudio

- Caso 3 (cont.)

Resultado:

Validación del comportamiento de la solución tanto desde el punto de vista de las deformaciones como el esperado mejor comportamiento estructural

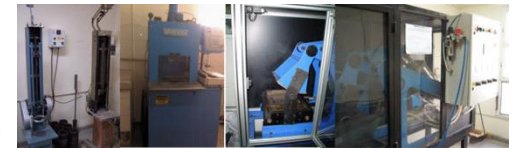
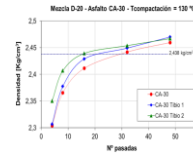


Casos de estudio

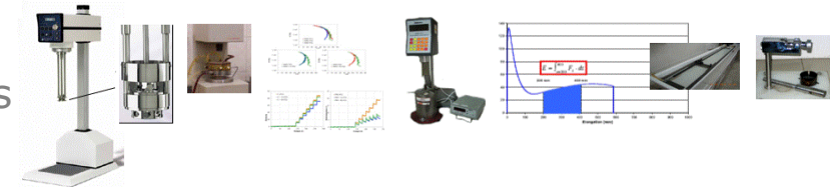
- Envejecimiento del ligante (reología del ligante original, envejecido, recuperado del camino)



- Energía en procesos de compactación
Mejoras de compactibilidad



- Modificación reológica de ligantes asfálticos



- Resistencia a las deformaciones



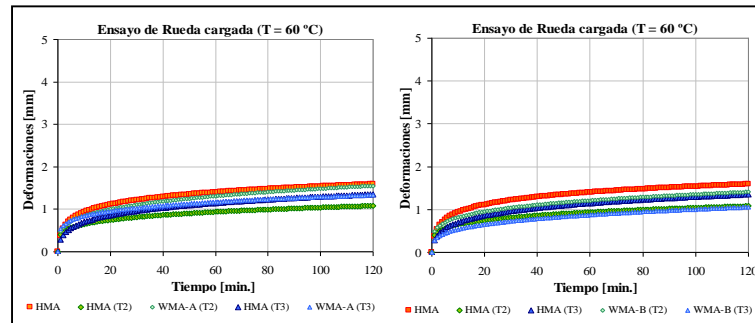
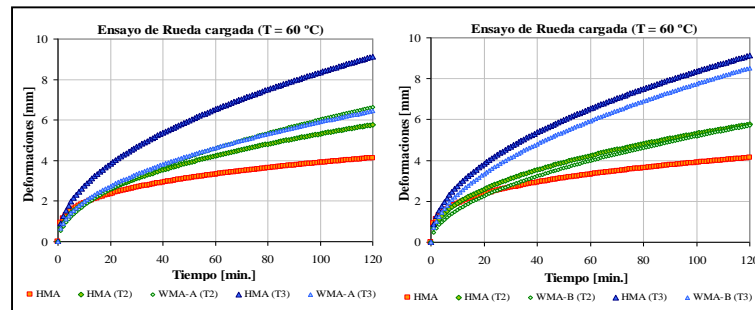
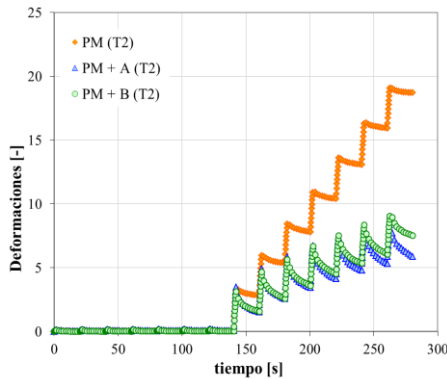
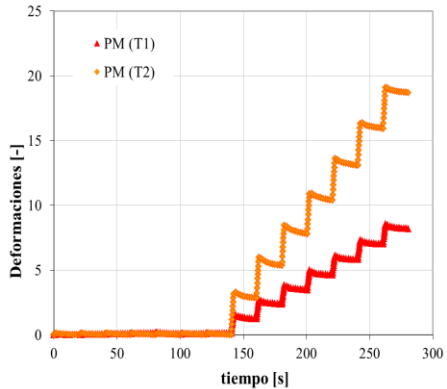
Investigación tecnológica

