

# Reciclado del firme de la N-VI en el tramo Rábade-límite de la provincia de A Coruña

**García Cordovilla, Cesar; Pérez Pérez, Ignacio; Rodríguez Pasandín, Ana María**

Universidade da Coruña, España

**Corraliza Tejeda, Sabas**

Director Técnico, ECOASFALT, S. A, España

## RESUMEN

En esta comunicación se describe el comportamiento mecánico de la capa de base reciclada in situ mediante emulsión asfáltica en la carretera N-VI Madrid a La Coruña p.k. 515,9 al p.k. 546,4 tramo comprendido entre Rábade y el límite de la provincia de A Coruña. Se describe la experiencia técnica de laboratorio y de ejecución de la obra, así como el proceso de control de la obra.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se considera el reciclado en frío de una capa asfáltica al proceso de mejora o rehabilitación de una capa de mezcla asfáltica antigua mediante disgregación, aportación y mezcla íntima con una emulsión bituminosa. La nueva mezcla tiene que ser homogénea y tratable para su extensión, nivelación y compactación en obra.

La ventaja de este sistema radica en numerosos factores. Pueden citarse el ahorro en consumo de áridos, el aprovechamiento de los ligantes antiguos. También se reduce el impacto ambiental con la economía de áridos, que proceden de explotaciones muy agresivas con el entorno, de ligantes y combustibles, que producen gases y humos en los procesos de calentamiento. Otra ventaja del reciclado en frío de capas antiguas del firme radica en que no se degrada, en ninguna cuantía la calidad del ligante asfáltico existente en el pavimento antiguo, ni de manera obvia el propio de la emulsión, al eliminarse todo calentamiento peligroso.

El objetivo de esta ponencia es difundir las experiencias técnicas de la ejecución de un reciclado in situ con emulsión de la capa de base de la carretera N-VI en la provincia de Lugo.

## 2. DIMENSIONAMIENTO

En el momento de hacer la rehabilitación la sección de la carretera era bastante homogénea ya que correspondía fundamentalmente a un firme semirrígido compuesto por un pavimento de mezcla bituminosa en caliente de 20 cm de espesor, una capa de base de grava cemento de 18 cm de espesor y una subbase de material granular de 15 cm, todo ello descansando sobre una explanada formada por suelos adecuados y seleccionados tipo A1.

### ***Datos de Tráfico y categoría de tráfico***

Se admitió una tasa de crecimiento anual de tráfico pesado durante el período de proyecto del 4%. Para un período de proyecto de 10 años se obtuvo una IMD de 96 vehículos pesados (categoría de tráfico **T3**).

### ***Deflexiones de cálculo***

Se empleó un **CURVIÁMETRO MT-15** para auscultar el estado estructural del firme. La deflexión de cálculo ( $d_{kc}$ ) se obtuvo multiplicando la deflexión característica ( $d_k$ ) por los coeficientes correctores relacionados con el método de medida utilizado, con las condiciones de humedad y temperatura.

### ***Dimensionamiento y solución adoptada***

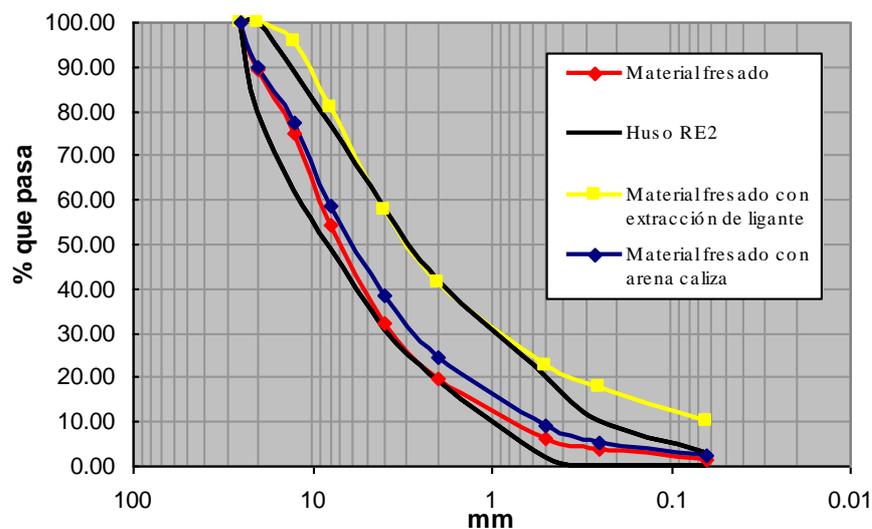
A partir del listado de las deflexiones del cálculo  $d_{kc}$  se dimensionó el firme de acuerdo con las especificaciones de la OC 323/97T (Ministerio de Fomento, 1997). Así, para un tráfico **T3** y un tipo de firme semirrígido se propuso en las zonas más deterioradas un espesor de mezcla bituminosa de 12 cm. Dado el mal estado de gran parte de los tramos observados se decidió fresar y reciclar el aglomerado existente mediante un espesor de 10 cm, para después poderle aplicar el refuerzo de 4 cm de mezcla **D-12**.

