

Fabricación y curado de mezclas de materiales áridos, reciclados o sin reciclar con emulsión bituminosa para ensayos de compresión y efecto del agua sobre su cohesión

1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma de ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la fabricación y curado de probetas de materiales reciclados o sin reciclar con emulsión bituminosa como ligante. Las probetas para ensayo de compresión simple en seco y después de sumergidas en agua, proporcionan valores de resistencia intrínseca y de susceptibilidad al agua que son de utilidad para caracterizar la mezcla con fines constructivos.

1.2 Aunque el ensayo está descrito, como objetivo principal, para el empleo de materiales para reciclar, puede ser aplicado con todo tipo de árido de cualquier naturaleza u origen.

1.3 La tipología del material corresponde a la de una grava-emulsión y tiene su aplicación más idónea en la construcción de capas de firme en carreteras: bases y refuerzos.

1.4 En el método se determina, con los áridos aceptados y la granulometría propuesta, el contenido teórico de fluidos de compactación utilizando el ensayo Proctor modificado, que suministra también el valor de la densidad máxima que puede servir de referencia en obra. También puede servir la densidad de las probetas de mezcla correspondiente a la dosificación óptima, obtenida de la inmersión-compresión. Posteriormente, con las muestras del material árido dosificado, se realizan pruebas de envuelta de éste con la emulsión, generalmente una de tipo ECL-2 ó EAL-2, (sin fluidificantes); estas pruebas permiten fijar un contenido aproximado de ligante residual y uno definitivo (óptimo) del contenido de fluidos de compactación (agua + emulsión). Se finaliza el procedimiento con la fabricación y curado de probetas de la mezcla con distintos contenidos de ligante residual en el entorno del valor inicial aproximado y su posterior ensayo a compresión simple en seco y después de inmersión (ensayo de inmersión-compresión), de

cuyo resultado se establece el contenido óptimo de ligante residual y se valora la calidad de la mezcla como material para construcción de capas de base y de refuerzos en firmes de carreteras.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

2.1 Tamices de ensayo. Serie de tamices UNE 7.050, adecuados a los tamaños de árido que se vayan a utilizar.

2.2 Estufa de desecación con ventilación forzada. La estufa tendrá capacidad para alojar las probetas de ensayo que se fabriquen, en el proceso de curado de las mismas, y dispondrá de termostato que pueda mantener y regular la temperatura del recinto a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ y a $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

2.3 Equipo para ensayo Proctor modificado. El reseñado en la norma NLT-108 y moldes para fabricar las probetas.

2.4 Equipo para ensayo de envuelta. El reseñado en la norma NLT-196 (No es necesario el rociador).

2.5 Equipo para ensayo de compresión simple. Referido en la norma NLT-161.

2.6 Baño de agua, termostático y regulación de temperatura de ensayo, con capacidad para alojar las probetas en inmersión.

2.7 Aparatos y material de uso general en el laboratorio. Balanzas, bandejas, cronómetros, cazos, espátulas, etc.

3 ESTUDIO PREVIO DEL MATERIAL

3.1 Se determina la granulometría del material, de acuerdo con la norma NLT-150 y NLT-152. Si la granulometría no encaja en el huso especificado, se toman las medidas necesarias para corregirla, bien eliminando los tamaños fuera de especificación,

bien añadiendo las fracciones de árido de aportación adecuadas para conseguir la granulometría propuesta. En general, puede ser necesario añadir áridos finos. El árido de aportación que se emplee en la dosificación de laboratorio tendrá la misma naturaleza y origen que el que se vaya a utilizar en obra.

3.2 El material granular cumplirá las prescripciones que para él se especifiquen en el Pliego general y en el particular de la obra.

3.3 Si se pretende calcular el contenido de huecos de la mezcla compactada se determinará la densidad relativa del material árido en aceite de parafina según la norma NLT-167.

