



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"

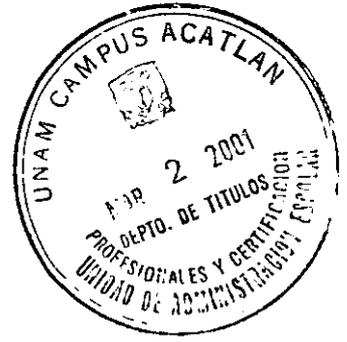
EVALUACIÓN DE LA TERSURA DE LA SUPERFICIE DE LA LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO MEDIANTE EL ÍNDICE DE PERFIL EN LA AUTOPISTA MÉXICO-QUERÉTARO: KM 94+000 AL 216+000

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE: INGENIERO CIVIL PRESENTA: JOSÉ LUIS FIGUEROA PARRA

290304

ASESOR DE TESIS: ING. MANUEL GÓMEZ GUTIÉRREZ

NAUCALPAN, MÉX. NOVIEMBRE, 2000





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE

## ÍNDICE

|   | Página |
|---|--------|
| <b>Introducción</b> .....                                     | 5      |
| <b>CAPÍTULO 1</b>   |        |
| <b>Antecedentes</b> .....                                     | 16     |
| 1.1 Tersura de la Superficie de Rodamiento.....               | 16     |
| 1.1.1 Implementación de Normas.....                           | 17     |
| 1.2 La Rugosidad.....   | 18     |
| 1.3 Equipo de Medición del Perfil.....                        | 20     |
| 1.3.1 Perfilógrafo de California.....                         | 21     |
| 1.3.2 Perfilógrafo de Texas (Rainhart).....                   | 22     |
| <b>CAPÍTULO 2</b>   |        |
| <b>Impactos Antes y Durante el Proceso Constructivo</b> ..... | 26     |
| 2.1 Antecedentes del Proyecto.....                            | 26     |
| 2.2 Impacto del Proyecto.....                                 | 33     |
| 2.2.1 Bases/Subbases.- Trackline.....                         | 34     |
| 2.2.2 Alineamiento.....                                       | 36     |
| 2.2.3 Cálculo del Nivel y Estacado.....                       | 38     |
| 2.2.4 Objetos Empotrados.....                                 | 38     |
| 2.2.4.1 Rizado.....   | 39     |
| 2.2.4.2 Falta de Consolidación.....                           | 39     |
| 2.2.4.3 Rebote.....   | 39     |
| 2.2.4.4 Represado.....  | 40     |
| 2.2.5 Mezcla de Concreto.....                                 | 40     |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.3 Impactos de Construcción.....                         | 41        |
| 2.3.1 Línea Guía.....                                     | 41        |
| 2.3.2 Control de la Mezcla de Concreto.....               | 42        |
| 2.3.3 Operación de la Máquina Pavimentadora.....          | 43        |
| 2.3.4 Acabado y Mano de Obra.....                         | 45        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b>   |           |
| <b>Índice de Perfil.....</b>                              | <b>48</b> |
| <br>  |           |
| 3.1 Medición del Perfil.....                              | 48        |
| 3.1.1 Operación del Perfilógrafo.....                     | 49        |
| 3.1.1.1 Preparación del Perfilógrafo.....                 | 49        |
| 3.1.1.2 Ubicación del Perfil.....                         | 49        |
| 3.1.1.3 Velocidad de Operación.....                       | 51        |
| 3.1.1.4 Medición.....                                     | 51        |
| 3.1.2 Calibración del Perfilógrafo.....                   | 53        |
| 3.2 Reducción del Trazo.....                              | 54        |
| 3.2.1 Línea de Perfil.....                                | 54        |
| 3.2.2 Localización de Protuberancias "Por Desbastar"..... | 55        |
| 3.2.3 Uso de la Banda Blanca.....                         | 58        |
| 3.2.3.1 Banda Blanca.....                                 | 58        |
| 3.2.3.2 Posición.....                                     | 58        |
| 3.2.3.3 Registro de Ondas.....                            | 61        |
| 3.2.3.4 Longitud Horizontal del Trazo.....                | 64        |
| 3.2.4 Cálculo del Índice de Perfil.....                   | 65        |
| 3.3 Tersura Admisible.....                                | 66        |
| 3.4 Pago de Incentivos.....                               | 67        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b>   |           |
| <b>Evaluación de la Superficie de Pavimento.....</b>      | <b>74</b> |
| <br>  |           |
| <b>Conclusiones.....</b>                                  | <b>86</b> |
| <br>  |           |
| <b>Glosario.....</b>                                      | <b>91</b> |
| <br>  |           |
| <b>Bibliografía.....</b>                                  | <b>96</b> |
| <br>  |           |
| <b>ANEXO 1.- Gráficas del Índice de Perfil</b>            |           |

## **INTRODUCCIÓN**

## INTRODUCCIÓN

Una de las arterias más importantes de comunicación con que cuenta el País es sin duda la carretera que une las ciudades del Distrito Federal con Querétaro, ya que es el punto de enlace de los estados que conforman la región del Bajío, así como los estados de Occidente, Norte del país y la región sur de los Estados Unidos de Norte América.

Debido a la importancia que tiene este tramo carretero, en los últimos años ha visto rebasada su capacidad de servicio, estimándose que en la actualidad el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) que circula por él, es del orden de 40,500 vehículos, de los cuales aproximadamente el 40% es de carga pesada, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Dirección General de Carreteras Federales (DGCF) y Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), sé vieron en la necesidad de modernizar y ampliar el tramo carretero antes mencionado.

La autopista esta dividida en dos tramos; el primero que va de la Cd. de México a Palmillas, abarcando del km 33+000 al km 156+000 con una longitud de 123.0 km y es operado por CAPUFE. Como es una carretera de peaje, los trabajos de mantenimiento del camino son más frecuentes, por tal motivo, para la modernización del camino se contempló en la ampliación de un tercer carril a lo largo de todo su tramo.

El segundo tramo, a cargo la SCT, va de Palmillas a Querétaro, del km 156+000 al km 216+000; esta localizado en el Estado de Querétaro y tiene una longitud de 60.6 km en dos cuerpos.

Cabe mencionar, que éste último tramo, es una autopista con aproximadamente 35 años de servicio, donde las condiciones de operación y de carga de los vehículos que prevalecían en aquellos tiempos eran muy diferentes a las que actualmente existen. Conforme ha pasado el tiempo, el avance tecnológico de los vehículos (vehículos más rápidos y con mayor capacidad de remolcar carga), a sobrepasado la capacidad de servicio del camino.

Para tal suceso, se contempló para la modernización de la autopista (por parte de la SCT), en el reforzamiento estructural del camino, para poder soportar el incremento de las cargas de los vehículos, por medio de un pavimento de concreto hidráulico con losa de un espesor de 30 cm, además en ampliar la actual superficie de rodamiento (ancho de corona), en ambos cuerpos de 10.50 m a 15.0 m, para alojar tres carriles de circulación, así como un camellón central con jardinera, incluyendo la corrección del alineamiento horizontal de aquellas curvas con alto grado de riesgo para el usuario.

Para la modernización del camino, la SCT se preocupó también por darle la atención debida al acabado de la superficie de rodamiento del camino construido, ya que se ha demostrado mediante estudios realizados por varios organismos de los Estados Unidos de Norte América, que un pavimento menos rugoso proporciona un incremento considerable en soportar las cargas vehiculares, un mejor servicio al usuario, y por consiguiente, tendrá una vida mayor de servicio del camino.

El tema principal de este trabajo es precisamente el determinar la tersura o rugosidad de la superficie de un camino a través del método del Índice de Perfil. Con éste método, se puede llevar un control adecuado y corregir oportunamente cualquier anomalía presentada durante el proceso de construcción y/o tendido de un pavimento.

Por otro lado, se pretende establecer una guía y un ejemplo práctico en la utilización y manejo del Índice de Perfil, tomando como ejemplo el tramo Palmillas – Querétaro, del km 195+000 al km 216+000 y utilizando un dispositivo de nombre perfilógrafo del tipo de Rainhart (Texas).

En el Capítulo 1 se describirá el concepto de tersura o rugosidad y la importancia que esta conlleva sobre la superficie de un pavimento. También se hará mención de los antecedentes de la implementación del método del Índice del Perfil y los dos equipos más utilizados (Texas y California) que existen para poder evaluar la tersura de la superficie del camino.

En el Capítulo 2 se describirán las principales consideraciones que deben de tomarse en cuenta antes y durante el proceso constructivo y los impactos que puedan causar en el acabado de la superficie de rodamiento.

Antes de la descripción proceso constructivo, se hablará de la importancia de diseñar una buena estructura de pavimento, contar con un buen alineamiento topográfico y los efectos negativos que puedan producir los elementos empotrados en la losa de concreto hidráulico al registrar y evaluar el Índice del Perfil.

Durante la descripción del proceso constructivo, se destacarán los puntos más importantes como lo son: una adecuada colocación de la línea guía para la utilización de sensores en la máquina pavimentadora, un buen control de calidad en la producción de la mezcla de concreto hidráulico, una eficiente y correcta operación de la máquina pavimentadora, acabado adecuado y mano de obra calificada.

En el Capítulo 3, se analizará el método de cálculo del Índice del Perfil utilizando el perfilógrafo de Reinhart (Texas), desde la preparación, operación y manejo del equipo, así como la interpretación de las gráficas obtenidas y todos los elementos que la componen.

En el último capítulo (Capítulo 4), se evaluarán ocho subtramos representativos de la obra, donde se muestran las gráficas obtenidas por el perfilógrafo de Texas y su análisis correspondiente, tomando como inicio el tramo más deformado de la obra hasta llegar a los mejores resultados obtenidos durante los trabajos realizados.

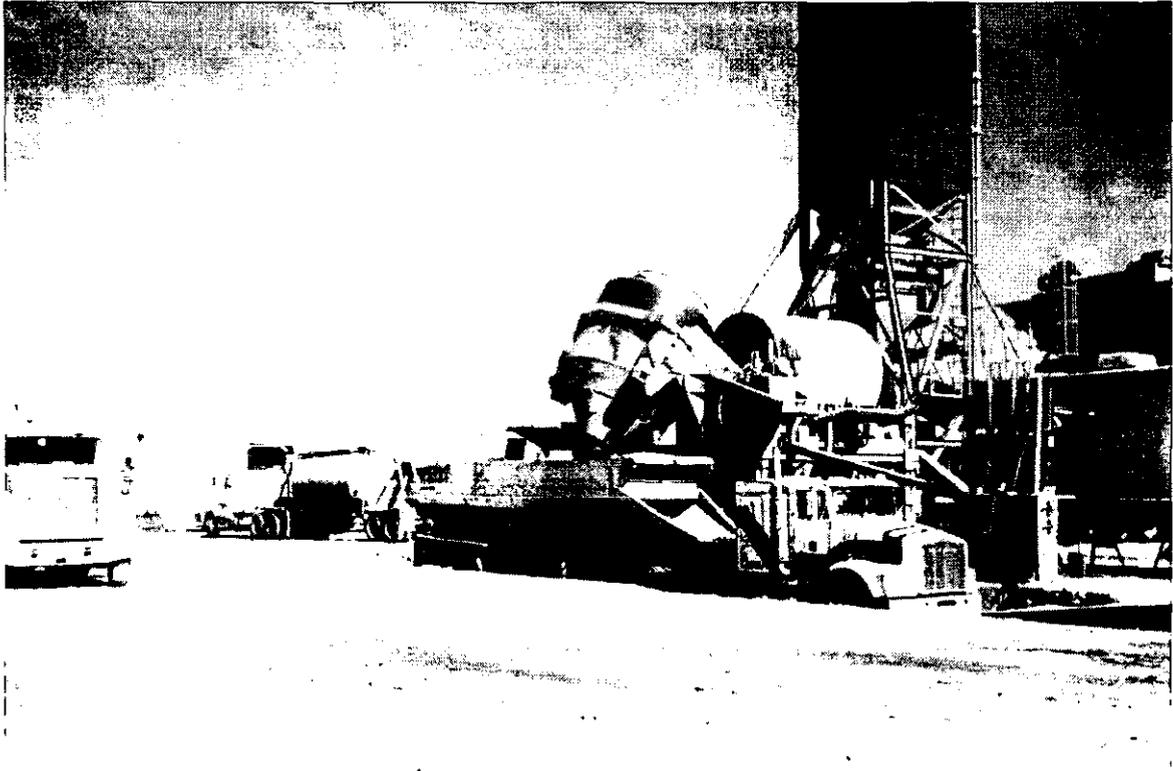
Conjuntamente se mostrarán los resultados del Índice del Perfil y una tabla correspondiente a las sanciones o bonificaciones que le fueron sujetas la constructora en función de los lineamientos marcados por la SCT.

Para poder comprender algunas cuestiones técnicas que se manejan en este trabajo durante el desarrollo del proceso constructivo del tendido de una losa de concreto hidráulico, será necesario mencionar los pasos que se siguieron, así como los equipos que se emplearon, en el tramo carretero de Palmillas – Querétaro del km 195+000 al 216+000.

Una vez efectuadas las adecuaciones, que consistieron en ampliar los cuerpos de circulación, modificación de alineamiento horizontal y vertical de la superficie donde se colocó el concreto, la superficie estaba perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto hidráulico. Posteriormente se fijaron unas canastillas para sostener las barras de pasajuntas.

Las barras de pasajuntas son barras de acero de 1½" de diámetro y 46 cm de longitud, colocadas longitudinalmente al camino y separadas entre sí a 0.30 m, que sirven para la transferencia de carga entre losas adyacentes.

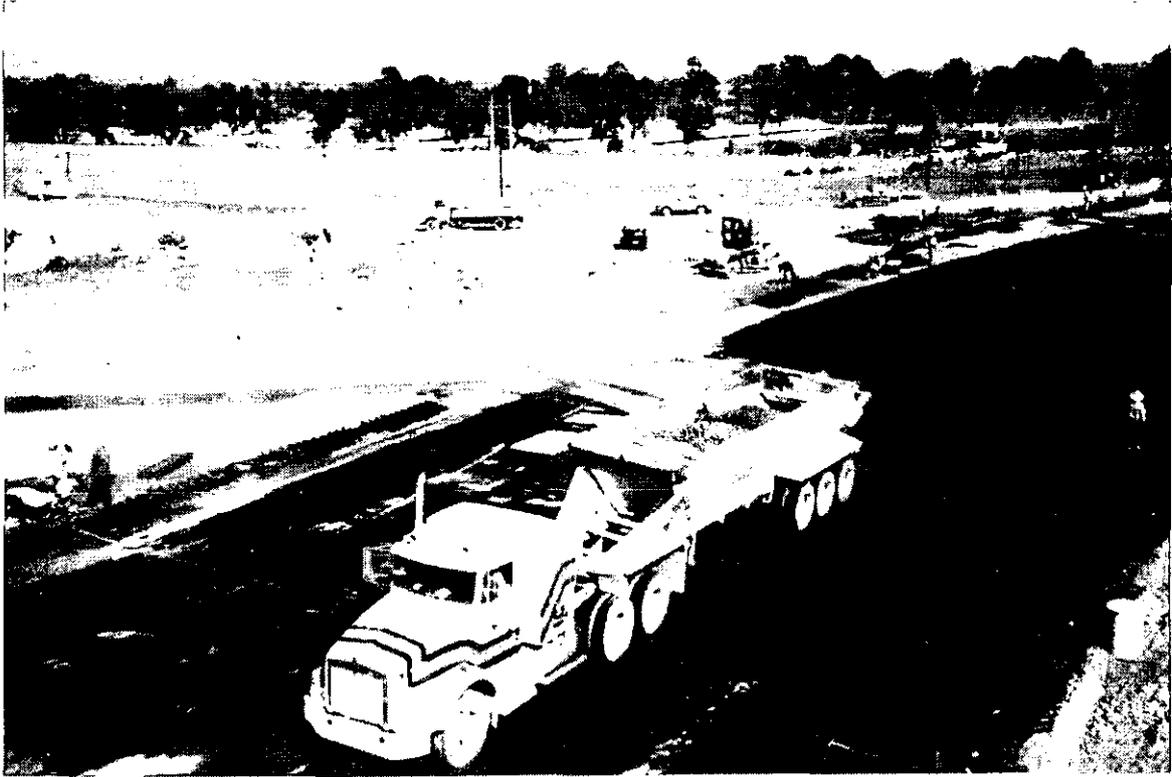
La mezcla de concreto hidráulico fue elaborada en una planta, produciendo 7 m<sup>3</sup> por cada ciclo de mezclado (incorporación de cemento, agregados, agua y aditivos) cuyo tiempo de duración de cada ciclo fue de 1:15 minutos en promedio. El concreto alcanzaba una resistencia a la tensión por flexión mínimo de 48 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días para poder soportar las cargas dinámicas del tránsito de los vehículos pesados y con un revenimiento de 4 cm al momento de su colocación; nunca debería ser menor de 2.5 cm ni mayor de 6 cm (figura 1).



*Figura 1.- Planta productora de concreto hidráulico*

La mezcla fue transportada en camiones especiales denominados Flowboy, con capacidad de  $14 \text{ m}^3$  cada uno y tenían la cualidad de que en el interior de su contenedor dispone de una banda transportadora el cual facilitaba el depósito de la mezcla al pie del la máquina pavimentadora y con una caída libre de la banda al piso de 1.30 m evitando así la segregación del material. Figura 2.

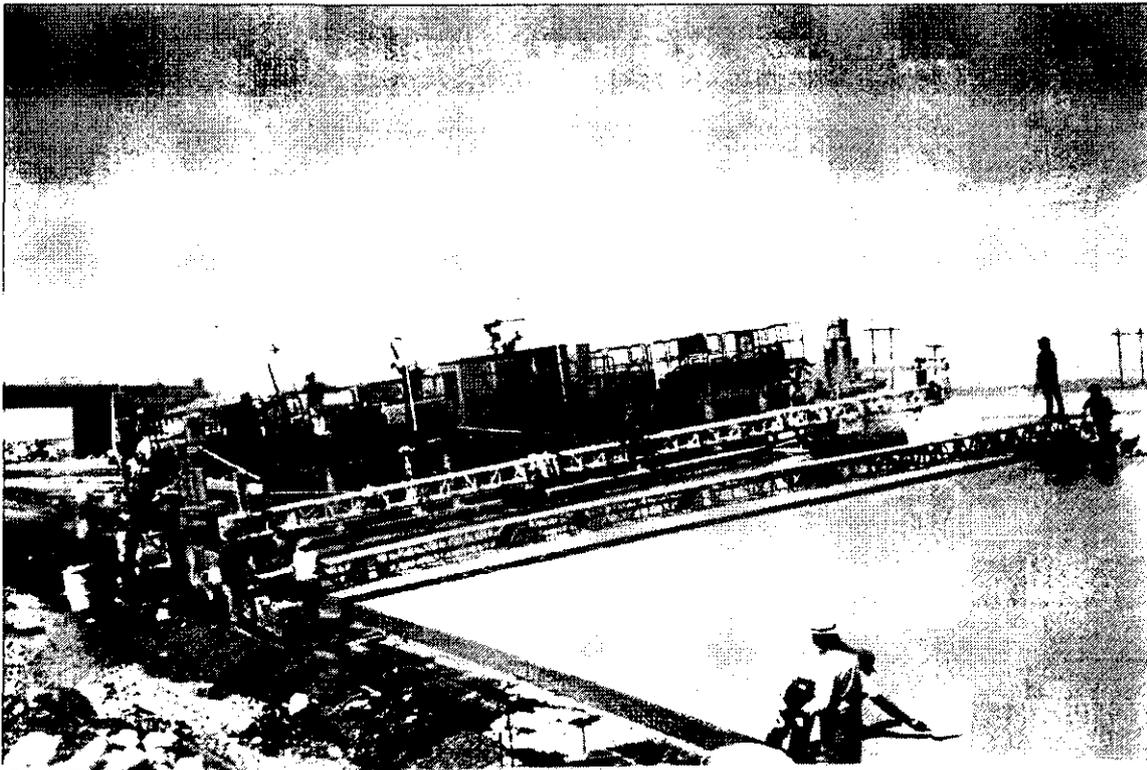
El tiempo considerado para la mezcla de concreto hidráulico desde su elaboración en la planta de concreto hidráulico hasta su colocación y compactación, no era permitido que transcurriera más de 30 minutos.



