


LEMαC

Centro de Investigaciones Viales

 UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL LA PLATA

 COMISIÓN DE
INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación

Guía de Metodologías y Procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMαC

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional La Plata

CiN REUN

Red de Editoriales
de Universidades Nacionales
de la Argentina



Libro
Universitario
Argentino



Guía de Metodologías y Procedimientos para uso Vial desarrollados en el



Segunda edición

2019

Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC : edición 2019 / LEMaC- Centro de investigaciones Viales ; dirigido por Hugo Gerardo Botasso ... [et al.]. - 2a edición especial - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2019.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-27-9

1. Ingeniería vial . 2. Metodología. I. Botasso, Gerardo II. Botasso, Hugo Gerardo, dir. CDD 625

Diseño de interior y tapa: Fernando Cejas



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina

Rector: Ing. Hector Eduardo **Aiassa**

Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**

Secretaria Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Plata

Decano: Ing. Carlos **Fantini**

Vicedecano: Mag. Ing. David Darío **Barceló**



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**

Área de edición y publicación: Carlos **Busqued**

Director Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía,

Ambiente: Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley N° 11.723

© **edUTecNe, 2019**

Sarmiento 440, Piso 6

(C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina

ISBN 978-987-4998-27-9



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

The logo for LEMaC, consisting of the letters 'LEMaC' in a bold, black, sans-serif font.The text 'Centro de Investigaciones Viales' in a bold, black, sans-serif font, positioned to the right of the LEMaC logo.The logo for Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata, featuring a stylized asterisk symbol followed by the text 'UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL LA PLATA'.The logo for Comisión de Investigaciones Científicas, featuring the acronym 'CIC' in a stylized font followed by the text 'COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS' and 'Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación' below it.

Director: Dr. Ing. Hugo Gerardo BOTASSO

Subdirector: Dr. Ing. José Julián RIVERA

Responsables de Áreas

Tecnología de los pavimentos flexibles: Ing. Enrique FENSEL

Tecnología de los pavimentos rígidos y estructuras: Ing. Marcelo BARREDA

Gestión y diseño vial: Dr. Ing. Julián RIVERA

Investigadores LEMaC

Dr. Ing. BOTASSO, Gerardo
Dr. Ing. RIVERA, Julián
Ing. BARREDA, Marcelo
Ing. BRIZUELA, Luciano
Ing. GIACCIO, Enrique
Arq. DAS NEVES, Gustavo
Dr. Ing. DELBONO, Luis
Ing. FENSEL, Enrique
Ing. REBOLLO, Oscar
Ing. MECHURA, Verónica
Dra. Ing. LOPEZ, Anahí
Dra. Ing. SOSA, Eva
Dra. LAJOINE, Florencia

Plantel Técnico

Sr. BATTISTA, Nicolás
Srta. PORRO, Anael
Sr. OVIEDO, Adrián

Prólogo

La presente guía fue presentada en su Primera Edición (año 2016), como un compendio de aquellas metodologías y procedimientos que se han ido desarrollando en el LEMaC en los últimos años, que fueran volcados en publicaciones técnicas (libros, cuadernos, revistas indexadas, memorias de congresos, material didáctico de cursos, seminarios y jornadas, o procedimientos de su Manual de Calidad). Los elementos que conforman la guía surgen de las investigaciones llevadas adelante en el LEMaC y resultan en muchos casos adaptaciones de normativas vigentes a los condicionantes locales o a usos específicos alternativos, y en otros casos se constituyen en elementos complementarios a las mismas.

Estas metodologías y procedimientos se han continuado revisando y clasificando para la presente Edición 2019 de la guía, en función de los avances registrados en las áreas temáticas y de discusiones en tal sentido mantenidas en forma interna y externa con profesionales de Centros de Investigaciones Viales con los cuales se guarda relación.

Como en la pasada edición, estos elementos se ponen a disposición de la comunidad para su empleo, análisis y discusión, contemplando el adaptar y acrecentar los mismos en futuras ediciones de la guía, en función de los adelantos técnicos que se registren y de aportes que puedan efectuarse en tal sentido desde diversos ámbitos.

Para ello se pone a disposición de los interesados el teléfono de contacto +54-221-4890413, la dirección de correo electrónico lemac@frlp.utn.edu.ar, y la dirección postal de Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina.

Se deja expresado que la reproducción total o parcial de la guía es libre, con la única condición de citar su fuente de la siguiente manera:

LEMaC. "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC - Centro de Investigaciones Viales (edición 2019)", Editorial edUTecNe (ISBN 978-987-4998-27-9), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2019.

Índice

Prólogo.....	5
LEMaC-A01/06: Metodología para la determinación de contenido de ligante en mezclas asfálticas	9
LEMaC-A02/16: Elaboración en laboratorio de cemento asfáltico con inclusión de caucho molido.....	11
LEMaC-A03/13: Procedimiento acelerado de simulación de acción del tránsito sobre capas asfálticas mediante empleo de equipo de <i>WHEEL TRACKING TEST</i>	13
LEMaC-A04/12: Modificación en laboratorio de cemento asfáltico mediante emulsión de SBR.....	15
LEMaC-A05/17: Estimación de la WTS del ensayo de <i>WHEEL TRACKING TEST</i> mediante resultados del ensayo Marshall.....	19
LEMaC-A06/18: Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre pavimentos asfálticos sometidos a fresado superficial.....	21
LEMaC-A07/99: Moldeo de probetas para aplicación de método Marshall modificado santa fe en concretos asfálticos en frío	23
LEMaC-A08/18: Ensayo estático de interfases fresadas entre capas asfálticas.....	25
LEMaC-A09/18: Ensayo dinámico de interfases fresadas entre capas asfálticas	29
LEMaC-H01/11: Método para el cultivo de Mohos sobre probetas de cemento	33
LEMaC-B01/10: Método grafico para la determinación de la humedad optima y la densidad seca máxima con resultados del ensayo Proctor	37
LEMaC-B02/12: Metodología para valorar el incremento del valor soporte relativo en suelos con estabilizantes iónicos.....	39
LEMaC-B03/13: Procedimiento de moldeo para suelos tipo 1 complementario a la norma AASTOH T - 307 para el ensayo de módulo resiliente de suelos viales	41
LEMaC-B04/13: Análisis de productos paliativos de polvo en vías no pavimentadas	43
LEMaC-B05/15: Resistencia inconfiada de capas de suelo cemento que emplean suelos finos.....	47
LEMaC-B06/12: Metodología para el análisis de la incorporación de un estabilizante químico de suelos en la estabilización de tipo suelo-cal.....	49
LEMaC-B07/12: Metodología para el análisis de la incorporación de un estabilizante químico de suelos en la estabilización de tipo suelo-cemento	51
LEMaC-B08/16: Metodología para la determinación de absorción por capilaridad en estabilizaciones de suelos viales con aditivos químicos.....	53
LEMaC-G01/10: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con <i>WHEEL TRACKING TEST</i> a 60°C a flexión.....	57
LEMaC-G02/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con <i>WHEEL TRACKING TEST</i> a 25°C a corte.....	61
LEMaC-G03/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de carga cíclica por corte.....	65
LEMaC-G04/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de carga cíclica a flexión.....	69
LEMaC-G05/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de apertura y cierre de fisura	73
LEMaC-DE01/16: Metodología para determinación de aporte estructural efectivo en vías sin pavimentar mediante IWD y retrocálculo según AASHTO93	75
LEMaC-DE03/14: Metodología de corrección de lecturas de IRI en pavimentos de hormigón por el fenómeno de alabeo térmico	79
LEMaC-T01/07: Metodología para determinación del TMDA mediante conteos esporádicos.....	81
LEMaC-T02/04: Tabla de coeficientes horarios para extrapolación al tránsito diario en vías urbanas	85

LEMaC-A01/06: Metodología para la determinación de contenido de ligante en mezclas asfálticas

Ámbito de aplicación:

Análisis de mezclas asfálticas.

Descripción:

- La metodología se basa en la fusión de dos ensayos normalizados:
 - Determinación del contenido de asfalto en mezclas en caliente por el método de centrifuga según VN-E68-78
 - Determinación del contenido de asfalto de mezclas preparadas en caliente por el método "Abson" según VN-E17-87.

Metodología:

Paso 1: Tomar una muestra representativa de la mezcla asfáltica por cuarteo, disgregarla y volver a cuartear hasta obtener P_i inicial de 1000 g o mayor, hasta un peso no mayor a 1250 g, siguiendo las Normas de referencia citadas.

Paso 2: Siguiendo lo establecido por la norma VN-E68-78 colocar la muestra en el cono de recuperación centrifuga de plato. Agregar keroseno hasta que cubra totalmente a la mezcla. Colocar el filtro de papel. Colocar la tapa y luego ubicar el conjunto en la centrifuga ajustando la sobretapa.

Paso 3: Dejar en reposo un período de 25 ± 5 minutos. Centrifugar durante al menos 10 minutos. Recolectar el líquido resultante del centrifugado.

Paso 4: Agregar keroseno en la centrifuga sin destaparla y repetir el Paso 3 en dos oportunidades más.

Paso 5: Colocar el cono dentro de una bandeja para luego llevarlo a estufa a 100 °C durante 24 horas.

Paso 6: Lavar la centrifuga con una pizeta con keroseno, tratando de arrastrar los finos que puedan quedar dentro y sumar el líquido resultante al recolectado en las centrifugadas.

Paso 7: Siguiendo la norma VN-E17-87 tomar el líquido resultante y separar la fracción de finos del resto del líquido mediante el empleo de la centrifuga de vasos. Verificar que las revoluciones estén en 2500 rpm. Verificar que el tiempo de centrifugado sea de 15 minutos.

Paso 8: Colocar los vasos junto al cono de centrifugación en estufa a 100 °C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo realizar el pesaje de los agregados recuperados en el cono y vasos de la centrífuga P_2 .

Paso 9: Estimar el contenido de cemento asfáltico $\%Asf$ mediante la expresión:

$$\%Asf = (1 - P_2/P_1) * 100$$

LEMaC-A02/16: Elaboración en laboratorio de cemento asfáltico con inclusión de caucho molido

Ámbito de aplicación:

Diseño en laboratorio de cementos asfálticos tipo asfalto-caucho.

Metodología:

Paso 1: Volcado en un recipiente termostatzado en baño de aceite de 12 cm de diámetro y 17 cm de altura, de una muestra de 1000 g de cemento asfáltico base. Llevar la muestra a una temperatura de 170-180 °C a ser mantenida durante todo el procedimiento.



Recipiente termostatzado con muestra de asfalto base

Paso 2: Comenzar con la dispersión mediante un cabezal dispersor del tipo rotor-estator, de entre 5 cm y 7 cm de diámetro a una baja velocidad, colocándolo en el centro del recipiente termostatzado. El sistema dispersor se coloca de forma tal que la parte inferior del cabezal quede a una altura de 3 cm respecto del fondo del recipiente termostatzado.

Paso 3: Aditivar el peso correspondiente de caucho en forma constante desde la boca del recipiente, a una velocidad tal que la aditivación total se produzca en un plazo de entre 15 minutos y 20 minutos.

Paso 4: Elevar la velocidad de giro del rotor hasta el máximo admisible que no produzca un vórtice en la superficie. Continuar con la dispersión bajo este concepto durante 15 minutos más.



Cabezal con sistema rotor-estator.



Ubicación centrada del cabezal dispersor

Paso 5: Disminuir la velocidad del rotor a la mitad de la ejercida durante la dispersión y elevar al mismo hasta la altura previa a la formación del vórtice superficial. Mantener en esa posición durante 5 minutos, pasados los cuales se debe repetir el Paso 4.

Paso 6: Acabado el paso anterior, verter la muestra resultante a un vaso de precipitado de 2 kg y mantener en estufa a una temperatura de 140 °C durante 1 hora. Proceder a la caracterización y empleo del cemento asfáltico resultante.

LEMaC-A03/13: Procedimiento acelerado de simulación de acción del tránsito sobre capas asfálticas mediante empleo de equipo de *WHEEL TRACKING TEST*

Ámbito de aplicación:

Análisis de variación de las propiedades superficiales en mezclas asfálticas utilizadas como capas de rodamiento (microtextura, macrotextura, coeficiente de absorción sonoro, etc.).

Metodología:

Paso 1: Moldear con la mezcla asfáltica en análisis una probeta para el ensayo de 30 cm x 30 cm por el espesor correspondiente a su aplicación, siguiendo los lineamientos en tal sentido de la norma BS-EN 12697-22, verificando que la densidad alcanzada sea representativa. Señalar sobre la superficie la dirección de compactación obtenida con el equipo de *Roller Compact* utilizado a tal fin.

Paso 2: Efectuar las mediciones iniciales de los parámetros superficiales en estudio en el tercio central de la probeta en el sentido de compactación señalado.

Paso 3: Someter la probeta a la simulación de la sollicitación de tránsito acelerada empleando el dispositivo de *Wheel Tracking Test*. Para ello proceder a acondicionar la probeta a 60 °C durante un plazo de 2 horas. Luego realizar el paso de la rueda de 5 cm de ancho durante 2 horas en el centro de la probeta, en el sentido de compactación señalado. Realizar el paso de la rueda durante 2 horas cada vez desplazando la misma a los 5 cm contiguos a ambos lados de la franja de 5 cm resultante de la primera pasada, para de ese modo obtener un ancho total de banda sollicitado de 15 cm, con 10 cm centrales libres de efectos de borde. Todas las sollicitaciones se realizan a 60 °C.

Paso 4: Efectuar las mediciones finales de los parámetros superficiales en estudio en el tercio central de la probeta en el sentido de compactación señalado y realizar el análisis comparativo correspondiente. Referenciar los resultados a este procedimiento de sollicitación acelerada.

LEMaC-A04/12: Modificación en laboratorio de cemento asfáltico mediante emulsión de SBR

Ámbito de aplicación:

Diseño en laboratorio de cementos asfálticos modificados con SBR.

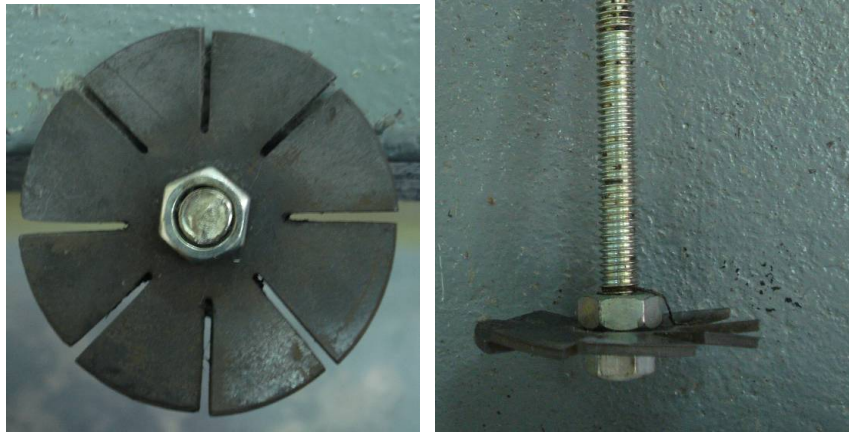
Metodología:

Paso 1: Volcado en el recipiente termostatzado en baño de aceite de 12 cm de diámetro y 17 cm de altura, de una muestra de 1000 g de cemento asfáltico base. Llevar la muestra a una temperatura de 170 °C a ser mantenida durante todo el procedimiento.



