

# CRITERIOS GEOTÉCNICOS BÁSICOS PARA AUMENTAR LA VIDA ESTRUCTURAL DE UN PAVIMENTO

Dr. Raúl Vicente Orozco Santoyo  
Dr. Miguel Pedro Romo Organista  
Dr. Víctor Torres Verdín

## RESUMEN

El comportamiento de la mayoría de las obras de ingeniería (por ejemplo, un pavimento) depende en gran medida de la firmeza de sus cimentaciones. De hecho este es el caso de la **capa de sub-base** construida con CCR (concreto compactado con rodillo). Puede concebirse como una zapata continua capaz de soportar las cargas del tránsito y transmitir las uniformemente a las capas de material subyacente.

Con el fin de evitar la propagación ascendente de grietas asociadas con el encogimiento del CCR, grava sana (tipo balasto de ferrocarril) debería ser usada para construir la **capa de base**. Adicionalmente, el material granular reduce el ruido del tránsito e inhiben el movimiento ascendente del agua capilar que, consecuentemente, aumentaría la capacidad estructural del pavimento. Esta disposición estructural resulta en un aumento significativo en la vida económica del pavimento.

La capa de base (grava) debe ser cubiertas por una capa de concreto asfáltico (**capa de rodamiento**), para proporcionar confort y seguridad a todos los vehículos.

En México, hay varios casos de pavimentos construidos con estos criterios geotécnicos básicos. En todos ellos, un equipo FWD (Deflectómetro de Impacto) se ha utilizado para la evaluación estructural no destructiva.

Algunos ejemplos de este tipo de pavimento se describen en este documento.

Este tipo particular de sección transversal para la estructura del pavimento fue denominada "Sección invertida" (PIS) de Romo y Orozco (1978, 1990), a fin de reflejar el hecho de que aumenta su capacidad estructural con la profundidad, a diferencia de las estructuras de pavimentos tradicionales (STP). En la figura 1 se muestra un esquema de la sección tipo PIS.

## 1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La peor pesadilla de los diseñadores de pavimento flexible es el agrietamiento de la capa asfáltica, con el tiempo debido a:

- a) Mal diseño de la mezcla
- b) Grietas de reflexión incontroladas, y
- c) Sección estructural deficiente

Recurriendo a los principios de geomecánica, Orozco (2005), concluyó que la mejor cimentación del pavimento se alcanza construyendo una losa continua de RCC (Concreto Compactado con Rodillo, con cemento Portland). Agrietamiento de contracción en la losa se desarrollaran similarmente como en el concreto hidráulico.

Para evitar la reflexión de las grietas en la losa hacia la capa de concreto asfáltico, es necesaria una capa de transición con material granular entre la capa de rodamiento y la losa. Como se mencionó anteriormente, el material utilizado para construir esta capa es similar a la del balasto del ferrocarril: grava muy gruesa sin arena ni finos. Como una alternativa, podría utilizarse escoria de fundición. Mientras más sana y dura sea la grava, el ángulo de fricción ( $\phi$ ) será más alto en esa capa. Cabe destacar el hecho de que la prevención de la reflexión de grietas desde la losa de CCR a la capa superficial de concreto asfáltico es, de acuerdo con la experiencia de los autores, la contribución benéfica más significativa de esa capa de grava.