*Figura 2.- Camiones "Flowboy" colocando la mezcla de concreto hidráulico al pie de la máquina pavimentadora*

El equipo utilizado para esparcir, consolidar y dar forma al concreto fresco fue a través de una extendidora (pavimentadora) de concreto hidráulico marca GOMACO 4000 autopropulsado sobre orugas; cuenta con cimbras deslizantes laterales de una altura de 0.30 m y una cimbra enrasadora de 15.0 m. El equipo dispone de cuatro sensores de nivel y una hilera de vibradores de inmersión, en la parte intermedia de las cimbras deslizantes, para darle una consolidación adecuada al concreto (figura 3).

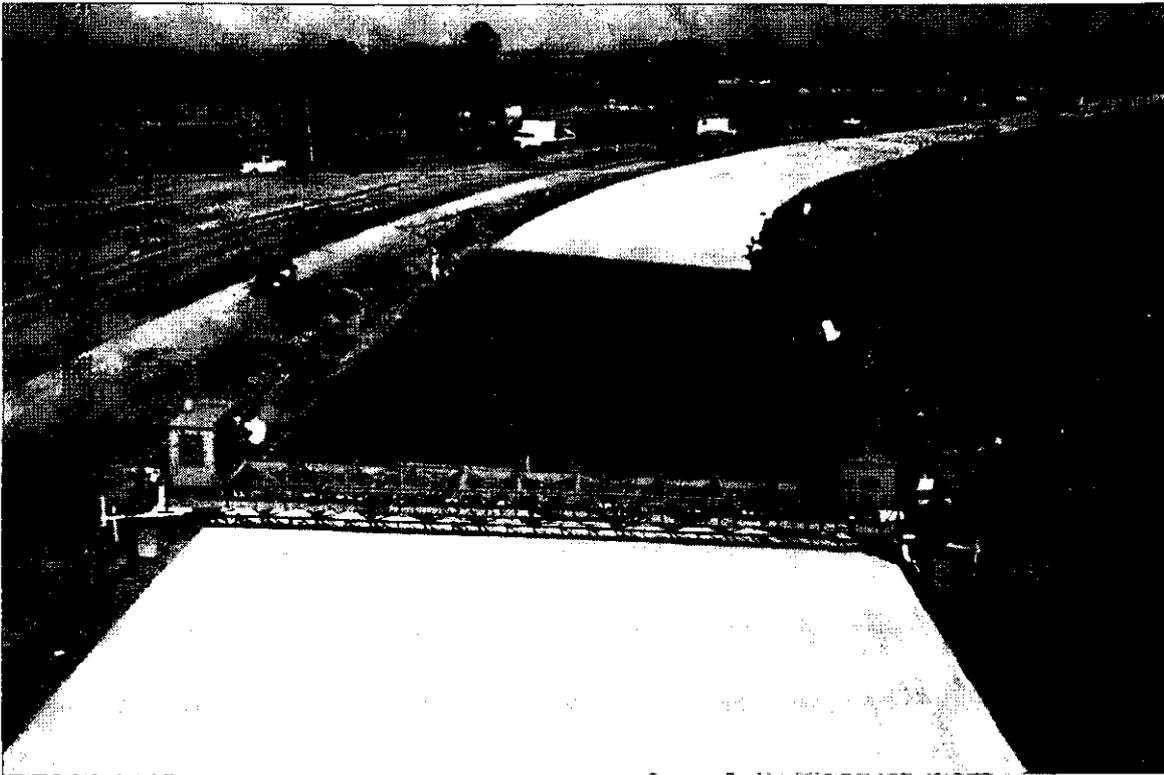
Para dar un acabado superficial al concreto recién colado primeramente se empleó una llana mecánica fijada en la parte posterior del equipo de pavimentación, posteriormente se arrastra sobre la superficie una tela de yute. Finalmente, se realizó un texturizado transversal, para dar adherencia a los neumáticos de los vehículos sobre la superficie de concreto, mediante un equipo texturizador que contaba con una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de 20 mm con una capacidad de hacer una penetración promedio de 4.5 mm, con  $\pm 1.5$  mm de tolerancia.



*Figura 3.- Equipo de tendido de concreto hidráulico marca GOMACO 4000*

Inmediatamente después del acabado final de texturización y cuando el concreto empezó a perder su brillo superficial, se procedió a realizar el proceso de

curado, el cual consiste en el riego de una membrana impermeable para evitar la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. Su aplicación se realizó con unos irrigadores mecánicos a presión que se encuentran fijados en el equipo de texturizado (figura 4).



*Figura 4.- Equipo de texturizado superficial y colocación de la membrana de curado*

Después del curado de la losa se procedió al corte de las juntas transversales, para luego seguir con los cortes longitudinales, utilizando una cortadora de disco de diamante (figura 5). Estos cortes se realizaron cuando el concreto presentó las condiciones de endurecimiento propicias para la ejecución y antes de que se produjeran agrietamientos no controlados.



*Figura 5.- Cortadoras de disco realizando los cortes sobre las juntas transversales y longitudinales*

Con este último punto se terminan los trabajos de colocación de una losa de concreto hidráulico, tomando en cuenta que el constructor tomó las medidas necesarias para proteger la superficie de la losa contra accidentes de origen climático, de herramientas o del paso de equipo o seres vivos.

**CAPÍTULO 1**  
**ANTECEDENTES**

## CAPÍTULO 1

### ANTECEDENTES

#### **1.1 TERSURA DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO**

El usuario que utiliza un camino se da cuenta de la calidad de manejo al transitarlo. Esto ha sido cierto desde que los primeros pavimentos fueron construidos y es especialmente cierto hoy en día. La sensibilidad del público a las rugosidades del camino se ha incrementado en recientes años, debido a que muchos de los vehículos han sido diseñados más ligeros y con distancias entre ejes más cortos.

Para satisfacer las demandas de los conductores y su deseo por que existan pavimentos lo menos rugosos posibles, los proyectistas y constructores juegan un papel muy importante para lograr satisfacer dichas demandas.

La construcción de pavimentos tersos es de interés público. Bien construido, un pavimento de concreto terso funcionará mejor que un pavimento construido inicialmente con un perfil rugoso.

Soportará más cargas y dará utilidad por más tiempo. Esto se puede demostrar fácilmente usando las ecuaciones de diseño de pavimentos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para predecir la capacidad o volumen de tránsito pesado.

Cualquier capacidad extra (incrementar el valor de la infraestructura) es llamada "Valor Agregado" y es recomendable un pago de incentivos bajo condiciones serias, para aumentar la calidad de manejo y consecuentemente la capacidad para soportar cargas; este párrafo será discutido más a detalle en el Capítulo 3, en la sección de Pago de Incentivos.

### **1.1.1 IMPLEMENTACIÓN DE NORMAS.**

Los pavimentos de concreto se pueden construir más tersos que cualquier otro sistema de pavimento. Esto se ha reconocido recientemente en muchas partes de los Estados Unidos, ya que el interés por el desarrollo de la tersura del pavimento ha conducido a incrementar la implantación de especificaciones de manejo.

Hubo poca uniformidad en las especificaciones de manejo antes de la década de 1980. Esto impulsó a la AASHTO a desarrollar un modelo de especificaciones en 1981.

La Asociación Americana de Pavimentadores de Concreto (ACPA) ha sido un impulsor de las especificaciones de manejo y ha motivado su uso con las agencias gubernamentales y miembros de la Asociación desde 1980.

En México se ha tratado de implementar diferentes métodos y especificaciones para determinar la rugosidad de un camino a través de dependencias de gobierno como la SCT con el Índice del Perfil (IP) y Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

## **1.2 LA RUGOSIDAD**

Podemos definir la rugosidad como: "las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, misma que afecta la dinámica del vehículo, la calidad de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino". Es el resultado de la variabilidad de la subrasante, sub-base, sistemas de construcción, equipo empleado, operadores y muchos otros factores. Todos estos factores hacen virtualmente imposible construir a la perfección una tangente vertical proyectada como un trazo recto, o una curva a lo largo de un arco, perfectamente terso.

En la mayoría de los casos, se le forma rugosidad a un pavimento en todo su ancho. Muy pocas veces se hace que varíe la rugosidad en una porción de este ancho. Esto se entiende fácilmente ya que el equipo de pavimentación cuenta con una cimbra deslizante y el terminado del pavimento esta determinado con una altura, fijada por la compuerta de la cimbra, además cuenta con un escantillón (regla o plantilla para fijar dimensiones) el cual determina el espesor del concreto a través de todo el ancho del pavimento.

Afortunadamente, no es necesario garantizar que el perfil de la superficie sea perfecto, simplemente se requiere reducir los desplazamientos verticales (rugosidad) a un nivel tolerable. La tolerancia dependerá del propósito del

pavimento a ser construido. Los aviones comerciales tienen distancias entre ejes y ruedas significativamente más grandes que los automóviles o camiones. Por lo tanto, ellos son afectados más por desplazamientos de onda larga que los vehículos pequeños. Por el contrario, los automóviles y camiones son más susceptibles a pequeños desplazamientos en espacios cortos.

La rugosidad no es la textura superficial del pavimento de concreto terminado. La textura superficial está influenciada por el tipo, granulometría y forma del agregado utilizado en la mezcla del concreto, la calidad de acabado, y el desplazamiento y/o profundidad de la rastra de alambre o el dentado realizado con el equipo de texturizado. Generalmente la textura no influye en el manejo sobre un pavimento. Esta tiene impacto en la resistencia al derrapamiento. En ciertos casos la textura puede ser vista en el trazo del perfilógrafo. En el caso de la profundidad del dentado, la textura puede presentarse como la mostrada en la Figura 1.1.



*Figura 1.1.- Texturizado típico desarrollado por la profundidad del dentado.*

### **1.3 EQUIPO DE MEDICIÓN DEL PERFIL.**

En la década de 1920, la regla de 3 m (10 pies) tuvo su primer uso para detectar protuberancias en los pavimentos de concreto. En esos años proporcionó un adecuado control debido a que la producción era mucho más lenta y los anchos de pavimentación eran a menudo menores que 3.65 m (12 pies). El supervisor podía tomar un número suficiente de muestras para caracterizar la calidad de la superficie y eliminar las protuberancias en el pavimento. Actualmente en México es utilizada la regla de 3 m, al igual que algunos Estados de la Unión Americana.

La producción se incrementó substancialmente (arriba de 3.20 km/día), lo que hizo que ya no fuera posible tomar una cantidad suficiente de mediciones utilizando la regla de 3 m. Como resultado, la rugosidad pasó desapercibida.

Otros aparatos para la medición del perfil han sido inventados y utilizados. Varios son remolcados por vehículos y pueden obtener el perfil a velocidades altas. Los equipos de perfil fijados a vehículos producen excelentes resultados y son fomentados para su empleo en sistemas de administración de pavimentos. Sin embargo, los aparatos remolcados por vehículos solo pueden operar sobre mezclas de concreto convencional varios días después de la pavimentación.

El equipo antes mencionado no proporciona resultados al contratista con el suficiente tiempo para hacer ajustes en el proceso de pavimentación que mejoren el perfil. Por lo tanto, este equipo no es efectivo en el control de calidad para la medición de la rugosidad.

### 1.3.1 PERFILÓGRAFO DE CALIFORNIA

El perfilógrafo de California puede ser operado tan pronto como el pavimento permita caminar por encima de él. Generalmente esto es posible de 4 a 6 horas después de ser colocado el concreto convencional del pavimento.

El perfilógrafo tiene una armadura de aluminio de 7.62 m (25 pies) de longitud, 1.07 m (42 pulg) de alto y un peso del orden de 204.12 kg (450 libras). Puede desmontarse y transportarse en una camioneta o vagoneta. Es simple de operar y proporciona un registro permanente del perfil del pavimento, de manera que se facilita la localización de protuberancias individuales y áreas que requieren corrección.

Un factor muy importante es que los resultados son repetibles. No se pueden presentar errores por cambios de operadores o de dirección de recorrido.

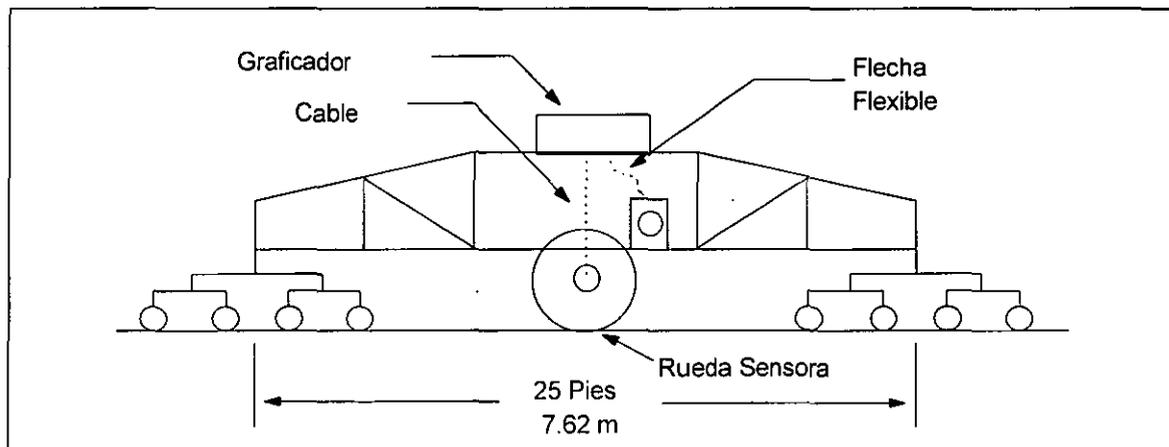


Figura 1.2.- Perfilógrafo de California.

El perfilógrafo es una regla rodante. Mide las variaciones verticales procedentes de un movimiento de 7.62 m (25 pies) del plano de referencia (Figura 1.2). Una rueda sensora localizada al centro de la armadura se mueve libremente en la dirección vertical. Las desviaciones del plano de referencia (armadura del perfilógrafo) son registrados sobre un papel por el movimiento de la rueda sensora. El perfil registrado es llamado trazo del perfilógrafo y es dibujado a una escala de 1:300 (una pulgada igual a 25 pies) horizontalmente y de 1:1 verticalmente (en pulgadas).

### **1.3.2 PERFILÓGRAFO DE TEXAS (RAINHART)**

El modelo Rainhart funciona con los mismos principios que el perfilógrafo de California. La principal diferencia entre los dos aparatos es la manera en la cual el equipo establece su plano de referencia. En el Rainhart la sección del plano está apoyada por un grupo de 12 ruedas espaciadas igualmente a lo largo de la armadura (figura 1.3). El movimiento vertical de cualquier rueda produce una variación en la sección del plano de 1/12 de la magnitud de la desviación vertical. El perfilógrafo de California es apoyado solamente por ruedas a cada extremo de la armadura. Las protuberancias resultan con mayor desviación (1/8 de magnitud) de la sección del plano a causa del movimiento de las ruedas de soporte.

El perfilógrafo de Rainhart tiene una longitud total de centro de rueda a rueda de 6.40 m (20' 3"), una altura de 1.22 m (4 pies) y un peso (incluyendo el graficador) de 213.2 kg (470 lb).

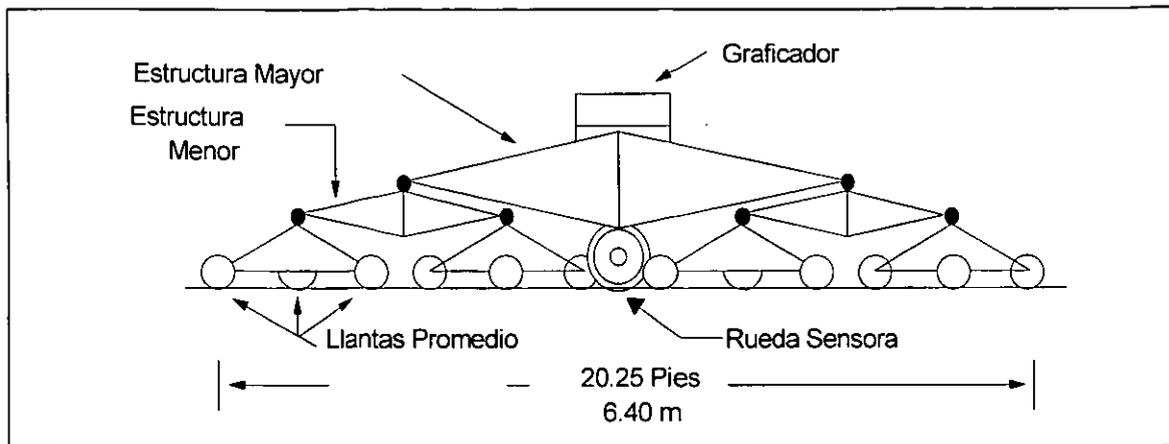
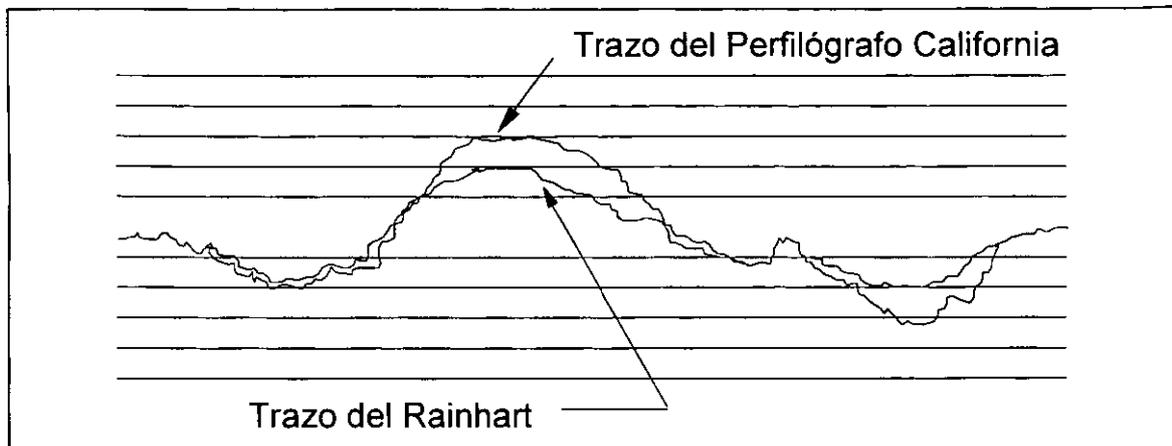


Figura 1.3.- Perfilógrafo Rainhart.

Los resultados de la prueba (Índice de Perfil) producidos por cada aparato no son idénticos. Ambos perfilógrafos dan trazos similares para iguales secciones del camino, pero el modelo California obtiene desviaciones más grandes que el Rainhart (Figura 1.4).

En estudios efectuados por el Instituto de Transporte de Georgia, USA, se determinó que no existe correlación entre los resultados de los dos aparatos. Esto puede ser de confusión si el equipo equivocado es utilizado para una especificación. Por lo tanto, es imperativo que las especificaciones de manejo indiquen que tipo de equipo debe usarse.



*Figura 1.4.- Diferencia en los trazos producidos por los equipos. Note como los trazos son muy similares para una pequeña desviación, pero el perfilógrafo California produce una mayor magnitud en las protuberancias.*

Por tal motivo, para efectos de este trabajo, en lo sucesivo al referirse como "perfilógrafo" se referenciará al perfilógrafo Rainhart (Texas), así como las especificaciones que conllevan.

**CAPÍTULO 2**  
**IMPACTOS ANTES Y DURANTE**  
**EL PROCESO CONSTRUCTIVO**

## CAPÍTULO 2

# CONSIDERACIONES ANTES Y DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

El conocer las características del proyecto del pavimento es fundamental para poder eliminar la rugosidad sobre la superficie de rodamiento. Las características del diseño, tales como las diferentes capas del pavimento, el alineamiento vertical y horizontal, y una mezcla uniforme de concreto hidráulico pueden influir en un grado de tersura aceptable.