Recipiente termostatzado con muestra de asfalto base

Paso 2: Comenzar con la agitación mediante el agitador de paleta de 5 cm de diámetro, a una velocidad de 300 RPM, o la máxima que pueda aplicarse sin generar la formación de un vórtice. La paleta se coloca en el centro del recipiente. El conjunto se coloca para que la paleta quede a una altura de 3 cm respecto del fondo del recipiente termostatzado.



Paleta de agitación



Colocación del agitador al centro del recipiente



Conjunto de agitación durante el proceso de modificación

Paso 3: Aditivar el peso correspondiente de la emulsión de SBR en forma constante desde la boca del recipiente, a una velocidad tal que la espuma que se forme no se vuelque del mismo y de que la aditivación total se produzca en un plazo de entre 10 minutos y 15 minutos.



Aditivación de la emulsión de SBR

Paso 4: Continuar con la agitación hasta cumplir 1 hora de la misma.

Paso 5: Verter la muestra resultante a un vaso de precipitado de 2 kg y mantener en estufa a una temperatura de 140 °C durante un plazo de 1 hora. Proceder a la caracterización y empleo del cemento asfáltico modificado resultante.

LEMaC-A05/17: Estimación de la WTS del ensayo de WHEEL TRACKING TEST mediante resultados del ensayo Marshall

Ámbito de aplicación:

Diseño expeditivo de concretos asfálticos en caliente densos, con asfalto convencional.

Metodología:

Paso 1: Moldeo de acuerdo con la normativa vigente de un juego de tres probetas Marshall para cada formulación en análisis.

Paso 2: Ensayo Marshall del juego de probetas mediante un equipo automatizado que permita obtener de manera continua la curva carga versus deformación. En su defecto puede recurrirse a la filmación de los registros generados durante el ensayo, para luego construir la curva especificada mediante la revisión de la filmación lograda.

Paso 3: Registrar los valores correspondientes al 30% (E_{30}) y el 80 % (E_{80}) de la Estabilidad, y las deformaciones correspondientes a esos valores, D_{30} y D_{80} respectivamente.

Paso 4: Calcular la Pendiente Marshall entre el 30% y 80% de Estabilidad (PM_{30-80}) con la expresión:

$$PM_{30-80} = (E_{80} - E_{30}) / (D_{80} - D_{30}) \quad [\text{kg/mm}]$$

Paso 5: Calcular la $WTS_{estimada}$ mediante la expresión:

$$WTS_{estimada} = -0,0007 PM_{30-80} + 0,6617 \quad [\text{mm}/10^3 \text{ ciclos}]$$

LEMaC-A06/18: Cálculo de la dotación de riegos de adherencia en rehabilitaciones sobre pavimentos asfálticos sometidos a fresado superficial

Ámbito de aplicación:

Aplicación de riegos de liga de asfalto convencional, en rehabilitaciones de pavimentos asfálticos, con concretos asfálticos convencionales en caliente.

Metodología:

Paso 1: Establecer la dotación del riego de liga DR , a ser empleada en la situación de "interfase lisa" con la combinación entre concreto asfáltico de base, emulsión asfáltica para el riego de liga y concreto asfáltico de revestimiento en estudio, a partir del ensayo al corte de la interfase.

Paso 2: Calcular el coeficiente de incremento de riego CIR en el tramo homogéneo sometido a fresado superficial en obra, en función del diámetro del parche de arena DPA , resultante de aplicar el Ensayo de Parche de Arena para un volumen de arena de 40 cm^3 , mediante la ecuación:

$$CIR = 2,014 \cdot DPA^{-0,184}$$

Paso 3: Establecer la dotación de riego incrementada DRI , mediante la ecuación:

$$DRI = CIR \cdot DR$$

LEMaC-A07/99: Moldeo de probetas para aplicación de método Marshall modificado Santa Fe en concretos asfálticos en frío

Ámbito de aplicación:

Diseño y control de producción de concretos asfálticos en frío.

Metodología:

Paso 1: Para generar el pastón de prueba a ser analizado, se comienza con el mezclado de los áridos desde el más fino hasta el más grueso.

Paso 2: Agregar el agua de prehumectación. Como una referencia empírica considerar que el contenido total de humedad adecuado (propia de los áridos, más de prehumectación, más la incorporada por la emulsión) podría ubicarse en el 7 %.

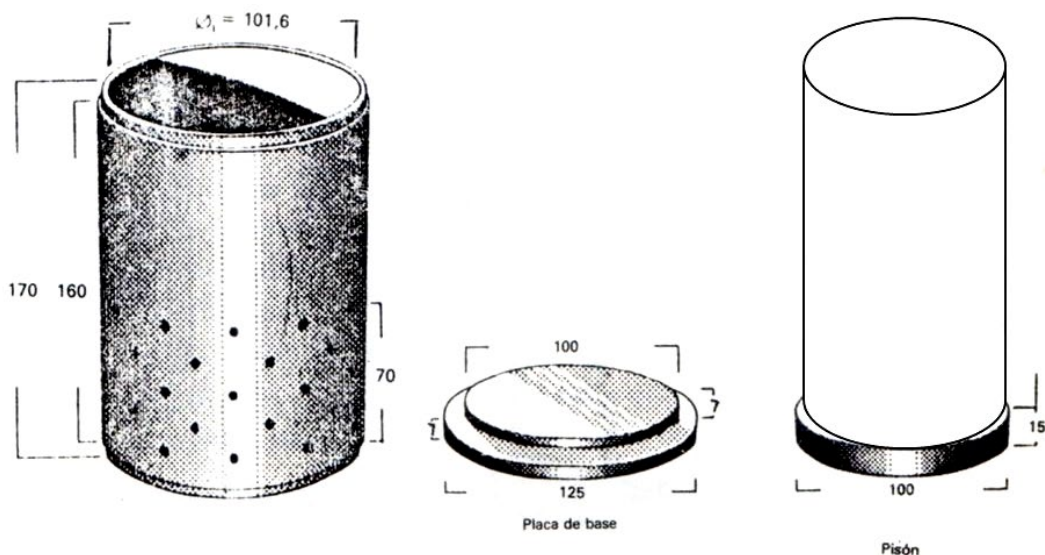
Paso 3: Agregar el contenido de emulsión en estudio, mezclar en bandeja cerrada y volcar en bandeja abierta para generar la pérdida de humedad. Para controlar el momento adecuado para comenzar el moldeo de manera empírica, apoyar la palma de una mano sobre la superficie de la mezcla y frotar con la otra mano. La rotura inicial de la emulsión recién se logra cuando en la mano quedan marcados pequeños puntos de asfalto.

Paso 4: Colocar en el conjunto de base y molde de la figura, la cantidad de mezcla asfáltica necesaria para lograr una probeta de 6,35 cm compactada. Acomodar mediante varillado con una varilla de diámetro 8 mm. Previo al volcado de la mezcla en el molde y posterior a su varillado, colocar sendos discos de papel embebidos en vaselina para evitar la adherencia al molde.

Paso 5: Compactar con pisón ciego cilíndrico la muestra, en prensa estática, hasta un rechazo de 12 tn. Mantener el rechazo durante 1 minuto, quitar el conjunto de la prensa y desmoldar.

Paso 6: Colocar a curado a las probetas moldeadas en estufa a 60 °C durante 24 horas y posteriormente analizarlas de acuerdo a la metodología Marshall convencional.

Nota: En el molde se practican perforaciones laterales cónicas de 1 mm de diámetro interior y 2 mm de diámetro exterior, distribuidas simétricamente en 5 hileras de doce orificios cada una.



LEMaC-A08/18: Ensayo estático de interfaces fresadas entre capas asfálticas

Metodología:

Moldeo de las probetas dobles a ensayarse

Paso 1: Se calan testigos de 100 mm de diámetro de la capa asfáltica existente a ser reforzada luego de haber sido fresada superficialmente. Se los aserra con hoja diamantada de una altura de 5 cm, cuidando dejar la cara inferior y superior paralelas y perpendiculares a los bordes. Se los lava y seca al aire durante 24 horas.

Paso 2: Se aplica la dotación de riego de liga en estudio, si la hubiera, y se deja una hora de reposo en estufa a 60 °C, para que se produzca el corte y curado de la emulsión. Se deja enfriar la probeta a temperatura de laboratorio durante al menos otra hora.

Paso 3: Se introduce la probeta con la cara tratada hacia arriba, sobre una base, en un molde cilíndrico de 101 mm de diámetro interno y altura mínima de 130 mm.

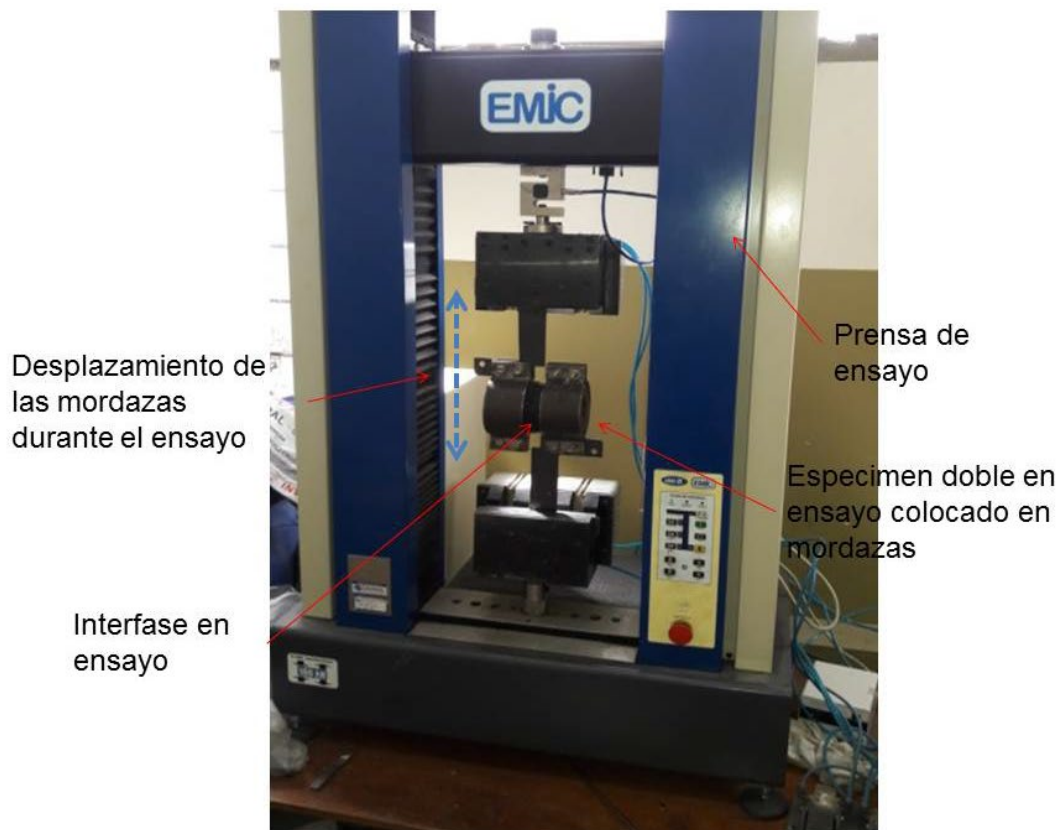
Paso 4: Se acondiciona el conjunto de base, molde y probeta en estufa a la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica de revestimiento a ser aplicada, durante 15 minutos.

Paso 5: Se introduce en el molde mezcla asfáltica en caliente en la cantidad necesaria para lograr una capa de revestimiento compactada de 50 mm de espesor. Se acomoda la mezcla con una cuchara y se coloca un papel de filtro en la parte superior. Se compacta con 100 golpes del pisón Marshall en su cara superior. Terminada la compactación se deja enfriar en agua por un lapso de 4 minutos y se desmolda.

Paso 6: Se deja secar y enfriar la probeta obtenida a temperatura ambiente.

Ensayo de las probetas dobles

El ensayo solicita al corte directo por desplazamiento en forma paralela a la interfase del riego de liga en la dirección del ensayo de tracción de la prensa empleada.



Desplazamiento de las mordazas durante el ensayo

Prensa de ensayo

Especimen doble en ensayo colocado en mordazas

Interfase en ensayo

Prensa de ensayo

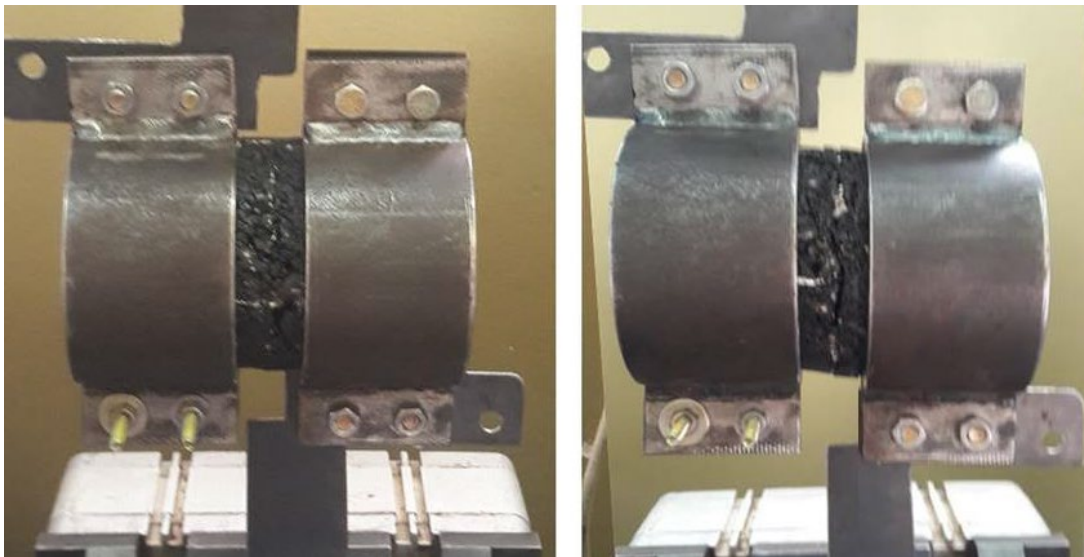
El esfuerzo cortante se produce el plano a evaluar, mediante una prensa capaz de ejercer el desplazamiento en el sentido de tracción en su dirección vertical. Ese desplazamiento se realiza a una velocidad de avance controlada de 1,27 mm/min.