3.4 La emulsión bituminosa tendrá las características que se especifiquen y de éstas, especialmente, la estabilidad y la velocidad de rotura, serán las adecuadas a la plasticidad del material árido.

3.5 En el caso de que el material árido para reciclar contenga material bituminoso no es necesario, en general, efectuar ninguna acción especial pues éste se considerará, en las condiciones de realización del ensayo, material árido a todos los efectos

3.6 Determinación del contenido teórico de fluidos de compactación CTF

3.6.1 Se emplea el ensayo Proctor modificado, siguiendo la metodología referida en la norma NLT-108. Con los puntos de humedad de compactación ensayados y las densidades respectivas calculadas, se dibuja la curva densidad-humedad y se determina la densidad máxima y la humedad óptima del material. Esta humedad óptima, junto con la humedad natural (si el material empleado no se ha secado previamente) serán los datos a tener en cuenta en la definición del contenido teórico de fluidos en la compactación del material con la emulsión.

3.6.2 Con los datos previamente determinados de humedad natural (si procede), humedad óptima de compactación y conocido el tipo de emulsión propuesto (ECL-2 o EAL-2) se procede a definir el contenido teórico de fluidos de compactación, CTF.

3.6.3 El contenido teórico de fluidos de compactación, CTF, corresponde al de humedad efectivo que debe tener la muestra de áridos como valor de referencia para iniciar las pruebas de envuelta y compactación más unas cantidades fijas o variables de emulsión.

CTF (% humedad Proctor modificado) = % humedad natural + % de agua de preenvuelta APE (variable en función del porcentaje de emulsión presente en la mezcla) + % de emulsión.

3.7 Determinación del contenido óptimo de fluidos de compactación COF

3.7.1 El porcentaje definitivo, óptimo, de fluidos de compactación, COF se determina realizando varios ensayos de envuelta con el material árido, un porcentaje de emulsión establecido, entre el 2% y el 3% sobre áridos para reciclado de materiales bituminosos y entre el 2% y 4% sobre áridos para reciclado de materiales granulares, y cantidades variables de agua de preenvuelta tales que proporcionen un total de fluidos de compactación comprendido entre el CTF-2% y el CTF. Para estas pruebas, se tomará como porcentaje inicial de fluidos de compactación, el valor teórico, CTF, previamente determinado según 3.6, modificándolo, si es necesario, mediante variaciones en el porcentaje de agua de preenvuelta APE hasta obtener una mezcla con características de manejabilidad y tiempo de curado adecuados.

3.7.2 El ensayo de **envuelta** se realiza tal como se describe en los apartados 3.1.1 a 3.1.5 de la norma NLT-196 (sin adición de carbonato cálcico) y humedeciendo los áridos previamente con el agua de preenvuelta o, alternativamente, realizando varias pruebas de mezclado del árido con diferentes cantidades de agua de preenvuelta y con la cantidad de emulsión estipulada. Se hace una valoración visual del proceso de cada una de las pruebas realizadas, siguiendo un criterio análogo al que se refiere en el apartado 4 "Resultados" de la mencionada norma.

3.7.3 Los tiempos mínimos de envuelta y rotura de la emulsión se pueden establecer a partir de las pruebas de envuelta descritas más arriba. Los tiempos deben ser del orden de 30 a 60 segundos, para la envuelta, e inferiores a 300 segundos (5 minutos) para la rotura.

3.7.4 Con este ensayo queda definida la cantidad o proporción realmente necesaria de agua de preenvuelta APE, así como la idoneidad de la emulsión elegida con respecto al material árido que se estudia. Los fluidos de envuelta y compactación finalmente seleccionados debe quedar comprendidos en el intervalo CTF-1% y el CTF. Si no se puede conseguir una envuelta adecuada dentro de este intervalo se debe cambiar la emulsión.

