

# INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO A MEZCLAS BITUMINOSAS POR VÍA SECA



## ➤ Introducción: Vía Seca

- El polvo de caucho se introduce directamente en el mezclador, como un árido más, junto con el betún y los áridos
- En el proceso de mezclado denominado “digestión” las partículas finas del polvo interactúan con el betún modificando sus propiedades
- El porcentaje de polvo de caucho oscila entre 1-3% s/árido



## Historia

- Fue desarrollada en Suecia a finales de los años 60
- En 1978 se patentó en EEUU con el nombre de PlusRide
- En 1986 se desarrolló el sistema Takallou genérico



## ➤ Historia: Sistema PlusRide

- Se utilizaba un caucho troceado con tamaños gruesos en la fracción 0/6 y granulometría discontinua
- Las proporciones de polvo de caucho adicionado eran 1-3 % sobre árido
- Se diseñó como sistema antihielo, las partículas más gruesas con un comportamiento como áridos elastoméricos, deforma la superficie del firme por las sollicitaciones del tráfico provocando la rotura del hielo cuando se comienza a formar



## ➤ Historia: Sistema Takallou

- Empleo de partículas de polvo de caucho de dos fracciones
  - Una gruesa que actúa como un árido elástico
  - Una fina que interactúa con el betún
- El contenido de polvo de caucho no era superior al 2% sobre mezcla



## ➤ Experiencias en España

### ● En Cataluña

- Empleando la tecnología genérica de Takallou
- Tramos de mezclas densas y semidensas con 2% de polvo de caucho con tamaño inferior a 2 mm

● Tramos en Madrid y Sevilla con mezcla F10 y semidensa en Salamanca

● Experiencia de Los Serranos con 350 km en vías urbanas e interurbanas y tráfico T00 a T4



## ➤ Experiencia Los Serranos: Trabajos iniciales

- Mezcla BBTM11B
  - Ligante 60/70
  - 0,4-0,5% de polvo de caucho s/m
  - Tamaño del polvo < 300 micras
  - Temperatura de mezclado 180-190 °C

