



UNIVERSIDAD  
DON VASCO, A.C.

# UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

a la Universidad Nacional Autónoma de México

## Escuela de Ingeniería Civil

### RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILADO Y TEXTURIZADO, PARA EL LIBRAMIENTO NORESTE DE QUERÉTARO DEL KM 0+866 AL 7+866, AMBOS CUERPOS.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

**Ramón Román Medina**

Asesor:

**Ing. Anastacio Blanco Simiano**

Uruapan, Michoacán, 29 de enero del 2015.



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

<b>Introducción.</b>	1
Antecedentes.	2
Planteamiento del Problema.	3
Objetivos.	4
Pregunta de investigación..	5
Justificación. .	6
Marco de referencia.	6
<b>Capítulo 1. Vías Terrestres.</b>	
1.1. Caminos y carreteras..	8
1.2. Clasificación de las carreteras.	9
1.2.1. Clasificación por Transitabilidad. .	10
1.2.2. Clasificación Administrativa.	11
1.2.3. Clasificación Técnica Oficial.	11
1.2.4. Clasificación por su Ubicación.	12

1.3. Elementos de las secciones transversales de los caminos.	13
1.3.1. Rasante.	14
1.3.2. Calzada o superficie de rodadura.	15
1.3.3. Carriles de circulación.	15
1.3.3.1. Número de carriles.	16
1.3.3.2. Ancho de carriles.	17
1.3.4. Pendiente transversal del camino.	18
1.3.4.1. Bombeo.	19
1.3.4.2. Sobreelevación.	20
1.3.4.3. Transición del bombeo a la sobreelevación.	22
1.4. Acotamientos.	22
1.4.1. Ancho de los acotamientos.	24
1.5. Alineamiento Horizontal.	24
1.5.1. Tangentes.	25
1.5.2. Curvas circulares.	26
1.5.3. Curvas de transición.	26
1.5.4. Distancia de visibilidad.	27

1.6. Alineamiento Vertical. . . . .	28
1.7. Guarniciones. . . . .	29
1.7.1. Parapetos. . . . .	30
1.7.2. Barreras para el control de tráfico. . . . .	31
1.7.2.1. Barreras centrales. . . . .	31
1.7.2.2. Fajas separadoras. . . . .	32

## **Capítulo 2. Pavimentos Rígidos.**

2.1. Generalidades. . . . .	34
2.2. Tipos de pavimentos de concreto hidráulico. . . . .	38
2.2.1. Pavimento de concreto simple. . . . .	39
2.2.1.1. Pavimento de concreto simple, con pasadores. . . . .	40
2.2.2. Pavimento de concreto reforzado. . . . .	41
2.2.2.1. Pavimento de concreto reforzado con acero no estructural. . . . .	42
2.2.2.2. Pavimento de concreto reforzado con acero estructural. . . . .	43
2.2.3. Pavimento de concreto hidráulico, con refuerzo continuo. . . . .	44
2.3. Juntas en los pavimentos de concreto hidráulico. . . . .	46

2.3.1. Juntas longitudinales. . . . .	47
2.3.1.1. Juntas longitudinales de contracción. . . . .	48
2.3.1.2. Juntas longitudinales de construcción. . . . .	49
2.3.2. Juntas transversales. . . . .	50
2.3.2.1. Juntas transversales de contracción. . . . .	51
2.3.2.2. Juntas transversales de construcción. . . . .	52
2.3.2.3. Juntas transversales de expansión. . . . .	53
2.4. Dispositivos para transferencia de carga. . . . .	55
2.5. Varillas de amarre. . . . .	56
2.6. Fallas en pavimentos rígidos. . . . .	56
2.7. Conservación de pavimentos rígidos. . . . .	60
2.7.1. Conservación normal o preventiva. . . . .	60
2.7.2. Conservación mayor o correctiva.. . . .	62

**Capítulo 3. Procedimiento de restauración de pavimentos rígidos de concreto hidráulico mediante el método de perfilado y texturizado.**

3.1. Señalamiento de protección de obra. . . . .	65
3.1.1. Consideraciones generales. . . . .	66

3.1.2. Evaluación y criterios de aceptación. . . . .	67
3.1.2.1. Criterios de aceptación y rechazo. . . . .	67
3.2. Índice de perfil del camino. . . . .	68
3.2.1. Perfilógrafo tipo California. . . . .	69
3.2.2. Componentes y características del Perfilógrafo tipo California.	70
3.2.3. Calibración del perfilógrafo. . . . .	73
3.2.4. Procedimiento para la obtención del índice de perfil en campo.	76
3.2.5. Determinación del índice de perfil. . . . .	78
3.2.5.1. Porcentaje de disminución. . . . .	80
3.3. Reparación de losas de concreto hidráulico. . . . .	80
3.3.1. Localización de fallas en losas de concreto hidráulico. . . . .	81
3.3.2. Delimitación del área por reparar. . . . .	82
3.3.3. Demolición del concreto del área por reparar. . . . .	83
3.3.4. Extracción del material producto de la demolición. . . . .	84
3.3.5. Adecuación de la sub-base. . . . .	85
3.3.6. Reposición de pasajuntas. . . . .	86
3.3.7. Reposición de barras de amarre. . . . .	89

3.3.8. Colado de las losas de concreto hidráulico. . . . .	91
3.3.8.1. Colocación del concreto. . . . .	93
3.3.8.2. Vibrado del concreto y acabado de las losas. . . . .	95
3.3.9. Curado de las losas. . . . .	97
3.3.10. Corte y sellado de las juntas. . . . .	98
3.4. Perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente. . . . .	101
3.4.1. Generalidades. . . . .	102
3.4.2. Perfiladora. . . . .	104
3.4.2.1. Componentes de la perfiladora. . . . .	105
3.4.3. Ejecución del perfilado y texturizado. . . . .	108
3.5. Coeficiente de fricción del camino. . . . .	110
3.5.1. Solución al hidropilano. . . . .	112
3.5.2. Mu-Meter. . . . .	113
3.5.3. Procedimiento de obtención del coeficiente de fricción en campo. . . . .	114
3.5.4. Determinación del coeficiente de fricción. . . . .	118

## **Capítulo 4. Resumen de macro y microlocalización.**

4.1. Generalidades. . . . .	120
4.2. Entorno Geográfico. . . . .	132
4.3. Informe fotográfico. . . . .	134

## **Capítulo 5. Metodología.**

5.1. Método científico. . . . .	140
5.1.1. Método matemático. . . . .	142
5.2. Enfoque de la investigación. . . . .	143
5.2.1. Alcance de la investigación. . . . .	145
5.3. Tipo de diseño de la investigación. . . . .	146
5.3.1. Investigación transeccional. . . . .	146
5.4. Instrumentos de recopilación de datos. . . . .	147
5.5. Descripción del proceso de investigación. . . . .	148

## **Capítulo 6. Cálculo, análisis e interpretación de resultados.**

6.1. Procedimiento para la obtención del índice de perfil en campo. . . . .	150
---	-----

6.1.1. Obtención del índice de perfil previo. . . . .	153
6.1.2. Obtención del índice de perfil posterior. . . . .	165
6.2. Procedimiento de obtención del coeficiente de fricción en campo. . . . .	177
6.2.1. Obtención del coeficiente de fricción. . . . .	180
Conclusión. . . . .	193
Bibliografía. . . . .	198
Anexos	

## INTRODUCCIÓN

La restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado, es una técnica que corrige irregularidades, tales como fallas y la rugosidad en la superficie de dichos pavimentos, además ayuda a reducir los niveles de ruido excesivos de los vehículos durante su paso por la vía y proporciona una mayor capacidad del transporte de cargas aumentando su serviciabilidad.

Con este método, se busca también aumentar de manera considerable el período de vida de los caminos de concreto hidráulico y darle además otros beneficios adicionales significativos, para que los usuarios circulen por ellos con un grado de seguridad y comodidad mayor con el que se cuenta de manera ordinaria.

En síntesis, la aplicación de esta técnica ayuda a restituir la condición del pavimento rígido a su estado original de construcción, reduciendo considerablemente la necesidad de efectuar reparaciones a futuro con costos demasiado elevados y que puedan causar mayores daños a la superficie de rodamiento del camino a tratar.

En México, se ha aplicado muy pocas veces la restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado; por lo tanto, al consultar en biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. no se encontraron tesis relacionadas con este tema, por lo cual con ésta se busca innovar y ampliar los conocimientos de todo consultor que acceda a ella.

## **Antecedentes**

Las vías terrestres en México se desarrollaron desde la época prehispánica debido a la necesidad de la comunicación entre los grandes imperios, que estaban ligados por largos caminos o veredas hechas a mano en sus inicios.

En 1522, Hernán Cortés encomendó a Álvaro López la apertura del “Trayecto de Oro” México – Veracruz, vía que llegaría a ser durante los albores de la Colonia, la más importante. En 1533 se procedió a la construcción de caminos, concesionando su construcción a comerciantes, quienes mediante el cobro de peaje por derecho de paso recuperaban sus inversiones.

Con el descubrimiento de las primeras minas, comenzaron a abrirse y colonizarse nuevas regiones, por lo que hubo la necesidad de construirse una red vial que comunicara a todos los pueblos mexicanos. A consecuencia de esto, se tuvo un notable desarrollo en la agricultura, la ganadería, ciertas manufacturas y el comercio entre los pueblos, actividades que fueron necesarias para sostener la economía y los centros mineros descubiertos en esos días, además de crearse nuevas poblaciones, que necesitaban la apertura de nuevas brechas y caminos.

La evolución de los caminos en México, empieza con la historia de sus pioneros en páginas de gloriosos sacrificios, que, dejando a sus familias y las comodidades de las ciudades de ese entonces, se remontaban armados, más con valor que con implementos y equipo propio para ello, a lugares abruptos del territorio nacional, poniendo en riesgo su salud y hasta su vida para construir las carreteras que iniciaron la red moderna que hoy en día se disfrutan.

## **Planteamiento del Problema**

La necesidad de una buena restauración del pavimento rígido mediante el método de perfilado y texturizado para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos representa para los usuarios de este camino diversidad de beneficios importantes.

Uno de los beneficios más importantes del perfilado y texturizado, es una mejora significativa en la suavidad de conducción sobre pavimento, obtenido con el mejoramiento de su textura y por consecuencia un aumento en la seguridad durante el tránsito de los vehículos.

¿Será la restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado una técnica que solucione las fallas y deformaciones que se presentan en el pavimento rígido de Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos?

Es por ello que se busca proponer una restauración que elimine por completo las fallas y deformaciones que se presentan sobre la superficie de rodadura del Libramiento Noreste de Querétaro, ya sea por la mala ejecución del proceso constructivo o por el constante tránsito de vehículos sobre éste que es uno de los caminos más importantes y transitados del estado de Querétaro de Arteaga.

## **Objetivos**

A continuación se definen varios objetivos, uno de los cuales es el objetivo general y consecuentemente varios objetivos particulares.

### **Objetivo General:**

Proponer el procedimiento de restauración de pavimentos rígidos de concreto hidráulico mediante el método de perfilado y texturizado, para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos.

### **Objetivos Particulares**

- 1) Definir el concepto de carretera.
- 2) Señalar el concepto de pavimentos rígidos.
- 3) Determinar el índice de perfil del camino previo a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado.
- 4) Determinar el índice de perfil del camino posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado.
- 5) Determinar el coeficiente de fricción del camino posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado.
- 6) Señalar los beneficios de la restauración del pavimento rígido del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, utilizando el método de perfilado y texturizado.

## **Pregunta de Investigación**

¿Cuáles serán los beneficios y propiedades particulares que proporcionará la restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado, para Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos?

## **Preguntas Secundarias**

- 1) ¿Qué tipo de camino es el Libramiento Noreste de Querétaro?
- 2) ¿Qué tipo de vehículos transitan por el Libramiento Noreste de Querétaro?
- 3) ¿Cómo es la topografía del lugar donde está construido el Libramiento Noreste de Querétaro?
- 4) ¿Cuáles son las proporciones de los materiales utilizados en la construcción del pavimento rígido del Libramiento Noreste de Querétaro?
- 5) ¿Cada cuánto tiempo se le ha hecho una restauración mediante el método de perfilado y texturizado al pavimento rígido del Libramiento Noreste de Querétaro?
- 6) ¿Cuáles son los métodos más efectivos para el mantenimiento de pavimentos rígidos?

## **Justificación**

Con la elaboración de esta tesis se pretende satisfacer un objetivo primordial, el cual es beneficiar y ampliar los conocimientos de todos los ingenieros civiles y alumnos de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., acerca de la restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado, y aportar a la ingeniería una alternativa novedosa y efectiva para el mantenimiento de pavimentos de concreto hidráulico, que será también de gran utilidad para la sociedad en general.

De igual manera se beneficia al investigador por encontrar un método alternativo, ampliando su conocimiento y poniendo en práctica la teoría.

## **Marco de Referencia**

En este apartado se describirá lo relacionado al tramo de autopista de pavimento de concreto hidráulico, en el que se hace la restauración mediante el método de perfilado y texturizado.

El Libramiento Noreste de Querétaro comprende, en parte, la Carretera Querétaro - Chichimequillas, esto abarcando el Kilómetro 13 Pueblo de Chichimequillas, el cual se ubica en el municipio El Marqués en el estado de Querétaro Arteaga en las coordenadas geográficas GPS latitud 20.764722 (dec) y longitud -100.335556 (dec) a una mediana altura de 1970 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En Chichimequillas viven 3717 personas de las cuales 1713 son masculinos y 2004 femeninos. Hay 1975 ciudadanos que son mayores de 18 años, 226 personas de ellos tienen 60 años o más de edad. Los habitantes de Chichimequillas visitan un promedio de 4 años la escuela y 311 personas mayores de 15 años tienen educación post básica. Entre las personas de 15 años o más de edad se encuentran unos 252 analfabetas.

Hay un total de 752 hogares en Chichimequillas. De estos hogares 759 son casas normales o departamentos. 86 hogares tienen piso de tierra y 68 consisten en un cuarto solo. En Chichimequillas hay 716 viviendas que cuentan con instalaciones sanitarias, 721 viviendas que están conectadas a la red pública y 735 viviendas tienen acceso a la luz eléctrica. De los hogares en Chichimequillas aproximadamente 66 tienen una o más computadoras, 350 cuentan por lo menos con una lavadora y 720 viviendas tienen uno o más televisores. La información sobre Chichimequillas está basada en el Censo del 2005 efectuado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).

# CAPÍTULO 1

## VÍAS TERRESTRES

En el presente capítulo se definirá lo que son las vías terrestres o los caminos y de igual manera, se abordarán los elementos de mayor importancia que forman parte de las vías terrestres o caminos, características de los mismos, así como su clasificación de acuerdo a los diferentes aspectos de transitabilidad, administrativos o técnicos, con el objetivo de estudio de cada uno de ellos.

### **1.1. Caminos y carreteras.**

Partiendo de lo citado por E. Tonia (2004), se entiende por camino a la ruta o trayecto que conduce al tránsito de vehículos desde un punto inicial hasta un punto final con el fin de realizar diversas actividades específicas como pueden ser el comercio entre las personas, el intercambio cultural, cuestiones laborales o el simple hecho de la recreación del usuario de los caminos.

En lo referente a los caminos, se puede involucrar que “Algunos acostumbran denominar caminos a las vías rurales, mientras que el nombre de carreteras se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de una gran número de vehículos.” (Crespo Villalaz; 1996; 1)

En sí, una carretera se entiende por la adecuación de una capa de materiales determinados sobre la superficie terrestre que cumpla con los requerimientos del ancho, alineamiento y pendiente con el propósito de soportar de manera satisfactoria

el tránsito de vehículos por su superficie de rodamiento, y además cumplir con las necesidades particulares para las cuales fue calculada y proyectada.

De igual manera, de acuerdo a lo mencionado por E. Tonias (2004), los caminos, para su construcción, operación y mantenimiento, se apoyan en gran medida en la Ingeniería de caminos para solventar todas las necesidades para las cuales sea diseñado de una forma más óptima y segura, corrigiendo los problemas e inconvenientes que puedan presentarse durante todas y cada una de las etapas de los mismos.

## **1.2. Clasificación de las carreteras.**

Con base en lo citado por Crespo Villalaz (1996), la clasificación de las carreteras o caminos se ha determinado de forma variable internacionalmente, ya sea de acuerdo a los fines para los cuales se diseñan o por el tipo de vehículos que por ellas transitan. Lo anterior se hace también tomando en cuenta las formas de manejo político y formas de manejo administrativo que se tengan particularmente en cada nación.

Por lo contrario, según E. Tonias (2004), los caminos se pueden clasificar de acuerdo a sus características funcionales dependiendo del lugar en el que son construidos (localidades urbanas o rurales), el ancho de sus carriles (de un solo o varios carriles) y el tipo de servicio para el cual fue proyectado (circulación vial dentro de una ciudad o de conexión con otras localidades).

Particularmente en México, el desarrollo de la vialidad denota varias clasificaciones que resultan ser similares o coinciden totalmente con los estándares

de clasificación que se toman en cuenta en otros países del mundo. La clasificación general de las carreteras en México comprende especialmente de tres consideraciones básicas, tomando en cuenta las siguientes características que son: por su Transitabilidad, por su Aspecto Administrativo y por su Clasificación Técnica Oficial.

### 1.2.1. Clasificación por Transitabilidad.

“La Clasificación por Transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se divide en” (Crespo Villalaz; 1996; 2):

- Terracerías: cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
- Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
- Pavimentada: cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.



Figura 1.1. Clasificación de la carreteras por transitabilidad.

Fuente: Crespo Villalaz; 1996; 2.

### **1.2.2. Clasificación Administrativa.**

Las carreteras se clasifican administrativamente de la siguiente manera:

- Federales: el costo de la construcción de estas carreteras es cubierto en su totalidad por la Federación y consecuentemente, quedan bajo la responsabilidad de la misma.
- Estatales: cuando un 50% del costo de la construcción es aportado por el Estado donde se encuentra ubicada y el otro 50% lo cubre la Federación. Estas carreteras quedan bajo el cargo de las Juntas Locales de Caminos.
- Vecinales o rurales: éstas son construidas con aportación de una tercera parte del valor por los vecinos que se benefician del proyecto, otra tercera parte del valor lo aporta la Federación y el resto lo cubre el Estado donde son construida. Actualmente su construcción se lleva a cabo mediante el ahora Sistema de Caminos.
- De Cuota: de éstas, una parte que a cargo de la dependencia oficial descentralizada “Caminos y Puentes Federales” (CAPUFE) y la parte restante quedan bajo la administración de la iniciativa privada por un tiempo en el cual alcance a recuperar la inversión que hizo para su construcción, esto mediante cuotas de peaje.

### **1.2.3. Clasificación Técnica Oficial.**

Como refiere Crespo Villalaz (1996), con esta clasificación se logran diferenciar de manera más exacta las características físicas de los caminos, porque

aquí se plasman los volúmenes de tránsito sobre la superficie transitada al término del período económico del camino (20 años). Esta clasificación quedó estipulada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) de la siguiente manera:

- Tipo Especial: se maneja un Tránsito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) de más de 3,000 vehículos, en los cuales se pueden construir dos o cuatro carriles en un solo cuerpo, además requieren de estudios especiales.
- Tipo A: se maneja un Tránsito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) de 1,500 a 3,000 vehículos.
- Tipo B: se maneja un Tránsito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) de 500 a 1,500 vehículos.
- Tipo C: se maneja un Tránsito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) de 50 a 500 vehículos.

La Clasificación Técnica Oficial considera un 50% de vehículos pesados, tomada en cuenta en ambas direcciones de la carretera y sin considerar la conversión de vehículos comerciales a ligeros.

#### **1.2.4. Clasificación por su Ubicación.**

Como refiere E. Tonia (2004), los estándares para diferenciar los caminos unos de otros están estipulados en la guía *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (Policy) de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y son los siguientes:

- Sistemas rurales de caminos: son los que están compuestos por un sistema de caminos que proporcionan movilidad de un estado a otro e interestatalmente. Éstos a su vez, se pueden clasificar en autopistas y arterias principales.
- Sistemas urbanos de caminos: éstos se diseñan con la finalidad de disipar el tránsito intenso a lo largo de las vías de camino, que son esenciales para la funcionalidad de puntos estratégicos de constante actividad dentro de las zonas urbanas.

### **1.3. Elementos de las secciones transversales de los caminos.**

Como afirma E. Tonias (2004), las tres partes básicas que componen comúnmente a un camino típico son: la configuración geométrica de la sección transversal, la configuración geométrica horizontal y la configuración geométrica vertical. De igual manera, según el tipo de camino y la función a la que está destinado a cumplir, influyen de manera directa con el tipo, tamaño y número de los elementos de éstas.

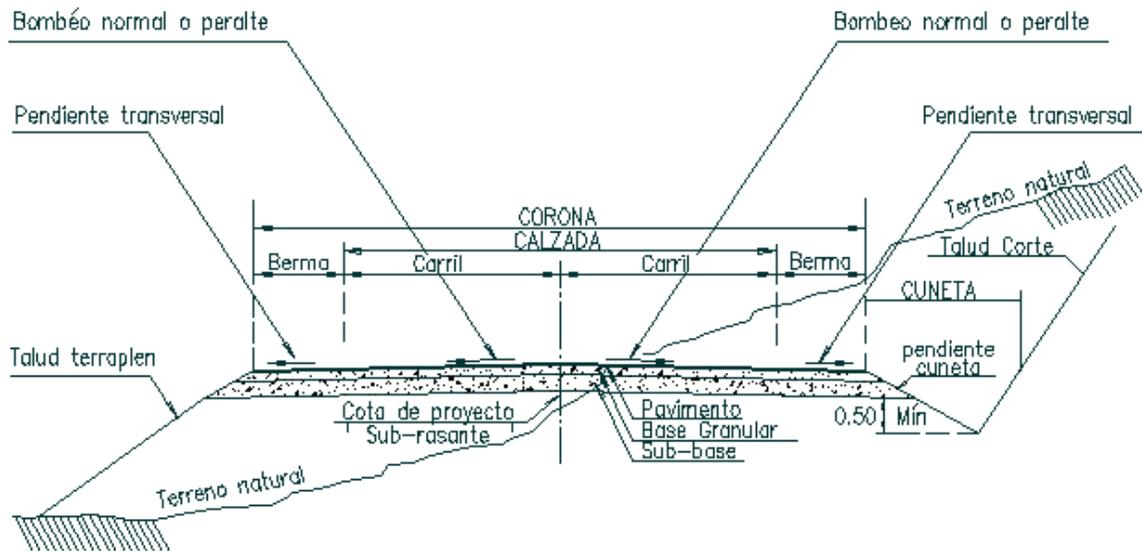


Figura 1.2. Sección transversal de una carretera (corte a su través o eje menor).

Fuente: [www.oocities.org](http://www.oocities.org); 2011.

### 1.3.1. Rasante.

Como indica la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), la rasante se considera como la línea que se obtiene cuando se proyecta sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. Se considera técnicamente que, dentro de la proyección de la sección transversal, la rasante se representa generalmente por medio de un punto.

De igual manera, de acuerdo con E. Tonia (2004), la rasante es la capa de material diseñada para soportar el tráfico anticipado de vehículos, que queda por encima de todas las demás capas en la superficie de rodamiento de los caminos. Además, cumple con diversas funciones como resistir fuerzas de abrasión, limitar la cantidad de agua superficial que penetre dentro de la superficie de rodamiento,

proporcionar una superficie resistente al patinaje y ofrecer una superficie lisa para el tránsito de los vehículos.

### **1.3.2. Calzada o superficie de rodadura.**

Se define que “La calzada es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos y constituida por uno o más carriles, entendiéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos.” (Secretaría de Obras Públicas; 1974; 376)

El ancho de la superficie de rodadura de un camino es variable durante toda la ruta y depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal e invariablemente en el alineamiento vertical. Por lo general, el ancho de la calzada se refiere al ancho en tangente del alineamiento horizontal. La superficie de rodadura de los caminos pueden pavimentarse con materiales durables y de buena calidad, como el cemento portland o concreto bituminoso, o si se decide, puede no adecuarse.

### **1.3.3. Carriles de circulación.**

En los que corresponde a los carriles de circulación, E. Tonias (2004), define que los carriles de circulación son la sección de una carretera sobre la que se mueve el tráfico, que son definidos esencialmente por su número, su ancho y sus pendientes transversales. Los parámetros anteriores repercuten directamente en la calidad del servicio del camino.

Otro factor importante de los carriles de circulación, es el material del que están hechos, ya que dependiendo el tipo de material que se haya utilizado para su

construcción, serán definidas las características de su superficie y su resistencia al patinaje o deslizamiento de los vehículos, esto último viéndose disminuido de manera considerable en las superficies que presentan leve o gran rugosidad.

Las características de la superficie de los carriles de circulación, pueden afectar o beneficiar la facilidad de conducción para los usuarios del camino, tanto su seguridad al conducir, así como el mantenimiento rutinario, periódico o correctivo que deba dársele a la carretera en un tiempo futuro, para mantenerse siempre en óptimas condiciones.

#### **1.3.3.1. Número de carriles.**

“El número de carriles está definido por la demanda en un tramo dado de carretera; la experiencia ha demostrado que el grado de seguridad depende más del ancho de los carriles, que del número de éstos.” (Secretaría de Obras Públicas; 1974; 16)

Según la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), los caminos de 2 carriles presentan un índice mayor en el número de accidentes vehiculares en comparación con los caminos de 3 o más carriles, debido a la capacidad de tránsito de vehículos que circulan por uno y por otro camino.

Se puede deducir también que, las carreteras de 4 o más carriles, por su capacidad aún mayor que las anteriormente mencionadas para el tránsito de vehículos que pasan sobre ellas, deberían tener un índice de accidentes vehicular más elevado, pero por lo contrario, se ha comprobado que se tienen registros

menores de accidentes vehiculares en comparación con los caminos de menor cantidad de carriles.

Por lo tanto, esto quiere decir que a mayor número de carriles que se tengan en un camino o carretera, menor será el índice de accidentes vehiculares que se registren en ellos; y mientras se cuente con menor número de carriles en un camino o carretera, mayor será el número de accidentes vehiculares registrados en ellos.

#### **1.3.3.2. Ancho de carriles.**

Como menciona la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), la justificación económica de los anchos de los carriles, era que si los de mayor amplitud contaran con un grado más alto de seguridad que los de menor amplitud, los beneficios que proporcionarían serían de mayor envergadura y tendrían un impacto directo en la reducción del número de accidentes ocurridos en los caminos. Con esto, se logró comprobar y justificar el costo de la construcción de secciones más amplias de carriles, y en efecto, se observó un aumento significativo en el grado de seguridad de los caminos, proporcionado por la amplitud del espacio destinado a los vehículos para la realización de las maniobras necesarias y la separación misma entre vehículos durante la circulación.

Se afirma que “El ancho de sección que se consideró para establecer las capacidades prácticas correspondió a la óptima de 3.66 m por carril y 1.84 m de acotamiento, sin embargo, como es lógico suponer, en una red caminera existen otros anchos de sección, como por ejemplo el de 3.05 m por carril y 1.30 m de ancho

de cada acotamiento dando un ancho total de 8.70 m en vez de 11.00 m del óptimo.”  
(Crespo Villalaz; 1996; 14)

Como se menciona en [www.cuevadelcivil.com](http://www.cuevadelcivil.com) (2011), Los anchos de los carriles para las carreteras, por lo general, son determinados en base a la implementación de un ancho adicional en el espacio dedicado a los vehículos del proyecto, que tiene como finalidad proporcionar seguridad extra a los vehículos cuando se encuentren circulando por el camino.

Categoría de la carretera	Características	Velocidad directriz (Km/hr)	Ancho de carril (m)
O	Doble calzada	120 – 80	3.65 - 3.50
I.A	Doble calzada	120 – 70	3.65 - 3.50
I.B	Calzada simple	120 – 70	3.65 - 3.50
II	Calzada simple	100 – 50	3.65 - 3.35
III	Calzada simple	80 – 40	3.65 - 3.00
IV	Calzada simple	80 – 30	3.65 – 3.00

Tabla 1.1. Ancho de carril de circulación.

Fuente: [www.cuevadelcivil.com](http://www.cuevadelcivil.com); 2011.

#### 1.3.4. Pendiente transversal del camino.

En base a lo mencionado en [www.cuevadelcivil.com](http://www.cuevadelcivil.com) (2011), la pendiente transversal es la pendiente que se estipula para una superficie de rodadura de un camino, con el fin de expulsar lo más rápido y eficientemente hacia los colectores y drenajes ubicados en ambos lados de la carretera, el agua superficial que cae sobre la superficie de rodadura.

La pendiente que se decida utilizar para un camino se debe ver influenciada por relación con la categoría del mismo y como en la misma categoría influye la velocidad, se estipula considerar los valores que se presentan en la Tabla 1.2.

Tipo de camino.	Plano con poco lomerío.	Plano con lomerío fuerte.	Montañoso poco escarpado.	Montañoso muy escarpado.
Tipo especial.	4%	4.5 %	5 %	5 %
Tipo A.	4 %	5 %	5.5 %	6 %
Tipo B.	4.5 %	5.5 %	6 %	6.5 %
Tipo C.	5 %	6 %	6 %	7.5 %

Tabla 1.2. Pendientes máximas recomendables para caminos, de acuerdo a su topografía. Fuente: [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe); 2008.

Además, según su relación con los elementos del alineamiento horizontal, se presentan tres casos específicos que son: el bombeo, la sobreelevación y la transición del bombeo a la sobreelevación.

#### **1.3.4.1. Bombeo.**

Partiendo de lo citado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), el bombeo es la pendiente que se destina usar para la corona del camino en las tangentes del alineamiento horizontal hacia ambos lados de la capa superficial del camino para evitar que se acumule el agua sobre el camino. El drenado mejor diseñado será aquel que permita el drenado óptimo de la corona del camino con una mínima pendiente, esto para proporcionar a los usuarios un grado de seguridad mayor y menor sensación de incomodidad durante el tránsito vehicular.

Para sacar el agua superficial del camino, es recomendable utilizar los valores de las pendientes que se presentan en la Tabla 1.3., éstos en función a la calidad y tipo de superficie de rodadura.

<b>Tipo de Pavimento O de Calzada</b>	<b>Pendiente Transversal (%)</b>
	<b>Zona Húmeda Zona Seca</b>
Pavimento de Concreto	2.00 – 1.50 2.00 – 1.50
Pavimento Flexible de Alta Calidad	2.50 – 2.00 2.00
Pavimentos Porosos	3.00 – 2.50 2.50 – 2.00
Calzadas no Pavimentadas	4.00 – 3.00 3.50 – 2.50

Tabla 1.3. Valores de bombeo recomendables.

Fuente: [www.cuevadelcivil.com](http://www.cuevadelcivil.com); 2011.

#### **1.3.4.2. Sobreelevación.**

De conformidad con la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), la sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para disipar en proporción los efectos de la fuerza centrífuga de los vehículos dentro de las curvas del alineamiento horizontal del camino.

Para calcular la sobreelevación de una curva circular, necesaria para que los vehículos que circulen por las curvas a una velocidad previamente conocida no se deslicen fuera del camino, se utiliza la siguiente expresión:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \mu$$

Donde:

S= Sobreelevación, en valor absoluto.

V= Velocidad del vehículo, en km/h.

R= Radio de la curva, en metros.

$\mu$ = Coeficiente de fricción lateral.

Una vez calculada la sobreelevación máxima de la curva, el grado máximo de curvatura se calcula para cada velocidad utilizando la fórmula anterior, pero ahora expresando el radio de la curva en función del grado de curvatura, como se muestra enseguida:

$$G_{m\acute{a}x} = \frac{146,000 (\mu + S_{m\acute{a}x})}{V^2}$$

No obstante, en la Tabla 1.4., se muestran los valores estandarizados de los grados máximos de curvatura recomendados con respecto al tipo de camino y la topografía del terreno.

Tipo de camino.	Plana con poco lomerío.	Con lomerío fuerte.	Montañoso poco escarpado.	Montañoso muy escarpado.
Tipo especial.	2°30´	4° 30´	6°	6°
Tipo A.	8°	11°	16° 30´	26°
Tipo B.	11°	16°30´	26°	35°
Tipo C.	16°30´	26°	47°	67°

Tabla 1.4. Grados de curvatura máximos recomendables para caminos, de acuerdo a su topografía. Fuente: [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe); 2008.

### 1.3.4.3. Transición del bombeo a la sobreelevación.

Como menciona la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), es el cambio gradual que se hace a lo largo de toda la espiral de transición, que va desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva, necesario para cambiar la pendiente de la corona. Todo lo anterior corresponde al alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva.

Sin embargo, la longitud mínima de transición para una sobreelevación puede calcularse con el mismo método utilizado en espirales de transición y numéricamente sus valores son equivalentes. Enseguida se muestra la expresión con la cual se calcula la longitud de transición:

$$L_T = 0.0351 \frac{V^3}{R}$$

Donde:

$L_T$ = Longitud de transición, en metros.

V= Velocidad del vehículo, en km/h.

R= Radio de la curva, en metros.

### 1.4. Acotamientos.

Como refiere E. Tonia (2004), los acotamientos son las secciones de una carretera que comprende el espacio entre la orilla de la vía y la orilla de la guarnición más cercana a ella, un talud interior del terreno o un elemento de drenaje, que pueden ser las cunetas o canales del camino. Generalmente, los acotamientos se

destinan para cumplir las necesidades de estacionamiento temporal de los vehículos, para detenerse en caso de emergencias, para así evitar que los vehículos descompuestos puedan obstruir la vía y evitar también que sean un peligro para la circulación continua en el camino, además funcionan para el apoyo lateral de la base y las capas superficiales.

Según la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), antiguamente para la construcción de los acotamientos se utilizaba solamente tierra y grava, lo cual representaba un importante grado de peligro para los vehículos a la hora de hacer el intercambio entre el camino pavimentado y el acotamiento construido a base de estos materiales, sin antes presentar problemas como atascarse o hasta ser dirigido hacia afuera del mismo camino. Lo anterior, aunado a la dificultad de la conservación de los mismos, conllevaron a la necesidad de la construcción de acotamientos con superficie transitable todo el tiempo.

Existen diversas razones para explicar la disminución en el índice de accidentes cuando se construyen amplios acotamientos en las carreteras como son la pérdida del temor del conductor para orillarse y así concentrar su atención en otros problemas que se le presenten, otro punto sería que se aumenta la sección de separación entre dos vehículos que se cruzan en el camino y se reduce además la obstrucción de los vehículos orillados. Otro de los beneficios, es que se obtiene un grado de seguridad mayor al momento de realizar la maniobra de entrada o salida de los vehículos del camino.

#### **1.4.1. Ancho de los acotamientos.**

Según E. Tonias (2004), los anchos de los acotamientos que se usan comúnmente se estipula que tienen valores de anchura que van desde los 0.61 m, para caminos secundarios locales, hasta 3.65 m, para carreteras principales. Para que se tengan acotamientos con un ancho de por lo menos 4 m (de preferencia 3.65 m) para los caminos de tránsito intenso, se debe tratar de conservar una distancia de separación mínima de 0.61 m entre la orilla de la vía y el vehículo que se detuvo en el acotamiento.

En general, los acotamientos deben ser constantes a lo largo de una vía, y lo más recomendable es que, cuando se realice la proyección de un camino, se asegure que se cuente con la continuidad de los acotamientos y el ancho adecuado de los mismos. Según la AASHTO, es mejor contar con algunos acotamientos que con ninguno en lo absoluto.

#### **1.5. Alineamiento Horizontal.**

De acuerdo con la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), el alineamiento horizontal es la proyección de uno o más de los elementos geométricos que forman parte de los caminos, sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino, tales como las tangentes (secciones rectas), curvas circulares y curvas de transición (las últimas dos consideradas subsecciones).

Sin embargo, Crespo Villalaz (1996), menciona que en la construcción de los caminos se trata de que la línea de alineamiento quede ubicada dentro de terreno plano o estable la mayor extensión posible, esto considerando también que se

conservar dentro de la ruta general del camino, lo cual no siempre es posible por el terreno accidentado que pueda presentar el camino.

De igual forma, debe hacerse lo posible para que el alineamiento de la ruta entre dos puntos sea lo mayor recto posible con respecto a la topografía que predomina en el lugar, considerando también el tránsito actual y futuro para el que fue diseñada la carretera. Al no lograr lo anterior, será necesario encontrar una ruta que resultará de mayor distancia de recorrido.

### **1.5.1. Tangentes.**

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), menciona que, las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de las dos tangentes consecutivas se le representa como  $PI$ , al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por  $\Delta$ . Además, a cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina: punto sobre tangente y se representa como  $PST$ .