4 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

4.1 Se ajusta la cantidad necesaria, unos 1.800 g de material árido, para que la altura de la probeta compactada esté dentro de los límites que se especifican, diámetro: (101,6±2) mm y altura = diámetro ± 2,5%. (nota 1).

$$\text{masa correcta de áridos (g)} = \frac{101,6 \times \text{masa árido utilizado (g)}}{\text{altura obtenida en la probeta (mm)}}$$

Nota 1. Es conveniente realizar alguna prueba de compactación, según se describe en 4.7, de la mezcla dosificada para comprobar la altura de la probeta. También se pondrá de manifiesto si el proceso de rotura de la emulsión ha sido adecuado o no, observando si, durante la compactación de la probeta, el líquido expulsado del molde no contiene betún o lo contiene, respectivamente.

4.2 Con los datos del contenido óptimo de fluidos de compactación, COF, y la masa de áridos para cada probeta se procede a fabricar las probetas necesarias para que se puedan ensayar los contenidos de ligante residual (betún en la emulsión) que se estimen convenientes para determinar el óptimo de betún residual en mezcla. Normalmente, este óptimo está comprendido entre el 1,0 y el 2,0%, sobre áridos para reciclado de mezclas bituminosas y entre el 2,0 y el 4,0% sobre áridos para materiales granulares. También hay que tener presente el número mínimo de probetas iguales para ensayo que será de tres (3).

4.3 Se determina la cantidad de emulsión que corresponde al porcentaje de betún residual que se ensaye. La cantidad de agua de preenvuelta necesaria se calcula por diferencia entre la que representa el COF y el porcentaje de emulsión.

4.4 Se coloca en un recipiente, dispuesto sobre una balanza, la cantidad de áridos necesaria para una probeta. Se añade, sobre los áridos, la cantidad de agua de preenvuelta previamente determinada. Se mezclan intensamente durante unos 30 segundos o hasta obtener aspecto homogéneo. Antes de la primera amasada se humedecen ligeramente las paredes del recipiente.

4.5 Después de homogeneizar la emulsión, con una varilla de vidrio, se añade la cantidad calculada de ésta al recipiente sobre los áridos humedecidos con el agua de preenvuelta. Se mezcla con ayuda de una espátula durante 60 a 90 segundos, sin prolongar excesivamente esta acción (nota 2).

Nota 2. Con áridos no reciclados, algunas veces, éstos no suelen quedar completamente cubiertos por el ligante (betún residual) puesto que el porcentaje de éste es bajo. El ligante sí debe quedar bien distribuido en toda la masa del árido (finos y gruesos). Un excesivo mezclado provocaría desprendimientos de ligante inicialmente adherido, a la superficie de las partículas de áridos más gruesos.

4.6 Concluido el mezclado se deja la mezcla en reposo, si es necesario, hasta que se empiece a observar la rotura de la emulsión (cambio de color y pérdida de manejabilidad). Si la rotura tarda en producirse mucho tiempo se puede guardar la mezcla en bolsas de plástico, cerradas, para evitar pérdida de humedad de compactación, durante el tiempo requerido (nota 3).

Nota 3. Si es necesario se pueden calentar las bolsas con su contenido a temperatura no superior a 60°C, con el fin de acelerar la rotura de la emulsión. Normalmente la rotura de la emulsión se inicia inmediatamente después de su mezcla con los áridos.

4.7 Se transfiere la mezcla semi-rotta al molde de compactación, norma NLT-161. Se compacta la mezcla dentro del molde colocando previamente una bandeja metálica entre el molde y el plato inferior de la prensa. En esta bandeja se recoge el agua expulsada de la mezcla en el proceso de compactación. Se compacta la mezcla en las condiciones precisas que se describen en la Norma NLT-161: presión inicial o de asentamiento de 1 MPa (10 kgf/cm²), velocidad de carga regulada para alcanzar en un tiempo de 2 a 3 minutos una presión de 21 MPa (210 kgf/cm²), que se mantiene durante otros 2 minutos (nota 4).