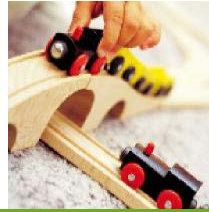




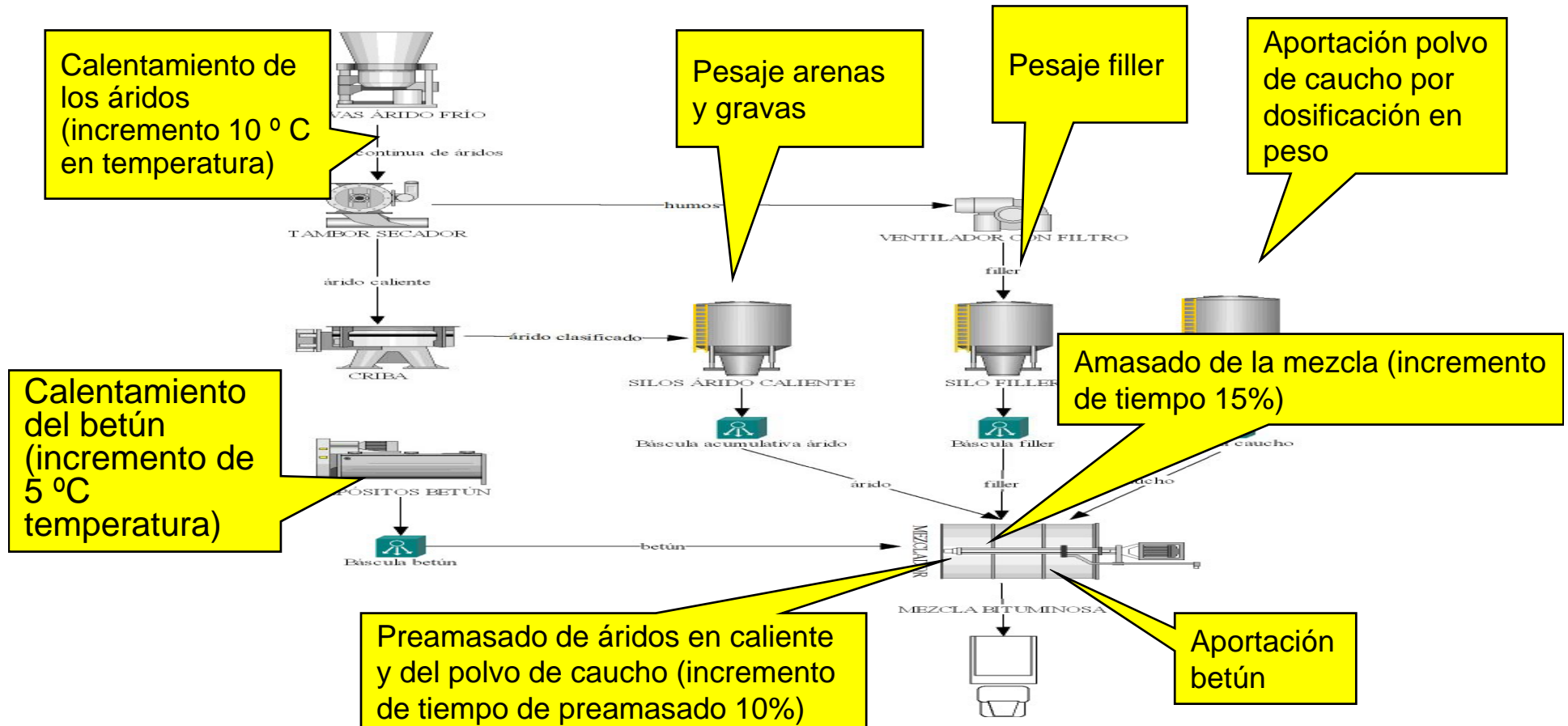
## ➤ Diseño y fabricación por vía seca

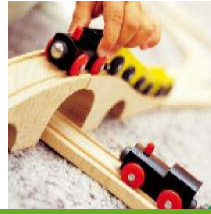
- Determinar el tamaño óptimo del polvo de caucho
- Ajustar la granulometría de los áridos
- Definir el porcentaje óptimo de polvo de caucho para mejorar las propiedades de las mezclas
- Determinar el porcentaje óptimo de ligante
- Definir la secuencia de fabricación
- Definir el tiempo de digestión máximo para la modificación de las características de las mezclas





Proceso de fabricación





## ➤ Sistema de dosificación

- Inicialmente de manera manual
- En 2006 se automatizó para su dosificación, pesado y homogeneización