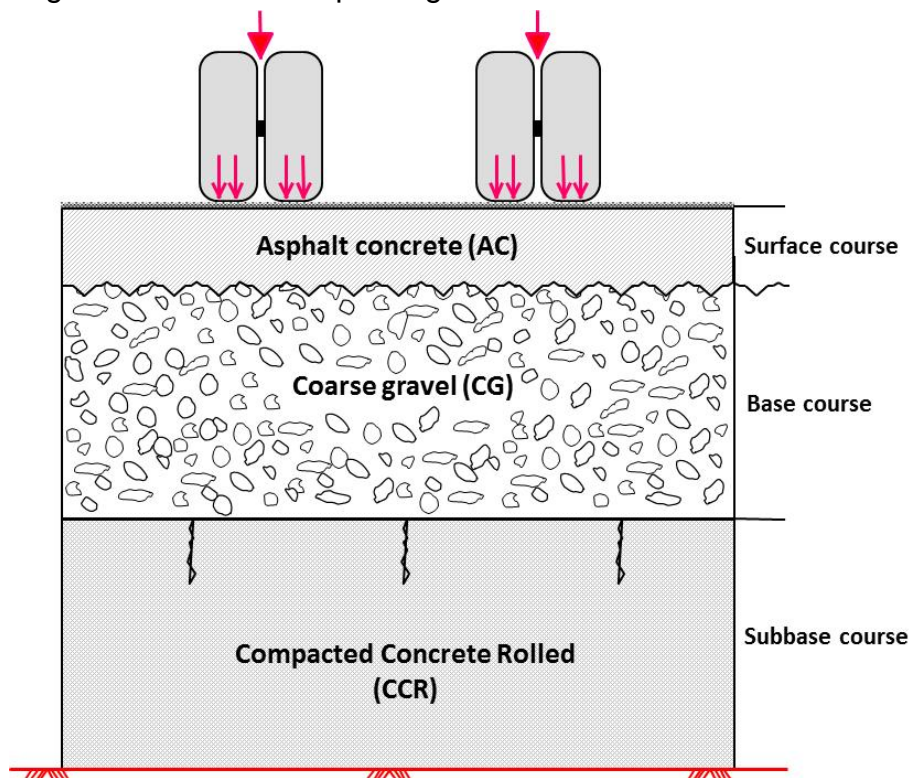


Figura 1 - Pavimento con "Sección Invertida" (PIS)

## 2. COMPARACIÓN ENTRE SECCIONES "INVERTIDA" Y TRADICIONAL

Para el comportamiento de la sección "invertida" en comparación con la tradicional, las simulaciones con los métodos mecanicistas son realizados (Ayala, 2010), como se ilustra en la figura 2, de acuerdo con las características del tránsito siguientes:

- Tránsito diario promedio de 10,000 vehículos
- Composición del tránsito: automóviles 10%, autobuses 60% y camiones 30%
- Tasa de crecimiento anual: 6%

