

DISEÑO DE MEZCLAS DE AGREGADOS, RECICLADOS O SIN RECICLAR, CON EMULSIÓN ASFÁLTICA, MEDIANTE EL MÉTODO DE INMERSIÓN – COMPRESIÓN

INV E – 622 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para medir la pérdida de resistencia a la compresión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas, preparadas con emulsión asfáltica. En el ensayo se obtiene un índice numérico de la pérdida producida al comparar las resistencias a la compresión simple obtenidas entre probetas curadas al aire y probetas duplicadas sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se indican más adelante.
- 1.2 Mediante este método se puede determinar el contenido óptimo de emulsión de una mezcla de agregados, de composición y granulometría determinadas, ensayando series de probetas con proporciones variables de emulsión asfáltica.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- 2.1 Se elaboran mezclas de agregados, agua y emulsión asfáltica de rotura lenta, con diferentes contenidos de emulsión, ajustadas con el contenido óptimo de fluidos de compactación. Las mezclas se compactan bajo condiciones normalizadas en juegos de seis probetas por cada contenido de emulsión. Las probetas compactadas se someten a curado, divididas en dos grupos: uno se cura en seco y el otro bajo una combinación de curado seco e inmersión en agua. Finalmente, las probetas se someten a rotura por compresión simple.

3 EQUIPO

- 3.1 *Moldes* – Moldes cilíndricos, en los que la mezcla se coloca para ser compactada posteriormente. Sus dimensiones serán tales, que se puedan elaborar probetas de 101.6 mm (4") de altura por 101.6 mm (4") de diámetro. El espesor nominal de las paredes y del fondo de cada molde deberá ser 6.4 mm ($\frac{1}{4}$ "). Los moldes deben tener perforaciones laterales para facilitar el drenaje del agua de la emulsión durante la compactación.

3.2 Pistones – Pistones cilíndricos para la compactación de la mezcla, los cuales debe pasar a través del molde libremente para ejercer la compactación. La diferencia máxima entre el diámetro del molde y el diámetro del pistón debe ser de 1.27 mm (0.05"). Los pistones pueden ser sólidos o ahuecados o tener otro tipo de estructura. Sus extremos deben tener una longitud no menor de 12.7 mm (1/2") y formar un ángulo recto con las paredes del molde. El pistón inferior deberá tener una altura de 50 ± 4 mm (2 ± 1/8"), mientras el superior debe tener una altura apropiada para el ensayo.

Nota 1: Para la compactación de probetas se pueden emplear moldes y pistones cilíndricos de acero con la forma y dimensiones detalladas en la Figura 747 - 1 de la norma INV E-747, con la siguientes salvedades: (1) el molde deberá contener perforaciones laterales para facilitar la expulsión del agua de la mezcla durante el proceso de compactación; (2) el pistón de compactación podrá tener más de tres aletas.

3.3 Soportes – Los soportes para mantener temporalmente los moldes por encima de la base de sustentación del pistón inferior, estarán formados por dos varillas de acero de sección cuadrada de 25.4 ± 3.1 mm (1 ± 1/8") y una longitud mínima de 76.2 mm (3").

3.4 Máquina para ensayo – La máquina para ensayar las probetas puede ser cualquier tipo de prensa que cumpla las condiciones de capacidad de carga y velocidad exigidas por esta norma. Puesto que la velocidad de deformación vertical está especificada en 0.05 mm/min por mm de altura de la probeta (0.05 pg/min·pg) y como puede ser necesario ensayar probetas con tamaños desde 50.8×50.8 mm (2 × 2") y hasta 203×203 mm (8 × 8"), para cumplir el requisito de velocidad se precisa que la máquina pueda dar velocidades de deformación entre 2.5 mm/min (0.1"/min) para las probetas de 50.8 mm (2") hasta 10.2 mm/min (0.4"/min) para las de 203 mm (8"). La máquina deberá estar equipada con dos placas de carga de acero templado; la superior debe estar provista de un apoyo de forma esférica y la inferior será plana para servir de base a la probeta. El tamaño de las caras de carga de las placas deberá ser ligeramente superior al diámetro máximo de las probetas a ensayar. La superficie de las placas deberá ser completamente lisa y plana, no permitiéndose variaciones con respecto al plano verdadero superiores a 0.0127 mm (0.0005") en placas nuevas y a 0.025 mm (0.001") en placas en uso. En la placa superior con apoyo esférico, el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la cara de carga de la placa. La parte móvil de esta pieza debe encajar ajustadamente en el apoyo esférico; pero el diseño deberá ser tal, que la placa de carga gire libremente y bascule en ángulos pequeños en cualquier dirección.

