



# GUÍA DE FABRICACIÓN DE BETUNES MODIFICADOS CON CAUCHO

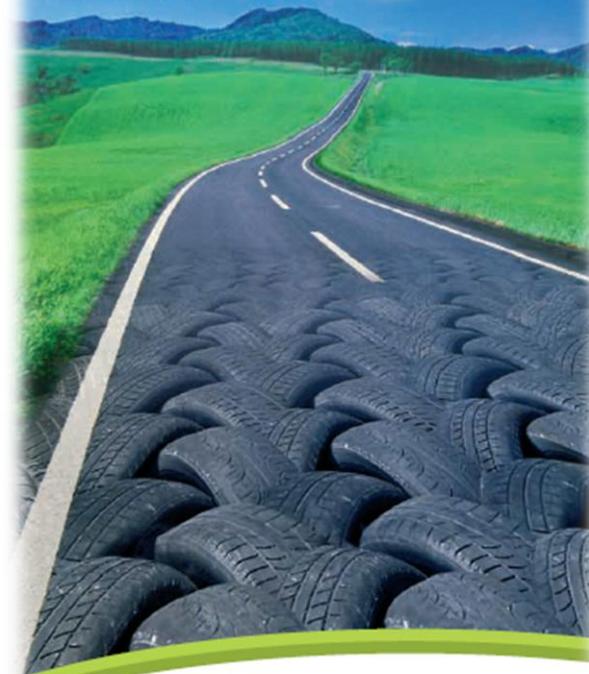
**Juan Gallego Medina**  
Universidad Politécnica de Madrid

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

*Jornada Técnica*

**Mezclas bituminosas  
con polvo de neumático.  
Una solución técnica  
y ambiental.**

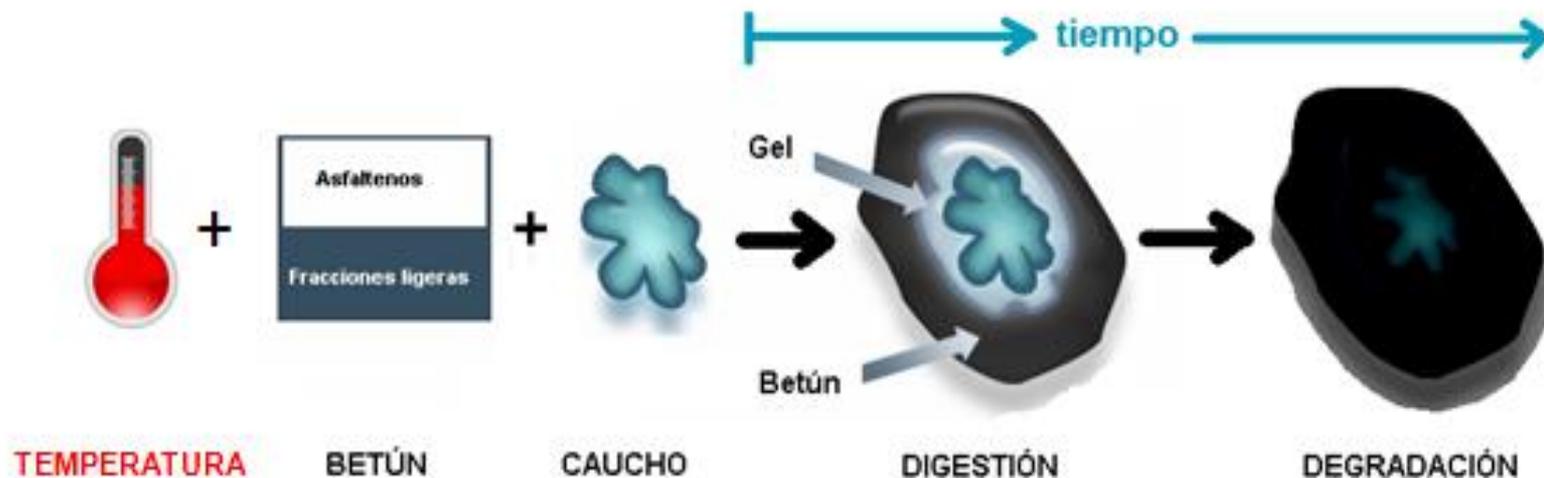
Santiago de Compostela  
28 de noviembre de 2013