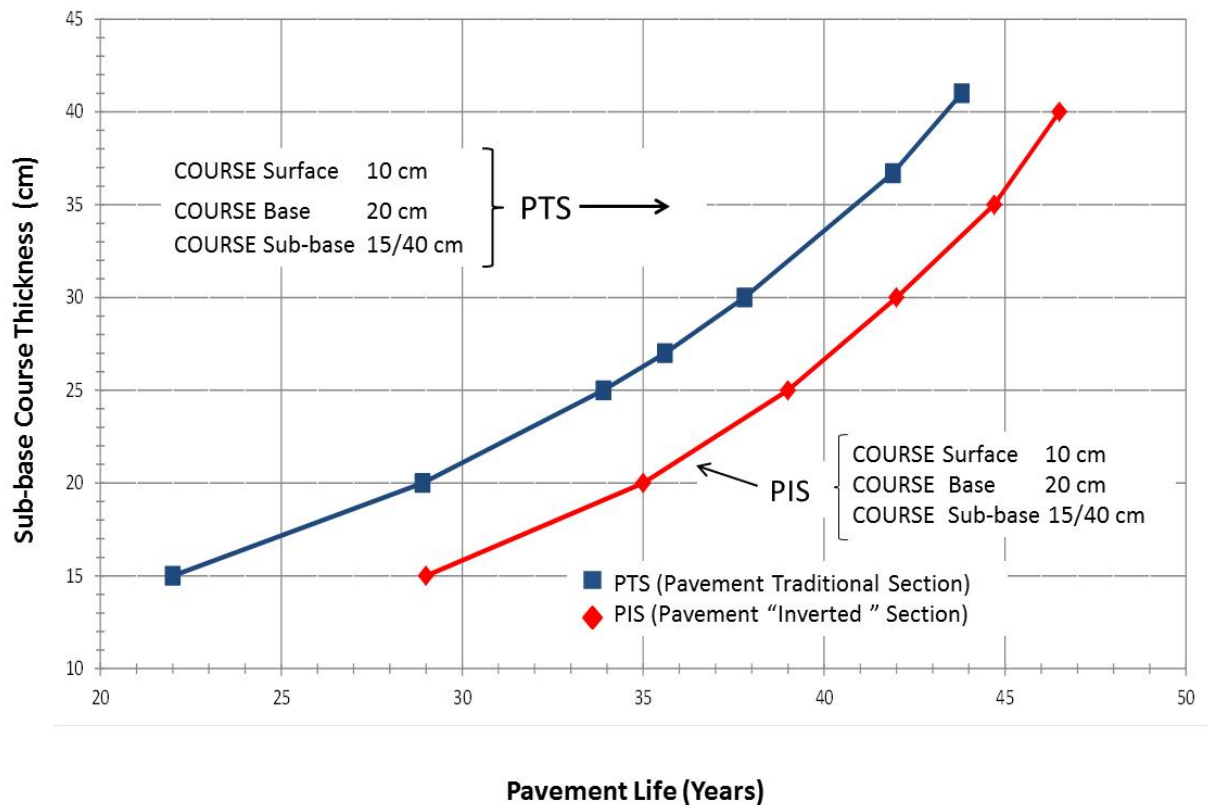


Figura 2 - Vida económica de la "sección invertida" con respecto a la tradicional

De la figura 2, es posible concluir que la vida útil del pavimento de la "sección invertida" (PIS) aumenta sobre la convencional (PTS) cuando la sub-base se construye con CCR.

### 3. CASOS DE APLICACIÓN

Un caso real cuando la estructura en el PIS se utilizó, se ilustra en la figura 3. Los datos fueron obtenidos de las pruebas de campo con equipo FWD (KUAB). Es evidente la importante reducción en la deflexión en el sensor 4 cercano a la aplicación de la carga. Sobre la base de estos resultados, se puede argumentar que si la deflexión se reduce a la mitad, entonces, a grandes rasgos, la vida del PIS sería tan grande como el doble de la STP.

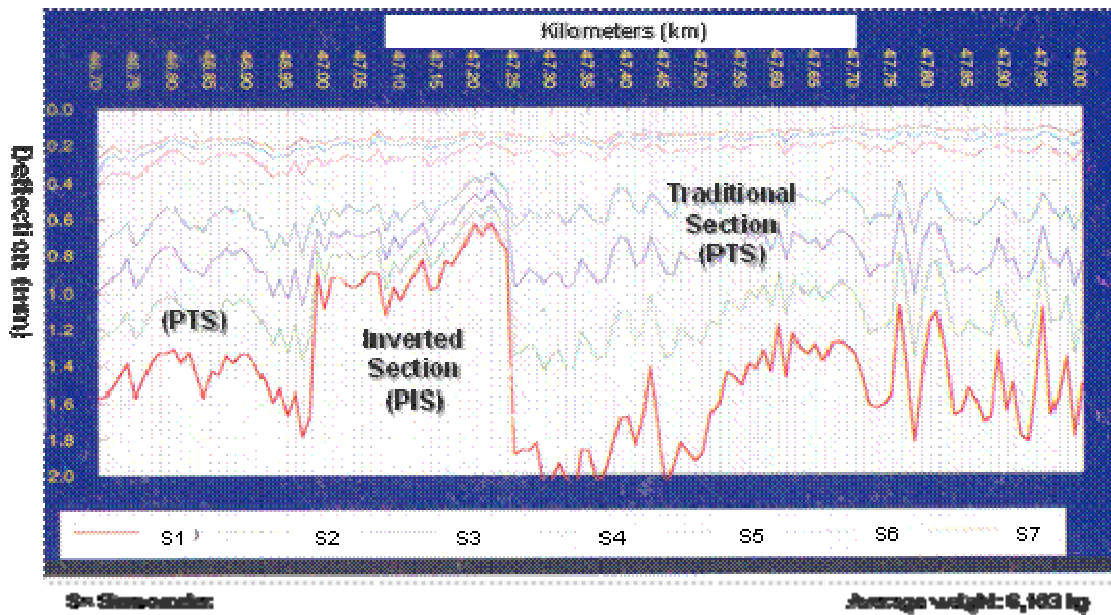


Figura 3 - Deflexiones con FWD (KUAB) en las secciones "invertida" y la tradicional