Las longitudes de las tangentes tienen gran repercusión en la seguridad de las carreteras, ya que las tangentes que tienen mayor longitud tienden a provocar un índice mayor de accidentes, debido a que el conductor presta en exceso de tiempo su atención sobre puntos fijos del camino, o por los deslumbramientos de mayor magnitud durante la noche, y hace que pierda gran parte de su atención. Por eso estas razones, es recomendable disminuir la proyección de grandes longitudes de tangentes y poner en su lugar alineamientos con curvas de radio considerable.

### **1.5.2. Curvas circulares.**

Según E. Tonias (2004), éstas son los arcos o medios círculos que están dentro del plano horizontal de la curvas, las cuales cumplen la función de unir dos tangentes adjuntas. Este tipo de curvas pueden ser simples o compuestas, definido según sea un arco o de dos o más sucesivos de diferentes radios.

En este tipo de curvas se debe considerar que deben ajustarse lo más adecuadamente posible a la topografía del terreno, ya sea muy accidentada o estable, y también que al momento de hacer cortes y terraplenes, se reduzcan los costos de dichas maniobras en gran medida. Lo anterior, debe proporcionar una fluidez del tráfico óptimo con un bajo costo de movimiento de tierras y construcción de la carretera posibles.

### **1.5.3. Curvas de transición.**

Como menciona E. Tonias (2004), normalmente durante el tránsito de vehículos en curvas muy profundas y se produzca una fuerza centrífuga muy elevada, es de mayor influencia el cambio de tangente a la curva de los vehículos y los conductores. Para remediar la anteriores condiciones, particularmente donde se presentas circulaciones de vehículos a altas velocidades, deben introducirse curvas de transición, con radio apropiado que cambie en forma constante, en la interacción entre la curva circular y la tangente.

Este tipo de curvas también son funcionales en el mejoramiento del aspecto de la seguridad al conducir, porque facilitan a los vehículos a permanecer en sus propios carriles al entrar o salir de las curvas muy pronunciadas. No obstante, de no

existir curvas de transición en los caminos, las maniobras que realizan los conductores para salir o entrar en las curvas, hacen más peligroso el uso de las carreteras, ya que para esto tienen que invadir por lapsos los carriles contrarios para evitar ser sacados del camino por las curvas muy cerradas.

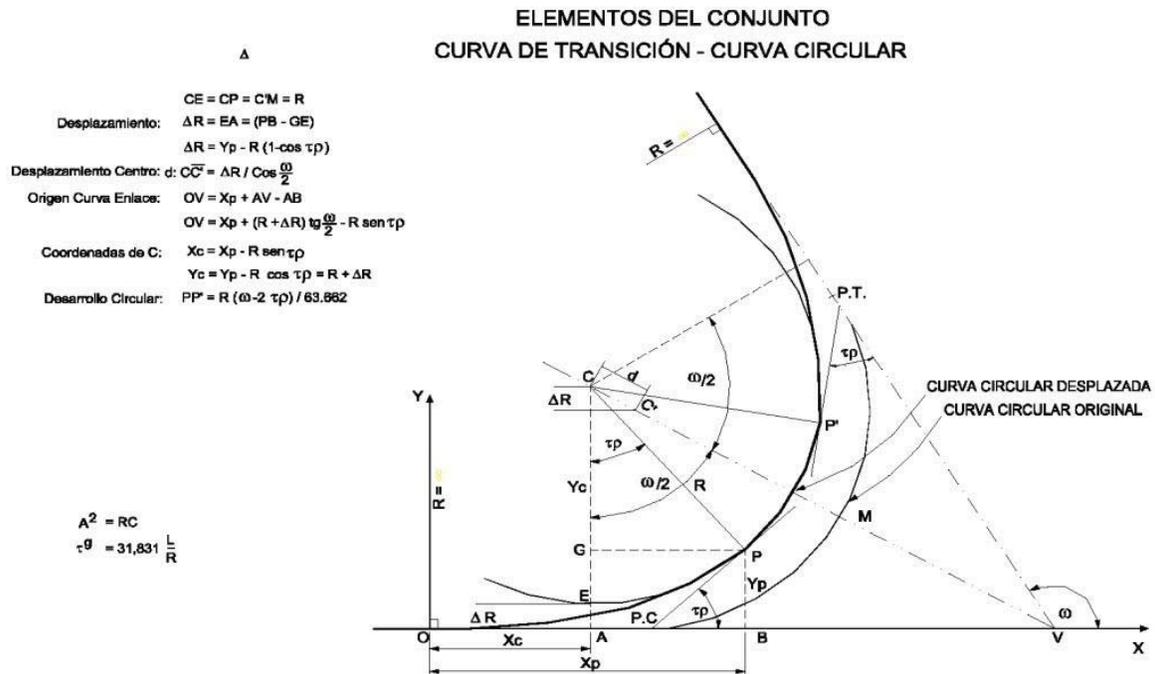


Figura 1.5. Trazo y elementos de las curvas circulares y curvas de transición.

Fuente: [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe); 2013.

#### 1.5.4. Distancia de visibilidad.

La coordinación de los alineamientos horizontal y vertical, respecto de las distancias de visibilidad, debe efectuarse en las primeras etapas del proyecto, cuando aún se pueden hacer modificaciones sin causar grandes trastornos, ya sea que cause gran impacto en los elementos del proyecto geométrico o en la prolongación del tiempo para llevar a cabo la construcción de la carretera.

La determinación analítica de los parámetros mínimos que definen los elementos de la planta y del perfil asegura visibilidades de parada y de adelantamiento acordes con la norma, para cada uno de dichos elementos por separado. Sin embargo, cuando se quieran determinar las zonas con restricción de adelantamiento o los despejes laterales necesarios, es más práctico recurrir al método gráfico, sobre todo si las limitaciones provienen de la combinación de alineaciones en planta y elevación.

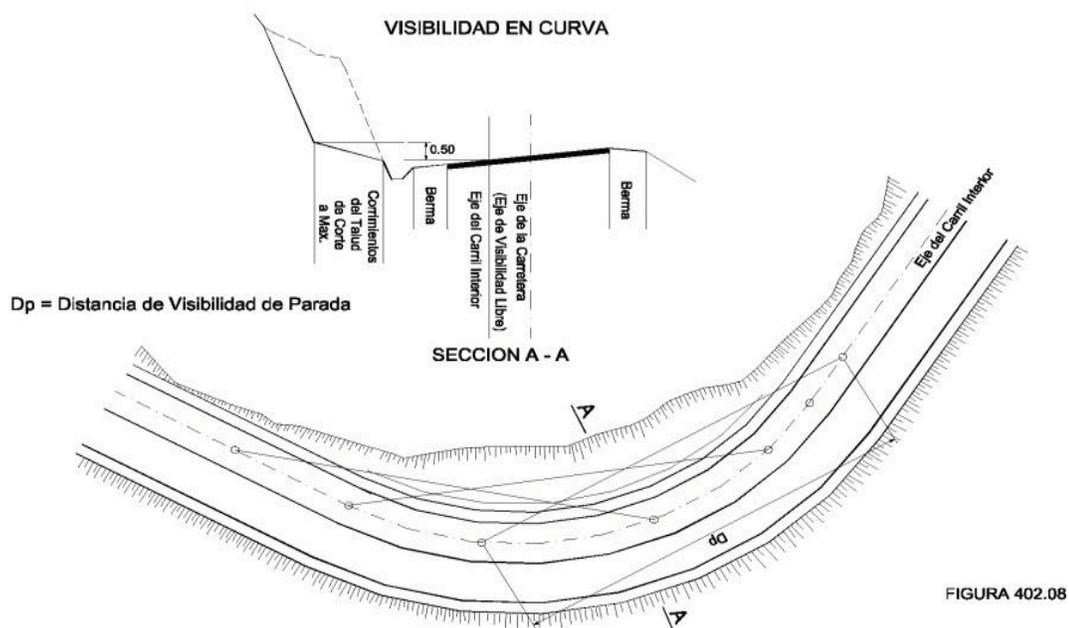


Figura 1.6. Distancia de visibilidad en curva.

Fuente: [www.mtc.gob.pe](http://www.mtc.gob.pe); 2013.

## 1.6. Alineamiento Vertical.

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Al eje de la sección de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o concavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

### **1.7. Guarniciones.**

“Una guarnición es un elemento elevado que se usa, entre otras cosas, para denotar el borde de una carretera. Las guarniciones se pueden construir de cemento portland o de concreto bituminoso, de granito o de algún material duro. Además de delinear el pavimento, las guarniciones permiten controlar el drenaje, reducen el derecho de vía, mejoran la apariencia, delinear las vías de los peatones y reducen las operaciones de mantenimiento.” (E. Tonias; 2004; 168)

De acuerdo con la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), es nulamente inevitable que, durante la circulación de los vehículos sobre los caminos, éstos se salgan accidentalmente de su ruta, por lo que es totalmente recomendable que se acondicionen los elementos de los carriles del camino para disipar en mayor número posible los accidentes que se presentan a lo largo de la vida de los mismos. Invariablemente, éstas medidas deben considerarse al momento de realizar la planeación y el proyecto del camino.

### **1.7.1. Parapetos.**

En base a lo mencionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000), los parapetos son elementos de seguridad que sirven como protección para evitar que las personas, animales u objetos caigan al vacío, desde un lugar ubicado a cierta altura o un lugar que presente una diferencia de nivel respecto a otro en diferentes planos. En lo que respecta a los caminos, los parapetos son los elementos de seguridad que se colocan en los extremos que delimitan a los carriles con los bordes de grandes desniveles, como pueden ser barrancas, puentes, etc.

De igual manera, la verdadera función de colocación de parapetos en los extremos de los caminos, es la de tratar de evitar que los vehículos que accidentalmente se salgan de la ruta de circulación caigan hacia un vacío representativo y se reduzca la magnitud del impacto del vehículo, y así evitar el riesgo de pérdidas de vidas humanas. Por este motivo, los parapetos deben construirse relativamente altos y con una cara empinada.

Como lo marca E. Tonia (2004), la altura estándar de los parapetos oscila entre 0.15 a 0.23 m. También se indica que éstos típicamente se usan a lo largo de las caras de muros de extensas longitudes y en túneles, así como también a lo largo de carreteras de baja velocidad y de bajo volumen vehicular. Además, se estipula que no se deben utilizar los parapetos en carreteras donde la velocidad de diseño es mayor que 64 km/h.

### **1.7.2. Barreras para el control de tráfico.**

Como menciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2000), las barreras para el control de tráfico, son elementos de seguridad que se colocan en uno o ambos extremos de confinación en las carreteras, así como en los lugares donde se presente peligro, ya sea por el trazo del camino, la altura de los terraplenes, alcantarillas y la existencia de estructuras, o por accidentes topográficos, entre otros.

La colocación de barreras para el control de tráfico se ejecuta con el fin de tener un grado de seguridad mayor en el traslado de los usuarios a través del camino, tratando de evitar lo mayor posible que los vehículos abandonen su ruta en los carriles saliendo del camino, y así recomponer su trayectoria hasta que eliminar en lo posible, la energía del impacto de los vehículos. Por lo general, éstas son construidas de concreto simple, concreto reforzado o metálicas.

E. Tonias (2004), menciona que las barreras para el control de tráfico que se implementan en un camino deben ser de diversos tamaños y formas, esto dependiendo de varios factores, tales como el medio ambiente en el cual está ubicada la carretera, la velocidad de los vehículos que transitan por ella y el volumen de tráfico de la misma.

#### **1.7.2.1. Barreras centrales.**

Originalmente se define que, "Las barreras centrales son dispositivos de seguridad que se emplean para dividir los carriles de circulación contraria, cuando la corona del camino incluye los dos sentidos de circulación, con el fin de incrementar la

seguridad de los usuarios de la carretera, evitando en lo posible que los vehículos invadan los carriles de sentido contrario, encauzando su trayectoria hasta disipar la energía del impacto. Normalmente son de concreto simple, reforzado o metálicas.”  
(Secretaría de Comunicaciones y Transportes; 2000; N·CTR·CAR·1·07·010/00)

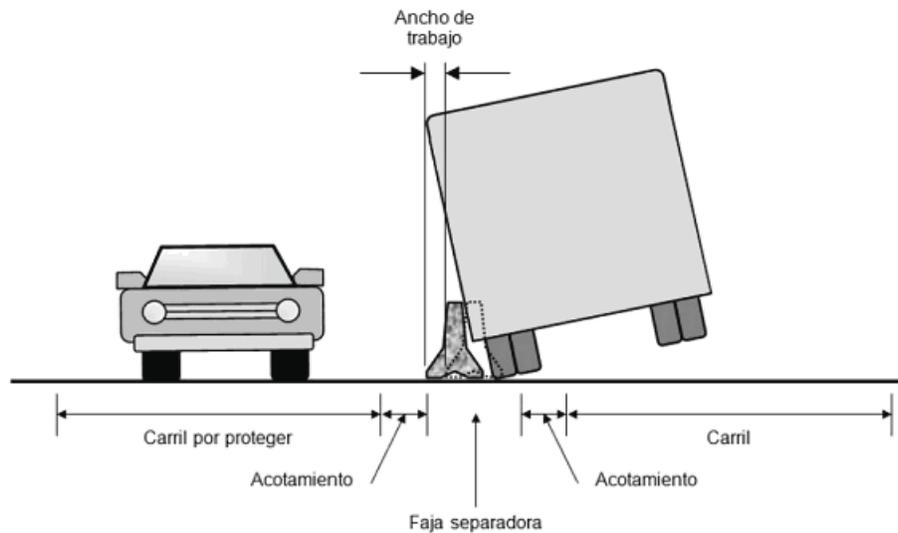


Figura 1.7. Ancho de trabajo de barreras separadoras de sentidos de circulación.

Fuente: dof.gob.mx; 2012.

### 1.7.2.2. Fajas separadoras.

Según la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (1974), las barreras centrales pueden clasificarse de acuerdo a su anchura de la siguiente manera:

- Angostas: con un ancho menor a 5 m, regularmente se constituyen de camellones, han sido de gran utilidad para la reducción en el número de accidentes registrados en calles o caminos que no contaban con una

división de este tipo. Éstas también sirven como refugio para el tránsito del peatón y para la instalación de algunos dispositivos de señalamiento.

- Medianas: con una ancho promedio de 5 a 18 m, dentro de las cuales las defensas de barrera central pueden ser muy útiles. Sus funciones principales son la de evitar el cruce de los vehículos al otro lado del camino y disminuir la velocidad del vehículo con una desaceleración total de modo que sea tolerable para los usuarios.
- Anchas: con anchos mayores a 18 m, cuentan con datos escasos para definir su comportamiento, sin embargo, los índices de accidentes de vehículos que las cruzan muestra una ligera reducción cuando su anchura pasa de 15 m. En su proyección, se debe tratar de evitar colocar en posición errónea objetos como semáforos, árboles, postes, señales y pilas de pasos inferiores.

Como se señala en dof.gob.mx (2012), el ancho de trabajo de las barreras separadoras o centrales de los sentidos en carriles de circulación, se encuentra confinado por el espacio libre disponible entre la barrera y el lado exterior del acotamiento del carril que se desea proteger de los vehículos que puedan cruzar accidentalmente hacia el otro lado del camino.

## **CAPÍTULO 2**

### **PAVIMENTOS RÍGIDOS**

En el presente capítulo se definirá lo que son los pavimentos rígidos o pavimentos de concreto hidráulico y de igual manera, se abordarán los elementos de mayor importancia que forman parte de los caminos de pavimento rígido, características de los mismos, así como todo los aspectos generales que los describen.

#### **2.1. Generalidades.**

Retomando lo dicho por Crespo Villalaz (1996), los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos tienen la característica de poseer una resistencia considerable a la flexión, comparados con los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles. Otra característica que los hace diferir de los pavimentos asfálticos, es que se ven afectados considerablemente por los cambios de temperatura.

Según lo señalado anteriormente, se puede diferenciar a los pavimentos rígidos a partir del concreto hidráulico que los compone, ya que absorbe gran parte de los esfuerzos que las ruedas de los vehículos ejercen sobre la superficie de rodamiento, mientras que en los pavimentos asfálticos este esfuerzo es transmitido hacia las capas estructurales del camino: base, sub-base y sub-rasante.

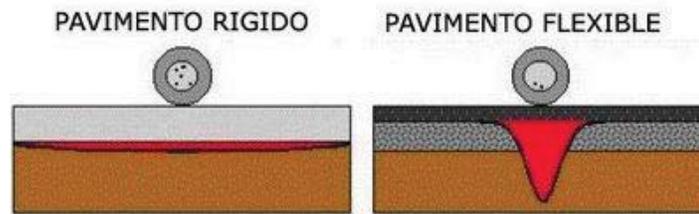


Figura 2.1. Transmisión de esfuerzos de las ruedas de los vehículos en pavimentos rígidos y flexibles.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.mx>; 2009.

De igual manera, como lo menciona E. Tonias (2004), los pavimentos rígidos están compuestos, por lo común, por losas de concreto de cemento Portland que se encuentran apoyadas sobre la capa sub-base del camino. No obstante, la capa sub-base del camino puede ser no incluida cuando la capa sub-rasante del camino está compuesta de material granular.

Cuando los pavimentos rígidos o pavimentos de concreto hidráulico se diseñan adecuadamente atendiendo todas las exigencias y características generales que el proyecto de un camino presenta, además de realizarse la construcción del mismo con propiedad, pueden obtenerse mejores resultados que proporcionan muchos años de servicio con una inversión relativamente baja para el mantenimiento del camino.

De acuerdo con Crespo Villalaz (1996), los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- a) Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.

- b) Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- c) Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas de concreto hidráulico bajo las cargas de las ruedas.
- d) Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto hidráulico.
- e) Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento rígido por efectos de los cambios de temperatura.

En síntesis, los esfuerzos de flexión debidos a las cargas de las ruedas de los vehículos, son los más importantes en el diseño y construcción de las losas de concreto hidráulico del camino. Un pavimento rígido traslada directamente los esfuerzos producidos por el peso de los vehículos al suelo, además de ser auto-resistente, y para ello, la cantidad y calidad del concreto hidráulico que se utilice para su construcción debe ser cuantificada correctamente para definir el espesor de la capa del camino del proyecto.

Como se menciona en [www.imcyc.com](http://www.imcyc.com) (2009), los beneficios que aportan los pavimentos de concreto hidráulico son múltiples. En el aspecto de la sustentabilidad, se usan menores proporciones de agregados para la elaboración del concreto, debido a que muestran menor resistencia a la fricción de las llantas de los vehículos en comparación con los pavimentos asfálticos, y esto da como resultado un menor uso de combustible para los vehículos.

De igual manera, se presenta un ahorro de energía eléctrica debido a la luminosidad de su superficie de rodamiento. Además, brindan una mayor seguridad para los conductores por sus características antiderrapantes, generan importantes ahorros económicos por sus bajos costos de mantenimiento y tienden a presentar una vida útil de entre 20 y 40 años.

Con base en lo dicho por Crespo Villalaz (1996), para que los pavimentos rígidos cumplan satisfactoriamente, en su vida útil y en su forma económica de acuerdo al proyecto para los cuales fueron diseñados, es necesario que sean tomados en cuenta los siguientes factores:

- a) Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.
- b) Valor relativo de soporte y características de la sub-rasante.
- d) Clima de la región.
- e) Resistencia y calidad del concreto a emplear.

Si alguno de los aspectos anteriores no es tomado en cuenta en el proyecto, el pavimento de concreto hidráulico no será económico, sino todo lo contrario. Por ejemplo, al no contemplar el volumen, tipo y peso del tránsito, se construirán pavimentos con espesores mayores a los requeridos realmente, que dará una capacidad de carga mayor a la necesaria con un comportamiento y resistencia satisfactorios, pero con un costo de construcción excesivo.

Por lo contrario, si los espesores de los pavimentos rígidos son menores a los requeridos para las cargas de proyecto que soportarán, se reducirá su período de vida útil o aumentará su inversión económica con motivos de su conservación

rutinaria o periódica. Lo anterior, además de causar gran impacto antieconómico en los pavimentos rígidos, también trae como consecuencia un comportamiento poco satisfactorio de los mismos.

Según Crespo Villalaz (1996), el conocimiento del volumen y las características del tránsito actual y presivable son necesarios para poder fijar el número y el ancho de las vías requeridas para satisfacer el diseño de los caminos. Estos censos del tránsito se realizan mediante un estudio de las características comerciales, turísticas, económicas, y otras características de la región que servirá al camino.

También, debe conocerse la densidad de población, vinculación de la carretera con otras existentes y el estudio de los volúmenes de tránsito y cargas de ruedas sobre caminos de igual importancia existentes en esa zona. Sin embargo, es de vital importancia reunir información sobre la existencia de fábricas, minas y otras industrias o actividades comerciales cuyo tránsito pueda valorarse como representativo para la resistencia y requerimientos del camino, y que vaya a fluir sobre él.

## **2.2. Tipos de pavimentos de concreto hidráulico.**

Como lo menciona E. Tonia (2004), un pavimento de concreto hidráulico puede ser construido a base de concreto simple, de concreto reforzado o de concreto presforzado.

Los pavimentos de concreto reforzado pueden estar compuestos por secciones unidas o reforzados en forma continua. Éstos últimos eliminan la

necesidad de juntas transversales, pero si requieren de la adición de juntas de construcción o juntas en las interrupciones físicas de la carretera, como por ejemplo en puentes.

Por otro lado, los pavimentos de concreto simple no cuentan con algún refuerzo, solamente cuentan con las varillas de acero de amarre usadas para mantener firmemente cerradas las juntas longitudinales.

### **2.2.1. Pavimento de concreto simple.**

De acuerdo con Crespo Villalaz (1996), este tipo de pavimentos son los que se construyen sin acero de refuerzo y sin pasajuntas (barras de transferencia de carga en las juntas). Por lo tanto, la transferencia de cargas se logra mediante la unión de los agregados de las dos caras que se agrietan en losas colindantes, las cuales están separadas entre sí por un corte o junta.

El concreto simple, sin refuerzo, tiene la ventaja de ser resistente a la compresión, pero tiene como desventaja poseer muy poca resistencia a la tensión, lo cual hace que sea muy necesaria la utilización de materiales de refuerzo estructural para su construcción, mismos que serán los que cumplirán la función de ayudar a soportar la tensión en el concreto. Otra de las funciones del concreto simple es la de soportar las características del entorno, como las variaciones de temperatura y humedad.

Por lo general, este tipo de pavimentos es recomendable para casos donde el tipo y volumen de tránsito son medianos o bajos (menos de 120 vehículos de carga por día) e irá apoyada sobre la capa sub-rasante. Así mismo, el espesor y resistencia

del concreto simple que formará al pavimento, se diseñarán directamente en función del tipo y volumen de tránsito que circule por el mismo.

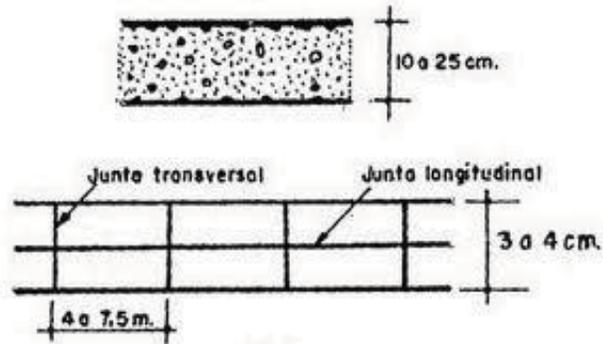


Figura 2.2. Estructura de un pavimento de concreto hidráulico simple.

Fuente: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com); 2011.

### 2.2.1.1. Pavimento de concreto simple, con pasadores.

Respecto a lo mencionado en [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com) (2011), los pasadores son pequeñas barras de sujeción fabricadas de acero, que se colocan en la selección transversal del pavimento, en las juntas de contracción y tienen la función estructural de transmitir las cargas de una losa a otra losa colindante, tratando de disipar las condiciones de deformación en las juntas de las mismas. Es así como se evitan los dislocamientos verticales diferenciales (escalonamientos). De igual manera, es posible diseñar losas de mayor longitud que en los pavimentos sin refuerzo con el uso de pasadores

Este tipo de pavimentos es recomendable para tráfico diario que exceda ejes equivalentes a 8,200 kg., con espesores de 15 cm o mayores. Además, un método para decidir el empleo de pasadores de cargas, es evaluar las dos alternativas,

comparando el costo de incluir una sub-base tratada y también los costos de las juntas de las losas con y sin pasadores.

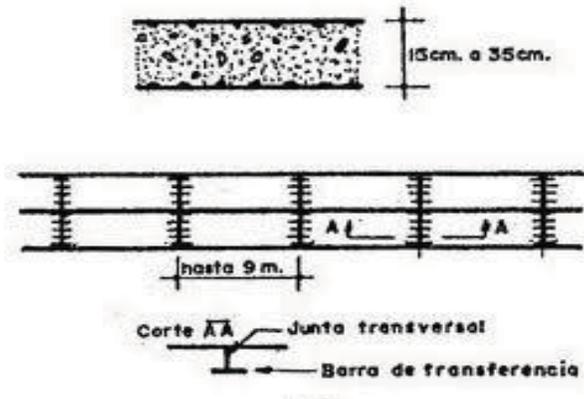


Figura 2.3. Estructura de un pavimento rígido con barras de transferencia de cargas.

Fuente: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com); 2011.

### 2.2.2. Pavimento de concreto reforzado.

Con base en lo mencionado por Salazar Rodríguez (1998), el acero se utiliza en los pavimentos de concreto hidráulico, ya sea como refuerzo interior o como elemento transmisor de carga en las juntas. A su vez, éste es diseñado en forma longitudinal y transversal, al igual que las varillas de sujeción, fundamentándose en el desarrollo de fricción.

Se afirma que “La idea de que las funciones del acero en los pavimentos rígidos pueden ser similares a las que tiene en las estructuras de concreto reforzado que trabajan a flexión es errónea mientras se admita que la aparición de grietas en las losas son el comienzo y la expresión más importante del proceso destructivo a

que se encuentran expuestas estas obras en las circunstancias comunes de uso mientras se intente evitar la aparición de las mismas.” (Crespo Villalaz; 1996; 373)

#### **2.2.2.1. Pavimento de concreto reforzado con acero no estructural.**

Con respecto a lo dicho por E. Tonia (2004), en los pavimentos de concreto reforzado con acero no estructural la función principal del acero de refuerzo es tratar de mitigar, en lo más posible, los agrietamientos ocasionados por el movimiento del suelo, la humedad, la expansión y la contracción en el concreto, debidas a la temperatura.

Ciertamente, Salazar Rodríguez (1998) expresa que las mallas electrosoldadas y emparrillados de varillas delgadas no son destinadas a cumplir una función estructural en los pavimentos rígidos, teniendo otras dos tareas, además de disipar los agrietamientos en el concreto, aumentar el espaciamiento de juntas y mantener ligadas las secciones agrietadas entre las losas de concreto.

El refuerzo de acero no estructural en este tipo de pavimentos se ubica en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5 cm de profundidad bajo la superficie de rodadura. También se puede mencionar que la sección máxima de acero recomendable es de 0.3% de la sección transversal del pavimento.

Como dato registrado se tiene que, en el diseño y construcción de pavimentos reforzados con acero no estructural se han logrado losas de 9 m y 12 m de largo entre juntas transversales de contracción. El uso de este tipo de pavimentos es muy poco común y mayormente se utiliza en pisos industriales.

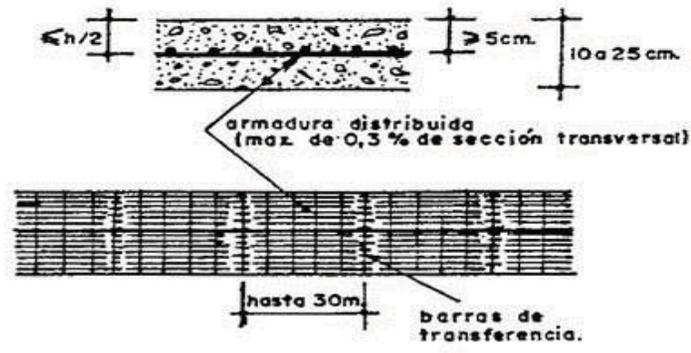


Figura 2.4. Estructura de un pavimento rígido reforzado con acero no estructural.

Fuente: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com); 2011.

#### 2.2.2.2. Pavimento de concreto reforzado con acero estructural.

Como se menciona en [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com) (2011), en estos pavimentos el refuerzo de acero estructural se encarga de las tensiones de tracción y compresión. De esta manera, es posible reducir el diseño y construcción del espesor de la losa, hasta 10 cm ó 12 cm. Las dimensiones de las losas son similares a las de los tipos anteriores de pavimento, pues el acero no atraviesa la junta transversal para evitar la aparición de fisuras.

En las juntas longitudinales que el refuerzo pasa la junta, generalmente se presenta la aparición de agrietamientos. Invariablemente, cuanto mayor es el tamaño de la losa mayor es el riesgo de la aparición de fisuras. Por lo general, este tipo de pavimentos se aplican en pisos industriales, donde las losas deben resistir grandes cargas.

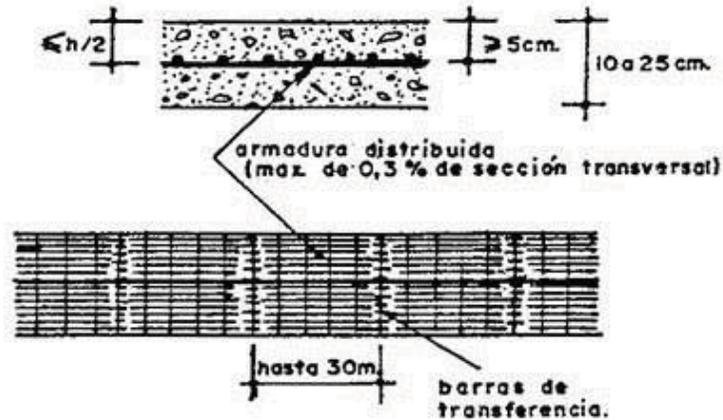


Figura 2.5. Estructura de un pavimento rígido reforzado con acero estructural.

Fuente: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com); 2011.

### 2.2.3. Pavimento de concreto hidráulico, con refuerzo continuo.

Como menciona E Tonia (2004), el refuerzo principal en un pavimento reforzado en forma continua es el acero longitudinal, que puede estar constituido por varillas de refuerzo o por tela de alambre corrugado. Es refuerzo continuo con acero se usa para el control de agrietamientos causados por los cambios de volumen del concreto en el pavimento. Así mismo, el acero longitudinal se puede proporcionar como refuerzo transversal para controlar el ancho de las grietas longitudinales.

De igual manera, cuando los agrietamientos longitudinales que puedan presentarse en las losas de concreto no sean mayor problema para la función estructural de las mismas, es posible que no sea necesaria la implementación de refuerzo transversal. Para el diseño de este tipo de pavimentos se deben tomar en cuenta la resistencia a la tensión del concreto, sus características de contracción y su

coeficiente térmico. Típicamente, el acero de refuerzo longitudinal que se usa son varillas corrugadas del No. 5 y del No. 6.

Según lo mencionado en [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com) (2011), el acero de refuerzo es el responsable de todas las deformaciones, especialmente las causadas por la temperatura del lugar, eliminando las posibles juntas de contracción, quedando solamente las juntas de construcción y las juntas de dilatación en la colindancia con alguna otra obra.

Los agrietamientos son controlados por el armado continuo que se implementa en el medio de la calzada y a lo largo de toda ésta, diseñado para admitir una fina red de agrietamientos que no pongan en peligro el buen comportamiento de la estructura del pavimento. Generalmente, este tipo de pavimentos es aplicable en zonas de clima frío y para recubrimientos deteriorados.

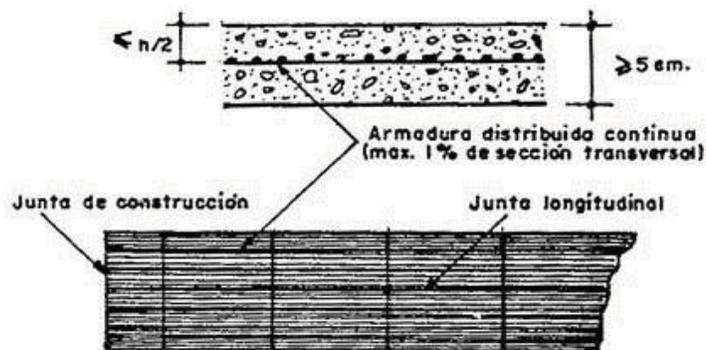


Figura 2.6. Estructura de un pavimento rígido con refuerzo continuo.

Fuente: [www.civilgeeks.com](http://www.civilgeeks.com); 2011.

### **2.3. Juntas en los pavimentos de concreto hidráulico.**

De acuerdo con lo mencionado por el Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto (1981), en los pavimentos de concreto hidráulico las juntas se implementan con el fin de contrarrestar la aparición de grietas o fisuras, y en casos particulares, para solucionar la expansión del concreto ocasionada por los cambios de temperatura y humedad del mismo.

Por otro lado, Salazar Rodríguez (1998), dice que las juntas en los pavimentos de concreto hidráulico se crean para evitar que las grietas producidas por el secado, temperatura y cambios en los contenidos de agua se presenten de manera desordenada, sin patrones geométricos. Así se reducen los efectos de la expansión y contracción de las losas de concreto.

Además, la colocación de juntas tiene otra función que es el proporcionar facilidad para el colado del concreto y para dejar espacio suficiente para la liga de las losas colindantes. Las juntas pueden ser colocadas perpendicularmente a la línea central de pavimento, y dependiendo de la función que tengan que cumplir, longitudinales.

Crespo Villalaz (1996), afirma que si no se construyen juntas en los pavimentos de concreto hidráulico, se presentarían grietas o fisuras a distancias bastante regulares entre sí, causadas por la contracción y dilatación del concreto. En las juntas, las cuales son puntos débiles en la superficie de rodamiento, pueden aparecer desperfectos al incrementarse los pesos de los vehículos e igualmente despostillarse por causa de objetos extraños dentro de ellas. Por lo tanto, el diseño,

proyecto y construcción de éstas debe llevarse a cabo con mucho cuidado, de lo contrario se presentaría un considerable aumento en los gastos de conservación de este tipo de caminos.

### 2.3.1. Juntas longitudinales.

Como menciona E. Tonia (2004), este tipo de juntas se forman paralelas a la línea central de la carretera para facilitar la construcción de los carriles y prevenir de la propagación de grietas longitudinales irregulares. Éstas se pueden construir utilizando varios métodos como acuñar, juntar a tope, formar mecánicamente o ranurar con sierra.

Crespo Villalaz (1996), define a las juntas longitudinales como aquellas que se construyen paralelas al eje central del camino con el fin de admitir los movimientos relativos de todas las losas componentes de este tipo de caminos. Igualmente, la cantidad de losas longitudinales depende del ancho de la corona de los mismos, tomándose como referencia que la juntas dividen a la corona en el número de cuerpos del camino necesarios para el tránsito de vehículos.

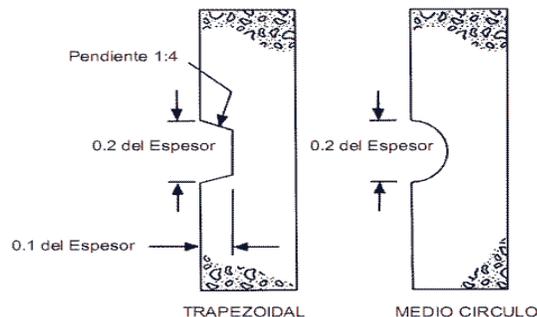


Figura 2.7. Secciones endientadas estándar para juntas longitudinales.

Fuente: [www.elconstructorcivil.com](http://www.elconstructorcivil.com); 2011.

### **2.3.1.1. Juntas longitudinales de contracción.**

De acuerdo con lo mencionado por Salazar Rodríguez (1998), las juntas longitudinales de contracción son las que dividen a los carriles de circulación en la dirección longitudinal, o también conocidas como las implementadas en donde se construyen dos o más anchos de carriles al mismo tiempo. Esto se hace con el objetivo de impedir que los carriles adyacentes se separen o formen una falla. Deben ahogarse varillas de amarre o conexiones de acero en el concreto, perpendiculares a las juntas.

Según el Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto (1981), pueden construirse por los siguientes métodos:

1. *Aserrado*: Éste se realiza cuando el concreto fresco no se desmorona y aun no se presenta el agrietamiento. Cuando se realice este método, debe tenerse especial cuidado en demorar suficientemente el aserrado, para evitar desportillados o juntas erosionadas..
2. *Tiras delgadas de separación*: Este método consiste en colocar con una máquina en el concreto fresco, una tira de polietileno u otro material adecuado, con un espesor no menor de 0.33 m, siempre verticalmente y sin sellar las juntas.
3. *Tiras de separación de otro tipo*: En este caso, existe la posibilidad de utilizar otro tipo de tiras de separación que sean total o parcialmente extraídas antes del sellado de las juntas. Generalmente, se utilizan placas metálicas dobladas para llevar a cabo este método.