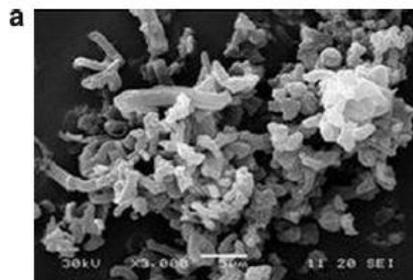
SIGNUS



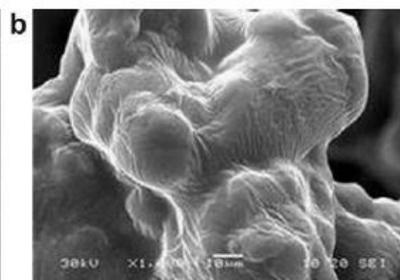
# DIGESTIÓN DEL CAUCHO EN EL BETÚN ASFÁLTICO



Imágenes con el microscopio electrónico de barrido



Antes de mezclarse con betún

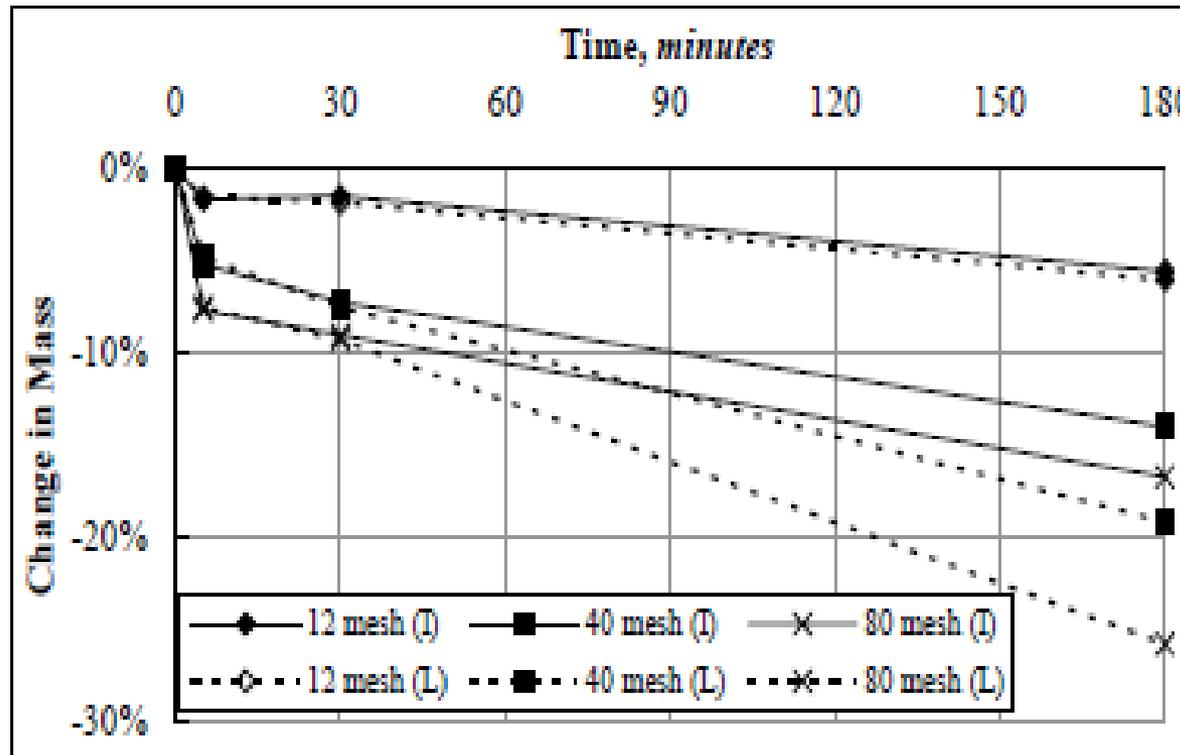


Cuando ha comenzado la digestión



# DIGESTIÓN BETÚN-CAUCHO

Pérdida de masa en función del tiempo de interacción.