- 3.5 Horno** –Se dispondrá de un horno de ventilación forzada y capaz de alcanzar y mantener desde la temperatura ambiente hasta 100° C, dentro de una variación de $\pm 3^\circ$ C.
- 3.6 Baño de aire** – Un baño de aire con control manual o automático de la temperatura y con capacidad suficiente para mantener las probetas a $25 \pm 0.5^\circ$ C ($77 \pm 1.0^\circ$ F) hasta el momento del ensayo.
- 3.7 Baño de agua con control termostático** – Un baño de agua que disponga de un dispositivo regulador de temperatura (reóstato), capaz de mantener la temperatura con precisión de $\pm 1^\circ$ C, con capacidad suficiente para mantener totalmente sumergidas las probetas, estando apoyadas en una bandeja o placa de transferencia, separadas del fondo del recipiente. El material será no reactivo, y el agua para llenar el baño será destilada o libre de electrolitos, y se deberá renovar para cada serie de ensayos.
- 3.8 Balanza** – De 2000 g de capacidad y 0.1 g de legibilidad.
- 3.9 Mezcladora mecánica** – Las mezclas se deberán preparar, preferiblemente, en una mezcladora mecánica, pudiendo emplearse una de cualquier tipo, siempre que pueda proporcionar un mezclado completo y homogéneo, sin segregaciones, en el tiempo especificado. La forma y la disposición de las paletas deberán reducir al mínimo la adherencia a éstas de parte de la mezcla, que pudiera alterar la correcta proporción de finos y de asfalto en ella. Si fuera necesario, el mezclado se podrá efectuar manualmente en un recipiente adecuado.

4 ESTUDIO PRELIMINAR DE LOS MATERIALES

- 4.1** Se determina la granulometría del agregado de acuerdo con la norma INV E-213. Si no encaja en la franja granulométrica especificada para la obra, se deberán tomar las medidas necesarias para corregirla, ya sea eliminando los tamaños por fuera de la especificación o añadiendo fracciones de aporte adecuadas para corregir la granulometría. El agregado de aporte deberá ser de la misma naturaleza y origen que el que se tiene previsto emplear en la obra.
- 4.2** Aparte de la granulometría, se deberá verificar que el agregado cumpla los demás requisitos de calidad establecidos en la especificación de construcción aplicable.

- 4.3** A una muestra con la gradación de diseño se le determina la humedad inicial, de acuerdo con la norma INV E-122.
- 4.4** Si se requiere calcular el contenido de vacíos de la mezcla compactada, se deberá determinar la densidad del agregado en aceite de parafina, según la norma INV E-244.
- 4.5** La emulsión asfáltica deberá presentar las características que se especifiquen y, de éstas, la estabilidad y la velocidad de rotura deberán ser las apropiadas para la plasticidad del agregado que se va a estabilizar.
- 4.6** En el caso de que el agregado provenga de un proceso de recuperación en un pavimento existente y contenga material asfáltico, no será necesario, por lo general, efectuar ninguna acción especial, pues éste se considerará, en las condiciones de ejecución del ensayo, como material granular a todos los efectos.

5 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA Y ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS

- 5.1** *Contenido óptimo teórico de emulsión* – Se determina mediante cálculo, empleando algún método de superficie específica. A manera de ejemplo, se presenta el siguiente:

- 5.1.1** Se calcula la superficie específica (Σ), considerando los siguientes factores de superficie específica (FSE):

TAMAÑO DEL AGREGADO, mm	% DE LA MASA TOTAL SECA DEL AGREGADO	FSE
> 10	A	0.17
4.76 -10	B	0.33
0.300-4.76	C	2.3
0.075- 300	D	12
<0.075	F	135

$$100 \Sigma = 0.17A + 0.33B + 2.3C + 12D + 135F$$

[622.1]

- 5.1.2** El contenido de asfalto residual (% L), en porcentaje con respecto a la masa total seca del agregado, viene dado por:

$$\% L = k \sqrt[5]{\Sigma}$$

[622.2]

Donde: k: Coeficiente de riqueza, el cual toma valores entre 2.5 y 3.5.