Proyectos de I+D+i



Casos de estudio

PROPIEDADES DEL ASFALTO – MSCR Y RELACIÓN CON EL AHUELLAMIENTO



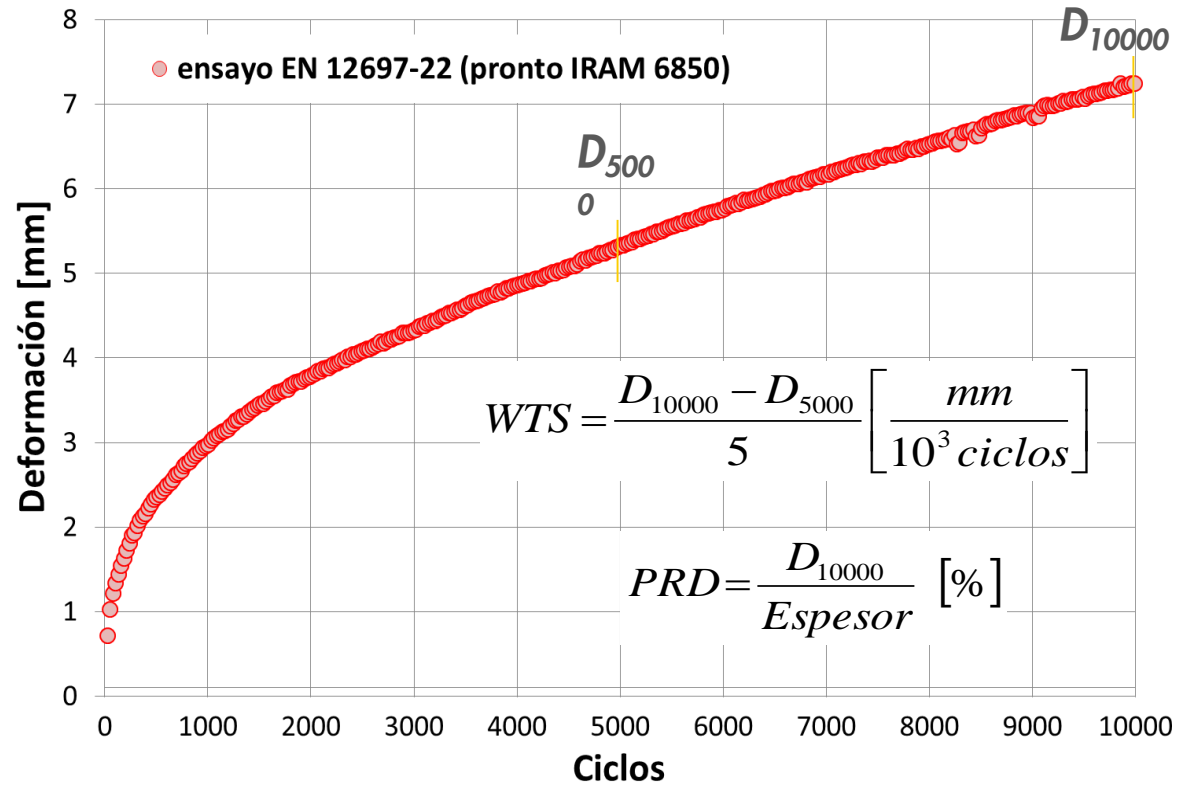
Investigación tecnológica

Proyectos de I+D+i



Casos de estudio

INVESTIGACIONES CON MEZCLAS TIBIAS



Investigación tecnológica

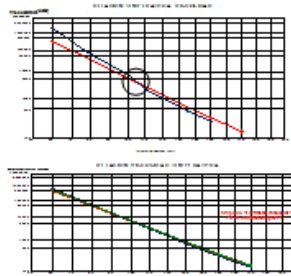
Proyectos de I+D+i



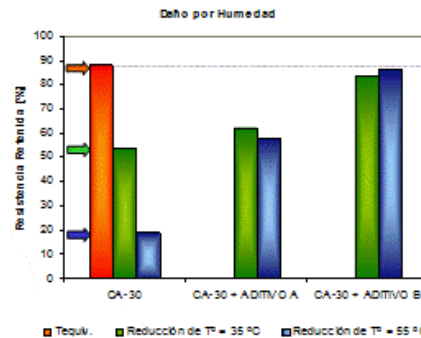
Casos de estudio

Mezclas asfálticas tibias (2009-2017)