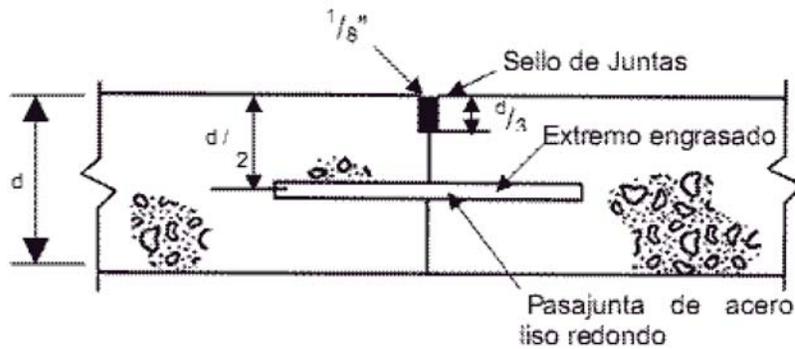


Figura 2.8. Junta longitudinal de contracción.

Fuente: [www.elconstructorcivil.com](http://www.elconstructorcivil.com); 2011.

### 2.3.1.2. Juntas longitudinales de construcción.

De acuerdo con lo mencionado por E. Tonias (2004), las juntas longitudinales de construcción se presentan cuando el colado del concreto de una losa se interrumpe, y por consecuencia, lo más conveniente es realizar una junta de construcción en la junta fría de las dos secciones de esa losa. Ésta se realiza formando una cara vertical con un travesaño de madera en el extremo de la losa en la que se interrumpirá su colado. Muchas veces, resulta muy efectivo usar varillas corrugadas de amarre para mantener cerrada la junta.

Igualmente, Salazar Rodríguez (1998), las juntas longitudinales de construcción son aquellas juntas que se realizan entre dos carriles del camino, los cuales fueron construido en diferentes etapas. Su principal función es evitar la formación aleatoria de agrietamientos o evitar su mayor propagación a lo largo y ancho de toda la losa.

Por lo general, la conexión entre juntas de construcción debe realizarse con caras del tipo macho y hembra, esto haciéndolo con moldes metálicos, en la mayoría de los casos, uno con un extremo trapecial para que se efectúe un moldeo de manera adecuada. Si se trata de moldes de madera, éstos deben lubricarse con aceite para evitar la adherencia y aumentos de volumen por humedad del concreto.

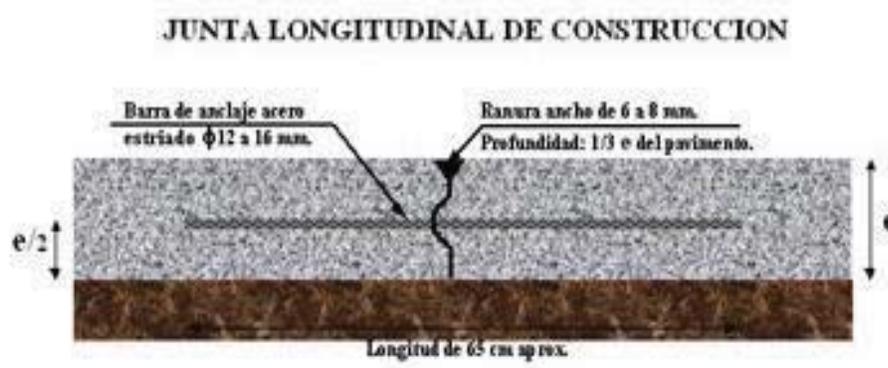


Figura 2.9. Junta transversal de construcción.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.mx>; 2009.

### 2.3.2. Juntas transversales.

Como indica Crespo Villalaz (1996), el objetivo de las juntas transversales en los pavimentos es evitar el agrietamiento debido al esfuerzo provocado por la contracción y alabeo de las losas de los caminos. Además, este tipo de juntas son de tres tipos: de contracción, de construcción y de dilatación.

### **2.3.2.1. Juntas transversales de contracción.**

Como lo menciona Salazar Rodríguez (1998), las juntas transversales de contracción se construyen ortogonalmente al eje de trazo del pavimento y su espaciamiento se debe a que está destinado a contrarrestar el agrietamiento provocado por los esfuerzos debidos a la influencia de la variación de la temperatura, humedad y secado en el lugar.

Así mismo, E. Tonias (2004), expresa que este tipo de juntas se implementan para limitar o impedir los efectos de las fuerzas de tensión en una losa de concreto, causados por una caída en la temperatura. Esto funciona, debilitando la losa, de modo que si las fuerzas de tensión son muy grandes para agrietar la losa, las grietas se formen en las juntas.

El procedimiento para formar las juntas de contracción consiste en aserrar en el concreto endurecido, colocando elementos de plástico en los lugares de las juntas antes de colar el concreto, o después de haber sido colado, pero antes de que haya fraguado por completo el concreto.

Se recomienda construir a una distancia de 4.5 m entre sí, a menos de que haya indicaciones otras indicaciones, debiendo ser perpendiculares o desviadas al eje del camino. Salvo que las especificaciones del proyecto indiquen otra cosa, en este tipo de juntas, no se consultan dispositivos de transferencia de cargas. En el caso de pavimentos nuevos contiguos a otros ya existentes, la posición de la nueva junta deberá coincidir con la existente.



Figura 2.10. Junta transversal de contracción.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.mx>; 2009.

### 2.3.2.2. Juntas transversales de construcción.

Olivera Bustamante (1996), afirma que las juntas transversales de construcción se elaboran cuando el curado del concreto fresco se suspende por algún motivo, ya sea por incidentes o imprevistos que se presenten durante este procedimiento. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que al realizar este procedimiento, se procura colocar losas completas antes de terminar la jornada de trabajo.

El Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto (1981), menciona que las juntas transversales de construcción se realizan fijando en el lugar una armazón en forma correcta y coteniendo el sistema de conectores tipo macho y hembra y barras de sujeción. Además, no deben llevarse a cabo cuando se dé lugar a una losa de menos de 3 m de longitud cuando menos. Además, deben formarse en el lugar colindante con la junta anterior.

Deberán ser construidas cuando hay interrupciones por lapsos de más de 30 minutos. En este tipo de juntas, deben utilizarse dispositivos de transferencia de carga, los cuales serán de acero A-44-28-H, lisas, con un largo de 460 mm y ubicadas a cada 300 mm. La medición de su espaciamiento se lleva a cabo a partir de la última junta transversal de contracción colocada.

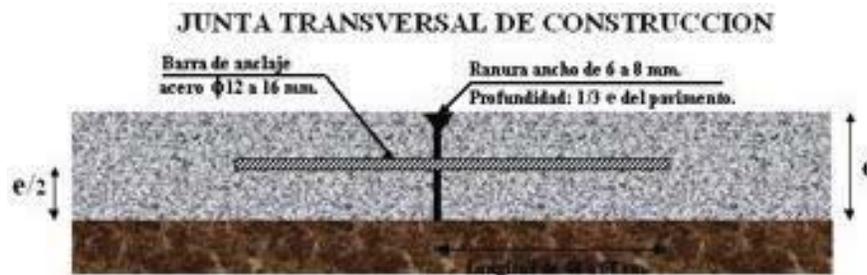


Figura 2.11. Junta transversal de construcción.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.mx>; 2009.

### 2.3.2.3. Juntas transversales de expansión.

Según el Instituto Mexicano de Cemento y el Concreto (1981), las juntas transversales de expansión deben ubicarse perpendicularmente a la línea central del pavimento, a menos de que se requiera otra cosa, además de extenderse en todo el ancho del pavimento del camino, ya sea en extremos de puentes, con pasajuntas, etc.

Igualmente, Salazar Rodríguez (1998), define a las juntas transversales de expansión como aquellas que permiten la expansión horizontal o el desplazamiento del pavimento de concreto hidráulico, que colindan con estructuras existentes en el camino, tales como estribos de puentes, losas de aproches, alcantarillas, etc.

La función principal de las juntas transversales de expansión, en un pavimento de concreto es permitir el movimiento de la losa causados por los cambios de temperatura en el lugar. Cuando aumenta la temperatura, aumenta la longitud de la losa, ocasionando fuerzas de compresión en el concreto. En caso de no implementar juntas de expansión, la losa podría abombarse o reventarse considerablemente, dependiendo su longitud.

Según E. Tonias (2004), en los pavimentos de concreto hidráulico, generalmente se colocan juntas de expansión cada 12 a 18 m, a lo largo de la longitud del pavimento. Dichas juntas pueden variar en espesor de 19 a 25 mm, además deben incorporarse barras de acero apropiadas para la transferencia de cargas. Por último, en estas juntas se debe colocar relleno como, caucho, corcho, u otro material que permita la expansión de la losa y no permita la suciedad.

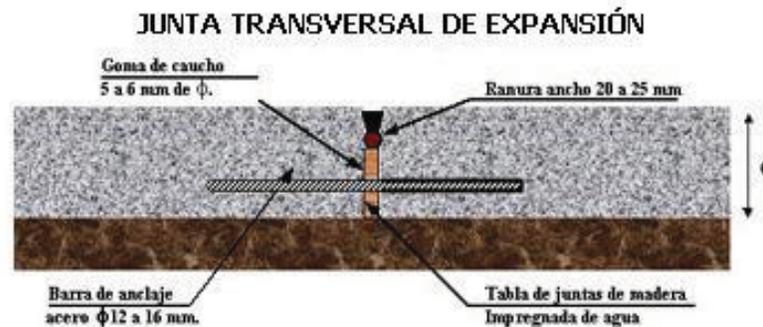


Figura 2.12. Junta transversal de expansión.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.mx>; 2009.

## 2.4. Dispositivos para transferencia de carga.

De acuerdo con lo mencionado por Crespo Villalaz (1996), estos dispositivos se colocan con el fin de mantener unidas las losas de concreto hidráulico o con el propósito de transmitir las cargas verticales de una losa a otra. Estos dispositivos especiales para cumplir estas funciones son los pasadores y pasajuntas, los cuales se diseñan de dos maneras, según el fin que se persiga con su empleo.

Por otra parte, E Tonia (2004), menciona que los dispositivos especiales para la transferencia de carga entre los extremos de las losas colindantes para transferir cargas del tráfico de una losa a otra ofreciendo poca o ninguna resistencia a los movimientos longitudinales de esas losas. Se han utilizado varios dispositivos mecánicos como elementos para la transferencia de cargas, pero también es posible lograr la transferencia de cargas sólo con el entrelazado del agregado.



Figura 2.13. Barras pasajuntas (redondas lisas de acero de 1 $\frac{1}{2}$ " de diámetro).

Fuente: Propia; 2013.

## **2.5. Varillas de amarre.**

Como indica E Tonia (2004), las varillas de amarre son los dispositivos que se utilizan para amarrar entre sí las losas de concreto hidráulico colindantes, las cuales pueden ser del tipo conectores o varillas corrugadas con la suficiente resistencia a la tensión para evitar que las losas se separen. No obstante, al colocar las varillas de amarre, no se pretende que éstas sirvan como dispositivos de transferencia de carga.

Cuando se colocan varillas de amarre, se genera una considerable resistencia al movimiento que, a su vez, induce esfuerzos de tensión en el concreto el cual debe ser diseñado con la suficiente resistencia para soportar dicha tensión. De igual manera, a las varillas se les suele equipar con un gancho para facilitar su adhesión.

## **2.6. Fallas en pavimentos rígidos.**

### **Agrietamiento transversal y longitudinal**

Este tipo de falla se presenta principalmente cuando existe una aplicación de cargas repetidas sobre el pavimento, esto es tensiones excesivas de tracción por flexión. De igual manera, el agrietamiento puede aparecer por el fenómeno de retracción del concreto a las pocas horas de haber colado el concreto o después de haber realizado el corte para fabricar las juntas.



Figura 2.14. Agrietamiento transversal en losas de concreto hidráulico..

Fuente: Propia; 2013.

### **Desportillamientos**

Estas fallas son provocadas por losas demasiado largas sin pasajuntas o sin acero de refuerzo. De igual manera, los desportillamientos se presentan cuando las losas de concreto hidráulico se construyen sobre material fino y esto ocasiona el fenómeno de bombeo debido a que se carece de sub-base o por la mala compactación de las capas inferiores.



Figura 2.15. Desportillamiento en losas de concreto hidráulico..

Fuente: Propia; 2013.

## **Falla estructural**

Este tipo de falla se presenta principalmente cuando se ha realizado, durante el proyecto, un mal cálculo de las losas de concreto hidráulico, esto es, que no se ha tomado en cuenta el tipo de vehículos que en realidad transitan por determinado camino y por lo tanto las losas son sometidas a numerosas repeticiones de cargas mayores a las que serían soportadas en el proyecto. Así mismo, la falla estructural se presenta al concluir la vida útil del pavimento, aproximadamente 25 años después de construido.



Figura 2.16. Falla estructural en losas de concreto hidráulico..

Fuente: Propia; 2013.

## **Despostillado de juntas**

El despostillado de juntas en losas de concreto hidráulico se presenta cuando hay una inyección o introducción de materiales extraños en las juntas del pavimento, esto debido a un sellado incorrecto de las mismas o por la mala fabricación de las juntas. Cuando este fenómeno ocurre, el despostillado es progresivo y su evolución

depende de la repetición con que son aplicadas las cargas del tránsito sobre el pavimento.



Figura 2.17. Despostillado de juntas en losas de concreto hidráulico..

Fuente: Propia; 2013.

### **Deterioro superficial**

El deterioro superficial se debe principalmente al desgaste provocado por el paso del tránsito por el camino de concreto hidráulico. Dicho desgaste es más susceptible de presentarse cuando durante el colado de las losas se ha dado un vibrado excesivo en el concreto fresco y ha ocurrido una disgregación de los materiales del concreto, provocando que la lechada de la mezcla ascienda a la superficie y se desgaste la losa con mayor facilidad.



Figura 2.18. Deterioro superficial en losas de concreto hidráulico..

Fuente: Propia; 2013.

## **2.7. Conservación de pavimentos rígidos.**

De acuerdo con Crespo Villalaz (1996), la conservación adecuada de los caminos garantiza la inversión inicial de construcción y disminuye el costo de explotación, además de alargar la vida útil de los caminos y los vehículos que los transitan.

### **2.7.1. Conservación normal o preventiva.**

La conservación normal o preventiva es el conjunto de trabajos rutinarios que se llevan a cabo para evitar el deterioro del camino, conservándolo lo más posible en su calidad y valor inicial, aplicados a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar o corregir un problema específico o prevenir el crecimiento de fallas puntuales. Enseguida se presentan algunos trabajos de conservación menor:

## **Limpieza y resellado de juntas**

Es la sustitución del material de sello de las juntas, la cual se realiza con el objeto de impedir la entrada de objetos extraños incompresibles y agua, que puedan afectar el comportamiento futuro del pavimento. El material de sello debe sustituirse cuando se presente la pérdida de adherencia con el concreto, agrietamientos o rasgaduras y síntomas de envejecimiento, como costras, agrietamientos y pérdida de material.

## **Limpieza y sellado de agrietamientos en losas**

Son las acciones necesarias para limpiar y sellar grietas con abertura comprendida entre 0.5 y 1.5 mm, en las losas que no presenten asentamientos ni fracturas profundas, con el objeto de impedir la entrada de objetos incompresibles y agua, que puedan afectar el comportamiento futuro del pavimento. En la limpieza y sellado de los agrietamientos en losas, es necesario rellenar dichas grietas que son provocadas por el fenómeno de contracción del concreto.

## **Bacheo**

Actividades necesarias para reponer una porción de concreto hidráulico y capas débiles subyacentes a las losas, en las áreas que presenten daños como agrietamientos, desprendimientos o desintegración, capas saturadas, inestables o deformaciones. Este proceso debe efectuarse después de la demolición, en la superficie descubierta y antes de colar las losas de concreto, baches que pudieran afectar en el futuro por el mal estado de la carpeta existente, en áreas que así lo requieran.

### **2.7.2. Conservación mayor o correctiva.**

Por otro lado, la conservación mayor o correctiva es el conjunto de trabajos en los cuales se llevan a cabo actividades más complicadas y de mayor monto económico para la reparación de las fallas que presente el pavimento. Este tipo de trabajos de conservación es aplicado a toda el área de un camino o a una sección importante del mismo, mejorando sustancialmente el pavimento, en el aspecto funcional y estructural, aumentando su vida útil considerablemente. Principalmente, estos trabajos están enfocados a mejorar la calidad de la superficie de rodamiento del pavimento, su fricción y/o su capacidad estructural.

#### **Reposición total de losas de concreto hidráulico**

Esta actividad está enfocada a eliminar el deterioro que existe entre las losas de concreto hidráulico y consiste en la reposición total de las losas que presentan severas fallas estructurales, como dos a más fracturas, fracturamientos de esquina o juntas o grietas con destornillamientos y/o reparaciones mal ejecutadas.

#### **Reparación parcial de deterioros a espesor total de losas**

Consiste en las acciones necesarias para reparar losas de concreto hidráulico que requieren un tratamiento en el espesor total de las losas, pero no en toda su superficie, es decir, una sección de ésta cuando se presenten por ejemplo, roturas de esquina en el espesor total pero que por su tamaño no amerite la demolición total de la losa.

### **Reparación de desportillamientos de losas de concreto hidráulico**

Consiste en las acciones necesarias para reparar las zonas que manifiestan desprendimientos en los bordes de juntas o grietas, con el propósito de restituir la integridad de las losas y las juntas en su caso, se considerará que la reparación debe realizarse en todo su espesor, abarcando la zona deteriorada por la falla. Los desportillamientos pueden afectar uno o ambos bordes de una junta o grieta y una varias losas contiguas.

### **Adición y reposición de barras pasajuntas**

Es el conjunto de acciones necesarias para restituir el material de barras pasajuntas en las juntas transversales de contracción, esto con el objeto de reponerlas. Dichas restitución se hará cuando se presenten los siguientes casos: las barras no se encuentren en su sitio, estén dañadas por el proceso constructivo o se encuentren dañadas por el paso del tiempo (oxidadas).

### **Perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente.**

Los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente con equipo autopropulsado, consisten en las acciones necesarias para desbastar el pavimento existente, para corregir el escalonamiento entre losas del pavimento, mejorar el índice de perfil, índice de fricción y el drenaje superficial, así como disminuir el ruido que ocasiona la interacción de los neumáticos de los vehículos con la superficie del pavimento.

Con la aplicación de este método se busca también aumentar de manera considerable el período de vida de los caminos de concreto hidráulico y darle además otros beneficios adicionales significativos, para que los usuarios circulen por ellos con un grado de seguridad y comodidad mayor con el que se cuenta de manera ordinaria.

De igual manera, mediante la aplicación de la técnica de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico de camino, se busca ayudar a restituir la condición del pavimento rígido a su estado original de construcción, reduciendo considerablemente la necesidad de efectuar reparaciones a futuro con costos demasiado elevados y que puedan causar mayores daños a la superficie de rodamiento del camino a tratar.

## **CAPÍTULO 3**

# **PROCEDIMIENTO DE RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS DE CONCRETO HIDRÁULICO MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILADO Y TEXTURIZADO**

En este capítulo se define el procedimiento constructivo que es utilizado para llevar a cabo el proceso de restauración de concreto hidráulico existente en los caminos, mediante el método de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento de los mismos. También se habla de algunos aspectos y características técnicas de las herramientas que son necesarias para llevar a cabo la realización de dicho procedimiento.

### **3.1. Señalamiento de protección de obra.**

Como lo afirma la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), el señalamiento y dispositivos para protección de obras son aquellas señales y elementos que se colocan de manera provisional en las zonas de ejecución de trabajos y obras, esto durante la modernización o reconstrucción de carreteras en operación. con el fin de garantizar la integridad y seguridad de los usuarios de dichos caminos y de los trabajadores de las obras.

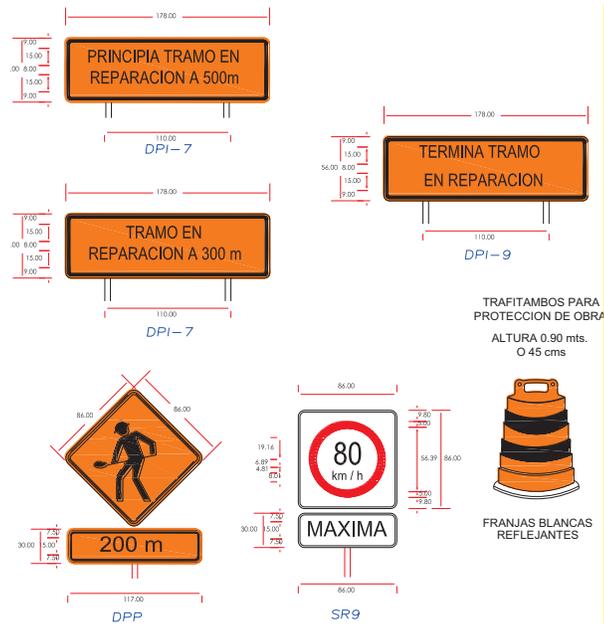


Figura 3.1. Señalamiento de protección de obra.

Fuente: Proyecto de señalamiento de protección de obra de la reparación de losas de concreto hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro; CAPUFE 2013.

### 3.1.1. Consideraciones generales.

De acuerdo a lo mencionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), los trabajos de modernización o reconstrucción en la autopista no pueden iniciarse mientras no se cumpla con todo el señalamiento provisional de protección de obra establecido en las especificaciones complementarias, el proyecto y el anexo, previamente estipulados por la dependencia para la que se ejecutará el trabajo.

### **3.1.2. Evaluación y criterios de aceptación.**

En conformidad con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), los contratistas de obras de modernización o reconstrucción de caminos son responsables de la conservación de los dispositivos y elementos de protección de obra, durante el tiempo en que serán requeridos.

La evaluación del señalamiento de protección de obra debe llevarse a cabo en periodos de tiempo que establezca la dependencia en conjunto con la empresa contratista, por lo general se lleva a cabo semanal, quincenal o mensualmente. De igual manera, en caso de dañarse el señalamiento colocado en la zona de trabajos, la dependencia, con base en el inventario de señales que se tenga, deberá reponer al contratista de la obra las piezas dañadas.

#### **3.1.2.1. Criterios de aceptación y rechazo.**

Todas las señales y dispositivos para protección de obra deben cumplir adecuadamente con lo indicado en las normas N.PROY.CAR. 10.03.002 y N.PROY.CAR. 10.03.003 vigentes. o las especificaciones particulares que marque la dependencia, en los siguientes aspectos:

- **Calidad de las señales y dispositivos:** los dispositivos deben cumplir con la calidad de especificada en el plano de proyecto proporcionado por la dependencia en cuanto materiales, dimensiones y funcionamiento según se requiera.
- **Numero, ubicación, alineamiento, disposición y altura**
- **Fijación**

➤ **Retro reflexión**

Además, la empresa contratista debe contar con el personal necesario para mantener en buen estado y debidamente instalado el señalamiento para una correcta operación durante la ejecución de los trabajos.

**3.2. Índice de perfil del camino.**

Partiendo de lo mencionado por el Instituto Mexicano del Transporte (2006), el índice de perfil de un camino, se define como la medida de las Irregularidades superficiales del pavimento, que puede ocasionar vibraciones excesivas en los vehículos. Este indicador se utiliza para determinar la calidad del acabado en la superficie de rodamiento durante la construcción. Debido a que se busca la extensión de esta práctica, la cual debe cubrir casi todas las obras de pavimentación y repavimentación de caminos, se logrará una mejor calidad en los acabados de las superficies de rodamiento.

La prueba del índice de perfil de un camino permite obtener el perfilograma o perfil longitudinal de la superficie de rodadura del mismo y determinar a partir de éste el rango de índice de perfil en el eje longitudinal con que se cuenta en el pavimento. Esta prueba debe realizarse antes y después de los trabajos de restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado.

Así mismo, el índice de perfil permite conocer la cantidad de irregularidades milimétricas que se tienen en la superficie de rodadura, las cuales pueden ser provocadas por el deterioro por uso, por el propio proceso constructivo, etc.; un exceso de éstas puede afectar la correcta operación del tránsito. Principalmente,

dichas irregularidades son medidas con un equipo especializado denominado perfilógrafo tipo California, esto desplazándolo a lo largo de las franjas por las cuales circulan las llantas de los vehículos sobre la superficie de rodadura del pavimento.

El índice de perfil se obtiene a partir de perfilogramas o gráficas arrojadas por el perfilógrafo tipo California y la expresión para obtener el índice de perfil de cada subtramo de camino es la siguiente:

$$Ip = \frac{\Sigma h}{L} \times 1000$$

Donde:

$Ip$  = Índice de perfil del subtramo, (cm/km).

$\Sigma h$  = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el subtramo, (cm).

$L$  = Longitud del subtramo, (m).

### **3.2.1. Perfilógrafo tipo California.**

Como lo menciona el Instituto Mexicano del Transporte (2006), el perfilógrafo tipo California, es el equipo de medición utilizado para la obtención del índice de perfil longitudinal del camino, antes y después de la ejecución del trabajo de perfilado y texturizado de las losas de concreto hidráulico, y de esta manera, detectar en qué zonas de la superficie de rodamiento se requerirá la ejecución del perfilado y texturizado.

Por otro lado, se puede mencionar que existen varios tipos de perfilógrafos en el mercado, en este caso se abordará específicamente al perfilógrafo tipo California,

comúnmente el más conocido y utilizado en México, por ser con el que se cuenta actualmente dentro de la medición de los índices de perfil de los caminos con superficie de rodamiento nueva y caminos con superficie de rodamiento ya existente en el país.



Figura 3.2. Perfilógrafo tipo California.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.2.2. Componentes y características del Perfilógrafo tipo California.

En seguida se muestran los componentes del Perfilógrafo tipo California:

- **Marco:** Se compone de material rígido (aluminio) de 7.62 m de longitud y aproximadamente 1 m de altura con un peso aproximado de 204.5 kg, el cual puede ser desarmado para facilitar su transporte.
- **Carros de carga:** Ubicados en ambos extremos del marco del perfilógrafo y ubicados en configuraciones de ruedas de apoyo en línea (2 y 4 ruedas cada uno) y separadas entre sí 30.5 cm longitudinalmente y 43.2 cm transversalmente, esto para proporcionar estabilidad al equipo. Su función principal es la de soportar el marco de aluminio y permitir el desplazamiento a lo largo de la trayectoria longitudinal que se debe cubrir para la obtención del

índice de perfil, controlados por un operador de forma manual mediante un sistema de dirección mecánica.



Figura 3.3. Marco y carros de carga del perfilógrafo tipo California.

Fuente: Propia; 2013.

- **Llanta sensora:** Debe ser de al menos 15.2 cm de diámetro, ubicada al centro del marco y con libre desplazamiento vertical para permitir registrar la elevación del perfil de la superficie de rodadura respecto a una línea de referencia, formando así un perfilograma. La presión de inflado de la llanta neumática debe ser de 25 lb/in<sup>2</sup> la cual debe ser checada varias veces al día durante su operación, así mismo llevando un registro del control de la presión.



Figura 3.4. Llanta sensora del perfilógrafo tipo California.

Fuente: Propia; 2013.

- **Consola de registro:** Es un dispositivo de registro electrónico que cuenta con una computadora de uso rudo, la cual contiene un software pre-instalado capaz de registrar y procesar gráficamente los datos obtenidos mediante señales digitales a una escala vertical de 1:1 y horizontal de 1:100, del movimiento vertical de la llanta sensora, para posteriormente dibujar los perfilogramas sobre rollos de papel de tipo y dimensiones proporcionadas por el fabricante del perfilógrafo, a las escalas antes mencionadas.

Dicho dispositivo, debe tener capacidad para tomar 5 lecturas por cada 2.54 cm de longitud recorrida y registrar la altura de la superficie aproximadamente 0.25 mm, indicando la magnitud de las irregularidades de la superficie de rodadura, así como la suma de ellas y la distancia recorrida, esto para calcular el índice de perfil del subtramo recorrido.



Figura 3.5. Consola de registro del perfilógrafo tipo California.

Fuente: Propia; 2013.

- **Dispositivo para la calibración de la escala vertical del perfilógrafo:** Consiste en una placa de base y un bloque calibración de dos escalones metálicos e indeformables. La placa es plana y tiene un espesor menor de

2.54 cm y la altura de los dos escalones del bloque de calibración es de  $2.54 \pm 0.025$  cm cada uno.



Figura 3.6. Dispositivo para la calibración de la escala vertical del perfilógrafo tipo California.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.2.3. Calibración del perfilógrafo.**

En base a lo fundamentado por el Instituto Mexicano del Transporte (2006), el perfilógrafo debe ser calibrado en su escala horizontal y vertical, siempre antes de utilizarse por primera vez en cada obra o cada vez que se realice la obtención de los perfilogramas a cada 20 km. De igual manera, debe calibrarse cada vez que se repare o se remplace la llanta sensora y cada vez que se reensamble el perfilógrafo. Debe llevarse un registro de las calibraciones del perfilógrafo para tenerlo como evidencia en caso de presentarse alguna aclaración por parte de la dependencia.

#### **Escala horizontal**

1. Debe seleccionarse un tramo de camino recto de 200 m de longitud, esto para garantizar que se obtenga una aproximación a la longitud real del tramo previamente medido con algún otro dispositivo avalado.

2. Enseguida, debe desplazarse en forma de línea recta el perfilógrafo a lo largo de los 200 m previamente seleccionados. En este paso, se busca ajustar el factor de escala horizontal (1:100), mencionado anteriormente para el más preciso dibujo de los perfilogramas.
3. La calibración horizontal, se considera satisfactoria cuando la longitud registrada en un perfilograma de prueba, obtenido mediante los dos pasos anteriores, sea igual a la longitud real del tramo  $\pm 0.8\%$ .
4. En caso de no cumplirse con la tolerancia puntualizada anteriormente, deben seguirse las recomendaciones del fabricante del perfilógrafo para ajustar correctamente la escala horizontal. Esta calibración debe realizarse las veces que sea necesario para cumplir con la tolerancia ya mencionada.

### **Escala vertical**

1. Se coloca el perfilógrafo sobre una superficie horizontal con la menor cantidad de deformaciones posible y se procede a levantar la llanta sensora para colocar por debajo de ella la placa base plana de 2.54 cm de espesor, de tal manera que se obtenga la estabilidad total de la llanta apoyada sobre la placa, lo cual es marcado por el dispositivo electrónico del perfilógrafo. En la pantalla del dispositivo se registra la elevación inicial obtenida ( $e_1$ ).
2. Con mucho cuidado, se levanta la llanta sensora para insertar entre ella y la placa base el primer escalón del bloque de calibración con altura de 2.54  $\pm 0.025$  cm, de tal modo que se obtenga la estabilidad total de la llanta apoyada sobre el primer escalón, lo cual es marcado por el dispositivo

electrónico del perfilógrafo. En la pantalla del dispositivo se registra la nueva elevación ( $e_2$ ).

3. De igual manera, se levanta la llanta sensora para insertar entre ella y la placa base el segundo escalón del bloque de calibración con altura de  $2.54 \pm 0.025$  cm, de tal modo que se obtenga la estabilidad total de la llanta apoyada sobre el segundo escalón, lo cual es marcado por el dispositivo electrónico del perfilógrafo. En la pantalla del dispositivo se registra la nueva elevación ( $e_3$ ).
4. Posteriormente, se sostiene la llanta sensora para retirar el segundo escalón del bloque de calibración, para bajar cuidadosamente la llanta hasta que quede apoyada libremente sobre el primer escalón. En la pantalla del dispositivo se registra la nueva elevación ( $e_4$ ).
5. Por último, se sostiene la llanta sensora para retirar el primer escalón del bloque de calibración, para bajar cuidadosamente la llanta hasta que quede apoyada libremente sobre la placa base. En la pantalla del dispositivo se registra la elevación final obtenida ( $e_5$ ).
6. Previo a los pasos 2 al 4 , debe tenerse especial cuidado de que al insertar el bloque calibración quede alineado con el eje vertical de la llanta sensora, esto para evitar errores durante la obtención de las elevaciones.
7. La calibración vertical, se considera satisfactoria cuando la diferencia, en valor absoluto, entre las elevaciones obtenidas de manera sucesiva ( $e_2$ ), ( $e_3$ ) y ( $e_4$ ) es  $2.54 \text{ cm} \pm 0.05 \text{ cm}$  y cuando la diferencia máxima, en valor absoluto, entre la elevación inicial ( $e_1$ ) y la elevación final ( $e_5$ ) es  $0.076 \text{ cm}$ .

8. En caso de no cumplirse con las tolerancias estipuladas anteriormente, deben seguirse las recomendaciones del fabricante del perfilógrafo para ajustar correctamente la escala vertical. Esta calibración debe realizarse las veces que sea necesario para cumplir con las tolerancias ya mencionadas.



Figura 3.7. Calibración de la escala vertical del perfilógrafo tipo California.

Fuente: normas.imt.mx; 2006.

#### **3.2.4. Procedimiento para la obtención del índice de perfil en campo (perfilogramas).**

De acuerdo con lo dicho por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), antes y después de los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodadura concreto hidráulico, se lleva a cabo la obtención del índice de perfil de la misma, siguiendo las especificaciones previamente establecidas en la Norma M-MMP-4-07-002/06 de la Normativa Para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), que a continuación se describen:

- Ya que el perfilógrafo tipo California se encuentra ensamblado de manera correcta, de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante, y se encuentra debidamente calibrado en su escala horizontal y vertical, se comienza con el levantamiento de los perfilogramas de la superficie de rodamiento.
- Cuando se realiza el levantamiento del perfilograma del primer subtramo de la obra, se comienza a medir a 5 m dentro del inicio del concreto hidráulico. Cuando se realiza el levantamiento del perfilograma de un nuevo subtramo, debe colocarse la llanta sensora al final del último subtramo levantado.
- El índice de perfil es medido longitudinalmente, desplazando el perfilógrafo tipo California a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimitan cada carril de circulación (roderas del camino), y que están ubicadas a  $(90 \pm 20)$  cm dentro del carril que está siendo evaluado, hasta el final del subtramo.
- La velocidad a la cual debe desplazarse el perfilógrafo tipo California deber ser de entre 4.5 y 5 km/hr, velocidad a la que un peatón se desplaza caminando normalmente. Si se opera a velocidades mayores el perfilógrafo, éste tiende a perder estabilidad sobre la superficie de rodamiento, y por consecuencia, tiende a brincar al pasar por algunas irregularidades, lo que ocasionaría perfilogramas con muchos sobresaltos anormales y un levantamiento erróneo del índice de perfil.
- Las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento evaluado son divididas en subtramos consecutivos de 200 m cada uno.

- Para su identificación, los perfilogramas de cada subtramo, debe contener la siguiente información adicional: nombre de la carretera, cadenamientos de inicio y final de cada subtramo, fecha de construcción del subtramo, fecha de levantamiento del perfilograma, nombre del operador del perfilógrafo y observaciones que sean necesarias.



Figura 3.8. Obtención de perfilogramas para la determinación del índice de perfil.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.2.5. Determinación del índice de perfil.**

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2006), el índice de perfil ( $I_p$ ) de cada subtramo se obtiene a partir de los perfilogramas levantados de acuerdo al procedimiento antes descrito. Su determinación se obtiene atendiendo los siguientes pasos:

- Una vez que se han obtenido todas las irregularidades de la superficie de un mismo subtramo, se observa que el programa del dispositivo electrónico ha realizado y registrado la suma de todas ellas, en la parte final del perfilograma del subtramo, en mm.

- Posteriormente se realiza el vaciado, cálculo y análisis de datos obtenidos, en hojas de cálculo de excel, convirtiendo a cm la suma de las irregularidades arrojadas en los perfilogramas de cada subtramo.
- La expresión para obtener el índice de perfil de cada subtramo de camino es la siguiente:

$$Ip = \frac{\Sigma h}{L} \times 1000$$

Donde:

$Ip$  = Índice de perfil del subtramo, (cm/km).

$\Sigma h$  = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el subtramo, (cm).

$L$  = Longitud del subtramo, (m).

- El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de 200 m es el promedio de las 2 mediciones tomadas dentro del ancho de cada carril de circulación evaluado.
- Los perfilogramas tienen que ser reportados a la dependencia junto con los resultados del análisis del índice de perfil.

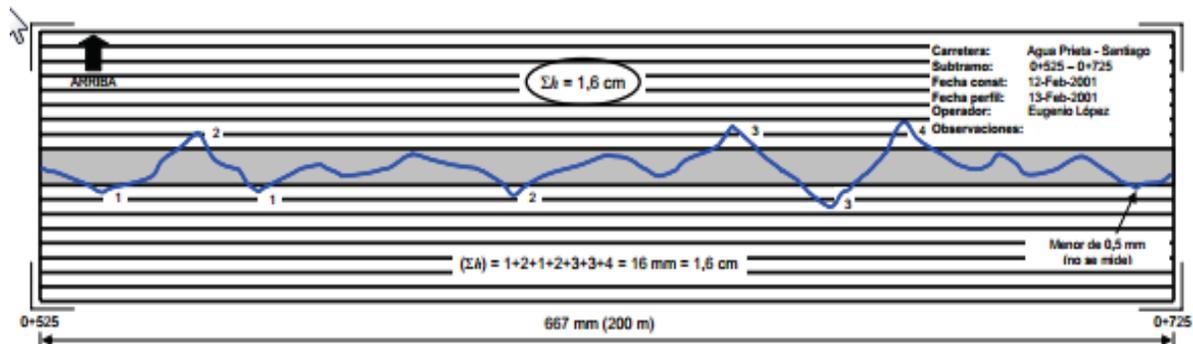


Figura 3.9. Perfilograma con información y resultados obtenidos de un subtramo.