La temperatura de ensayo es de 20°C, mantenida mediante sistemas de acondicionamiento, tanto de las probetas como del ambiente de ensayo. Se establece un plazo mínimo de acondicionamiento a esa temperatura de 4 horas.



Recinto de acondicionamiento

Dado que para permitir el desarrollo de la interfase fresada se separan los zunchos que toman la parte superior e inferior de la probeta doble unos 30 mm. Esto genera que, además de la deformación propia registrada en la interfase durante el ensayo, se tenga una deformación relacionada con ambas partes de la probeta en este sector. Esa deformación lleva físicamente también a que, además del esfuerzo de corte, se produzca una componente normal de tracción en la interfase, razón por la cual deberían obtenerse resistencias al corte menores que las obtenibles con el ensayo de *SBT*. Por esto los resultados de desplazamiento al corte *TD* y de esfuerzo máximo al corte *S_{max}* que se registren sólo son comparables en forma relativa entre sí, y no con los especificados u obtenibles con otras metodologías de ensayo.



Deformación en la zona central de la probeta doble durante el ensayo

LEMaC-A09/18: Ensayo dinámico de interfaces fresadas entre capas asfálticas

Metodología:

Moldeo de las probetas dobles a ensayarse

Paso 1: Se recortan panes de 29,5 cm de lado de la capa asfáltica existente a ser reforzada luego de haber sido fresada superficialmente. Se los aserra con hoja diamantada de una altura de 5 cm, cuidando dejar la cara inferior y superior paralelas y perpendiculares a los bordes. Se los lava y seca al aire durante 24 horas.

Paso 2: Se introduce la probeta con la cara tratada hacia arriba, en un molde de 30 cm x 30 cm y altura de 100 mm.



Bases para las probetas fresadas

Paso 3: Se aplica las dotaciones de riego de liga en estudio a razón de una dotación cada semiprobeta de 15 cm x 30 cm de lado, si las hubiera, y se deja una hora de reposo en estufa a 60 °C, para que se produzca el corte y curado de la emulsión. Se deja enfriar la probeta a temperatura de laboratorio durante al menos otra hora.

Paso 4: Se acondiciona el conjunto de base, molde y probeta en estufa a la temperatura de compactación de la mezcla asfáltica de revestimiento a ser aplicada, durante 15 minutos.

Paso 5: Se introduce en el molde mezcla asfáltica en caliente en la cantidad necesaria para lograr una capa de revestimiento compactada de 50 mm de espesor. Se acomoda la mezcla con una cuchara. Se compacta con el equipo de *Roller Compact* hasta lograr la densidad prefijada. Terminada la compactación se deja enfriar al aire durante 24 horas y se desmolda.



Probetas dobles moldeadas

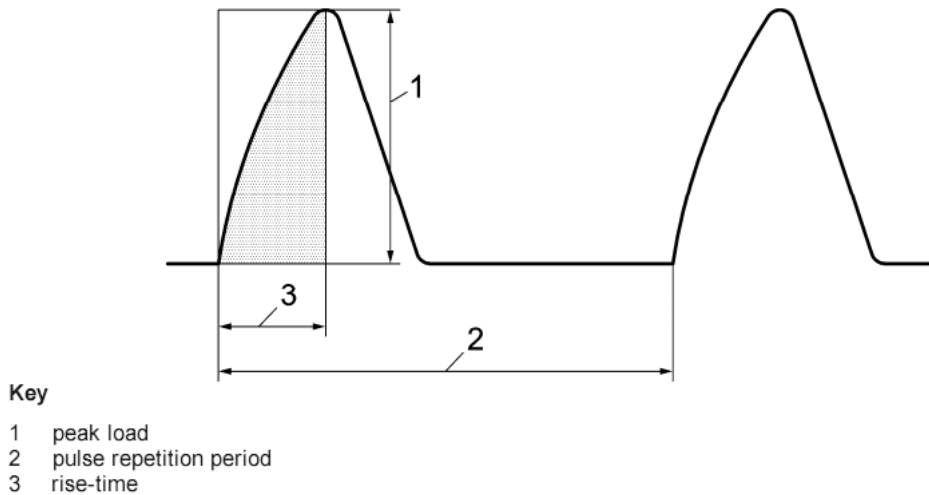
Paso 6: Se aserran con hoja diamantada las probetas dobles cúbicas de 10 cm de lado a ser ensayadas.



Probetas cúbicas aserradas

Ensayo de las probetas dobles

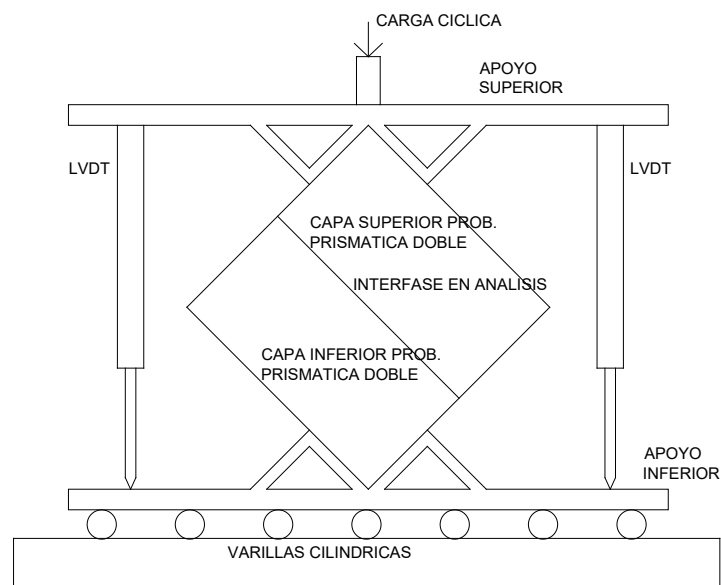
Se realiza con un equipo que pueda otorgar una dada cantidad de ciclos de carga de 500 kg por segundo, de acuerdo a la gráfica de solicitación que se observa en la figura.



Ciclo de carga para el ensayo a fatiga

La frecuencia de ensayo es de 1 Hz, imponiendo el periodo de carga (rise-time) de 250 mseg.

El esquema del sistema de ensayo se observa en la figura, con los surcos del fresado dispuestos en dirección al plano de deslizamiento a generarse durante el ensayo.



Esquema del ensayo

Las probetas son ensayadas de acuerdo al procedimiento descrito, luego de ser acondicionadas al menos durante 4 horas a una temperatura de ensayo de 20 °C. En la imagen de la izquierda se ve una probeta dentro de la cámara de acondicionamiento y en la de la derecha el equipo completo (que incluye el regulador neumático de carga, la adquisidora de datos y la computadora con el programa de regulación del ensayo).



Imágenes durante el ensayo de una probeta cúbica

El ensayo se realiza para 100.000 ciclos, informándose el desplazamiento registrado a los 50.000 ciclos y 100.000 ciclos. También se informa la Pendiente de la Curva de Desplazamiento (*PCD*) que se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PCD = (D_{100} - D_{50}) / 50$$

Donde:

PCD = pendiente de la curva de desplazamiento [mm/10³ ciclos]

*D*₁₀₀ = desplazamiento a los 100.000 ciclos de carga [mm]

*D*₅₀ = desplazamiento a los 50.000 ciclos de carga [mm]

LEMaC-H01/11: Método para el cultivo de mohos sobre probetas de cemento

Ámbito de aplicación:

Morteros de cemento y otros tipos de mezclas empleados en obras viales.

Descripción:

El método se adaptó de Wiktor et al¹ para cultivar mohos sobre morteros de cementos, y puede ser aplicado a otros tipos de mezclas. Este ensayo busca evaluar la susceptibilidad del material al crecimiento del hongo *Aspergillus niger*.

Materiales necesarios:

Se debe disponer de una cepa previamente aislada para replicar la cantidad de cultivos que sean necesarios y los elementos para preparar las mezclas. Se necesitan disponer cultivos en tubo de ensayo previamente aislados del moho (en este caso, *A. niger*), recipientes, elementos de vidrio (Erlenmeyers, pipetas), ansa para bacteriología y agua destilada estéril, además de la cámara de cultivo para incubar los hongos.

Metodología:

Paso 1: Para la preparación de las probetas, armar los moldes de acrílico sobre las bases de 11 x 12 cm de modo que resulten tres separaciones de 6,5 x 2,5 x 1 cm. Rociar con lubricante en aerosol (tipo WD40) para facilitar el desmolde. Dosificar las muestras que se deseen ensayar y una muestra patrón.

Paso 2: Al día siguiente desmoldar, curar las probetas en cámara húmeda durante 28 días y dejar luego una semana en la cámara de carbonatación.

Paso 3: Para la inoculación e incubación de las probetas, esterilizar las probetas y vermiculita mediante el proceso de tindalizado: los materiales se dejan una hora en la autoclave con la espita abierta. Este proceso se repite durante 3 días. Así se asegura la eliminación de todos los microorganismos sin someter al material a la presión.

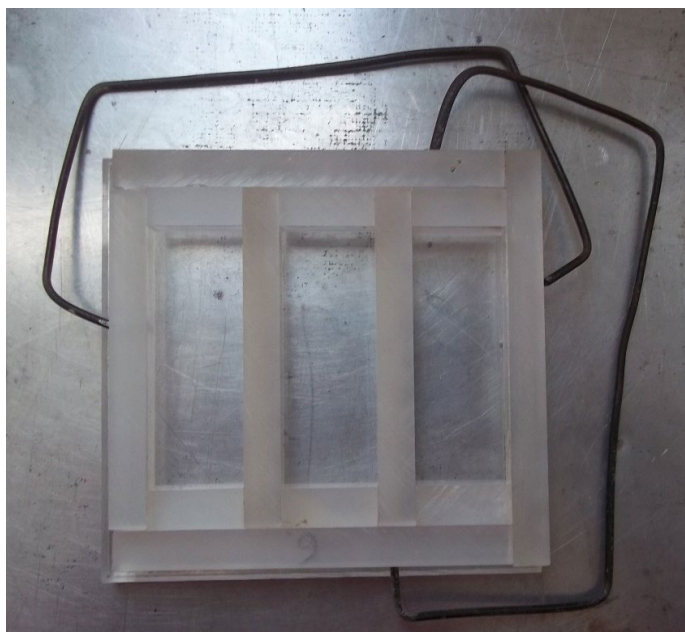
Paso 4: Disponer las probetas en frascos de plástico estériles de 500 ml de capacidad: primero se coloca la vermiculita en la base y se riega con 30 ml de agua destilada estéril. Luego se cubre la vermiculita con un filtro estéril de 10 cm de diámetro y se ubican las probetas (dos por cada frasco).

¹ Wiktor V., De Leo F., Urzú C., Guyonnet R., Grosseau Ph., García-Díaz E. 2009, Accelerated test to study fungal biodeterioration of cementitious matrix. *International Biodeterioration and Biodegradation* 63: 1061-1065

Paso 5: Volcar agua destilada estéril sobre los cultivos de *A. niger* y raspar la superficie con un ansa estéril (pasar por la llama de un mechero y enfriar) para obtener una suspensión de esporas

Paso 6: Con una pipeta estéril (previamente autoclavada), rociar 1 ml de la solución de esporas sobre la superficie de los bloques.

Paso 7: Una vez preparados los cultivos, incubar durante 4 meses en la cámara de cultivos, a una temperatura de entre 24 y 28° C.



Molde para las probetas



Probetas moldeadas



Frascos con las probetas colocados en la cámara de cultivo

LEMaC-B01/10: Método gráfico para la determinación de la humedad óptima y la densidad seca máxima con resultados del ensayo Proctor

Ámbito de aplicación:

Suelos viales y estabilizados para bases y subbases.

Metodología:

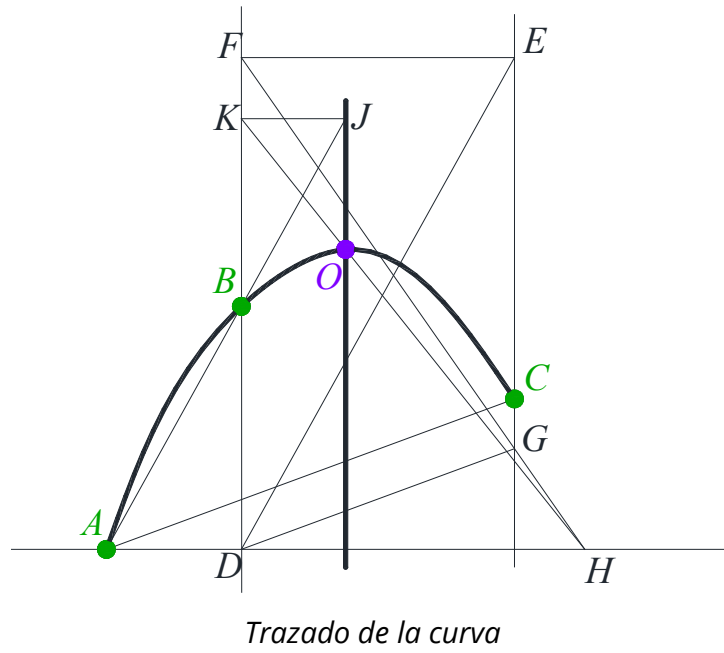
Paso 1: Tomar 3 de los 5 puntos determinados en el ensayo de compactación Proctor, realizado según la normativa de aplicación en la jurisdicción. Dichos puntos serán aquellos que presenten los mayores valores de densidad seca y que no pertenezcan a la misma rama. Estos puntos se denominarán como *A*, *B* y *C* respectivamente.

Paso 2: Se traza una horizontal que pase por *A*, una vertical que pase por *B* y otra vertical que pase por *C*. El punto de intersección entre la vertical que pasa por *B* y la horizontal que pasa por *A* se denomina punto *D*.

Paso 3: Se traza una paralela a *AB* que pase por *D* y se obtiene el punto *E*, que será la intersección de esta última línea y la vertical que pasa por *C*. Se dibuja una horizontal por *E* y se obtiene *F* como la intersección entre dicha línea y la vertical que pasa por *B*. Se traza una paralela a *AC* que pase por el punto *D* y se obtiene el punto *G* como la intersección de dicha paralela con la vertical que pasa por *C*.

Paso 4: Se obtiene el punto *H* como la intersección de la horizontal que pasa por *A* y la línea que une los puntos *F* y *G*. Se traza una vertical que pase por el punto medio del segmento *AH*, constituyéndose en el eje de la parábola. El punto *J* se determina extendiendo el segmento *AB* hasta el eje de la parábola. Trazando una horizontal que pase por *J* e intersecte a la vertical que pasa por *B* se determina el punto *K*.