Binders LT



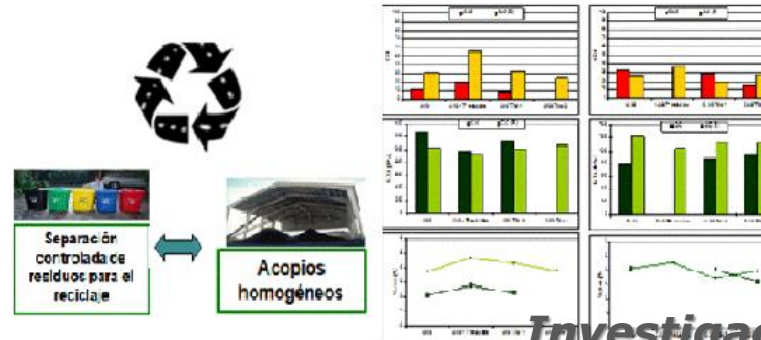
WMA design



Experimental sections



- WMA – RAP, incorporación de RCD, ADF, etc. (2015- actual)



Investigación tecnológica

Proyectos de I+D+i

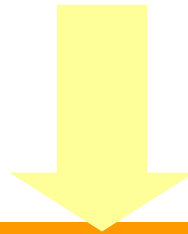


RESUMEN



Resumen

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



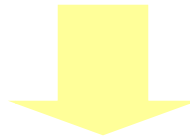
Asfaltos multigrado
Asfaltos de muy baja penetración
Asfaltos resistentes a los solventes

WTT



Resumen

Se requiere un asfalto más resistente



a las deformaciones plásticas: Asfalto modificado con polímero EVA



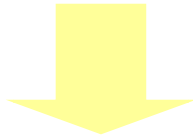
al ahuellamiento, a la fatiga y a la fisuración térmica:
Asfalto modificado con polímero SBS