Fuente: www.imt.mx; 2006.

### 3.2.5.1. Porcentaje de disminución.

Como lo menciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), del 100% de las losas de concreto hidráulico perfiladas y texturizadas, el índice del perfil debe ser menor al 25 cm/km en el 80% mínimo de los tramos medidos y en el 20% restante debe presentar una disminución del 70% mínimo con respecto al índice de perfil inicial o lo que indique la dependencia. El porcentaje de disminución se obtiene de la siguiente forma:

$$D = \frac{Ip\ inicial - Ip\ final}{Ip\ inicial}$$

Donde:

$D$ = Porcentaje de disminución (%).

$IP\ inicial$ = Índice de perfil inicial (cm/km).

$IP\ final$ = Índice de perfil después del perfilado (cm/km).

### 3.3. Reparación de losas de concreto hidráulico.

Según lo mencionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), la reparación de losas de concreto hidráulico son las acciones necesarias para la reparación que se aplica a las losas que presenten condiciones severas de falla estructural, como dos o más fracturas, fracturamientos de esquina, juntas o grietas con desportilladuras o escalonamientos en las juntas de losas contiguas, debido a reparaciones mal ejecutadas.

El objetivo de la reparación de las losas de concreto hidráulico es proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derramamiento, cómoda y segura. Éstas tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia las capas inferiores del pavimento, es por ello que se requiere que se encuentren en buen estado.

### **3.3.1. Localización de fallas en losas de concreto hidráulico.**

De acuerdo a lo establecido por el Instituto Mexicano del Transporte (2003), debido al carácter progresivo de los deterioros en los pavimentos rígidos es conveniente que antes de iniciar los trabajos de reparación, se lleve a cabo una inspección de pavimento para identificar las losas que deben ser motivo de tratamiento. Como forma de identificación, sobre la superficie del pavimento deben señalarse las losas a reparar, las cuales son indicadas en el proyecto o las marca la dependencia.



Figura 3.10. Identificación en campo de losas por reparar.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.3.2. Delimitación del área por reparar.

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2002), como parte de los trabajos preliminares de reparación de losas de concreto hidráulico, se debe realizar una delimitación del área por tratar para evitar dañar las zonas contiguas durante el proceso de demolición, marcando el perímetro de los cortes que deban realizarse para extraer el concreto hidráulico deteriorado.

Después de delimitar el área por tratar, se efectúan los cortes de delimitación con sierra de disco, hasta una profundidad mínima de 4 cm, debiendo ser rectos y con lados perpendiculares o paralelos al tránsito. La distancia mínima entre cortes debe ser de 1 m, y conservando una distancia mínima de 1.5 m a la junta transversal más cercana; en caso contrario la reparación debe comprender toda el área hasta alcanzar dicha junta. Debe cuidarse que la relación de largo a ancho del área sea igual o menor que 2, para evitar agrietamientos posteriores.



Figura 3.11. Corte de delimitación del área por tratar, con sierra de disco.

Fuente: <http://prodiamco.com>; 2013.

### **3.3.3. Demolición del concreto del área por reparar.**

Respecto a lo mencionado por el Instituto Mexicano del Transporte (2003), una vez realizada la delimitación de las áreas por reparar se procede a la demolición del concreto dañado para su reposición, procedimiento que debe ejecutarse en un margen tiempo que no sobrepase al día siguiente de haber realizado el corte de las áreas delimitadas.

La demolición debe realizarse mediante la fragmentación del concreto deteriorado, el cual, previo a su remoción de la zona, debe fragmentarse en bloques manejables utilizando equipos de demolición (rompedoras de concreto) montados sobre maquinaria pesada o utilizando herramientas manuales. Dicho proceso de demolición debe iniciarse desde el centro del área delimitada hacia las orillas de la misma y con la punta de la rompedora de concreto dirigiéndose siempre hacia el centro de dicha área.

Aproximadamente en los últimos 30 cm cercanos a las orillas del área de delimitada, la demolición debe terminarse de manera manual con martillo y cincel de modo que no se dañe el concreto colindante, los bordes, ni las pasajuntas y barras de amarre de dicha área. Por último, las paredes de las áreas sometidas a demolición deben presentar una superficie libre de material suelto o flojo en las losas contiguas; de igual manera las pasajuntas y barras de amarre deben quedar también libres de residuos de la demolición.



Figura 3.12. Demolición del área por tratar.

Fuente: Propia; 2013.

#### **3.3.4. Extracción del material producto de la demolición.**

Como lo indica el Instituto Mexicano del Transporte (2003), las áreas de demolición, pasajuntas y barras de amarre, la superficie de rodadura contigua y demás áreas cercanas a las de demolición, deben quedar libres de cualquier tipo de residuo de material producto de la demolición. Lo anterior es necesario para evitar que afecten la operación de la carretera o que sean factor contaminante del mismo entorno.

Dichos materiales de desperdicio, pueden ser depositados en sitios de almacenamiento temporales cercanos a la zona de trabajo o en caso de presentarse inconvenientes que afecten la operación de la carretera, deben ser llevados directamente a los sitios o bancos de desperdicio que apruebe la dependencia. Dicho transporte de material debe realizarse de modo que las zonas anteriores queden totalmente libres antes del término de la jornada de trabajo.



Figura 3.13. Extracción del material producto de la demolición.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.3.5. Adecuación de la sub-base.**

Como lo marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2004), después de remover el concreto de desperdicio, la superficie de la sub-base descubierta debe limpiarse y recompactarse, eliminando el material que presente características indeseables y sustituyéndolo por material apropiado. Además, debe tratarse de alterar lo menos posible la capa de apoyo y dejarla perfectamente nivelada con una capa de arena con espesor no mayor de 2 cm.

Después de haber sido tratados y reparados todos los baches y deterioros en la superficie de la sub-base expuesta después de la demolición, debe cubrirse con una membrana de polietileno dicha superficie para evitar que la capa de material utilizada para la estabilización de la sub-base, absorba el agua del concreto hidráulico de reemplazo y se afecte la proporción agua-cemento, lo cual disminuye su resistencia de diseño.



Figura 3.14. Superficie de sub-base tratada y cubierta con polietileno.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.3.6. Reposición de pasajuntas.**

Fundamentado en lo mencionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), previamente al colado del nuevo concreto en las áreas por reparar, debe implementarse lo necesario para una adecuada transferencia de carga, para lo cual se deben instalar barras pasajuntas lisas en las caras transversales cortadas.

Las pasajuntas deben ser barras de acero lisas con límite de fluencia  $f_y=4,200$  kg/cm<sup>2</sup>, de 3.81 cm (1 $\frac{1}{2}$ " ) de diámetro y 45 cm de largo, con una funda metálica en la mitad de su longitud, una tapa por uno de sus lados y sus extremos libres de rebabas cortantes. Éstas deben colocarse cuatro en coincidencia con la trayectoria de las rodadas, separadas a cada 35 cm. Dicha reposición se realiza de la siguiente manera:

## Perforación y limpieza de los orificios

Deben realizarse perforaciones en las caras transversales cortadas a cada 35 cm para la colocación de las barras pasajuntas lisas, disponiendo de una plantilla que sirva de guía para la perforación con taladro de los orificios necesarios. Los orificios deben perforarse a la mitad del espesor de la losa, vigilando su ortogonalidad con respecto a la cara cortada y su paralelismo entre sí y con respecto a la superficie de la losa.

El diámetro de los orificios debe ser ligeramente mayor que el de las barras que se colocarán, esto es, 6 mm mayor para el caso de utilizar lechadas de cemento de contracción nula como relleno. Los orificios deben limpiarse perfectamente, eliminando con aire comprimido los residuos y el polvo de la perforación



Figura 3.15. Perforación de orificios para la reposición de pasajuntas.

Fuente: Propia; 2013.

## Colocación de las pasajuntas

Enseguida de la perforación y limpieza de los orificios, debe aplicarse una lechada de cemento de nula contracción que sirve como material de fijación de las

pasajuntas, rellenando totalmente la perforación con un dispositivo de inyección con una boquilla lo suficientemente larga con el fin de que la lechada llegue hasta el extremo final del orificio y que la pasajunta quede totalmente embebida. Para evitar la expulsión de la lechada al introducir la pasajunta, deben colocarse retenes especiales, de forma anular, que además garanticen que la barra quedará satisfactoriamente empotrada.

Después de la aplicación de la lechada de relleno, se inserta la funda de la pasajunta con el lado que contiene la tapa por delante girándola aproximadamente una vuelta completa sobre su propio eje, esto para distribuir uniformemente el material inyectado a su alrededor e impedir que se presente la aparición de vacíos.

La secuencia constructiva incluye después la inserción de las barras pasajuntas dentro de las fundas, las cuales deben recibir previamente un tratamiento antiadherente en la mitad de la barra que quedará insertada dentro de la funda, con grasa u otro material lubricante, para lograr el libre desplazamiento longitudinal de las barras en las juntas las losas contiguas.

En casos donde se repongan dos losas consecutivas en sentido longitudinal, las barras pasajuntas que se coloquen entre las juntas de ambas, deben instalarse con el apoyo de silletas o canastas metálicas de sujeción que les ayuden a mantener su correcta posición durante el colado y el vibrado de las losas. Debe tenerse especial cuidado de que estos dispositivos auxiliares no impidan el libre desplazamiento longitudinal de las barras en las juntas las losas contiguas.



Figura 3.16. Colocación y tratamiento antiadherente de barras pasajuntas.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.3.7. Reposición de barras de amarre.**

Como lo marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), como la zona reparada está limitada por juntas longitudinales, éstas deben respetarse cuidando que no se dañen las barras de amarre existentes. Previo al colado, deben reponerse las varillas de amarre dañadas de las caras longitudinales cortadas, con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas.

Las barras de amarre deben ser varillas de acero estructural corrugado con límite de fluencia  $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$ , de 1.59 cm (5/8") de diámetro y 110 cm de largo y deben colocarse separadas a cada 75 cm, de igual manera que las pasajuntas, pero sin funda metálica de protección. Dicha reposición se realiza de la siguiente manera:

#### **Perforación y limpieza de los orificios**

Deben realizarse perforaciones en las caras longitudinales cortadas a cada 75 cm para la colocación de las barras pasajuntas lisas, disponiendo de una plantilla que sirva de guía para la perforación con taladro de los orificios necesarios. Los

orificios deben perforarse a la mitad del espesor de la losa, vigilando su ortogonalidad con respecto a la cara cortada y su paralelismo entre sí y con respecto a la superficie de la losa.

El diámetro de los orificios debe ser ligeramente mayor que el de las barras que se colocarán, esto es, 6 mm mayor para el caso de utilizar lechadas de cemento de contracción nula como relleno. Los orificios deben limpiarse perfectamente, eliminando con aire comprimido los residuos y el polvo de la perforación.

### **Colocación de las barras de amarre**

Enseguida de la perforación y limpieza de los orificios, debe aplicarse una lechada de cemento de nula contracción que sirve como material de fijación de las barras de amarre, rellenando totalmente la perforación con un dispositivo de inyección con una boquilla lo suficientemente larga con el fin de que la lechada llegue hasta el extremo final del orificio y que la barra de amarre quede totalmente embebida. Para evitar la expulsión de la lechada al introducir la barra de amarre, deben colocarse retenes especiales, de forma anular, que además garanticen que la barra quedará satisfactoriamente empotrada.

La secuencia constructiva incluye después la inserción de las barras de amarre dentro de los orificios, girándolas aproximadamente una vuelta completa sobre su propio eje, esto para distribuir uniformemente el material inyectado a su alrededor e impedir que se presente la aparición de vacíos.

En casos donde se repongan dos losas consecutivas en sentido transversal, las barras de amarre que se coloquen entre las juntas de ambas, deben instalarse

con el apoyo de silletas o canastas metálicas de sujeción que les ayuden a mantener su correcta posición durante el colado y el vibrado de las losas. Debe tenerse cuidado de que en una longitud de 45 cm antes y después de una junta transversal, no se coloquen barras de amarre.



Figura 3.17. Barras de amarre colocadas en las juntas longitudinales de las losas.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.3.8. Colado de las losas de concreto hidráulico.**

Según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), el concreto debe elaborarse utilizando cemento Portland tipo III y acelerantes para la apertura rápida al tránsito, debiendo cuidar que el acelerante empleado no induzca corrosión en las pasajuntas. Para evitar fisuras debido a las contracciones por temperatura debe adicionarse el concreto con fibras de celulosa, en una proporción que garantice que no se presente agrietamiento y cumplir algunas características de gran importancia, tales como:

## Resistencia del concreto

La resistencia del concreto debe corroborarse por medio de ensayos de tensión por flexión realizados a vigas de dimensiones estándar de 15 x 15 x 50 cm, las cuales deben ser elaboradas del concreto utilizado durante el colado, colocando y compactando el concreto por vibro compresión en el molde especial utilizado para este muestreo con las dimensiones antes especificadas. Posteriormente, deben curarse las muestras para realizar los ensayos correctamente aplicando las cargas en los tercios del claro total de la viga.

El concreto debe ser diseñado para que se obtenga una resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR) de  $48 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad, la cual se determina muestreando 4 vigas con las especificaciones antes mencionadas para realizar ensayos de las mismas a los 7, 14 y 28 días de edad de las mismas. De igual manera, el concreto debe tener una resistencia a la compresión mínima de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  a las 24 horas.



Figura 3.18. Viga de concreto sometida a ensaye de tensión por flexión.

Fuente: Propia; 2013.

## Revenimiento del concreto

Otro aspecto fundamental es el revenimiento del concreto, el cual es determinado para evitar que haya exceso de agua en el concreto hidráulico utilizado, que aunque no afecta relativamente la trabajabilidad y compactación del concreto, evita que se produzca un sangrado excesivo durante el colado y grietas de contracción al endurecer.

Por recomendaciones técnicas se especifica que para el tipo de concreto hidráulico utilizado en las losas de los caminos, deben presentarse revenimientos muy bajos con valores de entre 5 y 10 cm cuando se realiza la colocación del concreto en forma manual.



Figura 3.19. Prueba de revenimiento del concreto.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.3.8.1. Colocación del concreto.

Como indica la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), a continuación debe colocarse el concreto hidráulico para restituir la losa, sin antes asegurarse de que la superficie sobre la cual se colocará esté totalmente libre de objetos extraños, polvo, grasa o encharcamientos, que no existan irregularidades y

haya sido tratada adecuadamente la sub-base, además de que se encuentre correctamente colocada la membrana de polietileno que entrará en contacto directo con el concreto.

La colocación del concreto debe hacerse dentro del área a reponer directamente desde los vehículos de transporte o mezclado, utilizando palas para su distribución uniforme, esto sin arrastrarlo y tratando de evitar su segregación, la cual es causada por movimientos excesivos durante su extendido. Así mismo, debe tenerse especial cuidado en realizar el colado de losas o áreas completas por reponer, esto para evitar que se formen juntas en frío dentro de una losa o una área por reponer. El concreto debe cumplir con la resistencia  $MR=48 \text{ kg/cm}^2$  medido a los 28 días de edad, establecido previamente por la dependencia.



Figura 3.20. Colocación del concreto hidráulico.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.3.8.2. Vibrado del concreto y acabado de las losas.

#### Vibrado del concreto

De acuerdo con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), el vibrado del concreto es la densificación, compactación y homogeneidad del concreto hidráulico, el cual debe llevarse a cabo inmediatamente después del colado. Dicha acción debe realizarse en el total del volumen del concreto colado utilizando vibradores manuales mecánicos, introduciéndolos de manera vertical, sin tocar el fondo y sin arrastrarlos por la mezcla para evitar la generación de huecos y pérdida del contenido de aire.

Además, el vibrado del concreto debe realizarse en un tiempo de 5 a 15 segundos en una misma zona para evitar la segregación del concreto, moviendo el vibrador hacia una zona lo suficientemente cercana, de tal manera que las áreas de influencia de vibrado se traslapen



Figura 3.21. Vibrado del concreto hidráulico.

Fuente: Propia; 2013.

## Acabado de las losas

Para asegurarse de darle un enrazado adecuado al concreto, debe emplearse una regla vibratoria la cual debe ser desplazada por el concreto, apoyándola sobre la superficie de las losas contiguas, cuidando que los niveles coincidan con el pavimento circundante. Dicho desplazamiento, debe hacerse en sentido longitudinal a las juntas longitudinales para losas mayores de 3 m, y en sentido transversal a las juntas longitudinales para losas menores de 3 m.

Una vez enrazado el concreto de manera adecuada y antes de su endurecimiento, enseguida se pasa la llana metálica de 1.20 m con maneral de 3 m de longitud para que quede la superficie preparada para pasar la rastra texturizadora y dar el rayado final, cuidando que la superficie repuesta presente un acabado uniforme y similar al del resto del pavimento existente, sin rebordes en las juntas con losas adyacentes y sin segregaciones.



Figura 3.22. Enrazado y acabado de las losas.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.3.9. Curado de las losas.

Como lo marca la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), inmediatamente después de haber realizado el acabado superficial de las losas y de que empiece a notarse la pérdida del brillo en el concreto, se aplica la membrana de curado del material que indique la dependencia sobre la superficie utilizando equipo de rociado que garantice una presión constante,

La aplicación de la membrana de curado debe hacerse a razón de 1 lt por cada 5 m<sup>2</sup>, logrando un espesor uniforme de aproximadamente 0.2 mm. De igual manera, en el caso de juntas aserradas, las caras expuestas deben ser curadas inmediatamente después de concluido el corte. Finalmente, sobre la superficie curada debe colocarse una película de poliestireno para formar una membrana de curado uniforme y evitar la evaporación del contenido de agua del concreto y del producto de curado. El tránsito sobre las losas repuestas no será permitido por al menos 72 horas o hasta que el concreto tenga la resistencia suficiente para evitar ser dañado, una vez terminada la losa.



Figura 3.23. Curado y protección con poliestireno de las losas.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.3.10. Corte y sellado de las juntas.

Como afirma la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2003), después del curado de las losas se procede a fabricar las ranuras con el equipo de corte adecuado, para formar las juntas transversales y las juntas longitudinales, cuidando que el concreto ya tenga la resistencia suficiente para que no se desportille y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados.

La función de las juntas es impedir la entrada de objetos extraños incompresibles y agua, que puedan afectar el comportamiento futuro del pavimento e inducir al concreto la dirección que deben seguir sus agrietamientos por contracción y evitar que se propaguen en cualquier sentido. El equipo utilizado para el corte es el “router” o cortadora especial provista de un disco de 18 cm de diámetro, soportado por tres ruedas, ubicada una en la parte delantera del dispositivo que actúa como guía para seguir la dirección de corte.



Figura 3.24. Material de sellado en junta de contracción.

Fuente: Propia; 2013.

## Corte y limpieza de las juntas

El corte de las juntas debe comenzar por las transversales de contracción, e inmediatamente después continuar con las longitudinales, iniciando el corte 1 m antes del principio de la grieta y terminando un metro después de su final, siempre que sea posible.. En todos los casos donde se presente una junta de contracción, se deberá hacer un corte inicial de 3 mm de espesor, con una profundidad de 1/3 del espesor de la losa (Figura 3.25.), acción que se hará en cuanto lo permita el fraguado del concreto, con la finalidad de inducir el agrietamiento por contracción.

Debe limpiarse perfectamente en las juntas que se fabricaron, cuidando que no haya partículas extrañas ni residuos del corte dentro de las ranuras aserradas, mediante chiflón de agua a presión, sand blast y chiflón de aire a presión los cuales deben ser aplicados siempre en una misma dirección. Además, deben inspeccionarse las ranuras para asegurar que el corte se haya efectuado hasta la profundidad especificada.

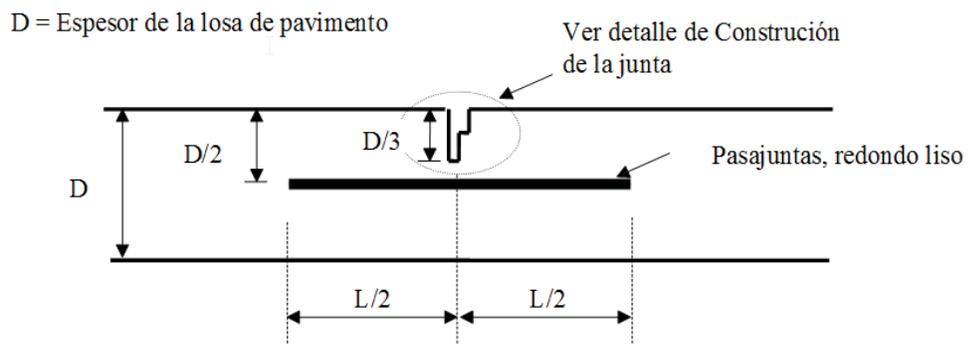


Figura 3.25. Profundidad para el corte de ranuras para juntas de contracción.

Fuente: Proyecto de reparación de losas de concreto hidráulico del Libramiento

Noreste de Querétaro; CAPUFE 2013.

## **Colocación de la tirilla de respaldo y material sellador**

Una vez verificada la limpieza y la profundidad de las ranuras, se procede a colocar en el fondo de las cajas la tirilla de respaldo (“cola de rata”) formada por espuma de polietileno., cuyo diámetro debe ser 2 mm más grande que el ancho de la ranura para que entre justa a una profundidad determinada, utilizando una herramienta que introduzca la tirilla con una ligera presión uniforme y la sitúe a la profundidad apropiada.

Después de haber verificado la limpieza de las ranuras, debe colocarse enseguida el material de sellado en caliente a 190°, compuesto a base de materiales de resinas epóxicas y de color gris semejante al del concreto. Para su colocación sobre la tirilla de respaldo, se utiliza una herramienta curva de tal forma que quede una concavidad en el relleno, cuidando que quede de 4 a 6 mm de profundidad con respecto al nivel del pavimento y que no quede aire atrapado (Figura 3.26.).

Después de la colocación del material deberá tener un reposo de 2 horas, para su correcto fraguado. Posteriormente a su instalación se deberá verificar la correcta adherencia del sello con las paredes de la ranura, tratando de insertar un cuchillo o espátula entre las superficies en contacto.

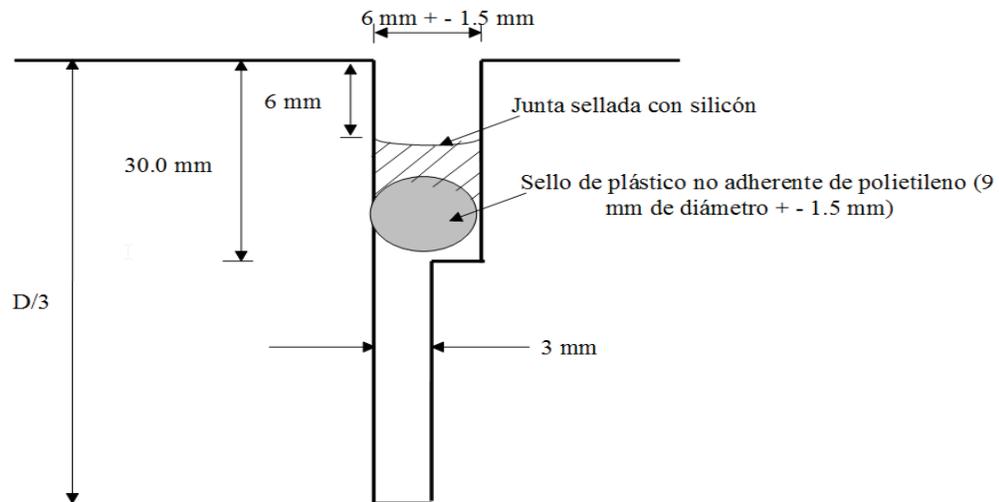


Figura 3.26. Detalle de construcción de las juntas de contracción.

Fuente: Proyecto de reparación de losas de concreto hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro; CAPUFE 2013.

### 3.4. Perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente.

Según lo mencionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente con equipo autopropulsado, consisten en las acciones necesarias para desbastar el pavimento existente, para corregir el escalonamiento entre losas del pavimento, mejorar el índice de perfil, índice de fricción y el drenaje superficial, así como disminuir el ruido que ocasiona la interacción de los neumáticos de los vehículos con la superficie del pavimento.

Con la aplicación de este método, se busca también aumentar de manera considerable el período de vida de los caminos de concreto hidráulico y darle además otros beneficios adicionales significativos, para que los usuarios circulen por

ellos con un grado de seguridad y comodidad mayor con el que se cuenta de manera ordinaria.

De igual manera, mediante la aplicación de la técnica de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico de camino, se busca ayudar a restituir la condición del pavimento rígido a su estado original de construcción, reduciendo considerablemente la necesidad de efectuar reparaciones a futuro con costos demasiado elevados y que puedan causar mayores daños a la superficie de rodamiento del camino a tratar.



Figura 3.27. Superficie sin perfilar y texturizar (izquierda); superficie perfilada y texturizada (derecha).

Fuente: Propia; 2013.

#### **3.4.1. Generalidades.**

De acuerdo con Cementos Mexicanos (2012), uno de los primeros beneficios después de realizado el perfilado y texturizado en la superficie de rodamiento en el concreto hidráulico existente, es la eliminación de las irregularidades que se presentan en el pavimento por efecto de su operación normal. Esta recuperación se

puede notar como una mejora significativa en la suavidad de conducción del pavimento, una mejora en la resistencia al deslizamiento y la reducción significativa del ruido.

De igual manera, se menciona que el porcentaje de recuperación de la regularidad (lisura) que se ha medido en pavimentos de concreto hidráulico después de haber realizado el perfilado y texturizado en una primera pasada, se encuentra entre 70% y 80%, lo cual quiere decir que si se tiene un índice de perfil de 100 cm/km, después del primer perfilado se puede disminuir el índice de perfil a un valor de entre 20 y 30 cm/km.

Así mismo, el perfilado generalmente reduce el espesor de las losas de concreto hidráulico de 4 a 6 mm en una sola pasada. Si se tiene en mente que uno de los factores que más influyen en el desempeño de los pavimentos de concreto hidráulico es su espesor, se debe tener especial cuidado en hacer más de una pasada en un mismo período de tiempo.

Considerando que la resistencia de diseño del concreto hidráulico está referenciada a los 28 días y que ésta se va incrementando después de un año en un 20%, la reducción de 6 mm en el espesor por el perfilado tiene un efecto despreciable en la vida útil del pavimento, sin embargo, fresar más de 10 mm en un solo período puede resultar perjudicial para la capacidad estructural del pavimento. Por lo tanto, el perfilado y texturizado se puede realizar en la superficie de rodamiento de concreto hidráulico de un camino, hasta tres veces pero en diferente

período de tiempo, afirmando que no es conveniente perfilar más de una vez la misma sección en el mismo período de tiempo.

### **3.4.2. Perfiladora.**

En base a lo dicho por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), para llevar a cabo al trabajo de fresado se deberá utilizar una máquina autopropulsada, con la masa suficiente para corregir el acabado de las losas de concreto hidráulico mediante el fresado uniforme, el cual es un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza capaz de remover pavimento concreto hidráulico, hasta una profundidad especificada.

Además, las perfiladoras son equipos que cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión para realizar la acción específica de remoción de un espesor entre 4 a 6 mm., sin dañar las capas inferiores y dejando una superficie rugosa y nivelada, con la finalidad de mejorar la fricción del pavimento. Para el texturizado o fresado fino debe usarse una alineación especial de dientes en el cilindro que contiene los discos de diamante.

Una de las ventajas del uso de este equipo es que el material producto del perfilado y texturizado es reutilizable, bien para ser reciclado en mezclas o como base en nuevos pavimentos o baches. y los trabajos de remoción producen menos molestias al tráfico, ya que la perfiladora cuenta con un equipo en el cual se carga el material removido en forma simultánea (pipa transportadora).



Figura 3.28. Perfiladora Diamond Products, modelo PC-6000EC.

Fuente: Propia; 2013.

#### 3.4.2.1. Componentes de la perfiladora.

Según lo estipulado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), la máquina autopropulsada utilizada para llevar a cabo la realización del perfilado y texturizado de la superficie de concreto hidráulico existente, debe contar con por lo menos lo siguiente:

- Cabezas de corte de aproximadamente 1 m de ancho o más, montadas en marcos inferiores que permitan controlar la profundidad del fresado.



Figura 3.29. Cabezas de corte de discos de diamante para perfilado.

Fuente: Propia; 2013.

- Discos de corte con diamantes para cortar las protuberancias o ranurar la superficie del pavimento, adosadas a las cabezas de corte. Cada cabeza con el ancho indicado anteriormente, tendrá entre 54 y 59 discos, uniformemente distribuidos en todo el ancho. El tamaño, la calidad y la pasta de adherencia de los diamantes, serán los adecuados para la dureza de los agregados pétreos del concreto por tratar.



Figura 3.30. Cabezas de discos de diamante para texturizado.

Fuente: Propia; 2013.

- Cilindros Hidráulicos para mantener constante la presión de las cabezas de corte.
- Dispositivos para controlar la alineación de la perfiladora, detectar variaciones en el nivel de la superficie de rodadura y ajustar automáticamente las cabezas de corte para producir una superficie nivelada.



Figura 3.31. Centro de control para realizar un perfilado adecuado y alineado.

Fuente: Propia; 2013.

- Pipa de capacidad de 2850 galones, para abastecer de agua a los cabezales de corte de discos adiamantados, para evitar que estos se fundan.



Figura 3.32. Pipa para agua de capacidad de 2850 galones.

Fuente: Propia; 2013.

- Pipa transportadora o equipo auxiliar, en el cual debe cargarse el material removido en forma simultánea.



Figura 3.33. Pipa transportadora de material residuo del perfilado y texturizado.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.4.3. Ejecución del perfilado y texturizado.**

Como lo menciona la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), en seguida se muestran el proceso que se lleva a cabo para realizar los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de concreto hidráulico existente:

- Antes de iniciar los trabajos de perfilado y texturizado del pavimento actual, el contratista de la obra debe instalar las señales y dispositivos de seguridad, así como los bandereros en la zona de obra que se requieran, conforme a las normas N.PROY.CAR. 10.03.002 y N.PROY.CAR. 10.03.003 vigentes.
- De igual manera, previo al perfilado y texturizado de las losas se tendrán que haber realizado los trabajos de sustitución de losas, reparaciones parciales y restitución de barras pasajuntas.
- El perfilado y texturizado se realizará delimitando previamente con apoyo de los dispositivos de seguridad y bandereros, las zonas o áreas en las cuales se planea llevar a cabo en la jornada completa de trabajo, haciendo esto en forma paralela al eje de la carretera.

- Seguido a esto, el perfilado y texturizado de las losas existentes, se realiza en forma longitudinal a todo lo ancho del carril de circulación y se lleva a cabo de tal manera que garantice que la profundidad y la pendiente transversal sean las indicadas en el proyecto. Lo anterior debe realizarse en forma continua en tramos no menores de 50 m y a todo el ancho de la corona.
- Simultáneamente, el material producto del perfilado y texturizado debe ser retirado en las pipas auxiliares y debe transportarse al banco de tiro que indique la dependencia.
- Además, debe cuidarse que al término de la jornada de cada día de trabajo, se eliminen las orillas verticales que puedan poner en peligro la seguridad de los vehículos que circulen por la autopista.
- Una vez realizado el perfilado y texturizado, la superficie debe estar razonablemente lisa y libre de marcas excesivas de escarificación o ranuras, crestas o cualquier otro tipo de desperfecto.
- Para dar por concluidos los trabajos de perfilado y texturizado del pavimento existente, debe realizarse la medición del índice de perfil con un valor menor a 25 cm/km medido a velocidad de 5 km/hr en sentido longitudinal, esto realizado con un equipo perfilógrafo tipo California, el cual se debe promover y mantener durante el tiempo que dure la obra, empleando perfilógrafo que cumpla con las especificaciones M-MMP-4-07-002/06 de las normas editadas por la SCT.
- También se debe cumplir con un índice de fricción con un valor entre 0.5 y 0.8  $\mu$  en condiciones de pavimento mojado y a velocidad de 75 km/hr, medido con un equipo Mu-Meter. Dicha medición debe realizarse por lo menos sobre la huella de la rodera externa de cada carril trabajado siguiendo el procedimiento

indicado en el apartado 3.5.3. *Procedimiento para la obtención del coeficiente de fricción en campo.*



Figura 3.34. Ejecución del perfilado y obtención del índice de perfil posterior.

Fuente: Propia; 2013.

### **3.5. Coeficiente de fricción del camino.**

Partiendo de lo mencionado por Roco H., Fuentes L. y Valverde P. (2002), la superficie de rodamiento de un camino debe cumplir con características fundamentales, y una de ellas es asegurar una buena adherencia con los neumáticos durante su operación, especialmente en zonas de frenado y en curvas con la superficie mojada, lo cual repercute en forma directa en el grado de seguridad que ofrece el camino para los usuarios.

El coeficiente de fricción ( $f$ ) es un parámetro importante para determinar la resistencia al deslizamiento de los neumáticos sobre la superficie de rodamiento, esto es, la adherencia de los neumáticos al mismo. Este coeficiente se puede cuantificar físicamente mediante un factor que resulta de la relación entre la fuerza de fricción desarrollada en la interface de un neumático impedido de rodar con el

pavimento mojado en sentido longitudinal y el peso sobre el neumático, cuyos valores límite mínimos se encuentran entre 0.50 y 0.80  $\mu$ .

El procedimiento para la obtención de este parámetro se logra con ayuda de un equipo especializado para mediciones continuas de alto rendimiento llamado Mu-Meter, el cual consiste en un pequeño remolque de 3 ruedas que realiza las medidas y es remolcado por un vehículo no especializado ya que éste no es un equipo muy voluminoso, con el que se realizan los ensayos en condiciones de pavimento mojado, velocidad y tipo de neumáticos específicos. Este debe realizarse al término de los trabajos de restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado.

El coeficiente de fricción se obtiene a partir de los datos obtenidos en el proceso de medición con el equipo especializado para mediciones continuas de alto rendimiento Mu-Meter, los cuales son vaciados en forma digital en hojas de excel para su posterior cálculo, análisis e interpretación. La expresión para obtener el Coeficiente de Fricción de cada sub-tramo de camino es la siguiente:

$$f = \frac{Fa}{N}$$

Donde:

$f$ = Coeficiente de fricción con el pavimento mojado.

$Fa$ = Fuerza de fricción con el pavimento mojado.

$N$ = Peso sobre la rueda.

### **3.5.1. Solución al hidroplaneo.**

De acuerdo con lo mencionado por Roco H., Fuentes L. y Valverde P. (2002), la presencia de agua sobre la superficie tiene una importante influencia sobre el grado de seguridad del camino, ya que éstos proveen de fuerzas horizontales y verticales a los neumáticos de los vehículos que disminuyen la resistencia a la rodadura y, a su vez, se presente un deslizamiento libre a lo largo de la superficie.

El fenómeno del hidroplaneo es producido cuando el impacto de la rueda sobre el agua provoca una presión hacia arriba, proporcional al cuadrado de la velocidad y dicha presión supera la de contacto del neumático sobre el suelo, Como consecuencia de lo anterior, la rueda se despegas del mismo y avanza patinando sobre la superficie de agua, lo cual provoca que el rozamiento sea nulo y las ruedas del vehículo cesan de rodar, esto se debe a que al frente de los neumáticos se acumula agua más rápido de lo que el peso del vehículo puede empujar hacia fuera del camino. Puede presentarse a velocidades entre 80 y 100 Km/h y con capas de agua importantes (más de 100 mm).

De igual manera, el fenómeno de hidroplaneo reduce el coeficiente de fricción y puede producir el descontrol del vehículo, a pesar de las buenas maniobras durante la conducción y esto puede provocar accidentes de tránsito y un grado de seguridad menor para los usuarios. Por todo lo anterior, hacer énfasis en este efecto es de fundamental importancia para ayudar al conductor a tomar medidas de precaución cuando conduce en condiciones de lluvia o con superficie de rodamiento

mojada. Entre mayor resistencia al deslizamiento se presente sobre la superficie, mayor será la adherencia de los neumáticos con la superficie.



Figura 3.35. Respuesta en lluvia de los neumáticos, según la velocidad del vehículo.

Fuente: <http://www.bridgestone.com.mx>; 2013.