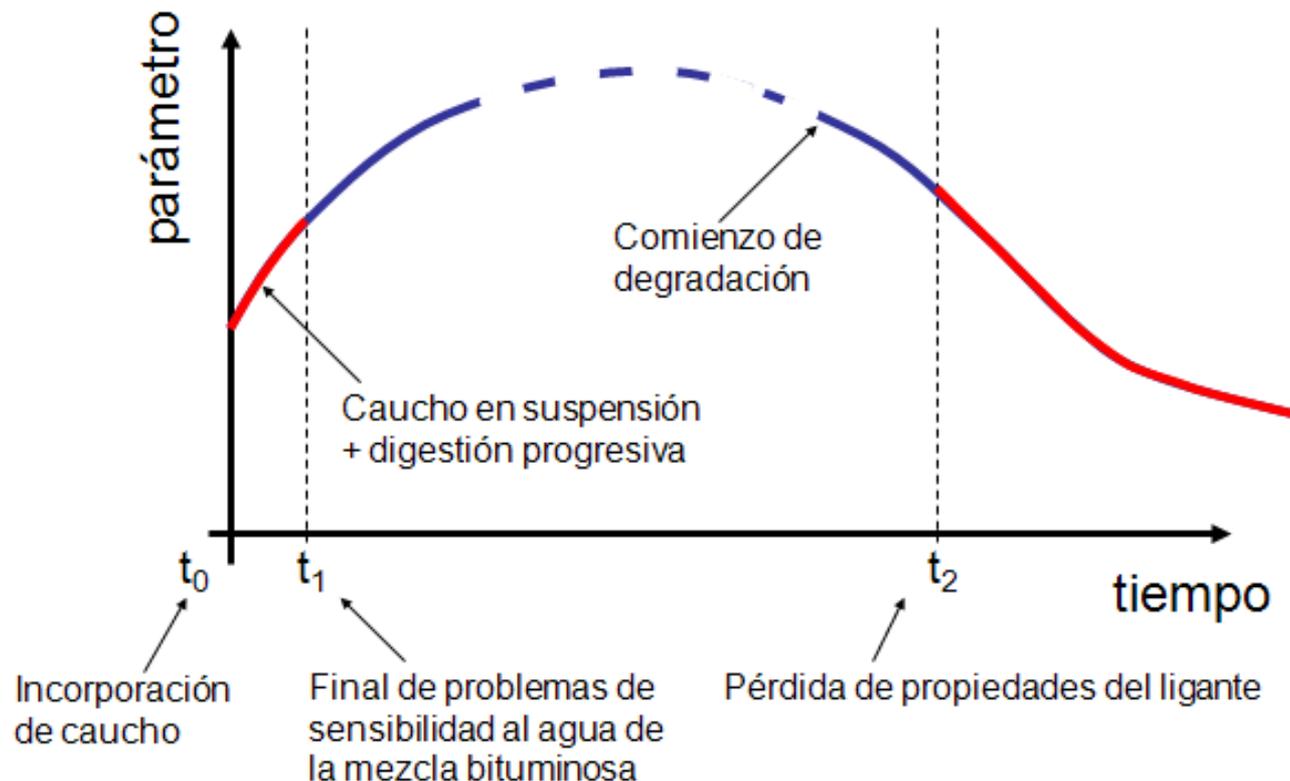
Xiao et al. (2006),

T, L, tipos de betún.

12 mesh = 1,7 mm; 40 mesh= 0,450 mm; 80 mesh= 0,180 mm



# EFFECTOS DE LA DIGESTIÓN EN EL BETÚN-CAUCHO





## LA ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO

LA ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO SE PUEDE MEJORAR UTILIZANDO:

- CAUCHO MÁS FINO
- POLÍMEROS (FORMAR UNA RED)
- AZUFRE (REVULCANIZAR CONTACTOS)
- OTROS.



BETÚN PURO



BETÚN+CAUCHO+SBS



BETÚN-CAUCHO

Imágenes al microscopio de fluorescencia

Xiang et al. (2009)



# ESPECIFICACIONES ESPAÑOLAS DE BETUNES CAUCHO



# CLASIFICACIÓN ESPAÑOLA: BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO

Característica		Norma de referencia	Unidad	BC35/50	BC50/70
<b>Betún original</b>					
Penetración, 25°C		UNE EN 1426	0,1mm	35-50	50-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola		UNE EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
Punto de fragilidad Fraass		UNE EN 12593	°C	≤ -5	≤ -8
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5°C	UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm <sup>2</sup>	≥ 0,5	
Recuperación elástica a 25 °C		UNE EN 13398	%	≥ 10	
Estabilidad al almacenamiento(*)	Diferencia anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤ 10	
	Diferencia de penetración		0,1mm	≤ 8	≤ 10
Solubilidad		UNE EN 12592	%	≥ 92	
Punto de Inflamación v/a		UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235	
<b>Residuo del ensayo de película fina y rotatoria</b>		UNE EN 12607-1			
Variación de masa		UNE EN 12607-1	%	≤ 1,0	
Penetración retenida		UNE EN 1426	%p.o.	≥ 65	≥ 60
Variación del Punto de Reblandecimiento		UNE EN 1427	°C	min -4 máx +8	min -5 máx +10

(\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ"

**O.C. 21/2007**



# CLASIFICACIÓN ESPAÑOLA: BETUNES MODIFICADOS CON CAUCHO

TABLA 212.2 - REQUISITOS DE LOS BETUNES MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Denominación UNE EN 14023			PMB 10/40-70	PMB 25/55-65	PMB 45/80-60	PMB 45/80-65	PMB 45/80-75	PMB 75/130-60
Denominación anterior (*)			BM-1	BM-2	BM-3b	BM-3c		BM-4
Características	UNE EN	Unidad	Ensayos sobre el betún original					
Penetración a 25°C	1426	0,1 mm	10-40	25-55	45-80	45-80	45-80	75-130
Punto de reblandecimiento	1427	°C	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 65	≥ 75	≥ 60
Cohesión. Fuerza-ductilidad	13589 13703	J/cm <sup>2</sup>	≥ 2 a 15°C	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C
Punto de fragilidad Fraass	12593	°C	≤ -5	≤ -7	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -15
Recuperación elástica a 25°C	13398	%	TBR	≥ 50	≥ 50	≥ 70	≥ 80	≥ 60
Estabilidad al almacenamiento (**)	Diferencia de punto de reblandecimiento	13399 1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	Diferencia de penetración	13399 1426	0,1mm	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13
Punto de inflamación	ISO 2592	°C	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220
<b>Durabilidad – Resistencia al envejecimiento EN 12607-1</b>								
Cambio de masa	12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Penetración retenida	1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Incremento del punto de reblandecimiento	1427	°C	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Disminución del punto de reblandecimiento	1427	°C	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5

PMB 45/80-65 C

(\*) Esta denominación se incluye únicamente a título informativo con objeto de facilitar la adaptación a las nuevas nomenclaturas europeas.