## **3. DOSIFICACIÓN Y FÓRMULA DE TRABAJO**

### **3.1 Estudio previo de los materiales**

#### ***Emulsión bituminosa***

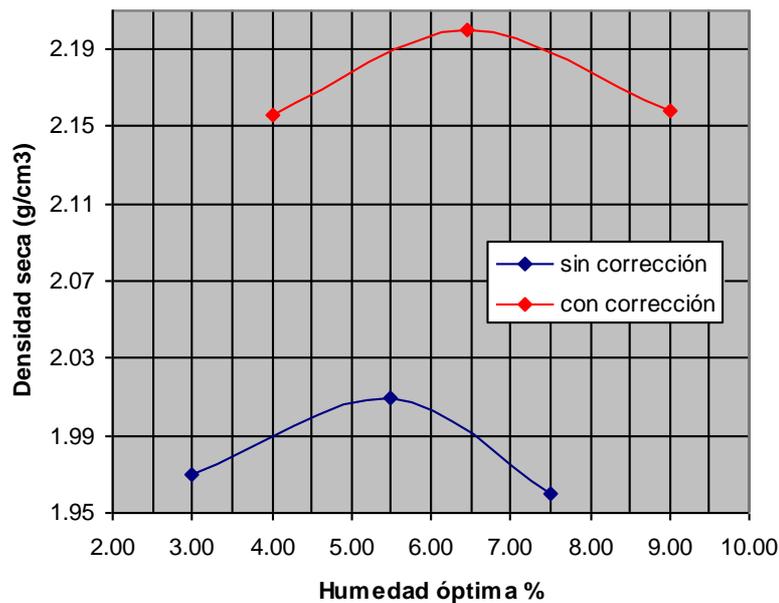
Se utilizó una emulsión bituminosa catiónica de rotura lenta **ECL-2**. Se comprobó que la emulsión proporcionaba una buena adhesividad activa y pasiva del ligante residual con el árido. En este sentido, los ensayos de estabilidad después de inmersión en agua dieron una buena medida indirecta de esta adherencia. La penetración del betún residual es de 130-200 décimas de mm con el fin de compensar el endurecimiento del ligante envejecido del firme antiguo. No se utilizó ningún agente rejuvenecedor. Por otra parte, la emulsión seleccionada es lo suficientemente lenta para envolver los elementos finos del árido.



**Figura1. Granulometría del material**

### Material fresado

Se realizó un análisis granulométrico del material fresado comprobándose que la granulometría del material estaba inscrita dentro del huso **RE2** especificado por la OC 8/2001 (Ministerio de Fomento, 2001a) para espesores de reciclado comprendidos entre seis y diez centímetros (Figura 1). Posteriormente, se hizo una extracción del ligante de acuerdo con la norma NLT 165 obteniéndose un porcentaje de betún en la mezcla fresada del 3% y un porcentaje de betún sobre áridos del 3.1%. También, se hizo el análisis granulométrico del árido después de extraer el betún (Figura 1).



**Figura 2. Resultados ensayos Proctor Modificado**

### 3.2 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

Se realizó el ensayo de compactación Proctor Modificado de la muestra fresada con el fin de fijar el contenido óptimo de fluidos para la compactación del material reciclado. La densidad seca máxima obtenida fue de  $2.01 \text{ g/cm}^3$  para una humedad óptima del 5.40% (Figura 2).

Posteriormente, se elaboró una serie de ocho probetas variando el contenido de ligante de cada una de las mismas, pero manteniendo constante el contenido total de fluidos. A continuación, después de someter las probetas a un proceso de maduración, se obtuvieron las densidades de las mismas para luego ser sometidas a compresión simple de acuerdo con las normas NLT-161 (Ensayo de compresión) y NLT-162 (Ensayo de compresión). En la tabla 2 se reflejan los resultados obtenidos.