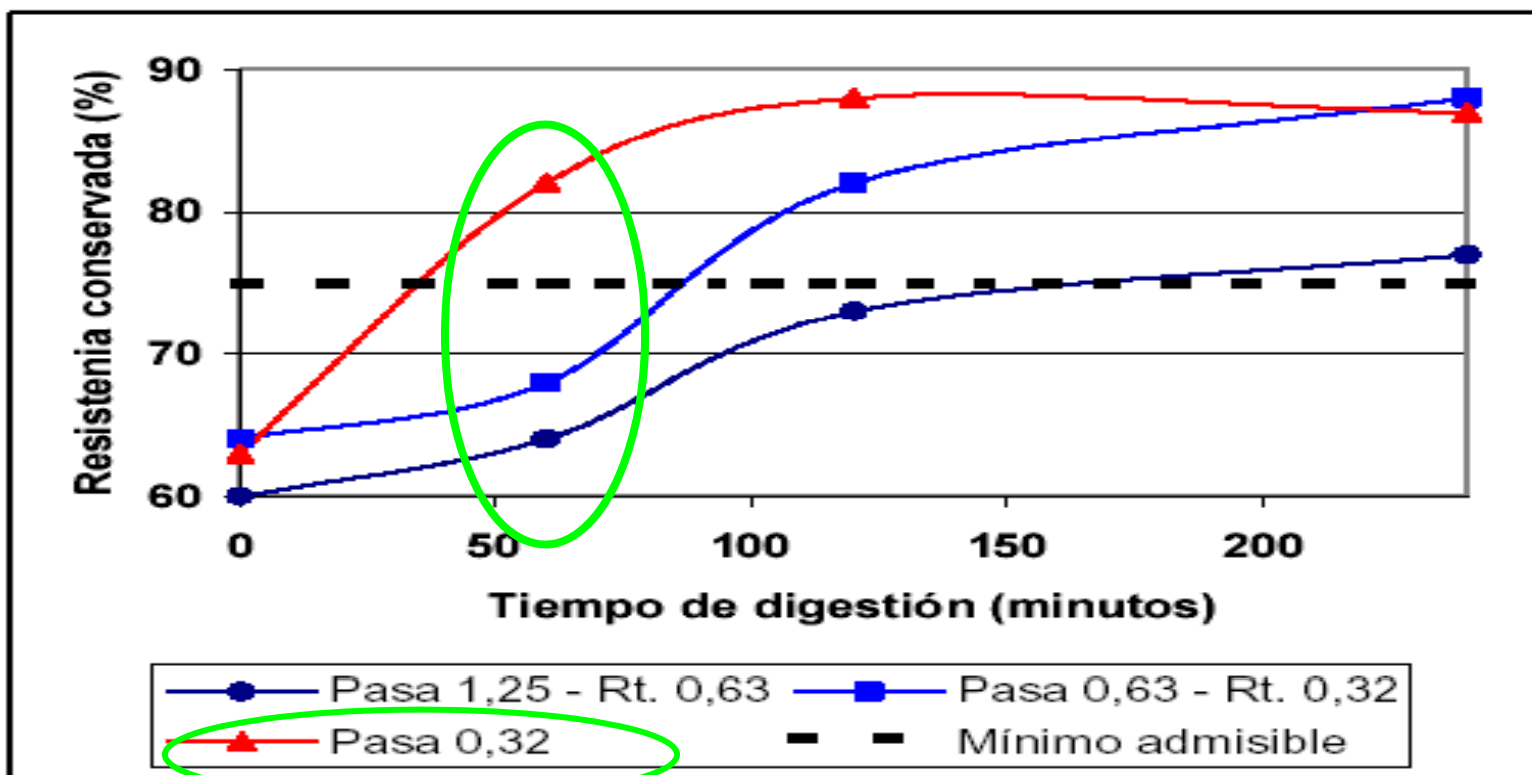


## ➤ Proceso de digestión

- Prolifera desde la superficie de la partícula hacia el exterior e influye
  - Finura del polvo de caucho
  - El porcentaje de polvo adicionado
  - La temperatura de fabricación
- Se estima evaluando el comportamiento de la mezcla mediante ensayos de inmersión-compresión por el efecto del agua sobre la cohesión de la mezcla



## Proceso de digestión

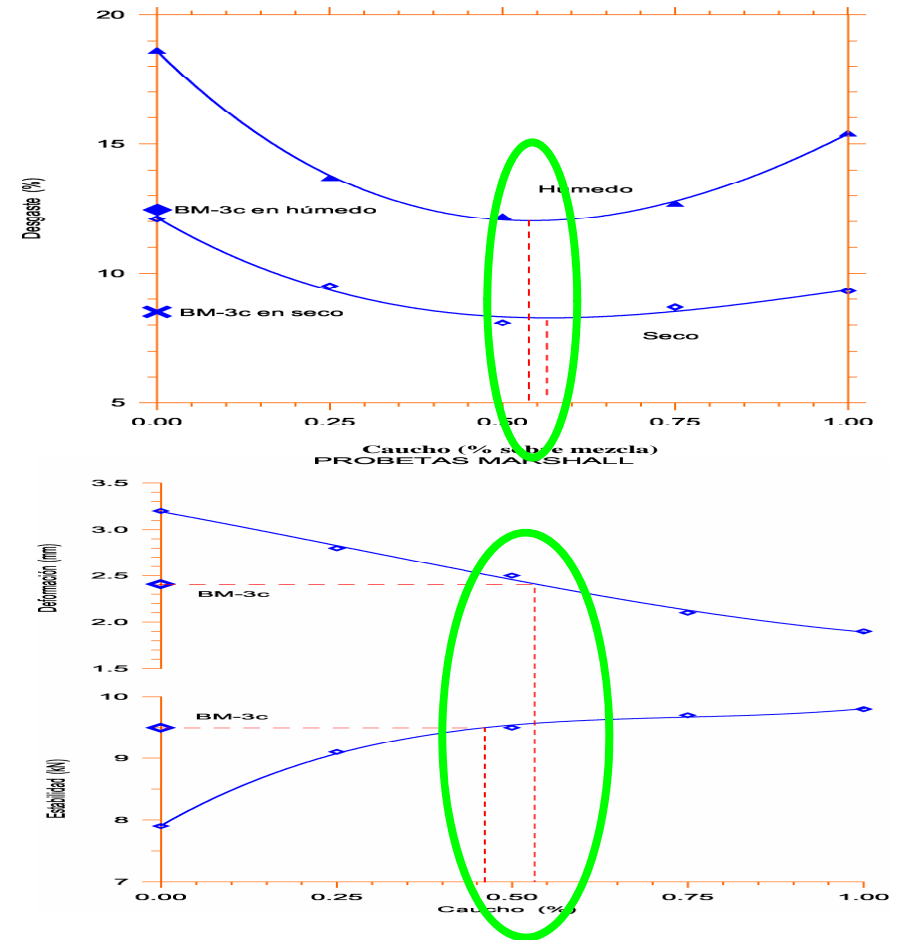




## Resultados de caracterización

### Mezcla BBTMB11

- Desgaste cántabro en húmedo óptimo para 0,53%
- Estudio Marshall muestra valores de estabilidad máximo para 0,5%
- La deformación disminuye al aumentar la dotación de polvo de caucho