(\*\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ"

Quando el polímero utilizado mayoritariamente sea caucho procedente de NFU, al final de la denominación se añadirá una letra C mayúscula.

TBR: Se informará del valor



# CLASIFICACIÓN ESPAÑOLA: BETUNES MODIFICADOS DE ALTA VISCOSIDAD CON CAUCHO

Característica	Norma de referencia	Unidad	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3	
<b>Betún original</b>						
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1mm	15-30	35-50	55-70	
Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70	
Punto de Fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15	
Fuerza Ductilidad (5cm/min)	5°C	J/cm <sup>2</sup>	--	≥ 2	≥ 3	
	10 °C		≥ 2	--	--	
Consistencia (Flotador a 60°C)	NLT 183	s	≥ 3000			
Viscosidad dinámica	135 °C	UNE EN 13302	mPa.s	≤ 7500	≤ 5000	
	170°C			≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Recuperación elástica	25°C	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Estabilidad al almacenamiento (*)	Diferencia de anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤ 5		
	Diferencia de penetración		0,1mm	≤ 20		
Punto de Inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235			
<b>Residuo del ensayo de película fina y rotatoria</b> UNE EN 12607-1						
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	
Penetración retenida	UNE EN 1426	%p.o.	≥ 60			
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	mín -4 máx +10		mín -5 máx +12	

(\*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ"

O.C. 21/2007



## APLICACIONES MÁS IDÓNEAS DE ESTOS LIGANTES: O.C 21/2007

APLICACIONES en las que se consideran “técnicamente viables” la vía húmeda:

- **BETUNES MEJORADOS (BC)** = Donde se venían utilizando los betunes de penetración sin polímeros (serían betunes de penetración “plus”, con etiqueta ecológica).
- **BETUNES MODIFICADOS (PMB C)** = Donde se venían utilizando los betunes modificados con polímeros tradicionales
- **BETUNES DE ALTA VISCOSIDAD (BMAVC)** = Donde sea necesaria resistencia a la fisuración: Sobre bases tratadas con cemento, rehabilitaciones de pavimentos de hormigón...



# DISEÑO EN LABORATORIO DE BETUNES CON CAUCHO



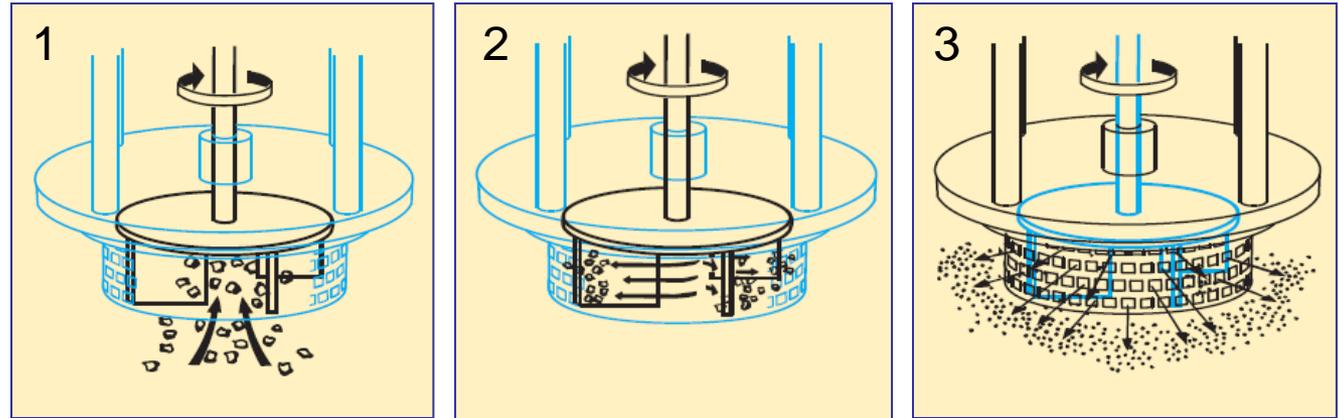
## FABRICACIÓN EN LABORATORIO – MEZCLADORES