Sin embargo, el hecho de que estas características de diseño repercutan en un pavimento de concreto se ha venido resolviendo mediante la implementación de especificaciones.

### **2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO**

Como se mencionó en los párrafos anteriores, es necesario conocer las características del proyecto, así como del proceso constructivo de los trabajos de

pavimentación, por tal motivo, se describirá de manera general el proceso constructivo del tramo propuesto para este trabajo.

En primer lugar, se efectuaron modificaciones de alineamiento tanto vertical como horizontal de los cuerpos en servicio, así como los anchos.

Se contempló una ampliación de aproximadamente 7.0 m desde los hombros exteriores de los cuerpos originales para formar una sección con un ancho de corona de 15.0 m en cada cuerpo. Dicha sección alojará tres carriles de circulación de 3.50 m de ancho; acotamiento interior de 1.50 m y acotamiento exterior de 3.00 m de ancho.

Por otro lado, para evitar las molestas innecesarias a los usuarios fue necesario primeramente construir las ampliaciones proyectadas de pavimento, obras de drenaje y obras complementarias en su totalidad para desviar por ellas el tránsito y así mantener una circulación permanente de los vehículos durante su ampliación.

El pavimento considerado será del tipo rígido de concreto hidráulico con pasajuntas, con un espesor de 0.30 m y un bombeo del 2% hacia el acotamiento exterior para proporcionar un drenaje adecuado.

Las capas de terracerías fueron conformadas por una capa de terraplén de espesor variable, seguida con una capa de transición (subyacente) de espesores que van de 0.20 m a 0.50 m, y terminando con una capa de subrasante de 0.30 m de espesor.

Para las capas de pavimento se tuvo que considerar en dos partes, una para la ampliación exterior de 7.0 m en los cuerpos actuales y otro en la rehabilitación del cuerpo existente.

Para el caso de la ampliación, sobre la capa de subrasante se construyó una capa de base hidráulica de 0.12 m de espesor; sobre esta capa terminada le siguió una capa de base estabilizada con el 4% de cemento portland con un espesor de 0.18 m y por último se construyó una carpeta de concreto asfáltico de 0.05 m de espesor en todo el ancho de la base estabilizada para llegar al nivel de desplante de la losa de concreto hidráulico.

Terminados los trabajos de terracerías y la construcción de la base hidráulica, base estabilizada y carpeta de concreto asfáltico en la ampliación del cuerpo actual, se redireccionó al tránsito por esta ampliación para posteriormente continuar con el reacondicionamiento del pavimento existente mediante la ejecución de los siguientes trabajos.

Bacheo.- En los sitios donde el pavimento se encontró dañado, se realizó bacheos superficiales a bacheos profundos del orden de 0.30 m de profundidad.

Fresado.- Dicha actividad se realizó con la finalidad de conformar la rasante de proyecto y en todo el ancho y largo de las zonas inestables de la superficie del pavimento actual que muestren deformaciones.

Sobrecarpeta de renivelación.- Se procedió a la construcción de la sobrecarpeta para dar el bombeo del 2% hacia el acotamiento exterior y dar los niveles necesarios para desplantar la losa de concreto hidráulico (figura 2.1).

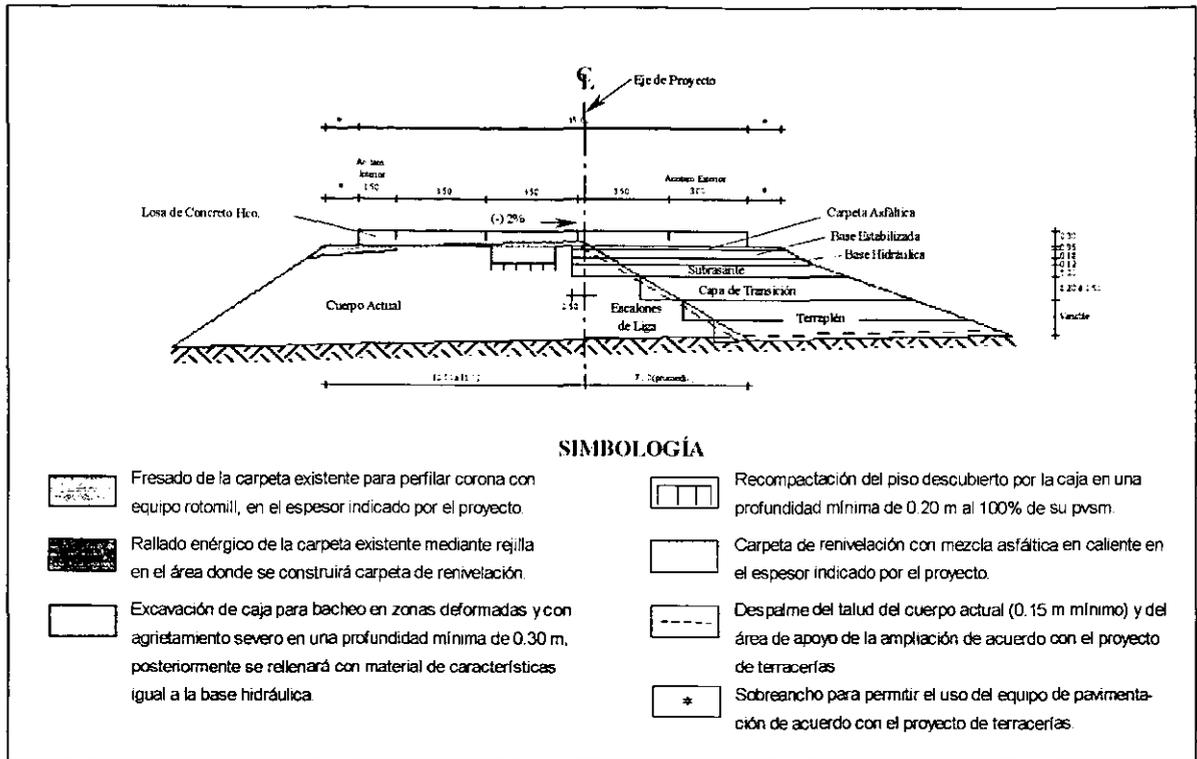


Figura 2.1.- Sección estructural tipo

Dadas las depresiones y asentamientos que ha sufrido el pavimento existente se previó que la línea de despalme de concreto hidráulico en algunas ocasiones no coincida con la línea de rasante del camino actual como se consideró en párrafos anteriores. Lo anterior que implicó que en algunas zonas no sea suficiente el fresar o renivelar el pavimento existente, por lo que cuando se requirió cortar o rellenar un espesor promedio mayor a 0.15 m, se procedió a los siguientes casos:



CASO 2: Línea de desplante de la losa de concreto hidráulico por debajo de la línea de rasante del camino actual.

Se procedió a escarificar el pavimento existente hasta 0.35 m por debajo del nivel de desplante de la losa de concreto hidráulico y se recompactó la superficie descubierta. Una vez recompactada la superficie se procedió a la construcción de las capas de pavimento como lo indica el Caso 1.

Una vez terminados los trabajos de ampliación del camino y la rehabilitación del cuerpo existente se procedió a la construcción de la losa de concreto de 0.30 m de espesor y un ancho de 15.0 m (Figura 2.3).

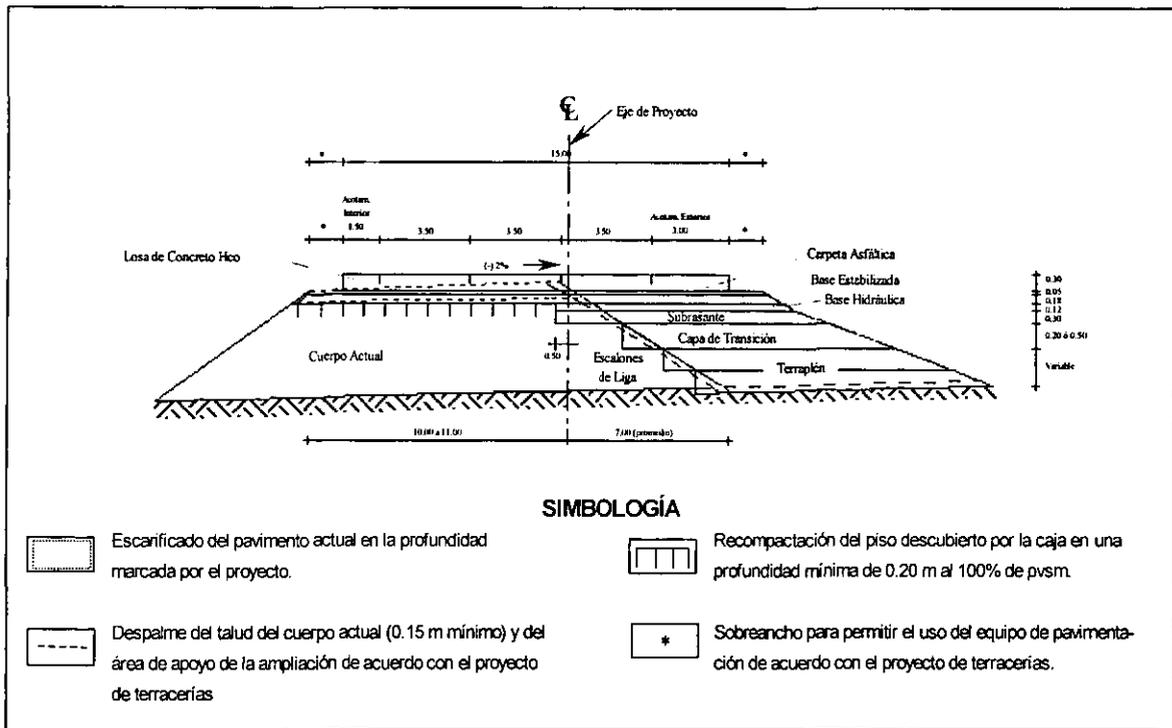


Figura 2.3.- Sección tipo cuando la línea de desplante de la losa de concreto hidráulico se encuentra abajo de la superficie de rodamiento actual (<15 cm)

### CASO 3.- Zonas de rectificación del alineamiento horizontal.

En las zonas de rectificación donde la línea de proyecto no coincidió con el trazo del camino actual se construyó un cuerpo nuevo con un ancho de corona de 15.0 m y con la siguiente estructura de pavimento que a continuación se describe:

Base hidráulica de 20 cm de espesor.

Base estabilizada de 15 cm de espesor.

Losa de concreto hidráulico de 30 cm de espesor.

Las características que debió de cumplir la mezcla de concreto hidráulico requerían un módulo de ruptura a la flexión de  $48 \text{ kg/cm}^2$ , medido a 28 días.

Para la construcción de la losa de concreto hidráulico se empleó una extendidora de pavimentos marca GOMACO GP 4000, con una plancha de tendido de un ancho de 15.0 m. El equipo contó con sensores de nivel y además tenía la capacidad de insertar las barras de amarre en las juntas longitudinales con varillas corrugadas del #4 de 90 cm @ 64.3 cm.

Para las juntas transversales de contracción se colocaron barras lisas (pasajuntas) de acero para una transmisión de cargas de  $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ ; estas barras fueron de 38 mm ( $1\frac{1}{2}$ " ) de diámetro con una longitud de 46 cm @ 30 cm y fueron colocadas sobre silletas de alambón de 8 mm de diámetro las cuales se anclaron a la capa de apoyo de la losa para evitar desplazamientos durante el proceso de colado. Las barras se engrasaron en forma uniforme con aceite mineral con objeto de evitar la adherencia con el concreto, asegurando así el movimiento libre de éstas.

Una vez concluidos los trabajos de tendido del concreto hidráulico, se procedió al texturizado de la superficie de la losa con una tela de yute en el sentido longitudinal, y posteriormente con un equipo GOMACO se realizó un texturizado transversal con un ancho de surco de 3 mm a una profundidad de 4.5 mm, con una tolerancia de  $\pm 1.50$  mm.

Posteriormente se realizó el curado de la losa mediante una membrana a base de agua y parafina, de pigmentación blanca, a una razón de 1.0 lt/m<sup>2</sup> dejando así una membrana que impidió la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco.

El siguiente paso consistió en los cortes de las juntas transversales y longitudinales empleando cortadoras de discos de diamante teniendo cuidado de que el primer corte debió llevarse a cabo dentro de las siguientes 18 horas después del colado.

Para la aceptación de la superficie terminada de la losa se requirió la evaluación del perfil longitudinal del camino con el perfilógrafo.

## **2.2 IMPACTO DEL PROYECTO**

Aún con equipo de pavimentación moderno, las características de diseño tales como tipo de bases y/o sub-bases, alineamiento y mezcla de concreto, influyen en el grado de tersura. Por consiguiente, se deben de tomar en cuenta algunas consideraciones y cuidados para cada una de las actividades durante el proceso constructivo.

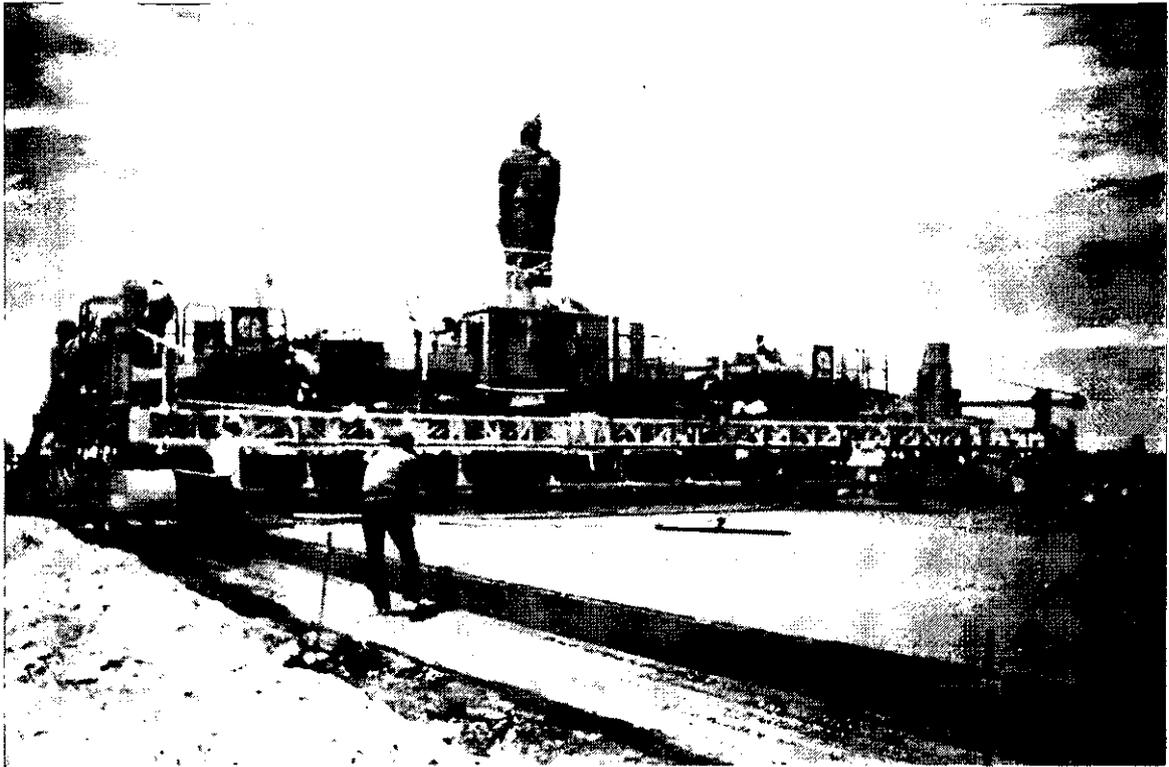
### **2.2.1 BASE/SUB-BASE - TRACKLINE**

Uno de los cuidados más significativos es la de prever un trackline (carril para circular las orugas de la máquina pavimentadora) estable y uniforme (carril acondicionado). Anteriormente, esto raramente era incluido como una consideración de diseño. El ingeniero concluía que la inestabilidad de la base podía ser resuelta por la línea guía. Pero sin embargo, la línea guía reducía los problemas producidos por un mal trackline, pero no los eliminaba.

Un trackline estable se puede lograr sencillamente extendiendo la orilla exterior de la base a 0.91 m (3 pies) de cada lado del pavimento (Figura 2.4).

Los proyectos y licitaciones programadas deben incluir la construcción de la ampliación de la base. En el caso del proyecto de sobrecarpetas de concreto, se debe prever la estabilización del trackline como parte de la preparación del pre-encarpetado.

Esto se puede dar bajo ciertas condiciones que manejen especificaciones de calidad para el trackline. El uso de equipo automático (sensores) dirigido por una línea guía es necesario para obtener tolerancias aceptables en la subrasante o base. Se ha demostrado que la base estabilizada construida de acuerdo a una tolerancia de perfil tiene una relación directa sobre la calidad de manejo del pavimento. La rugosidad es reducida durante la colocación de la base y posteriormente durante la colocación de la superficie de concreto. Sin un trackline uniforme, la máquina pavimentadora estará buscando continuamente la pendiente, haciendo correcciones en mas, en menos o muy tarde.



*Figura 2.4.- Un estable trackline puede ser obtenido con la ampliación de la base.*

Para el caso de esta obra, el proyecto de terracerías contempló un ancho de 1.50 m en ambos lados del camino, para la ubicación del trackline y el posible uso de un equipo de pavimentación. Por otro lado se contempló la utilización de líneas guías en ambos lados donde se controló por medio de sensores eléctricos el alineamiento del tendido como el espesor solicitado.

### **2.2.2 ALINEAMIENTO**

La geometría del camino es otro factor importante. Los alineamientos verticales y horizontales influyen en la rugosidad del producto terminado.

La pavimentación sobre tangentes con pendientes mayores del 3% requiere la atención minuciosa en algunos factores. Estos son la consistencia de la mezcla, la postura o ángulo de ataque de la máquina pavimentadora y la trabajabilidad del concreto o su descarga brusca. En algunos casos, puede ser necesario hacer más lenta la descarga del concreto mientras se sube por una pendiente para evitar cambios del concreto frente a la máquina pavimentadora.

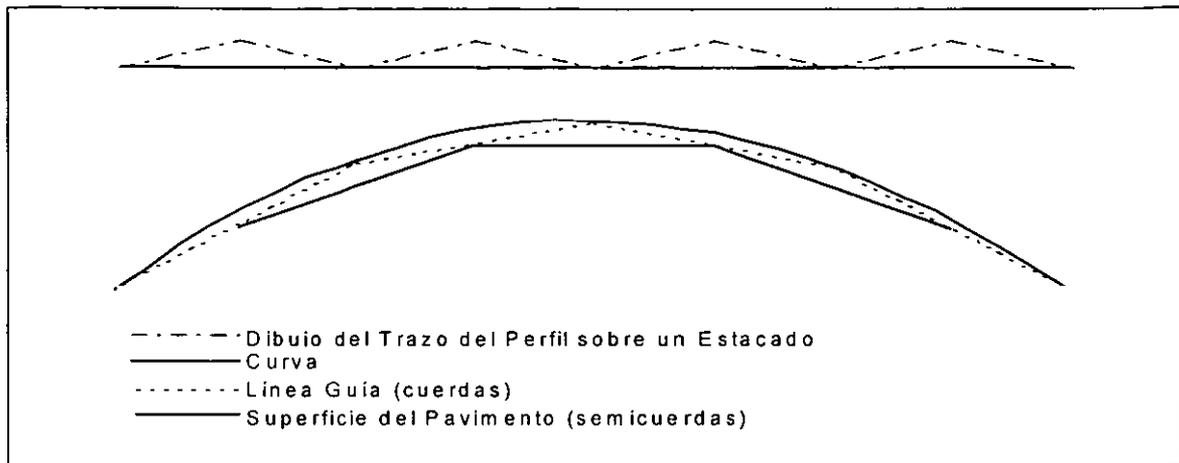
Las curvas horizontales son naturalmente más rugosas que las secciones en tangente debido a las transiciones para la sobreelevación. En estas secciones de enlace, se requieren ajustes de la máquina pavimentadora para corregir el perfil. La rugosidad predomina más en la zona totalmente peraltada de una curva horizontal, que sobre las tangentes.

