

# **I Jornada de I+D+i en la Ingeniería Civil**

**Desarrollo y Sostenibilidad en la Red Viaria Andaluza**

**Proyecto de Investigación:**

**Reutilización de Polvo de Neumático Fuera de Uso en la  
Fabricación de Mezclas Bituminosas en Caliente  
mediante la Técnica de la Vía Seca**

M<sup>a</sup> José Sierra López

Jefa de Unidad de Control Técnico de Obras

# Contenidos

---

## Introducción

## Antecedentes

Reciclaje del nfus en mbc;  
Técnicas: vía húmeda/vía seca

## Metodología

## Trabajos realizados

## Futuras líneas de trabajo



## Introducción

Dentro del convenio de investigación **“Nuevas Tecnologías de aplicación a las obras de ingeniería civil”** suscrito en 2008 entre la Universidad de Granada, la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía y las empresas: **Aldesa, Eiffage, Martín Casillas, Ploder, Sacyr y Vera**

Surge el proyecto específico de investigación **“Proyecto de Investigación para la Reutilización de Polvo de Neumático Fuera de Uso en la Fabricación de Mezclas Bituminosas en Caliente mediante la Técnica de la Vía Seca”**



# Introducción

El **objetivo principal** de este proyecto es analizar la **influencia** que tiene el **tipo y cantidad de polvo de neumático** adicionado a la mezcla y el **tiempo de digestión** empleado en su fabricación, tanto **en el diseño de la mezcla**, como en su **comportamiento mecánico**.

En base a ello, se pretende establecer las condiciones óptimas de aplicación de estas variables para **definir los valores de referencia a utilizar en obra**, de forma que se consigan **fabricar mezclas con la mayor garantía de éxito**.

## Antecedentes

- La **valorización de residuos** es una línea prioritaria en un sistema de desarrollo sostenible.
- El **integrar en los sistemas productivos la reutilización de residuos** permite por un lado, **disminuir el consumo de materias primas**, y por otro, **evitar la acumulación de residuos en vertederos**.



## Antecedentes

- ✓ La actividad de la construcción es de las que mayor impacto generan en el consumo de recursos naturales y la producción de residuos, teniendo la ingeniería de carreteras un papel importante.
- ✓ El notable incremento producido en la generación de neumáticos fuera de uso se ha convertido en un serio problema, por la acumulación de éstos en vertederos (generación de 1 billón de nfu cada año).
- ✓ Entre las distintas alternativas para disminuir el acopio de este residuo (valorización energética, recauchutado,...), la tendencia es poder **reutilizarlo en el mismo ámbito en que se genera**.



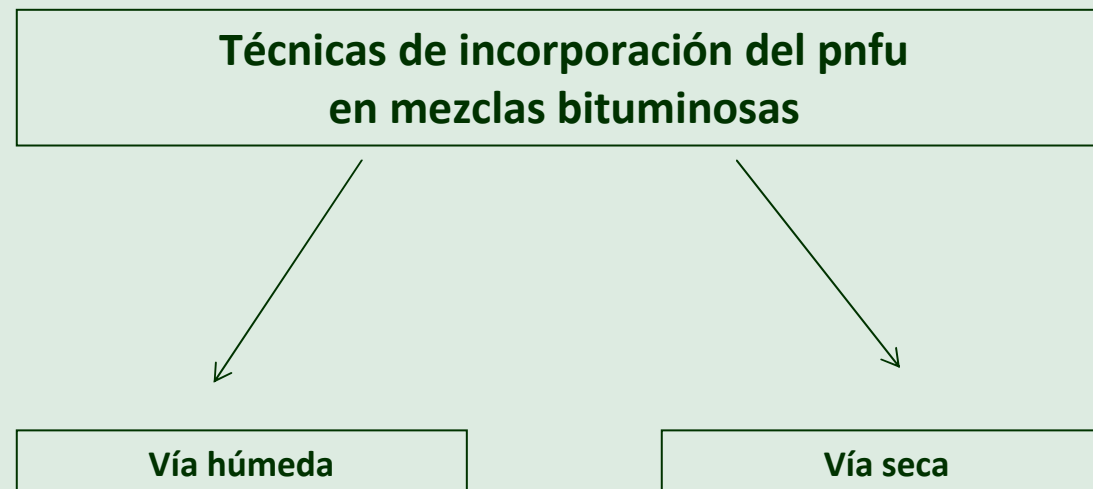
## Antecedentes

- ✓ En España, el **Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2015** marca como uno de sus objetivos que como mínimo, el 40% en peso de los neumáticos fuera de uso generados han de ser reciclados en carreteras.
- ✓ La investigación sobre la aplicación de estos residuos en la construcción de carreteras se ha intensificado en los últimos tiempos.