Paso 5: El punto de intersección del eje de la parábola con la línea *KH* se denominará *O*. Este punto establece la ubicación de la Humedad Óptima y la Densidad Seca Máxima. Para trazar la curva de compactación se utilizarán únicamente los puntos obtenidos en el ensayo de compactación más el punto *O*, dividiendo este último la rama seca de la rama húmeda.



LEMaC-B02/12: Metodología para valorar el incremento del valor soporte relativo en suelos con estabilizantes iónicos

Ámbito de aplicación:

Bases y subbases tratadas con estabilizantes iónicos.

Metodología:

Paso 1: Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo a ser tratada.

Paso 2: Aditivación del estabilizante iónico disuelto en agua al suelo a partir de una humedad cercana a la óptima (determinada en forma visual), obteniéndose una mezcla con una humedad un par de puntos por encima de la misma. La mezcla se mantiene en esta humedad durante 24 horas en recipiente hermético.

Paso 3: Provocar la pérdida de humedad de la muestra aditivada durante 48 horas al aire en ambiente de laboratorio.

Paso 4: Realización del Ensayo Proctor sobre la muestra de suelo-solo y la muestra de suelo aditivado siguiendo la normativa que aplique en la jurisdicción.

Paso 5: Aditivación de una nueva muestra de suelo, según la metodología ya expuesta, para realización del Ensayo de Valor Soporte Relativo de acuerdo a la normativa que aplique en la jurisdicción. Simultáneamente se lleva la muestra de suelo-solo a la Humedad Óptima correspondiente. Este paso de aditivación se puede comenzar antes de obtener los resultados del Ensayo Proctor, para economizar en el plazo de tareas de laboratorio.

Paso 6: Ambas muestras se dejan homogeneizar durante 24 horas en recipientes herméticos. Luego la muestra aditivada se deja 4 días al aire en ambiente de laboratorio, con rehidratación hasta la Humedad Óptima pasados los primeros 2 días y al finalizar el ciclo, dejándola finalmente 24 horas en esa condición dentro de una bolsa, para homogenización de la humedad. La muestra de suelo-solo se mantiene en el recipiente hermético durante este periodo.

Paso 7: Seguidamente se moldean simultáneamente las respectivas probetas de Valor Soporte Relativo, se embeben durante 96 horas y se ensayan según lo especificado por norma para el posterior análisis comparativo de resultados.

LEMaC-B03/13: Procedimiento de moldeo para suelos Tipo 1 complementario a la norma AASTOH T - 307 para el ensayo de módulo resiliente de suelos viales

Ámbito de aplicación:

Muestras de sub-base, base y subrasante (sin tratar) que tengan menos del 70 % pasante del Tamiz N°10, menos del 20 % pasante del Tamiz N°200 y un Índice de Plasticidad de 10 o inferior.

Metodología:

Paso 1: Humectación de la muestra de suelo a ser compactada hasta la Humedad de campo en estudio o hasta la Humedad Óptima obtenida por el Ensayo Proctor correspondiente ante la carencia de la primera o en caso de materiales de aporte.

Paso 2: Armado y envasinado del molde partido de hierro de fundición de diámetro de 152 mm y longitud de 304 mm sobre su base.

Paso 3: Colocación del sobremolde especial encastrando en el molde.

Paso 4: Compactación de la probeta mediante el empleo de un martillo vibratorio, sobre una placa adaptada a las dimensiones del molde hasta la Densidad Seca en campo o la Densidad Seca Máxima determinada con el Ensayo Proctor, según corresponda.

Paso 5: Dicho moldeo se realiza en seis capas de igual espesor aplicando el “principio de subcompactación” con el objetivo de lograr una densidad uniforme. Este principio establece que, considerando que las capas iniciales recibirán mayor compactación al compactarse las capas finales, a la primera capa se la deberá compactar al 95 % de la densidad buscada, ya que a medida que se realicen las siguientes capas se alcanzará el 100 %. Esto se aplica a las capas sucesivas, las cuales serán compactadas a un 96 %, 97 %, 98 %, 99 % y 100 % de la densidad buscada.

Paso 6: Desmolde por apertura del molde.

Paso 7: Colocación de la membrana de látex, habiendo sido enrollada en su extremo superior, haciéndola desenrollar a medida que se cubre la probeta.



Probeta



Sobremolde

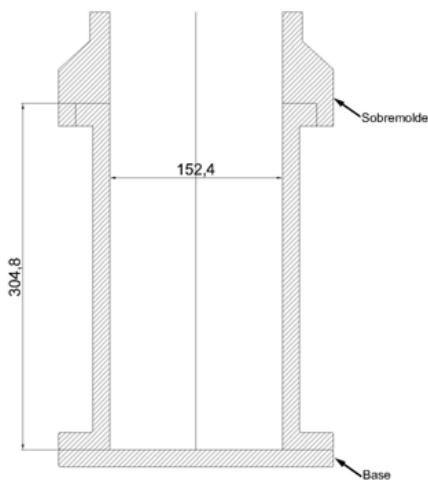


Pisón

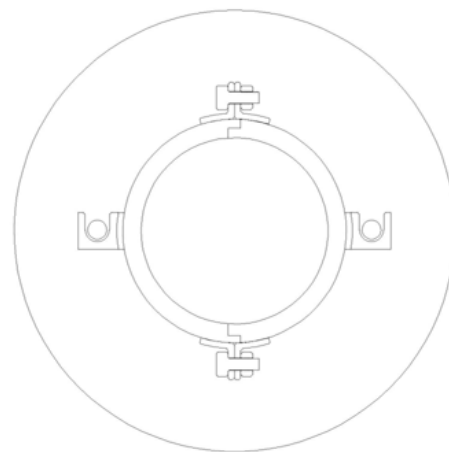


Molde Base

Elementos para la compactación del suelo Tipo 1



CORTE TRANSVERSAL



VISTA SUPERIOR

Molde de compactación suelo Tipo 1

LEMaC-B04/13: Análisis de productos paliativos de polvo en vías no pavimentadas

Ámbito de aplicación:

Vías no pavimentadas.

Equipamiento

Se trata de una adaptación del equipo desarrollado por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería del Cuerpo de Ingenieros de la Marina Estadounidense¹. El equipo consiste en una cámara de viento sellada para evitar la salida del polvo durante el ensayo y dividida en dos compartimentos. En uno de dichos compartimentos se encuentra el equipo generador del flujo de aire que alcanza 240 km/h, se trata básicamente de un soplador/aspirador de hojas de los que comúnmente se encuentran en el mercado. En este caso en particular el equipo es de marca Black&Decker de 1.500 W.

En el otro compartimento se ubica la probeta a ser ensayada, para lo cual se la coloca debajo de una boquilla metálica de apertura rectangular de 16,1 cm de ancho y 2,5 cm de alto. Un conducto de retorno permite la circulación del aire desde la cámara de ensayo hacia el ventilador eléctrico para equilibrar la presión.

La corriente de aire se aplica a 2,5 cm de altura sobre la probeta y en un ángulo de 20° con respecto a la horizontal. En la foto superior puede observarse una vista parcial del equipo, ubicándose a la derecha el compartimento que contiene al equipo soplador y a la izquierda la cámara donde se coloca la probeta a ser ensayada, en cuya parte superior se alcanza a ver el embudo por el cual se vierte la arena durante el ensayo. En la foto inferior izquierda se puede observar el ángulo de acción entre la boquilla y la probeta ubicada en su posición de ensayo y la caja donde cae la arena vertida para ser arrastrada libremente hacia la boquilla por el flujo de aire. Finalmente en la foto inferior derecha se observa un detalle de la boquilla durante el proceso de fabricación del equipo.

1. RUSHING John F.; TINGLE, Jeb S. "Dust Control Field Handbook, Standard Practices for Mitigating Dust on Helipads, Lines of Communication, Airfields, and Base Camps". US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Geotechnical and Structures Laboratory, 2006.



Equipo de ensayo

Los moldes metálicos utilizados para la confección de las probetas poseen 15,5 cm de diámetro interno y 3,6 cm de espesor.

Metodología:

Paso 1: El suelo a ensayarse es compactado estáticamente dentro de los moldes metálicos en su Humedad Óptima, mediante una prensa de compresión hasta lograr una densidad prefijada del 95% de su Densidad Seca Máxima, ambos parámetros establecidos mediante el correspondiente ensayo Proctor.

Paso 2: Se moldean de esta forma juegos de 3 probetas patrón y 3 probetas tratadas con cada dosis y tipo de paliativo de polvo en análisis, dejándoselas en su molde a temperatura ambiente hasta peso constante, para luego poder ser ensayadas.



Probeta recién moldeada

Paso 3: Se pesan las probetas previo a la realización de los ensayos.

Paso 4: Se acciona el equipo y se incorpora al flujo de aire 600 g de arena sílicea seleccionada en un lapso de 2 minutos \pm 5 segundos. La arena utilizada pasa por el Tamiz N°20 (abertura 840 μ m) y queda retenida en el Tamiz N°30 (abertura 590 μ m).

Paso 5: Se limpia con pincel la probeta y se toma su peso final, determinando la pérdida proporcional de peso generada.

Paso 6: Una vez ensayada la totalidad de las probetas, se promedian los resultados obtenidos en cada juego y se comparan entre sí para la toma de decisión correspondiente.

LEMaC-B05/15: Resistencia inconfiada de capas de suelo cemento que emplean suelos finos

Ámbito de aplicación:

Diseño y control del mezclado en obra de capas de suelo cemento constituidas por suelos finos que pasan el Tamiz N°4. Este procedimiento se encuentra adaptado a los lineamientos principales de la Norma ASTM D-1633.

Equipamiento:

- Juego de molde, sobremolde y pistones que cumplen con las características que se observan en el esquema, pudiéndose optar indistintamente para el tipo de suelo analizado por dos opciones (A/B) respecto a sus dimensiones.
- Prensa para carga estática de hasta 10 tn, con velocidad de avance de 5,08 cm/minuto.

Metodología:

Paso 1: En caso de tratarse del diseño de la capa, en donde se busca establecer el contenido óptimo de cemento, se acondiciona la muestra de suelo fino a ser empleado como pasante en su totalidad del Tamiz N°4 y se prepara la mezcla de suelo fino más el contenido de cemento a ser analizado, con la humedad establecida por el Ensayo Proctor correspondiente, procediendo inmediatamente al moldeo de las probetas para establecer su resistencia a compresión inconfiada. En caso de tratarse de un control de mezclado en obra, se acondiciona la muestra disgregándola hasta lograr que la totalidad pase el Tamiz N°4 y se la humecta en caso de presentar una humedad menor que la óptima establecida mediante el Ensayo Proctor correspondiente. En cualquiera de los casos no se admitirá al momento de comenzar el moldeo de las probetas que haya pasado un periodo mayor a las 2 horas desde el primer contacto del suelo con el cemento, ni de más de 4 horas al momento de finalizar por completo el moldeo del juego de probetas. El juego de probetas a analizarse está constituido por tres probetas.

Paso 2: Se coloca el collar roscado excediendo 13 mm de la parte inferior del molde. Se monta el molde sobre el pistón inferior y su sobremolde, procediéndose al envaselino del conjunto. Luego se coloca el mismo sobre una balanza de hasta 10 kg, con precisión de al menos ± 1 g.

Paso 3: Se vierte 1/3 del material necesario para alcanzar la Densidad Seca Máxima compactada de la probeta, a partir de la humedad de la muestra y el volumen final de la misma, que resulta de 200 cm³ en el caso de las dimensiones A y de 562 cm³ en el caso de las dimensiones B. Se distribuye el material mediante 25 golpes con una varilla de punta roma de 10 mm de diámetro. Se procede de igual forma a distribuir en

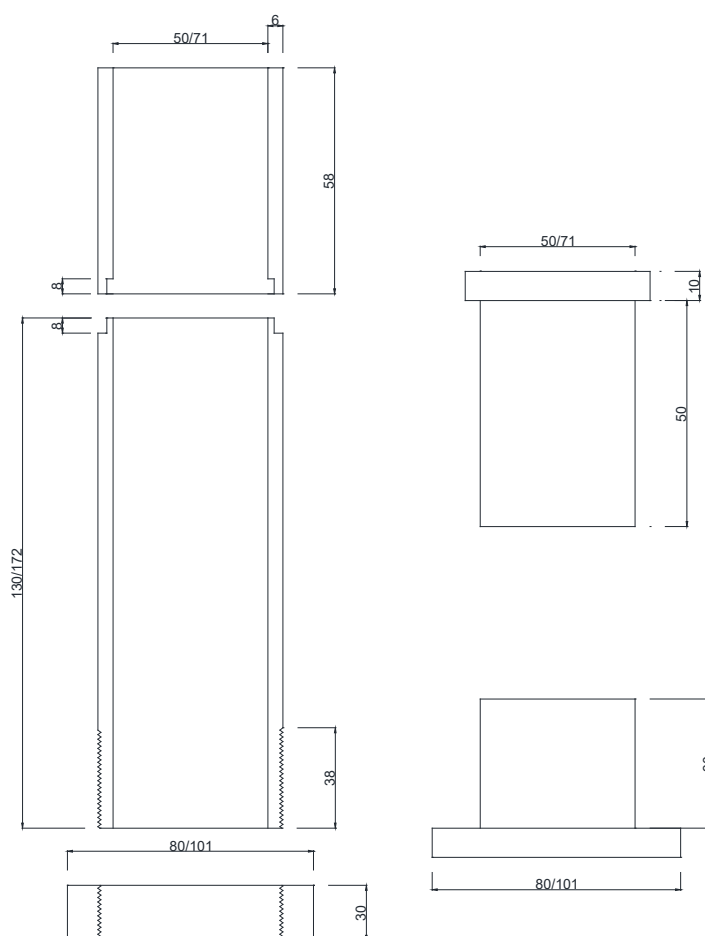
dos pasos los 2/3 de material restante. Se coloca el pistón superior y se enrosca sobre el molde el collar inferior, dejando libre la luz a ser recorrida por el pistón inferior.

Paso 4: Se coloca el conjunto completo de molde, sobremolde y pistones en la prensa y se carga en forma estática hasta lograr el contacto de ambos pistones con los bordes del molde. Se mantiene la carga durante 1 minuto para permitir la homogenización en la distribución de la misma.

Paso 5: Se desmolda la probeta con desmoldador hidráulico y se la introduce en una bolsa plástica individual estanca, para aguardar el período de curado de 7 días. Se repite el procedimiento para las otras dos probetas que componen el juego.

Paso 6: Previo al ensayo de las probetas se las sumerge totalmente en agua a temperatura de laboratorio por el término de 1 hora.

