



# Mezclas Bituminosas: Ensayo de Rodadura y Ensayo de Sensibilidad al Agua

<b>Apellidos, nombre</b>	López Maldonado, Griselda ( <a href="mailto:grilomal@tra.upv.es">grilomal@tra.upv.es</a> ) Moll Montaner, Sara ( <a href="mailto:samolmon@upv.edu.es">samolmon@upv.edu.es</a> )
<b>Departamento</b>	Ingeniería e Infraestructura de los Transportes
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València



## 1 Resumen de las ideas clave

Las mezclas bituminosas se utilizan en las capas superiores del firme de carreteras. Deben de cumplir unas especificaciones de resistencia según el uso que vayan a tener, estas especificaciones se comprueban con los ensayos normalizados correspondientes. En este artículo se describen los ensayos de rodadura y de sensibilidad al agua, que se realizan sobre mezclas bituminosas ya dosificadas para comprobar sus características. Se presentan los resultados de estos ensayos y la adecuación de estos resultados para los diversos usos.

## 2 Introducción

Los materiales básicos que forman las mezclas bituminosas son los áridos, entre los cuales, según su granulometría se distinguen áridos gruesos, áridos finos, y filler; y los ligantes hidrocarbonados. Cada uno de estos componentes tiene su función en la mezcla:

- El árido grueso ( $> 2$  mm) representa el esqueleto mineral de la mezcla.
- El árido fino ( $2-0,063$  mm) determina el porcentaje de huecos y el porcentaje de betún.
- El filler o polvo mineral ( $<0,063$  mm) influye en el porcentaje de huecos y, por tanto, en la impermeabilidad y en las características resistentes de la mezcla. Condiciona la proporción de ligante, dado que es el componente de mayor superficie específica. Junto con el ligante constituye el mástico que da cohesión al conjunto; además influye en el fenómeno de adhesividad.
- El ligante une a los áridos y da cohesión al conjunto.

Las mezclas bituminosas tienen distintos campos de aplicación según sus propiedades. Estas propiedades se determinan en función de las cualidades de los materiales que las forman, la dosificación de la mezcla, y las condiciones de fabricación y puesta en obra.

Sin embargo, independientemente de las características de las mezclas, todas ellas deben ser diseñadas para resistir los esfuerzos a los que se verán sometidos los firmes a lo largo de su vida útil. Para la comprobación de esta resistencia se realizan ensayos de comprobación.

En este artículo se explican dos de los ensayos de comprobación que es obligatorio realizar a las mezclas bituminosas para poder ser empleadas en las capas del firme, estos ensayos son: el ensayo de rodadura y el de sensibilidad al agua.

## 3 Objetivos

Los objetivos de este documento son que los alumnos sean capaces de:

- Identificar los pasos necesarios para realizar el ensayo de rodadura sobre una mezcla bituminosa.
- Calcular los parámetros y resultados del ensayo de rodadura.
- Identificar los pasos necesarios para realizar el ensayo de sensibilidad al agua sobre una mezcla bituminosa.
- Calcular los parámetros y resultados del ensayo de sensibilidad al agua.

- Relacionar los resultados de estos ensayos con los usos de las mezclas bituminosas.

## 4 Ensayos en mezclas bituminosas

El comportamiento de las mezclas bituminosas debe evaluarse mediante ensayos de comprobación. El principal objetivo de estos ensayos es evaluar la pérdida de propiedades de del material ensayado al someterlo a situaciones desfavorables.



¿A qué situaciones desfavorables crees que pueden verse sometidas las capas de mezclas bituminosas dispuestas en las carreteras?

Estas situaciones hacen referencia al tráfico que deben resistir a lo largo de la vida útil de la carretera, así como a los posibles efectos que puede causar el agua en la carretera.

La acción del tráfico provoca deformaciones plásticas permanentes, también conocidas como roderas; siendo uno de los principales deterioros en las capas superiores del firme que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas bituminosas en caliente. Estas deformaciones se producen por la aplicación de las cargas mecánicas del tráfico, especialmente los vehículos pesados a baja velocidad, y a altas temperaturas, dado el comportamiento viscoelástico de las mezclas. Con el ensayo de rodadura se evalúan estas deformaciones.

El daño asociado al agua en las mezclas bituminosas está relacionado con el deterioro de su capacidad estructural. Esto es debido a que el agua puede causar una pérdida de cohesión en la mezcla y/o una pérdida de adhesión entre los áridos y el ligante. Con el ensayo de sensibilidad al agua se evalúa el daño que ésta puede producir sobre la mezcla.