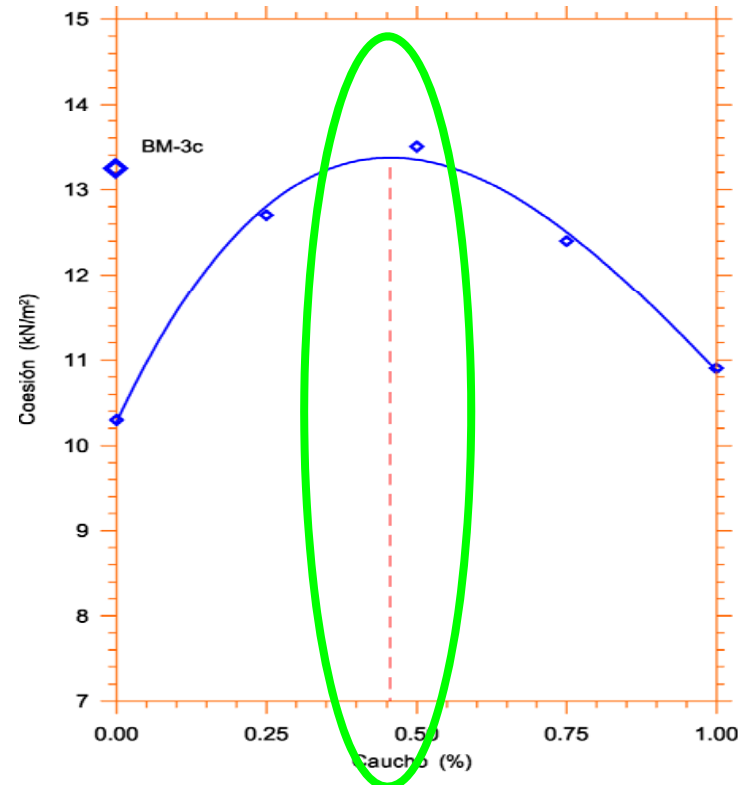




## Resultados de caracterización

### Mezcla BBTMB11

● Ensayo de  
compresión diametral  
muestra valores  
máximos para una  
dotación de 0,46%





## ➤ Resultados de caracterización: Mezcla tipo M10

Determinación	Norma	Valor PG-3 betún modificado	Valores con NFU
Compactación nº golpes	NLT-159	50	50
Pérdida por abrasión seco	NLT-352	≤ 15	6
Huecos s/m (%)	NLT-159	≥ 12	17
Contenido de ligante soluble s/m (%)	UNE EN 12697-1	5	5,25
Macrotextura (mm)	NLT-335	1,5 mín	2,5
Resistencia al deslizamiento CRT (%)	NLT-336	60 mín	75
Deformación pista V105-120 (m/min)	NLT-173	12 (zona cálida)	3



## ➤ Desarrollo de mezclas: Mezclas de Módulo Alto

### ● Mezclas para capa base

- AC22/BASE/40/50 S
- 0,5% polvo s/m
- 5% ligante s/m
- Áridos calizos

● Módulos dinámicos de  
6.500 MPa

### ● Mezclas para capa base

- AC22/BASE/40/50 S
- 1,4% polvo s/m
- 6% ligante
- Áridos calizos

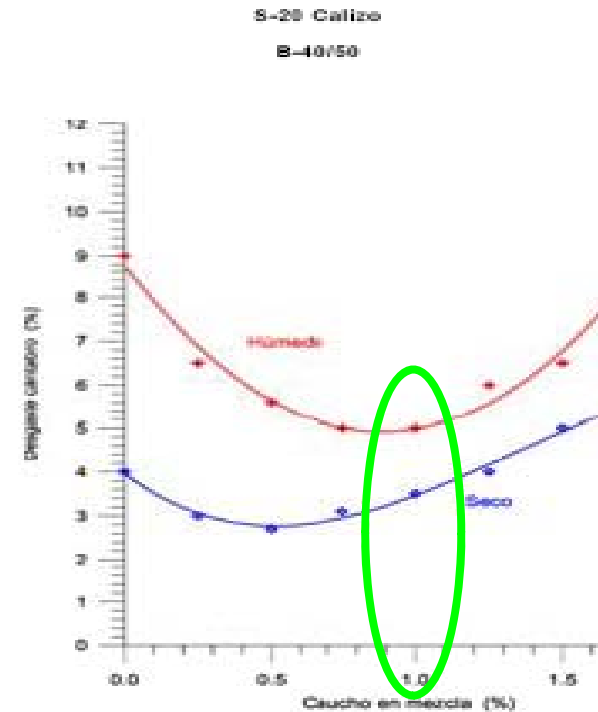
● Módulos dinámicos de  
11.000 MPa





## ➤ Resultados de caracterización: Mezclas Módulo Alto

- Ensayo cántabro para determinar la dotación óptima de polvo de caucho antes de pasar a un comportamiento frágil
- En húmedo el porcentaje óptimo se localiza en el 1%