Paso 7: Se ensayan las probetas a compresión, empleando para ello una prensa provista de calota en una de sus caras, quedando fija en la otra. El ensayo se realiza a una velocidad de avance de 1 mm/minuto. Por tratarse de probetas de esbeltez 2,0 no se corrigen los resultados por este efecto. Se promedian los tres resultados de cada juego y se informan.



Esquema fuera de escala

LEMaC-B06/12: Metodología para el análisis de la incorporación de un estabilizante químico de suelos en la estabilización de tipo suelo-cal

Ámbito de aplicación:

Estabilizaciones de suelo en donde se aporta un aditivo químico en forma conjunta con cal sobre suelos naturales finos (clasificación A-4 a A-7 según HRB), para conformar estabilizados del tipo suelo-cal.

Metodología:

Paso 1: Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo original.

Paso 2: Aditivación del suelo a partir del suelo-solo con la Humedad Optima establecida de manera visual, incorporando el producto en disolución en agua, obteniendo una mezcla con una Humedad un par de puntos por encima de su Humedad Optima. La mezcla se deja 24 horas en bolsa.

Paso 3: Se provoca la pérdida de Humedad de la muestra aditivada durante 48 horas al aire en ambiente de laboratorio.

Paso 4: Rehumectación de la muestra de suelo aditivada hasta un par de puntos por encima de la Humedad Optima e incorporación del contenido de cal establecido, manteniendo la humedad en bolsa durante 24 horas.

Paso 5: Realización del Ensayo Proctor sobre la muestra aditivada y Clasificación HRB.

Paso 6: Preparación de una nueva muestra para el ensayo de Resistencia a Compresión Inconfinada, según la metodología de aditivación expuesta desde del Paso 1. Este paso se puede comenzar antes de obtener los resultados del Ensayo Proctor, para economizar en el plazo de tiempo de las tareas de laboratorio.

Paso 7: Moldeo de un juego de 3 probetas de Resistencia a Compresión Inconfinada de acuerdo al procedimiento LEMaC-B05/15, curado y ensayo.

LEMaC-B07/12: Metodología para el análisis de la incorporación de un estabilizante químico de suelos en la estabilización de tipo suelo-cemento

Ámbito de aplicación:

Estabilizaciones de suelo en donde se aporta un aditivo químico en forma conjunta con cemento sobre suelos naturales finos (clasificación A-4 a A-7 según HRB), para conformar estabilizados del tipo suelo-cemento.

Metodología:

Paso 1: Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo original.

Paso 2: Aditivación del suelo a partir del suelo-solo con el aditivo químico en disolución en agua y el cemento, obteniendo mezclas separadas con distintos grados de Humedad respecto de su Humedad Optima previsible.

Paso 3: Realización del Ensayo Proctor correspondiente con estas mezclas no superando el plazo de las 2 horas desde la incorporación del cemento a la misma.

Paso 4: Preparación de una nueva muestra para el ensayo de Resistencia a Compresión Inconfinada, según la metodología expuesta para el punto óptimo establecido.

Paso 5: Moldeo de un juego de 3 probetas de Resistencia a Compresión Inconfinada de acuerdo al procedimiento LEMaC-B05/15, curado y ensayo.

LEMaC-B08/16: Metodología para la determinación de absorción por capilaridad en estabilizaciones de suelos viales con aditivos químicos

Ámbito de aplicación:

Bases y subbases tratadas con estabilizantes iónicos.

Metodología:

Paso 1: Separación de la fracción que pasa el Tamiz N° 4 de la muestra de suelo a ser tratada.

Paso 2: Incorporación del aditivo químico disuelto en agua al suelo a partir de una humedad cercana a la óptima (determinada en forma visual), obteniéndose una mezcla con una humedad un par de puntos por encima de la misma. La mezcla se mantiene en esta humedad durante 24 horas en recipiente hermético.

Paso 3: Provocar la pérdida de humedad de la muestra aditivada durante 48 horas al aire en ambiente de laboratorio.

Paso 4: Realización del Ensayo Proctor sobre la muestra de suelo-solo y la muestra de suelo aditivado siguiendo la normativa que aplique en la jurisdicción.

Paso 5: Aditivación de una nueva muestra de suelo, según la metodología ya expuesta, para realización del Ensayo de Absorción por Capilaridad de acuerdo a la normativa que aplique en la jurisdicción. Simultáneamente se lleva la muestra de suelo-solo a la Humedad Óptima correspondiente. Este paso de aditivación se puede comenzar antes de obtener los resultados del Ensayo Proctor, para economizar en el plazo de tareas de laboratorio.

Paso 6: Ambas muestras se dejan homogeneizar durante 24 horas en recipientes herméticos. Luego la muestra aditivada se deja 4 días al aire en ambiente de laboratorio, con rehidratación hasta la Humedad Óptima pasados los primeros 2 días y al finalizar el ciclo, dejándola finalmente 24 horas en esa condición dentro de una bolsa, para homogenización de la humedad. La muestra de suelo-solo se mantiene en el recipiente hermético durante este periodo.

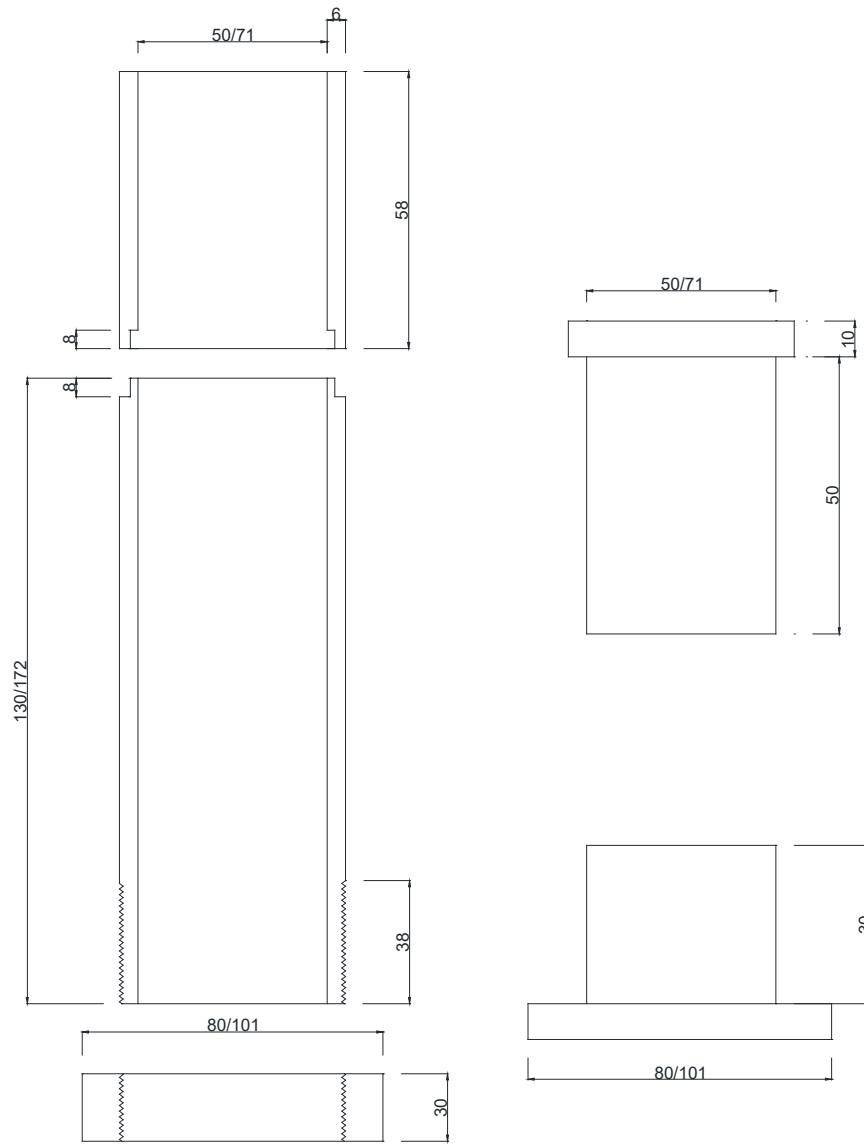
Paso 7: El juego de probetas a analizarse está constituido por tres probetas para suelo-solo y tres probetas de suelo aditivado, moldeadas con el molde del esquema. Se coloca el collar roscado excediendo 13 mm de la parte inferior del molde. Se monta el molde sobre el pistón inferior y su sobremolde, procediéndose al envasado del conjunto. Luego se coloca el mismo sobre una balanza de hasta 10 kg, con precisión de al menos ± 1 g.

Paso 8: Se vierte 1/3 del material necesario para alcanzar la Densidad Seca Máxima compactada de la probeta, a partir de la humedad de la muestra y el volumen final de la misma, que resulta de 200 cm³ en el caso de las dimensiones A y de 562 cm³ en el caso de las dimensiones B. Se distribuye el material mediante 25 golpes con una varilla de punta roma de 10 mm de diámetro. Se procede de igual forma a distribuir en dos pasos los 2/3 de material restante. Se coloca el pistón superior y se enrosca sobre el molde el collar inferior, dejando libre la luz a ser recorrida por el pistón inferior.

Paso 9: Se coloca el conjunto completo de molde, sobremolde y pistones en la prensa y se carga en forma estática hasta lograr el contacto de ambos pistones con los bordes del molde. Se mantiene la carga durante 1 minuto para permitir la homogenización en la distribución de la misma. Se desmolda la probeta con desmoldador hidráulico.

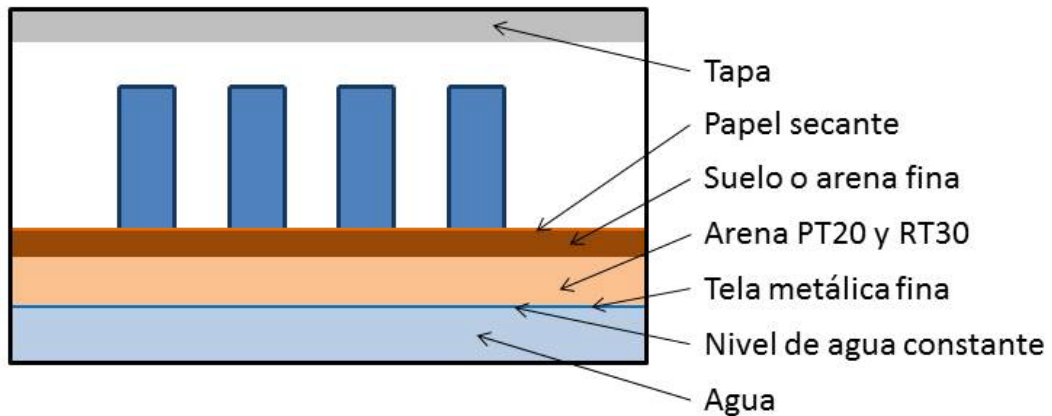
Paso 10: Se colocan las probetas a 60 °C hasta peso constante para su curado. Se dejan enfriar las probetas a temperatura ambiente y luego se las coloca en un folio impermeable ajustado a las dimensiones de la probeta cubriendo su contorno lateral y cara superior. Se pesan y se colocan en el gabinete de absorción capilar del esquema, con su parte inferior apoyando en la superficie húmeda del mismo, con una separación respecto de las demás probetas y de los bordes del gabinete de al menos un diámetro de las probetas. Luego de siete días, el aumento de peso calculado en por ciento con respecto al peso seco de la probeta se registra como valor de absorción.

Paso 11: La absorción de la mezcla estabilizada debe ser valorada por comparación con la absorción de la mezcla sin estabilizar.



Esquema fuera de escala

Gabinete de absorción capilar: Consiste en una cabina con bandeja, donde a unos 5 cm de su fondo, se coloca una tela metálica fina que permite el paso de la humedad; encima de ella una capa de arena que pase el Tamiz N°20 y sea retenida por el Tamiz N°30. A continuación se aplica una capa de suelo o arena muy fina cubierta por una hoja de papel secante. A todo el conjunto se lo mantiene permanentemente húmedo mediante un sistema de nivel constante de agua.



Esquema fuera de escala

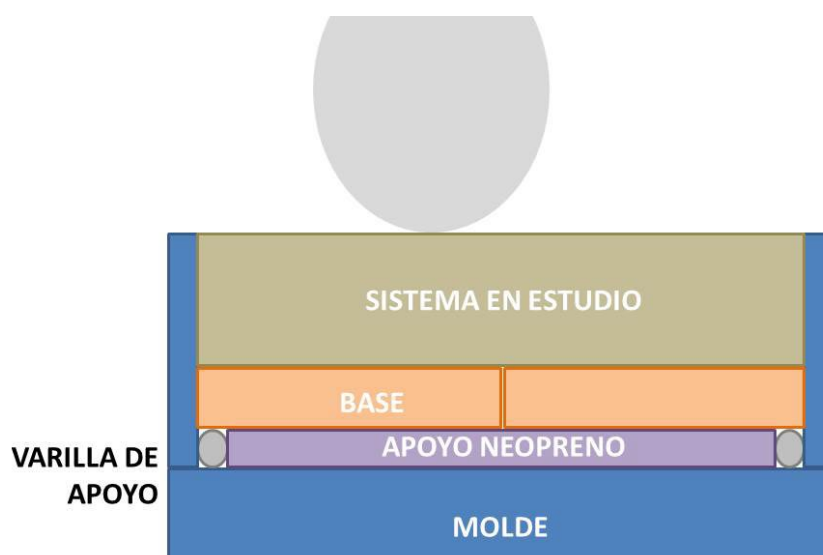
LEMaC-G01/10: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con *WHEEL TRACKING TEST* a 60°C a flexión

Ámbito de aplicación:

Diseño de sistemas de refuerzo antirreflejo de fisuras en pavimentos.

Modelo:

- La carga dinámica simula las condiciones de tránsito aplicada a través de una rueda de características normalizadas, de acuerdo a la Norma de *Wheel Tracking Test* UNE-EN 12697-22 modificada mediante lo aquí especificado (WTTmod)
- Frecuencia de movimiento de 26,5 ciclos por minuto
- Temperatura de ensayo a 60 °C
- Carga de la rueda de 700 Newton
- Se evalúa el tiempo en que tarda en reflejarse sobre la superficie la fisura generada en la base inferior
- El sistema de apoyo es del tipo simplemente apoyada sobre dos cilindros metálicos más base elástica
- Cuando se tiene una base asfáltica, a la misma se le practica un corte de altura 2/3 de su espesor en todo su ancho en el centro de su longitud, para inducir una fisura central. En caso de tener una base de hormigón, se utilizan dos losas premoldeadas dejando un huelgo entre ambas de 1 cm para representar una junta.