A continuación, se explican los dos ensayos que se realizan sobre mezclas bituminosas para determinar la resistencia a la deformación plástica y la resistencia al agua. Ambos ensayos se pueden llevar a cabo sobre probetas de mezclas bituminosas en caliente fabricadas en laboratorio, o extraídas como testigos de un pavimento.

## 5 Ensayo de rodadura

El objeto de este ensayo es evaluar la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas que van a ser utilizadas en las capas del firme.

Por tanto, a través de la realización de este ensayo se determina la susceptibilidad de los materiales bituminosos a deformarse cuando están sometidos a carga. Esta susceptibilidad se evalúa por la deformación (rodera) que se produce por pasadas repetidas, a temperatura constante, de una rueda sometida a carga.

La norma UNE-EN 12697-22:2008+A1 (que sustituye al ensayo de pista NLT-173) regula el procedimiento y las características mediante las cuales debe realizarse el ensayo. En la Norma se recogen tres tipos de equipamiento y dos tipos de acondicionamiento de las probetas. Aquí se utiliza el dispositivo pequeño y las probetas acondicionadas con el procedimiento B en aire.

### ¿Cómo se realiza el ensayo?

Paso 1. Preparar las probetas.

Para la realización de este ensayo se requiere un mínimo de 2 probetas (de forma paralelepípedica rectangular como la que se muestra en la imagen 1A). Estas probetas deben ser compactadas mediante un compactador de placa (ver imagen 1B) y con el dispositivo de rodillo de acero (ver imagen 1C). Para la fabricación de estas se debe seguir el procedimiento descrito en la Norma UNE-EN 12697-33.

Finalizado el proceso de fabricación se debe comprobar que las dimensiones y densidad de las probetas se ajustan a las tolerancias establecidas, y que el tiempo entre la compactación y la realización del ensayo es de dos días o mayor.



Imagen 1. Equipamiento para compactar las probetas.

Paso 2. Acondicionamiento de las probetas.

Una vez preparadas las probetas se deben de acondicionar a la temperatura del ensayo. Para ello las probetas se introducen en una estufa a la temperatura establecida (60°C) durante como mínimo 4h antes de la realización del ensayo.

Paso 3. Ejecución del ensayo.

El ensayo consiste en someter la probeta al paso alternativo de una rueda durante un período determinado sin interrupciones, o hasta alcanzar una deformación determinada.

El equipo necesario para realizar el ensayo se compone de una mesa sobre la que se apoya la probeta, y que se mueve hacia delante y detrás, con un recorrido total de  $230 \pm 10$  mm y una frecuencia de  $26 \pm 1$  ciclos por minuto. Sobre esta probeta apoya una rueda neumática maciza que aplica una carga de 700 N.

En la imagen 2A se muestra un ejemplo de este equipo. Cabe destacar que también es posible utilizar un equipo formado por una rueda doble como el que se muestra en la imagen 2B (doble pista).

La acción de la rueda provocará la rodadura sobre la probeta. Por ello el equipo debe disponer de un dispositivo de medida de la deformación vertical que proporciona la deformación en el centro de la probeta. Todo el equipo se encuentra situado en el interior de una urna para mantener una temperatura homogénea de  $60 \pm 1^\circ$  C durante la realización del ensayo.

Las probetas ya acondicionadas se fijan en el dispositivo de ensayo y comienza este. Se debe registrar la profundidad de la rodera a intervalos de 100 ciclos. El ensayo se continúa hasta 10000 ciclos o hasta que la profundidad de la rodera sea de 20 mm, lo que ocurra antes.

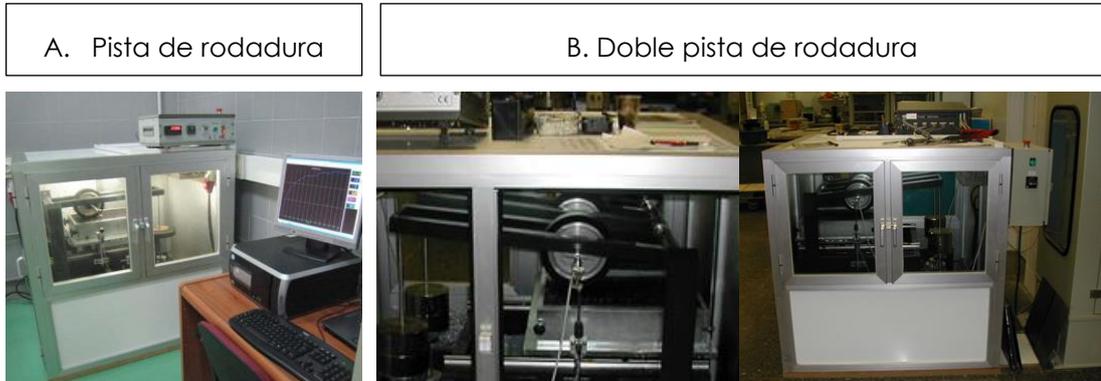


Imagen 2. Equipamiento para el ensayo de rodadura.