Los requisitos de resistencia a compresión simple que especifica la OC 8/2001 (Ministerio de Fomento, 2001a) se muestran en la tabla 3. Las resistencias a compresión simple no cumplían los requisitos exigidos en la OC 8/2001 para un tráfico **T3**. Sin embargo, la

resistencia conservada dio como resultado un valor igual al 75%, cumpliendo lo indicado en la orden circular.

| % Ligante | Sin arena caliza<br>Resistencia (MPa) |                |                | Con arena caliza<br>Resistencia (MPa) |                |                |
|-----------|---------------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------|----------------|----------------|
|           | Seco                                  | Tras Inmersión | Conservada (%) | Seco                                  | Tras Inmersión | Conservada (%) |
| 3.00      | 2.36                                  | 1.69           | 75             | 3.41                                  | 2.65           | 85             |
| 3.50      | 2.33                                  | 1.74           | 75             | 3.30                                  | 2.81           | 84             |
| 4.00      | 2.24                                  | 1.68           | 75             | 3.06                                  | 2.53           | 83             |

**Tabla 2. Resultados de los ensayos de Inmersión-compresión**

| Categoría de tráfico pesado      | En seco (MPa) | Tras inmersión (MPa) | Conservada (%) |
|----------------------------------|---------------|----------------------|----------------|
| T1 (sólo capas de base) y T2 (*) | 3.0           | 2.5                  | 75             |
| T3, T4 y arcenes                 | 2.5           | 2.0                  | 70             |

\*Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas

**Tabla 3. Valores mínimos de resistencia en inmersión-compresión (NLT-162)**

Por otro lado, la media de la densidad de la serie de estas probetas -fabricadas para realizar el ensayo de inmersión-compresión- fue de  $2.32 \text{ g/cm}^3$ . Por todo ello, se decidió realizar una corrección granulométrica con arena caliza proveniente de una cantera situada en las proximidades de la obra (Figura 1). Nuevamente, se realizó el ensayo Proctor Modificado (Figura 2), obteniéndose una densidad seca máxima de  $2.2 \text{ g/cm}^3$  para un contenido óptimo de fluidos del 6.5%. A continuación, se fabricó una serie de probetas que fueron sometidas al ensayo de inmersión-compresión. Los resultados de estos ensayos están reflejados en la tabla 2. Puede observarse que con arena caliza las resistencias son superiores a las exigidas para un tráfico **T3**. Asimismo, las resistencias conservadas son notablemente superiores a las exigidas por la orden circular. La media de la densidad de estas probetas elaboradas con una corrección granulométrica mediante arena caliza fue de  $2.34 \text{ g/cm}^3$ .

A la vista de estos resultados se decidió tomar un contenido óptimo de ligante **ECL-2** del 3.5% y un contenido de agua del 3.0 % para ser empleados en la ejecución del reciclado en frío in situ. Esta fórmula de proyecto fue aprobada por la dirección de obra.

## 4. EJECUCIÓN DEL RECICLADO

### 4.1 Máquina utilizada en el reciclado

La máquina utilizada en el reciclado fue el modelo **2100 DCR** de la casa alemana **Wirtgen** (Figura 3). Esta es una máquina de gran rendimiento. Cuenta con una regla de extendido

que permite realizar trabajos de gran calidad en lo que a regularidad y homogeneidad del material reciclado extendido se refiere.

La configuración de trabajo empleada estaba formada por una cisterna de emulsión más **W-2100-DCR** más compactador de neumáticos pesado más compactador liso vibratorio pesado.

#### **4.2 Fases de ejecución**

Después de hacer un reconocimiento de la carretera, las fases de ejecución del reciclado son las siguientes:

- A. Adición de arena caliza correctora de la granulometría
- B. Disgregación y homogenización
- C. Adición de la emulsión bituminosa y agua
- D. Mezclado de todos estos componentes
- E. Extensión y nivelación de la mezcla
- F. Compactación

La arena caliza se extiende sobre la capa de rodadura por delante del equipo de reciclado. De esta forma este material se incorpora a la granulometría al realizar el reciclado (Figura 3). La máquina controla la cantidad de emulsión y agua de preenvuelta. La emulsión es pulverizada y se obtiene una buena envuelta del material. El mezclado se realiza aprovechando la energía del rotador horizontal perpendicular al sentido de la marcha. Por debajo de la máquina queda una longitud de cordón de material reciclado que va desde el tambor hasta la regla de extendido. Mediante la acción de un sinfín previo a la regla de extendido se logra una homogenización correcta del material. La regla de extendido de la mezcla deja una regularidad muy buena. La mezcla queda precompactada, y la emulsión rompe al salir de la entendedora, nunca dentro del tambor o en el cordón, lo que impediría el correcto extendido y compactación.