- 5.1.3** Se determina el porcentaje óptimo teórico de emulsión asfáltica, con respecto a la masa total seca del agregado:

$$\% \text{ emulsión óptimo teórico} = \frac{\% L}{C}$$

[622.3]

Donde: C: Concentración de la emulsión, en tanto por uno.

5.2 Determinación del contenido teórico de fluidos de compactación (CTF):

- 5.2.1** Se determinan la humedad óptima del agregado y su peso unitario seco máximo, empleando el procedimiento descrito en la norma INV E-142. Esta humedad óptima, junto con la humedad natural (si el agregado empleado no se ha secado previamente) serán los datos a tener en cuenta para la determinación del contenido teórico de fluidos en la compactación del agregado con la emulsión.
- 5.2.2** Con los datos determinados previamente de humedad natural (si procede), humedad óptima de compactación y conocido el tipo de emulsión, se procede a definir el contenido teórico de fluidos de compactación, CTF.
- 5.2.3** El contenido teórico de fluidos de compactación, CTF, corresponde a la humedad efectiva que debe tener la muestra de agregados como valor de referencia para iniciar las pruebas de envuelta y compactación, más unas cantidades fijas o variables de emulsión:

$$\text{CTF (\% humedad óptima)} = \% \text{ humedad natural} + \% \text{ agua de pre-envuelta} + \% \text{ agua de la emulsión}$$

[622.4]

Nota 2: El agua de pre-envuelta, APE, varía de acuerdo con el porcentaje de emulsión presente en la mezcla.

5.3 Determinación del contenido óptimo de fluidos de compactación (COF):

- 5.3.1** El porcentaje definitivo, óptimo, de fluidos de compactación, COF, se determina realizando varios ensayos de envuelta con el agregado, el porcentaje establecido de emulsión, y cantidades variables de agua de pre-envuelta 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 el numeral 5.2, modificándolo si es necesario, mediante variaciones en el porcentaje de agua de pre-envuelta APE hasta obtener una mezcla con características de manejabilidad y curado adecuados.
- 5.3.2** El ensayo de cubrimiento se realiza como se describe en los numerales 5.1 a 5.5 de la norma INV E-769 y humedeciendo los agregados previamente con el agua de pre-envuelta o, alternativamente, realizando varias pruebas de mezclado con diferentes cantidades de agua de pre-envuelta 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 de la Sección 7 de la norma INV E- 769.
- 5.3.3** Los tiempos mínimos de envuelta y rotura de la emulsión se pueden establecer a partir de las pruebas de cubrimiento descritas más arriba. Los tiempos deben ser del orden de 30 a 60 segundos para el cubrimiento, e inferiores a 300 segundos para la rotura.
- 5.3.4** Con este ensayo queda definida la cantidad o proporción realmente necesaria de agua de pre-envuelta, APE, así como la idoneidad de la emulsión elegida con respecto al agregado que se estudia. Los fluidos de envuelta y compactación finalmente escogidos deben quedar comprendidos en el intervalo CTF – 1% y CTF. Si no se puede conseguir un cubrimiento adecuado dentro de este intervalo, se deberá cambiar de emulsión.

6 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

- 6.1** Se deben obtener unos 1800 g de agregado, para que la altura de la probeta compactada esté en el intervalo 101.6 ± 2 mm y, además, altura = diámetro $\pm 2.5\%$ (nota 3).