Conforme el grado de curvatura horizontal se incrementa, el potencial de la rugosidad dentro de la curva también se incrementa. Cuando el grado de curvatura es mayor que 6 grados o el radio de curvatura es menor que 304.8 m (1,000 pies), la atención sobre la operación de la máquina debe ser aumentada y la línea guía es fundamental.

Las curvas horizontales con más de 7 grados son prácticamente imposibles de construir para una tolerancia especificada debido a que tienen que hacerse importantes ajustes correctivos al equipo. Algunos contratistas han reportado que es necesario intervalos de estacado tan cortos como 1.22 m (4 pies) para satisfacer las especificaciones en radios pequeños.

Tal como en la curvatura horizontal, la pavimentación en las curvas verticales demanda también atención. Cuando la pavimentación se hace sobre curvas

verticales, la línea guía se desarrolla mediante cuerdas y la elevación del pavimento por medio de "semicuerdas" (Figura 2.5).



*Figura 2.5.- Las curvas verticales son aproximadas en la construcción. El pavimento real es construido por medio de un perfil de semicuerdas.*

Es recomendable que los intervalos de estacado para la línea guía se determinen sobre la base de la relación de cambio de la pendiente en la curva vertical.

Esta relación de cambio es definida como:

$$\text{Relación de cambio} = \frac{G_2 - G_1}{L}$$

Donde:

$G_1$  = Pendiente de entrada (en por ciento), de la curva vertical.

$G_2$  = Pendiente de salida (en por ciento), de la curva vertical.

$L$  = Longitud de la curva vertical (en estaciones).

Utilizando este criterio, el intervalo de estacado puede ser establecido fácilmente para cualquier curva vertical obtenida directamente desde los planos de proyecto.

Se recomienda un intervalo máximo de estacado de 7.60 m (25 pies aprox.). Si la relación de cambio excede el 0.6%, se recomienda un intervalo de estacado de 3.80 m (12.5 pies aprox.).

### **2.2.3 CÁLCULOS DEL NIVEL Y ESTACADO**

La precisión del proyecto y los trabajos de topografía son sumamente importantes para la tersura final del pavimento. Se requiere una considerable experiencia para determinar "a ojo" correcciones en la línea guía debido a un error en el nivel. En cuanto se detecte, la brigada de topografía debe corregir el desalineamiento de las estacas.

### **2.2.4 OBJETOS EMPOTRADOS**

Algunos objetos empotrados como las canastillas para la colocación de pasajuntas y el refuerzo pueden también disminuir la calidad de manejo. Se debe de tomar especial atención a estos detalles, y a la colocación y consolidación del concreto alrededor de ellos.

Cuando se coloca refuerzo en el pavimento, se requiere mayor atención que en un pavimento simple. Existen cuatro causas principales de rugosidad que pueden estar asociadas con el uso del refuerzo.

#### **2.2.4.1 Rizado.-**

El rizado ocurre cuando el equipo de vibración roza la estructura de alambre soldado (malla) o también cuando se aplica demasiada presión (de la plancha de tendido) sobre las canastillas que sujetan los pasajuntas durante el proceso de extrusión. El resultado es un rizado superficial, con la superficie ligeramente más baja sobre las barras que en el área entre barras.

#### **2.2.4.2 Falta de consolidación.-**

La falta de consolidación dentro del área de la canastilla producirá una superficie rugosa debido a que la densidad y asentamiento del concreto no será uniforme.

#### **2.2.4.3 Rebote.-**

Otro problema de la presión de extrusión con las estructuras de la canastilla es llamado rebote. Esto ocurre cuando la estructura de la canastilla recupera su posición original después de que la cuchilla enrasadora ó apisonadora pasa completamente por encima y la presión de extrusión es liberada. El resultado es una ligera joroba justo en la canastilla.

#### **2.2.4.4 Represado.-**

En ciertas condiciones la estructura de la canastilla o el acero transversal puede actuar como dique en las pendientes. Generalmente, esto sucede cuando la pavimentación desciende de manera pronunciada o en pendientes más

pequeñas pero con una baja fricción en la superficie de pavimentación (sub-base). El resultado es una variación en la superficie del concreto en forma de jorobas en la canastilla o en el acero transversal.

La atención y cuidado durante la operación de pavimentación pueden superar estas situaciones. Probablemente se necesiten hacer ajustes. El control del equipo y la calidad de la superficie detrás del tren de pavimentación, auxiliará a eliminar problemas tempranos en el proyecto.

Otra solución que ayuda a eliminar los problemas con la colocación de los pasajuntas es tener en cuenta que se puede utilizar equipo para su inserción, como otra alternativa.

### **2.2.5 MEZCLA DE CONCRETO.**

Las características de la mezcla de concreto influyen directamente en la calidad de acabado del pavimento. Es el único factor que afecta la calidad de manejo y que no puede ser corregido por el contratista durante la construcción.

Un mal diseño de la mezcla puede pasar por encima de los otros intentos efectuados por el contratista para lograr una buena calidad de manejo. En algunos casos se ha observado que un mal diseño de mezcla disminuye la tersura a pesar de pavimentarse en plataformas estables (trackline) y en condiciones generalmente favorables.

La granulometría del agregado que debe utilizarse será aquella que produzca una mezcla trabajable y no muy áspera. Se recomienda que se

especifique una granulometría uniforme en el agregado. Las mezclas ásperas durante las operaciones de pavimentación bajan lento y crean trabajos extraordinarios a la cuadrilla de acabado. La máquina debe trabajar más duro para extender y vibrar el concreto, y el personal de acabado trabajará más para obtener una superficie cerrada. El resultado es rugosidad.

### **2.3 IMPACTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Una vez que el proceso de construcción empieza, la siguiente información puede favorecer a la calidad de manejo del producto terminado.

#### **2.3.1 LÍNEA GUÍA**

La línea guía que proporciona las referencias a la máquina pavimentadora es el detalle probablemente más incomprendido y descuidado en las operaciones de pavimentación. La línea guía debe estar colocada exactamente y la varilla debidamente templada.

En muchos proyectos, una sola línea guía es utilizada para el control de la altura de la superficie (espesor de la losa), con el otro lado de la máquina pavimentadora funcionando libremente o por una franja promediada. Esto proporciona excelentes resultados cuando el pavimento se hace sobre una plataforma estable.

Sobre superficies rugosas, la colocación de doble línea guía puede a menudo ayudar a minimizar los problemas. La doble línea guía también ayuda a mantener una sección transversal más grande cuando se pavimenta un ancho de

sección con una máquina pavimentadora grande. En estos casos, pequeñas desviaciones en una línea guía puede ser propagada dentro de una gran área sobre el otro lado de la máquina pavimentadora.

La cuadrilla de pavimentación, la supervisión y cualquier persona en el sitio de la pavimentación debe tener siempre cuidado de no tocar o inclinarse en la línea guía. Esta disciplina requiere constante atención. Dañar o mover la línea guía causará protuberancias en el pavimento.

### **2.3.2 CONTROL DE LA MEZCLA DE CONCRETO.**

La uniformidad de la mezcla y las operaciones de mezclado contribuirán a facilitar la construcción de un pavimento de concreto terso. Esto significa el servicio continuo de control de calidad y del suministro de concreto. Es necesario que el control de calidad continúe durante todas las fases: transporte, colocación y acabado.

Es necesario evitar mezclas alternadas de concreto húmedo y seco. Esto requiere controlar la operación de la planta para lograr la consistencia. Además la revisión de cada fase en la operación de mezclado. También debe asegurarse que el agua libre sea removida de los camiones después de lavados o de una lluvia. Mantenerse constante y limpia la operación del cucharón de los cargadores u otro equipo pesado que mueva materiales en greña a la planta de producción. El mantenimiento uniforme de la humedad de los agregados en los almacenes de materiales es particularmente importante.

El operador de la máquina pavimentadora no puede competir contra variaciones considerables en la mezcla del concreto. La máquina y el operador no pueden continuamente hacer ajustes por variaciones bruscas en la producción (control de la mezcla). La consistencia es esencial. La pérdida de cualquier variable puede ser una primera razón para perder la tersura del pavimento.

### **2.3.3 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA PAVIMENTADORA**

Ya que la máquina pavimentadora moldea la superficie del pavimento, todos los factores, con excepción de la operación de acabado, influyen en el funcionamiento de la máquina pavimentadora. Estos factores deben ser ajustados por orden para mantener en buenas condiciones la pavimentadora. La máquina no debe sufrir ajustes continuos por inconsistencias en otras operaciones.

La máquina pavimentadora debe mantenerse a una velocidad constante todo el tiempo. A fin de desarrollar un avance ininterrumpido, la planta debe proporcionar un suministro constante de concreto.

Hay que tener cuidado de que existan suficientes camiones de transporte para asegurar el avance constante. Si surgen problemas y el suministro del concreto es demorado, la comunicación constante entre la planta y el frente de trabajo permitirá al operador de la máquina pavimentadora emparejar la velocidad de la máquina con las entregas del concreto disponible. Un avance constante es la clave.

Si la velocidad de la máquina se disminuye para emparejarse con las entregas del concreto, se debe ajustar la vibración de la máquina de manera

progresiva para armonizar con el avance. Esto con el fin de controlar la vibración alrededor de las canastillas y barras de amarre.

Hay que evitar las paradas en todo lo posible, aunque esto signifique disminuir la velocidad de avance de la máquina pavimentadora. Asegurarse de que el operador entienda que cada vez que se detenga o que haga cambios repentinos en la velocidad por ajustes o falta de concreto, producirá en cada caso rugosidades como: depresiones, protuberancias o ambas.

Se recomienda que el tiempo y el cadenamiento de cualquier parada se registre. Esto permitirá aislar y localizar con toda precisión los problemas que puedan ocurrir.

A fin de evitar las paradas es importante tener al equipo de pavimentación limpio y en buenas condiciones de operación. Las paradas por averías son inevitables, pero un buen procedimiento de mantenimiento minimizará su ocurrencia.

En mantener la colocación y extendido del concreto a una altura apropiada para evitar usar la máquina pavimentadora como empujador (Bulldozer), facilitará la colocación y evitará que la máquina pavimentadora sobre-trabaje.

Es importante la uniformidad en el ritmo de los vibradores y de la cuchilla o bandeja apisonadora (enrasador) para asegurar un volumen consistente del material alimentado a través de la compuerta o escantillón de la pavimentadora.

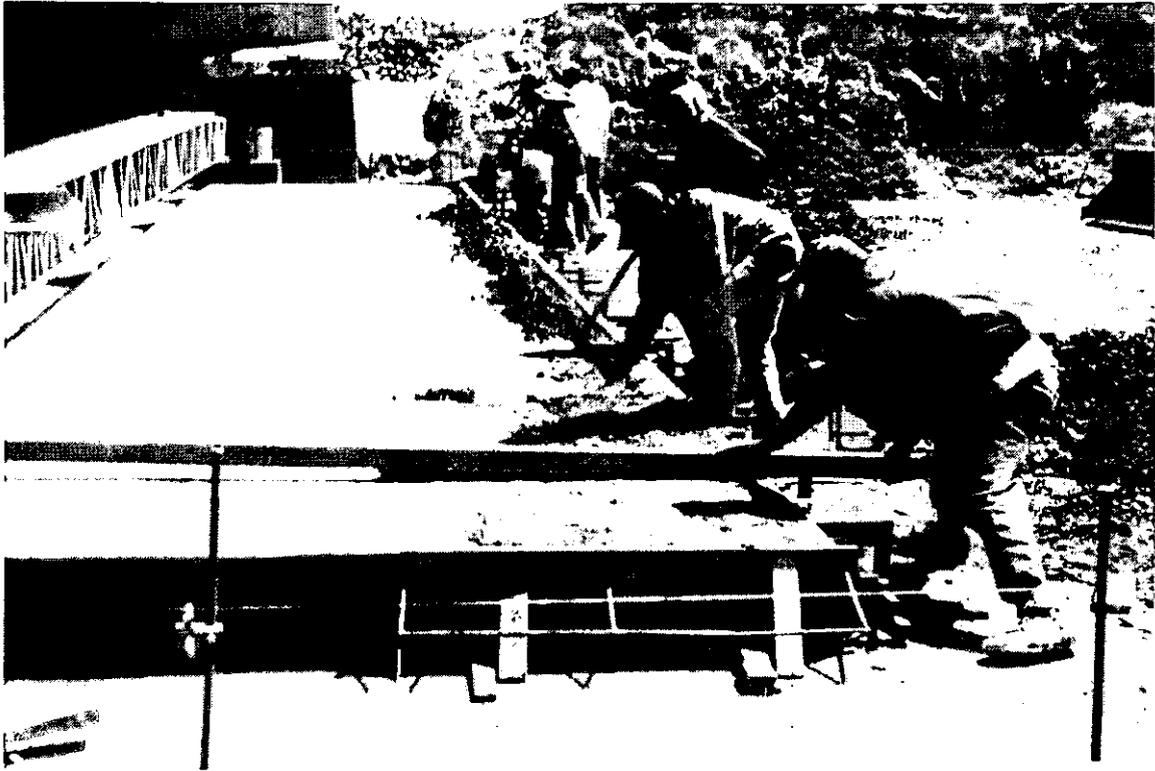
### **2.3.4 ACABADO Y MANO DE OBRA**

El acabado y texturizado de la superficie del pavimento debe ser oportuno y uniforme. La textura generalmente no influye en la medición de la rugosidad ya que las desviaciones menores de 0.60 m (2 pies) de longitud no son cuantificadas; sin embargo, deben evitarse trabajos manuales extensivos porque pueden contribuir en la rugosidad del producto terminado.

Cuando se utiliza equipo texturizador automático, debe asegurarse que el rastrillo corra uniformemente sobre la superficie. Un texturizador irregular, con puntas más cargadas en un lado del rastrillo que el otro, puede originar rugosidad.

El cuidado y la ejecución habilidosa de las cabeceras (junta de construcción de terminado de colado) puede ser uno de los aspectos más cruciales para la obtención de una buena calidad de manejo (Figura 2.6). Algunos contratistas evitan el cimbrado de las cabeceras y en su lugar cortan hacia atrás del final del tendido, el material sobrante es removido y las barras de amarre son taladradas en la cara aserrada.

Este tipo de cabecera no es tan laboriosa como una cabecera cimbrada y generalmente proporciona una transición mucho más tersa.



*Figura 2.6.- Realización de una junta de construcción de terminado de colado.*

**CAPÍTULO 3**  
**ÍNDICE DE PERFIL**

## CAPÍTULO 3

### ÍNDICE DE PERFIL

#### **3.1 MEDICIÓN DEL PERFIL**

Con objeto de obtener el mejor producto posible, es importante verificar diariamente la tersura del pavimento. Conociendo el perfil de la pavimentación de días anteriores, el contratista podrá mejorar los resultados e incrementar la comodidad de manejo. Cualquier persona involucrada conocerá inmediatamente donde y como un problema fue corregido.

Las especificaciones y requerimientos de manejo se pueden aplicar para los carriles principales de los pavimentos con velocidades altas de diseño como en los urbanos, donde las velocidades son más bajas. Sin embargo, se aplican especificaciones de manejo menos rigurosas en las calles de ciudad y en los caminos con velocidades de diseño abajo de 72.42 km/hr (45 millas/hr).

### **3.1.1 OPERACIÓN DEL PERFILÓGRAFO**

Como se comentó en el Capítulo 1, existen 2 tipos más comunes de perfilógrafos, el de California y el Rainhart o Texas, y en lo sucesivo para este trabajo al referirnos al "perfilógrafo", se indicará expresamente al tipo Rainhart, así como sus especificaciones técnicas y de operación.

El perfilógrafo proporciona el trazo del perfil superficial del pavimento. El trazo es utilizado para determinar el "índice de perfil" el cual será discutido a detalle posteriormente.

#### **3.1.1.1 Preparación del perfilógrafo.-**

Antes de la prueba, el perfilógrafo deberá ser revisado en los siguientes puntos:

- Engranajes.- Los engranes deben estar acoplados en orden para el registro del perfil.
- Juego.- Girar la rueda registradora para eliminar cualquier juego entre la rueda y el tambor registrador.
- Calibración.- Se debe de calibrar el equipo por lo menos una vez por temporada de construcción.

#### **3.1.1.2 Ubicación del perfil.-**

Se recomienda que el perfilógrafo se corra bajo el centro de cada carril. Para una carretera de dos carriles, se toman dos perfiles, uno por cada dirección. Para

una autopista de 4 carriles, se tomarán una medición por cada carril, es decir, cuatro perfiles.

La figura 3.1 muestra que con el equipo de pavimentación con cimbra deslizante, el trazo del perfilógrafo tiende a ser el mismo del carril pavimentado del otro lado. Esto es un resultado consistente y elimina la necesidad de tomar medidas en ambas roderas.

Se han observado que al tomar las mediciones en ambas roderas no es efectivo en tiempo y costo. La medición de un solo perfil por carril acorta el tiempo en la toma de lecturas del perfilógrafo a la mitad. Esto también reduce la cantidad de trabajo y el tiempo requerido para la reducción del trazo. La utilidad es que los resultados serán recibidos por la cuadrilla de pavimentación más rápidamente, así que cualquier problema puede ser corregido tan pronto como es posible.

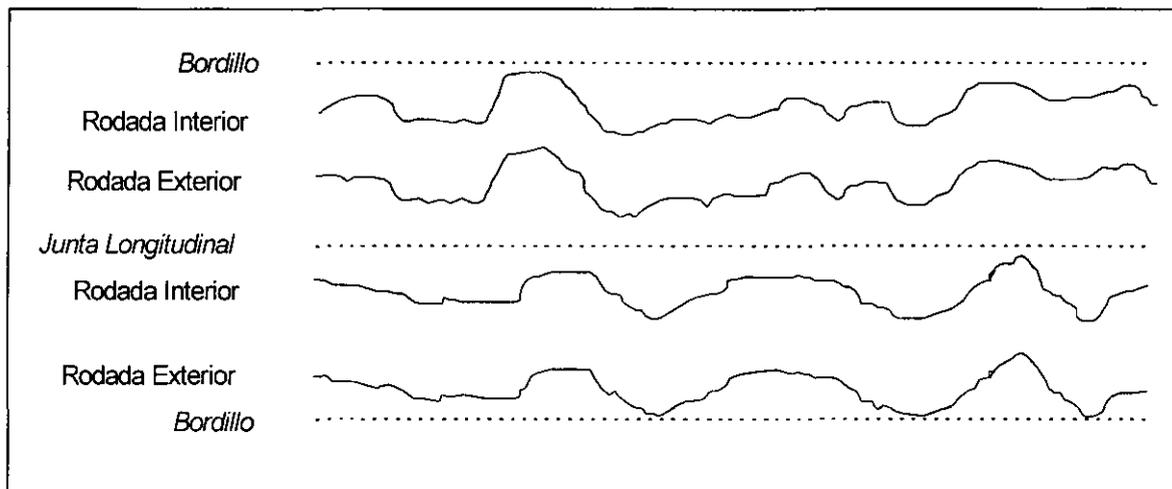


Figura 3.1.- El trazo del perfilógrafo es prácticamente idéntico por cada rodada.

### **3.1.1.3 Velocidad de operación.-**

El perfilógrafo opera a una velocidad no mayor que 4.83 km/hr (3 millas/hr), o a ritmo de paso lento. Si la velocidad se incrementa, la rueda registradora tiende a botar y puede saltar las ondulaciones y el resultado es un trazo de perfil que es difícil de interpretar y posiblemente tenga que hacerse de nuevo. Es posible controlar la velocidad y reducir el trabajo mediante carritos o tractores motorizados conectados al perfilógrafo.

### **3.1.1.4 Medición.-**

A lo largo del proyecto, la superficie del pavimento es dividida en "secciones" para la medición; cada "sección" representa un tramo de colocación continua que termina en la junta de construcción de la jornada diaria, en la interrupción por un puente o en la localización de un cambio de requerimiento en la tersura (por ejemplo, cambio de la velocidad límite arriba o abajo de 72.4 km/hr (45 millas/hr).