La información proporcionada en la figura 3 se obtuvo de las pruebas de campo con equipo FWD llevadas a cabo en la carretera Guadalajara-Colima. Las capas fueron construidas con especificaciones estrictas para conseguir la máxima compactación de las capas. El módulo de elasticidad correspondiente se obtuvo mediante retrocálculos (solución al problema invertido).

El término *compactación* es sinónimo de *concentración de sólidos*, o sea, el volumen de sólidos / volumen total del material. Por ejemplo, una barra de refuerzo tiene 100% de compactación (máxima concentración de sólidos); por el contrario, el aire tiene 0% de compactación (concentración de sólidos mínimo); la grava compactada y el concreto (de cemento Portland o asfalto), tiene compactaciones de 75 a 95% o más.

Hay varios casos en México, donde la sección PIS se ha comportado muy bien, espesores alrededor de 10 cm para la capa de rodadura, 20 cm en la capa de base y 30 cm en la de sub-base. Algunas de las ilustraciones de las etapas constructivas del PIS se presentan en las figuras 4 a 14.

- Carretera Tepic - Aguamilpa (central hidroeléctrica), Estado de Nayarit
- Ciudad de México - Carretera de Cuernavaca (nuevos carriles)
- Entronque a Cuautla, Carretera México - Cuernavaca
- Entronque Santa Martha, Carretera México - Puebla
- Avenida 20 de Noviembre, Xalapa, Veracruz
- Carretera México - Querétaro - Irapuato
- Plataforma de Operaciones, Aeropuerto de Durango
- Carretera Guadalajara - Colima
- Carretera Puebla-Orizaba

#### 4. CAPA DE CONCRETO ASFÁLTICO

El comportamiento de la capa de concreto asfáltico se mejora según los criterios siguientes:

- a) Se deben utilizar agregados duros, sanos y limpios, con buena adherencia al asfalto y excelentes propiedades petrográficas
- b) El grado de saturación de la mezcla (volumen de asfalto / volumen de vacíos) debe estar comprendido entre 75 y 85%
- c) La compacidad o concentración de sólidos (volumen de sólidos / volumen total) debe ser tal que asegure un Módulo Marshall ( $M_M$ ) de 700 a 1,000 kg/cm<sup>2</sup>
- d) El contenido de asfalto (peso del asfalto / peso de los sólidos) debe ser tal que, en combinación con la compacidad, asegure un  $M_M$  de 700 a 1,000 kg/cm<sup>2</sup>

Los valores  $M_M$  (Orozco Santoyo, RV y Torres Verdín, V, 1986) se pueden calcular con la ecuación siguiente:

$$M_M = \frac{S}{f \cdot t} \quad (1)$$

Donde:

- $M_M$  = Modulo Marshall
- S = Estabilidad
- f = Flujo de la muestra
- t = Espesor de la muestra

## 5. RECOMENDACIONES

Cuando sea necesario rehabilitar los pavimentos tradicionales para aumentar su capacidad estructural, se recomienda el siguiente procedimiento, a manera de ejemplo:

- a) Cortar el pavimento deteriorado (25 cm mínimo); se pulveriza y se mezcla *in situ*
- b) Añadir cemento Portland y agua; mezclar con el material homogeneizado indicado en a)
- c) Compactar todo el material previamente mezclados b); aplicar agua para curar la nueva capa, y
- d) Construir la capa de rodamiento convencional (concreto asfáltico)

Es importante asegurarse de que el control de calidad convencional durante la construcción del pavimento se ha cumplido en todo momento, para aceptar la geometría, los materiales, los acabados, el procedimiento constructivo, el módulo de elasticidad, los coeficientes de fricción, el IRI, etc.