En general las necesidades de compactación son mayores que las que se requerirían para la compactación de una capa de mezcla asfáltica del mismo espesor. Esto se debe a que este tipo de material tiene poca trabajabilidad. La mezcla recién extendida sin compactar (Figura 3), al haber sido disgregada y contar con la aportación de agua, se esponja bastante, pese a la acción de precompactación del *tamper*. La compactación se obtiene mediante la combinación de un rodillo neumático de 35 toneladas lastrado y siete ruedas en cabeza, seguido por un rodillo metálico doble de 16 toneladas (Figura 3). El rodillo neumático permite expulsar el agua procedente de la preenvuelta y de la rotura de la emulsión. El rodillo vibratorio permite encajar la mezcla reciclada en el cajón formado al fresar. Es muy importante que la densidad después de la compactación sea lo más alta posible. Durante el período de curado se produce una densificación de la mezcla que termina con la extensión de la capa de rodadura de la mezcla en caliente. El factor clave para alcanzar densidades altas y para que el período de curado de la mezcla sea el más corto posible es la eliminación del agua.



**Figura 3. Ejecución del reciclado**

## **5. CONTROL DE LA OBRA**

Tras el proceso de compactación se obtuvieron numerosas densidades y humedades in situ mediante el método de la arena. Dichas densidades después de un período relativamente corto de tiempo alcanzaron el 90% de las obtenidas mediante el ensayo Proctor Modificado. No obstante, este porcentaje aumentaba con el paso del tiempo hasta alcanzar un 100%. Por lo que, contrariamente a lo que en principio se esperaba se obtuvieron unas altas densidades de la capa reciclada. Asimismo, se tomaron en recipientes que preservan la humedad muestras de la mezcla reciclada y, más tarde, en el laboratorio se realizaron con ellas series de probetas. Éstas fueron sometidas a compresión simple de acuerdo al ensayo de inmersión-compresión. En todos los casos los resultados obtenidos fueron muy satisfactorios, alcanzándose valores superiores a los que establece la tabla 3. Se intentaron extraer testigos de la mezcla reciclada. Esta operación no fue posible realizarla, ya que los testigos de material reciclado se rompían al intentar extraerlos (figura 3). Una explicación posible a este fenómeno quizás estriba en que el material todavía no había alcanzado una madurez suficiente, manteniendo todavía éste con un alto contenido de agua. Este hecho podría deberse a que estos materiales tienen un comportamiento mecánico intermedio

quizás más parecido a un material granular que a una mezcla bituminosa convencional en frío.

Por otro lado, después de un período de un mes de maduración y antes de ejecutar la capa de rodadura se procedió a la toma de deflexiones mediante un deflectómetro de impacto DYNATEST HWD 8081. Esto se hizo así con el fin de comprobar la capacidad estructural de la capa recientemente reciclada. El número total de medidas fue igual a 1284. En el carril 1 (derecha) el porcentaje de deflexiones características situadas dentro del intervalo entre 75 y 100 centésimas de milímetro es de un 1.947%; mientras que en el carril 2 este porcentaje es igual a un 2.025%.

El comportamiento observado de la capa de base reciclada fue excelente, ya que durante un período aproximado de 3 meses se mantuvo en servicio la carretera sin ejecutar la capa de rodadura formada por una mezcla bituminosa en caliente D-12. Durante ese período no se observaron deterioros significativos de la base reciclada por la acción de las cargas del tráfico. Además, seis meses después de la ejecución del reciclado se procedió de nuevo al intento de extracción de testigos de la capa de base reciclada, lográndose una extracción satisfactoria, señal de que el material ya había madurado lo suficiente para poder hacer esta operación. Estos testigos fueron sometidos a rotura a compresión simple obteniéndose unos buenos resultados.