Sistema de ensayo

Metodología:

Paso 1: Moldear tres probetas prismáticas de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño sin la incorporación de geosintéticos (probetas A,B,C), a una Densidad que permita lograr las condiciones de aprobación para la colocación en campo establecidas en la jurisdicción correspondiente al análisis. Utilizar como sistema de apoyo, apoyos móviles consistentes en varillas lisas de acero perpendiculares al sentido de ensayo en ambos extremos y un elemento de neopreno como apoyo elástico continuo intermedio. De acuerdo al grado de movilidad que quiera darse al ensayo para reproducir de mejor manera las condiciones imperantes en el caso en estudio, utilizar varillas de diámetro 8, 16 o 25 mm con espesores del elemento de neopreno acordes. El ensayo WTTmod se realiza con las probetas con contención mediante el molde metálico en tres de sus bordes y dejando el lado restante libre (cara descubierta) hacia el frente de ensayo.

Paso 2: En cada una de estas probetas (A,B,C) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ni} . Promediar el N_{ni} de todas las muestras determinando el N_n . Para facilitar la observación de la propagación de la fisura se recomienda pintar la cara descubierta de la probeta con cal.

Paso 3: Ensayar tres probetas prismáticas de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño con la incorporación de geosintéticos (D,E,F), mediante el ensayo de WTTmod con apoyos móviles (el sistema de apoyos deberá ser el mismo adoptado según lo descrito en el Paso 1).

Paso 4: Para cada una de estas probetas (D,E,F) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ri} . Promediar el N_{ri} de todas las muestras determinando el N_r .

Paso 5: Determinar el Factor de Efectividad del Geosintético (FEF_{WTT60}), propuesto por Koerner en su libro "*Design with Geosynthetics*", mediante la expresión:

$$FEF_{WTT60} = N_r / N_n$$



Realización del ensayo

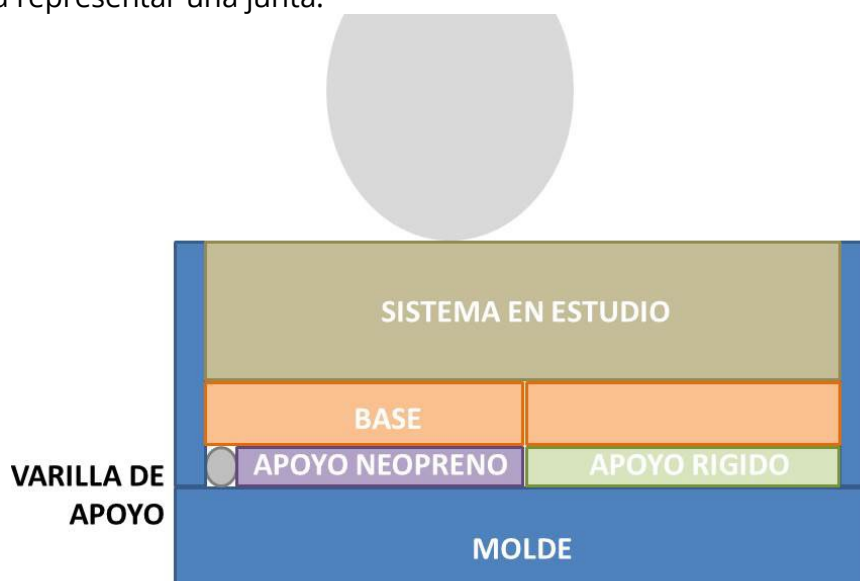
LEMaC-G02/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con *WHEEL TRACKING TEST* a 25°C a corte

Ámbito de aplicación:

Diseño de sistemas de refuerzo antirreflejo de fisuras en pavimentos.

Modelo:

- La carga dinámica simula las condiciones de tránsito aplicada a través de una rueda de características normalizadas, de acuerdo a la Norma de *Wheel Tracking Test* UNE-EN 12697-22 modificada mediante lo aquí especificado (WTTmod)
- Frecuencia de movimiento de 26,5 ciclos por minuto
- Temperatura de ensayo a 25 °C
- Carga de la rueda de 700 Newton
- Se evalúa el tiempo en que tarda en reflejarse sobre la superficie la fisura generada en la base inferior
- El sistema de apoyo se materializa haciendo que en un extremo de la fisura generada se coloque un apoyo rígido, mientras que del otro extremo se coloca un apoyo flexible, la probeta apoya en sus extremos sobre dos cilindros metálicos
- Cuando se adopta una base asfáltica, a la misma se le practica un corte de altura 2/3 de su espesor en todo su ancho en el centro de su longitud, para inducir una fisura central para una base asfáltica. En caso de adoptar una base de hormigón, se utilizan dos losas pre-moldeadas dejando un hueco entre ambas de 1 cm para representar una junta.



Sistema de apoyo

Metodología:

Paso 1: Moldear tres probetas prismáticas de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño sin la incorporación de geosintéticos (probetas A,B,C), a una Densidad que permita lograr las condiciones de aprobación para la colocación en campo establecidas en la jurisdicción correspondiente al análisis. Utilizar como sistema de apoyo el observado en el esquema. De acuerdo al grado de movilidad que quiera darse al ensayo para reproducir de mejor manera las condiciones imperantes en el caso en estudio, utilizar varilla de diámetro 8, 16 o 25 mm con espesor del elemento de neopreno y del apoyo rígido acordes. El ensayo WTTmod se realiza contando las probetas con contención mediante el molde metálico en tres de sus bordes y dejando el lado restante libre (cara descubierta) hacia el frente de ensayo.

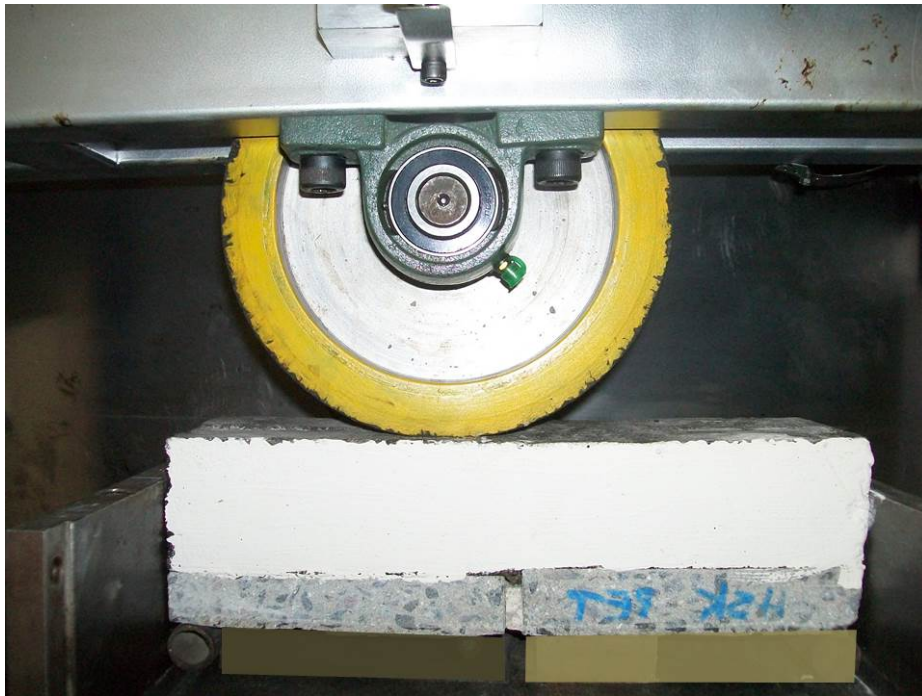
Paso 2: En cada una de estas probetas (A,B,C) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ni} . Promediar el N_{ni} de todas las muestras determinando el N_n . Para facilitar la observación de la propagación de la fisura se recomienda pintar la cara descubierta de la probeta con cal.

Paso 3: Ensayar tres probetas prismáticas de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño con la incorporación de geosintéticos (D,E,F), mediante el ensayo de WTTmod con apoyos móviles (el sistema de apoyos deberá ser el mismo adoptado según lo descrito en el Paso 1).

Paso 4: Para cada una de estas probetas (D,E,F) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ri} . Promediar el N_{ri} de todas las muestras determinando el N_r .

Paso 5: Determinar el Factor de Efectividad del Geosintético (FEF_{WTT60}), propuesto por Koerner en su libro "*Design with Geosynthetics*", mediante la expresión:

$$FEF_{WTT60} = N_r / N_n$$



Realización del ensayo

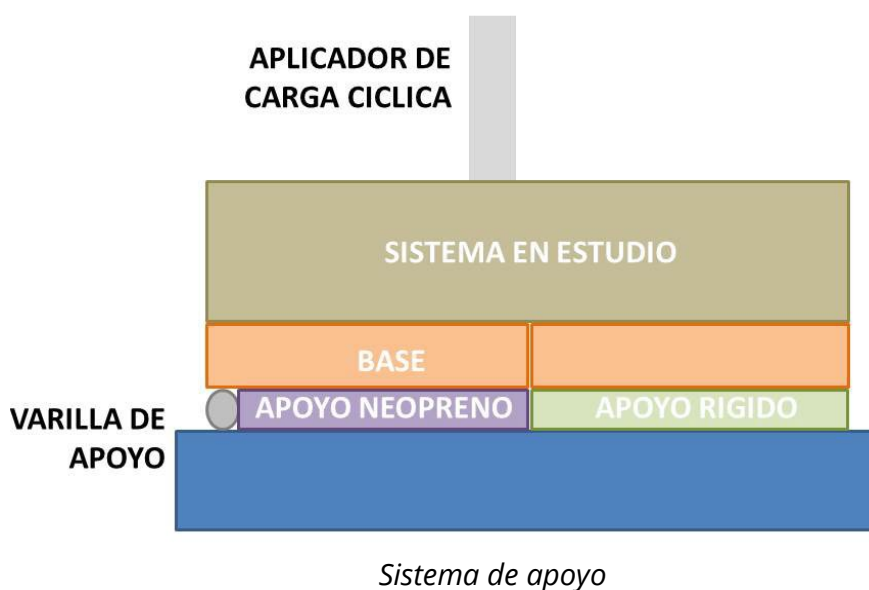
LEMaC-G03/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de carga cíclica por corte

Ámbito de aplicación:

Diseño de sistemas de refuerzo antirreflejo de fisuras en pavimentos.

Modelo:

- La carga dinámica simula las condiciones de tránsito aplicada a través de un actuador neumático
- Frecuencia de carga 0,5 o 1,0 Hz
- Temperatura de ensayo a 25 °C o 60 °C
- Carga de 400 Kg aplicada de manera de generar corte
- Se evalúa el tiempo en que tarda en reflejarse la fisura, generada en la base inferior, sobre la superficie
- El sistema de apoyo posee en un extremo de la fisura generada un apoyo rígido, mientras que en el otro extremo se coloca un apoyo flexible
- Cuando se adopta una base asfáltica, a la misma se le practica un corte de altura 2/3 de su espesor en todo su ancho en el centro de su longitud, para inducir una fisura central para una base asfáltica. En caso de adoptar una base de hormigón, se utilizan dos losas pre moldeadas dejando un huelgo entre ambas de 1 cm para representar una junta.



Metodología:

Paso 1: Moldear una probeta prismática de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño sin la incorporación de geosintéticos, a una Densidad que permita lograr las condiciones de aprobación para la colocación en campo establecidas en la jurisdicción correspondiente al análisis. Aserrar la probeta para obtener tres elementos iguales de 30 cm x 10 cm (probetas A,B,C). Utilizar como sistema de apoyo el observado en el esquema. De acuerdo al grado de movilidad que quiera darse al ensayo para reproducir de mejor manera las condiciones imperantes en el caso en estudio en particular, utilizar varilla de diámetro 8, 16 o 25 mm con espesor del elemento de neopreno y del apoyo rígido acordes. Realizar el ensayo de carga cíclica, consistente en la acción de una celda de carga ejercida sobre la probeta mediante un elemento rígido de 20 mm de ancho aplicado en todo su ancho, apoyando 5 mm hacia el borde externo respecto de la prolongación del borde interno del apoyo elástico de neopreno.

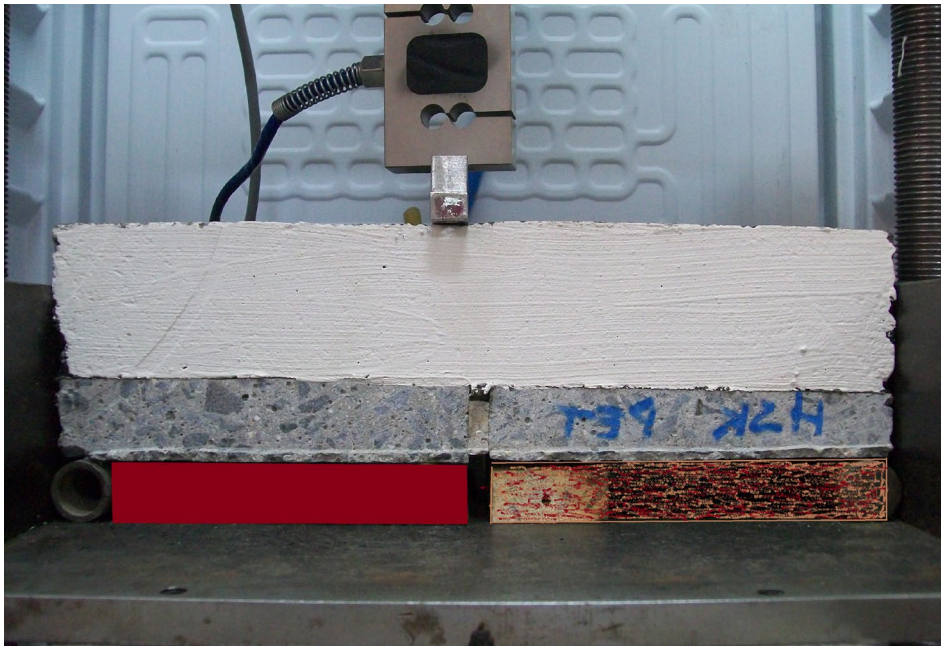
Paso 2: En cada una de estas probetas (A,B,C) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ni} . Promediar el N_{ni} de todas las muestras determinando el N_n . Para facilitar la observación de la propagación de la fisura se recomienda pintar la cara descubierta de la probeta con cal.

Paso 3: Ensayar tres probetas prismáticas de 30 cm x 10 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño con la incorporación de geosintéticos (D,E,F), mediante el ensayo de carga cíclica con apoyos móviles (el sistema de moldeo y de apoyos deberán ser los mismos adoptados según lo descrito en el Paso 1).

Paso 4: Para cada una de estas probetas (D,E,F) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ri} . Promediar el N_{ri} de todas las muestras determinando el N_r .