¿Cómo crees que influye en los resultados una compactación de la probeta menor a la exigida? ¿Qué pasa si la temperatura del ensayo no es la adecuada?

Es importante verificar que el ensayo se realiza en las condiciones indicadas de compactación de la probeta y de temperatura durante el ensayo, ya que valores diferentes a los especificados presentarán variaciones en la resistencia de las probetas. Los resultados del ensayo solamente serán válidos para probetas que cumplan las especificaciones, en caso contrario se descartarán del estudio.

### ¿Cuáles son los resultados del ensayo?

Para cada probeta ensayada se obtiene la deformación que sufre la probeta cada 100 ciclos de carga (hasta alcanzar los 10000 ciclos), o hasta alcanzar una profundidad de rodera de 20 mm. Estos valores se registran en un formulario y se representan en un gráfico como el mostrado en la imagen 3. Generalmente el equipo del ensayo proporciona los valores automáticamente.

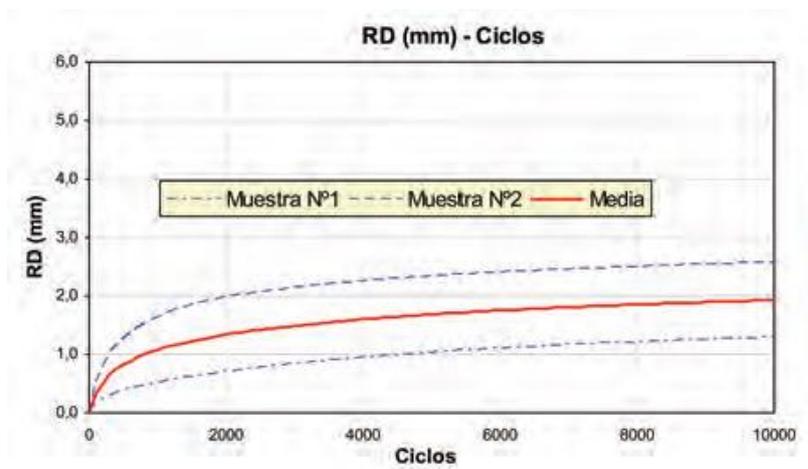


Imagen 3. Gráfico ciclos-profundidad de la rodera.



Los resultados del ensayo son los valores de la pendiente media de deformación en pista ( $WTS_{AIRE}$ ), la profundidad media de la rodera ( $PRD_{AIRE}$ ) y el porcentaje de la profundidad media de la rodera en aire ( $RD_{AIRE}$ ), para cada una de las probetas ensayadas y los valores medios de cada parámetro.

$WTS_{AIRE}$ : la inclinación de la rodada en aire se calcula a partir de los datos de deformación y de ciclos de carga:

$$WTS_{AIRE} = \frac{d_{10000} - d_{5000}}{5}$$

Donde:

- $WTS_{AIRE}$  es la inclinación de la rodada, en mm para 10000 ciclos de carga.
- $d_{5000}$ ,  $d_{10000}$ , es la profundidad de la rodera después de 5.000 ciclos de carga y de 10.000 ciclos de carga, en milímetros (mm).

El resultado del ensayo es el valor medio  $WTS_{AIRE}$  de las dos probetas.

Si el ensayo se termina antes de llegar a 10.000 ciclos de carga, la pendiente de deformación en pista se debe calcular sobre la parte lineal de la curva representativa de la profundidad del surco, a condición de que la curva corresponda a 2.000 ciclos de carga como mínimo.

$PRD_{AIRE}$ : el porcentaje de la profundidad media de la rodera en N ciclos, es el valor medio de los valores de la profundidad proporcional del surco de dos (o más) probetas, con una tolerancia de  $\pm 0,1\%$ .

$RD_{AIRE}$ : la profundidad media de la rodera para el material sometido a ensayo, en N ciclos, es el valor medio de los valores de la profundidad de la rodera de dos (o más) probetas, con una tolerancia de  $\pm 0,1$  mm.

Las exigencias sobre los valores máximos admisibles que pueden alcanzarse en las mezclas bituminosas vienen recogidos en el PG3.