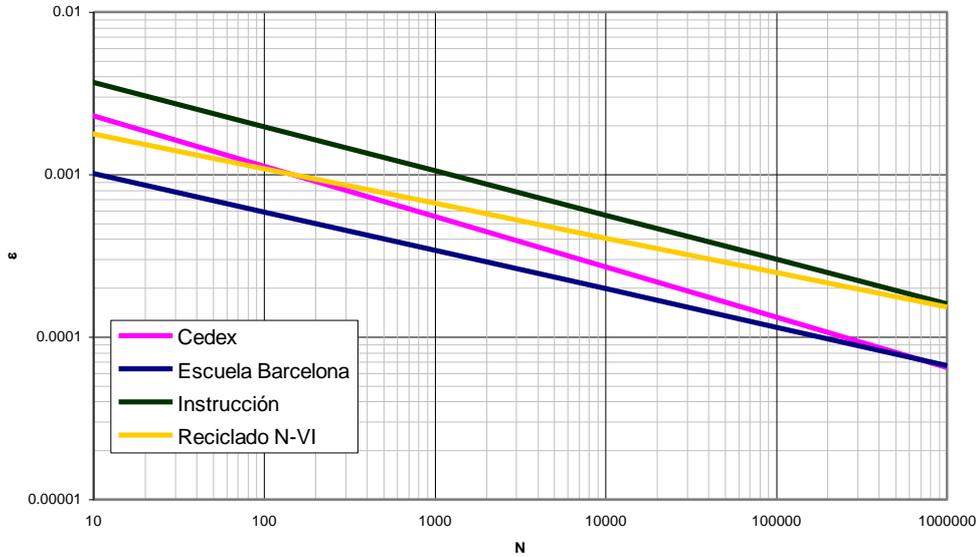
## 6. PARAMETROS MECÁNICOS

Se decidió obtener la ley de fatiga de la base bituminosa reciclada en la carretera N-VI. Asimismo, se obtuvieron los módulos dinámicos. El procedimiento para fabricar cada una de las probetas y ejecutar el ensayo se haya recogido en la norma NLT-350. La ecuación obtenida fue  $\varepsilon = 0.0029N^{-0.2132}$ . El módulo dinámico medio obtenido fue igual a 4008 MPa.

En la figura 4 pueden observarse diversas leyes de fatiga junto a la ley de fatiga de la **Instrucción 6.1 IC** (correspondiente a una mezcla bituminosa en caliente tipo **S-20**) (Ministerio de Fomento, 2001b) y la del reciclado de la N-VI. En las leyes de fatiga de las mezclas recicladas, para una misma deformación unitaria impuesta, se necesita un menor número de ciclos para llegar al agotamiento, que en las mezclas bituminosas en caliente. Por tanto, las mezclas recicladas tienen un peor comportamiento a la microfisuración por fatiga que las mezclas bituminosas en caliente convencionales. Sin embargo, la pendiente de la ley del reciclado de la N-VI es menor, por lo que, a partir de  $10^6$  ciclos, el comportamiento a la fatiga del reciclado de la N-VI es mejor que el de una mezcla **S-20**, ya que supera a la ley de la Instrucción.

Por otro lado, a partir de los resultados de las deflexiones se realizó el *Cálculo Inverso* obteniéndose un valor del módulo medio en el carril derecho de 2541.78 MPa y en el carril izquierdo de 2907.75 MPa. Los valores de los módulos obtenidos en las capas recicladas son acordes con lo que se debería esperar. En este sentido, cabe recordar que la medición de las deflexiones se realizó sólo un mes después de ejecutar el reciclado. Por tanto, todavía no había finalizado el período de maduración de este material, con lo que se

presume que con el transcurso de los meses se alcanzarán unos módulos superiores a los 4000 MPa (resultado obtenido en el laboratorio).



**Figura 4. Leyes de fatiga de mezclas recicladas con emulsión**

## 7. CONCLUSIONES

De lo expuesto anteriormente se puede deducir que el reciclado in situ con emulsión es una técnica excelente y una solución adecuada para la rehabilitación de carreteras de bajo tráfico. Esto se desprende de los resultados obtenidos en la rehabilitación de la carretera N-VI en el tramo comprendido entre Rabade y el límite de la provincia de A Coruña.

No obstante, existe la necesidad de profundizar en el conocimiento de este tipo de material reciclado in situ, sobre todo en lo concerniente a la caracterización de su comportamiento mecánico. En estos momentos existe la disyuntiva de cuál es realmente el comportamiento mecánico de estos materiales. En este sentido, inicialmente se parece más a un material granular que a una mezcla bituminosa en frío.

## BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Fomento (1997) “*Recomendaciones para el proyecto de las actuaciones de rehabilitación de firmes con pavimento bituminoso*”. Orden Circular 323/97 T.

Ministerio de Fomento (2001a) “*Reciclado de firmes*”. Orden Circular 8/2001.

Ministerio de Fomento (2001b) “*Rehabilitación de firmes de la Instrucción de Carreteras*”. Instrucción 6.3 IC.