Paso 5: Determinar el Factor de Efectividad del Geosintético (FEF_{WTT60}), propuesto por Koerner en su libro "*Desing with Geosynthetics*", mediante la expresión:

$$FEF_{WTT60} = N_r / N_n$$



Realización del ensayo

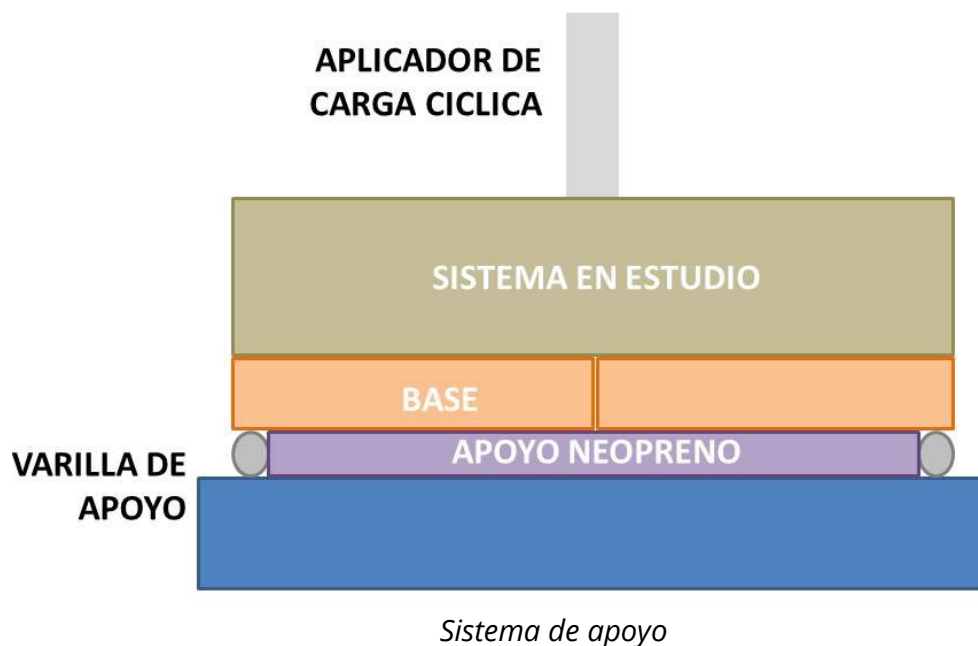
LEMaC-G04/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de carga cíclica a flexión

Ámbito de aplicación:

Diseño de sistemas de refuerzo antirreflejo de fisuras en pavimentos.

Modelo:

- La carga dinámica simula las condiciones de tránsito aplicada a través de un actuador neumático
- Frecuencia de carga 0,5 o 1,0 Hz
- Temperatura de ensayo a 25 °C o 60 °C
- Carga aplicada en correspondencia con la fisura generada de 500 Kg
- Se evalúa el tiempo en que tarda en reflejarse la fisura, generada en la base inferior, sobre la superficie
- El sistema de apoyo es del tipo flexible con varillas rígidas en sus extremos
- Cuando se adopta una base asfáltica, a la misma se le practica un corte de altura 2/3 de su espesor en todo su ancho en el centro de su longitud, para inducir una fisura central para una base asfáltica. En caso de adoptar una base de hormigón, se utilizan dos losas pre moldeadas dejando un hueco entre ambas de 1 cm para representar una junta.



Metodología:

Paso 1: Moldear una probeta prismática de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño sin la incorporación de geosintéticos, a una Densidad que permita lograr las condiciones de aprobación para la colocación en campo establecidas en la jurisdicción correspondiente al análisis. Aserrar la probeta para obtener tres elementos iguales de 30 cm x 10 cm (probetas A,B,C). Utilizar como sistema de apoyo el observado en el esquema. De acuerdo al grado de movilidad que quiera darse al ensayo para reproducir de mejor manera las condiciones imperantes en el caso en estudio, utilizar varillas de diámetro 8, 16 o 25 mm con espesor del elemento de neopreno acorde. Realizar el ensayo de carga cíclica, consistente en la acción de una celda de carga ejercida sobre la probeta mediante un elemento rígido de 20 mm de ancho aplicado en todo su ancho, apoyando de manera centrada.

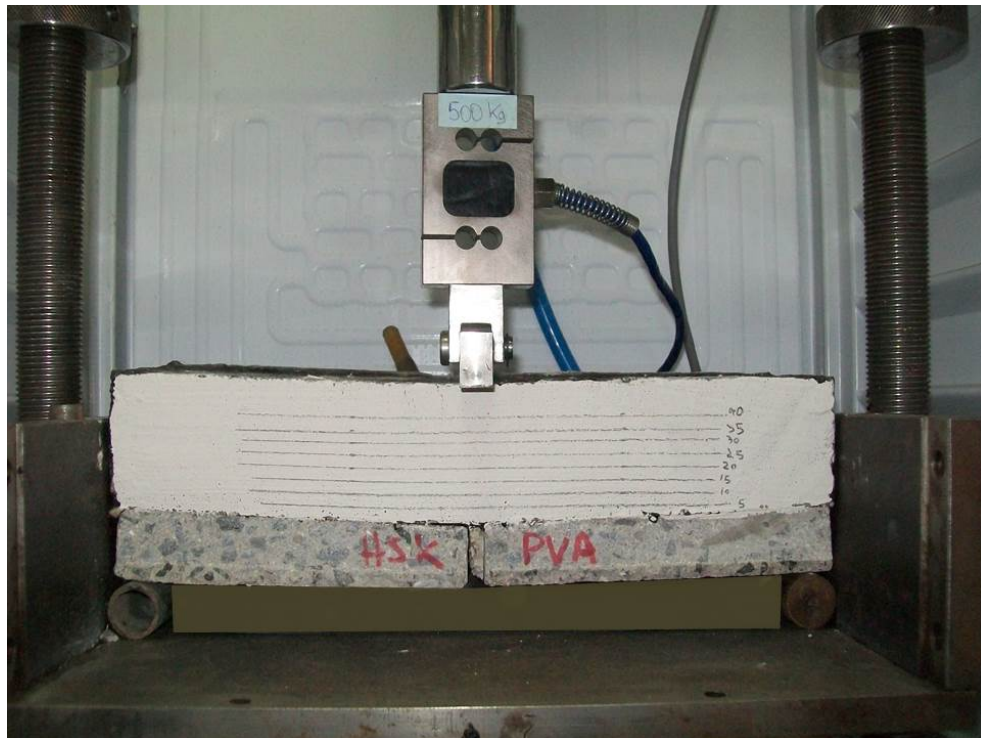
Paso 2: En cada una de estas probetas (A,B,C) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ni} . Promediar el N_{ni} de todas las muestras determinando el N_n . Para facilitar la observación de la propagación de la fisura se recomienda pintar la cara descubierta de la probeta con cal.

Paso 3: Ensayar tres probetas prismáticas de 30 cm x 10 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño con la incorporación de geosintéticos (D,E,F), mediante el ensayo de carga cíclica con apoyos móviles (el sistema de moldeo y de apoyos deberán ser los mismos adoptados según lo descrito en el Paso 1).

Paso 4: Para cada una de estas probetas (D,E,F) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ri} . Promediar el N_{ri} de todas las muestras determinando el N_r .

Paso 5: Determinar el Factor de Efectividad del Geosintético (FEF_{WTT60}), propuesto por Koerner en su libro "*Design with Geosynthetics*", mediante la expresión:

$$FEF_{WTT60} = N_r / N_n$$



Realización del ensayo

LEMaC-G05/14: Determinación del factor de eficiencia de geosintéticos mediante el modelo de reflejo de fisuras con equipo de apertura y cierre de fisura

Ámbito de aplicación:

Diseño de sistemas de refuerzo antirreflejo de fisuras en pavimentos.

Modelo:

- Se emplea un modelo de carga mediante equipo de apertura y cierre de fisura que impone un desplazamiento horizontal cíclico de entre 2 mm y 3 mm, que simula las variaciones térmicas sufridas por el pavimento
- Temperatura de ensayo a 25 °C
- Se evalúa el tiempo en que tarda en reflejarse la fisura, generada en la base inferior, sobre la superficie
- Cuando se adopta una base asfáltica, a la misma se le practica un corte de altura 2/3 de su espesor en todo su ancho en el centro de su longitud, para inducir una fisura central para una base asfáltica. En caso de adoptar una base de hormigón, se utilizan dos losas pre moldeadas dejando un huelgo entre ambas de 1 cm para representar una junta.



Sistema de ensayo

Metodología:

Paso 1: Moldear una probeta prismática de 30 cm x 30 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño sin la incorporación de geosintéticos, a una Densidad que permita lograr las condiciones de aprobación para la colocación en campo establecidas en la jurisdicción correspondiente al análisis. Aserrar la probeta para obtener tres elementos iguales de 30 cm x 10 cm (probetas A,B,C). Utilizar como sistema de apoyo y ensayo el observado en el esquema.

Paso 2: En cada una de estas probetas (A,B,C) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar

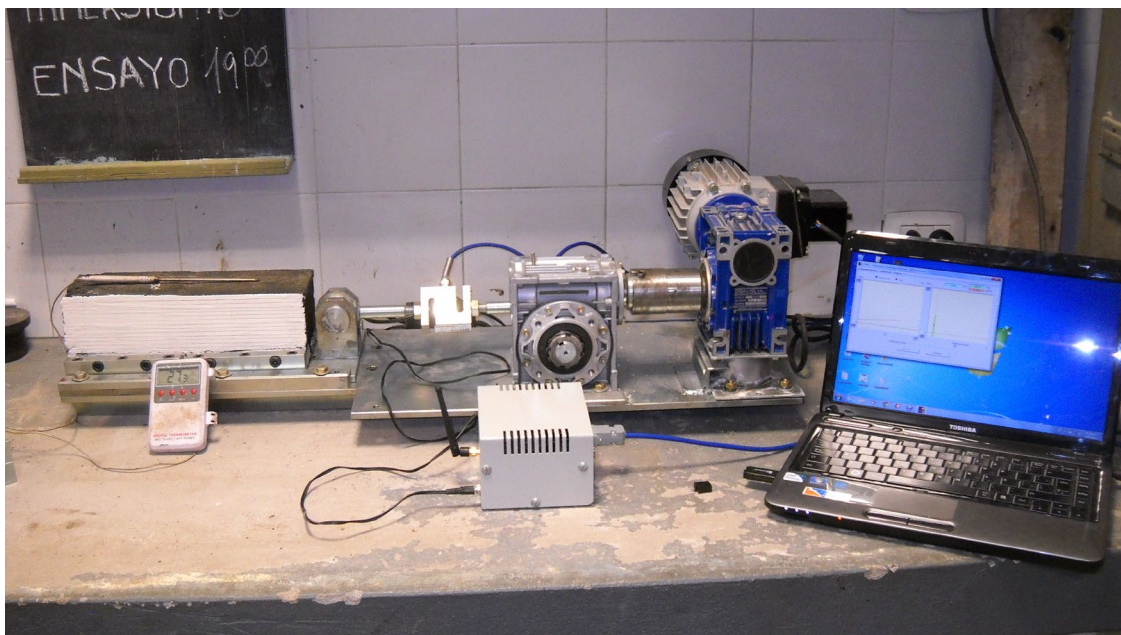
este valor como N_{ni} . Promediar el N_{ni} de todas las muestras determinando el N_n . Para facilitar la observación de la propagación de la fisura se recomienda pintar la cara descubierta de la probeta con cal.

Paso 3: Ensayar tres probetas prismáticas de 30 cm x 10 cm x el espesor que resulte del paquete estructural reforzado de diseño con la incorporación de geosintéticos (D,E,F), mediante el ensayo descrito en el Paso 1.

Paso 4: Para cada una de estas probetas (D,E,F) medir el avance de la fisura en altura en función de la cantidad de ciclos de carga. Determinar la cantidad de ciclos necesarios para que la fisura llegue a la superficie superior del refuerzo, determinar este valor como N_{ri} . Promediar el N_{ri} de todas las muestras determinando el N_r .

Paso 5: Determinar el Factor de Efectividad del Geosintético (FEF_{WTT60}), propuesto por Koerner en su libro "*Design with Geosynthetics*", mediante la expresión:

$$FEF_{WTT60} = N_r / N_n$$



Realización del ensayo

LEMaC-DE01/16: Metodología para determinación de aporte estructural efectivo en vías sin pavimentar mediante LWD y retrocálculo según AASHTO93

Ámbito de aplicación:

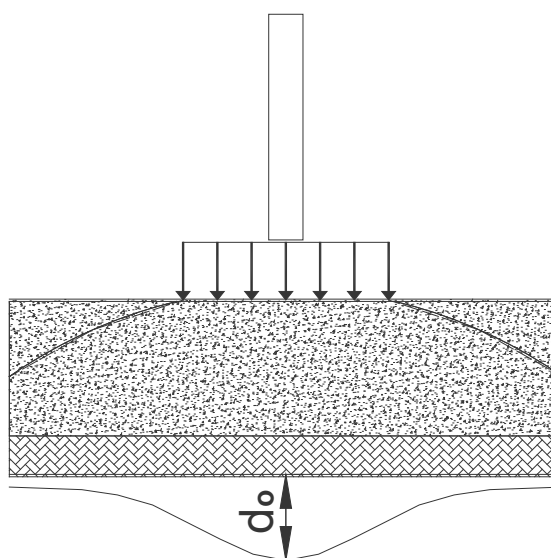
La metodología es aplicable para la determinación del número estructural efectivo (SN_{ef}) en mm en vías no pavimentadas en donde existe una capa no ligada (o conjunto de ellas) de material aportado sobre la subrasante.

Elementos:

Deflectómetro de impacto liviano (LWD, de su sigla en inglés), provisto con masas de 10 kg y/o 15 kg sin geófonos anexos.

Metodología:

Paso 1: Determinar la deflexión sobre la superficie terminada ($d_{0,LWD}$) con LWD.

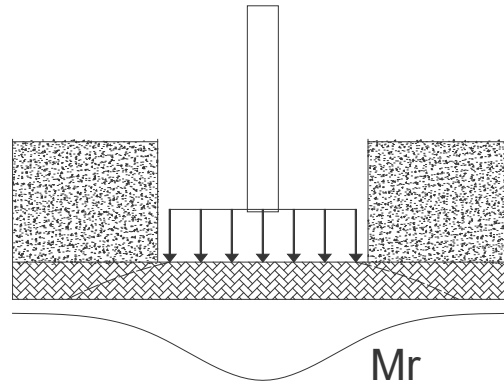


Primera deflexión

Paso 2: Excavar en una superficie de 50x50 cm hasta el nivel subrasante.

Paso 3: Determinar del espesor del paquete existente actual, desde el nivel de subrasante hasta la superficie terminada (D).