### 3.5.2. Mu-Meter.

Como lo indica el Instituto Mexicano del Transporte (2002), el equipo utilizado para la obtención del coeficiente de fricción es un equipo especializado y computarizado, llamado Mu-Meter, tipo DFT (Dynamic Friction Tester), marca NAC Dynamics LLC, el cual consiste en un pequeño remolque de 3 ruedas que realiza las medidas y es remolcado por un vehículo no especializado ya que éste no es un equipo muy voluminoso.

Dichas mediciones son enviadas y procesadas por un equipo de cómputo que es transportado y manipulado en el vehículo que remolca el equipo Mu-Meter. Dicho equipo de cómputo que se encuentra conectado a los sensores y al odómetro que contiene el Mu-Meter en sus tres ruedas especializadas para la medición y obtención de las siguientes características particulares:

- Coeficiente de fricción de la superficie de rodamiento.
- Distancia horizontal recorrida (odómetro).
- Velocidad a la que se desplaza el Mu-Meter.
- Temperatura ambiente y temperatura de la superficie de rodamiento del camino.



Figura 3.36. Mu-Meter, tipo DFT (Dynamic Friction Tester), marca NAC Dynamics LLC.

Fuente: Propia; 2013.

### 3.5.3. Procedimiento de obtención del coeficiente de fricción en campo.

Según lo mencionado por el Instituto Mexicano del Transporte (2002), para dar por terminados los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodadura concreto hidráulico, se lleva a cabo la obtención del coeficiente de fricción de la misma, siguiendo las especificaciones que a continuación se describen:

## Preparación e inspección antes de la prueba

- Una vez que el Mu-Meter se encuentra en campo y acondicionado de manera correcta para su operación, de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante, y de igual manera haber checado que no haya ocurrido algún daño al mismo durante su traslado, se procede a encender el equipo computarizado contenedor del software procesador de los datos. Este equipo no es necesario calibrarlo cuando se operará por primera vez, ya que ha sido previamente calibrado en fábrica.
- Después de haber checado el estado de carga de las baterías de la fuente de energía, se procede encender la computadora, que es transportada dentro del vehículo que jala el remolque, para posteriormente poner en marcha el software proporcionado por el fabricante y sincronizar directamente la computadora con los sensores del remolque (Mu-Meter).
- Una vez puesto en marcha el software de fabricante, debe oprimirse “nuevo” para dar inicio a un nuevo trabajo o prueba y se procede a introducir algunos parámetros descriptivos los cuales son respecto a las condiciones del sitio de realización de la prueba:
  - *Programa Número:* Indica el número que se asigna automáticamente a cada prueba para su identificación. Además, deben llenarse los campos adicionales requeridos como fecha, lugar, etc.
  - *Designación:* Indica si se trata de una autopista, aeropuerto, etc.
  - *Nombre de la autopista:* Se introduce el nombre de la autopista donde se realiza la prueba.

- *Agua ON/OFF*: Esta casilla debe ser marcada para indicar que se hará uso del sistema de mojado durante la ejecución de la prueba. Cuando no se marca esta casilla, el programa automáticamente va al modo de prueba de invierno.
  - *Velocidad*: Se introduce la velocidad de prueba requerida, las indicadas comúnmente son 64 km/hr y 96 km/hr.
  - *Distancia de prueba*: Debe ingresarse el valor de la distancia en la que se realizará la prueba, esto para que el software levante las llantas sensoras y pare el flujo de agua, para dar por terminada la ejecución de la prueba automáticamente. Si no se ingresa un valor, el software seguirá registrando dato hasta ser interrumpida oprimiendo el botón “stop”.
  - Al final de haberse realizado la ejecución de una prueba, debe guardarse cada trabajo dando clic en “guardar” y después “ok”, esto para poder entrar a una pantalla para la realización de una nueva prueba o para hacer un guardado al final de la jornada.
- Como otra medida de inspección antes de la prueba, se verifica que el gancho remolcador se encuentre a una altura y conexión adecuado con el vehículo remolcador.
  - Se checa que la presión de las llantas sea de 30 psi  $\pm$  0.5, y se ajusta según se requiera. De igual manera, se verifica el desgaste de la llanta que tomará la lectura de fricción y se verifica que la tensión de la correa que conecta el Mu-Meter con el vehículo sea adecuada.

- Seguido a esto, se procede a llenar el tanque de agua que contiene el Mu-Meter, según se requiera. El agua con que se llena el tanque, es factor indispensable durante la ejecución de la obtención del coeficiente de fricción, ya que simula la superficie mojada, además de que disminuye considerablemente el desgaste de la llanta sensora del coeficiente de fricción. Debe tenerse especial cuidado en utilizar solamente agua potable y totalmente libre de impurezas, para evitar que ocurran malas lecturas hasta el deterioro considerable del mecanismo de medición.
- Después, se verifica y se alinea la boquilla que expulsará el chorro de agua directamente sobre el neumático sensor. Esto debe realizarse con la herramienta de guía que posee la boquilla.

### **Ejecución de la prueba**

- Para dar inicio a la prueba de la obtención del coeficiente de fricción, debe alinearse el vehículo remolcador en la superficie de la carretera y respecto al Mu-Meter de manera adecuada.
- Después de haber logrado la alineación adecuada, salir del vehículo remolcador para verificar y ajustar la colocación de la boquilla del chorro de agua, la cual debe apuntar a aproximadamente 7.6 cm delante de los neumáticos sensores.
- Una vez realizados estos pasos, se procede a presionar el botón de comienzo, el cual activa el flujo del agua por la boquilla y coloca en su posición las llantas sensoras para la medición. Se debe esperar a que dicho botón esté en verde

lo cual indica que las llantas están completamente en su posición respecto al suelo.

- El vehículo remolcador debe acelerarse y conducirse a la velocidad promedio de entre 70 y 75 km/hr, velocidad en la cual se realiza la prueba.
- La prueba termina automáticamente al recorrer las distancias predefinidas en los parámetros introducidos en la configuración de la ejecución del nuevo trabajo. Por último, debe asegurarse que se haya guardado satisfactoriamente la prueba realizada, para su posterior análisis.



Figura 3.37. Ejecución de la prueba de coeficiente de fricción, posterior a los trabajos de perfilado y texturizado

Fuente: Propia; 2013.

#### **3.5.4. Determinación del coeficiente de fricción.**

Una vez que el software del equipo ha procesado los datos obtenidos de las mediciones obtenidas anteriormente, los cuales son arrojados por medio de archivos digitales directamente a hoja de cálculo de Excel, para posteriormente ser analizados e interpretados de acuerdo a las especificaciones particulares del proyecto.

De acuerdo con la normativa de la SCT, la obtención del coeficiente de fricción en cada línea de tendido, se realiza a lo largo de la línea imaginaria ubicada a  $(90 \pm 20)$  cm. de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar, esto a una velocidad promedio entre 70 y 75 km/hr.

- El coeficiente de fricción se obtiene a partir de los datos obtenidos en el proceso de medición con el equipo Mu-Meter, los cuales fueron vaciados en forma digital en hojas de Excel para su posterior cálculo, análisis e interpretación. La expresión para obtener el coeficiente de fricción de cada sub-tramo de camino es la siguiente:

$$f = \frac{Fa}{N}$$

Donde:

$f$ = Coeficiente de fricción con el pavimento mojado.

$Fa$ = Fuerza de fricción con el pavimento mojado.

$N$ = Peso sobre la rueda.

- Las mediciones que arroja el equipo Mu-Meter son dadas a cada metro, pero su análisis debe realizarse promediando dichos valores de tramos de 200 m.
- Para dar finalmente por concluidos los trabajos de perfilado y texturizado del concreto hidráulico existente, se debe cumplir con el parámetro mínimo de aceptación requerido de entre 0.50 y 0.80  $\mu$ , establecido previamente por la dependencia.

## CAPÍTULO 4

### RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se describirá lo relacionado al tramo de autopista en estudio, el cual se conforma de pavimento construido a base de concreto hidráulico, en el que se hace la restauración mediante el método del perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento.

De igual manera se abordará todo lo referente a su localización, colindantes, topografía y todas sus características físicas más relevantes. se incluyen algunas fotografías del sitio en estudio.

#### **4.1. Generalidades.**

El tramo carretero propuesto para la realización de este estudio, es el Libramiento Noreste de Querétaro que comprende, en parte, la Carretera Querétaro - Chichimequillas, esto abarcando el Kilómetro 13 del poblado de Chichimequillas, el cual se encuentra ubicado en el municipio El Marqués, al Noreste de la ciudad capital, Santiago de Querétaro, en el estado de Querétaro de Arteaga, México.

México, oficialmente llamado Estados Unidos Mexicanos, es un país que se encuentra situado en la parte meridional de América del Norte. Geográficamente limita al norte con los Estados Unidos de América, al sureste con Belice y Guatemala, al oriente con el golfo de México y el mar Caribe y al poniente con el océano Pacífico.

México se encuentra entre las coordenadas 32° y 14° norte y 86° y 118° oeste; casi toda la superficie del país se ubica en la placa Norteamericana, aunque con algunas partes de Chiapas en la placa del Caribe y de la península de Baja California en la placa de Cocos y la placa Pacífica, geofísicamente, algunos geógrafos incluyen al Istmo de Tehuantepec en América Central. Sin embargo, geopolíticamente, México es considerado dentro de América del Norte, junto con Canadá y los Estados Unidos.

El país cubre una superficie total territorial de 1 964 375 km<sup>2</sup>, de los cuales 1 959 248 km<sup>2</sup> corresponden a su superficie continental y 5 127 km<sup>2</sup> a su superficie insular. En su superficie, cuenta también con 3 269 386 km<sup>2</sup> de agua en su zona económica exclusiva, misma que limita con la zona económica exclusiva de cinco países, estos son los Estados Unidos, Guatemala, Belice, Honduras y Cuba. En tierra, limita al norte con los Estados Unidos a lo largo de 3 152 km mientras que al sureste comparte frontera con Guatemala en 986 km y con Belice en 196 km.

Es el undécimo país más poblado del mundo, con una población que a mediados de 2013 ronda los 118 millones de personas, La mayoría de las cuales tienen como lengua materna el español, al que el Estado reconoce como lengua nacional junto a 67 lenguas indígenas propias.

México también es uno de los países con mayor diversidad de climas en el mundo, considerado uno de los 12 países mega diversos del planeta, es hogar del 10-12% de la biodiversidad mundial y alberga a más de 12 mil especies endémicas.

Políticamente, México es una república democrática, representativa y federal compuesta por 32 entidades federativas: 31 estados y el Distrito Federal. La sede del gobierno y los poderes de la unión es la Ciudad de México, cuyo territorio ha sido designado como Distrito Federal.



Figura 4.1. Mapa de la República Mexicana..

Fuente: [www.dreaminmexico.org](http://www.dreaminmexico.org);2013.

El estado de Querétaro de Arteaga se encuentra ubicado en la zona centro de México, en la región conocida como El Bajío. Su capital es la ciudad de Santiago de Querétaro, la cual se ubica a unos 200 km al noroeste de la Ciudad de México.

Querétaro de Arteaga es uno de los estados que conforma las 32 entidades federativas de la República Mexicana y es también uno de los más pequeños del

país, ya que cuenta con una superficie total de 11.699 km<sup>2</sup> y representa el 0.6 % del porcentaje territorial total de la superficie del país. Además, sus coordenadas geográficas extremas son: al norte 21° 40', al sur 20° 01' de latitud norte; al este 99° 03', al oeste 100° 36' de longitud oeste

Querétaro de Arteaga se encuentra limitado al norte con el estado de San Luis Potosí, al oeste con Guanajuato, al este con Hidalgo, al sureste con el de México y al suroeste con Michoacán. Tiene una altitud media de 1900 metros sobre el nivel del mar (msnm). La mitad sur son llanuras y cerros de 2000 msnm. La mitad norte es de montañas, altas mesetas y grandes cañadas: la Sierra Gorda y la Huasteca queretana.

El Estado es muy montañoso, notablemente en la Sierra Gorda y la Sierra Queretana, parte de la Sierra Madre Oriental. El área entre las dos (los Valles y el Semidesierto) está compuesto por numerosos valles y usualmente cerros pequeños. Sin embargo, Los picos más alto son el Cerro o Pinal del Zamorano con 3,360 msnm -ubicado al Norte de Colón, en los límites con Guanajuato- y el Cerro de la Vega con 3120 msnm.

Su clima seco en la mayor parte del estado, con excepción del norte, donde se registra un clima templado, moderado y lluvioso, con temperatura media anual de 18° C.

Querétaro de Arteaga es un estado lleno de hechos históricos nacionales y con un creciente índice de desarrollo industrial y acelerado desarrollo empresarial. Contiene varios sitios declarados Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco

en 1996 y se considera Cuna de la Independencia de México.



Figura 4.2. Localización del estado de Querétaro de Arteaga, México.

Fuente: [www.luventicus.org](http://www.luventicus.org);2013.

El Marqués es un municipio del estado mexicano de Querétaro de Arteaga y su cabecera es la población de La Cañada, la cual está conurbada y se considera parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Querétaro. La mitad del Aeropuerto Internacional de Querétaro se encuentra dentro de este municipio y la otra en Colón.

Este municipio se localiza al Noroeste del estado de Querétaro, entre los 20° 31" y 20° 58" de latitud Norte. Su longitud se halla entre los 100° 09" y los 100° 24" del Oeste. La Cabecera Municipal, La Cañada, tiene una altura sobre el nivel del mar de 1 850 mts y se ubica a 7 km de la capital del estado. Limita al oeste con el municipio de Querétaro, al Norte con el estado de Guanajuato, al Este con el municipio de Colón y al Sur con los municipios de Huimilpan y Pedro Escobedo.

Su extensión territorial es de 787.4 km<sup>2</sup>, que representa el 6.7% de la superficie total del estado ocupando el quinto lugar de extensión en el estado.

La mayor parte de este municipio contiene planicies con buenas tierras para la agricultura delimitadas al Norte por estribaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental y al Sur por las de la Sierra Madre Occidental; cuenta con algunos cerros de importancia histórica o turística pero de poca altura. Además está situado en el comienzo del parteaguas, no sólo de la República sino del mismo Continente.

Situado en la zona correspondiente a la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, tiene pocas corrientes acuíferas y niveles de precipitación bajos ya que durante el verano, la precipitación pluvial registra aproximadamente 547.2 mm.

El río Querétaro es la principal corriente superficial, aunque sólo lleva un buen caudal cuando la precipitación pluvial se incrementa; de menor importancia se considera a los ríos Chichimequillas y Pinal, así como los arroyos El Durazno, El Roble, Tepozanes, Piedras Lisas, Frijolillo, El Laurel, La Pila, La Angostura, La Gotera y Las Tinajas principalmente.

El clima predominante es el subtropical de altura, templado-semiseco en el 80% del municipio, y el 20% restante presenta un clima templado-húmedo. La temperatura media anual está comprendida entre los 18 y los 24°C, mientras que para el clima templado-subhúmedo oscila de los 14 a los 16°C. La precipitación pluvial registra de 400 a 500 milímetros cúbicos, siendo los vientos dominantes de Noreste a Suroeste.

Este municipio cuenta con yacimientos de cantera rosa, piedra para grava, minas de arena, bancos de tepetate y minas de tezontle.



Figura 4.3. Localización del municipio El Marqués, Querétaro de Arteaga.

Fuente: [www.e-local.gob.mx](http://www.e-local.gob.mx); 2013.

La población de Chichimequillas, se encuentra ubicada en el municipio de El Marqués, en el estado de Querétaro de Arteaga, México dentro de las coordenadas geográficas GPS latitud (dec) 20.764722 y longitud (dec) -100.335556 a una mediana altura de 1970 metros sobre el nivel del mar (msnm).

En Chichimequillas viven 3717 personas de las cuales 1713 son masculinos y 2004 femeninos. Hay 1975 ciudadanos que son mayores de 18 años, 226 personas de ellos tienen 60 años o más de edad. Los habitantes de Chichimequillas visitan un promedio de 4 años la escuela y 311 personas mayores de 15 años tienen educación post básica. Entre las personas de 15 años o más de edad se encuentran unos 252 analfabetas.

Hay un total de 752 hogares en Chichimequillas. De estos hogares 759 son casas normales o departamentos. 86 hogares tienen piso de tierra y 68 consisten en un cuarto solo. En Chichimequillas hay 716 viviendas que cuentan con instalaciones sanitarias, 721 viviendas que están conectadas a la red pública y 735 viviendas tienen acceso a la luz eléctrica. De los hogares en Chichimequillas aproximadamente 66 tienen una o más computadoras, 350 cuentan por lo menos con una lavadora y 720 viviendas tienen uno o más televisores. La información sobre Chichimequillas está basada en el Censo del 2005 efectuado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI).



Figura 4.4. Localización de la población de Chichimequillas, municipio de El Marqués, Querétaro de Arteaga.

Fuente: [www.cesaveq.org.mx](http://www.cesaveq.org.mx); 2011.

## Flora

En cuanto a la vegetación, según las características de suelo, cerca de los arroyos se pueden encontrar árboles frutales, cedros, fresnos, oyameles y carrizales; en las zonas planas se puede apreciar los mezquites, huizaches, pirules y palos bobos. En las zonas donde escasea el agua se encuentra gran diversidad de cactáceas y en una pequeña zona alta del municipio hay algunas piezas de pinos, cedros rojos, encinos, pingüicas y piñones.

## Fauna

Los animales más abundantes son: coyote, lobo, zorra, liebre, conejo, tuza y tlacuache. Entre los reptiles existen: alicante, víbora de cascabel, chirrionera, coralillo y culebra. También hay lagartija, araña y alacrán. Entre las aves tenemos: águila, zopilote, gavilán, codorniz y paloma, así como depredadores como el cuervo, urraca y tordo. Temporalmente llegan aves migratorias como: garza, grulla, pato y golondrina.

## Características y uso de suelo

El municipio cuenta en su mayoría con suelos de tipo vertisol pélico. Éstos presentan como característica común un gran contenido en materia orgánica, debiéndose a ello su gran fertilidad.

AGRICOLA		GANADERO	FORESTAL	OTROS USOS	TOTAL
RIEGO	TEMPORAL				
10,510	14,736	51,132	0	2,393	78,771

De los 787.4 kilómetros cuadrados que constituyen el territorio total del municipio, el 32% tiene capacidad para la producción agrícola; a su vez, de este porcentaje, el 18.7 % corresponde a temporal y el 13.3 % restante se destina para riego. Para uso pecuario existe el 64.9 %, y para otros usos el restante.

## **Desarrollo socioeconómico.**

Las actividades agropecuarias son las que ocupan un lugar preponderante en la economía de Chichimequillas, puesto que del total de la superficie, el 96.9% se dedica a ellas. El área restante está ocupada por áreas urbanas, agroindustriales y cuerpos de agua.

El municipio de El Marqués, con un grado de urbanización del 12%, junto a los municipios vecinos de Colón y Pedro Escobedo, presentan un nivel de desarrollo socioeconómico de medio a alto, favorecido por encontrarse en la periferia del corredor industrial San Juan del Río- Querétaro. Asimismo, su grado de desarrollo está muy ligado a su cercanía con la capital, así como a la presencia de la red vial que atraviesa el municipio y lo comunica con el corredor industrial.

El Marqués como municipio conurbado de la Ciudad de Querétaro, y buena parte de la zona de estudio, juegan un papel muy importante dentro de la Región Centro - Norte del país, puesto que es punto de paso y enlace entre la ciudad de México y el norte de la República, ya que por el área cruzan tres importantes vías de comunicación, las carreteras 57 y 45, así como la vía férrea.

## **Vías de acceso.**

La zona se ubica al nororiente de la ciudad de Querétaro, a una distancia media de 25 km, a la cual se puede acceder empleando dos carreteras: la ruta 57 que la conecta con San Luis Potosí, desviándose a la derecha por la vía que

conduce a Puerto de Aguirre y Chichimequillas; y por la vía que une al oriente de Querétaro con la población de La Cañada.

La zona es también atravesada por el libramiento que enlaza la autopista México - Querétaro con la carretera 57, y por la vía férrea que comunica el centro con el norte del país.

El Libramiento Noreste de Querétaro se localiza en la zona oriente de la ciudad de Santiago de Querétaro, y tiene una longitud de 37 km, conectando la autopista México – Querétaro con la carretera Querétaro – San Luis Potosí. El Libramiento Noreste de Querétaro hace frente a la petición de resolver el problema anteriormente planteado, el cual fue construido en el año de 1991 y evita, en gran medida, el paso por la ciudad de los vehículos en la dirección sur – norte.

El tramo carretero del Libramiento Noreste de Querétaro comprende una red alterna para desviar el tránsito de paso de la Ciudad de Santiago de Querétaro, el cual beneficia tanto a los usuarios del Libramiento Noreste de Querétaro como a los residentes de las poblaciones por las cuales atraviesa. Para los usuarios, el beneficio que les brinda es tener menores tiempos para trasladarse de un lugar a otro y con bajos costos de operación; para los habitantes de la localidad se obtiene mayor seguridad para el tránsito por vías urbanas y menores efectos ambientales negativos.

Por su ubicación, el Libramiento Noreste de Querétaro ofrece ventajas tanto a los usuarios del camino, como a los habitantes de la localidad, como lo es para el transporte pesado que puede transitar por esta vía con menores costos y menores tiempos y principalmente se evita el paso de los mismos por medio de la ciudad, lo

cual ayuda a tener una mayor fluidez vehicular dentro de la ciudad y un menor sometimiento de las estructuras de las calles a soportar esfuerzos muy elevados debido al peso de tránsito de carga pesada.

En un operativo implementado por el Gobierno del Estado de Querétaro, el cual era necesario para ayudar a solucionar el incremento del tránsito de vehículos, el cual consistía en realizar un aforo de vehículos de carga que circulaban por la Avenida 5 de Febrero de la Ciudad de Santiago de Querétaro. El aforo proporcionaba una estimación directa de los movimientos en la dirección Sur – Norte para vehículos de carga, prácticamente la opción que se tiene.

## **4.2. Entorno Geográfico.**

### **Macro localización**

La población de Chichimequillas, se encuentra ubicada en el municipio de El Marqués, en el estado de Querétaro de Arteaga, México dentro de las coordenadas geográficas GPS latitud (dec) 20.764722 y longitud (dec) -100.335556 a una mediana altura de 1970 metros sobre el nivel del mar (msnm).

El entorno geográfico de la población de Chichimequillas, donde se realiza el estudio, es una región con temperatura alta todo el año y la temporada de lluvia, generalmente comprende los meses de junio a agosto.



Figura 4.5. Macro localización de la población de Chichimequillas, municipio de El Marqués, Querétaro de Arteaga.

Fuente: [www.cesaveq.org.mx](http://www.cesaveq.org.mx); 2011.

### Micro localización

El Libramiento Noreste de Querétaro se localiza en la zona oriente de la ciudad de Santiago de Querétaro, y tiene una longitud de 37 km, conectando la autopista México – Querétaro con la carretera Querétaro – San Luis Potosí.

El Libramiento Noreste de Querétaro fue construido en el año de 1991 y evita, en gran medida, el paso por la ciudad de los vehículos en la dirección sur – norte. Es un camino tipo ET4.

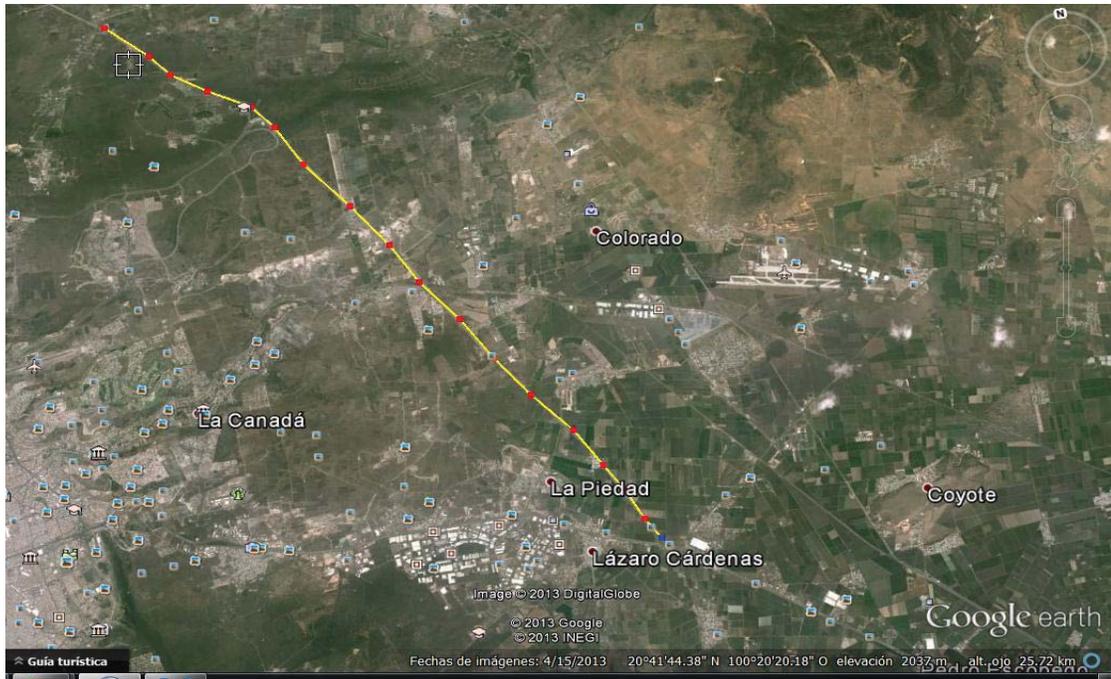


Figura 4.6. Micro localización del tramo carretero Libramiento Noreste de Querétaro..

Fuente: Google Earth; 2013.

### 4.3. Informe fotográfico.

En la siguiente fotografía se puede apreciar el sitio donde se localiza la plaza de cobro de la caseta del Libramiento Noreste de Querétaro, Campamento Chichimequillas, perteneciente a Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), de la Delegación III Centro – Norte.

La fotografía fue tomada hacia la autopista México – Querétaro, la cual se conecta directamente con el Libramiento Noreste de Querétaro, sentido Chichimequillas – Querétaro.



Figura 4.7. Plaza de cobro del Campamento Chichimequillas..

Fuente: Propia; 2013.

En la siguiente fotografía se puede apreciar el entorno geográfico y climatológico, así como de la vegetación del lugar por donde cruza el Libramiento Noreste de Querétaro.

Cerca del sitio se pueden encontrar árboles frutales, cedros, fresnos, oyameles y carrizales; en las zonas planas se puede apreciar los mezquites, huizaches, pirules, palos bobos, cactáceas, pinos, cedros rojos, encinos, pingüicas y piñones.



Figura 4.8. Entorno del medio ambiente del Libramiento Noreste de Querétaro..

Fuente: Propia; 2013.

Debido a que el Libramiento Noreste de Querétaro es una vía de comunicación vehicular en operación, se tiene acceso sin dificultad alguna para hacer recorridos rutinarios y evaluar sus deficiencias y necesidades que se presenten en el tramo.

En la siguiente fotografía se muestra la circulación de vehículos por el tramo carretero sin dificultad alguna, esto a pesar de encontrarse en reparación en algunos subtramos.



Figura 4.9. Circulación de vehículos sobre Libramiento Noreste de Querétaro..

Fuente: Propia; 2013.

La exploración previa a la realización de cualquier tipo de mantenimiento de un camino es fundamental, para conocer la localización, el tipo y magnitud de falla o deficiencia que se presenta en determinados puntos, y de igual manera, analizar la solución óptima que se aplicará a dichas fallas.

En la siguiente imagen se muestra el reconocimiento previo del tramo, antes de la ejecución de los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento de la carpeta de concreto hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro.



Figura 4.10. Reconocimiento del tramo, previo a la ejecución del perfilado y texturizado..

Fuente: Propia; 2013.

En la siguiente fotografía se muestra el avance parcial de perfilado y texturizado de la superficie de rodamiento en un subtramo del carril de alta del cuerpo B, sentido Chichimequillas – Querétaro.

También se puede apreciar que la circulación vehicular fluye sin problemas, debido a la adecuada colocación del señalamiento de protección de obra para la ejecución de los trabajos.



Figura 4.11. Avance parcial de perfilado y texturizado del carril de alta, cuerpo B.

Fuente: Propia; 2013.

## CAPÍTULO 5

### METODOLOGÍA

En el presente capítulo se describirá la metodología que se utilizó para llevar a cabo la realización de la presente investigación.

#### **5.1. Método científico.**

En el presente estudio se utilizó el método científico, aunado a un procedimiento cualitativo por recurrir a la utilización del método matemático - analítico, ya que hoy en día es muy importante señalar los métodos que se utilizan habitualmente, ya sea para analizar los resultados ya existentes o proponer nuevos sistemas para obtener nuevos resultados y poderlos comparar entre sí para llegar a distintas conclusiones, y de esta manera elegir lo más conveniente.

Según Tamayo y Tamayo (2000), la ciencia y la epistemología ofrecen como referencia el método científico, para realizar la comprobación de las hipótesis planteadas en una investigación, fundamentadas en principios verídicos establecidos. Se dice que el método científico se puede encontrar entre la investigación científica y el conocimiento científico, ya que el método científico asegura la existencia de los dos antes mencionados, mismos elementos que pueden ser tomados o analizados en forma de ciclo.

Se dice que, “El método científico es un procedimiento para descubrir las condiciones en que se presentan sucesos específicos, caracterizado generalmente

por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica.”  
(Tamayo y Tamayo; 2000; 28)

Igualmente, Tamayo y Tamayo (2000), expresa que el método científico es la aplicación de la lógica a la realidad o sucesos observados. Por lo tanto, se concluye que el método científico es un mecanismo por el cual se presentan los problemas científicos y se comprueban las hipótesis y las herramientas del trabajo de investigación.

Dentro de la aplicación del método científico, fundamentalmente se encuentra el determinar cuáles han sido los procedimientos para demostrar que una afirmación es correcta, esto debido a que cada ciencia requiere y plantea un método especial para el estudio de los hechos tratados durante una investigación, y no solamente es importante para el descubrimiento de verdades en todo momento. Es así que el método científico regula los pasos que se han de dar o seguir durante el estudio de los hechos de una investigación.

Si no existe el método científico dentro de la ciencia, tanto de la pura como de la aplicada, entonces no existe la ciencia. Algunas veces, el método científico puede no ser tan preciso, pero puede perfeccionarse mediante la estimación de los resultados a los que se requiere llegar por medio del análisis directo. Se considera entonces, que el método científico es la técnica más adecuada y segura para introducirse en el conocimiento de los hechos en estudio y llegar a plantear teorías más o menos estables.

Como menciona Tamayo y Tamayo (2000), los investigadores utilizan el método científico para solucionar numerables tipos de problemas. Un científico que se dedica a la investigación pura, utiliza este método solamente para obtener nuevos conocimientos, mientras que el científico que aplica su investigación lo utiliza con el fin de encontrar nuevos sistemas que ayuden a optimizar las condiciones de vida y resolver problemas de su actualidad.

#### **5.1.1. Método matemático.**

Conforme a lo mencionado por Mendieta Alatorre (2005), una de las primeras sensaciones que capta el ser humano, es la de la cantidad, sin percatarse de que se está aplicando un procedimiento científico. Generalmente, aplicando este método se comparan cantidades para obtener nociones derivadas, de importancia, valor económico y capacidad.

Así mismo, el método matemático es útil para afirmar o negar algo, en cualquier investigación que implique números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones, esto, cuantificando y comparando resultados obtenidos mediante técnicas planteadas específicamente para cada hecho analizado. En tanto, este método es útil en todo momento de la vida cotidiana del ser humano.

En la presente investigación se utilizó el modelo matemático para cuantificar volúmenes, distancias, y otras unidades de medida utilizadas, así como para cuantificar resultados obtenidos a partir de pruebas realizadas durante dicha

investigación, para posteriormente comparar estos nuevos resultados obtenidos con los resultados ya existentes.

## **5.2. Enfoque de la investigación.**

En la presente investigación se utilizó un enfoque de la investigación mixto, ya que se pretende utilizar una combinación del enfoque cuantitativo y cualitativo para fines específicos dentro de la misma. Además, la utilización de este enfoque de investigación se debe a que se requiere, en gran parte, de las características, procesos y bondades de ambos enfoques (cuantitativo y cualitativo).

En primer lugar, se definirá en qué consiste el enfoque de investigación cuantitativo, que según Hernández y Cols. (2007), da la ventaja de llevar a cabo un estudio más detallado, esto para obtener un campo de resultados más amplio, plantea un control sobre fenómenos y una opinión para su conteo y magnitudes de éstos.

El enfoque cuantitativo usa la recopilación de datos ampliamente y de manera más exacta de la vida diaria, para probar las hipótesis de los procedimientos de investigación y un punto de vista sobre partes fundamentales y específicas de los fenómenos tratados en la investigación, además de facilitar la comparación de resultados obtenidos actualmente con los ya existentes de investigaciones similares.

Como características del enfoque cuantitativo se tiene que: mide fenómenos, utiliza estadísticas, emplea la experimentación y lleva a cabo un análisis de causas – efectos. Los procesos que utiliza son: secuencial, deductivo, probatorio y analiza la

realidad objetiva. Por último, tiene como bondades: la generalización de resultados, el control sobre fenómenos, la precisión, la réplica y la predicción.

Por otro lado, el enfoque de investigación cualitativo, de acuerdo con Hernández y Cols. (2007), es a veces conocido como investigación naturalista, fenomenológica, interpretativa o etnográfica, y es un modo de recolección de datos en el cual se incluye infinidad de concepciones, visiones, técnicas y estudios no cuantitativos.

El enfoque cualitativo usa la recopilación de datos de fenómenos de la vida diaria, pero sin medición numérica, esto, para encontrar nuevas preguntas o afinar las ya existentes de estudios similares dentro del proceso de interpretación, durante la aplicación de los métodos de investigación de los fenómenos tratados particularmente.

Como características del enfoque cualitativo se tiene que: no usa la réplica, se conduce básicamente en ambientes naturales, los significados se extraen de los datos y no se fundamenta en la estadística. Los procesos que utiliza son: inductivo, recurrente, analiza la realidad subjetiva y no tiene secuencia lineal. Por último, tiene como bondades: la profundidad de ideas, la amplitud, la riqueza interpretativa y contextualiza el fenómeno.

El método cualitativo es el más utilizado por ciencias básicas como la Biología, Física y la Química, pero tiene un gran vínculo con la ingeniería porque es el que le da la posibilidad de desarrollar en la manera más correcta sus aplicaciones en la vida diaria, y es una de las mejores herramientas para ésta. No obstante, el método

cuantitativo es también una herramienta importante para estas ciencias básicas, ya que les da la posibilidad de llegar a nuevas conclusiones o mejorar las ya existentes de fenómenos de la vida diaria, esto para optimizar y mejorar las condiciones de vida actuales y a futuro.

Como se mencionó anteriormente, esta investigación requirió de las características y ventajas que ofrecen ambos enfoques (cuantitativo y cualitativo) utilizando el enfoque de investigación mixto, como herramienta para llevar a cabo una investigación que permita ampliar las fuentes de conocimiento.

### **5.2.1. Alcance de la investigación.**

En el presente trabajo de investigación se utilizó un estudio de tipo exploratorio, que según Hernández y Cols. (2007), el estudio exploratorio se realiza cuando el fin de éste es adentrarse en un tema o problema de investigación poco abordado, del cual se tienen muchas cuestiones o no se ha tratado antes. En otras palabras, se realiza cuando existen ideas vagamente relacionadas al tema, o si se desea explorar temas y áreas desde nuevas perspectivas.

Los estudios exploratorios sirven para relacionarse con fenómenos desconocidos, obtener información para llevar a cabo una investigación más completa y concisa del tema, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones a futuro, o sugerir afirmaciones y postulados.

En la presente investigación se utilizó el estudio de tipo exploratorio, ya que el tema que se aborda dentro de este trabajo es, en cierta forma, novedoso o poco

estudiado, además de existir escasa información actualmente. Con esto, se busca aportar un trabajo que permita ampliar las fuentes de conocimiento ya existentes.

### **5.3. Tipo de diseño de la investigación.**

Dentro de este trabajo de investigación se utilizó un diseño no experimental, transeccional exploratorio, que como menciona Hernández y Cols. (2007), el propósito de los diseños transeccionales exploratorios es comenzar a conocer una variable o conjunto de variables, eventos, situaciones, contextos, que principalmente se trata de una exploración inicial en un momento específico.

Este diseño de investigación se utilizó en esta investigación porque el objetivo principal del mismo es la aplicación del diseño de investigación no experimental, transeccional exploratorio a un tema que actualmente no cuenta con muchas fuentes de información, debido a que no ha sido tratado en gran medida.

#### **5.3.1. Investigación transeccional.**

De conformidad con Hernández y Cols. (2007), los diseños de investigación transeccional o transversal recopilan datos en un solo momento, y en un instante único. Su objetivo es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. También, presenta el estado o situación de una o más variables, en uno o varios grupos que pueden estar compuestos por personas, objetos o indicadores, así como diferentes comunidades, situaciones o eventos.