WTT



Resumen

Mejores diseños de estructuras de agregados



Mezclas menos deformables



Control de propiedades mecánicas

WTT



Otros aspectos fundamentales

- Control de la Fabricación



Otros aspectos fundamentales

- Control de la Colocación

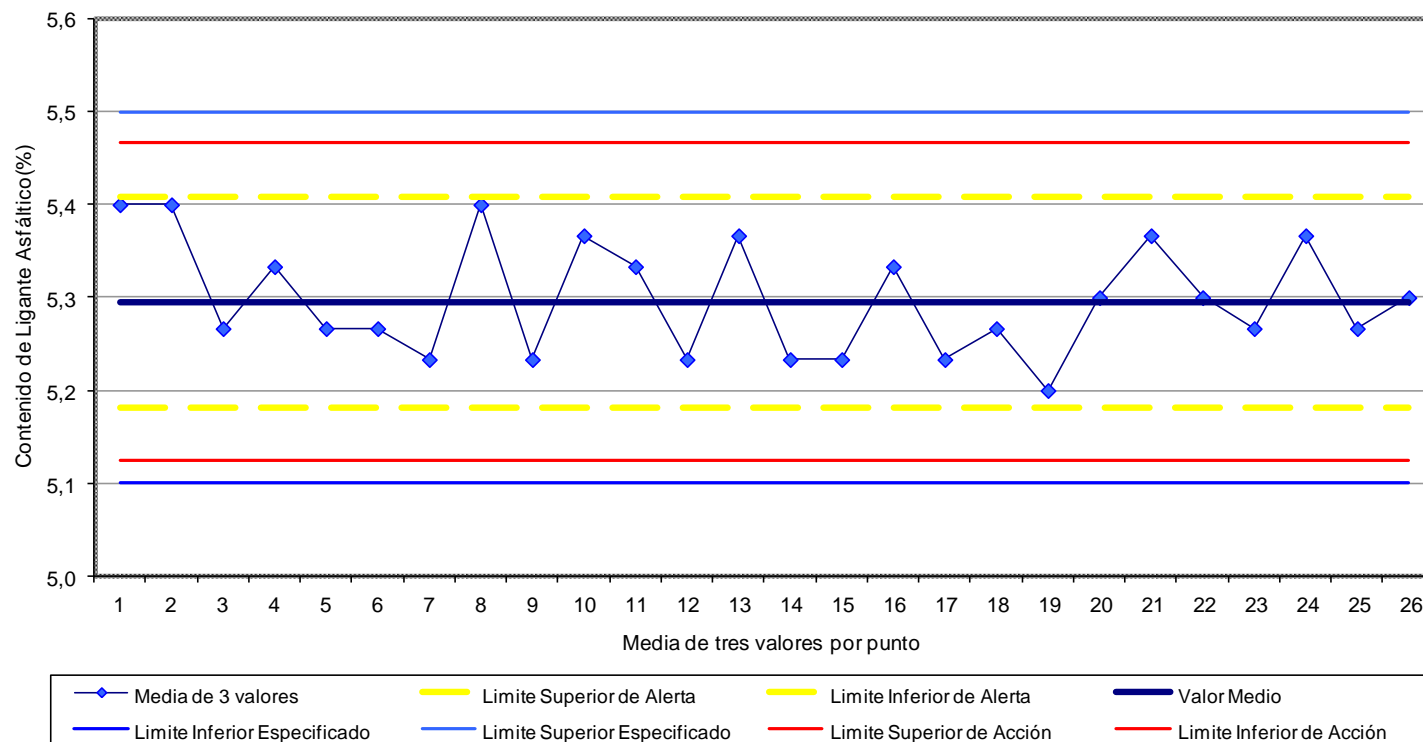


Otros aspectos fundamentales



Otros aspectos fundamentales

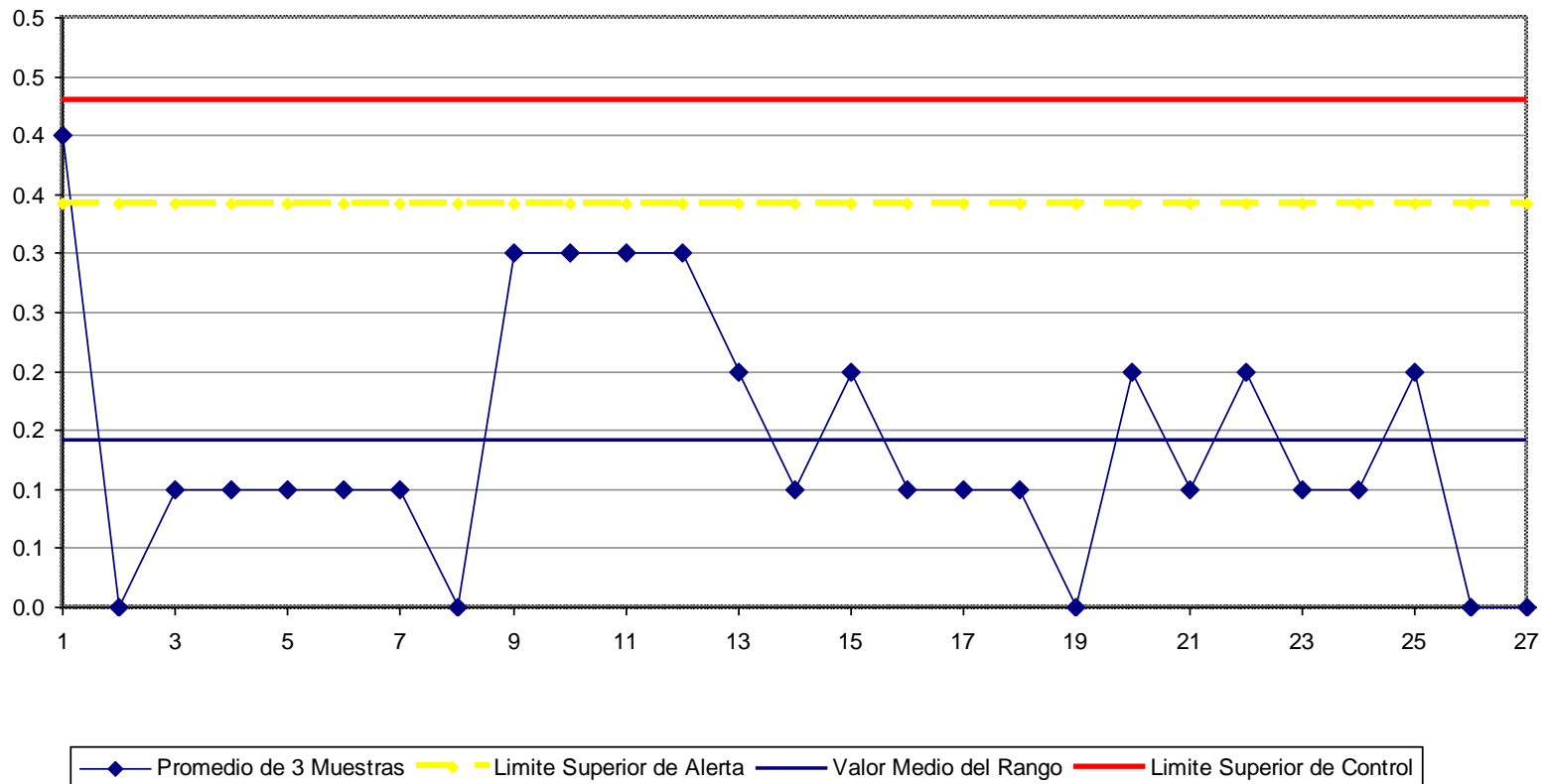
■ Registro del control de Procesos



Otros aspectos fundamentales