Paso 4: Determinar el módulo resiliente de la subrasante (Mr_{LWD}) con LWD.



Segunda deflexión

Paso 5: Corregir las lecturas con LWD a las obtenibles con el deflectómetro de impacto de referencia (FWD), utilizando las siguientes expresiones en función de la masa utilizada.

$$Mr_{FWD} = \alpha \cdot Mr_{LWD}$$

$$d_{0_{FWD}} = \beta \cdot d_{0_{LWD}}$$

Donde:

Mr_{FWD} = Módulo resiliente obtenible con el FWD para la subrasante

Mr_{LWD} = Módulo resiliente obtenido con el LWD para la subrasante

$d_{0_{FWD}}$ = Deflexión obtenible con el FWD sobre la base

$d_{0_{LWD}}$ = Deflexión obtenida con el LWD sobre la base

$\alpha; \beta$ = Coeficientes de correlación resultantes en función de los Mr_{LWD} y $d_{0_{FWD}}$ medidos

$$\alpha_{10} = -0,010 \cdot M_{r_{10_{LWD}}} + 0,886$$

$$\alpha_{15} = -0,017 \cdot M_{r_{15_{LWD}}} + 1,161$$

$$\beta_{10} = -3,456 \cdot \ln d_{0_{10_{LWD}}} + 2,703$$

$$\beta_{15} = -1,889 \cdot \ln d_{0_{15_{LWD}}} + 2,833$$

Se observa que la fórmula para β_{10} se emplea hasta $d_{0_{LWD10}} \leq 2,0$ y la de β_{15} para $d_{0_{LWD15}} \leq 4,0$. Además, para ambas masas las fórmulas de corrección de Mr_{LWD} se aplican en un rango de lectura de entre 15 MPa y 40 MPa.

Paso 6: Dar valor en forma iterativa al módulo combinado de las distintas capas de la estructura del paquete estructural (E_p) hasta equilibrar la siguiente ecuación.

$$d_{0_{FWD}} = 1,5 \cdot p \cdot a \left\{ \frac{1}{Mr_{FWD} \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \sqrt[3]{\frac{E_p}{Mr_{FWD}}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\}$$

Donde:

a = radio del plato de carga = 15 cm

p = presión del contacto del semieje de referencia (40 KN) = 1,13 MPa

Paso 7: Efectuar el cálculo del SN_{ef} mediante la siguiente expresión.

$$SN_{ef} = 0,0024 \cdot D \cdot (E_p \cdot 1000)^{1/3}$$

Donde:

D = espesor total desde subrasante hasta superficie de pavimento (mm)

E_p = módulo combinado (MPa)

LEMaC-DE03/14: Metodología de corrección de lecturas de IRI en pavimentos de hormigón por el fenómeno de alabeo térmico

Ámbito de aplicación:

Pavimentos de hormigón con agregado granítico y de espesores entre 15 cm y 25 cm, con losas vinculadas por pasadores lisos.

Metodología:

Paso 1: Tomar la lectura del Índice Internacional de Rugosidad (*IRI*) en el tramo en cuestión para arribar al *IRI_{medido}*.

Paso 2: Tomar la Temperatura del Aire (*T_{aire}*) a la sombra y al resguardo del viento.

Paso 3: Practicar en el pavimento un hoyo de diámetro 20 mm hasta una profundidad de 30 mm. Verter agua a temperatura ambiente en el mismo, aguardar 2 minutos y tomar la Temperatura del Pavimento (*T_{pavimento}*) introduciendo el termómetro.

Paso 4: Calcular el Diferencial de Temperatura (Δt) como.

$$\Delta t = T_{aire} - T_{pavimento}$$

Paso 5: Calcular el Coeficiente de Corrección (*C*) mediante la siguiente expresión.

$$C = -0,021 \Delta t^2 - 0,056 \Delta t + 0,926$$

Paso 6: Estimar el IRI Corregido por Alabeo (*IRI_{corregido}*) mediante la siguiente expresión final.

$$IRI_{corregido} = IRI_{medido} \times C$$

LEMaC-T01/07: Metodología para determinación del TMDA mediante conteos esporádicos

Ámbito de aplicación:

Vías rurales y urbanas de la región central de la Argentina, salvo aquellas de uso turístico en ámbito rural sin cobro de peaje.

Metodología:

Paso 1: Obtención del TD_{real} sobre la vía, considerado desde las 0 horas hasta las 24 horas. Indicar día de la semana (DS), mes (M), uso de la vía (C), urbanidad (U) y existencia o no de peaje (P). Para DS considerar valor 1 en día domingo y así hasta valor 7 el día sábado. Para M considerar valor 1 para enero y así hasta valor 12 para diciembre. Para C considerar 1 si es comercial y 0 si es turístico. Para U considerar 1 si es urbano y 0 si es rural. Para P considerar 1 si existe y 0 si no existe.

Paso 2: Establecer la tasa de crecimiento del tránsito estimada para la vía durante el año en estudio. Para esto realizar su estimación directa, o emplear el algoritmo o la tabla para su estimación mediante la variación del parque automotor durante el año en estudio y para la localidad en donde se encuentra el punto analizado:

$$TCT = 35,596896 - (243,628504 / VP) + (555,412790 / VP^2) - (585,523100 / VP^3) + (283,681553 / VP^4) - (51,088958 / VP^5)$$

Donde:

TCT = Tasa de crecimiento del tránsito

VP = Variación del parque automotor

Para analizar las tendencias en años anteriores en cuanto a la variación del parque automotor en el partido al cual pertenece la vía en análisis puede consultarse a la Dirección Nacional de los Registros Nacionales de la Propiedad del Automotor.

Paso 3: En función del día del año en la que se determina el TD_{real} y de la TCT obtenida, descontar la tendencia en forma proporcional para establecer un TD_0 , con:

$$TD_0 = TD_{real} \times \left(1 - \frac{TCT}{100} \times \frac{DA}{365}\right)$$

Donde:

TD_0 = Tránsito diario sin tendencia

TD_{real} = Tránsito diario directamente establecido

TCT = Tasa de crecimiento del tránsito

DA = Día del año del dato (1 para el 1° de enero, ..., 365 para el 31° de diciembre)

<i>VP</i>	<i>TCT</i>
0,5	-10,1
1,0	-5,5
1,5	-4,2
2,0	-4,4
2,5	-3,7
3,0	-2,3
3,5	-0,5
4,0	1,3
4,5	3,1
5,0	4,8
5,5	6,4
6,0	7,9
6,5	9,3
7,0	10,5
7,5	11,7
8,0	12,7
8,5	13,7
9,0	14,6
9,5	15,5
10,0	16,2

Tasa de Crecimiento de Tránsito en función del registro automotor

Paso 4: Determinar los coeficientes diarios empleando, en función de las variables de entorno, los modelos o la tabla:

Modelo para toda la clase de uso turístico (C = 0)

$$CD = -0,043715 DS^2 + 0,363511 DS + 0,452025$$

Modelo para clase de uso comercial (C = 1) y sin peaje (P = 0)

$$CD = 1,299385 - 0,175416 DS + 0,110582 DS^2 \ln DS - 0,033388 DS^3 + 0,001731 e^{DS}$$

Modelo para clase de uso comercial (C = 1) y con peaje (P = 1)

$$CD = 0,002781 DS^5 - 0,053475 DS^4 + 0,378762 DS^3 - 1,184775 DS^2 + 1,434157 DS + 0,758143$$

Donde:

CD = Coeficiente diario

DS = Día de la semana (1 para domingo, ..., 7 para sábado)

Uso	Peaje	Coeficiente diario						
		DOM	LUN	MAR	MIE	JUE	VIE	SAB
<i>Turístico</i>	<i>con o sin peaje</i>	0,772	1,004	1,149	1,207	1,177	1,059	0,855
<i>comercial</i>	<i>sin peaje</i>	1,095	1,001	1,000	1,008	0,955	0,866	1,061
<i>comercial</i>	<i>con peaje</i>	1,336	1,151	0,969	0,937	0,924	0,845	1,005

Tabla de coeficientes de corrección diarios

Paso 5: Determinar los coeficientes mensuales empleando, en función de las variables de entorno, el modelo o la tabla:

$$CM = 0,479143985 + 0,136277392 M + 0,059669021 U + 0,523605787 C - 0,009715863 M^2 + 0,034070315 M U - 0,152392231 M C + 0,045233251 M P - 0,000268142 M^3 - 0,000651558 M^2 U + 0,014428784 M^2 C - 0,000729828 M^2 P - 0,175791796 U P - 0,040418127 M U C + 0,010884546 M U P - 0,040714787 M C P + 0,114275601 U C P$$

Donde:

CM = Coeficiente mensual

M = Mes del año (1 para enero, ..., 12 para diciembre)

C = Clase de uso (0 para turístico y 1 para comercial)

U = Urbanidad (0 para ambiente rural y 1 para ambiente urbano)

P = Peaje (0 para sin peaje y 1 para con peaje)

El modelo no es aplicable en vías turísticas rurales y sin peajes, para las cuales se recomienda el empleo de la metodología clásica.

Urb	Uso	Peaje	Coeficiente mensual											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Rural	Turístico	sin	caso no aplicable											
Rural	Turístico	con	0,650	0,798	0,922	1,021	1,092	1,134	1,146	1,125	1,071	0,982	0,855	0,690
Rural	Comerc	sin	0,991	0,987	0,990	0,997	1,006	1,018	1,029	1,038	1,044	1,045	1,039	1,025
Rural	Comerc	con	0,995	0,993	0,997	1,003	1,011	1,019	1,025	1,028	1,026	1,017	1,000	0,974
Urbano	Turístico	sin	0,699	0,836	0,949	1,037	1,098	1,130	1,131	1,101	1,037	0,937	0,801	0,627
Urbano	Turístico	con	0,578	0,769	0,935	1,074	1,184	1,264	1,313	1,327	1,307	1,250	1,154	1,019
Urbano	Comerc	sin	1,044	1,032	1,024	1,020	1,018	1,016	1,012	1,005	0,994	0,976	0,950	0,914
Urbano	Comerc	con	0,997	0,998	1,002	1,009	1,015	1,021	1,023	1,020	1,012	0,995	0,969	0,933

Tabla de coeficientes de corrección mensuales

Paso 6: Calcular TMDA mediante:

$$TMDA = TD_0 \times CD \times CM \times \left(1 + \frac{TCT}{100} \times \frac{1}{2} \right)$$

caso de contarse con más datos de tránsitos diarios, aplicar la metodología y calcular la estadística de los resultados obtenidos para convalidar o no la media de los mismos mediante la normalidad de los resultados.

LEMaC-T02/04: Tabla de coeficientes horarios para extrapolación al tránsito diario en vías urbanas

Ámbito de aplicación:

- Vías urbanas de la región central de la Argentina.

Metodología:

Paso 1: Obtención del tránsito horario de la hora i (TH_i) sobre la vía en el día j de la semana.

Paso 2: Cálculo del tránsito diario de la vía (TD) empleando los coeficientes de corrección C_{ij} de la tabla, y mediante la siguiente expresión.

$$TD = TH_i \times C_{ij}$$

HORA	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	122,8	159,3	149,2	122,2	102,4	72,2	40,0
2	294,8	333,7	276,6	237,3	192,0	97,8	45,3
3	406,6	536,8	1025,5	575,5	542,2	152,3	66,8
4	464,3	1210,5	703,2	546,4	582,2	184,8	87,1
5	393,1	327,5	313,9	329,8	368,7	175,3	113,7
6	161,5	162,5	159,4	134,6	158,5	140,7	68,0
7	47,3	52,4	49,5	47,0	53,4	83,2	70,6
8	12,5	13,5	12,9	13,0	14,4	43,2	63,3
9	13,2	13,2	12,9	12,6	14,4	22,6	49,1
10	18,5	17,0	16,4	18,5	18,9	18,0	28,8
11	20,2	21,4	21,8	22,9	22,6	16,0	21,8
12	20,5	21,2	19,2	19,5	20,4	15,4	15,9
13	15,2	15,9	15,7	14,3	16,0	13,9	12,9
14	31,7	15,7	16,5	16,9	16,9	14,8	14,8
15	34,2	16,0	16,4	18,3	17,1	17,1	20,5
16	16,2	16,4	17,3	16,8	17,0	15,3	15,6
17	14,3	15,6	13,8	15,4	13,9	14,7	14,0
18	11,7	11,6	11,6	11,8	11,9	14,6	12,6
19	13,9	13,3	13,6	13,8	13,3	12,5	11,1
20	18,0	16,7	17,8	16,8	11,1	15,6	13,6
21	21,2	18,3	21,0	19,8	18,7	17,9	18,2
22	31,5	30,3	32,9	26,3	26,8	23,5	24,0
23	44,2	46,9	48,5	47,8	42,7	40,2	38,4
24	83,0	77,1	76,8	81,0	54,4	43,8	70,3

Tabla de coeficientes de extrapolación C_{ij}

La presente guía fue presentada en su Primera Edición (año 2016), como un compendio de aquellas metodologías y procedimientos que se han ido desarrollando en el LEMaC en los últimos años, que fueran volcados en publicaciones técnicas (libros, cuadernos, revistas indexadas, memorias de congresos, material didáctico de cursos, seminarios y jornadas, o procedimientos de su Manual de Calidad). Los elementos que conforman la guía surgen de las investigaciones llevadas adelante en el LEMaC y resultan en muchos casos adaptaciones de normativas vigentes a los condicionantes locales o a usos específicos alternativos, y en otros casos se constituyen en elementos complementarios a las mismas.

Estas metodologías y procedimientos se han continuado revisando y clasificando para la presente Edición 2019 de la guía, en función de los avances registrados en las áreas temáticas y de discusiones en tal sentido mantenidas en forma interna y externa con profesionales de Centros de Investigaciones Viales con los cuales se guarda relación.

Como en la pasada edición, estos elementos se ponen a disposición de la comunidad para su empleo, análisis y discusión, contemplando el adaptar y acrecentar los mismos en futuras ediciones de la guía, en función de los adelantos técnicos que se registren y de aportes que puedan efectuarse en tal sentido desde diversos ámbitos.

Para ello se pone a disposición de los interesados el teléfono de contacto +54-221-4890413, la dirección de correo electrónico lemac@frlp.utn.edu.ar, y la dirección postal de Calle 60 y 124, (1900) La Plata, Bs. As., Argentina.

Se deja expresado que la reproducción total o parcial de la guía es libre, con la única condición de citar su fuente de la siguiente manera:

LEMaC. "Guía de metodologías y procedimientos para uso vial desarrollados en el LEMaC - Centro de Investigaciones Viales (edición 2019)", Editorial edUTecNe (ISBN 978-987-4998-27-9), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. 2019.