Nota 3: Si al compactar la primera probeta no se consigue la altura especificada, la masa de agregados se deberá ajustar con la expresión:

$$\text{Masa corregida, g} = \frac{101.6 \times \text{masa utilizada, g}}{\text{altura obtenida en el primer tanteo, mm}} \quad [622.5]$$

- 6.2** Con los datos del contenido óptimo de fluidos de compactación, COF, y la masa de agregados para cada probeta, se procede a elaborar las mezclas para fabricar las probetas necesarias para que se puedan ensayar con los contenidos de ligante residual (cemento asfáltico en la emulsión) que se estimen convenientes para determinar el óptimo de asfalto residual en la mezcla. Se deberá fabricar una amasada individual para cada espécimen. Se deben elaborar seis especímenes por cada porcentaje de ligante residual que se utilice.
- 6.3** Se determina la cantidad de emulsión que corresponde al porcentaje de asfalto residual que se ensaye. La cantidad de agua de pre-envuelta necesaria se calcula por diferencia entre la que representa el COF y el porcentaje de emulsión.
- 6.4** Se coloca en un recipiente tarado sobre una balanza, la cantidad necesaria de agregados para elaborar una probeta. Se vierten los agregados al tazón de la mezcladora y, sobre ellos, se añade el agua de pre-envuelta previamente determinada y se mezcla vigorosamente durante unos 30 segundos o hasta que se obtenga un aspecto homogéneo. Antes de la primera amasada, se deberán humedecer ligeramente las paredes del tazón.
- 6.5** A continuación, se va adicionando la cantidad calculada emulsión (nota 4) lentamente sobre los agregados humedecidos, sin parar la agitación y hasta conseguir la completa envuelta de mezcla, sin prolongar excesivamente esta acción (nota 5). Esta última fase se logra en un término comprendido entre 60 y 90 s.

Nota 4: La emulsión se deberá haber homogeneizado previamente con una varilla de vidrio.

Nota 5: En las mezclas con agregados vírgenes, ellos no suelen quedar completamente cubiertos por el ligante (asfalto residual), puesto que el porcentaje de éste es bajo. El ligante sí debe quedar bien distribuido en toda la masa del agregado. Un mezclado excesivo provocaría desprendimientos de ligante inicialmente adherido a la superficie de las partículas más gruesas.

- 6.6** Concluido el mezclado, se deja la mezcla en reposo, si es necesario, hasta que se comience a observar la rotura de la emulsión (cambio de color y pérdida de movilidad). Si la rotura tarda mucho en producirse, la mezcla se puede guardar en bolsas de plástico cerradas, para evitar pérdida de humedad de compactación, durante el tiempo requerido (nota 6).

Nota 6: Si es necesario, se pueden calentar las bolsas con su contenido a una temperatura no mayor de 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 agregados.

- 6.7** Se repite todo el proceso mencionado en los numerales 6.1 a 6.6 para la preparación de todas las mezclas necesarias para la confección de las probetas que se hayan previsto con los diferentes contenidos de asfalto residual. Se tendrá en cuenta que la cantidad de agua de pre-envuelta que se añada en cada caso se debe reducir al aumentar los contenidos de ligante residual (al aumentar la cantidad de emulsión aumenta la cantidad de agua que ella aporta). El contenido óptimo de fluidos de compactación COF (agua de pre-envuelta más la emulsión) debe permanecer constante.

Nota 7: Se deben preparar, al menos, mezclas para cuatro series de seis (6) probetas, variando el porcentaje de ligante residual: una serie con el óptimo teórico (L), otra con L - 1, otra L+1 y otra con L+2.

7 COMPACTACIÓN DE LAS PROBETAS

- 7.1** El molde, ligeramente engrasado en su interior mediante un trapo limpio impregnado con algunas gotas de aceite, se coloca sobre el pistón inferior, intercalando las dos varillas de soporte. Previamente a la colocación del molde, se intercala una bandeja entre la placa inferior de la prensa y el molde, cuya función será recoger el agua expulsada de la mezcla a través de los orificios laterales del molde en el proceso de compactación (nota 8). Se vierte aproximadamente la mitad de la mezcla semi-rota en el molde, distribuyéndola mediante 25 golpes aplicados con una espátula, aplicando los 15 primeros en la periferia y distribuyendo los restantes al azar; seguidamente, se añade el resto de la mezcla y se aplican en forma similar, otros 25 golpes con la espátula. En estas operaciones, la espátula deberá penetrar lo más profundamente posible en la mezcla, habiéndose encontrado ventajoso el empleo de una espátula con sus bordes redondeados. Finalmente, a la parte superior de la mezcla se le dará un acabado ligeramente cónico o esférico, para facilitar el asentamiento del pistón superior.