- LA FABRICACIÓN SE PUEDE REALIZAR MONTANDO UN CONJUNTO –MIXER – RECIPIENTE ESTANCO- BAÑO DE ACEITE
- SE HA DE PRESTAR ATENCIÓN A LA TEMPERATURA, PUES TIENE UNA ENORME INFLUENCIA
- SE DEBE IMPEDIR LA ENTRADA DE AIRE EN EL RECIPIENTE DE MEZCLADO, PARA EVITAR LA OXIDACIÓN EXCESIVA DEL LIGANTE



## MEZCLADORES DE LABORATORIO CON CIZALLA



- SE HA DE PRESTAR ATENCIÓN A LA TEMPERATURA, PUES TIENE UNA ENORME INFLUENCIA

- SE DEBE IMPEDIR LA ENTRADA DE AIRE EN EL RECIPIENTE DE MEZCLADO, PARA EVITAR LA OXIDACIÓN EXCESIVA DEL LIGANTE



- EXISTEN PLANTAS PILOTO QUE DISPONEN DE MECANISMO DE CIZALLA
- YA SE UTILIZABAN PARA MODIFICAR BETUNES CON POLÍMEROS
- UNO DE LOS PRINCIPALES PROBLEMAS ES SU LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO, YA QUE EL BETÚN-CAUCHO ES UN MATERIAL DIFÍCIL
- TAMBIÉN HAY QUE CUIDAR LA TEMPERATURA
- LA DOSIFICACIÓN SE SUELE REALIZAR MANULAMENTE



## EL DISEÑO EN EL LABORATORIO

Habitualmente el diseño de un betún caucho es un proceso en el que se deben seleccionar los componentes y el procedimiento de fabricación con sus parámetros, de modo que el producto resultante :

- Cumpla unas especificaciones
- Tenga el mayor parecido posible con el producto fabricado a escala industrial



## PARÁMETROS DEL DISEÑO EN EL LABORATORIO

### PARÁMETROS A SELECCIONAR:

- **Betún base:** son preferibles los de contenido alto de nafteno-aromáticos y aromáticos-polares
- **Caucho:** Granulometrías menores de 0,8 mm, obtenidas a temperaturas ambiente. Es preferible que la fracción elastomérica y el % de caucho natural sean altos.
- **Polímero (en algunos tipos de modificación)** Dan mejor resultado los tipos SBS. Si el mezclador no tiene cizalla debe emplearse la presentación en polvo



## PARÁMETROS DEL DISEÑO EN EL LABORATORIO

• **Mezclador de laboratorio:** Removedor más o menos potente – Dispositivo de cizalla. Con polímero es mejor el dispositivo de cizalla. Principio de funcionamiento debe ser el utilizado a escala industrial (removedor o cizalla)

• **Temperratura de mezclado:**

- Betunes hasta el 20% de caucho: 190°C
- Betunes hasta el 15% de caucho: 180°C
- Betunes hasta el 10% de caucho: 175°C

Precaución: Cuando se añade el caucho al betún, el conjunto pierde temperatura, por lo que es preciso un tiempo adicional para conseguir temperatura de nuevo.



## PARÁMETROS DEL DISEÑO EN EL LABORATORIO

### •Tiempo de digestión:

- Norma general: 1 hora
- Betunes con caucho hasta el 10%: 45 minutos

La digestión debe realizarse a temperaturas y agitaciones similares a las que se emplean a escala industrial

### •Toma de muestras para comprobar especificaciones:

- Remover con espátula antes y durante la toma
- Muestras en recipientes pequeños y enfriarlos rápidamente
- Dividir la porción fabricada en varias porciones, de modo que no se recaliente la misma muestra varias veces, sino sólo una, desechando el material sobrante