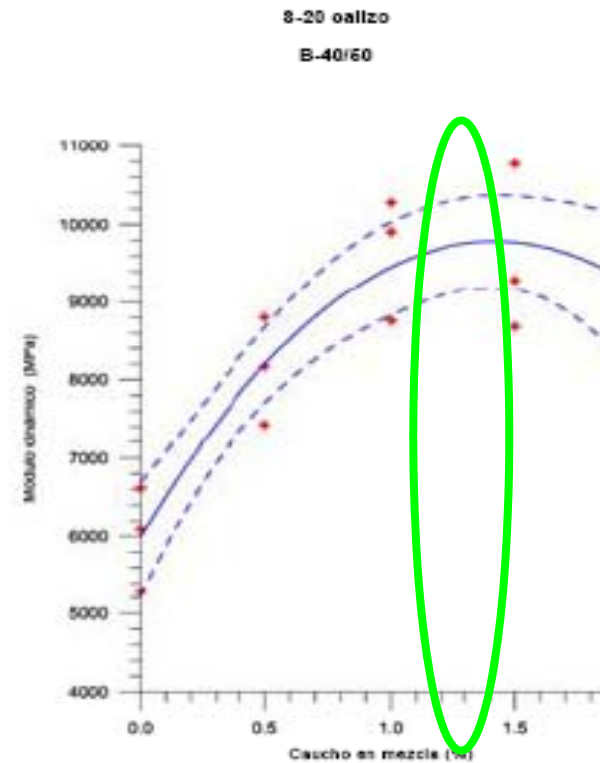




## ➤ Resultados de caracterización: Mezclas Módulo Alto

- Ensayo del módulo dinámico

- Se alcanzan valores de 9.800 MPa para una dotación de polvo de caucho de 1,4%

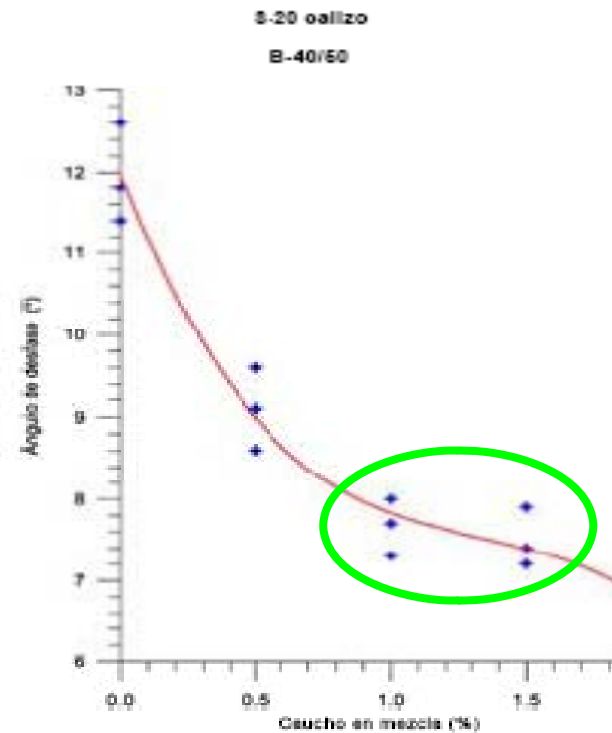




## ➤ Resultados de caracterización: Mezclas Módulo Alto

### ● Ángulo de desfase

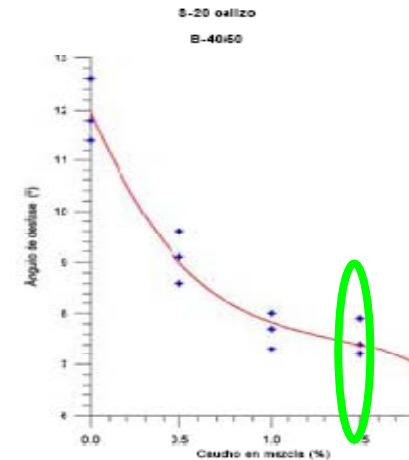
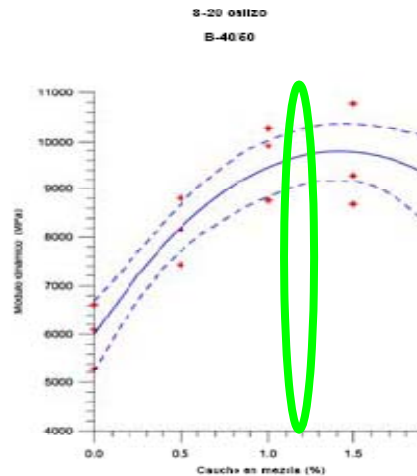
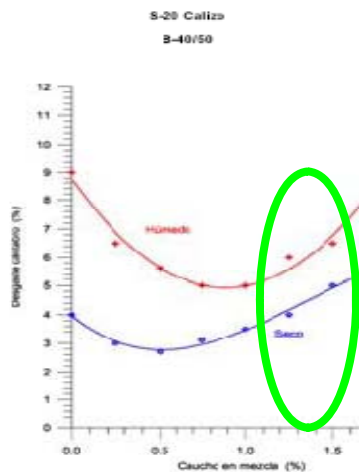
● Para porcentajes de caucho entre 0,8-1,5% se observa un comportamiento elástico de la mezcla (valores próximos a  $0^\circ$ )





