

ESTUDIO DE ADHERENCIA ENTRE CARPETA DE PEQUEÑO ESPESOR Y BASE DE SUELO CEMENTO

Roberto Gaona¹

Jorge Villalba²

Luis A. Caballero³

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

VI-09

En esta investigación se determina la causa de la dificultad para la obtención de una adherencia adecuada entre la base de suelo cemento y una carpeta de pequeño espesor (concreto asfáltico, tratamiento superficial, tratamiento superficial, etc.)

Así mismo, se demuestra que hay posibilidades de corrimiento o bacheo de las carpetas de pequeño espesor sobre el suelo cemento, si no se recurre a medidas adecuadas para mejorar la adherencia, anclaje o amarre entre la base y las carpetas de pequeño espesor.

Desde hace tiempo se reconoce que existe una deficiente adherencia de las carpetas asfálticas de pequeño espesor sobre una base de suelo-cemento; sobretodo cuando en la construcción de esta última han sido utilizados suelos finos del tipo limoso. Cuanto más aumenta la finura, el fenómeno es más dramático. Es evidente que con el aumento del diámetro de los granos como son las arenas, la rugosidad mejora y por ende la estabilidad de las carpetas de pequeño espesor.

Un revestimiento bituminoso pobremente unido a la base o capa de pavimento inferior puede ser desplazado bajo cargas móviles en corto tiempo, aunque él sea estable frente a cargas estáticas.

La falta de adherencia entre el suelo cemento compuesto por suelo fino y la capas de rodadura de pequeño espesor se debe al debilitamiento de la superficie del suelo cemento, base de apoyo de la carpeta, por una pérdida de cohesión de las partículas del suelo.

En el Chaco u otra regiones del Paraguay, donde no se dispone de yacimientos de piedra para uso vial, la solución es el suelo cemento para la construcción de la base del paquete estructural de las carreteras.

¹ Egresado en el año 2007 como Ing. Civil, autor de la tesis.

² Egresado en el año 2007 como Ing. Civil, autor de la tesis.

³ Ing. Civil, Profesor Asesor de Tesis de la Cátedra de Vías de Comunicación.

1. INTRODUCCIÓN

La carencia de yacimientos de piedra de uso vial en varias zonas del país como la Región Occidental (Chaco), el Departamento de Ñeembucu y el litoral del Río Paraguay desde Pilar a Concepción, obliga a la incorporación de tecnologías apropiadas para la construcción de caminos de todo tiempo, sin recurrir a la utilización de piedra.

A la falta de piedra se suma la reducida disponibilidad presupuestaria del país para la construcción de los caminos pavimentados, que son de elevado costo justamente por la necesidad de transportar piedra a gran distancia y por la utilización de gran cantidad de insumos, repuestos y equipos importados. Factores que justifican la realización de investigaciones para el desarrollo de tecnologías apropiadas de bajo costo que posibiliten el incremento de la red vial del país, condición indispensable para el aumento de la producción, el mejoramiento de la salud, la educación y, en fin, el progreso del país y la elevación de la calidad de vida de sus habitantes.

En esta investigación se determina la causa de la dificultad, observada en las obras viales de nuestro país, para la obtención de una adherencia adecuada entre base de suelo cemento y carpeta de pequeño espesor (concreto asfáltico, tratamiento superficial, tratamiento superficial, etc.)

Así mismo, se demuestra que hay posibilidades de corrimiento o bacheo de las carpetas de pequeño espesor sobre el suelo cemento, si no se recurre a medidas adecuadas para mejorar la adherencia, anclaje o amarre entre la base y las carpetas de pequeño espesor.

En el Chaco u otra regiones del Paraguay, donde no se dispone de yacimientos de piedra para uso vial, la solución es el suelo cemento para la construcción de la base del paquete estructural de las carreteras.

