

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE ADHERENCIA

Roberto Gaona¹

Jorge Villalba²

Luis A. Caballero³

Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Católica, Campus de Santa Librada,
lualca@telesurf.com.py

PA-VI-07

La determinación de la fuerza de adherencia entre base y carpeta de rodadura se lleva a cabo en probetas de suelo cemento adheridas a probetas de concreto asfáltico, concreto hidráulico o tratamiento superficial doble, mediante un ensayo de cizalla utilizando una prensa de CBR.

Para los ensayos se preparan probetas de suelo cemento dosificadas con 5 %, 8% y 10 % de cemento Pórtland tipo1. También se preparan probetas con piedra triturada incorporada en los 5 cm superiores de la capa de suelo cemento, a efecto de mejorar la adherencia.

Para la carpeta se moldean probetas de concreto asfáltico, hormigón hidráulico y tratamiento superficial doble.

La capa de tratamiento superficial doble se prepara cumpliéndose las especificaciones técnicas constructivas, que consiste en la aplicación de tres riegos de emulsión bituminosa con polímero, seguido del riego de agregado pétreo grueso y fino.

El valor de la fuerza cortante que produce el deslizamiento de una probeta con respecto a la otra, se asume que es equivalente a la resistencia o fuerza de adherencia.

La tensión unitaria de adherencia, que es el cociente entre la fuerza de adherencia y la sección transversal de la probeta, es el valor utilizado para la obtención de las conclusiones de la investigación.

El ensayo de adherencia con la prensa de CBR puede utilizarse para conocer la calidad de adherencia que posee un material. En el caso investigado se demuestra que el suelo cemento tiene pobre poder de adherencia con cualquier tipo de carpeta, salvo que se utilice un mejorador como es la piedra triturada.

1. INTRODUCCIÓN

Se expone en el presente trabajo una metodología para la medición de la adherencia entre base y carpeta, que tiene por objeto evitar problemas de adherencia en la etapa de servicio del pavimento,

El buen comportamiento del pavimento no puede inferirse del comportamiento individual de cada una de sus partes, sino como comportamiento del conjunto. Resulta por tanto evidente la necesidad de contar con unidad integral si se desea que la estructura resistente pueda soportar y absorber satisfactoriamente los esfuerzos a que estará sometida en servicio, resultante no solo de la acción de las cargas estáticas y dinámicas verticales, sino también de los esfuerzos tangenciales derivados de la acción de frenado y aceleración.

La falta de una unidad integral entre base y carpeta de rodadura, hace que ésta se vea sobrecargada en su régimen de trabajo y ello derive en la falla de la misma.

Cuando el esfuerzo tangencial derivado de las cargas del tráfico es superior a la resistencia interna del paquete estructural del pavimento, se produce un plano de rotura en la superficie de contacto entre base y carpeta, quedando anulada la unidad integral.

La metodología de medición de la resistencia del pavimento en la superficie de contacto entre base y carpeta es la propuesta del trabajo que se presenta a continuación

2. MARCO TEÓRICO

Si tenemos dos cuerpos A y B, en contacto, según una superficie horizontal, y entre ambos actúa una fuerza vertical P y una horizontal F, los cuerpos no deslizan el uno sobre el otro hasta que F alcance un valor $F > P \cdot \mu_a$; siendo μ_a el coeficiente de adherencia entre las dos superficies, constante física que depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto; se determina por la relación F/P en el momento de iniciarse el desplazamiento.

Cuando la rueda está en movimiento, se considera otra constante de naturaleza similar a μ_a , pero de valor diferente: el coeficiente de rozamiento por rotación, μ_r , relación, en el momento de iniciarse el desplazamiento, entre el esfuerzo que determina el movimiento y el vertical que aplica la rueda contra el firme; gracias a este rozamiento entre la rueda y el firme, el par motor de aquella produce una fuerza tangencial sobre el pavimento, origen de una reacción de éste

sobre la rueda que la hace avanzar; cuando la fuerza tangencial es igual al producto de la fuerza vertical por el coeficiente de rozamiento por rotación, se inicia el desplazamiento de las ruedas sobre el firme; un incremento del esfuerzo motor y, por tanto, del valor de la fuerza tangencial, no hará avanzar al vehículo; solo producirá un aumento del deslizamiento de las ruedas.