## ➤ Resultados de caracterización: Mezclas Módulo Alto

● A partir de los resultados se observa que para mezclas de “módulo alto” la dotación óptima de polvo de caucho se encuentra en torno a 1,3% s/m





## ➤ Resultados de caracterización: Mezclas Módulo alto

Determinación	Norma	Valores con NFU
Compactación nº golpes	NLT-159	75
Estabilidad mínima (kN)	NLT-159	18
Huecos s/m (%)	NLT-159	5
Contenido de ligante soluble s/m (%)	UNE EN 12697-1	7,5-8
Módulo dinámico MPa (a 20 °C, 10 Hz)	NLT-349	10.500
Índice de Resistencia Conservada (%)	NLT-162	95
Deformación pista V105-120 (m/min)	NLT-173	3,2



## ➤ Mezclas antifisuras y ultradelgada

- Mezcla discontinua
- Tamaño máximo del árido 12 y 6 mm
- Altos contenidos de ligante
- Espesores de capa entre 2,5-3 cm antifisuras
- Espesores de 1,2 cm para las ultradelgadas
- Incorporación de 20% de polvo de caucho
- Granulometría de polvo de caucho inferior a 0,5 mm



## ➤ Mezclas antifisuras y ultradelgada





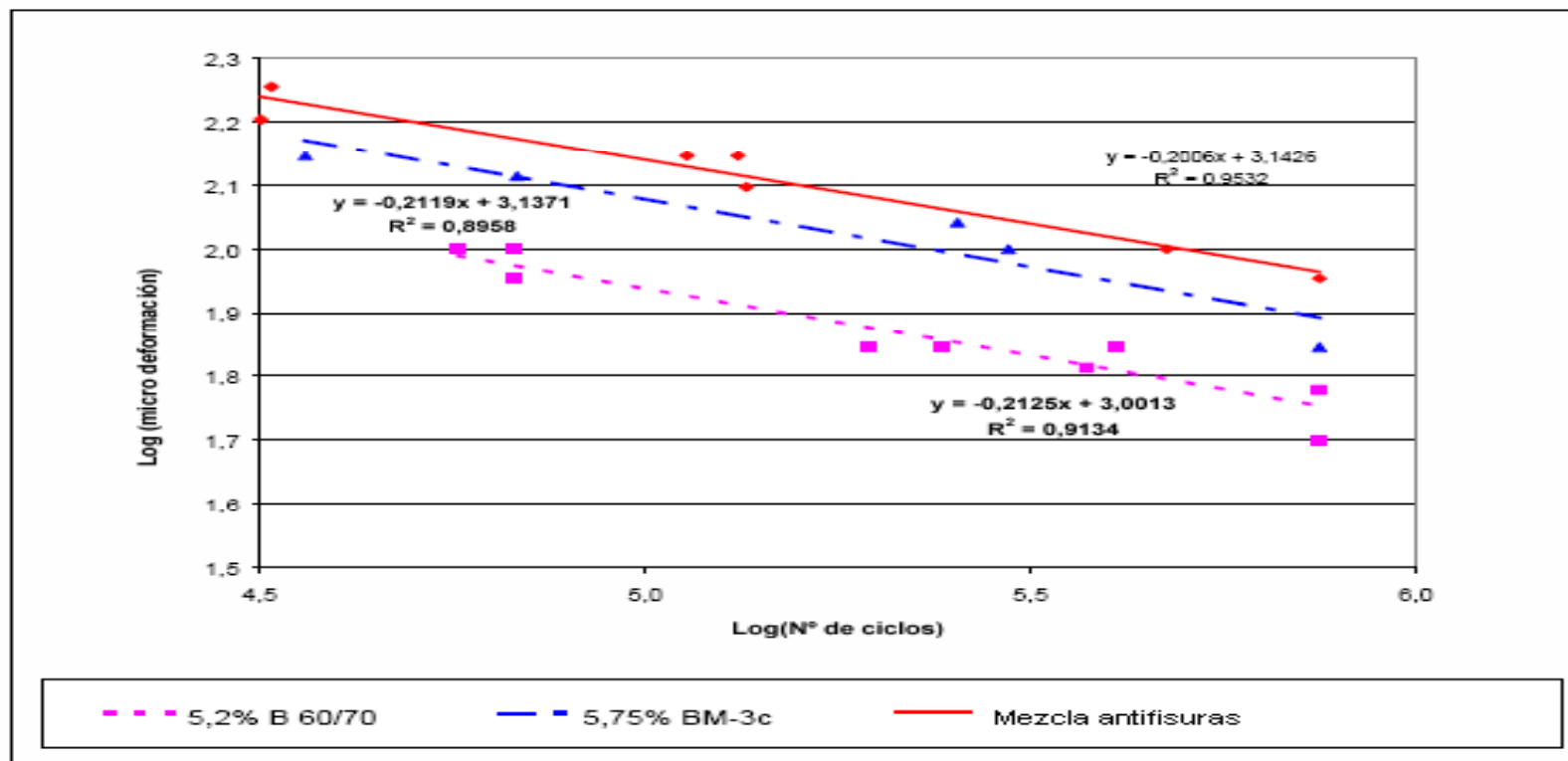
## ➤ Resultados de caracterización: Mezcla antifisuras