La materia prima disponible en el Paraguay para la fabricación del cemento Pórtland es tan abundante que con una producción de 2.000.0000 tn/año de cemento, las canteras de Vallemi y del Cerro Galván podrán seguir proveyendo material calcáreo por 300 años más.

2. MARCO TEÓRICO

Desde hace tiempo se reconoce que existe una deficiente adherencia de las carpetas asfálticas de pequeño espesor sobre una base de suelo-cemento; sobretodo cuando en la construcción de esta última han sido

utilizados suelos finos del tipo limoso. Cuanto más aumenta la finura, el fenómeno es más dramático. Es evidente que con el aumento del diámetro de los granos como son las arenas, la rugosidad mejora y por ende la estabilidad de las carpetas de pequeño espesor.

En la Republica Argentina, específicamente en la Provincia de Buenos Aires, con suelos muy finos, se tiene basta experiencia en el uso del suelo-cemento como base de carpeta asfáltica de pequeño espesor.

En las obras de esta provincia fueron encontrados inconvenientes en carpetas bituminosas en caliente del tipo concreto asfáltico y tratamiento superficial bituminoso. En el primer tipo, se constató el deslizamiento de la misma sobre la base; en la segunda, formación de baches concentrados y desprendimientos.

Para aislar el problema se realizaron gran cantidad de investigaciones sobre los diversos componentes del paquete estructural.

A fin de desechar la compactación como causante del problema se ensayaron diversas técnicas que aseguraban la perfecta compactación de la capa de suelo cemento.

Se demostró que el curado y los materiales utilizados no eran los causantes de las fallas. Se utilizaron diversos materiales como emulsión asfáltica, capa de tierra vegetal, riego de agua para el mantenimiento de la humedad necesaria para el proceso físico-químico del curado. En todos los casos se demostró que la aparición del problema de corrimiento o bacheo no era causada por una falla de curado.

Para descartar al concreto asfáltico como causante de las fallas se efectuaron extracciones de muestras de la carpeta y al mismo se realizaron observaciones de la base. De esta manera se ha constatado que la adherencia de la carpeta a la base es prácticamente nula, el riego de curado forma una sola unidad con la carpeta, el plano débil donde se produce la superficie de separación está situado debajo de dicho riego. En la superficie inferior de la muestra, se observa una capa de material de base adherido a la carpeta, con poca cohesión y de un espesor que oscila entre 1 y 3 milímetros.

Los ensayos de flexibilidad, estabilidad y durabilidad en las muestras de concreto asfáltico demostraron que no existen evidencias de que las fallas de deslizamiento observadas se deban a esta capa.

La observación básica sobre la cual debe fundarse toda hipótesis, es que la estructura integral de un camino con problemas de

deslizamiento no cumple las condiciones que tácita o específicamente debe exigirse a todo pavimento flexible.

Dicha estructura integral debe constituir una unidad formada por capas sucesivas, de resistencia decreciente en profundidad, adheridas entre sí. Es evidente que la carpeta apoyada simplemente sobre la base en la zona de deslizamiento impone a la misma un régimen de trabajo excesivo para una mezcla asfáltica que es sabido se caracteriza por su cohesión relativamente baja, por lo cual no resiste elevados esfuerzos en tracción y flexión.

La necesidad de dicha unidad integral es evidente si se desea que la estructura pueda resistir en cualquier profundidad los esfuerzos a que está sometida en servicio, particularmente a los tangenciales, derivados de la acción del tránsito dinámico y estático.

En el análisis se menciona que en el extenso trabajo de Norman W. Mc. Leod "The Rational Design of Bituminous Paving Mixtures" (Proc. High Research Board 29, 107, 1949), se considera que existen tres condiciones básicas de resistencia para un revestimiento bituminoso a saber:

Estabilidad bajo carga estacionaria.

Estabilidad bajo carga móvil a una velocidad relativamente elevada y uniforme.

Estabilidad a los esfuerzos de frenado y aceleración.