Nota 4. Cuando se hace referencia a la metodología descrita en la norma NLT-161 "Resistencia a compresión simple de las mezclas bituminosas" se seguirá tal metodología con rigor salvo en los aspectos que afectan exclusivamente a las mezclas en caliente que no son de aplicación en los materiales estudiados en la presente norma de ensayo, pues es material fabricado y compactado en frío a temperatura ambiente.

4.8 Terminada la compactación se desmolda la probeta, se referencia, se mide su altura ± 1mm, y se determina su masa ± 1 g (nota 5).

Nota 5. Normalmente, la extracción de las probetas de los moldes puede realizarse inmediatamente después de la compactación. No obstante, si la mezcla no ha adquirido aún suficiente consistencia en ese momento, o se cree conveniente que el curado de las probetas se inicie con éstas aún dentro de los moldes, para que la eliminación del agua sea algo más lenta, se puede retrasar tal operación, dejando las probetas en sus moldes durante un cierto tiempo (24 horas por ejemplo), bien a temperatura ambiente o bien a la temperatura de curado.

4.9 Se repite todo el proceso referido en los apartados anteriores 4.1 a 4.8 para la fabricación de todas las probetas que se hayan previsto con los diferentes contenidos de betún residual. Se tendrá en cuenta que la cantidad de agua de preenvuelta que se añade, en cada caso, se reducirá al aumentar los contenidos de ligante residual (al aumentar el contenido de ligante residual, la cantidad de agua que aporta la emulsión a la mezcla aumenta también). El contenido óptimo de fluidos de compactación COF (agua de preenvuelta más la emulsión) debe permanecer constante.

5 CURADO DE LAS PROBETAS

5.1 El curado de las probetas se efectúa en un estufa de aire forzado regulada a una temperatura de (50 ± 2) °C hasta obtención de masa constante que, en general, supondrá de 3 a 7 días (nota 6).

Nota 6. Se puede estimar que se ha llegado a una masa constante cuando dos determinaciones de la misma realizadas con una hora de diferencia, no varían entre sí más del 0,1%.

5.2 Concluido el proceso de curado, se determina la densidad relativa aparente, saturado superficie seca (s.s.s.) o geométrica de las probetas, de acuerdo con la norma NLT-168; se reparte cada grupo de probetas, de cada contenido residual de ligante ensayado, en dos subgrupos, de tal suerte que las densidades de las probetas de cada subgrupo queden lo más equilibradas posible.

6 CÁLCULOS Y RESULTADOS

6.1 Separados los dos subgrupos de probetas, según 5.2, se ensayan a compresión simple en seco y después de inmersión, siguiendo el procedimiento que se especifica en las normas NLT-161 y NLT-162 a las que se remite a todos los efectos, tanto en la metodología del ensayo como en el cálculo de resultados y su precisión.

6.2 Alternativamente, las probetas se pueden ensayar a compresión diametral (tracción indirecta),

en seco y después de inmersión, siguiendo la norma NLT-346.

6.3 Junto con los resultados se referirá cómo se ha determinado la densidad relativa de las probetas: saturado superficie seca o geoméricamente.

7 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma de ensayo ha sido redactada de acuerdo con los estudios y experimentaciones realizadas en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX y las aportaciones al respecto realizadas por otros centros privados de investigación.

8 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-108 "Aplonado Proctor modificado"

NLT-150 "Análisis granulométrico de áridos gruesos y finos"

NLT-161 "Resistencia a compresión simple de mezclas bituminosas"

NLT-162 "Efecto del agua sobre la cohesión de las mezclas bituminosas compactadas (ensayo de inmersión-compresión).

NLT-167 "Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina"

NLT-168 "Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas"

NLT-196 "Envuelta y resistencia al desplazamiento, por el agua, de las emulsiones bituminosas"

UNE 7050 "Tamices de ensayo"