## 6 Ensayo de sensibilidad al agua

Este ensayo permite evaluar la pérdida de propiedades de una mezcla sometida al deterioro acelerado con agua. Se determina la pérdida de adhesividad del árido-ligante de una mezcla bituminosa mediante la caracterización de la acción del agua. El ensayo se realiza según la norma UNE-EN 12697-12:2009 (que sustituye al ensayo inmersión-compresión NLT-162).

### ¿Cómo se realiza el ensayo?

Paso 1. Preparar las probetas.

Se parte de probetas fabricadas o extraídas de la obra. Deben ser probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro y 101,6 mm de altura. Estas probetas deben ser compactadas mediante la acción de una carga creciente hasta alcanzar un tiempo determinado una presión máxima que se mantiene durante 2 minutos.

Paso 2. Acondicionamiento de las probetas.

Las probetas se dividen en 2 grupos de ensayo: probetas secas y probetas húmedas. En el subconjunto 1, las probetas se dejan a temperatura ambiente en el laboratorio. En el subconjunto 2, las probetas primero se saturan en un sistema de vacío (ver imagen 4A) y se comprueba que no hayan incrementado su volumen en más de un 2%. Posteriormente se sumergen en un baño de agua a 40° C durante un período de 68-72 horas (ver imagen 4B).



Imagen 4. Submuestra en fase de vacío inicial y sumergida en agua.

Paso 3. Evaluación de la tracción indirecta en cada grupo de probetas.

La resistencia a tracción indirecta es el esfuerzo máximo calculado en función de la carga máxima aplicada cuando se produce la fisuración y de las dimensiones de la probeta.

Una vez acondicionadas las submuestras se procede a su rotura por tracción indirecta, realizada a 15°C, de acuerdo con el procedimiento de la Norma UNE EN 12697-23:2018. En este paso del ensayo la probeta es sometida a una compresión en la prensa de ensayo (ver imagen 5), que se produce de forma constante y sin saltos bruscos a una velocidad de deformación constante, hasta alcanzar una carga máxima. Este proceso se continúa hasta que se produce la rotura de la probeta.

El resultado de este ensayo se recoge en una gráfica como la mostrada en la imagen 5, en la que se representa la velocidad de deformación en el eje vertical respecto a la resistencia de la probeta.

Finalizado este paso se obtienen así las resistencias a la tracción indirecta de cada una de las probetas ensayados (el primer grupo compuesto por tres probetas secas y el segundo por tres probetas saturadas y sumergidas).

### ¿Cuáles son los resultados del ensayo?

El resultado del ensayo de sensibilidad al agua es el porcentaje de resistencia a la tracción indirecta de la submuestra sumergida respecto a la resistencia de la submuestra seca:

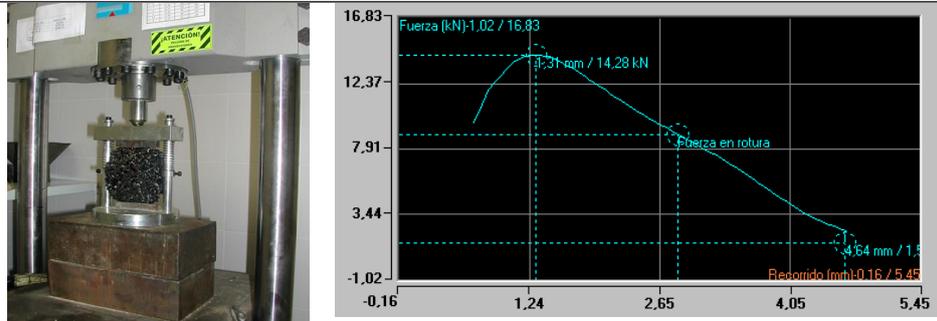
$$ITSR = 100 * \frac{ITSw}{ITSd}$$

Donde:

- ITSR es la relación de la resistencia a la tracción indirecta, en porcentaje (%).
- ITSw es la resistencia media a la tracción indirecta del grupo sumergido (kPa).
- ITSd es la resistencia media a la tracción indirecta del grupo seco (kPa).

Las exigencias sobre los valores máximos admisibles que pueden alcanzarse en las mezclas bituminosas vienen recogidos en el PG3.