El análisis simplificado de Mc Leod, conduce en esencia a que cuando se considera el frenado (que es el más severo) el esfuerzo tangencial que actúa en el área de contacto pavimento-neumático, igual al coeficiente de fricción por la carga vertical, es resistido por: 1º) Resistencia de unión carpeta-base; 2º) Resistencia al corte entre el volumen de material de carpeta debajo de la carga y el resto; 3º) Resistencia al desplazamiento del material frente al área cargada y 4º) Resistencia a la tracción detrás de la misma. Del análisis de este sistema se deduce la importancia primordial que le corresponde a la unión pavimento-base para resistir los esfuerzos tangenciales del frenado.

Mac. Leod llega así a la conclusión que un revestimiento bituminoso pobremente unido a la base o capa de pavimento inferior puede ser desplazado bajo cargas móviles en corto tiempo, aunque él sea estable frente a cargas estáticas.

El análisis de Mc. Leod lleva a ratificar que las fallas observadas obedecen a que la condición de falla de la carpeta corresponde al caso 3 mencionado, en el cual es primordial importancia la resistencia a los

esfuerzos tangenciales en el espesor de la estructura.

Habiéndose constatado en obra el desprendimiento de la carpeta de la base según un plano inferior a su superficie de separación, todo indica que la capa superior de la base tiene menor resistencia frente a los esfuerzos tangenciales a que está sometido.

En conclusión, cuando el esfuerzo tangencial es mayor que la resistencia tangencial interior se produce un plano de rotura en la zona superficial, la unidad estructural queda anulada y la carpeta más el material de base adherido queda simplemente apoyada sobre el resto de la base.

En esta condición se explica el fisuramiento y deslizamiento de la carpeta como unidad, dando origen a grietas gruesas y venciendo la resistencia friccional entre ambas partes, función del peso de la carpeta.⁴

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se determina el esfuerzo tangencial que actúa en el área de contacto pavimento-neumático, igual al coeficiente de fricción por la carga vertical.

El coeficiente de fricción que es el coeficiente por rozamiento rotacional longitudinal y transversal, se obtiene de la tabla 1.

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

Posteriormente se compara el esfuerzo tangencial con la resistencia tangencial interior; si el esfuerzo tangencial es mayor que la resistencia tangencial se produce el deslizamiento de la carpeta.

La resistencia tangencial se obtiene en el ensayo de corte con la utilización de la prensa de CBR.⁶

⁴ Comportamiento de los revestimientos bituminosos sobre base de suelo cemento fino. Agrimensor Alberto J. Amado Cattaneo de la Dirección de Vialidad de la provincia de Buenos Aires.

⁵ Escario J.L., Caminos, tomo I, Madrid, 1967.

⁶ Metodología para la Medición de Adherencia, Gaona-Villalba-Caballero, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Católica. Trabajo presentado en el I Congreso Nacional de Ingeniería Civil.

4. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TANGENCIAL

4.1. Área de contacto entre pavimento y neumático

El área de contacto entre un neumático cargado y el pavimento es aproximadamente elíptica, para neumáticos nuevos con presión de inflado y carga máxima normalizada; para neumáticos usados con presión de inflado y carga máxima normalizada, el área de contacto es aproximadamente rectangular. En beneficio de la simplicidad, se admite que el área de contacto entre neumático y pavimento es circular.

La presión de contacto es aproximadamente igual a la presión de inflado del neumático. El área de contacto pavimento-neumático y los radios de las áreas de contacto se calculan con las siguientes formulas:⁷

$$A = \frac{P}{p}, \quad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}, \quad R = 2,5 \times r$$

A: área circular de contacto de cada neumático.

P: peso del vehículo sobre la rueda doble.

p: presión de contacto ó presión de inflado de los neumáticos (6,7 kg/cm²).

r: radio de contacto de cada neumático.

R: radio de área circular de contacto de rueda doble.