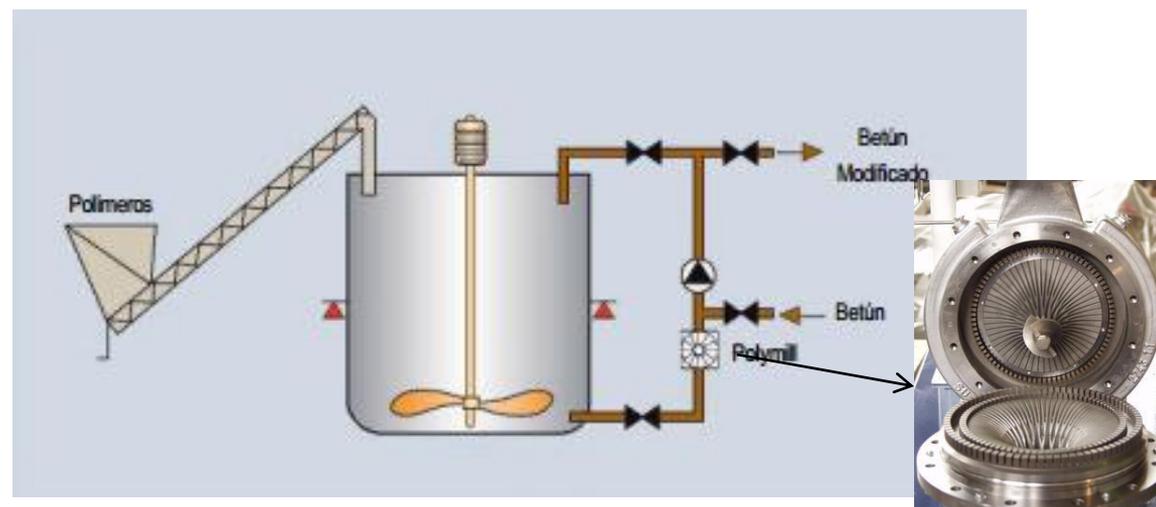
# FABRICACIÓN A ESCALA INDUSTRIAL DE BETUNES CON CAUCHO



# FABRICACIÓN EN TERMINAL DE MODIFICACIÓN TRADICIONAL



- SE MODIFICA UN LIGANTE CON PORCENTAJES ENTRE EL 5-15% S/Ligante modificado, tamaño del caucho < 0,5mm
- SE UTILIZA UNA PLANTA DE MODIFICACIÓN CON POLÍMEROS, CONVENCIONAL (**MOLINOS DE CIZALLA, ETC.**)
- La digestión está asegurada durante **el tiempo de transporte a la planta de mezclas asfálticas**, en camión cisterna.





## FABRICACIÓN IN SITU DE BETUNES CON CAUCHO

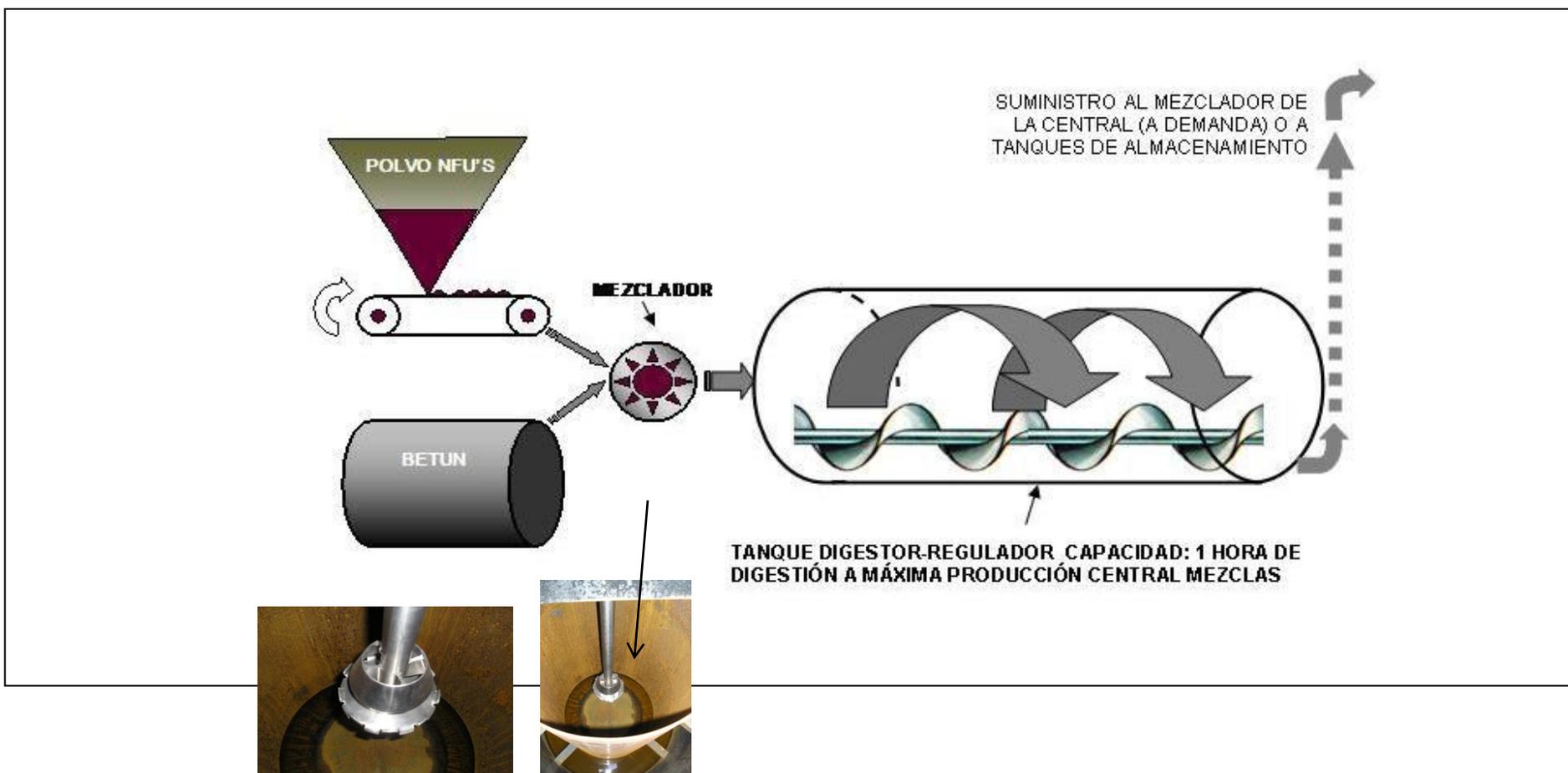


La digestión se realiza en el tanque digestor-regulador.