Para iniciar una nueva "sección", la rueda registradora se coloca al final de la última "sección" (Figura 3.2). Después de iniciada la marcha, el perfilógrafo deberá ser detenido justo en la estación inmediata a los 61 m (200 pies) del punto de partida. Una vez detenida, la rueda registradora deberá levantarse cerca de 2.5 cm (1 pulg) para señalar la localización sobre el trazo. La estación deberá quedar claramente marcada sobre el trazo en este punto. Repitiendo este procedimiento cada 61 m (200 pies) en el total de la jornada diaria de pavimentación ("sección") se asegura que cualquier área sobre el trazo pueda ser fácilmente localizada en el pavimento.

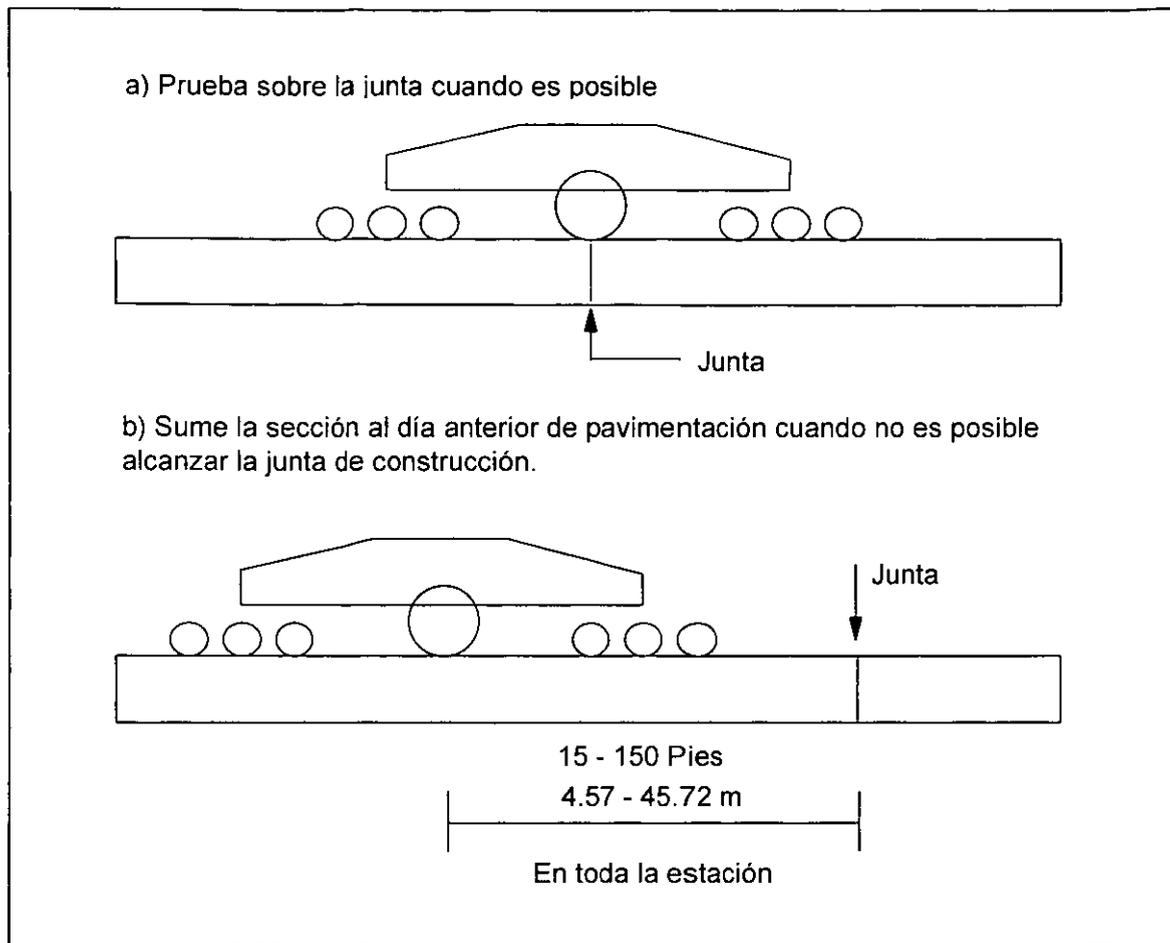


Figura 3.2.- Posición de perfilógrafo para secciones nuevas.

Debe llevarse por separado las mediciones de cada jornada diaria de pavimentación de 304.8 m (1,000 pies). Si la jornada diaria de pavimentación es menor que los 304.8m (1,000 pies) las mediciones del perfil deben ser combinadas con otras de la "sección" anterior.

Para fácil identificación, debe registrarse los siguientes puntos directamente sobre el papel de trazo de cada "sección".

- 1.- Número de trabajo.
- 2.- Estación inicial y final.
- 3.- Datos de lo pavimentado.
- 4.- Datos de lo perfilado.
- 5.- Operador del perfilógrafo.
- 6.- Calculado por:
- 7.- Revisado por:
- 8.- Una flecha hacia arriba para la debida orientación del trazo.

### **3.1.2 CALIBRACIÓN DEL PERFILÓGRAFO**

Cada perfilógrafo debe ser calibrado por lo menos una vez por temporada de construcción. La calibración puede ser realizada en cualquier tramo de pavimento que haya sido levantado topográficamente y señalado para indicar su distancia horizontal.

Se recomienda que el trazo del perfilógrafo tenga una precisión de 1.52 m (5 pies) por cada 1,524 m (5,000 pies). La calibración vertical se puede llevar a cabo mediante el recorrido de la rueda registradora sobre un bloque de madera o de metal de espesor conocido.

Los ajustes pueden fácilmente efectuarse moviendo la pluma registradora y el papel de trazo para cumplir estos requerimientos. Otro factor importante es asegurarse que la pluma registradora regrese a la posición de cero después de atravesar una protuberancia.

### **3.2 REDUCCIÓN DEL TRAZO DE PERFIL**

El trazo hecho por el perfilógrafo debe de ser reducido para determinar el índice de perfil, recordando que el índice de perfil es el criterio para evaluar la tersura del pavimento.

Hay cuatro pasos en la reducción del trazo de perfil. Estos pasos son: dibujo apropiado de la línea de perfil sobre el trazo de campo; localización de las protuberancias con más de 1.0 cm (0.4 pulg) por cada 7.62 m (25 pies); contabilización de la cantidad de desviaciones u "ondas" de una banda blanca de 0.508 cm (0.2 pulg), y finalmente, usando esta información, el cálculo del índice de perfil.

#### **3.2.1 LÍNEA DE PERFIL**

La línea de perfil es el primer paso importante en la reducción apropiada del trazo. Esta línea se dibuja a lo largo del trazo de campo para eliminar en promedio las puntas y las desviaciones menores causadas por basura en la superficie, gravas, texturizado, o el ranurado transversal.

La figura 3.3 muestra ejemplos de línea de perfil apropiados e inapropiados. Para mejores resultados, se recomienda utilizar una pluma con punto de color rojo (u otro color que contraste).

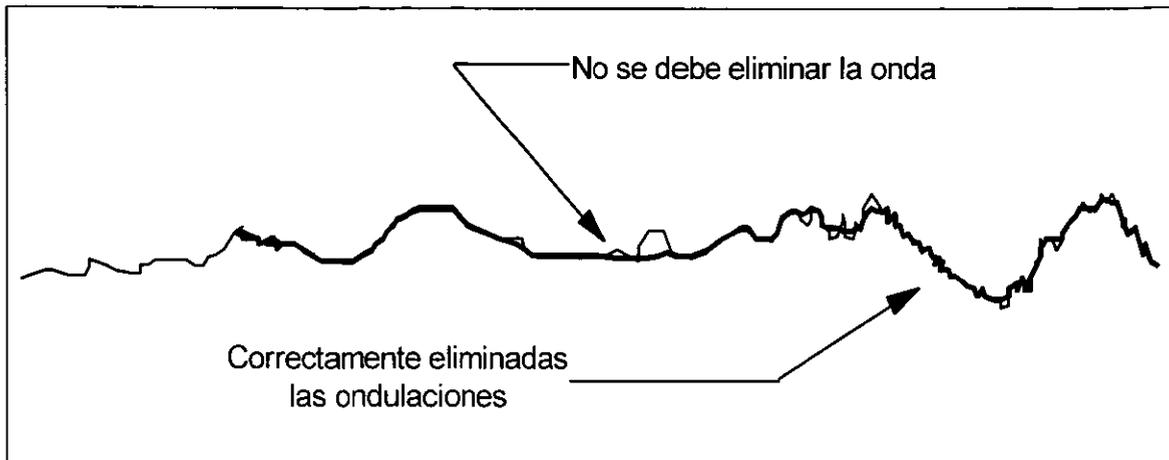


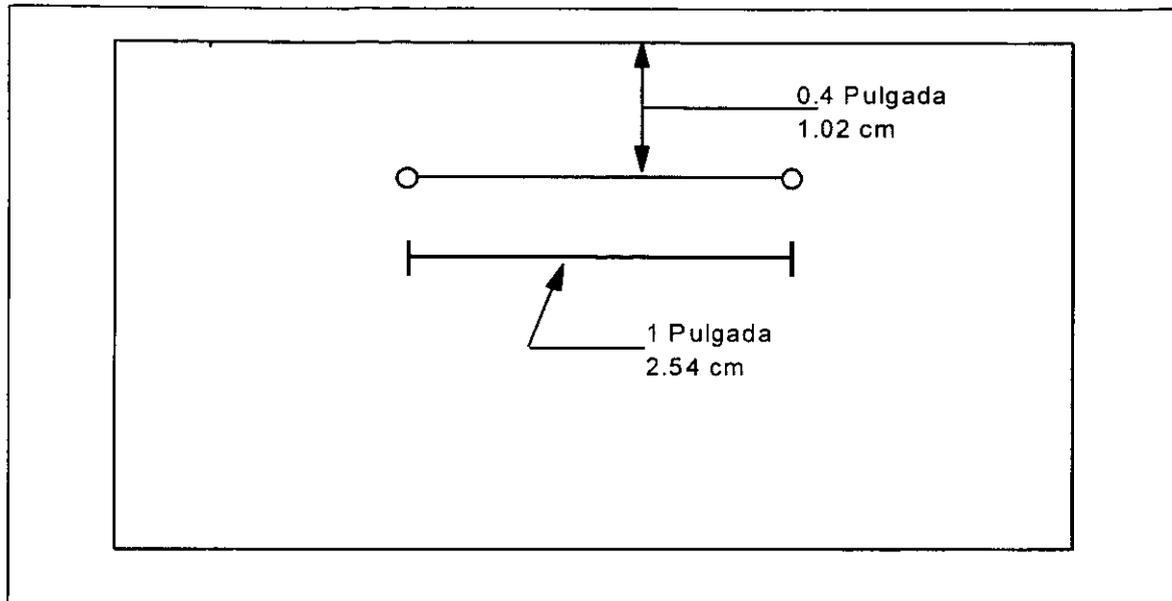
Figura 3.3.- Dibujo de la línea de perfil.

### 3.2.2 LOCALIZACIÓN DE PROTUBERANCIAS “POR DESBASTAR”

Después de que la “línea de perfil” es dibujada apropiadamente, es necesario localizar las protuberancias notables o puntos altos sobre el perfil de trazo.

Estos puntos son comúnmente llamados “protuberancias por desbastar”. Es recomendable la utilización de una plantilla especial para que la localización de las “protuberancias por desbastar” sea una tarea fácil. La plantilla (mostrada en la figura 3.4) es una forma pequeña de plástico con una línea de 2.54 cm (1 pulg) inscrita a 1.02 cm (0.4 pulg) de una de las orillas. La línea de 2.54 cm (1 pulg) corresponde a una distancia horizontal de 7.62 m (25 pies) en el trazo del perfilógrafo. La distancia de 1.02 cm (0.4 pulg) a la orilla de la plantilla corresponde a lo especificado para las “protuberancias por desbastar”.

La AASHTO y la Asociación Americana de Pavimentadores de Concreto recomiendan que todas las protuberancias con más de 1.02 cm (0.4 pulg) en 7.62 m (25 pies) sean desbastadas.



*Figura 3.4.- Plantilla de protuberancias.*

En cada pico prominente o punto alto, se coloca la plantilla de tal manera que los pequeños hoyos o puntas marcadas en cada extremo de la línea inscrita intercepte el trazo de perfil para formar una cuerda a través de la base del pico o protuberancia indicada. La línea de la plantilla no tiene que estar horizontal. Con un lápiz afilado se dibuja una línea usando como guía la orilla de la plantilla. Cualquier porción de la línea de perfil extendida arriba de esta línea indica una desviación o protuberancia. Un buen consejo es que la remoción es requerida solamente si el espacio en blanco puede ser visto entre la línea de perfil y la línea de protuberancia (Figura 3.5 a y c).

Puede haber casos fácilmente reconocibles donde la distancia entre puntos bajos es menor que 2.54 cm (1 pulg) que representan 7.62 m (25 pies). Para estos casos una longitud de cuerda más corta debe ser usada en el marcado de la línea trazada sobre la plantilla tangente al trazo de los puntos bajos (Figura 3.5 b).

La intención es que la línea base para la medición de las protuberancias sea tan cerrada a los 7.62 m - 2.54 cm [25 pies -1 pulg], pero no más. De no ser así, si es mayor a lo indicado anteriormente, se debe hacer que los extremos de la línea intercepten el trazo de perfil cuando la plantilla esté en una posición prácticamente horizontal (Figura 3.5 d).

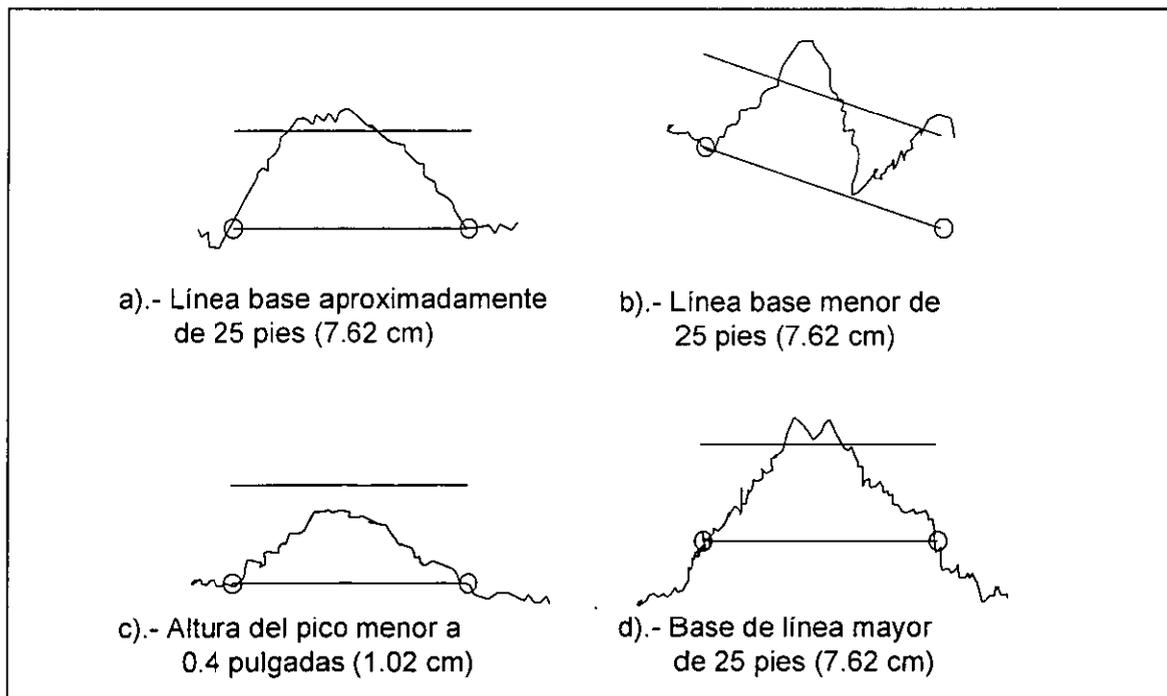


Figura 3.5.- Localización de las protuberancias "por desbastar".

### **3.2.3 USO DE LA BANDA BLANCA**

Después de que todas las “protuberancias por desbastar” han sido localizadas, la banda blanca es utilizada para determinar la suma individual de todas las áreas altas y bajas en un “segmento”. Un “segmento” es una longitud de 161 m (0.1 milla) a lo largo del trazo de perfil.

#### **3.2.3.1 Banda Blanca.-**

La banda blanca es una escala de plástico de 4.32 cm (1.70 pulg) de ancho y 53.64 cm (21.12 pulg) de largo que representa una longitud de 160.9 m (0.1 milla) sobre el trazo del perfilógrafo (Figura 3.6). Recuérdese que el trazo está hecho en una escala horizontal de 2.54 cm (1 pulg) igual a 7.62 m (25 pies).

Recorriendo la longitud de la banda blanca, en su punto medio, está una tira opaca. Esta tira o banda es de 0.51 cm (0.2 pulg) de ancho. Sobre cada lado de la banda están inscritas líneas paralelas separadas a cada 0.25 cm (0.1 pulg). Las líneas sirven como una escala para medir el tamaño de las desviaciones de la línea de perfil afuera de los 0.51 cm (0.2 pulg) de la banda opaca. Estas desviaciones son llamadas “ondas” (Figura 3.7).

#### **3.2.3.2 Posición.-**

La banda blanca se debe colocar sobre el trazo para eliminar o “blanquear” el perfil tanto como sea posible. Cuando esto es hecho, el número de “ondas” arriba y abajo de la banda blanca será aproximadamente el mismo (Figura 3.6).