P₁: peso del vehículo sobre rueda simple.

$$P_1 = \frac{9100 \text{ kg}}{2} = 4550 \text{ kg}$$

$$A = \frac{4450 \text{ kg}}{6,7 \text{ kg/cm}^2} = 679,10 \text{ cm}^2$$

$$r = (A/3,14)^{0,5} = 14,7 \text{ cm}$$

$$R = 2,5r = 36,75 \text{ cm}$$

Valores obtenidos de tabla 1

Promedio del coeficiente de rozamiento longitudinal en pavimento bituminoso	0,6
Promedio del coeficiente de rozamiento transversal en pavimento bituminoso	0,32
Promedio del coeficiente de rozamiento longitudinal en pavimento hidráulico	0,68
Promedio del coeficiente de rozamiento transversal en pavimento hidráulico	0,65

4.2. Cálculo del esfuerzo y la tensión tangencial en la carpeta de rodadura

En el límite, antes iniciarse el movimiento: $F_r = \mu_r N$.

F_r : fuerza de rozamiento.

μ_r : coeficiente de rozamiento rotacional (tabla 1).

N: Peso del vehículo en la rueda simple (4550 kg).

F_{rl} : fuerza de rozamiento longitudinal = $\mu_{r(\text{longitudinal})} N$.

F_{rt} : fuerza de rozamiento transversal = $\mu_{r(\text{transversal})} N$.

Las fuerzas de rozamiento longitudinal F_{rl} y transversal F_{rt} para firmes bituminosos son:

$$F_{rl} = \mu_{r(\text{longitudinal})} N = 0,60 \times 4550 \text{ kg} = 2730 \text{ kg}$$

$$F_{rt} = \mu_{r(\text{transversal})} N = 0,32 \times 4550 \text{ kg} = 1456 \text{ kg}$$

Las tensiones de rozamiento longitudinal τ_{rl} y transversal τ_{rt} , correspondientes a cada una de las fuerzas de rozamiento anteriores y para firmes bituminosos son:

$$\tau_{rl} = F_{rl} / A = 2730 / 679,1 = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{rt} = F_{rt} / A = 1456 / 679,1 = 2,14 \text{ kg/cm}^2$$

Las fuerzas de rozamiento longitudinal F_{rl} y transversal F_{rt} entre carpeta de hormigón hidráulico y rueda, son:

$$F_{rl} = \mu_r \times N = 0,68 \times 4550 \text{ kg} = 3094 \text{ kg}$$

$$F_{rt} = \mu_r \times N = 0,65 \times 4550 \text{ kg} = 2958 \text{ kg}$$

Las tensiones de rozamiento longitudinal τ_{rl} y transversal τ_{rt} entre carpeta de hormigón hidráulico y rueda son:

$$\tau_{rl} = F_{rl} / A = 3094 / 679,1 = 4,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{rt} = F_{rt} / A = 2958 / 679,1 = 4,4 \text{ kg/cm}^2$$

4.3 Determinación de la resistencia tangencial

La determinación de la resistencia tangencial entre base y carpeta de rodadura se lleva a cabo en probetas de suelo cemento adheridas a probetas de concreto asfáltico, concreto hidráulico y 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

⁷ Pavimentación Rodoviaria, Volumen II. Ing. Murillo López de Souza. Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. Ministerio de Transporte, Brasil. Río de Janeiro 1976.

hidráulico o tratamiento superficial doble, figura 2 y figura 3.

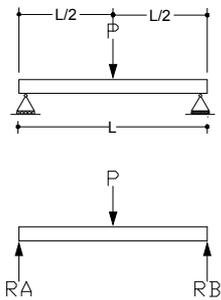


Figura 1. Viga biapoyada.

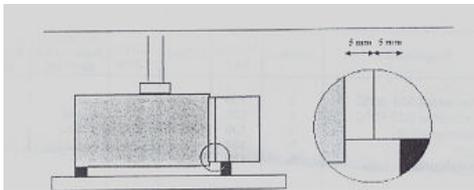


Figura 2. Disposición de la probeta en la prensa.