■ Cartas de Control de Procesos

Promedio de Rangos



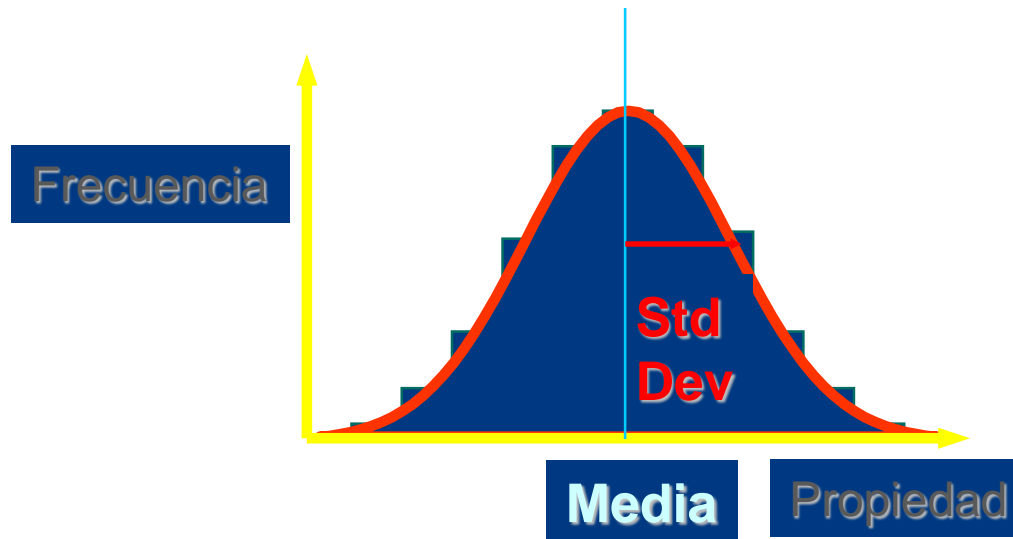
Otros aspectos fundamentales

- Medidas de la variabilidad

Rango

Desviación estándar

Coefficiente de variación



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

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



VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AHUELLAMIENTO

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



Preguntas?



Q&A