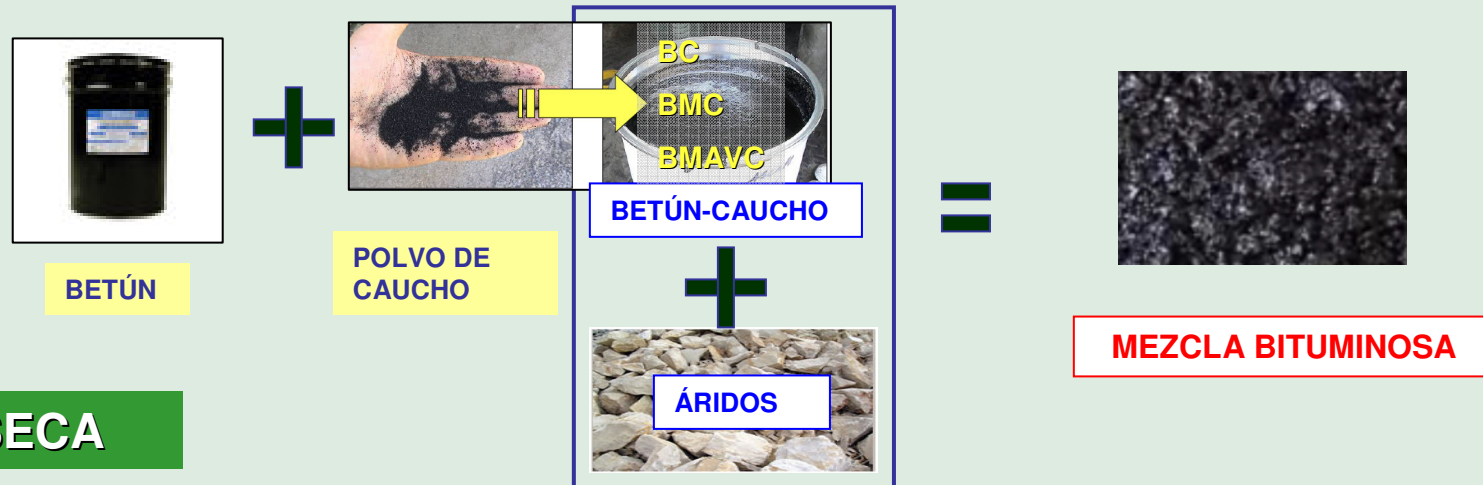
# Antecedentes

La incorporación del **pnfu** en las mezclas asfálticas, además de la valorización del residuo, tiene por objeto la construcción de carreteras más duraderas y de mayor calidad, de una forma **ecológica** y con menores costes de mantenimiento.





## VÍA HÚMEDA



## VÍA SECA



**Digestión:** Proceso de interacción caucho-betún ➡ Aumento viscosidad

# Metodología

Vía seca —→ Tecnología accesible a las empresas fabricantes de mezclas bituminosas. Es la menos desarrollada.

Se ha utilizado como mezcla patrón una mezcla discontinua, de uso frecuente en capas de rodadura: BBTM 11A.

Fracción gruesa: árido ofítico.

Fracción fina: árido calizo.

Filler de aportación: cemento tipo CEM II / B-L 32,5 N.

Ligante: Betún BM 3c.

A partir de esta mezcla patrón BBTM 11A y de tres tipos de pnfu diferentes, se fabrican 9 mbc similares a la patrón, modificando el % de caucho añadido, y el tiempo de digestión. Con lo que se obtienen un total de 28 mezclas a ensayar

# Metodología

Fabricación de una MBC tipo BBTM 11 A (mezcla de referencia con **BM3c**, mezclas modificadas con PNFU con **B 50/70**)

Se incorporará :

Caucho TI  
0 – 0.6 mm

Caucho TII  
0 – 0.6 mm

Caucho TIII  
0 – 0.6 mm

En los porcentajes: **0,5%**, **1%** y **1,5%**

Estudio de la influencia del **tiempo de digestión, tipo y porcentaje de caucho**, en la fase de diseño de las mezclas bituminosas con PNFU por vía seca.