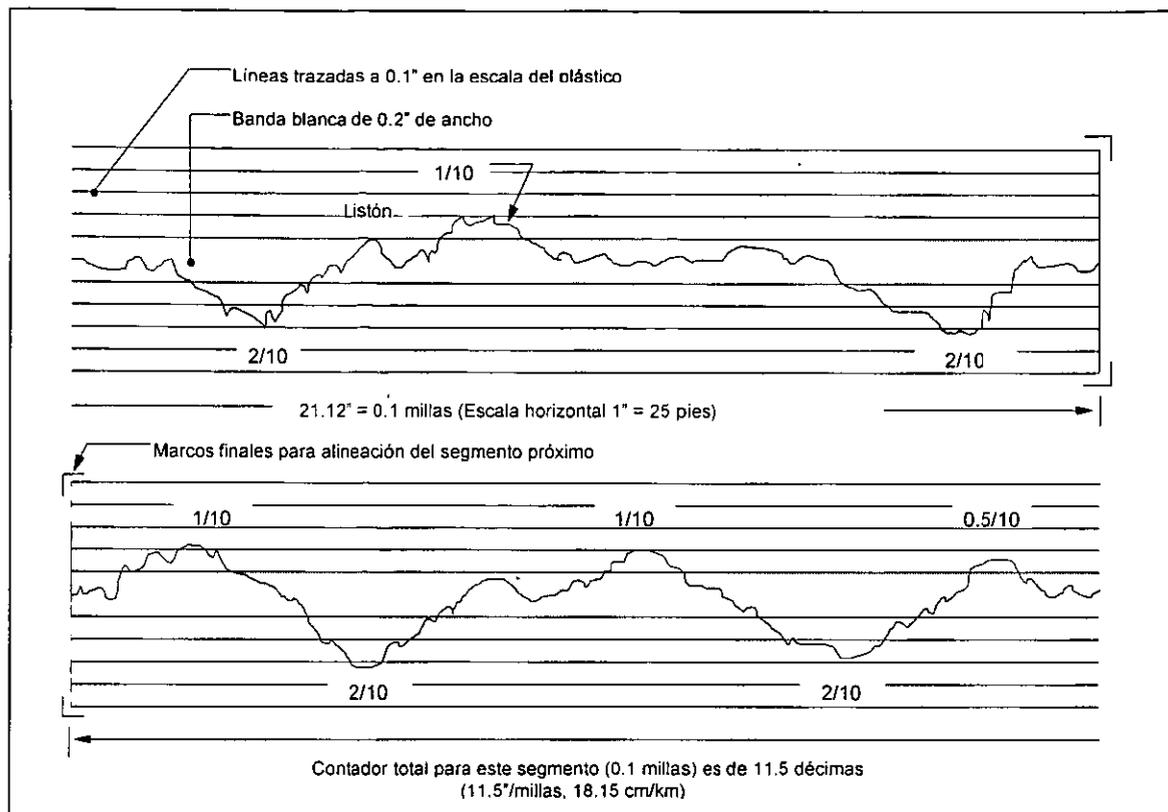
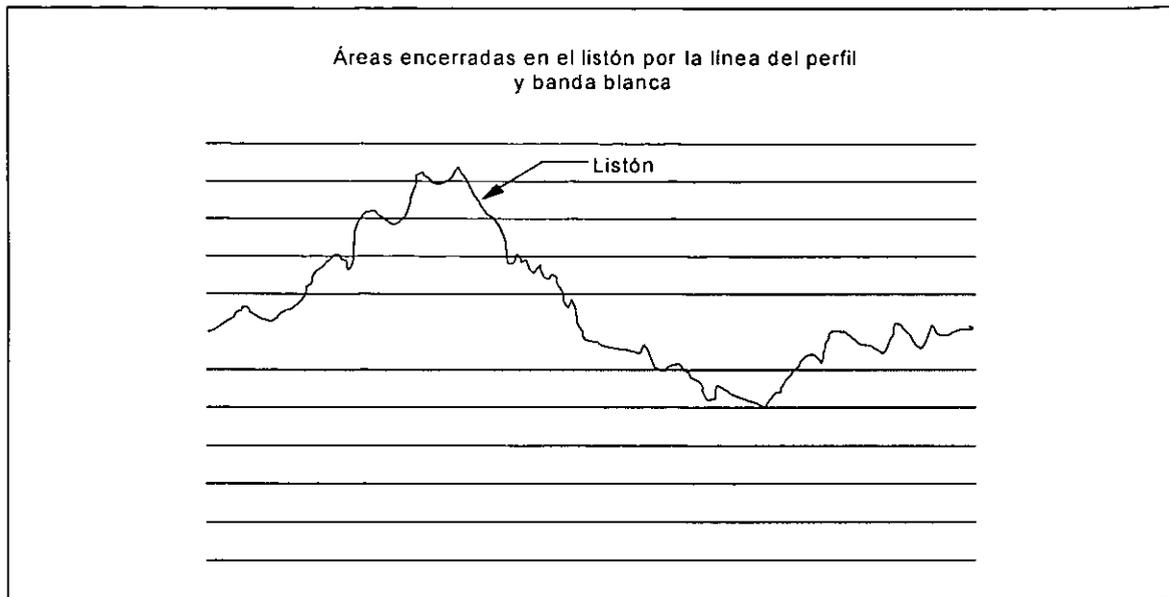


Figura 3.6.- Colocación de la Banda Blanca sobre el trazo. Los tamaños de las deformaciones son indicados, y la localización de la plantilla es marcada al final para su nueva colocación.

Cuando se está reduciendo un trazo mayor que 169.0 m (0.1 milla), es importante observar algunos "segmentos" adelante para asegurarse que la banda blanca está en la mejor posición del trazo completo.

Por lo general esto es realizado mediante la aplicación del procedimiento de acierto y error (tanteos). Cuando la mejor posición de la banda blanca se ha establecido sobre cada "segmento" de 160.9 m (0.1 millas), se dibujan las esquinas de la banda de tal modo que esta posición se pueda repetir cuando sea revisado el trazo reducido (Figura 3.6).



*Figura 3.7.- Crestas sobre la banda.*

Los perfiles de la sobreelevación en curva pueden dar problemas para la posición apropiada de la banda sobre el trazo. El perfil se mueve por una posición generalmente horizontal el cual hace imposible blanquear la porción central afuera del trazo sin desviar la banda blanca. Cuando tales condiciones ocurran la banda blanca debe ser posesionada para adaptarse al perfil (Figura 3.8).

No olvide remitirse a las notas hechas en el trazo del perfilógrafo durante la medición. La sobreelevación de las curvas o estructuras fijas en áreas urbanas no son puntos por los cuales el contratista deba ser penalizado.

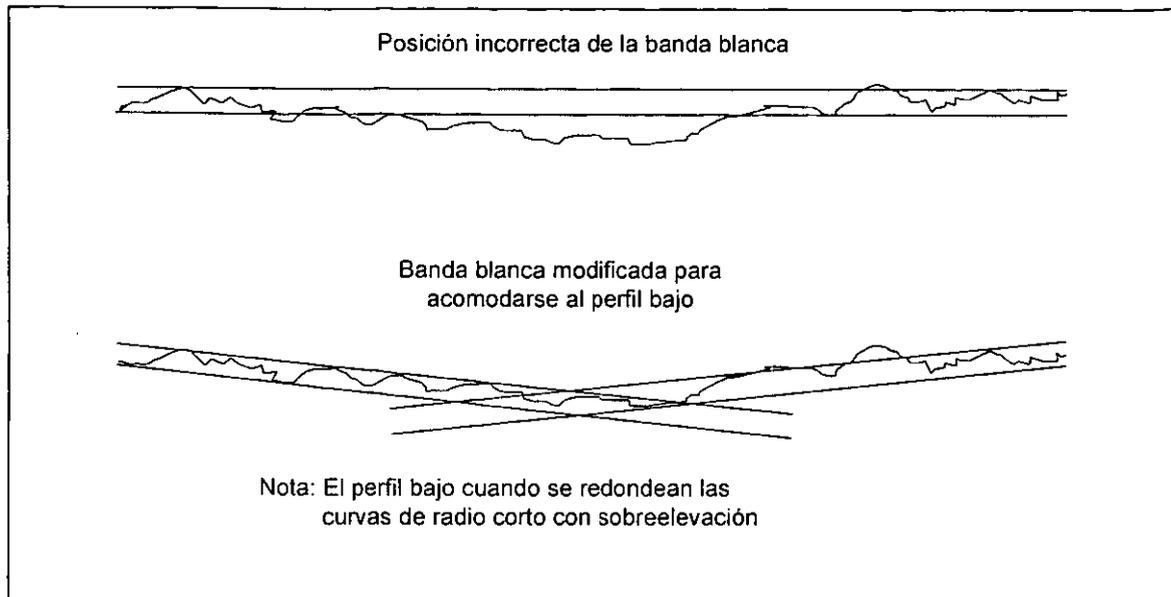
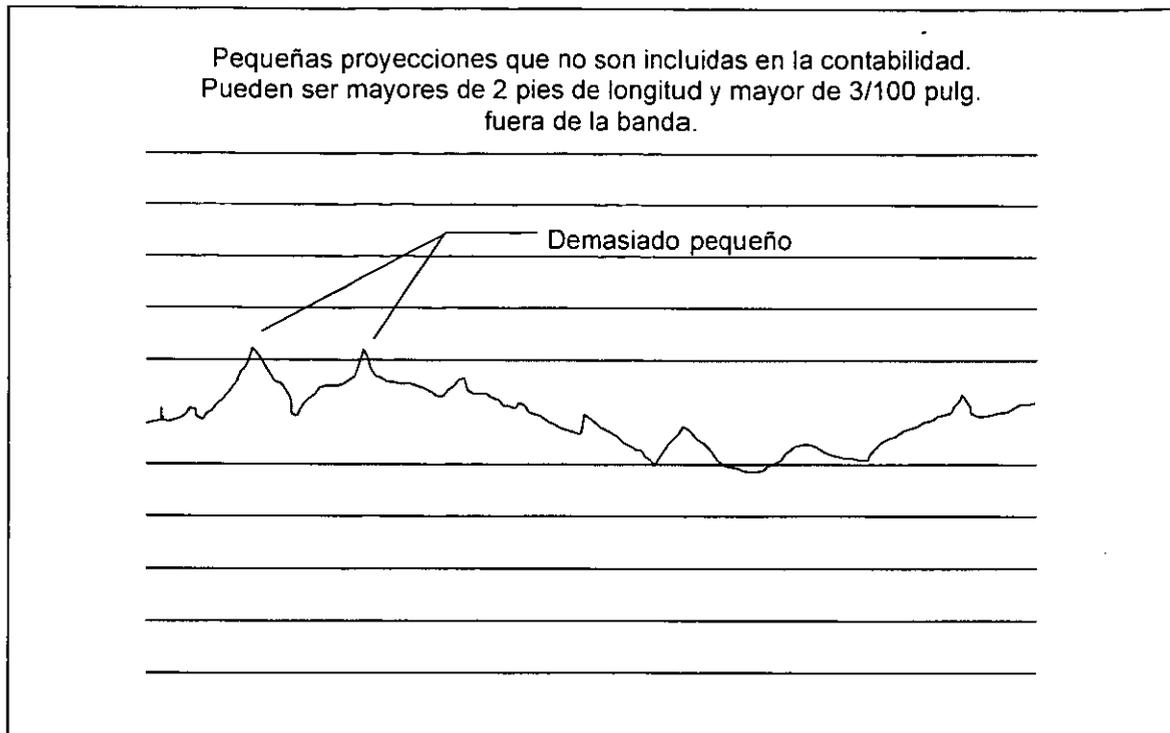


Figura 3.8.- Cambio en la línea blanca en un perfil bajo.

### 3.2.3.3 Registro de ondas.-

Para el registro de las ondas es necesario evaluar el trazo de cada "sección" en segmentos adyacentes de 160.9 m (0.1 millas); medir y sumar la altura de todas las ondas que aparezcan al mismo tiempo arriba y abajo de la banda blanca, incluso las "protuberancias por desbastar"; medir cada onda lo más próximo a 0.13 cm (0.05 pulg) redondeando abajo y arriba; no cuente la onda tan justo a 0.13 cm (0.05 pulg) nada más porque la línea de perfil aparezca fuera de la banda blanca o porque hay espacio por debajo de la línea.

Las porciones cortas de la línea de perfil pueden ser visibles afuera de la banda blanca, pero si no resalta de 0.08 cm (0.03 pulg) o más y se extiende longitudinalmente por 60 cm (0.20 m en el trazo del perfilógrafo) [2 pies - (0.08 pulg)] o más, no se debe incluir en el conteo (Figura 3.9).



*Figura 3.9. Pequeñas puntas que no deben tomarse en cuenta.*

No contar los picos. Las ondas con doble pico que no regresen hacia adentro de la banda blanca solamente se cuenta una vez en el pico más alto. En la Figura 3.10 se ilustra estas condiciones especiales.

Si la onda se produce al final de la banda blanca, cuente la onda solamente una vez. Ubique la onda en el "segmento" de 160.9 (0.1 millas) donde el pico es más alto (Figura 3.11).

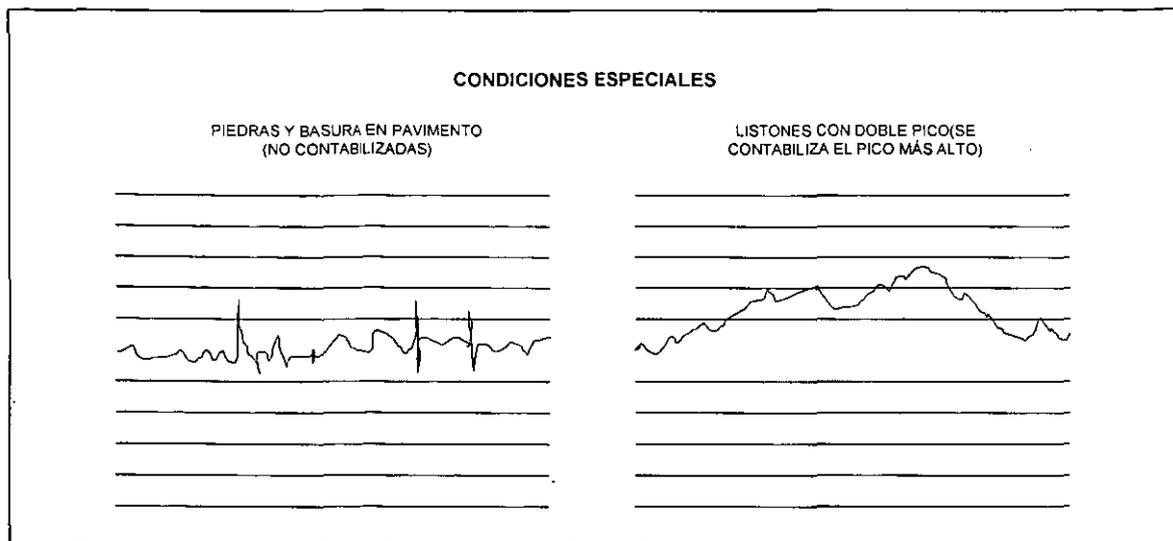


Figura 3.10.- Condiciones especiales de picos y dobles crestas.

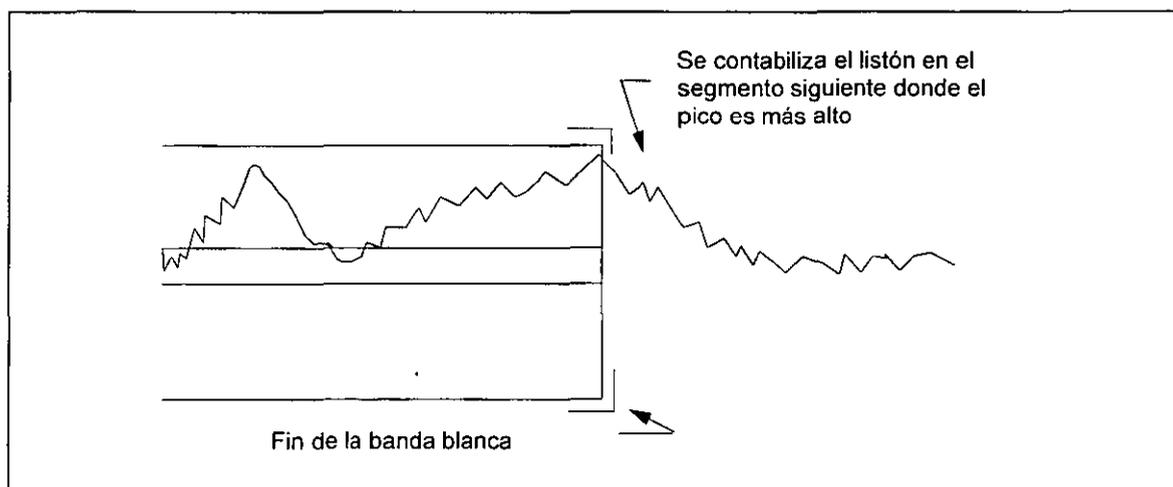


Figura 3.11.- Las deformaciones al final de la banda blanca son contadas en el segmento donde contenga el pico.

Se debe anotar la altura de cada onda sobre el trazo inmediatamente arriba de su localización (ver fig. 3.6). Después de que la altura de cada onda ha sido determinada y registrada, sume todas las ondas (en pulgadas o cm) del

"segmento". Registre esta cantidad total sobre el trazo del perfilógrafo arriba de la línea de perfil (hacia el centro del "segmento") y enciérrela en un círculo.

#### **3.2.3.4 Longitud horizontal del trazo.-**

Una vez que el conteo de las ondas para cada "segmento" fue registrado, la longitud del "segmento" debe ser determinada. Cada "segmento" es generalmente de 160.9 m (0.1 millas). Sin embargo, el último "segmento" contado para una "sección" (una jornada de pavimentación) no es por lo general igual a 160.9 m (0.1 millas), mida su longitud desde el trazo (en pulgadas) y conviértalas a millas.

En el ejemplo mostrado a continuación, la longitud sobrante del "segmento" mide 7.60 pulgadas (19.3 cm) de largo.

$$\frac{7.60 \text{ pulg} \times 25 \text{ pies/pulg}}{5280 \text{ pies/pulg}} = 0.036 \text{ millas (57.92 m)}$$

Si la longitud sobrante del "segmento" es menor que 0.047 millas (250 pies) (76.2 m) normalmente se suma y se incluye en la evaluación del "segmento" anterior. Por lo tanto en el ejemplo anterior, la longitud del último "segmento" debe ser de 0.136 millas (218.82 m) y no de 0.036 millas (57.92 m).

Es recomendable que la longitud medida (desde el trazo) siempre se apoye de acuerdo a cálculos. Esta longitud por lo general no coincide exactamente con la distancia determinada por la resta del cadenamiento real.

### 3.2.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PERFIL

El índice de perfil se determina dividiendo la suma del conteo total en cada "segmento" de una "sección" (corrida de jornada), por la suma de longitudes del "segmento" (en millas o km). Esto produce un promedio pesado del índice de perfil.

La Asociación Americana de Pavimentadores de Concreto recomienda que el promedio pesado o índice de perfil de la "sección" se utilice para determinar si el pavimento satisface las especificaciones.

La fórmula para el cálculo del promedio pesado o índice de perfil de la "sección" se proporciona a continuación con un ejemplo de cálculo.

$$IP = \frac{\text{Suma de conteo total del segmento (pulg, cm o mm)}}{\text{Suma de longitudes del segmento (millas o km)}}$$

En donde:

IP= Índice de Perfil

Ejemplo:

Un contratista pavimentó 1,984 pies (0.376 millas) (604.98 m) en un día. Su cuadrilla de personal corrió el perfilógrafo a lo largo de la línea central de cada carril. La "sección" de 1,984 pies (604.72 m) fue dividida en 4 "segmentos" durante la reducción del trazo. La suma de las alturas de las ondas son los totales de cada "segmento". Los resultados del trazo del carril exterior son consignados y tabulados como se muestran a continuación:

|          | Longitud del<br>segmento, (millas.) | Conteo,<br>(pulgadas) |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|
|          | 0.100                               | 0.50                  |
|          | 0.100                               | 0.40                  |
|          | 0.100                               | 0.35                  |
| 400 pies | <u>0.076</u>                        | <u>0.20</u>           |
|          | 0.376                               | 1.45                  |

Longitud de la sección = 0.376 millas (604.98 m)

Conteo total de ondas en la sección = 1.45 pulgadas (3.68 cm)

El índice de perfil se calcula empleando la formula indicada anteriormente.

$$IP = \frac{1.45 \text{ pulg}}{0.376 \text{ millas}} = 3.9 \text{ pulg/milla (6.16 cm/km)}$$

La especificación requiere un índice de perfil de 15.78 cm/km (10 pulg/milla). El contratista pavimentó el carril exterior de la "sección" a 6.16 cm/km (3.9 pulg/milla). Por lo tanto él cumplió con la especificación de manejo y tiene derecho al incentivo de pago por el valor agregado que proporcionó para este trabajo.

### 3.3 TERSURA ADMISIBLE

El nivel de aceptación para la tersura varía para el tipo y uso futuro del pavimento a construir o rehabilitar. Se recomienda que las especificaciones de manejo se tomen en cuenta para todos los pavimentos de vías primarias y secundarias. Esto incluye todos los carriles de tránsito, incluso las incorporaciones para carriles paralelos, carriles de preferencia en intersecciones, rampas de

intercambio y carriles de ascenso. El nivel de aceptación para estos pavimentos se describe en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1.- Índice de perfil aceptable para diferentes instalaciones.

| Tipo de camino | Tipo de instalación  | Índice Perfil aceptable,<br>pulg/millas<br>(cm/km) |                        |
|----------------|--|--|------------------------|
|                |  | <45 mph<br>(72.4 km/h)                             | >45 mph<br>(72.4 km/h) |
| A (1)          | Carreteras Interestatales y Rurales principales (tangentes y curvas mayores de 1,500 pies (457.20 m de radio))                 | -  | 10<br>(15.78)          |
| A (2)          | Carreteras Interestatales y Rurales principales (curvas mayores de 850 pies - 259.10 m, pero menores de 1,500 pies (457.20 m)) | -  | 12<br>(18.94)          |
| B              | Vía rápida urbana  | -  | 12<br>(18.94)          |
| C              | Rampas/Gazas.  | 30<br>(47.36)                                      | 30<br>(47.36)          |
| D              | Caminos secundarios y Municipales  | 30<br>(47.36)                                      | 12<br>(18.94)          |

### 3.4 PAGO INCENTIVO

La Asociación Americana de Pavimentadores de Concreto anima el uso de incentivos para fomentar la tersura en todo tipo de pavimentos. Los incentivos alientan la calidad y desarrollan sensibilidad a los grupos de trabajo. Los

incentivos son una recompensa por excelencia. En México también son promovidos estos incentivos.