Como se mencionó anteriormente, en este trabajo se utilizó un diseño de investigación no experimental, transeccional exploratorio, ya que se busca recopilar

datos del tema tratado en el mismo en un momento único para posteriormente describir sus variables y analizar los resultados de la investigación en un momento dado.

#### **5.4. Instrumentos de recopilación de datos.**

Según lo escrito por Hernández y Cols. (2007), en la actualidad existen diversos métodos para la recopilación de datos, en estudios mixtos frecuentemente se incluyen varios datos, tanto numéricos como contenidos de tipos de conclusiones, estos para un análisis estadístico.

Para la recopilación de datos es necesario:

1.- Seleccionar los métodos o instrumentos disponibles o desarrollarlos según sea su enfoque de estudio, el planteamiento del problema y el alcance de la investigación.

2.- Aplicación de instrumentos.

3.- Preparar los datos obtenidos para realizar un análisis correcto de los mismos.

Como menciona Hernández y Cols. (2007), la recolección de datos equivale a medir, entendiendo por medir una relación que indica la clasificación o cuantificación. La recopilación de datos debe ser analizada de manera que cumpla, y así mismo tenga confiabilidad y validez.

Dentro del enfoque de investigación, tanto cualitativo como cuantitativo, confianza se refiere a la aplicación repetida de un instrumento cuando produce resultados iguales, y por otra parte la validez se refiere al grado en que el

instrumento aplicado se dirija realmente a las variables que pretende la investigación y que sea completamente confiable y se realice adecuadamente.

La recopilación de datos de la presente investigación se realizó con programas computacionales como Word, Excel, Autocad, Civilcad, programas especializados para la obtención y el análisis del índice de perfil y el coeficiente de fricción, además de otros instrumentos de medición tales como el perfilógrafo tipo California, el Mu-Meter tipo DFT, la estación total de topografía, odómetro manual, la observación y la utilización de distintos elementos del equipo de laboratorio.

#### **5.5. Descripción del proceso de investigación.**

El presente trabajo de investigación se realizó partiendo de la consulta de bibliografía enfocada a lo relacionado con el tema para el desarrollo de la parte que contiene la información teórica del trabajo, lo cual ayudará para comprobar y fundamentar los resultados obtenidos durante la realización del mismo. De esta manera, pudo establecerse la fuente principal del encuadre metodológico, con lo pudo definirse el alcance e instrumentos para la recopilación de datos.

Posteriormente se procedió a la búsqueda y ubicación del tramo de camino de pavimento rígido, en el cual se hará el mantenimiento del mismo y verificar cuáles son los métodos y características del sistema empleado para el mismo fin.

Por último, se realizaron investigaciones de campo en el lugar donde se propuso llevar a cabo la investigación del presente trabajo, familiarizándose con las condiciones del lugar y recopilando datos que fueron de vital importancia para el mismo, tales como las dimensiones, características topográficas, clima de la región y

la captura de fotografías necesarias para complementar el trabajo. Con la recopilación de datos, se pudo llevar a cabo un análisis preciso, confiable y con validez del presente trabajo de investigación, además de llegar a resultados distintos mediante la comparación con los resultados obtenidos de investigaciones similares.

## CAPÍTULO 6

### CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta lo correspondiente al cálculo, análisis e interpretación de resultados, así como la secuencia que se llevó a cabo para la ejecución y control de calidad de obra de la restauración del pavimento rígido mediante el método de perfilado y texturizado del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos.

#### **6.1. Procedimiento para la obtención del índice de perfil en campo (perfilogramas).**

De acuerdo con lo dicho por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2006), previo a los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodadura concreto hidráulico, se lleva a cabo la obtención del índice de perfil de la misma, siguiendo las especificaciones previamente establecidas en la Norma M-MMP-4-07-002/06 de la Normativa Para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), que a continuación se describen:

- Ya que el perfilógrafo tipo California se encuentra ensamblado de manera correcta, de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante, y se encuentra debidamente calibrado en su escala horizontal y vertical, se comienza con el levantamiento de los perfilogramas de la superficie de rodamiento.

- Cuando se realiza el levantamiento del perfilograma del primer sub-tramo de la obra, se comienza a medir a 5 m dentro del inicio del concreto hidráulico. Cuando se realiza el levantamiento del perfilograma de un nuevo sub-tramo, debe colocarse la llanta sensora al final del último sub-tramo levantado.
- El índice de perfil es medido longitudinalmente, desplazando el perfilógrafo tipo California a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimitan cada carril de circulación (roderas del camino), y que están ubicadas a  $(90 \pm 20)$  cm dentro del carril que está siendo evaluado, hasta el final del sub-tramo.
- La velocidad a la cual debe desplazarse el perfilógrafo tipo California deber ser de entre 4.5 y 5 km/hr, velocidad a la que un peatón se desplaza caminando normalmente. Si se opera a velocidades mayores el perfilógrafo, éste tiende a perder estabilidad sobre la superficie de rodamiento, y por consecuencia, tiende a brincar al pasar por algunas irregularidades, lo que ocasionaría perfilogramas con muchos sobresaltos anormales y un levantamiento erróneo del índice de perfil.
- Las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento evaluado son divididas en sub-tramos consecutivos de 200 m cada uno.
- Para su identificación, los perfilogramas de cada sub-tramo, debe contener la siguiente información adicional: nombre de la carretera, cadenamientos de inicio y final de cada sub-tramo, fecha de construcción del sub-tramo, fecha de levantamiento del perfilograma, nombre del operador del perfilógrafo y observaciones que sean necesarias.



Figura 6.1. Obtención de perfilogramas para la determinación del índice de perfil.

Fuente: Propia; 2013.

### **Determinación del índice de perfil.**

Según el Instituto Mexicano del Transporte (2006), el índice de perfil ( $I_p$ ) de cada sub-tramo se obtiene a partir de los perfilogramas levantados de acuerdo al procedimiento antes descrito. Su determinación se obtiene atendiendo los siguientes pasos:

- Una vez que se han obtenido todas las irregularidades de la superficie de un mismo sub-tramo, se observa que el programa del dispositivo electrónico ha realizado y registrado la suma de todas ellas, en la parte final del perfilograma del sub-tramo, en mm.
- Posteriormente se realiza el vaciado, cálculo y análisis de datos obtenidos, en hojas de cálculo de Excel, convirtiendo a cm la suma de las irregularidades arrojadas en los perfilogramas de cada sub-tramo.
- La expresión para obtener el índice de perfil de cada sub-tramo de camino es la siguiente:

$$Ip = \frac{\sum h}{L} \times 1000$$

Donde:

$Ip$  = Índice de perfil del sub-tramo, (cm/km).

$\sum h$  = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el sub-tramo, (cm).

$L$  = Longitud del sub-tramo, (m).

- El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de 200 m es el promedio de las 2 mediciones tomadas dentro del ancho de cada carril de circulación evaluado.
- Los perfilogramas tienen que ser reportados a la dependencia junto con los resultados del análisis del índice de perfil.

#### **6.1.1. Obtención del índice de perfil previo.**

El método utilizado para la medición del índice de perfil previo a los trabajos de perfilado y texturizado es el indicado en la Norma M-MMP-4-07-002/06 "Procedimiento para determinar, mediante el empleo de un perfilógrafo tipo California, el índice de perfil ( $Ip$ ) de la superficie de rodadura de un pavimento", método también descrito anteriormente en esta investigación.

El equipo utilizado para la obtención del índice de perfil es un equipo especializado y computarizado llamado Perfilógrafo Modelo 4200, marca AMES, tipo California, constituido por una estructura de aluminio de 10.70 m. de longitud y un ancho de 1.0 m. en la parte delantera y trasera, el cual, cuenta con una rueda de

bicicleta que funge como odómetro e indica la distancia recorrida; así mismo, cuenta con una rueda-sensora en la parte central del equipo, este sensor es el que detecta las variaciones en la superficie de rodamiento.



Figura 6.2. Perfilografo tipo California, Modelo 4200, marca AMES.

Fuente: <http://www.amesengineering.com>; 2009.

Dichas variaciones son enviadas al equipo de cómputo que se encuentra conectado al sensor y al odómetro, de esta forma finalmente el software del equipo procesa los datos obtenidos de las variaciones horizontales, verticales en una distancia recorrida, el diagrama donde se muestran las irregularidades superficiales de cada franja analizada se denomina “Perfilograma”.

De acuerdo con la normativa de la SCT, la obtención del Índice de Perfil en cada línea de tendido, se realiza a lo largo de la línea imaginaria ubicada a  $(90 \pm 20)$  cm. de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar.

- La ejecución de los trabajos se realizó el día 27,28 y 29 de Mayo del 2013.

- El índice de perfil se obtuvo mediante el vaciado, cálculo y análisis de datos en hojas de cálculo de Excel, obtenidos a partir de perfilogramas arrojados por el programa del dispositivo electrónico del perfilógrafo tipo California, los cuales fueron impresos directamente de la consola de registro en rollos de papel de tipo y dimensiones proporcionadas por el fabricante del perfilógrafo. La expresión utilizada para obtener el índice de perfil de cada sub-tramo de camino fue la descrita con anterioridad.
- Las mediciones se ejecutaron en tramos de 200 m.



Figura 6.3. Superficie de rodamiento sobre la cual se obtuvo el índice de perfil, previo a los trabajos de perfilado y texturizado.

Fuente: Propia; 2013.

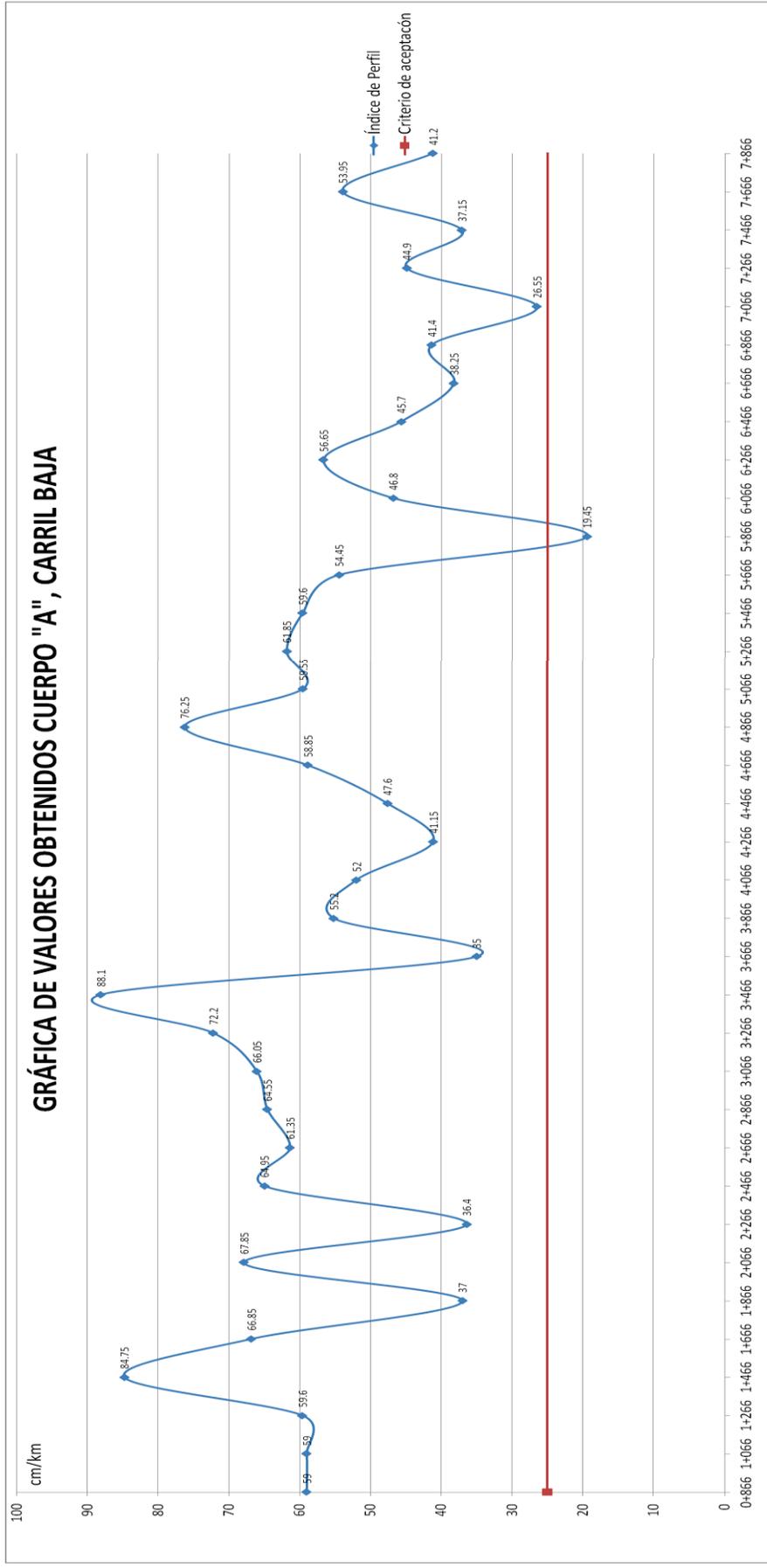
A continuación se presenta el índice de perfil obtenido, previo a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos:

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL BAJA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	0+866	BAJA	A	118	590	11.8	59	POR CORREGIR
0+866	1+066	BAJA	A	118	590	11.8	59	POR CORREGIR
1+066	1+266	BAJA	A	119.2	596	11.92	59.6	POR CORREGIR
1+266	1+466	BAJA	A	169.5	847.5	16.95	84.75	POR CORREGIR
1+466	1+666	BAJA	A	133.7	668.5	13.37	66.85	POR CORREGIR
1+666	1+866	BAJA	A	74	370	7.4	37	POR CORREGIR
1+866	2+066	BAJA	A	135.7	678.5	13.57	67.85	POR CORREGIR
2+066	2+266	BAJA	A	72.8	364	7.28	36.4	POR CORREGIR
2+266	2+466	BAJA	A	129.9	649.5	12.99	64.95	POR CORREGIR
2+466	2+666	BAJA	A	122.7	613.5	12.27	61.35	POR CORREGIR
2+666	2+866	BAJA	A	129.1	645.5	12.91	64.55	POR CORREGIR
2+866	3+066	BAJA	A	132.1	660.5	13.21	66.05	POR CORREGIR
3+066	3+266	BAJA	A	144.4	722	14.44	72.2	POR CORREGIR
3+266	3+466	BAJA	A	176.2	881	17.62	88.1	POR CORREGIR
3+466	3+666	BAJA	A	70	350	7	35	POR CORREGIR
3+666	3+866	BAJA	A	110.4	552	11.04	55.2	POR CORREGIR
3+866	4+066	BAJA	A	104	520	10.4	52	POR CORREGIR
4+066	4+266	BAJA	A	82.3	411.5	8.23	41.15	POR CORREGIR
4+266	4+466	BAJA	A	95.2	476	9.52	47.6	POR CORREGIR
4+466	4+666	BAJA	A	117.7	588.5	11.77	58.85	POR CORREGIR
4+666	4+866	BAJA	A	152.5	762.5	15.25	76.25	POR CORREGIR
4+866	5+066	BAJA	A	119.1	595.5	11.91	59.55	POR CORREGIR
5+066	5+266	BAJA	A	123.7	618.5	12.37	61.85	POR CORREGIR
5+266	5+466	BAJA	A	119.2	596	11.92	59.6	POR CORREGIR
5+466	5+666	BAJA	A	108.9	544.5	10.89	54.45	POR CORREGIR
5+666	5+866	BAJA	A	38.9	194.5	3.89	19.45	ACEPTABLE
5+866	6+066	BAJA	A	93.6	468	9.36	46.8	POR CORREGIR
6+066	6+266	BAJA	A	113.3	566.5	11.33	56.65	POR CORREGIR
6+266	6+466	BAJA	A	91.4	457	9.14	45.7	POR CORREGIR
6+466	6+666	BAJA	A	76.5	382.5	7.65	38.25	POR CORREGIR
6+666	6+866	BAJA	A	82.8	414	8.28	41.4	POR CORREGIR
6+866	7+066	BAJA	A	53.1	265.5	5.31	26.55	POR CORREGIR
7+066	7+266	BAJA	A	89.8	449	8.98	44.9	POR CORREGIR
7+266	7+466	BAJA	A	74.3	371.5	7.43	37.15	POR CORREGIR
7+466	7+666	BAJA	A	107.9	539.5	10.79	53.95	POR CORREGIR
7+666	7+866	BAJA	A	82.4	412	8.24	41.2	POR CORREGIR

Tabla 6.1. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.1. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de baja.

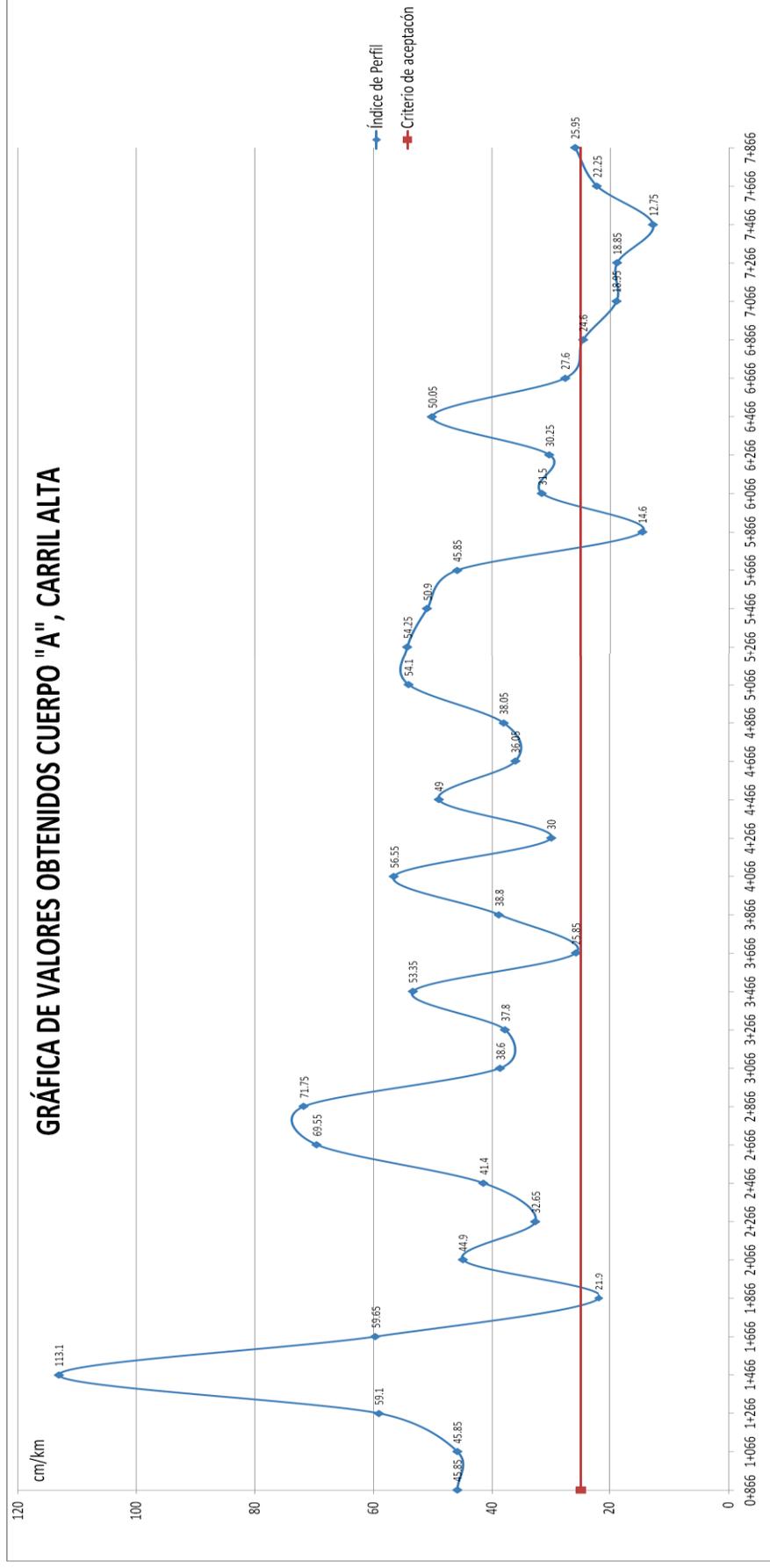
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL ALTA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	0+866	ALTA	A	91.7	458.5	9.17	45.85	POR CORREGIR
0+866	1+066	ALTA	A	91.7	458.5	9.17	45.85	POR CORREGIR
1+066	1+266	ALTA	A	118.2	591	11.82	59.1	POR CORREGIR
1+266	1+466	ALTA	A	226.2	1131	22.62	113.1	POR CORREGIR
1+466	1+666	ALTA	A	119.3	596.5	11.93	59.65	POR CORREGIR
1+666	1+866	ALTA	A	43.8	219	4.38	21.9	ACEPTABLE
1+866	2+066	ALTA	A	89.8	449	8.98	44.9	POR CORREGIR
2+066	2+266	ALTA	A	65.3	326.5	6.53	32.65	POR CORREGIR
2+266	2+466	ALTA	A	82.8	414	8.28	41.4	POR CORREGIR
2+466	2+666	ALTA	A	139.1	695.5	13.91	69.55	POR CORREGIR
2+666	2+866	ALTA	A	143.5	717.5	14.35	71.75	POR CORREGIR
2+866	3+066	ALTA	A	77.2	386	7.72	38.6	POR CORREGIR
3+066	3+266	ALTA	A	75.6	378	7.56	37.8	POR CORREGIR
3+266	3+466	ALTA	A	106.7	533.5	10.67	53.35	POR CORREGIR
3+466	3+666	ALTA	A	51.7	258.5	5.17	25.85	POR CORREGIR
3+666	3+866	ALTA	A	77.6	388	7.76	38.8	POR CORREGIR
3+866	4+066	ALTA	A	113.1	565.5	11.31	56.55	POR CORREGIR
4+066	4+266	ALTA	A	60	300	6	30	POR CORREGIR
4+266	4+466	ALTA	A	98	490	9.8	49	POR CORREGIR
4+466	4+666	ALTA	A	72.1	360.5	7.21	36.05	POR CORREGIR
4+666	4+866	ALTA	A	76.1	380.5	7.61	38.05	POR CORREGIR
4+866	5+066	ALTA	A	108.2	541	10.82	54.1	POR CORREGIR
5+066	5+266	ALTA	A	108.5	542.5	10.85	54.25	POR CORREGIR
5+266	5+466	ALTA	A	101.8	509	10.18	50.9	POR CORREGIR
5+466	5+666	ALTA	A	91.7	458.5	9.17	45.85	POR CORREGIR
5+666	5+866	ALTA	A	29.2	146	2.92	14.6	ACEPTABLE
5+866	6+066	ALTA	A	63	315	6.3	31.5	POR CORREGIR
6+066	6+266	ALTA	A	60.5	302.5	6.05	30.25	POR CORREGIR
6+266	6+466	ALTA	A	100.1	500.5	10.01	50.05	POR CORREGIR
6+466	6+666	ALTA	A	55.2	276	5.52	27.6	POR CORREGIR
6+666	6+866	ALTA	A	49.2	246	4.92	24.6	ACEPTABLE
6+866	7+066	ALTA	A	37.9	189.5	3.79	18.95	ACEPTABLE
7+066	7+266	ALTA	A	37.7	188.5	3.77	18.85	ACEPTABLE
7+266	7+466	ALTA	A	25.5	127.5	2.55	12.75	ACEPTABLE
7+466	7+666	ALTA	A	44.5	222.5	4.45	22.25	ACEPTABLE
7+666	7+866	ALTA	A	51.9	259.5	5.19	25.95	POR CORREGIR

Tabla 6.2. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.2. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de alta.

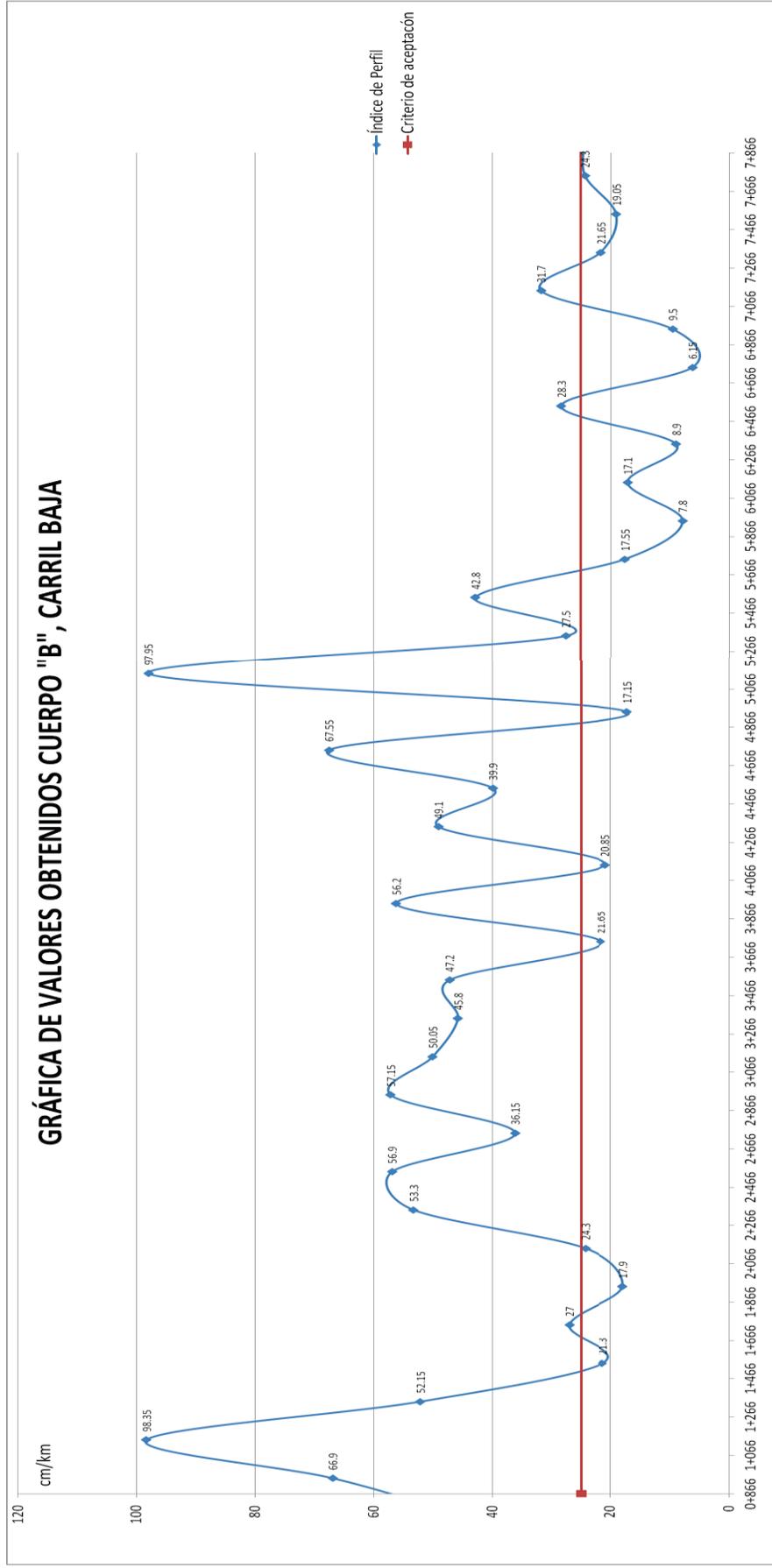
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL BAJA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	7+946	BAJA	B	48.6	243	4.86	24.3	ACEPTABLE
7+946	7+746	BAJA	B	48.6	243	4.86	24.3	ACEPTABLE
7+746	7+546	BAJA	B	38.1	190.5	3.81	19.05	ACEPTABLE
7+546	7+346	BAJA	B	43.3	216.5	4.33	21.65	ACEPTABLE
7+346	7+146	BAJA	B	63.4	317	6.34	31.7	POR CORREGIR
7+146	6+946	BAJA	B	19	95	1.9	9.5	ACEPTABLE
6+946	6+746	BAJA	B	12.3	61.5	1.23	6.15	ACEPTABLE
6+746	6+546	BAJA	B	56.6	283	5.66	28.3	POR CORREGIR
6+546	6+346	BAJA	B	17.8	89	1.78	8.9	ACEPTABLE
6+346	6+146	BAJA	B	34.2	171	3.42	17.1	ACEPTABLE
6+146	5+946	BAJA	B	15.6	78	1.56	7.8	ACEPTABLE
5+946	5+746	BAJA	B	35.1	175.5	3.51	17.55	ACEPTABLE
5+746	5+546	BAJA	B	85.6	428	8.56	42.8	POR CORREGIR
5+546	5+346	BAJA	B	55	275	5.5	27.5	POR CORREGIR
5+346	5+146	BAJA	B	195.9	979.5	19.59	97.95	POR CORREGIR
5+146	4+946	BAJA	B	34.3	171.5	3.43	17.15	ACEPTABLE
4+946	4+746	BAJA	B	135.1	675.5	13.51	67.55	POR CORREGIR
4+746	4+546	BAJA	B	79.8	399	7.98	39.9	POR CORREGIR
4+546	4+346	BAJA	B	98.2	491	9.82	49.1	POR CORREGIR
4+346	4+146	BAJA	B	41.7	208.5	4.17	20.85	ACEPTABLE
4+146	3+946	BAJA	B	112.4	562	11.24	56.2	POR CORREGIR
3+946	3+746	BAJA	B	43.3	216.5	4.33	21.65	ACEPTABLE
3+746	3+546	BAJA	B	94.4	472	9.44	47.2	POR CORREGIR
3+546	3+346	BAJA	B	91.6	458	9.16	45.8	POR CORREGIR
3+346	3+146	BAJA	B	100.1	500.5	10.01	50.05	POR CORREGIR
3+146	2+946	BAJA	B	114.3	571.5	11.43	57.15	POR CORREGIR
2+946	2+746	BAJA	B	72.3	361.5	7.23	36.15	POR CORREGIR
2+746	2+546	BAJA	B	113.8	569	11.38	56.9	POR CORREGIR
2+546	2+346	BAJA	B	106.6	533	10.66	53.3	POR CORREGIR
2+346	2+146	BAJA	B	48.6	243	4.86	24.3	ACEPTABLE
2+146	1+946	BAJA	B	35.8	179	3.58	17.9	ACEPTABLE
1+946	1+746	BAJA	B	54	270	5.4	27	POR CORREGIR
1+746	1+546	BAJA	B	42.6	213	4.26	21.3	ACEPTABLE
1+546	1+346	BAJA	B	104.3	521.5	10.43	52.15	POR CORREGIR
1+346	1+146	BAJA	B	196.7	983.5	19.67	98.35	POR CORREGIR
1+146	0+946	BAJA	B	133.8	669	13.38	66.9	POR CORREGIR
0+946	0+746	BAJA	B	88.9	444.5	8.89	44.45	POR CORREGIR

Tabla 6.3. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.3. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de baja.

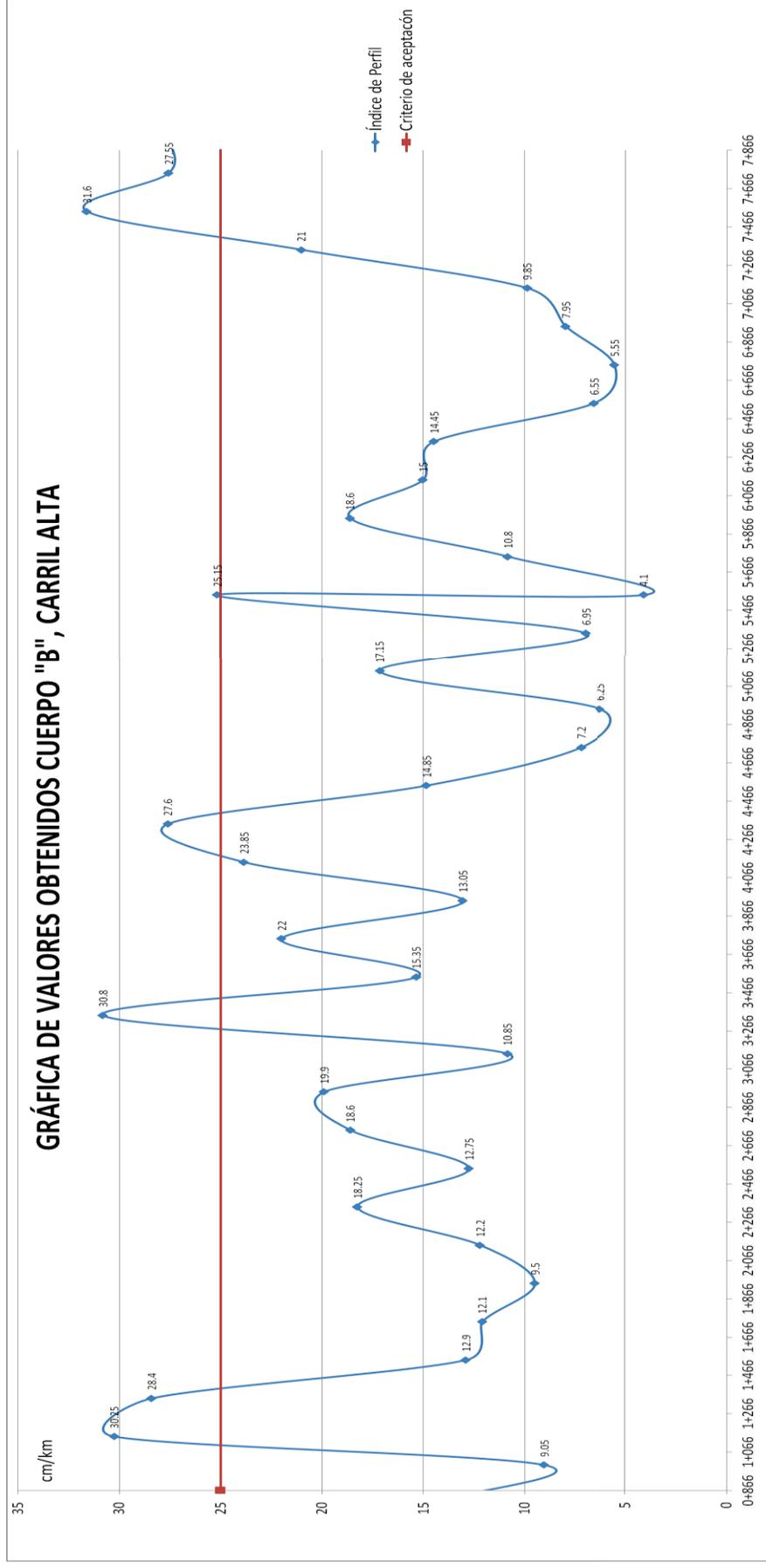
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL ALTA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	7+946	ALTA	B	55.1	275.5	5.51	27.55	POR CORREGIR
7+946	7+746	ALTA	B	55.1	275.5	5.51	27.55	POR CORREGIR
7+746	7+546	ALTA	B	63.2	316	6.32	31.6	POR CORREGIR
7+546	7+346	ALTA	B	42	210	4.2	21	ACEPTABLE
7+346	7+146	ALTA	B	19.7	98.5	1.97	9.85	ACEPTABLE
7+146	6+946	ALTA	B	15.9	79.5	1.59	7.95	ACEPTABLE
6+946	6+746	ALTA	B	11.1	55.5	1.11	5.55	ACEPTABLE
6+746	6+546	ALTA	B	13.1	65.5	1.31	6.55	ACEPTABLE
6+546	6+346	ALTA	B	28.9	144.5	2.89	14.45	ACEPTABLE
6+346	6+146	ALTA	B	30	150	3	15	ACEPTABLE
6+146	5+946	ALTA	B	37.2	186	3.72	18.6	ACEPTABLE
5+946	5+746	ALTA	B	21.6	108	2.16	10.8	ACEPTABLE
5+746	5+546	ALTA	B	8.2	41	0.82	4.1	ACEPTABLE
5+746	5+546	ALTA	B	50.3	251.5	5.03	25.15	POR CORREGIR
5+546	5+346	ALTA	B	13.9	69.5	1.39	6.95	ACEPTABLE
5+346	5+146	ALTA	B	34.3	171.5	3.43	17.15	ACEPTABLE
5+146	4+946	ALTA	B	12.5	62.5	1.25	6.25	ACEPTABLE
4+946	4+746	ALTA	B	14.4	72	1.44	7.2	ACEPTABLE
4+746	4+546	ALTA	B	29.7	148.5	2.97	14.85	ACEPTABLE
4+546	4+346	ALTA	B	55.2	276	5.52	27.6	POR CORREGIR
4+346	4+146	ALTA	B	47.7	238.5	4.77	23.85	ACEPTABLE
4+146	3+946	ALTA	B	26.1	130.5	2.61	13.05	ACEPTABLE
3+946	3+746	ALTA	B	44	220	4.4	22	ACEPTABLE
3+746	3+546	ALTA	B	30.7	153.5	3.07	15.35	ACEPTABLE
3+546	3+346	ALTA	B	61.6	308	6.16	30.8	POR CORREGIR
3+346	3+146	ALTA	B	21.7	108.5	2.17	10.85	ACEPTABLE
3+146	2+946	ALTA	B	39.8	199	3.98	19.9	ACEPTABLE
2+946	2+746	ALTA	B	37.2	186	3.72	18.6	ACEPTABLE
2+746	2+546	ALTA	B	25.5	127.5	2.55	12.75	ACEPTABLE
2+546	2+346	ALTA	B	36.5	182.5	3.65	18.25	ACEPTABLE
2+346	2+146	ALTA	B	24.4	122	2.44	12.2	ACEPTABLE
2+146	1+946	ALTA	B	19	95	1.9	9.5	ACEPTABLE
1+946	1+746	ALTA	B	24.2	121	2.42	12.1	ACEPTABLE
1+746	1+546	ALTA	B	25.8	129	2.58	12.9	ACEPTABLE
1+546	1+346	ALTA	B	56.8	284	5.68	28.4	POR CORREGIR
1+346	1+146	ALTA	B	60.5	302.5	6.05	30.25	POR CORREGIR
1+146	0+998	ALTA	B	18.1	90.5	1.81	9.05	ACEPTABLE
0+946	0+798	ALTA	B	21.8	147.3	2.18	14.73	ACEPTABLE

Tabla 6.4. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.4. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Al analizar las tablas y gráficas anteriores del índice de perfil del pavimento en la condición inicial (antes de los trabajos de perfilado y texturizado) de los sub-tramos de 200 m del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, se observa que:

- El **38.78 %** se considera que se encuentra en el rango de calidad de 00.00 a 26.00 cm/km (**MUY BUENO**),
- El **8.84 %** se encuentra en el rango de 26.10 a 31.00 cm/km (**BUENO**),
- El **19.73 %** se encuentra en el rango de 31.10 a 46.00 cm/km (**REGULAR**),
- Y el **32.65 %** se encuentra en el rango superior a 46.00 cm/km (**MALO**).