Se asume que la resistencia tangencial F_a (fuerza de adherencia entre base y carpeta) es igual a la fuerza cortante. De la figura 1 se deduce que $F_a = P/2$

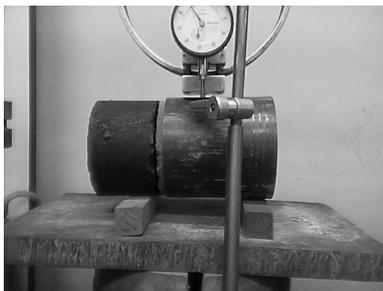


Figura 3. Detalle de los puntos de apoyo de la probeta y punto de aplicación de la carga.



Figura 4. Probeta de suelo cemento adherida a probeta de hormigón hidráulico



Figura 5. Prensa de CBR adaptada

5. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROBETAS

Fueron preparadas probetas con distintos tipos de suelos y distintos porcentajes de cementos; estas probetas posteriormente fueron adheridas a probetas de concreto asfáltico, concreto hidráulico y tratamiento superficial doble, utilizándose como adhesivo emulsión asfáltica tipo RR-2C. Las características de las probetas son detalladas en tabla 2.

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

Tabla 2. Tipos de carpetas utilizadas en el ensayo de adherencia.

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).

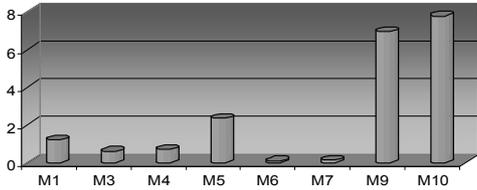


Figura 6. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 5 % de cemento

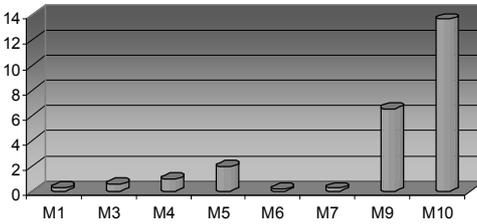


Figura 7. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 8 % de cemento

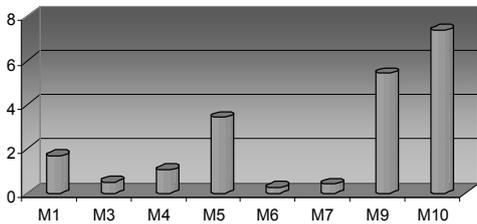


Figura 8. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A3 + 10 % de cemento

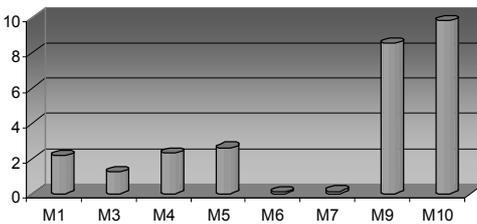


Figura 9. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 5 % de cemento

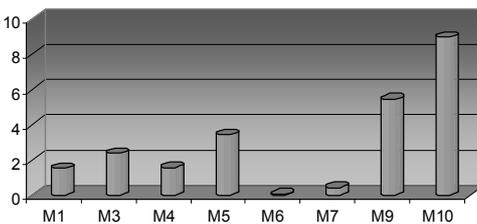


Figura 9. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 8 % de cemento

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

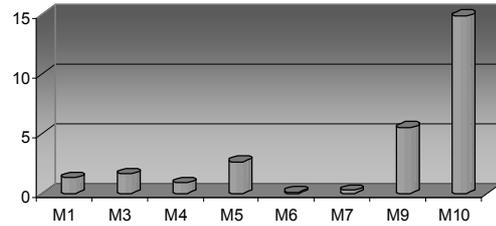


Figura 11. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Chaco) + 10 % de cemento