Rotura de probetas secas



Rotura de probetas húmedas

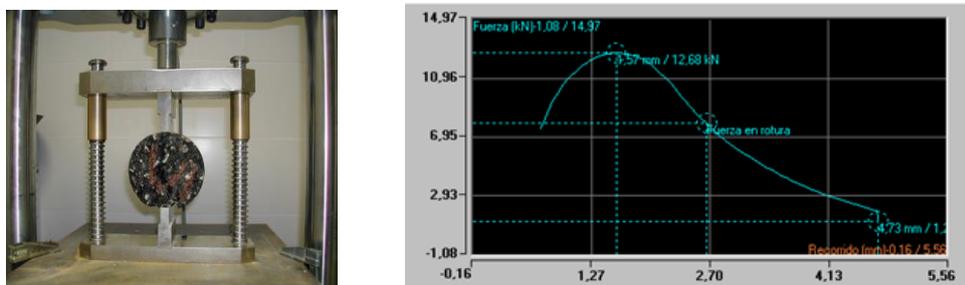


Imagen 5. Ensayo de tracción indirecta de los dos subconjuntos de probetas.



Ahora que sabemos el procedimiento del ensayo y qué resultado se obtiene... ¿Qué grupo de probetas crees que tendrá mayor resistencia a la tracción indirecta?

Como ya hemos indicado anteriormente, la acción del agua tiene efectos desfavorables que se traducen en una pérdida de las propiedades. Por tanto, las probetas sumergidas tendrán una resistencia a compresión simple igual o menor a las secas. Este resultado puede comprobarse observando el máximo alcanzado en las gráficas de la imagen 5.

## 7 Conclusión

Para que las mezclas bituminosas puedan emplearse en la formación del firme de una carretera deben de cumplir unas especificaciones de resistencia, que se evalúan mediante ensayos normalizados. En este artículo docente se ha explicado cuáles son los ensayos para evaluar la resistencia a la deformación y la resistencia a la acción del agua. Además, para cada ensayo se han identificados los pasos del procedimiento operatorio y cuáles son los resultados obtenidos tras su aplicación.

Conocidos los resultados de estos ensayos, veamos la adecuación de estos resultados para los diferentes usos de las mezclas bituminosas:



a) ¿Qué valores del ensayo de rodadura de una mezcla bituminosa son admisibles para cada capa del firme? ¿Estos valores dependen de otros factores?



b) ¿Cuáles crees que son los porcentajes aceptables del ensayo de sensibilidad al agua para cada capa del firme?

a. ¿Qué valores del ensayo de rodadura de una mezcla bituminosa son admisibles para cada capa del firme?

Como ya sabes el PG-3 es el que determina los requisitos que deben cumplir las mezclas bituminosas para ser utilizadas en diferentes situaciones. Según este documento, en sus artículos 542 y 543, se especifican unos valores del ensayo de rodadura según el tipo de mezcla para ser usada en diferentes capas.

¿Estos valores dependen de otros factores?

Estos valores dependen también del tipo de tráfico pesado y de la zona térmica estival.

Artículo PG-3	Título	WTS <sub>AIRE</sub>
542	Mezclas bituminosas en caliente	Entre 0,07 y 0,15 en función de la zona térmica estival, situación de la capa y tipo de tráfico pesado
543	Mezclas discontinuas	Entre 0,07 y 0,10 en función de la zona térmica estival, situación de la capa y tipo de tráfico pesado

Tabla 1. Valores admitidos en el PG-3 para el ensayo de rodadura.

b. ¿Cuáles crees que son los porcentajes aceptables del ensayo de sensibilidad al agua para cada capa del firme?

En los artículos 542 y 543 del PG3 se exige alcanzar un porcentaje mínimo de la resistencia a la tracción indirecta en el ensayo de sensibilidad al agua según el tipo de mezcla bituminosa y la capa en la que se desea utilizarla. Observa que en las capas de rodadura se exige una mayor resistencia.

Artículo PG-3	Título	Resistencia
542	Mezclas bituminosas en caliente: capas de base e intermedia	≥ 80%
542	Mezclas bituminosas en caliente: capas de rodadura	≥ 85%
543	Mezclas discontinuas: capas de rodadura	≥ 90%
543	Mezclas drenantes: capas de rodadura	≥ 85%

Tabla 2. Valores mínimos exigidos en el PG-3 para el ensayo de sensibilidad al agua.



## 8 Bibliografía

Kraemer, C. et al. (2004). "Ingeniería de Carreteras. Vol. 2". McGraw-Hill.

UNE-EN 12697-22:2008+A1. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de Rodadura.

UNE-EN 12697-33:2006. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placa.

UNE-EN 12697-12:2009. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de las probetas de mezcla bituminosa.

UNE-EN 12697-23:2018. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 23: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas.

Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).