Se ha demostrado que los contratistas pueden llevar a cabo muchos trabajos en un tiempo menor al asignado cuando se ven animados por incentivos financieros. El Instituto de Transporte de Texas encontró que un plan de incentivos de pago da como resultado menores costos en los sistemas de pavimentos que cuando dicho incentivo no es ofrecido. Esto es debido a que los contratistas son motivados a mantener una preocupación extra en la construcción del pavimento además de la requerida para salir adelante con los requisitos típicos especificados.

El resultado es que los sistemas de pavimentos son mejorados considerablemente para poder soportar más cargas, proporcionando mejor servicio al público y por lo tanto, incrementar el valor de la infraestructura. Este valor incrementado es llamado "valor agregado", y es logrado a través del uso de incentivos.

Inicialmente los pavimentos tersos soportan más tránsito pesado a lo largo de su vida de diseño. Esto puede ser demostrado en las ecuaciones de diseño de pavimentos AASHTO como un modelo de predicción. La figura 3.12 muestra el incremento de la vida pronosticada por el modelo AASHTO correspondiente a incrementos en el índice de servicio.

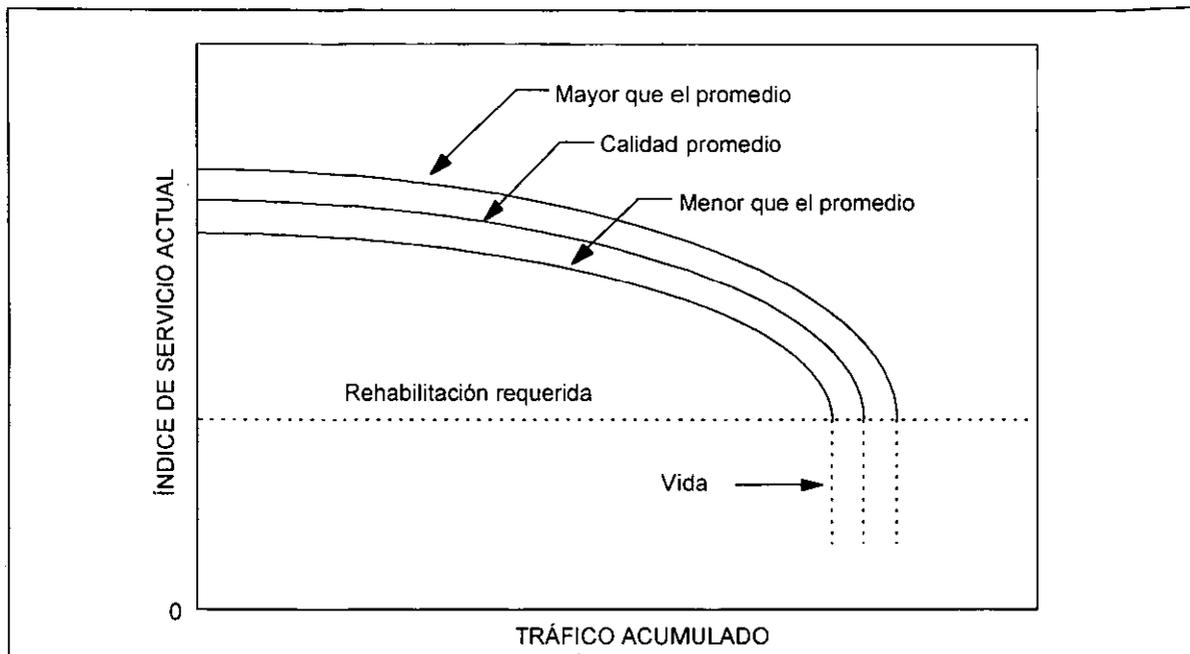


Figura 3.12.- Los pavimentos tersos duran mayor tiempo.

El Índice de Perfil puede ser correlacionado con el Índice de Servicio Actual (I.S.A.) como se indica en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2.- Correlación del Índice de Servicio con el Índice de Perfil.

| Índice de Servicio | Índice de Perfil            |
|--------------------|-----------------------------|
| 4.8                | 3 pulg/milla (4.73 cm/km)   |
| 4.5                | 7 pulg/milla (11.05 cm/km)  |
| 4.3                | 12 pulg/milla (18.94 cm/km) |

Un pavimento inicialmente construido con un Índice de Servicio Actual (I.S.A.) de 4.8 (alrededor de 3 pulg/milla (4.73 cm/km) en el perfilógrafo) comparado a un pavimento con un I.S.A. inicial de 4.3 (alrededor de 12 pulg/milla (18.94 cm/km) en el perfilógrafo) soportará cerca de 19% o más de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton (18,000 libras) durante su vida de diseño.

La AASHTO seleccionó arbitrariamente un límite de incentivo de 5% en la Guía de Especificaciones para la Calidad de Manejo de 1981. Como puede observarse en la Figura 3.13, el “valor agregado” se excede más del 5%. Por lo tanto, se recomienda que los factores de incentivo sean incrementados para reflejar el “valor agregado” más apropiadamente. Este incremento es de interés público y está soportando por el concepto de “valor agregado” en la capacidad de carga.

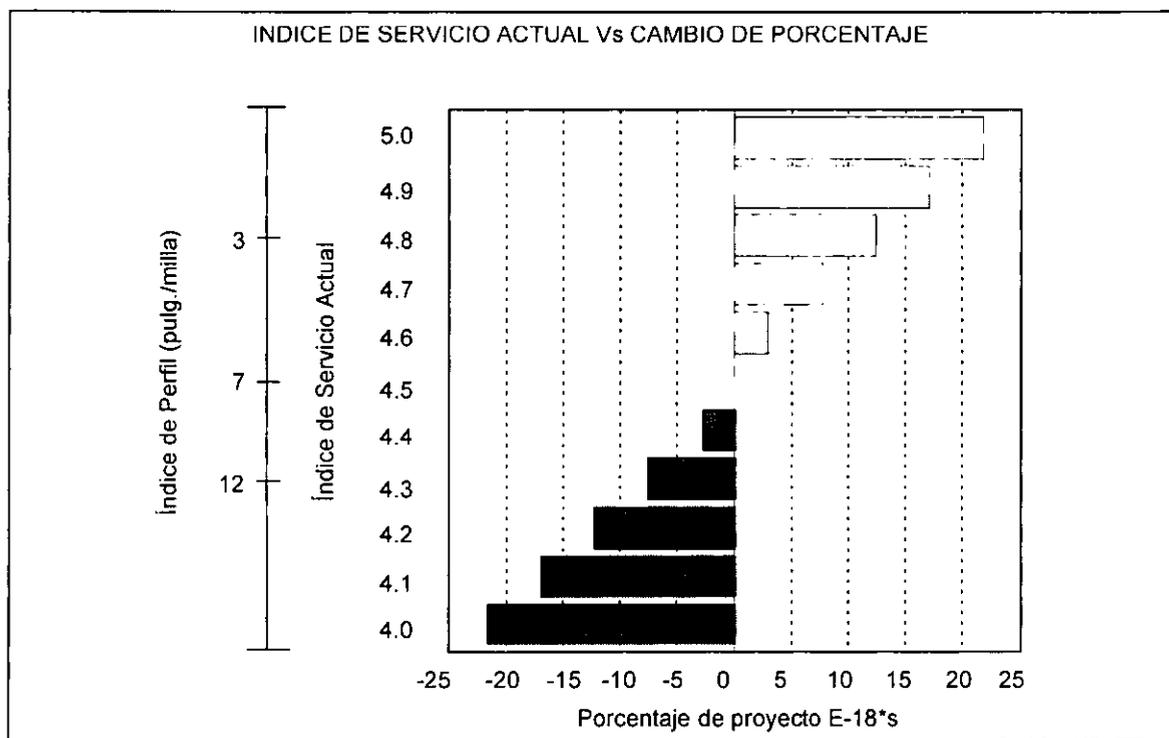


Figura 3.13.- El cambio de la capacidad de transporte de carga pesada por incremento en la tersura es la base para los incentivos.

Basado en la experiencia de varios años anteriores usando incentivos de pago para llevar a cabo estándares más altos en la calidad de manejo del

pavimento y basados en el concepto del "valor agregado", el programa de pago mostrado en la tabla 3.3 es recomendado para las autopistas clase A.

Tabla 3.3.- Pagos recomendados para autopistas clase A.

| Índice de Perfil<br>(pulg/milla) | AASHTO<br>Pago *                | ACPA<br>Pago * |
|----------------------------------|---------------------------------|----------------|
| Menor a 3                        | 105                             | 110            |
| De 3 a 4                         | 104                             | 108            |
| De 4 a 5                         | 103                             | 106            |
| De 5 a 6                         | 102                             | 104            |
| De 6 a 7                         | 101                             | 102            |
| De 7 a 10                        | 100                             | 100            |
| De 10 a 11                       | 98**                            | 98**           |
| De 11 a 12                       | 96**                            | 96**           |
| De 12 a 13                       | 94**                            | 94**           |
| De 13 a 14                       | 92**                            | 92**           |
| De 14 a 15                       | 90**                            | 90**           |
| Más de 15                        | Requiere trabajos de corrección |                |

\* Porcentaje de ajuste del precio unitario del pavimento.

\*\* Para los casos en que el índice de perfil en camino rural ó un camino primario varíe entre 10 y 15 pulg/milla, el constructor puede elegir entre corregir el pavimento para recibir el pago del 100%.

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte maneja el premio o deducción por calidad de superficie terminada del pavimento en función a la tabla 3.4.

*Tabla 3.4.- Parámetros de ajuste al precio contratado utilizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.*

| <b>Índice de Perfil en cm por km por cada sección de 200 m</b> | <b>Factor de Ajuste Aplicable sobre el Precio Contratado</b> |
|--|--|
| 5.0 o menos  | 1.05   |
| 5.1 a 6.5  | 1.04   |
| 6.6 a 8.0  | 1.03   |
| 8.1 a 9.5  | 1.02   |
| 9.6 a 11.0   | 1.01   |
| 11.1 a 16.0  | 1.00   |
| 16.1 a 18.5  | 0.98   |
| 18.6 a 20.0  | 0.96   |
| 20.1 a 21.5  | 0.94   |
| 21.6 a 23.0  | 0.92   |
| 23.1 a 25.0  | 0.90   |
| Mayor que 25.0   | Corregir   |

*No se pagará premio alguno por aquellas secciones que originalmente presentaron un índice de perfil mayor a 16 cm/km y fueron corregidas.*

**CAPÍTULO 4**  
**EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE**  
**DE PAVIMENTO**

## CAPÍTULO 4

### EVALUACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PAVIMENTO

Para poder evaluar la superficie del pavimento terminado en el tramo de estudio de este trabajo, es necesario conocer los lineamientos que establece la SCT para la determinación del índice del perfil (IP). Estos lineamientos están basados en todo lo expuesto en el capítulo 3 de este trabajo, con algunas adecuaciones aplicables a nuestro país.

Primeramente, el perfil del pavimento se midió a lo largo de unas líneas imaginarias y están ubicadas aproximadamente al centro del carril y que son paralelas a aquellos que delimitan a cada carril de circulación en el que fueron evaluados. Estas mediciones, efectuadas a todo lo largo del pavimento fueron divididas en tramos consecutivos de 200 m cada uno, con el fin de establecer secciones que tuvieron premio o deducciones debido a la calidad de la superficie terminada.

Después de que la superficie del pavimento fue ensayada, toda aquella sección que presentó una deformación igual o mayor a 10 mm en una distancia de

7.50 m o menor, debió haberse corregido para reducir el índice de perfil (IP) a 16 cm/km o menor.

Las secciones de pavimento donde se requirió corregir, se tuvieron que ensayar nuevamente una vez que dichas correcciones fueron concluidas para asegurar que efectivamente se haya reducido el perfil.

El límite del índice de perfil aceptable sin sanciones fue de 16 cm/km o menor; mayor a éste hasta 25 cm/km fue sujeto a la sanción en tramos de 200 m; y mayor a 25 cm/km, se tuvo que corregir.

El pago de la construcción de la losa de concreto hidráulico, estuvo en función del acabado de la superficie de concreto, y fue sujeto al ajuste dentro del precio unitario según los factores mostrados en el Capítulo 3, en la Tabla 3.4, que dice "Factores de Ajuste al Precio Contratados", utilizado por la SCT.

Una vez que se determinó los requerimientos solicitados para la obra por parte de la SCT, se determinó la evaluación del índice del perfil.

Concluidos los trabajos de tendido, compactación y texturizado del concreto, se procedió a realizar las mediciones con el perfilógrafo, trazando la ruta a lo largo del centro de cada carril de circulación.

Estas mediciones se realizaron inmediatamente después de que el concreto colado resistía el peso de una persona sin dejar alguna marca sobre su superficie, con el fin de ayudar a la constructora al detectarse algún problema con el tendido y poder corregir los métodos y equipos de pavimentación oportunamente.

Durante el transcurso de la construcción de la losa de concreto hidráulico en el tramo de estudio, los primeros días de tendido se presentaron índices de perfil muy elevados, es decir, con una rugosidad muy elevada; conforme la constructora fue revisando y ajustando su equipo de tendido, así como la calidad y homogeneidad de la mezcla de concreto hidráulico, los índices de perfil fueron mejorando notablemente.

Para el desarrollo de este capítulo, dentro del tramo del km 194+000 al 216+000, se evaluarán varios subtramos representativos (de 200 m cada uno) para la determinación del índice de perfil, abarcando subtramos que van desde rugosidades muy bajas hasta rugosidades altas, así como zonas por desbastar y corregir. Estos tramos se en listan a continuación (Tabla 4.1):

*Tabla 4.1.- Tramos seleccionados para la evaluación del Índice del Perfil*

| <b>CUERPO A (dirección Mex-Qro)</b> | <b>CUERPO B (dirección Qro-Mex)</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 195+200 al 195+400                  | 195+400 al 195+600                  |
| 198+200 al 198+400                  | 197+600 al 197+800                  |
| 199+000 al 199+200                  | 199+000 al 199+200                  |
| 202+800 al 203+000                  |                                     |
| 203+200 al 203+400                  |                                     |

En las gráficas números 4.1 a la 4.8 (anexo 1), se muestran los registros del perfil de la superficie del pavimento obtenido en el tramo de la obra.

Como se pueden observar, están formadas por tres líneas de trazos, los que representan cada una de ellas la línea del perfil de la superficie del carril de circulación; por otro lado, se aprecia la aplicación de la banda blanca de 0.2" sobre cada uno de los trazos registrados.

Además de la banda blanca, es complementado el registro con: una línea suavizada del perfil, cadenamientos a lo largo del perfil, fechas de los días que se realizó el tendido, protuberancias por desbatar (sí es que existen), medición de la deformación de la superficie expresada en metros, identificación de carriles de circulación, etc.

Para el inicio del cálculo del índice de perfil, se tomará como ejemplo el tramo del km 195+200 al km 195+400, carril izquierdo (gráfica 4.1); se sumarán todas las deformaciones que sobrepasan por la parte superior e inferior de la banda blanca del trazo que corresponde al carril izquierdo de circulación, teniendo una deformación acumulada de 4.65 cm en un tramo de 200 m.

Recordando que para el cálculo del índice del perfil (IP), se expresa dividiendo la suma de las deformaciones (en cm o mm) entre la distancia de 200 m (en km).

Por lo tanto, sustituyendo:

$$IP = \frac{4.65 \text{ cm}}{0.200 \text{ km}} = 23.25 \text{ cm/km para el carril izquierdo de circulación.}$$

El mismo procedimiento se realiza para los carriles centrales y derechos, teniendo los siguientes resultados:

Carril Central = 6.30 cm

Carril Derecho = 6.95 cm

Por lo tanto, el índice de perfil será:

$$IP = \frac{6.30 \text{ cm}}{0.200 \text{ km}} = 31.50 \text{ cm/km para el carril central.}$$

$$IP = \frac{6.95 \text{ cm}}{0.200 \text{ km}} = 34.75 \text{ cm/km para el carril derecho.}$$

El índice de perfil que representará al tramo del km 195+200 al km 195+400 será el promedio aritmético de los índices de perfil obtenidos por cada carril de circulación, por lo tanto:

$$IP_{\text{TRAMO}} = (IP_{\text{Carril Izq.}} + IP_{\text{Carril Ctral.}} + IP_{\text{Carril Der.}})/3$$

$$IP_{\text{TRAMO}} = (23.25 + 31.50 + 34.75)/3$$

$$IP_{\text{TRAMO}} = 30.00 \text{ cm/km}$$

Una vez calculado el IP del tramo, de la Tabla 3.4 (del capítulo 3), se puede observar que para el ajuste del precio unitario, el índice del perfil fue superior a los 25 cm/km, por tal razón no alcanzó ningún factor de ajuste, por lo que se debe de corregir el tramo.

Después de la determinación del Índice del Perfil del tramo y el factor de ajuste al precio unitario, se procedió a la localización de protuberancias por desbatar, donde el área presentó una desviación mayor a 10 mm en una

distancia de 7.50 m. Para esto se utilizó una plantilla especial para una fácil localización de éstas.

Observando la gráfica 4.1, en el carril central se marcan dos protuberancias por desbastar, una ubicada en el km 195+259 y la segunda ubicada en el km 195+353. Esta última se presenta además en los carriles de circulación de lado izquierdo y derecho; estos “picos” excedentes, fueron desbastados por medio de una cortadora de disco con punta de diamante.

De todo lo anterior, podemos decir que la evaluación del tramo quedó como lo muestra en la Tabla 4.2:

Tabla 4.2.- Evaluación del Índice del Perfil del tramo km 195+200 al km 195+400

| Tramo<br>Del km al km | Índice del Perfil Promedio (cm/km) |                  |                |          | Zona por<br>Desbastar | Factor<br>de<br>Ajuste<br>al P.U. |
|-----------------------|------------------------------------|------------------|----------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
|                       | Carril<br>Izq.                     | Carril<br>Ctral. | Carril<br>Der. | Promedio |                       |                                   |
| 195+200 al 195+400    | 23.25                              | 31.50            | 34.75          | 30.00    | 195+259<br>195+353    | Corregir                          |

En los demás tramos representativos, de la Tabla 4.1, se siguieron los mismos criterios para la evaluación de la superficie del pavimento, contabilizando las deformaciones de cada segmento de 200 m por carril, así como el cálculo del índice del perfil y la determinación de zonas de protuberancias por desbastar.

ESTA TESIS NO SALE  
 DE LA BIBLIOTECA

Los resultados de las evaluaciones de estos tramos son mostrados en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3.- Evaluación del Índice del Perfil en los tramos seleccionados

| Tramo<br>Del km al km | Índice del Perfil Promedio (cm/km) |                  |                |          | Zona por<br>Desbastar | Factor<br>de<br>Ajuste<br>al P.U. |
|-----------------------|------------------------------------|------------------|----------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
|                       | Carril<br>Izq.                     | Carril<br>Ctral. | Carril<br>Der. | Promedio |                       |                                   |
| <b>CUERPO A</b>       |                                    |                  |                |          |                       |                                   |
| 195+200 al 195+400    | 23.25                              | 31.50            | 34.75          | 30.00    | 195+259<br>195+353    | Corregir                          |
| 198+200 al 198+400    | 23.25                              | 28.50            | 21.75          | 24.50    | 198+288<br>198+307    | 0.90                              |
| 199+000 al 199+200    | 49.50                              | 51.75            | 60.75          | 54.00    | 199+022<br>199+158    | Corregir                          |
| 202+800 al 203+000    | 42.50                              | 36.50            | 48.25          | 42.42    | -                     | Corregir                          |
| 203+200 al 203+400    | 24.00                              | 20.25            | 16.75          | 20.33    | 203+295<br>203+302    | 0.94                              |
| <b>CUERPO B</b>       |                                    |                  |                |          |                       |                                   |
| 195+400 al 195+600    | 2.25                               | 3.75             | 8.75           | 4.92     | 195+426<br>195+563    | 1.05                              |
| 197+600 al 197+800    | 13.75                              | 10.75            | 7.25           | 10.58    | 197+665               | 1.01                              |
| 199+000 al 199+200    | 1.00                               | 1.00             | 1.00           | 1.00     | -                     | 1.05                              |

Como se podrá observar en la Tabla 4.3, el Cuerpo A presentó unos índices de perfil promedio superiores a los 16 cm/km, lo que implicó ser sancionados sobre su precio unitario, y los casos que fueron mayores de 25 cm/km, se requirió la corrección de ellos.