Nota 8: Durante la compactación de la probeta se estima si el proceso de rotura de la emulsión es adecuado o no, observando si el líquido expulsado no contiene asfalto o lo contiene, respectivamente.

- 7.2** A continuación, se coloca el pistón superior, y manteniendo todavía las varillas soporte intercaladas, se aplica sobre la mezcla una presión inicial o de asentamiento de 1 MPa (10 kgf/cm²) o de 150 lbf/pg², con objeto de asentar inicialmente la mezcla; se retiran entonces las dos varillas de soporte para compactar por el sistema de doble émbolo, y se comienza la compactación definitiva de la mezcla mediante la aplicación de una carga creciente,

regulando la velocidad lo más uniformemente posible, hasta alcanzar, en un tiempo de 2 a 3 minutos, una presión máxima de 20.7 MPa (210 kgf/cm²) o de 3000 lbf/pg², manteniendo esta presión sobre la mezcla durante 2 minutos. Para las probetas normalizadas de 101.6 mm (4") de diámetro, esta presión viene a representar una carga de unos 170 kN.

- 7.3** Las probetas se dejan en el molde por 24 horas y se extraen a continuación mediante cualquier dispositivo que permita deslizar la probeta de una manera suave y uniforme. Luego, se determina su masa con una precisión de 1 g (nota 9).

Nota 9: La extracción de las probetas de los moldes se puede realizar inmediatamente después de la compactación. No obstante, si la mezcla no ha adquirido aún suficiente consistencia, o se considera conveniente que el curado se inicie con ellas aún dentro de los moldes para que la eliminación del agua sea algo más lenta, esta operación se puede retrasar, dejando las probetas en sus moldes durante cierto tiempo a la temperatura ambiente o a la temperatura de curado.

- 7.4** *Gravedad específica de las probetas* – La determinación de la gravedad específica de las probetas se puede realizar una vez extraídas del molde. Al respecto, se puede seguir el procedimiento de la norma INV E-733.

8 CURADO DE LAS PROBETAS

- 8.1** Antes de ensayar cada serie de 6 probetas, se dividirán en dos grupos, de tal forma que la gravedad específica bulk promedio de ambos grupos sea sensiblemente igual.
- 8.2** Cada grupo debe ser sometido a un curado diferente, así:
- 8.2.1** *Grupo 1* – Las tres probetas de este grupo se curan durante 14 días en el baño de aire a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ\text{F}$) y con una humedad relativa del 50 %.
- 8.2.2** *Grupo 2* – Las probetas tres de este grupo se curan durante 7 días en el baño de aire y luego durante 7 días en el baño de agua a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ\text{F}$).

9 ENSAYO DE LAS PROBETAS

- 9.1** Terminado el período de curado, se coloca cada probeta en el centro de la placa de carga de la máquina de ensayo y se somete a compresión axial sin

soporte lateral, a una velocidad de deformación vertical constante equivalente a 1.3 mm/min (0.05"/min) por cada 25 milímetros (1") de altura de la probeta. Para las probetas normalizadas de 101.6 mm (4") de diámetro, este valor representa una velocidad de deformación de 5.08 mm/min (0.2"/min).

10 CÁLCULOS

- 10.1** Se determina la resistencia a compresión simple de cada probeta, dividiendo la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de su sección transversal, (81.1 cm² para las probetas de 101.6 mm (4") de diámetro).
- 10.2** Como para cada grupo de ensayo se emplean tres probetas por cada incremento de asfalto residual, se toma el valor medio de las tres resistencias obtenidas como resultado del ensayo a la compresión simple para ese grupo.

Nota 10: Si algún valor individual de resistencia se aparta sensiblemente de los otros dos del grupo y se considera que incluirlo en el promedio altera la tendencia natural de los resultados del ensayo, no se deberá considerar para el cálculo del promedio. Si 2 o las 3 probetas presentan valores muy heterogéneos, se deberán preparar y ensayar nuevos especímenes con el contenido correspondiente de asfalto residual.

- 10.3** Se calcula la resistencia conservada para la serie de seis especímenes evaluados para cada porcentaje de ligante residual, así:

$$\text{Resistencia conservada (\%)} = \frac{R_2}{R_1} \times 100 \quad [622.6]$$

Donde: R₁: Resistencia a compresión de los especímenes curados en seco (grupo 1);

R₂: Resistencia a compresión de los especímenes sometidos a inmersión en agua (grupo 2).