# Metodología

Mezcla	% de Polvo de Neumático (sobre el total de la mezcla)	Tiempo de Digestión (minutos)	Tipo de Betún
BBTM 11A Referencia	0	0	BM3c
BBTM 11A 0,5-45	0,5	45	B 50/70
BBTM 11A 0,5-90	0,5	90	B 50/70
BBTM 11A 0,5-120	0,5	120	B 50/70
BBTM 11A 1-45	1	45	B 50/70
BBTM 11A 1-90	1	90	B 50/70
BBTM 11A 1-120	1	120	B 50/70
BBTM 11A 1,5-45	1,5	45	B 50/70
BBTM 11A 1,5-90	1,5	90	B 50/70
BBTM 11A 1,5-120	1,5	120	B 50/70

## Plan de ensayos:

Mezcla	Estudio del Contenido Óptimo de Betún	Análisis del Comportamiento Mecánico	
<b>BBTM 11A Referencia</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 0,5-45</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 0,5-90</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 0,5-120</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1-45</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1-90</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1-120</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1,5-45</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1,5-90</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)
<b>BBTM 11A 1,5-120</b>	Marshall (NLT 159)	Sensibilidad al Agua (UNE-EN 12697-12)	Rodadura (UNE-EN 12697-22)

## Resultados previos:

- Este proyecto está en fase de ejecución en la actualidad.
- A día de hoy, se han ensayado 2 de los 3 tipos de pnfu previstos.





## Resultados previos:

- Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que **el tiempo de digestión no ejerce una influencia significativa en el diseño de la mezcla** (determinación del contenido óptimo de ligante), de forma que la densidad y los huecos obtenidos en las mezclas en el ensayo Marshall son similares, con independencia del tiempo de digestión.
- Se ha evidenciado la **influencia directa del tipo y porcentaje de PNFU adicionado, y el tiempo de digestión** utilizado durante la fabricación, **en el comportamiento mecánico de la mezcla**.
- La **influencia del tiempo de digestión en las características de la mezcla** es **inferior a la ejercida por el porcentaje de PNFU adicionado** en la misma.

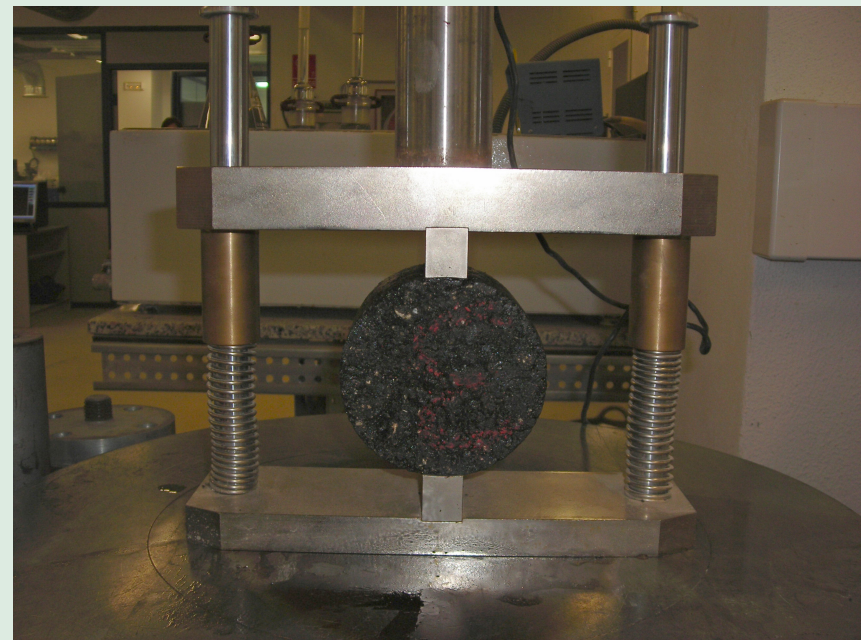
## Resultados previos:

- La adición de PNFU por vía seca ayuda a **mejorar el comportamiento de las mezclas ante deformaciones plásticas** (roderas).



## Resultados previos:

- Las mezclas fabricadas con PNFU por vía seca ofrecen una **buena respuesta ante la acción del agua.**



- Utilizando tiempos de digestión y porcentajes de PNFU adecuados, pueden fabricarse mezclas bituminosas por vía seca con características similares a aquellas fabricadas con betunes de altas prestaciones.



## Futuros trabajos a desarrollar:

- Hasta ahora se han ensayado mb con caucho tipo I y tipo II. Quedan pendientes los ensayos del **caucho tipo III**, para posteriormente analizar de forma conjunta todos los resultados obtenidos.
- Todos los ensayos se han realizado con el compactador de impactos, por lo que sería interesante realizar un **análisis comparativo de los sistemas de compactación por impactos y giratorio**, y evaluar la influencia de las propiedades resilientes del PNFU en la densidad alcanzada por la mezcla.
- Estudiar la viabilidad de ejecución de algún **tramo de prueba** para realizar un estudio de evolución.

A photograph of a two-lane asphalt road winding through a green, hilly landscape. The road is completely covered with hundreds of discarded black tires, laid out in neat, overlapping rows that follow the curve of the road. The tires are arranged in a way that creates a strong sense of perspective, leading the viewer's eye down the road. The surrounding fields are lush green, and the sky is not visible.

**GRACIAS  
POR SU  
ATENCIÓN**