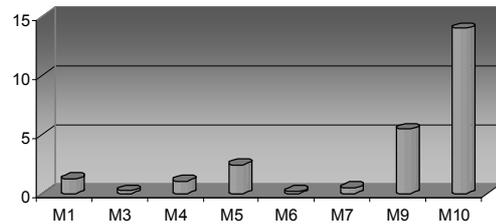


Figura 12. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 5 % de cemento

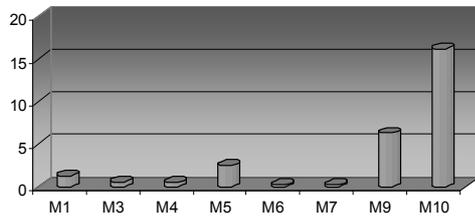


Figura 13. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 8 % de cemento

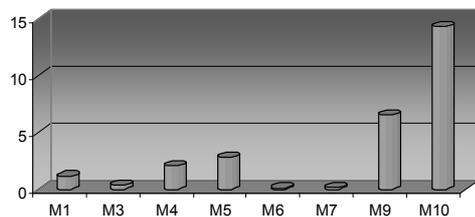


Figura 14. Tensiones de adherencia en probetas de suelo cemento con suelo A-2-4 (Oriental) + 10% de cemento

7. RESULTADO DEL CÁLCULO DEL ESFUERZO TANGENCIAL

En las figura 15 se presentan los valores del esfuerzo tangencial unitario obtenidos en 4.2 (esfuerzo unitario tangencial, cociente entre la

fuerza de rozamiento y el área de contacto del neumático, en kg/cm^2).

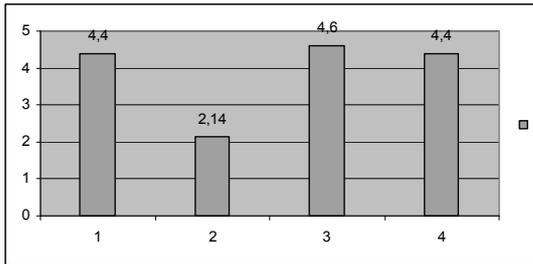


Figura 15. Esfuerzo tangencial unitario

- (1) Esfuerzo longitudinal unitario en pavimento bituminoso.
- (2) Esfuerzo transversal unitario en pavimento bituminoso
- (3) Esfuerzo longitudinal unitario en pavimento hidráulico.
- (4) Esfuerzo transversal unitario en pavimento hidráulico.

8. CONCLUSION

- a) En las figuras 6 a 14 (muestras M1, M3, M4, M5, M6 y M7) se observa que la resistencia interna o tensión de adherencia entre base y carpeta es inferior al esfuerzo longitudinal unitario (acción de la rueda del vehículo en pavimentos bituminosos e hidráulicos), figura 15; esto significa que hay posibilidades de corrimiento o bacheo de la carpeta.
- b) También se observa que en las muestra M9 y M10 no puede haber corrimiento puesto que las tensiones de adherencia son superiores a las tensiones de rozamiento.
- c) El tratamiento superficial sobre suelo cemento puede sufrir corrimiento o bacheo, aunque se utilice un mejorador de adherencia (piedra triturada); es el caso de las muestras M5 y M7 (figura 6 a figura 14).
- d) La falta de adherencia entre el suelo cemento compuesto por suelo fino y la capas de rodadura de pequeño espesor se debe al debilitamiento de la superficie del suelo cemento, base de apoyo de la carpeta, por una pérdida de cohesión de las partículas del suelo.

8) REFERENCIA

- 1) Universidad Politécnica de Cataluña, 1º Curso Internacional Intensivo de

Pavimentos Asfálticos, 2003, Barcelona, España, pp 724.

- 2) José Luís Escario, Caminos Tomo 1, 1967, Editorial Dossat, Madrid España, pp. 577.
- 3) 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.
- 4) Nicolás J. Garber- Lester A. Hoel, Ingeniería de Tránsito y Carreteras, 2005, Internacional Thomson Editores, Méjico, pp. 1170.