- 10.4 Representación gráfica** – Se dibujan tres curvas (Figura 622 - 1):

- 10.4.1** Una que relacione el contenido de emulsión (o de asfalto residual) de cada juego de probetas contra la resistencia a la compresión para las probetas curadas en seco (grupo 1).
- 10.4.2** Otra que relacione el contenido de emulsión (o de asfalto residual) de cada juego de probetas contra la resistencia a la compresión para las probetas sometidas a inmersión (grupo 2).

- 10.4.3** La tercera, relacionando el contenido de emulsión (o de asfalto residual) de cada juego de probetas contra la resistencia conservada.
- 10.5 Selección del contenido óptimo de emulsión** – El contenido óptimo de emulsión se determinará a partir de las tres curvas mencionadas en el numeral 10.4, tomando como referencia las resistencias mínimas a compresión y conservada que establezca la especificación aplicable al diseño.

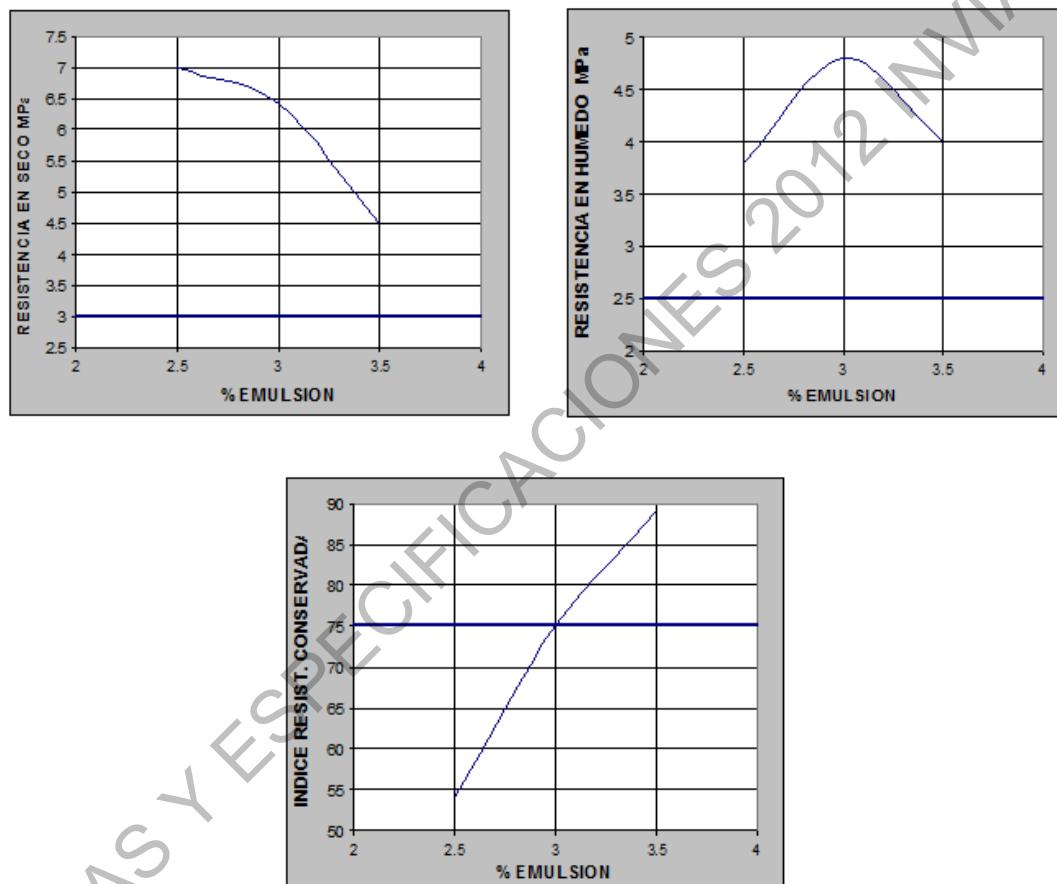


Figura 622 - 1. Curvas porcentaje de emulsión versus resistencia

11 NORMAS DE REFERENCIA

NLT-389/00