Las causas que produjeron un índice de perfil alto se debieron a las siguientes causas:

- a) El arranque de la obra se inició en el tramo del km 194+000 del cuerpo A, por lo tanto el equipo de tendido, así como el equipo de consolidación (vibradores), no se hallaban calibrados al 100%.
- b) El personal que operaba el equipo no se encontraba totalmente capacitado.
- c) Una de las causas que influenció más en el acabado de la superficie del camino, es sin duda la consistencia no homogénea de la mezcla de concreto hidráulico; aunque se tenía un rango de aceptación amplio del revenimiento (2.5 a 6 cm colocado en obra); el existir gran variación del revenimiento, al equipo de pavimentación se le dificultaba la distribución y compactación de la mezcla de concreto, lo que se veía reflejado en el acabado de la superficie.
- d) Las principales causas que propiciaba un revenimiento variable consistía en el suministro de los materiales, sobre todo en las arenas. La arena fue suministrada por dos bancos de materiales a cielo abierto, lo que provocaba que al almacenarse ambas arenas los contenidos de humedad no fuesen constantes, y al ser dosificado en las tolvas con los demás agregados, el proporcionamiento del agua era variable.
- e) A pesar de que la planta de producción tuvo la capacidad de producir mezcla de concreto suficiente para abastecer al equipo de tendido, no se

contó con una coordinación adecuada entre la planta de producción y el equipo de tendido, ya que no existió un suministro constante de la mezcla de concreto hidráulico y esto provocaba que la máquina pavimentadora se viera obligada a parar continuamente, lo que ocasionaba al arrancar un “reparo” en el equipo de pavimentación provocando así deformaciones sobre la superficie del pavimento.

Conforme fue avanzando la obra, estos detalles se fueron ajustando, principalmente en la producción y suministro de la mezcla de concreto hidráulico.

Como prueba de ello se ve reflejado en el cuerpo B, donde se tuvieron índices de perfil mucho menores de los 16 cm/km solicitado por la SCT, por tal motivo, también fueron acreedores de una bonificación sobre su precio unitario.

Cabe mencionar que en las zonas donde se presentaron deformaciones por desbatar, no necesariamente se debió de tener un índice de perfil malo, como lo demuestra en el tramo del km 195+400 al km 195+600 del cuerpo B, donde el índice de perfil fue de 4.92 (mucho menor a los 16 cm/km permitidos) y con una bonificación del 5%; no obstante, se detectaron dos zonas por desbatar y por lo tanto el constructor estuvo obligado a corregir dichas zonas.

Por otro lado, se pueden presentar casos en donde el índice del perfil fue muy malo y sin embargo no tuvo ninguna zona por desbatar, tal como lo muestra el tramo del km 202+800 al km 203+000 del cuerpo A.

En las zonas por desbatar y en las que el IP fueron superior a los 25 cm/km, tuvieron que ser corregidos fresando con una cortadora de disco, para que

posteriormente se evaluara con el perfilógrafo los tramos correspondientes de 200 m que fuera corregido.

Los tramos corregidos fueron del km:

195+200 al 195+400, cuerpo "A"

199+000 al 199+200, cuerpo "A"

203+200 al 203+400, cuerpo "A"

En las gráficas 4.9 al 4.13, se muestran los perfiles después de haberse realizado el desbastado en las zonas requeridas. Siguiendo el mismo procedimiento para el cálculo del índice del perfil, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.4.

Como se puede observar, los índices del perfil bajaron considerablemente, pero en algunos tramos no fueron suficientes para cumplir con lo estipulado por la SCT, ya que continúan por encima del índice del perfil solicitado (25 cm/km).

Los perfiles que entraron dentro del rango de tolerancia, no se le pagó premio alguno por presentar originalmente un índice de perfil mayor de 16 cm/km.

Tabla 4.4.- Índice del perfil en la losa de concreto hidráulico después de haberse realizado las reparaciones en las zonas por desbastar.

| Tramo<br>Del km al km | Índice del Perfil Promedio (cm/km) |                  |                |          | Zona por<br>Desbastar | Factor<br>de<br>Ajuste<br>al P.U. |
|-----------------------|------------------------------------|------------------|----------------|----------|-----------------------|-----------------------------------|
|                       | Carril<br>Izq.                     | Carril<br>Ctral. | Carril<br>Der. | Promedio |                       |                                   |
| <b>CUERPO A</b>       |                                    |                  |                |          |                       |                                   |
| 195+200 al 195+400    | 23.25                              | 31.50            | 34.75          | 30.00    | 195+259<br>195+353    | Corregir                          |
|                       | 23.25                              | 20.75            | 19.25          | 21.08    | 195+353               | 0.94                              |
| 198+200 al 198+400    | 23.25                              | 28.50            | 21.75          | 24.50    | 198+288<br>298+307    | 0.90                              |
|                       | 12.25                              | 9.00             | 17.00          | 12.75    | -                     | 1.00                              |
| 199+000 al 199+200    | 49.50                              | 51.75            | 60.75          | 54.00    | 199+022<br>199+158    | Corregir                          |
|                       | 32.50                              | 38.25            | 38.75          | 36.50    | -                     | Corregir                          |
| 203+200 al 203+400    | 24.00                              | 20.25            | 16.75          | 20.33    | 203+295<br>203+302    | 0.94                              |
|                       | 9.25                               | 9.75             | 13.00          | 10.67    | -                     | 1.01                              |

- Información antes del desbastado  
 Información después del desbastado

## **CONCLUSIONES**

## CONCLUSIONES

La evaluación de la textura de la superficie de rodamiento de un camino ha tomado mucho interés por parte de las autoridades gubernamentales mexicanas responsables de la construcción y mantenimiento de carreteras.

Estas medidas favorecen en gran medida a la conservación del camino, una mayor vida de la estructura y por consiguiente se beneficia también el usuario que conduzca sobre él.

Para lograr que la superficie de rodamiento de un camino tenga una superficie lo menos rugosa posible, se deben de tomar muy en serio las consideraciones antes y durante la construcción o rehabilitación del camino, como se indicó en este trabajo, ya que cualquier consideración no contemplada o fuera de lo especificado se verá traducida en la superficie terminada de rodamiento (rasante) con una rugosidad muy marcada.

En México es un concepto nuevo el hablar de tersura o rugosidad sobre la superficie del camino, por lo tanto, cuesta trabajo concientizar a las personas que

se encuentran involucradas en la construcción como en la supervisión de los trabajos de construcción o rehabilitación de un camino, de la importancia de lograr superficies de rodamiento menos rugosas.

Esta falta de familiaridad se vio reflejada en la construcción del camino utilizado como ejemplo presentado en este trabajo, lo que originó que se presentaran índices de perfil fuera de tolerancia. Los factores que más influenciaron durante el proceso constructivo al índice de perfil se mencionan algunos en el Capítulo 4. Aunque parezca repetitivo, es de suma importancia tomar en cuenta estos factores para que en un futuro poder lograr un índice de perfil aceptable dentro de las Normas solicitadas por la SCT, los cuales se mencionan a continuación:

Se contó con un equipo de pavimentación totalmente nuevo, por lo que al iniciar las actividades de tendido de la losa de concreto hidráulico por primera vez, tuvo que realizar ajustes sobre la marcha del tendido, lo que ocasionó una superficie de rodamiento muy deformada.

Por otro lado, el personal que operaba el equipo no se encontraba totalmente capacitado para el manejo del equipo.

Otra causa que influenció en el acabado de la superficie del camino, es sin duda el suministro de la mezcla de concreto hidráulico, que presentó a sus inicios revenimientos que variaron de 2.5 cm a 6 cm; las especificaciones solicitaban 4 cm de revenimiento con una tolerancia de  $-1.5$  cm  $+2$  cm colocado al pie de la máquina pavimentadora. Estas variaciones de revenimiento, a pesar de estar dentro de tolerancias, al equipo de pavimentación se le dificultaba el

desplazamiento, la distribución y compactación de la mezcla de concreto, lo que se veía reflejado en el acabado de la superficie.

Una de las principales causas que propiciaba un revenimiento variable consistía en el suministro de los materiales a la planta de elaboración del concreto. El material con más problemas para su control fue la arena, ya que fue suministrada por dos bancos de materiales a cielo abierto y sin tener un control adecuado de almacenamiento y homogeneización. Los contenidos de humedad de las arenas no eran constantes, por lo que al ser dosificado en las tolvas con los demás agregados, la cantidad de agua calculada para la mezcla variaba constantemente obteniendo así revenimientos variados.

Otro problema de consideración fue el abastecimiento de la mezcla al equipo de pavimentación, a pesar de que la planta de producción tuvo la capacidad necesaria de producir mezcla de concreto suficiente, no se contó con una coordinación adecuada entre la planta de producción, los equipos de transportación (flowboys) y el equipo de tendido, debido a esto, no hubo un suministro constante de mezcla y esto provocó que la máquina pavimentadora parara constantemente, lo que ocasionaba al arrancar un "reparo" en el equipo de pavimentación provocando así deformaciones sobre la superficie del pavimento.

Todas estas causas se fueron ajustando sobre la marcha, logrando así índices de perfil muy bajos, tan bajos que los tramos evaluados fueron acreedores de la bonificación más alta que otorgaba la SCT.

Esto demuestra, que la ingeniería mexicana con sus Normas y Especificaciones para evaluar y construir pavimentos con índices de rugosidades muy bajas, puede estar a la vanguardia respecto a las Normas extranjeras,

siempre y cuando se consideren los factores antes descritos para la buena ejecución de un camino.

En resumen de todo lo expuesto anteriormente, se mencionan los puntos clave que contribuye en el diseño y construcción de un pavimento de concreto tersos:

- Considerar la calidad del manejo en el pliego de requisitos del proyecto.
- Una subrasante bien construida y bien drenada.
- Un Trackline estable y uniforme (carril para tránsito de orugas de la máquina pavimentadora).
- Una mezcla del concreto uniforme y estable.
- Un avance constante de la máquina pavimentadora (sin paradas).
- El uso del perfilógrafo para medir la calidad del manejo.
- El uso de incentivos para promover la excelencia en la calidad de la construcción.
- Personal capacitado y bien entrenado.
- Equipo de trabajo adecuado y en buenas condiciones.

## **GLOSARIO**

## GLOSARIO

**Alineamiento Horizontal.-** Proyección del eje de proyecto de una carretera sobre un plano horizontal.

**Alineamiento Vertical.-** Proyección del desarrollo del eje de proyecto de una carretera sobre un plano vertical.

**Bacheo.-** Reparación de las oquedades de varios tamaños de la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando oquedades.

**Banda Blanca.-** Es una banda de altura uniforme con una posición longitudinal óptimamente colocada al centro entre lo alto y bajo de la superficie del graficador.

**Base Estabilizada.-** Capa de base hidráulica donde se incorpora algún agente estabilizador (cal o cemento) y mejora las características de los materiales pétreos empleados.

**Base Hidráulica.-** Capa de material pétreo, mezcla de suelo cemento, mezcla bituminosa, o piedra triturada, que se coloca encima de la sub-base.

- Brillo Superficial.-** Cuando la losa de concreto hidráulico presenta sobre su superficie una pequeña lámina de agua.
- Canastilla.-** Silleta de alambión de 8 mm de diámetro para apoyar los pasajuntas.
- Carpeta Asfáltica o Carpeta de Concreto Asfáltico.-** Elemento estructural donde pueden circular los vehículos, hecha de una mezcla proporcionada de grava, arena y asfalto.
- Desbastado.-** Acción de fresar o labrar la superficie de un pavimento.
- Fresado.-** Acción de desbastar o labrar la superficie de un pavimento.
- Incentivo.-** Es una recompensa sobre el precio unitario al constructor por lograr una tersura excelente de un pavimento.
- Índice de Perfil.-** Es la relación de dividir la suma del conteo total (deformaciones en cm o mm) de una sección de 200 m, por la longitud de la sección de 200 m. El índice de perfil es el criterio para evaluar la tersura del pavimento.
- Ondas.-** Son aquellas desviaciones de la línea del perfil que sobresalen los límites inferiores o superiores de la banda blanca.
- Losa de Concreto.-** Elemento estructural donde circulan los vehículos hecha de una mezcla proporcionada de grava, arena, cemento y agua.
- Pasa Junta.-** Barra lisa de acero de 1½" de diámetro, longitud de 46 cm, y espaciadas a 30 cm colocadas transversalmente al eje longitudinal del camino y cuya función principal es la transferencia de esfuerzos de una losa de concreto hidráulico y otra adyacente.

- Pavimento.-** Toda la estructura que descansa sobre el terreno de fundación y que se halla formada por las diferentes capas: sub-base, base hidráulica, base estabilizada, capa de rodamiento y sello.
- Perfilógrafo.-** Equipo de medición que proporciona el trazo del perfil sobre la superficie del pavimento.
- Protuberancias por Desbastar.-** Es cualquier pico prominente o punto alto sobre la línea de perfil que sea igual o mayor de 0.4" en una distancia horizontal igual o menor a 7.62 m.
- Rasante.-** Proyección del desarrollo del eje de la corona de una carretera sobre un plano vertical.
- Rehabilitar.-** Trabajo de mejoramiento de una superficie deteriorada.
- Reducción del Trazo.-** Es el dibujo apropiado de la línea del perfil sobre el trazo del campo.
- Rugosidad.-** La menor variación en la elevación vertical de la superficie del pavimento. Es decir, las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana.
- Sub-base.-** La capa de material seleccionado (tierra seleccionada), que se coloca encima de la subrasante.
- Subrasante.-** Última capa de las terracerías y antes de las capas correspondiente al pavimento (sub-base, base, capa de rodamiento, etc.).
- Subyacente.-** Capa de transición formada por materiales pétreos entre las capas del terraplén y la capa de subrasante.

- Terracerías.-** Es aquel que sirve de apoyo al pavimento después de haber sido terminado el movimiento de tierras y que, una vez compactado, tiene las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos de diseño.
- Terraplén.-** Macizo de tierra que se levanta para hacer una plataforma que servirá de asiento a una carretera, vía de ferrocarril, construcción, etc.
- Tersura.-** Liso, sin arrugas.
- Trackline.-** Carril para circular las orugas de la máquina pavimentadora.
- Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA).-** Número de vehículos que pasan por un lugar dado durante un año, dividido entre el número de días del año.
- Valor Agregado.-** Es el incremento del valor de la estructura debido a las mejoras del sistema de pavimentación para soportar más carga y proporcionando mejor servicio al público.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## BIBLIOGRAFÍA

- ✍ ESPECIFICACIONES COMPLEMENTARIAS PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO DE LA OBRA: AMPLIACIÓN DE LA CARRETERA: MÉXICO-QUERÉTARO, TRAMO: PALMILLAS - QUERÉTARO, SUBTRAMO: km 194+000 AL km 216+600, ORIGEN: MÉXICO.  
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES  
DIRECCIÓN DE CARRETERAS FEDERALES/1997.
- ✍ CONSTRUCTING SMOOTH CONCRETE PAVEMENTS  
CONCRETE PAVEMENT TECHNOLOGY  
AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION, 1990
- ✍ STANDARD TEST METHOD FOR MEASURING PAVEMENT  
ROUGHNESS USING A PROFILOGRAPH  
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS  
DESIGNATION: E 1274.- 88 (REAPPROVED 1993)
- ✍ OPERATING MANUAL RAINHART Cat. No. 860 PROFILOGRAPH  
RAINHART Co. TESTING EQUIPMENT  
REVISED 6/85, AUSTIN, TEXAS
- ✍ WILLIAM S. PHELON  
CONSTRUCCIÓN DE LOSAS Y PISOS DE CONCRETO  
INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C.  
PRIMERA EDICIÓN, 1992  
MÉXICO, D.F., 1992

- ✍ JOSEPH J. WADDELL  
MANUAL DE INSPECCIÓN DEL CONCRETO, TOMO II  
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
DIRECCIÓN DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO Y ESTUDIOS  
ESPECIALES  
SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN  
MEXICO, D.F., 1984
- ✍ DONALD L- SCHLEGELL  
COMPACTACIÓN DEL CONCRETO  
INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, A. C.  
PRIMERA EDICIÓN, 1992  
MÉXICO, D.F., 1992

**ANEXOS**

ARRIL-12Q  
CPD - DER  
75+340

6-NOV-97

PRINTED IN U.S.A.

100 FT. EACH 60/4

RECORDER CHART

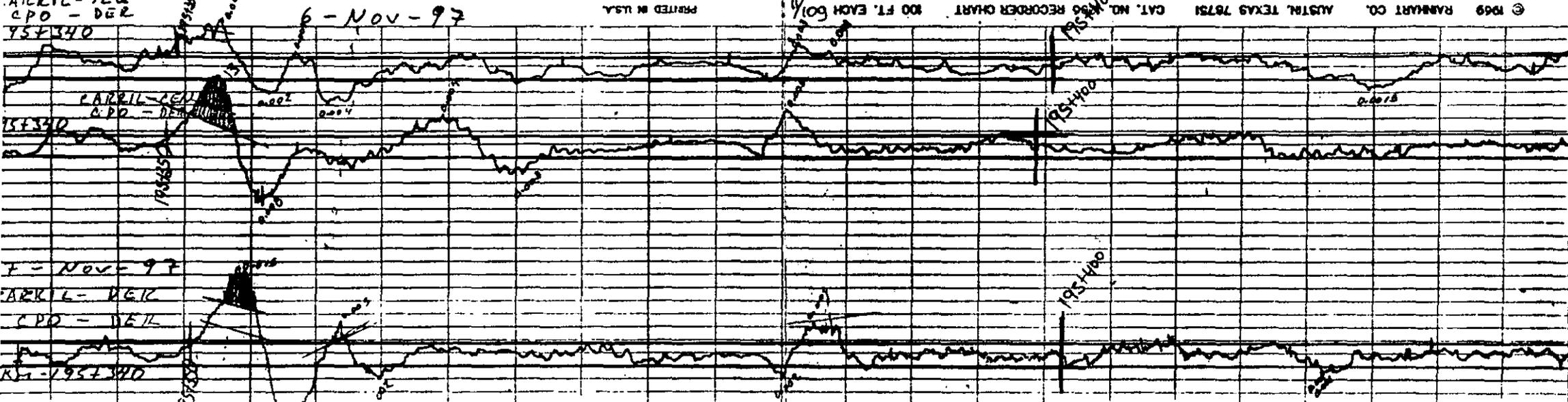
CAT. NO. 1956 TEXAS 78751

RANKHART CO. AUSTIN, TEXAS 78751 © 1969

ARRIL-12Q  
CPD - DER  
75+340

6-NOV-97  
ARRIL-12Q  
CPD - DER

75+340



|  |                 |                        |                |
|--|-----------------|------------------------|----------------|
| <b>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO</b> |                 |                        |                |
| <b>ENEP, Campus Acatlán</b>                    |                 |                        |                |
| Carretera: México - Querétaro                  |                 |                        | <b>Gráfica</b> |
| Tramo: Palmillas - Querétaro                   |                 |                        | <b>4.1</b>     |
| <b>GRÁFICA DEL ÍNDICE DE PERFIL</b>            |                 |                        |                |
| <b>Escalas:</b>                                |                 | <b>Tramo:</b>          |                |
| Horizontal: 1:300                              |                 | km 195+200 al 195+400, |                |
| Vertical: 1:1                                  |                 | Cuerpo A               |                |
| <b>Operador:</b>                               | <b>Calculó:</b> | <b>Revisó:</b>         | ↑              |
| A.G.A.   | Ing. S.S.T.     | Ing. J.L.F.P.          |                |
| <b>TRABAJO DE TESIS PROFESIONAL</b>            |                 |                        |                |
| José Luis Figueroa Parra                       |                 |                        |                |