¿Por qué se produce el rozamiento por rotación? La antigua teoría de Coulomb, del encaje de las desigualdades de las superficies en contacto, ha sido complementada en el sentido de suponer acciones intermoleculares, origen de una especie de rozamiento puro, estas acciones, máximas cuando el rozamiento es seco, disminuyen cuando el firme está lubricado, cubierto de una capa muy tenue de líquido que se absorbe por una o por la otra superficie de contacto; esto sucede, por ejemplo, en los firmes bituminosos, en apariencia secos, y que son deslizantes. Cuando la película del líquido es de espesor apreciable, la acción intermolecular desaparece casi completamente, no se opone en nada más que la viscosidad interna del líquido y su valor es muy pequeño.

El coeficiente de rozamiento transversal tiene valores distintos del coeficiente de rozamiento por rotación en sentido de la marcha; es función de la velocidad, pero en menor proporción; hasta un cierto ángulo, 15° a 18° , con la dirección de la marcha, depende de ella; para ángulos mayores es independiente de su valor. El coeficiente de rozamiento transversal es, generalmente, mayor que el longitudinal.

Entre las distintas clases de firmes existen diferencias notables; el mínimo coeficiente no corresponde a los firmes aparentemente más lisos; los bituminosos, bien construidos, no son más deslizantes que los otros; depende el rozamiento de la correlación entre las rugosidades de la rueda y el firme; si la diferencia es muy grande, la superficie de contacto disminuye rápidamente.⁴

Los coeficientes de rozamiento por rotación, longitudinal y transversal se indican en la tabla 1.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El concepto del trabajo es la determinación de la fuerza de adherencia F_a , midiendo el esfuerzo de corte necesario que produce el

⁴ Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer-José María Pardillo Sandro Rocci-Manuel G. Romana-Victor Sánchez Blanco-Miguel Ángel de Val..

deslizamiento o rompe la adherencia existente entre la carpeta de rodadura y la base.

Tipo de carpeta de rodadura	Longitudinal	Transversal
Hormigón de cemento	0.75 a 0.50	0.70 a 0.60
Mosaico	0.65 a 0.35	0.60 a 0.50
Firmes bituminosos	0.80 a 0.40	0.50 a 0.14
Adoquinado	0.60 a 0.20	-

Tabla 1. Coeficiente de rozamiento rotacional⁵

4. DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE ADHERENCIA

La determinación de la fuerza de adherencia entre base y carpeta de rodadura se lleva a cabo en probetas de suelo cemento adheridas a probetas de concreto asfáltico, concreto hidráulico o tratamiento superficial doble, mediante un ensayo de cizalla, utilizando una prensa de CBR.

La probeta se introduce en un molde metálico para confinar la parte correspondiente al suelo cemento, quedando fuera del molde la parte que corresponde a la carpeta de rodadura; luego, se ensaya al esfuerzo cortante como si se tratase de una viga biapoyada, figura 1, donde uno de los puntos de apoyo está situado a 5 mm de la junta de unión entre la probeta de suelo cemento y la probeta de concreto asfáltico, concreto hidráulico o tratamiento superficial doble, figura 2 y figura 3.

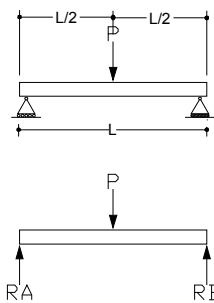


Figura 1. Viga biapoyada.

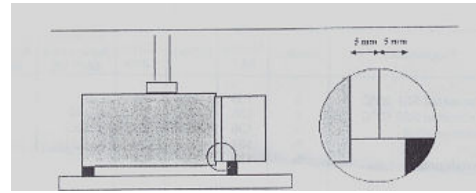


Figura 2. Disposición de la probeta en la prensa.

Se asume que el valor de la fuerza cortante es igual a la fuerza de adherencia entre base y carpeta.