# FABRICACIÓN IN SITU DE BETUNES CON CAUCHO

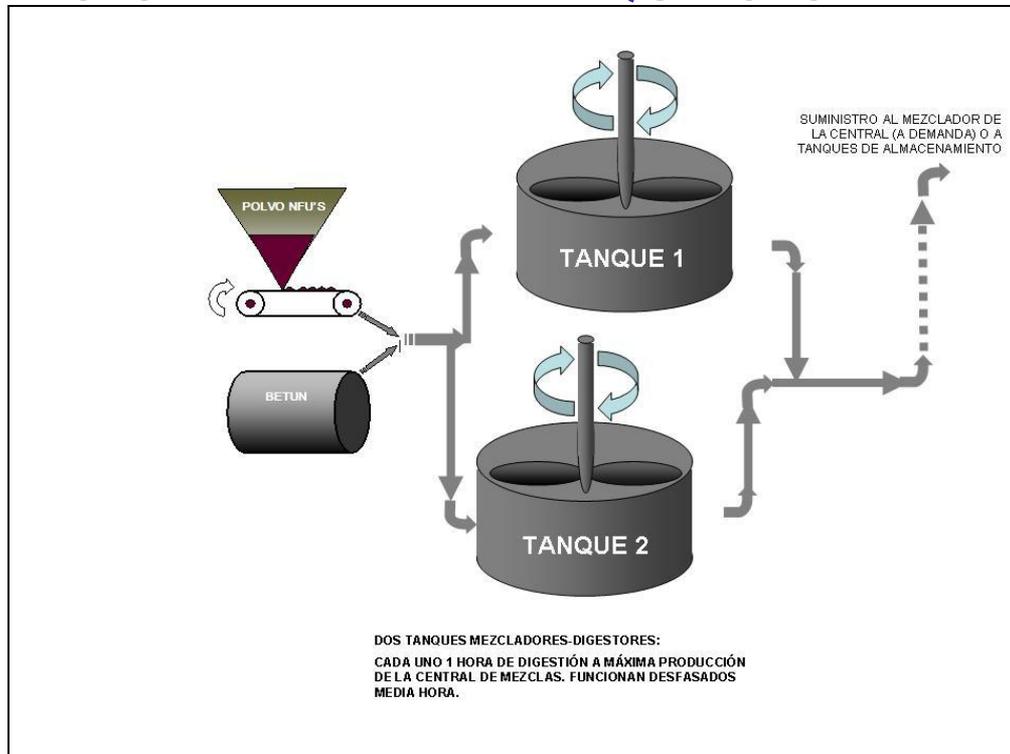
## SISTEMA DE MEZCLADOR + TANQUE DIGESTOR:





# FABRICACIÓN IN SITU DE BETUNES CON CAUCHO

## SISTEMA DE TANQUES GEMELOS ALTERNATIVOS



La digestión se realiza gracias a que el betún está una hora en el tanque nº 1, mientras se suministra betún-caucho desde el tanque nº 2, y así alternativamente



## FABRICACIÓN IN SITU – ÚLTIMOS AVANCES



SE FABRICAN UNIDADES EQUIPADAS CON  
DISPERSOR DE CIZALLAMIENTO



## FABRICACIÓN IN SITU – ÚLTIMOS AVANCES



SE FABRICAN EQUIPOS CON DOS TOLVAS, PARA:

- DOS TIPOS DE CAUCHO
- CAUCHO Y POLÍMERO



## FABRICACIÓN IN SITU – ÚLTIMOS AVANCES



SE FABRICAN TAMBIÉN MÓDULOS SEPARADOS

- MEZCLADORES EXENTOS,
- TANQUES DIGESTORES SEPARADOS,
- TANQUES “CONTAINERIZADOS”



# CONTROL DE CALIDAD EN PRODUCCIÓN



## CONTROL DE CALIDAD: CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS IN SITU

LOS EQUIPOS DE FABRICACIÓN IN SITU DEBEN TENER:

- Dispositivos de dosificación ponderal para el caucho y el polímero
- Termómetros en:
  - La entrada del betún base
  - El mezclador
  - El tanque digestor, si es distinto del mezclador
  - La salida del betún caucho a la Central de mezclas
- Viscosímetros en:
  - El tanque digestor
  - En la salida del betún caucho (existen viscosímetros en línea)
- Bocas para toma de muestras en el digestor y en la salida