## 6. ILUSTRACIONES



Figura 4 - Pavimento con "sección invertida". Aeropuerto de Durango.  
Carpeta asfáltica: 15 cm; capa de base 40 cm; sub-base: 30 cm



Figura 5 - Mediciones de deflexión con equipo FWD. Aeropuerto de Durango. Pavimento con "Sección Invertida"



Figura 6 - Elementos sólidos para el RCC (capa de sub-base).  
Carretera Guadalajara-Colima.  
Contenido de cemento Portland 10%; relación agua/cemento  $0,37 \pm 0,03$ ; módulo de elasticidad: 7,000 MPa. Grava triturada basáltica



Figure 7 - Elementos sólidos de la figura 6 más agua.  
Carretera Guadalajara - Colima



Figura 8 - Mezcla de los elementos del RCC de la figura 7.  
Carretera Guadalajara – Colima



Figura 9 - Compactación de la capa de base. Misma grava de la figura 6.  
Carretera Guadalajara - Colima



Figura 10  
- Capa de rodamiento de concreto asfáltico (10 cm).  
Carretera Guadalajara -



Colima

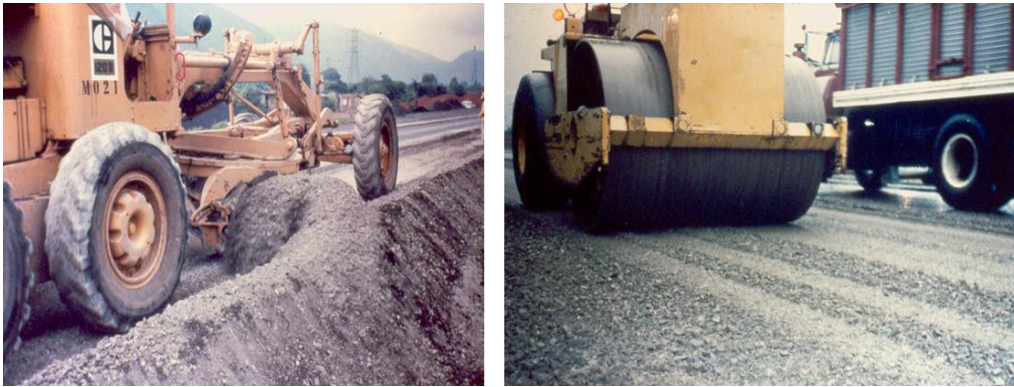


Figura 11 - Mezcla y compactación de las capas de sub-base (25 cm) y base (20 cm).  
Carretera Puebla - Orizaba



Figura 12 - Compactación del concreto asfáltico (10 cm) y vista de la “sección invertida”  
completa.  
Carretera Puebla – Orizaba



Figura 13 - Acabado final del pavimento con "sección invertida".  
Carretera México – Puebla



Figura 14 - Compactación del RCC (capa de sub-base) del pavimento con "sección invertida" Carretera Tepic - Aguamilpa.  
Contenido de cemento Portland: 10% cm; espesor: 25 cm. Aluvión de grava

## REFERENCES

- Ayala P, A R, 2010: Revisión de Métodos Mecanicistas para el Proyecto de Pavimentos, Centro de Estudios de Materiales (CEDEM), León, Guanajuato, México.
- Romo O, M P and Orozco-Santoyo R V, 1978: Aplicaciones del Método del Elemento Finito al Análisis de Pavimentos, IV Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería, A.C., Mérida, Yuc.
- Romo O, M P and Orozco-Santoyo R V, 1990: Rigidización de sub-bases. Un Nuevo Enfoque en el Diseño de Pavimentos Flexibles, XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, San Luis Potosí, SLP.
- Orozco-Santoyo R V, 2005: Evaluación de Pavimentos Flexibles con Métodos no Destructivos, Universidad Nacional Autónoma de México (Tesis Doctoral), México DF.
- Orozco-Santoyo R V and Torres-Verdín V, 1986: Criterio de Aceptación para Mezclas Asfálticas, XV Congreso Panamericano de Carreteras, México, DF.