De la figura 1 se deduce que $F_a = P/2$

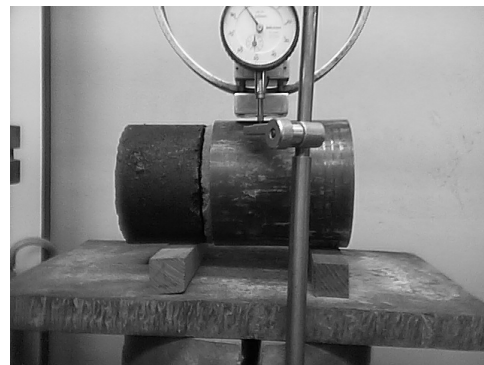


Figura 3. Detalle de los puntos de apoyo de la probeta y punto de aplicación de la carga.

4.1 Preparación de las probetas

4.1.1 Preparación de las probetas de suelo cemento

Para los ensayos de adherencia se preparan probetas de suelo cemento dosificadas con 5 %, 8 % y 10 % de cemento Pórtland tipo 1.

También se preparan probetas con piedra triturada incorporada en los 5 cm superiores de la probeta de suelo cemento a efecto mejorar la adherencia entre las probetas de base y carpeta.

Para el moldeo de estas probetas se siguen los pasos establecidos para la elaboración de las probetas normales, es decir, se mezclan las distintas muestras de suelo en estudio con los distintos porcentajes de cemento tipo 1. Completada la cuarta capa, se procede a mezclar el suelo-cemento con 274,5 g de piedra triturada tipo 4^{ta} (35 % de piedra triturada incorporada en los 5 cm finales), procediéndose luego a la compactación de la quinta capa según establece el Método AASHTO T 180.

4.1.2 Preparación de probetas de concreto asfáltico

⁵ ESCARIO J.L., CAMINOS, TOMO I, MADRID, 1967

Se moldean probetas de 4 cm de altura concreto asfáltico utilizándose la siguiente dosificación:

Piedra triturada tipo 4 ^a	15 %
Piedra triturada tipo 5 ^a	36 %
Piedra triturada 6 ^a	38 %
Arena de Río Paraguay.....	10 %
Cal hidratada (filler).....	1 %
Concreto asfáltico.....	4,7 %

4.1.3 Preparación de Probetas de hormigón hidráulico

Se moldean probetas de hormigón hidráulico de 4 cm de altura para medir la adherencia con el suelo cemento.

El hormigón hidráulico fue dosificado de la siguiente manera:

- Cemento tipo1..... 276 Kg
- Arena lavada..... 70Kg
- Triturada 5^a..... 44Kg
- Triturada 4^a..... 66Kg
- Relación agua/cemento..... 0,6a/c
- Dosificación en peso: 1:2,6:1,6:2,4
- Asentamiento: 7 cm.
- Resistencia a los 28 días: 260 Kg./cm²
- Cemento: Tipo 1

4.1.4 Tratamiento superficial doble

Para medir la adherencia del tratamiento superficial doble sobre el suelo cemento, se preparan las probetas con la capa del tratamiento superficial doble cumpliéndose las especificaciones técnicas constructivas, que consiste en la aplicación de tres riegos de emulsión bituminosa con polímero, seguido del riego de agregado pétreo grueso y fino.

4.2 Emulsión

Las emulsiones utilizadas son:

RR 1C: Emulsión bituminosa sin polímetro, se utiliza para el curado de las probetas de suelo-cemento.

RR 2C: emulsión bituminosa con polímero de rotura rápida, utilizada para la adherencia entre probetas.

4.3 Aplicación de la fuerza cortante

Una vez curada en cámara húmeda las probetas de suelo-cemento, se aplica el adhesivo consistente en la emulsión con polímero tipo RR 2C. Luego se adhieren los

distintos tipos de probetas de concreto asfáltico, hormigón hidráulico y la capa de tratamiento superficial doble, aplicándose la presión de 6 kg/cm² para favorecer la adherencia entre capas. A continuación, las probetas se introducen en el molde metálico, según se explicó en el punto 4, y se somete al ensayo de corte en la prensa de CBR, figura 4.