## RECOMENDACIONES EN OBRA

### PARA EVITAR LA SEDIMENTACIÓN:

- EQUIPOS IN SITU PROVISTOS DE TANQUES CON AGITADOR
- ó almacenar en TANQUES VERTICALES externos
- ó comprar PRODUCTOS FABRICADOS EN TERMINAL CON UNÁ FÓRMULA ANTISEDIMENTACIÓN

### DURANTE EL ALMACENAJE:

- ALMACENAR EL MÍNIMO TIEMPO POSIBLE (hasta varios días)
- NO ENFRIAR Y CALENTAR MÁS DE 2 VECES



Ejemplo de tanques verticales



# FORMULACIONES TIPO DE BETUNES CON CAUCHO



## GUÍA DE FABRICACIÓN: CAUCHO EMPLEADO

### TIPOS DE CAUCHO EMPLEADOS:

- MOLIENDA: a temperatura ambiente (no criogénico)
- GRANULOMETRÍA: Pasa 0,8 mm (Rt 0,5 mm = 37%)
- ORIGEN:
  - 100% Camión
  - 50% Camión / 50% Coche



ORIGEN DEL CAUCHO	% Caucho natural (NR)
100% Camión	47%
50% Camión + 50% Coche	38%



## GUÍA DE FABRICACIÓN: POLÍMERO EMPLEADO

### Calprene 411 (Dynasol)

- Copolímero termoplástico
- butadieno/estireno, 70/30
- con una estructura radial

### Presentaciones:

- C411 miga porosa
- C411C peleta porosa
- C411M polvo con sílice





## GUÍA DE FABRICACIÓN: BETUNES EMPLEADOS

### TIPOS DE BETÚN EMPLEADOS:

1. BETUNES DE 4 REFINERÍAS ESPAÑOLAS
2. CROMATOGRAFÍA EN COLUMNA (4 fracciones)
3. SE SELECCIONARON DOS REFINERÍAS
  - a) Mayor contenido aromáticos = 76,3
  - b) Menor contenido de aromáticos = 63,5
4. CON ESTAS DOS REFINERÍAS SE REALIZARON LAS FORMULACIONES DEL PROYECTO

→ SE PRETENDIÓ QUE LAS FORMULACIONES OBTENIDAS FUERAN VÁLIDAS PARA LA MAYOR PARTE DE BETUNES Y CAUCHOS EN ESPAÑA



## FORMULACIONES RECOMENDADAS

	<b>Betún Base</b>	<b>Caucho<sup>(1)</sup></b> (%)	<b>Polímero<sup>(2)</sup></b> (%)	<b>T<sub>a</sub> (°C)</b>	<b>Nivel de agitación<sup>(3)</sup></b>	<b>Digestión (m)</b>
<b>BC 35/50</b>	B 50/70	10	-	185	Medio	60
<b>BC 50/70</b>	B 70/100	10	-	185	Medio	60
<b>PMB 45/80-60 C</b>	B 110/120	4 - 5	2,5 - 3	185	Alto	60
<b>PMB 45/80-65 C</b>	B 110/120	4 - 5	3 - 4	185	Alto	60
<b>BMAVC-1</b>	B 35/50	22	-	195	Medio	60
<b>BMAVC-1b</b>	B 50/70	22	-	195	Medio	60
<b>BMAVC-3</b>	B 110/120	4 - 5	3,5 - 4,5	185	Alto	60

<sup>(1)</sup>Sobre peso del betún base

<sup>(2)</sup>Sobre peso del betún base

<sup>(3)</sup>Se considera medio el agitador de paletas o vórtice; Para conseguir el nivel Alto se recomienda un dispositivo de cizalla.

Nota: Estas formulaciones no son necesariamente estables al almacenamiento. A los betunes-caucho fabricados in situ las normas españolas no les exigen estabilidad al almacenamiento. Precisan un removedor continuo para evitar sedimentaciones.



## CONCLUSIONES - OBJETIVOS DE LA GUÍA

### **SIGNUS ECOVALOR HA PRETENDIDO CON LA GUÍA:**

1. PROMOVER LA UTILIZACIÓN DE BETUNES CON CAUCHO
2. MEJORAR EL CONOCIMIENTO DE ESTOS LIGANTES POR LOS DIFERENTES AGENTES IMPLICADOS
3. FACILITAR EL DISEÑO EN LABORATORIO Y LA FABRICACIÓN Y MANEJO EN OBRA DE ESTOS LIGANTES
4. PROVEER DE UNAS “FORMULAS TIPO” QUE ORIENTEN SOBRE LA OBTENCIÓN DE LOS BETUNES-CAUCHO, PARA LOS TIPOS DE CAUCHO Y BETUNES FRECUENTES EN ESPAÑA

**...MUCHAS GRACIAS**