Rango	Parámetros de Evaluación	Nº. de tramos	%
Muy Bueno	0.00 – 26.00	57	38.78
Bueno	26.10 – 31.00	13	8.84
Regular	31.10 – 46.00	29	19.73
Malo	> 46.00	48	32.65
<b>Suma</b>		<b>147</b>	<b>100</b>

Tabla 6.5. Tabla de parámetros de evaluación y expresión de resultados en porcentaje del índice de perfil previo.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Esto indica que la mayoría de los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado presentan una condición inicial de irregularidad un poco alta, además debe cumplirse con el rango mínimo de aceptación de 25 cm/km, establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

### 6.1.2. Obtención del índice de perfil posterior.

El método utilizado para la medición del índice de perfil posterior a los trabajos de perfilado y texturizado es el indicado en la Norma M-MMP-4-07-002/06 “Procedimiento para determinar, mediante el empleo de un perfilógrafo tipo California, el índice de perfil ( $I_p$ ) de la superficie de rodadura de un pavimento”, método también descrito anteriormente en esta investigación.

El equipo utilizado para la obtención del índice de perfil es un equipo especializado y computarizado, Perfilógrafo Modelo 4200, marca AMES, tipo California, constituido por una estructura de aluminio de 10.70 m. de longitud y un ancho de 1.0 m. en la parte delantera y trasera, el cual, cuenta con una rueda de bicicleta que funge como odómetro e indica la distancia recorrida; así mismo, cuenta con una rueda-sensora en la parte central del equipo, este sensor es el que detecta las variaciones en la superficie de rodamiento.



Figura 6.4. Obtención del índice de perfil, posterior a los trabajos de perfilado y texturizado

Fuente: Propia; 2013.

Dichas variaciones son enviadas al equipo de cómputo que se encuentra conectado al sensor y al odómetro, de esta forma finalmente el software del equipo procesa los datos obtenidos de las variaciones horizontales, verticales en una distancia recorrida, el diagrama donde se muestran las irregularidades superficiales de cada franja analizada se denomina “Perfilograma”.

De acuerdo con la normativa SCT la obtención del Índice de Perfil en cada línea de tendido, se realiza a lo largo de la línea imaginaria ubicada a  $(90 \pm 20)$  cm. de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar.

- La ejecución de los trabajos se realizó el día 22 y 23 de Julio del 2013.
- El índice de perfil se obtuvo mediante el vaciado, cálculo y análisis de datos en hojas de cálculo de Excel, obtenidos a partir de perfilogramas arrojados por el programa del dispositivo electrónico del perfilógrafo tipo California, los cuales fueron impresos directamente de la consola de registro en rollos de papel de tipo y dimensiones proporcionadas por el fabricante del perfilógrafo. La expresión utilizada para obtener el índice de perfil de cada sub-tramo de camino es la siguiente:

$$Ip = \frac{\sum h}{L} \times 1000$$

Donde:

$Ip$  = Índice de perfil del sub-tramo, (cm/km).

$\sum h$  = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el sub-tramo, (cm).

$L$  = Longitud del sub-tramo, (m).

- Las mediciones se ejecutaron en tramos de 200 m.



Figura 6.5. Superficie de rodamiento sobre la cual se obtuvo el índice de perfil, posterior a los trabajos de perfilado y texturizado.

Fuente: Propia; 2013.

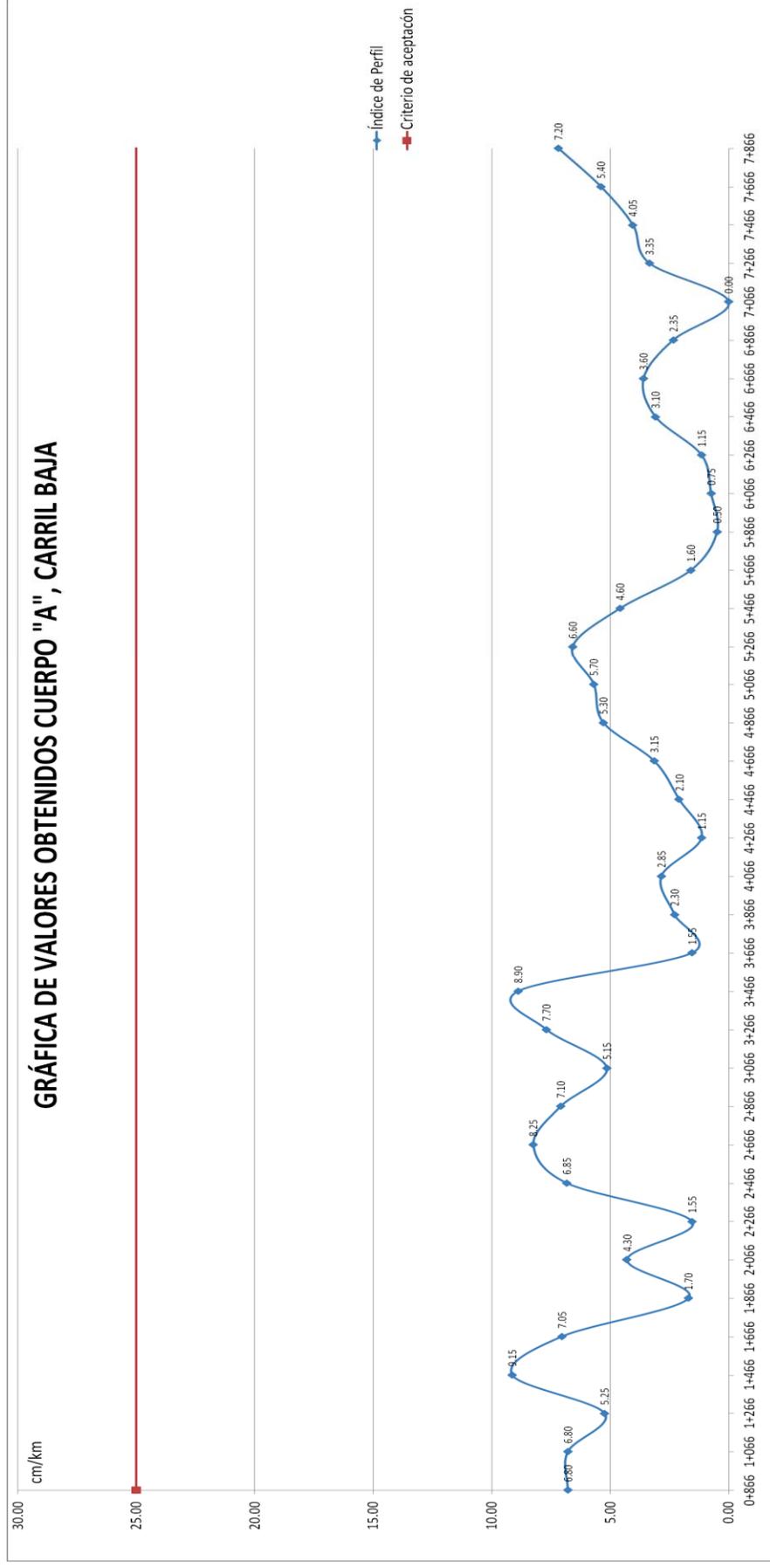
A continuación se presenta el índice de perfil obtenido, posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos:

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL BAJA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	0+866	BAJA	A	13.6	68.00	1.36	6.80	ACEPTABLE
0+866	1+066	BAJA	A	13.6	68.00	1.36	6.80	ACEPTABLE
1+066	1+266	BAJA	A	10.5	52.50	1.05	5.25	ACEPTABLE
1+266	1+466	BAJA	A	18.3	91.50	1.83	9.15	ACEPTABLE
1+466	1+666	BAJA	A	14.1	70.50	1.41	7.05	ACEPTABLE
1+666	1+866	BAJA	A	3.4	17.00	0.34	1.70	ACEPTABLE
1+866	2+066	BAJA	A	8.6	43.00	0.86	4.30	ACEPTABLE
2+066	2+266	BAJA	A	3.1	15.50	0.31	1.55	ACEPTABLE
2+266	2+466	BAJA	A	13.7	68.50	1.37	6.85	ACEPTABLE
2+466	2+666	BAJA	A	16.5	82.50	1.65	8.25	ACEPTABLE
2+666	2+866	BAJA	A	14.2	71.00	1.42	7.10	ACEPTABLE
2+866	3+066	BAJA	A	10.3	51.50	1.03	5.15	ACEPTABLE
3+066	3+266	BAJA	A	15.4	77.00	1.54	7.70	ACEPTABLE
3+266	3+466	BAJA	A	17.8	89.00	1.78	8.90	ACEPTABLE
3+466	3+666	BAJA	A	3.1	15.50	0.31	1.55	ACEPTABLE
3+666	3+866	BAJA	A	4.6	23.00	0.46	2.30	ACEPTABLE
3+866	4+066	BAJA	A	5.7	28.50	0.57	2.85	ACEPTABLE
4+066	4+266	BAJA	A	2.3	11.50	0.23	1.15	ACEPTABLE
4+266	4+466	BAJA	A	4.2	21.00	0.42	2.10	ACEPTABLE
4+466	4+666	BAJA	A	6.3	31.50	0.63	3.15	ACEPTABLE
4+666	4+866	BAJA	A	10.6	53.00	1.06	5.30	ACEPTABLE
4+866	5+066	BAJA	A	11.4	57.00	1.14	5.70	ACEPTABLE
5+066	5+266	BAJA	A	13.2	66.00	1.32	6.60	ACEPTABLE
5+266	5+466	BAJA	A	9.2	46.00	0.92	4.60	ACEPTABLE
5+466	5+666	BAJA	A	3.20	16.00	0.32	1.60	ACEPTABLE
5+666	5+866	BAJA	A	1	5.00	0.10	0.50	ACEPTABLE
5+866	6+066	BAJA	A	1.5	7.50	0.15	0.75	ACEPTABLE
6+066	6+266	BAJA	A	2.3	11.50	0.23	1.15	ACEPTABLE
6+266	6+466	BAJA	A	6.2	31.00	0.62	3.10	ACEPTABLE
6+466	6+666	BAJA	A	7.2	36.00	0.72	3.60	ACEPTABLE
6+666	6+866	BAJA	A	4.7	23.50	0.47	2.35	ACEPTABLE
6+866	7+066	BAJA	A	0	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
7+066	7+266	BAJA	A	6.7	33.50	0.67	3.35	ACEPTABLE
7+266	7+466	BAJA	A	8.1	40.50	0.81	4.05	ACEPTABLE
7+466	7+666	BAJA	A	10.8	54.00	1.08	5.40	ACEPTABLE
7+666	7+866	BAJA	A	14.4	72.00	1.44	7.20	ACEPTABLE

Tabla 6.6. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.5. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de baja.

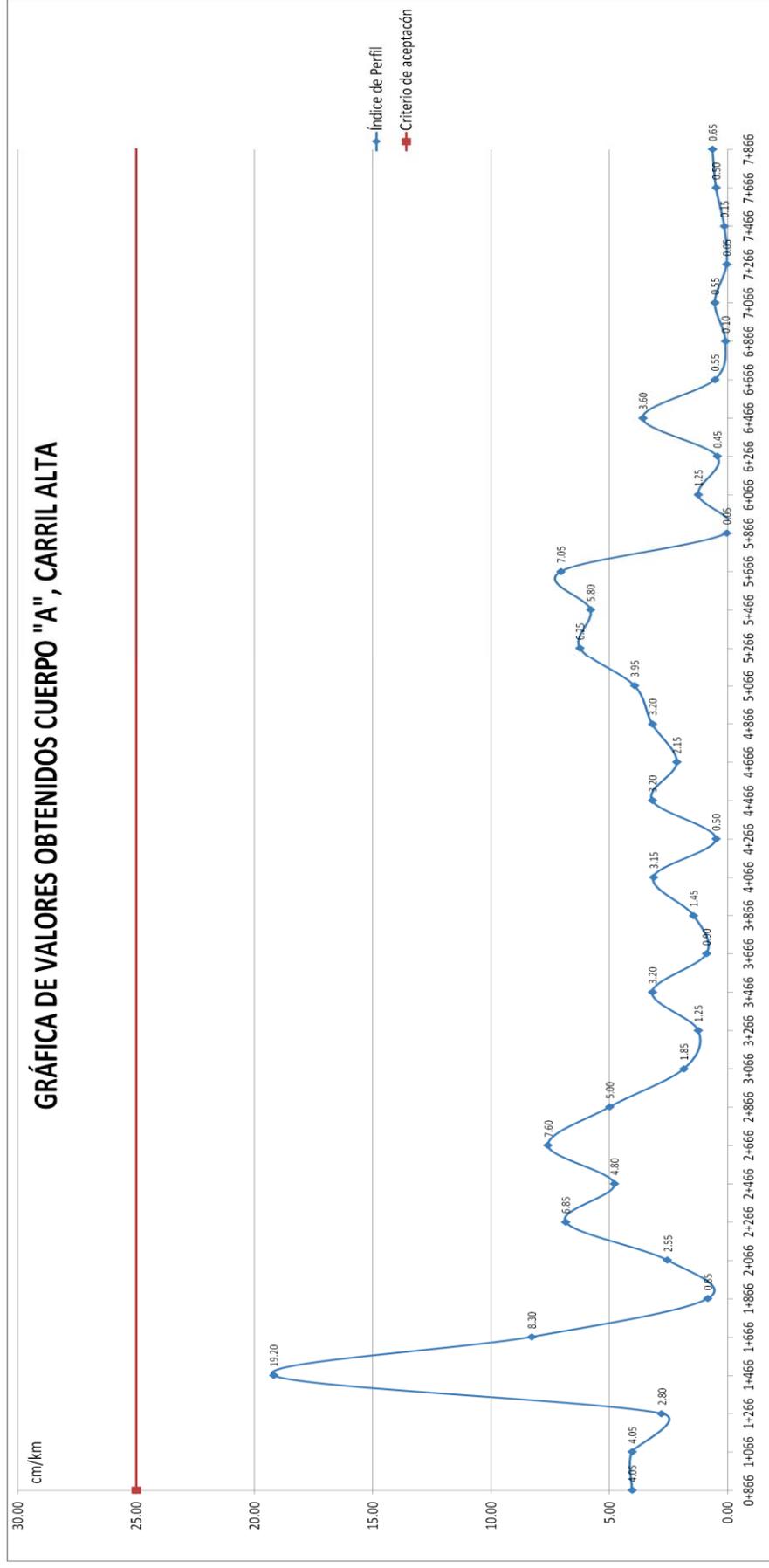
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL ALTA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	0+866	ALTA	A	8.10	40.50	0.81	4.05	ACEPTABLE
0+866	1+066	ALTA	A	8.10	40.50	0.81	4.05	ACEPTABLE
1+066	1+266	ALTA	A	5.60	28.00	0.56	2.80	ACEPTABLE
1+266	1+466	ALTA	A	38.40	192.00	3.84	19.20	ACEPTABLE
1+466	1+666	ALTA	A	16.60	83.00	1.66	8.30	ACEPTABLE
1+666	1+866	ALTA	A	1.70	8.50	0.17	0.85	ACEPTABLE
1+866	2+066	ALTA	A	5.10	25.50	0.51	2.55	ACEPTABLE
2+066	2+266	ALTA	A	13.70	68.50	1.37	6.85	ACEPTABLE
2+266	2+466	ALTA	A	9.60	48.00	0.96	4.80	ACEPTABLE
2+466	2+666	ALTA	A	15.20	76.00	1.52	7.60	ACEPTABLE
2+666	2+866	ALTA	A	10.00	50.00	1.00	5.00	ACEPTABLE
2+866	3+066	ALTA	A	3.70	18.50	0.37	1.85	ACEPTABLE
3+066	3+266	ALTA	A	2.50	12.50	0.25	1.25	ACEPTABLE
3+266	3+466	ALTA	A	6.40	32.00	0.64	3.20	ACEPTABLE
3+466	3+666	ALTA	A	1.80	9.00	0.18	0.90	ACEPTABLE
3+666	3+866	ALTA	A	2.90	14.50	0.29	1.45	ACEPTABLE
3+866	4+066	ALTA	A	6.30	31.50	0.63	3.15	ACEPTABLE
4+066	4+266	ALTA	A	1.00	5.00	0.10	0.50	ACEPTABLE
4+266	4+466	ALTA	A	6.40	32.00	0.64	3.20	ACEPTABLE
4+466	4+666	ALTA	A	4.30	21.50	0.43	2.15	ACEPTABLE
4+666	4+866	ALTA	A	6.40	32.00	0.64	3.20	ACEPTABLE
4+866	5+066	ALTA	A	7.90	39.50	0.79	3.95	ACEPTABLE
5+066	5+266	ALTA	A	12.50	62.50	1.25	6.25	ACEPTABLE
5+266	5+466	ALTA	A	11.60	58.00	1.16	5.80	ACEPTABLE
5+466	5+666	ALTA	A	14.10	70.50	1.41	7.05	ACEPTABLE
5+666	5+866	ALTA	A	0.10	0.50	0.01	0.05	ACEPTABLE
5+866	6+066	ALTA	A	2.50	12.50	0.25	1.25	ACEPTABLE
6+066	6+266	ALTA	A	0.90	4.50	0.09	0.45	ACEPTABLE
6+266	6+466	ALTA	A	7.20	36.00	0.72	3.60	ACEPTABLE
6+466	6+666	ALTA	A	1.10	5.50	0.11	0.55	ACEPTABLE
6+666	6+866	ALTA	A	0.20	1.00	0.02	0.10	ACEPTABLE
6+866	7+066	ALTA	A	1.10	5.50	0.11	0.55	ACEPTABLE
7+066	7+266	ALTA	A	0.10	0.50	0.01	0.05	ACEPTABLE
7+266	7+466	ALTA	A	0.30	1.50	0.03	0.15	ACEPTABLE
7+466	7+666	ALTA	A	1.00	5.00	0.10	0.50	ACEPTABLE
7+666	7+866	ALTA	A	1.30	6.50	0.13	0.65	ACEPTABLE

Tabla 6.7. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.6. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "A", carril de alta.

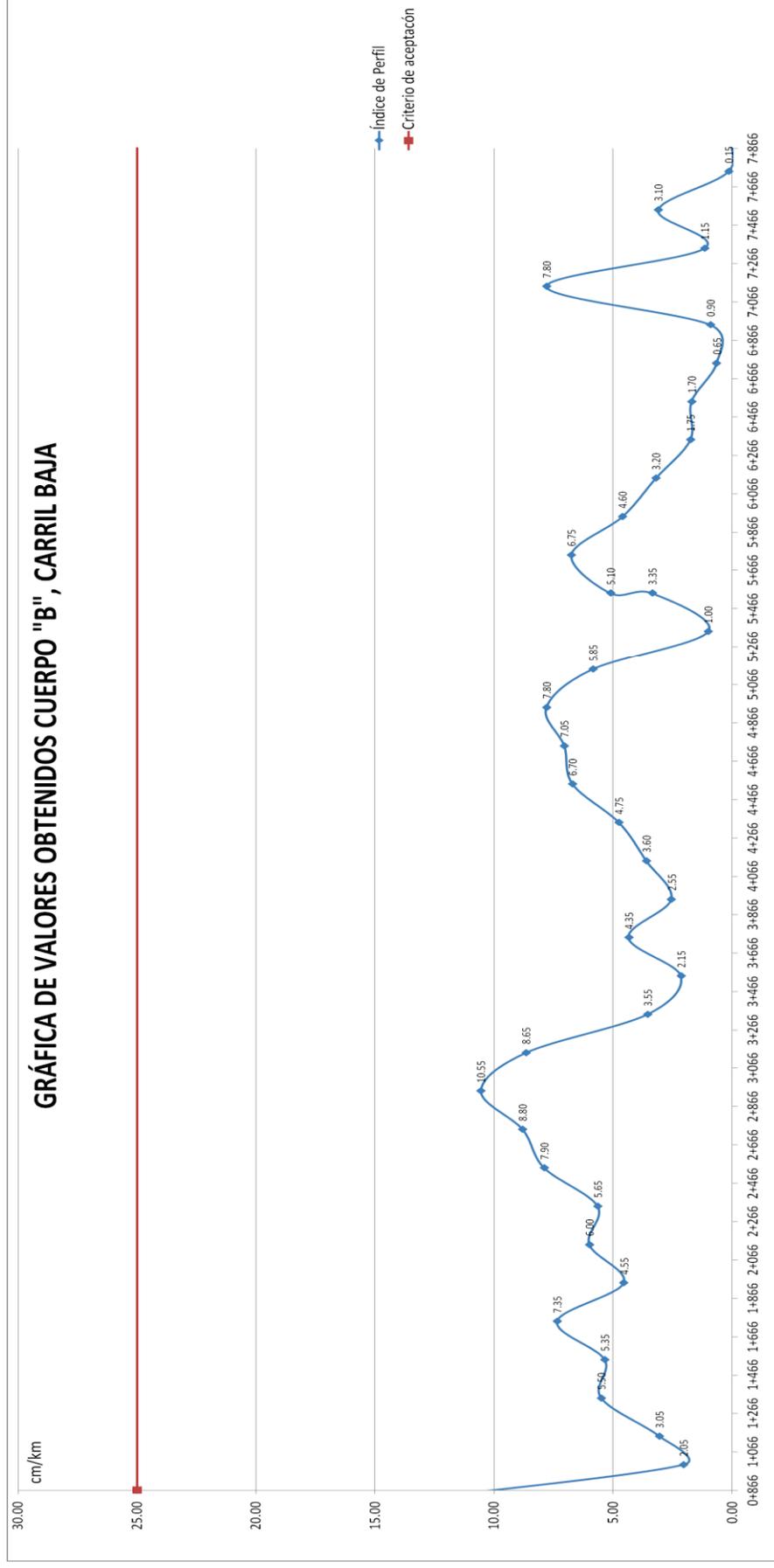
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL BAJA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	7+946	BAJA	B	0.30	1.50	0.03	0.15	ACEPTABLE
7+946	7+746	BAJA	B	0.30	1.50	0.03	0.15	ACEPTABLE
7+746	7+546	BAJA	B	6.20	31.00	0.62	3.10	ACEPTABLE
7+546	7+346	BAJA	B	2.30	11.50	0.23	1.15	ACEPTABLE
7+346	7+146	BAJA	B	15.60	78.00	1.56	7.80	ACEPTABLE
7+146	6+946	BAJA	B	1.80	9.00	0.18	0.90	ACEPTABLE
6+946	6+746	BAJA	B	1.30	6.50	0.13	0.65	ACEPTABLE
6+746	6+546	BAJA	B	3.40	17.00	0.34	1.70	ACEPTABLE
6+546	6+346	BAJA	B	3.50	17.50	0.35	1.75	ACEPTABLE
6+346	6+146	BAJA	B	6.40	32.00	0.64	3.20	ACEPTABLE
6+146	5+946	BAJA	B	9.20	46.00	0.92	4.60	ACEPTABLE
5+946	5+746	BAJA	B	13.50	67.50	1.35	6.75	ACEPTABLE
5+746	5+546	BAJA	B	10.20	51.00	1.02	5.10	ACEPTABLE
5+546	5+346	BAJA	B	6.70	33.50	0.67	3.35	ACEPTABLE
5+346	5+146	BAJA	B	2.00	10.00	0.20	1.00	ACEPTABLE
5+146	4+946	BAJA	B	11.70	58.50	1.17	5.85	ACEPTABLE
4+946	4+746	BAJA	B	15.60	78.00	1.56	7.80	ACEPTABLE
4+746	4+546	BAJA	B	14.10	70.50	1.41	7.05	ACEPTABLE
4+546	4+346	BAJA	B	13.40	67.00	1.34	6.70	ACEPTABLE
4+346	4+146	BAJA	B	9.50	47.50	0.95	4.75	ACEPTABLE
4+146	3+946	BAJA	B	7.20	36.00	0.72	3.60	ACEPTABLE
3+946	3+746	BAJA	B	5.10	25.50	0.51	2.55	ACEPTABLE
3+746	3+546	BAJA	B	8.70	43.50	0.87	4.35	ACEPTABLE
3+546	3+346	BAJA	B	4.30	21.50	0.43	2.15	ACEPTABLE
3+346	3+146	BAJA	B	7.10	35.50	0.71	3.55	ACEPTABLE
3+146	2+946	BAJA	B	17.30	86.50	1.73	8.65	ACEPTABLE
2+946	2+746	BAJA	B	21.10	105.50	2.11	10.55	ACEPTABLE
2+746	2+546	BAJA	B	17.60	88.00	1.76	8.80	ACEPTABLE
2+546	2+346	BAJA	B	15.80	79.00	1.58	7.90	ACEPTABLE
2+346	2+146	BAJA	B	11.30	56.50	1.13	5.65	ACEPTABLE
2+146	1+946	BAJA	B	12.00	60.00	1.20	6.00	ACEPTABLE
1+946	1+746	BAJA	B	9.10	45.50	0.91	4.55	ACEPTABLE
1+746	1+546	BAJA	B	14.70	73.50	1.47	7.35	ACEPTABLE
1+546	1+346	BAJA	B	10.70	53.50	1.07	5.35	ACEPTABLE
1+346	1+146	BAJA	B	11.00	55.00	1.10	5.50	ACEPTABLE
1+146	0+998	BAJA	B	6.10	30.50	0.61	3.05	ACEPTABLE
0+946	0+798	BAJA	B	4.10	20.50	0.41	2.05	ACEPTABLE
				29.30	146.50	2.93	14.65	ACEPTABLE

Tabla 6.8. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.7. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de baja.

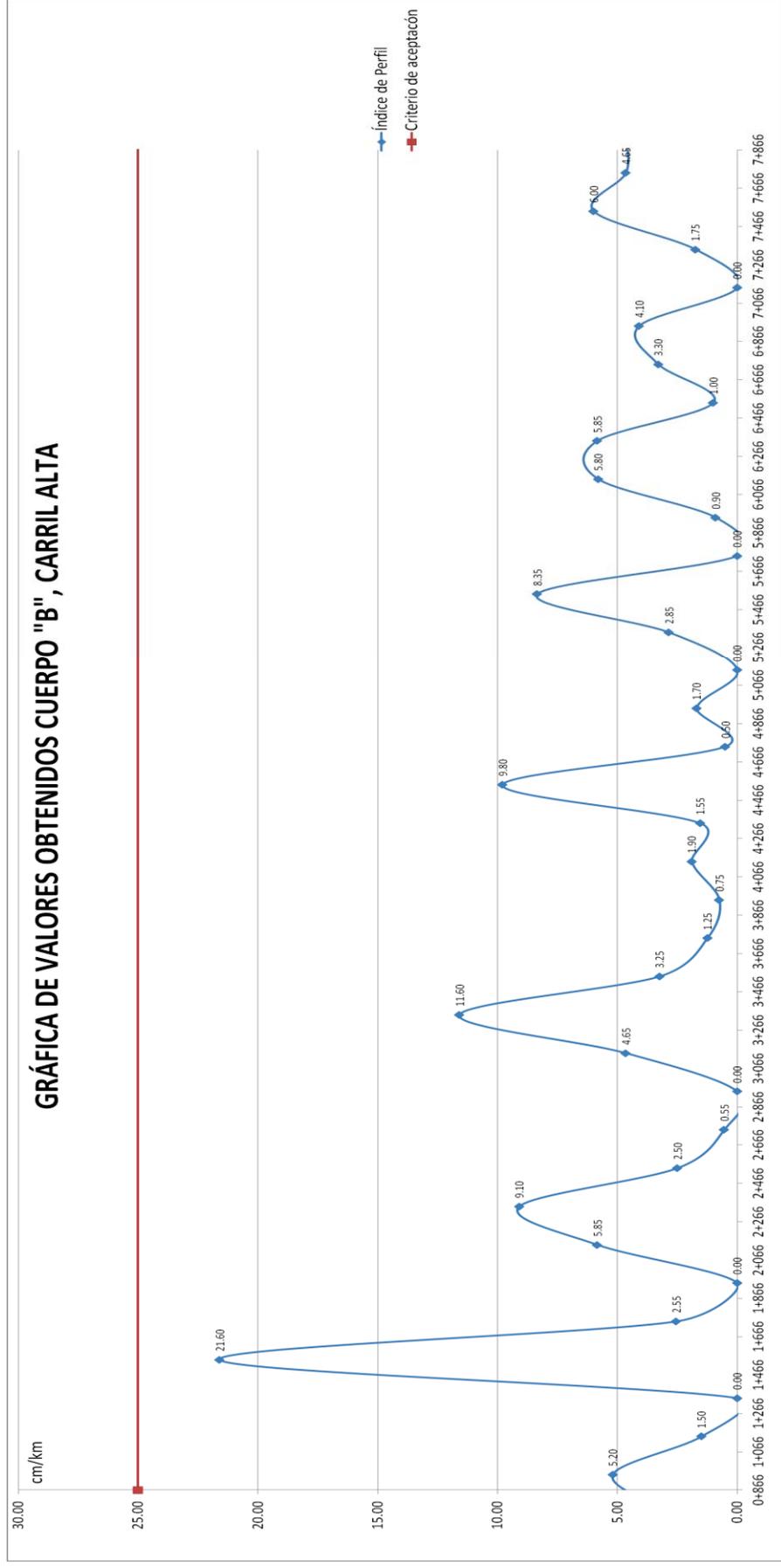
Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL ALTA

CADENAMIENTOS		CARRIL	CUERPO	SUMA DE DEF. EN MM.	INDICE DE PERFIL EN MM/KM.	SUMA DE DEF. EN CM.	INDICE DE PERFIL EN CM./KM.	RANGO DE ACEPTACIÓN E.P. 01 (25 CM/KM)
DEL KM.	AL KM.							
	7+946	ALTA	B	9.30	46.50	0.93	4.65	ACEPTABLE
7+946	7+746	ALTA	B	9.30	46.50	0.93	4.65	ACEPTABLE
7+746	7+546	ALTA	B	12.00	60.00	1.20	6.00	ACEPTABLE
7+546	7+346	ALTA	B	3.50	17.50	0.35	1.75	ACEPTABLE
7+346	7+146	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
7+146	6+946	ALTA	B	8.20	41.00	0.82	4.10	ACEPTABLE
6+946	6+746	ALTA	B	6.60	33.00	0.66	3.30	ACEPTABLE
6+746	6+546	ALTA	B	2.00	10.00	0.20	1.00	ACEPTABLE
6+546	6+346	ALTA	B	11.70	58.50	1.17	5.85	ACEPTABLE
6+346	6+146	ALTA	B	11.60	58.00	1.16	5.80	ACEPTABLE
6+146	5+946	ALTA	B	1.80	9.00	0.18	0.90	ACEPTABLE
5+946	5+746	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
5+746	5+546	ALTA	B	16.70	83.50	1.67	8.35	ACEPTABLE
5+546	5+346	ALTA	B	5.70	28.50	0.57	2.85	ACEPTABLE
5+346	5+146	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
5+146	4+946	ALTA	B	3.40	17.00	0.34	1.70	ACEPTABLE
4+946	4+746	ALTA	B	1.00	5.00	0.10	0.50	ACEPTABLE
4+746	4+546	ALTA	B	19.60	98.00	1.96	9.80	ACEPTABLE
4+546	4+346	ALTA	B	3.10	15.50	0.31	1.55	ACEPTABLE
4+346	4+146	ALTA	B	3.80	19.00	0.38	1.90	ACEPTABLE
4+146	3+946	ALTA	B	1.50	7.50	0.15	0.75	ACEPTABLE
3+946	3+746	ALTA	B	2.50	12.50	0.25	1.25	ACEPTABLE
3+746	3+546	ALTA	B	6.50	32.50	0.65	3.25	ACEPTABLE
3+546	3+346	ALTA	B	23.20	116.00	2.32	11.60	ACEPTABLE
3+346	3+146	ALTA	B	9.30	46.50	0.93	4.65	ACEPTABLE
3+146	2+946	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
2+946	2+746	ALTA	B	1.10	5.50	0.11	0.55	ACEPTABLE
2+746	2+546	ALTA	B	5.00	25.00	0.50	2.50	ACEPTABLE
2+546	2+346	ALTA	B	18.20	91.00	1.82	9.10	ACEPTABLE
2+346	2+146	ALTA	B	11.70	58.50	1.17	5.85	ACEPTABLE
2+146	1+946	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
1+946	1+746	ALTA	B	5.10	25.50	0.51	2.55	ACEPTABLE
1+746	1+546	ALTA	B	43.20	216.00	4.32	21.60	ACEPTABLE
1+546	1+346	ALTA	B	0.00	0.00	0.00	0.00	ACEPTABLE
1+346	1+146	ALTA	B	3.00	15.00	0.30	1.50	ACEPTABLE
1+146	0+946	ALTA	B	10.40	52.00	1.04	5.20	ACEPTABLE
0+946	0+746	ALTA	B	5.60	28.00	0.56	2.80	ACEPTABLE

Tabla 6.9. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.



Gráfica 6.8. Valores obtenidos del índice de perfil en el cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Al analizar las tablas y gráficas anteriores del índice de perfil del pavimento obtenido en las pruebas después de haber realizado los trabajos de perfilado y texturizado (primera pasada de la perfiladora) de los sub-tramos de 200 m del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, se observa que:

- El **100.00 %** se considera que se encuentra en el rango de calidad de 00.00 a 26.00 cm/km (**MUY BUENO**),

Rango	Parámetros de Evaluación	Nº. de tramos	%
Muy Bueno	0.00 – 26.00	147	100.00
Bueno	26.10 – 31.00	0	0.00
Regular	31.10 – 46.00	0	0.00
Malo	> 46.00	0	0.00
<b>Suma</b>		<b>147</b>	<b>100</b>

Tabla 6.10. Tabla de parámetros de evaluación y expresión de resultados en porcentaje del índice de perfil posterior.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Esto indica que todos los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado fueron restaurados satisfactoriamente con un rango de calidad de superficie **MUY BUENO**, y además cumple con el rango mínimo de aceptación de 25 cm/km, establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

## **6.2. Procedimiento de obtención del coeficiente de fricción en campo.**

Para dar por terminados los trabajos de perfilado y texturizado de la superficie de rodadura concreto hidráulico, se lleva a cabo la obtención del coeficiente de fricción de la misma, siguiendo las especificaciones previamente establecidas en el capítulo 3, que a continuación se describen:

### **Preparación e inspección antes de la prueba**

- Una vez que el Mu-Meter se encuentra en campo y acondicionado de manera correcta para su operación, de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante, y de igual manera haber checado que no haya ocurrido algún daño al mismo durante su traslado, se procede a encender el equipo computarizado contenedor del software procesador de los datos. Este equipo no es necesario calibrarlo cuando se operará por primera vez, ya que ha sido previamente calibrado en fábrica.
- Después de haber checado el estado de carga de las baterías de la fuente de energía, se procede encender la computadora, que es transportada dentro del vehículo que jala el remolque, para posteriormente poner en marcha el software proporcionado por el fabricante y sincronizar directamente la computadora con los sensores del remolque (Mu-Meter).
- Una vez puesto en marcha el software de fabricante, debe oprimirse “nuevo” para dar inicio a un nuevo trabajo o prueba y se procede a introducir algunos parámetros descriptivos los cuales son respecto a las condiciones del sitio de realización de la prueba:

- *Programa Número:* Indica el número que se asigna automáticamente a cada prueba para su identificación. Además, deben llenarse los campos adicionales requeridos como fecha, lugar, etc.
- *Designación:* Indica si se trata de una autopista, aeropuerto, etc.
- *Nombre de la autopista:* Se introduce el nombre de la autopista donde se realiza la prueba.
- *Agua ON/OFF:* Esta casilla debe ser marcada para indicar que se hará uso del sistema de mojado durante la ejecución de la prueba. Cuando no se marca esta casilla, el programa automáticamente va al modo de prueba de invierno.
- *Velocidad:* Se introduce la velocidad de prueba requerida, las indicadas comúnmente son 64 km/hr y 96 km/hr.
- *Distancia de prueba:* Debe ingresarse el valor de la distancia en la que se realizará la prueba, esto para que el software levante las llantas sensoras y pare el flujo de agua, para dar por terminada la ejecución de la prueba automáticamente. Si no se ingresa un valor, el software seguirá registrando dato hasta ser interrumpida oprimiendo el botón “stop”.
- Al final de haberse realizado la ejecución de una prueba, debe guardarse cada trabajo dando clic en “guardar” y después “ok”, esto para poder entrar a una pantalla para la realización de una nueva prueba o para hacer un guardado al final de la jornada.