- Buen comportamiento ante ciclos de carga y descarga en la comparativa
  - Vía seca
    - Ligante 60/70 5,2%
    - 9,2 % betún + caucho
  - Betún modificado con polímero
    - BM3c al 5,75%



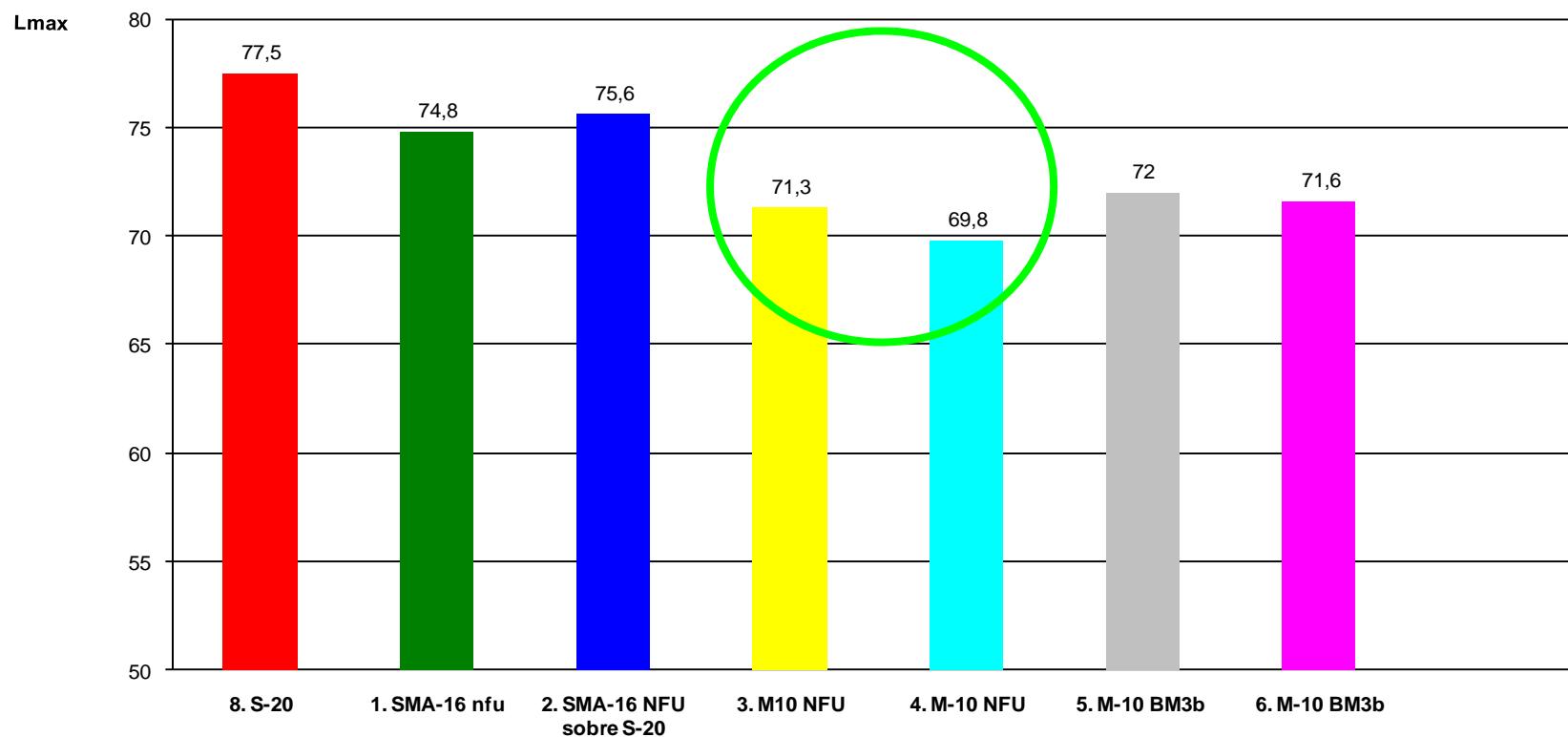


## Resultados de caracterización: Mezclas antifisuras





## ➤ Resultados ruido de rodadura

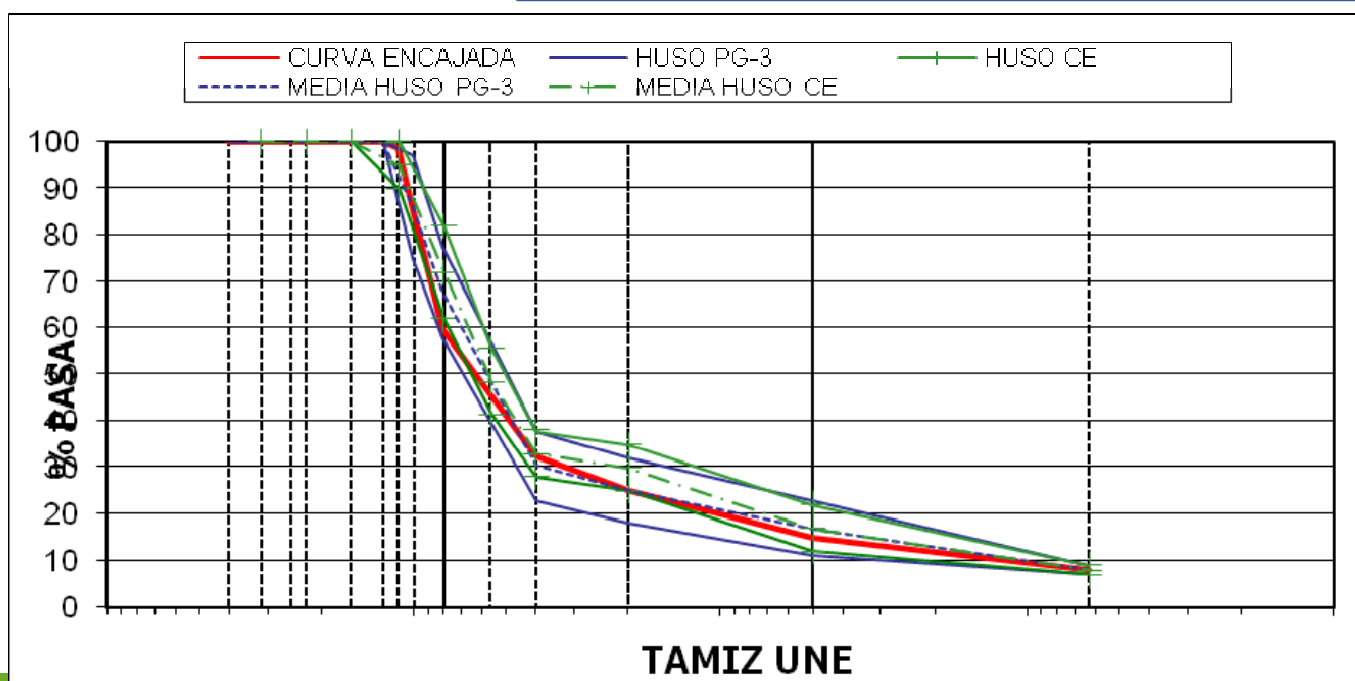




## Experiencia de Rus-Eiffage

### Diseño de una mezcla BBTM11A

- Mediante estudio Marshall
- Comparativa con una mezcla fabricada con BM3b





## Experiencia de Rus-Eiffage

Ligante	%b/a	% b/m
%b/a	5,5	5,5
% b/m	5,21	5,21
% caucho	0	0,5
Densidad (kg/m3)	2341,4	2330,9
Estabilidad	1269	1401
Deformación	3,6	2,5
% huecos/mezcla	6,1	6,5
% pérdida en seco	6,5	6,0
% pérdida en húmedo	10,9	10,4

Característica	Norma	Resultado
Deformación permanente (WTS)	UNE EN 12697-22	0,03
Índice de resistencia conservada (%)	NLT-162	75,7
Resistencia a tracción indirecta (%)	UNE EN 12697-12	86,4



## ➤ Conclusiones

### Características funcionales

- Es una técnica contrastada
- Se consigue el empleo de una mayor cantidad de betún sin que se produzcan escurrimientos
- Se modifica la reología de la mezcla
  - Aumento de la elasticidad
  - Resilencia a temperaturas elevadas
  - Disminución de la susceptibilidad térmica



## ➤ Conclusiones

### Características funcionales

- Comparable a los betunes modificados con polímero BM-3b y BM-3c y mejor comportamiento que los BM-3a
- Es una técnica que su puesta en funcionamiento no requiere realizar grandes modificaciones en la planta
- No existe problemas de almacenamiento de ligante

### Características ambientales

- Se cumple el principio de jerarquía de gestión de residuos; reutilización y reciclado



## ➤ Conclusiones

### Características sociales

- Mejora de la seguridad vial por permanecer más tiempo el contraste con las marcas viales por la mayor presencia de ligante
- Reducción del nivel sonoro en el contacto rueda pavimento con valores hasta 7 dB con respecto a una mezcla convencional



**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**