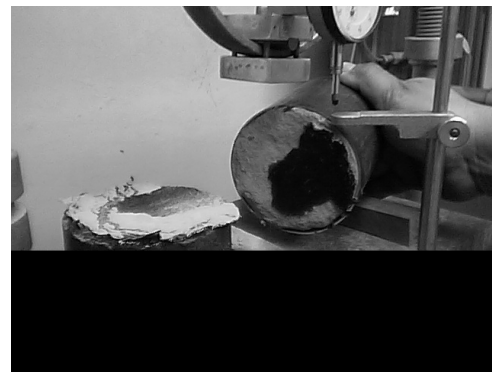


Figura 4. Rotura de probeta

El valor de la fuerza cortante que produce el deslizamiento de una probeta con respecto a la otra, se asume que es equivalente a la resistencia o fuerza de adherencia.

La tensión de adherencia se obtiene de la siguiente expresión:

$$\tau_a = \frac{F_a}{S} \quad (2)$$

donde : τ_a es tensión de adherencia.

F_a es fuerza de adherencia.

S sección transversal de la probeta.

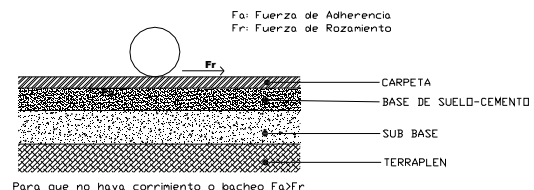


Figura 5. Fuerzas actuantes sobre el paquete estructural

5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS

Tipo de carpeta	Tipo de superficie del suelo cemento	Muestra
Concreto asfáltico de 4 cm sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Sin mezcla de piedra triturada	M1
Hormigón hidráulico de 4 cm sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Sin mezcla de piedra triturada	M3
Tratamiento superficial doble sobre probetas de suelo cemento curadas en pista	Sin mezcla de piedra triturada	M4
Tratamiento superficial doble sobre probetas de suelo cemento curadas en pista	Con mezcla de piedra triturada	M5
Tratamiento superficial doble sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Sin mezcla de piedra triturada	M6
Tratamiento superficial doble sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Con mezcla de piedra triturada	M7
Concreto asfáltico de 4 cm sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Con mezcla de piedra triturada	M9
Hormigón hidráulico de 4 cm sobre probetas de suelo cemento curadas en cámara húmeda	Con mezcla de piedra triturada	M10

6. RESULTADO DEL ENSAYO DE CORTE

En las figuras que a continuación se presentan se hallan graficadas las tensiones de adherencia (resistencia unitaria tangencial, cociente entre la fuerza cortante y la sección transversal de la probeta, en kg/cm^2).

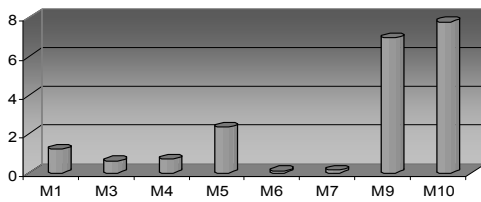


Figura 6. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 5 % de cemento

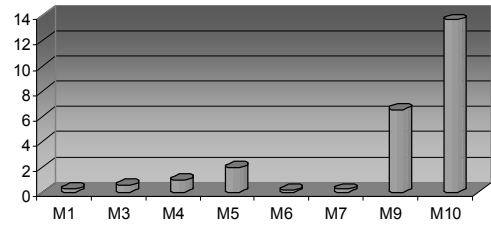


Figura 7. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 8 % de cemento

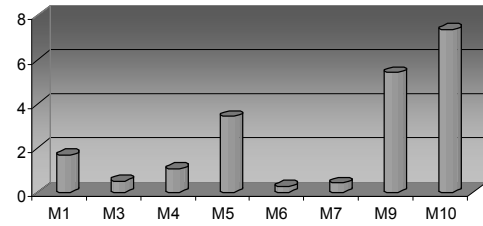


Figura 8. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 10 % de cemento

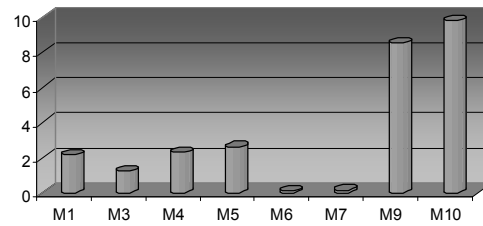


Figura 9. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 5 % de cemento

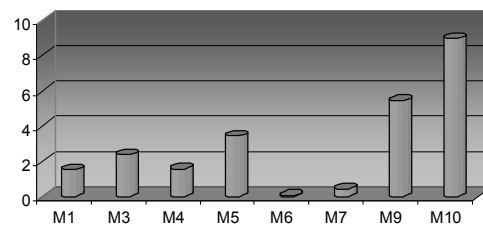


Figura 10. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 8 % de cemento

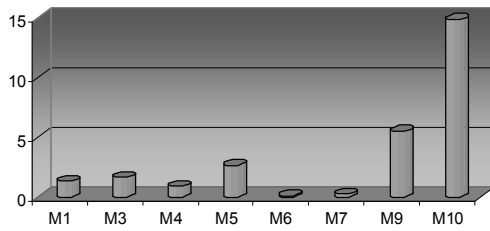


Figura 11. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 10 % de cemento

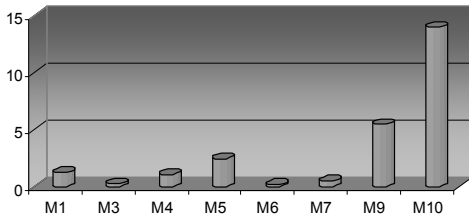


Figura 12. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 5 % de cemento

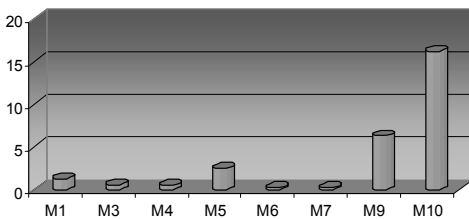


Figura 13. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 8 % de cemento

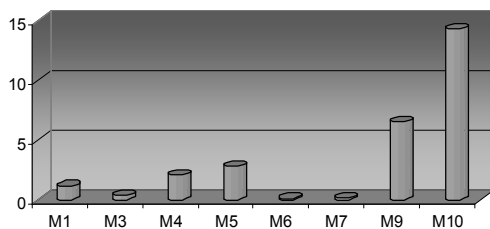


Figura 14. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 10% de cemento

7. CONCLUSIÓN

- El ensayo no determina la influencia del espesor de la carpeta en el valor de la tensión de adherencia (Caso M1, M3, M4 y M6).
- La incorporación de piedra triturada en la probeta de suelo cemento mejora la adherencia (Caso M5, M9, M10).

c) El ensayo de corte con la prensa de CBR puede utilizarse para conocer la calidad de adherencia que posee un material. En el caso investigado se demuestra que el suelo cemento tiene pobre poder de adherencia con cualquier tipo de carpeta.

e) Para un mismo tipo de suelo, el aumento del porcentaje de cemento, no mejora la adherencia.

f) En la carpeta de concreto asfáltico y concreto hidráulico, la influencia del mejorador de adherencia (piedra triturada) es significativa para el aumento de la tensión de adherencia.

h) No existe diferencia significativa de adherencia utilizando distintos tipos de suelos.

8) REFERENCIA

- Universidad Politécnica de Cataluña, 1° Curso Internacional Intensivo de Pavimentos Asfálticos, 2003, Barcelona, España, pp 724.
- José Luís Escario, Caminos Tomo 1, 1967, Editorial Dossat, Madrid España, pp. 577.
- Carlos Kraemer-José Maria Pardillo-Sandro Rocci-Manuel G. Romana-Victor Sánchez Blanco- Miguel Ángel del Val, Ingeniería de Carreteras Volumen 1 y 2, 2004, Concepción Fernández, Madrid España, pp. 554 y 470.
- Nicolás J. Garber- Lester A. Hoel, Ingeniería de Tránsito y Carreteras, 2005, Internacional Thomson Editores, Méjico, pp. 1170.