- Como otra medida de inspección antes de la prueba, se verifica que el gancho remolcador se encuentre a una altura y conexión adecuado con el vehículo remolcador.
- Se checa que la presión de las llantas sea de 30 psi  $\pm$  0.5, y se ajusta según se requiera. De igual manera, se verifica el desgaste de la llanta que tomará la lectura de fricción y se verifica que la tensión de la correa que conecta el Mu-Meter con el vehículo sea adecuada.
- Seguido a esto, se procede a llenar el tanque de agua que contiene el Mu-Meter, según se requiera. El agua con que se llena el tanque, es factor indispensable durante la ejecución de la obtención del coeficiente de fricción, ya que simula la superficie mojada, además de que disminuye considerablemente el desgaste de la llanta sensora del coeficiente de fricción. Debe tenerse especial cuidado en utilizar solamente agua potable y totalmente libre de impurezas, para evitar que ocurran malas lecturas hasta el deterioro considerable del mecanismo de medición.
- Después, se verifica y se alinea la boquilla que expulsará el chorro de agua directamente sobre el neumático sensor. Esto debe realizarse con la herramienta de guía que posee la boquilla.

### **Ejecución de la prueba**

- Para dar inicio a la prueba de la obtención del coeficiente de fricción, debe alinearse el vehículo remolcador en la superficie de la carretera y respecto al Mu-Meter de manera adecuada.

- Después de haber logrado la alineación adecuada, salir del vehículo remolcador para verificar y ajustar la colocación de la boquilla del chorro de agua, la cual debe apuntar a aproximadamente 7.6 cm delante de los neumáticos sensores.
- Una vez realizados estos pasos, se procede a presionar el botón de comienzo, el cual activa el flujo del agua por la boquilla y coloca en su posición las llantas sensoras para la medición. Se debe esperar a que dicho botón esté en verde lo cual indica que las llantas están completamente en su posición respecto al suelo.
- El vehículo remolcador debe acelerarse y conducirse a la velocidad promedio de entre 70 y 75 km/hr, velocidad en la cual se realiza la prueba.
- La prueba termina automáticamente al recorrer las distancias predefinidas en los parámetros introducidos en la configuración de la ejecución del nuevo trabajo. Por último, debe asegurarse que se haya guardado satisfactoriamente la prueba realizada, para su posterior análisis.

### **6.2.1. Obtención del coeficiente de fricción.**

El método utilizado para la obtención del coeficiente de fricción de la superficie de rodamiento de concreto hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro, es el indicado en el capítulo 3 de esta investigación, en el cual se describen los pasos para la obtención de los valores que más adelante se presentan.

El equipo utilizado para la obtención del coeficiente de fricción es un equipo especializado y computarizado, llamado Mu-Meter, tipo DFT (Dynamic Friction

Tester), marca NAC Dynamics LLC, el cual consiste en un pequeño remolque de 3 ruedas que realiza las medidas y es remolcado por un vehículo no especializado ya que éste no es un equipo muy voluminoso.



Figura 6.6. Mu-Meter, tipo DFT (Dynamic Friction Tester), marca NAC Dynamics LLC.

Fuente: Propia; 2013.

Dichas mediciones son enviadas y procesadas por un equipo de cómputo que es transportado y manipulado en el vehículo que remolca el equipo Mu-Meter. Dicho equipo de cómputo que se encuentra conectado a los sensores y al odómetro que contiene el Mu-Meter en sus tres ruedas especializadas para la medición y obtención de las siguientes características particulares:

- Coeficiente de fricción de la superficie de rodamiento.
- Distancia horizontal recorrida (odómetro).
- Velocidad a la que se desplaza el Mu-Meter.

- Temperatura ambiente y temperatura de la superficie de rodamiento del camino.

Así, finalmente el software del equipo procesa los datos obtenidos de las mediciones obtenidas anteriormente, los cuales son arrojados por medio de archivos digitales directamente a hoja de cálculo de Excel, para posteriormente ser analizados e interpretados de acuerdo a las especificaciones particulares del proyecto.

De acuerdo con la normativa de la SCT, la obtención del coeficiente de fricción en cada línea de tendido, se realiza a lo largo de la línea imaginaria ubicada a  $(90 \pm 20)$  cm. de la orilla interior de la línea de tendido por evaluar, esto a una velocidad promedio entre 70 y 75 km/hr.

- La ejecución de los trabajos se realizó el día 21 de Agosto del 2013.
- El coeficiente de fricción se obtuvo a partir de los datos obtenidos en el proceso de medición con el equipo Mu-Meter, los cuales fueron vaciados en forma digital en hojas de Excel para su posterior cálculo, análisis e interpretación. La expresión para obtener el coeficiente de fricción de cada sub-tramo de camino es la siguiente:

$$f = \frac{Fa}{N}$$

Donde:

$f$ = Coeficiente de fricción con el pavimento mojado.

$Fa$ = Fuerza de fricción con el pavimento mojado.

$N$ = Peso sobre la rueda.

- Las mediciones que arrojó el equipo Mu-Meter fueron dadas a cada metro, pero su análisis se realizó promediando dichos valores de tramos de 200 m.



Figura 6.7. Ejecución de la prueba de coeficiente de fricción, posterior a los trabajos de perfilado y texturizado

Fuente: Propia; 2013.

A continuación se presenta el coeficiente de fricción obtenido, posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos:

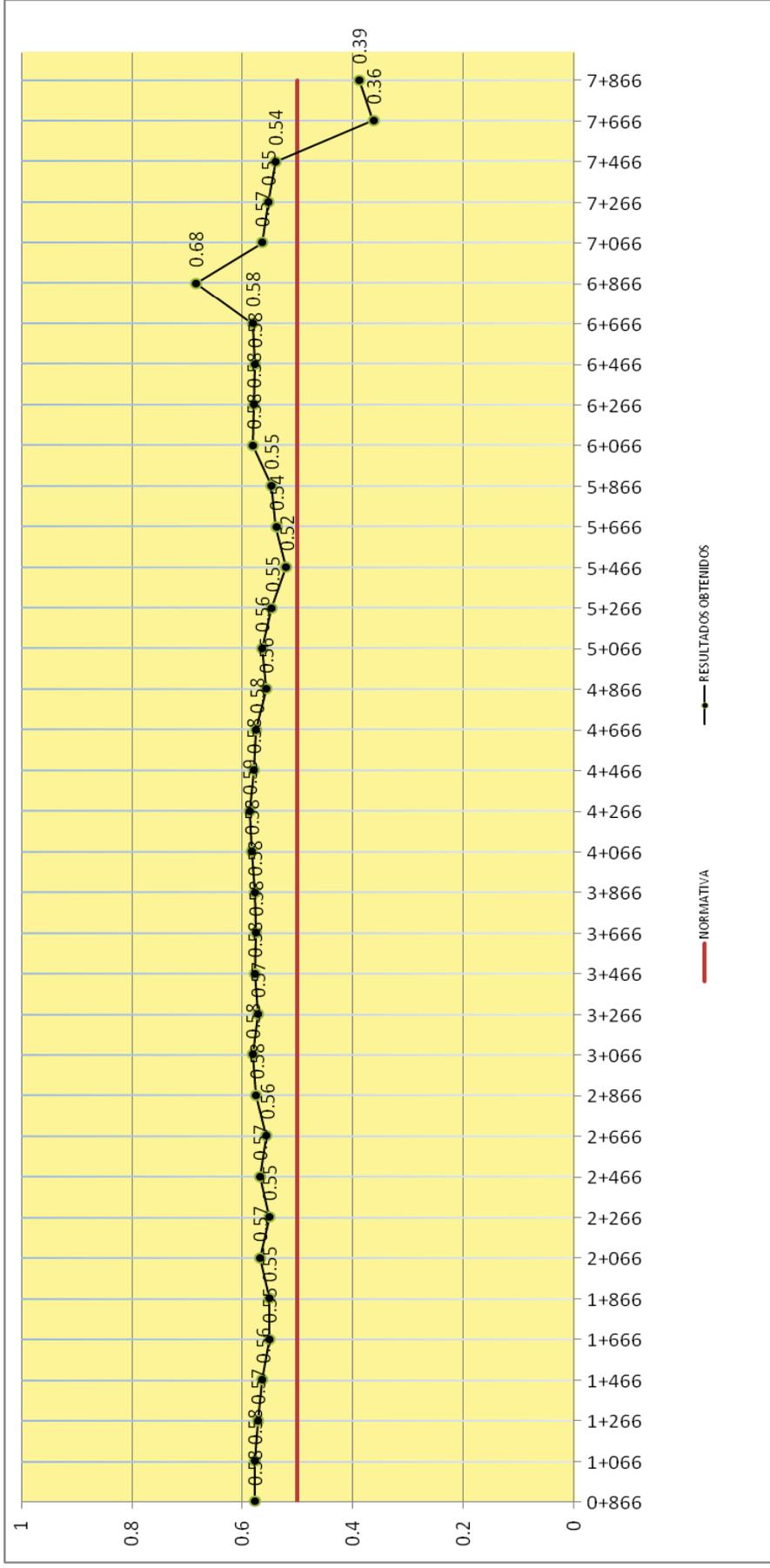
## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL BAJA

TRAMO		SUB TRAMO		VELOCIDAD PROMEDIO	TEMPERATURA DEL TERRENO	FLUJO DE AGUA	FRICCION PROMEDIO	FRICCION MINIMA
DEL KM.	AL KM.	DEL KM.	AL KM.					
0+000	36+751		0+866	64	30	50	0.58	0.50
0+000	36+751	0+866	1+066	64	30	50	0.58	0.50
0+000	36+751	1+066	1+266	72	31	57	0.57	0.55
0+000	36+751	1+266	1+466	75	31	59	0.56	0.49
0+000	36+751	1+466	1+666	75	31	59	0.55	0.50
0+000	36+751	1+666	1+866	73	32	58	0.55	0.53
0+000	36+751	1+866	2+066	73	32	58	0.57	0.54
0+000	36+751	2+066	2+266	73	32	58	0.55	0.51
0+000	36+751	2+266	2+466	75	32	59	0.57	0.53
0+000	36+751	2+466	2+666	76	32	60	0.56	0.52
0+000	36+751	2+666	2+866	72	32	57	0.58	0.54
0+000	36+751	2+866	3+066	71	32	57	0.58	0.56
0+000	36+751	3+066	3+266	73	33	58	0.57	0.53
0+000	36+751	3+266	3+466	75	33	59	0.58	0.52
0+000	36+751	3+466	3+666	74	33	58	0.58	0.50
0+000	36+751	3+666	3+866	72	33	57	0.58	0.55
0+000	36+751	3+866	4+066	72	33	57	0.58	0.55
0+000	36+751	4+066	4+266	73	33	58	0.59	0.56
0+000	36+751	4+266	4+466	76	34	60	0.58	0.55
0+000	36+751	4+466	4+666	74	34	59	0.58	0.53
0+000	36+751	4+666	4+866	73	34	57	0.56	0.41
0+000	36+751	4+866	5+066	74	34	58	0.56	0.54
0+000	36+751	5+066	5+266	76	34	60	0.55	0.49
0+000	36+751	5+266	5+466	74	34	58	0.52	0.41
0+000	36+751	5+466	5+666	69	34	54	0.54	0.38
0+000	36+751	5+666	5+866	70	35	55	0.55	0.39
0+000	36+751	5+866	6+066	73	35	57	0.58	0.56
0+000	36+751	6+066	6+266	73	35	57	0.58	0.57
0+000	36+751	6+266	6+466	70	35	55	0.58	0.57
0+000	36+751	6+466	6+666	72	35	57	0.58	0.55
0+000	36+751	6+666	6+866	75	35	59	0.68	0.56
0+000	36+751	6+866	7+066	71	36	56	0.57	0.54
0+000	36+751	7+066	7+266	70	36	55	0.55	0.52
0+000	36+751	7+266	7+466	73	37	57	0.54	0.37
0+000	36+751	7+466	7+666	76	38	59	0.36	0.32
0+000	36+751	7+666	7+866	79	39	62	0.39	0.32
		<b>VALOR PROMEDIO:</b>		<b>0.56</b>				
		<b>VALOR MAXIMO:</b>		<b>0.68</b>				
		<b>VALOR MINIMO:</b>		<b>0.36</b>				

Tabla 6.11. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en cuerpo "A", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

**CARTA ESTADÍSTICA RESISTENCIA A LA FRICCIÓN EN CPO "A" CARRIL DE BAJA DEL KM. 0+866 AL KM 7+866**



Gráfica 6.9. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en el cuerpo "A", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

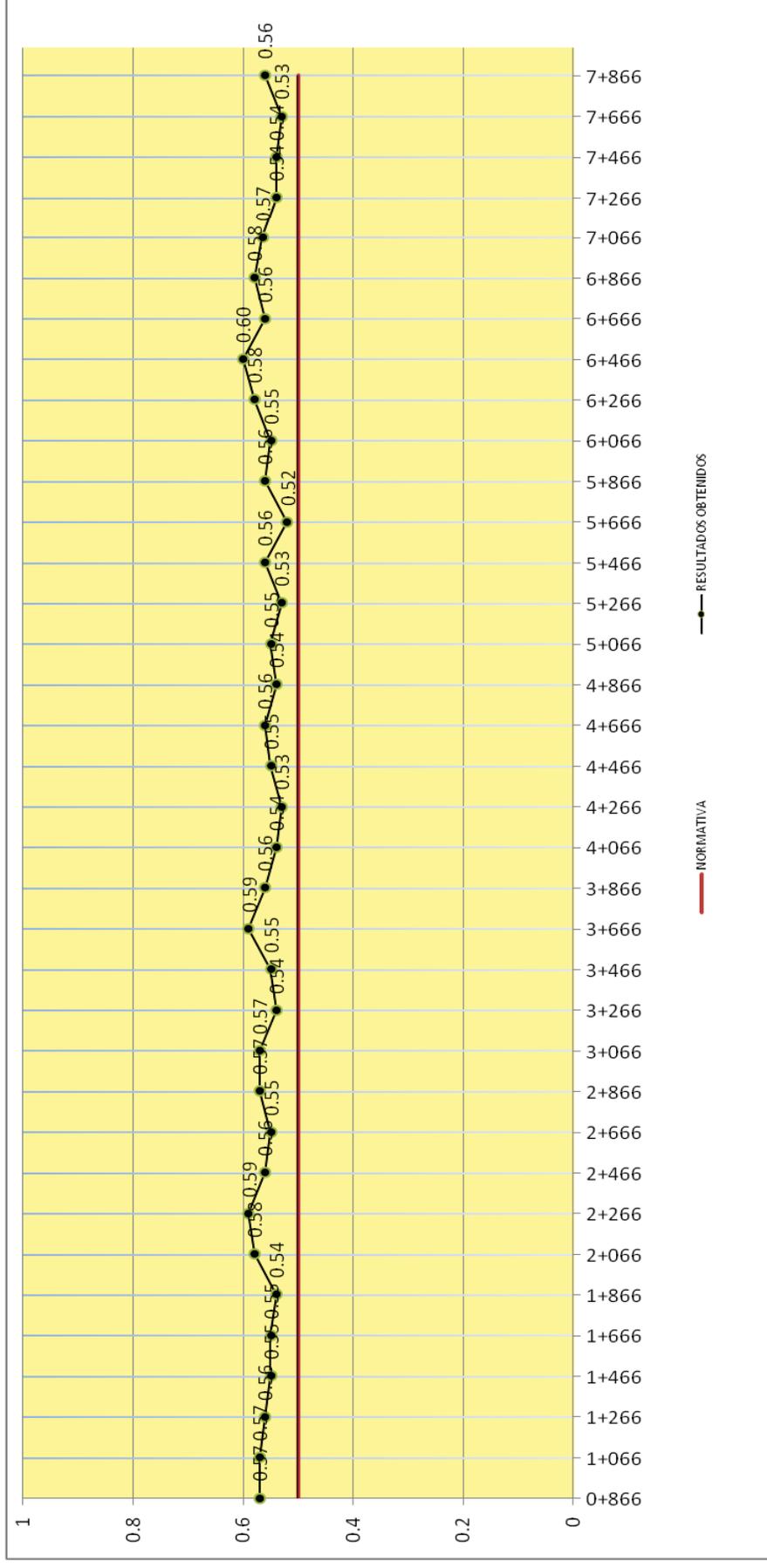
## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "A", CARRIL ALTA

TRAMO		SUB TRAMO		VELOCIDAD PROMEDIO	TEMPERATURA DEL TERRENO	FLUJO DE AGUA	FRICCION PROMEDIO	FRICCION MINIMA
DEL KM.	AL KM.	DEL KM.	AL KM.					
0+000	36+751		0+866	63	31	51	0.57	0.51
0+000	36+751	0+866	1+066	63	31	51	0.57	0.51
0+000	36+751	1+066	1+266	72	32	56	0.56	0.50
0+000	36+751	1+266	1+466	74	32	56	0.55	0.49
0+000	36+751	1+466	1+666	75	31	58	0.55	0.51
0+000	36+751	1+666	1+866	75	31	56	0.54	0.52
0+000	36+751	1+866	2+066	74	32	57	0.58	0.52
0+000	36+751	2+066	2+266	75	32	57	0.59	0.51
0+000	36+751	2+266	2+466	75	33	58	0.56	0.51
0+000	36+751	2+466	2+666	77	33	59	0.55	0.53
0+000	36+751	2+666	2+866	76	32	56	0.57	0.54
0+000	36+751	2+866	3+066	74	31	56	0.57	0.56
0+000	36+751	3+066	3+266	74	33	57	0.54	0.51
0+000	36+751	3+266	3+466	75	32	57	0.55	0.51
0+000	36+751	3+466	3+666	76	31	58	0.59	0.52
0+000	36+751	3+666	3+866	75	31	57	0.56	0.53
0+000	36+751	3+866	4+066	74	32	58	0.54	0.52
0+000	36+751	4+066	4+266	74	32	69	0.53	0.53
0+000	36+751	4+266	4+466	76	33	59	0.55	0.56
0+000	36+751	4+466	4+666	75	33	59	0.56	0.50
0+000	36+751	4+666	4+866	75	33	58	0.54	0.52
0+000	36+751	4+866	5+066	74	32	58	0.55	0.51
0+000	36+751	5+066	5+266	75	33	60	0.53	0.60
0+000	36+751	5+266	5+466	76	33	58	0.56	0.48
0+000	36+751	5+466	5+666	77	32	56	0.52	0.53
0+000	36+751	5+666	5+866	73	34	55	0.56	0.51
0+000	36+751	5+866	6+066	73	34	56	0.55	0.49
0+000	36+751	6+066	6+266	74	34	57	0.58	0.55
0+000	36+751	6+266	6+466	74	34	58	0.60	0.56
0+000	36+751	6+466	6+666	75	33	56	0.56	0.53
0+000	36+751	6+666	6+866	76	33	60	0.58	0.51
0+000	36+751	6+866	7+066	74	35	58	0.57	0.56
0+000	36+751	7+066	7+266	73	35	57	0.54	0.52
0+000	36+751	7+266	7+466	73	36	57	0.54	0.52
0+000	36+751	7+466	7+666	75	35	56	0.53	0.51
0+000	36+751	7+666	7+866	77	35	56	0.56	0.50
			<b>VALOR PROMEDIO:</b>	<b>0.56</b>				
			<b>VALOR MAXIMO:</b>	<b>0.67</b>				
			<b>VALOR MINIMO:</b>	<b>0.48</b>				

Tabla 6.12. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en cuerpo "A", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

**CARTA ESTADÍSTICA RESISTENCIA A LA FRICCIÓN EN CPO "A" CARRIL DE ALTA DEL KM. 0+866 AL KM 7+866**



Gráfica 6.10. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en el cuerpo "A", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

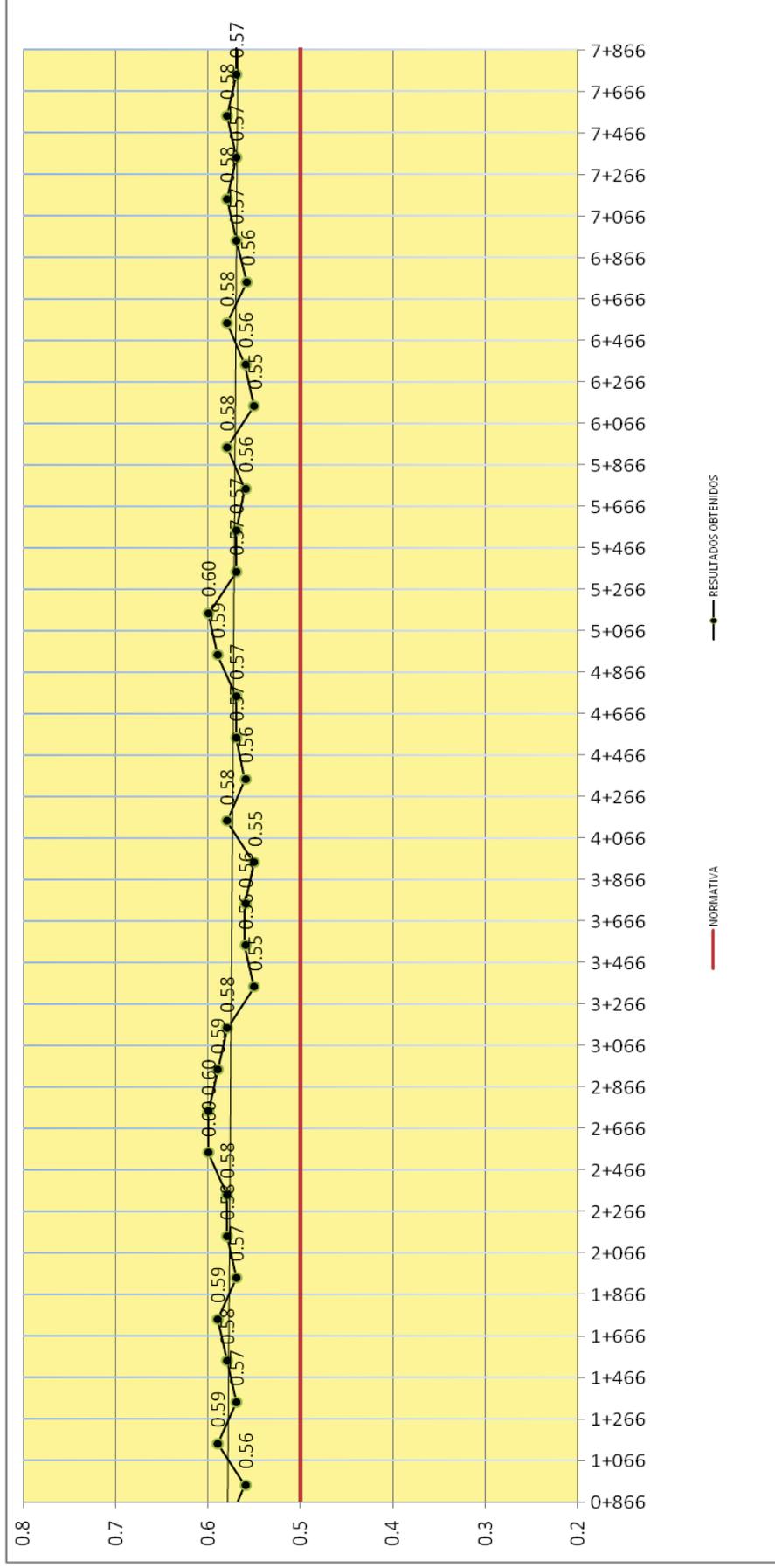
## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL BAJA

TRAMO		SUB TRAMO		VELOCIDAD PROMEDIO	TEMPERATURA DEL TERRENO	FLUJO DE AGUA	FRICCION PROMEDIO	FRICCION MINIMA
DEL KM.	AL KM.	DEL KM.	AL KM.					
0+000	36+751		7+946	77	29	56	0.57	0.57
0+000	36+751	7+946	7+746	77	29	56	0.57	0.57
0+000	36+751	7+746	7+546	76	28	59	0.58	0.54
0+000	36+751	7+546	7+346	76	28	58	0.57	0.55
0+000	36+751	7+346	7+146	75	27	57	0.58	0.54
0+000	36+751	7+146	6+946	74	27	59	0.57	0.56
0+000	36+751	6+946	6+746	73	29	57	0.56	0.53
0+000	36+751	6+746	6+546	77	29	58	0.58	0.50
0+000	36+751	6+546	6+346	76	28	60	0.56	0.53
0+000	36+751	6+346	6+146	76	28	61	0.55	0.50
0+000	36+751	6+146	5+946	77	27	58	0.58	0.55
0+000	36+751	5+946	5+746	75	29	59	0.56	0.56
0+000	36+751	5+746	5+546	75	28	59	0.57	0.54
0+000	36+751	5+546	5+346	75	30	57	0.57	0.53
0+000	36+751	5+346	5+146	74	29	56	0.60	0.53
0+000	36+751	5+146	4+946	73	29	55	0.59	0.57
0+000	36+751	4+946	4+746	75	27	58	0.57	0.53
0+000	36+751	4+746	4+546	76	29	57	0.57	0.50
0+000	36+751	4+546	4+346	76	28	57	0.56	0.49
0+000	36+751	4+346	4+146	77	29	59	0.58	0.56
0+000	36+751	4+146	3+946	78	29	57	0.55	0.54
0+000	36+751	3+946	3+746	79	27	56	0.56	0.52
0+000	36+751	3+746	3+546	78	29	61	0.56	0.52
0+000	36+751	3+546	3+346	77	28	60	0.55	0.52
0+000	36+751	3+346	3+146	77	28	59	0.58	0.51
0+000	36+751	3+146	2+946	76	29	58	0.59	0.49
0+000	36+751	2+946	2+746	76	28	58	0.60	0.52
0+000	36+751	2+746	2+546	76	28	59	0.60	0.55
0+000	36+751	2+546	2+346	75	29	58	0.58	0.54
0+000	36+751	2+346	2+146	75	27	58	0.58	0.53
0+000	36+751	2+146	1+946	75	28	57	0.57	0.51
0+000	36+751	1+946	1+746	76	27	59	0.59	0.52
0+000	36+751	1+746	1+546	77	29	60	0.58	0.53
0+000	36+751	1+546	1+346	76	27	59	0.57	0.54
0+000	36+751	1+346	1+146	74	28	58	0.59	0.52
0+000	36+751	1+146	0+946	74	29	57	0.56	0.50
0+000	36+751	0+946	0+746	75	30	56	0.58	0.54
			<b>VALOR PROMEDIO:</b>	<b>0.57</b>				
			<b>VALOR MAXIMO:</b>	<b>0.62</b>				
			<b>VALOR MINIMO:</b>	<b>0.49</b>				

Tabla 6.13. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en cuerpo "B", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

**CARTA ESTADÍSTICA RESISTENCIA A LA FRICCIÓN EN CPO "B" CARRIL DE BAJA DEL KM. 7+946 AL KM 0+746**



Gráfica 6.11. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en el cuerpo "B", carril de baja.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

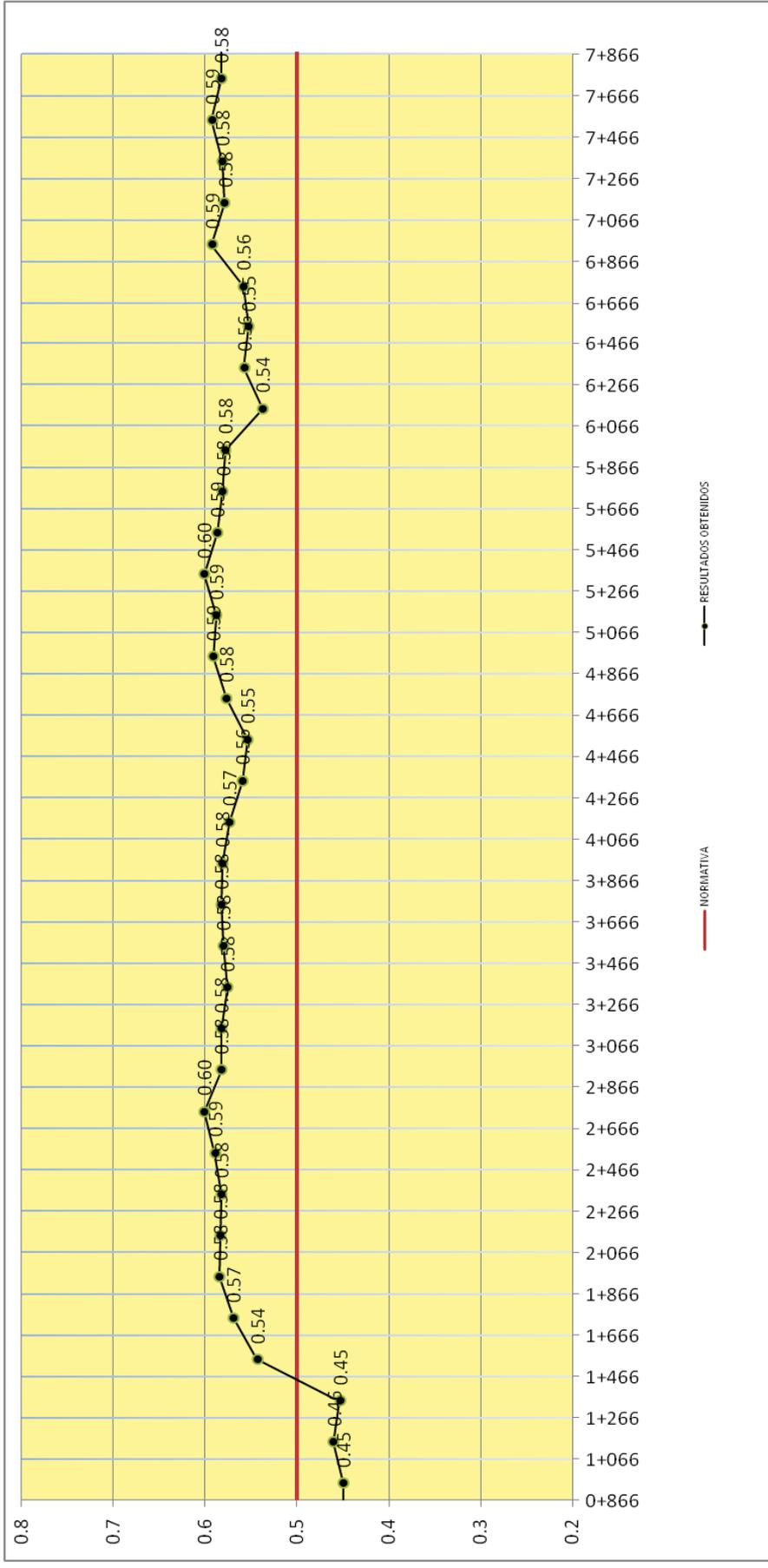
## RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS CUERPO "B", CARRIL ALTA

TRAMO		SUB TRAMO		VELOCIDAD PROMEDIO	TEMPERATURA DEL TERRENO	FLUJO DE AGUA	FRICCION PROMEDIO	FRICCION MINIMA
DEL KM.	AL KM.	DEL KM.	AL KM.					
0+000	36+751		7+946	75	27	57	0.58	0.53
0+000	36+751	7+946	7+746	75	27	57	0.58	0.53
0+000	36+751	7+746	7+546	76	27	58	0.59	0.57
0+000	36+751	7+546	7+346	76	27	59	0.58	0.56
0+000	36+751	7+346	7+146	73	27	56	0.58	0.56
0+000	36+751	7+146	6+946	73	27	57	0.59	0.56
0+000	36+751	6+946	6+746	78	27	61	0.56	0.51
0+000	36+751	6+746	6+546	77	28	60	0.55	0.47
0+000	36+751	6+546	6+346	79	28	61	0.56	0.52
0+000	36+751	6+346	6+146	78	28	61	0.54	0.49
0+000	36+751	6+146	5+946	76	28	59	0.58	0.52
0+000	36+751	5+946	5+746	75	28	59	0.58	0.54
0+000	36+751	5+746	5+546	77	28	60	0.59	0.55
0+000	36+751	5+546	5+346	72	28	57	0.60	0.58
0+000	36+751	5+346	5+146	74	28	58	0.59	0.57
0+000	36+751	5+146	4+946	75	28	59	0.59	0.57
0+000	36+751	4+946	4+746	77	28	60	0.58	0.57
0+000	36+751	4+746	4+546	76	28	60	0.55	0.50
0+000	36+751	4+546	4+346	78	28	61	0.56	0.52
0+000	36+751	4+346	4+146	77	28	60	0.57	0.55
0+000	36+751	4+146	3+946	75	28	59	0.58	0.56
0+000	36+751	3+946	3+746	73	28	57	0.58	0.54
0+000	36+751	3+746	3+546	77	28	60	0.58	0.56
0+000	36+751	3+546	3+346	76	28	59	0.58	0.54
0+000	36+751	3+346	3+146	74	28	57	0.58	0.56
0+000	36+751	3+146	2+946	76	28	59	0.58	0.56
0+000	36+751	2+946	2+746	72	28	57	0.60	0.57
0+000	36+751	2+746	2+546	73	28	57	0.59	0.55
0+000	36+751	2+546	2+346	76	28	59	0.58	0.54
0+000	36+751	2+346	2+146	74	28	58	0.58	0.57
0+000	36+751	2+146	1+946	76	28	59	0.58	0.56
0+000	36+751	1+946	1+746	73	29	57	0.57	0.56
0+000	36+751	1+746	1+546	74	29	58	0.54	0.52
0+000	36+751	1+546	1+346	73	29	57	0.45	0.40
0+000	36+751	1+346	1+146	71	29	56	0.46	0.44
0+000	36+751	1+146	0+946	72	28	57	0.45	0.43
0+000	36+751	0+946	0+746	73	28	55	0.45	0.45
			<b>VALOR PROMEDIO:</b>	<b>0.56</b>				
			<b>VALOR MAXIMO:</b>	<b>0.60</b>				
			<b>VALOR MINIMO:</b>	<b>0.40</b>				

Tabla 6.14. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

**CARTA ESTADÍSTICA RESISTENCIA A LA FRICCIÓN EN CPO "B" CARRIL DE ALTA DEL KM. 7+946 AL KM 0+746**



Gráfica 6.12. Valores obtenidos del coeficiente de fricción en el cuerpo "B", carril de alta.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Al analizar las tablas y gráficas anteriores del coeficiente de fricción del pavimento obtenido en las pruebas después de haber realizado los trabajos de perfilado y texturizado (primera pasada de la perfiladora) de los sub-tramos de 200 m del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, se observa que:

- El **95.89 %** se considera que se encuentra en el rango igual o mayor que 0.50  $\mu$  (**CUMPLE**).
- El **4.11 %** se considera que se encuentra en el rango menor que 0.50  $\mu$  (**NO CUMPLE**).

Rango	Parámetros de Evaluación	Nº. de tramos	%
No cumple	<0.50	6	4.11
Cumple	>0.50	140	95.89
<b>Suma</b>		<b>146</b>	<b>100.00</b>

Tabla 6.15. Tabla de parámetros de evaluación y expresión de resultados en porcentaje del coeficiente de fricción.

Fuente: Gestión, Servicios y Consultoría Para la Obra Pública, S.A. de C.V.: 2013.

Esto indica que la gran mayoría de los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado poseen un coeficiente de fricción aceptable, lo cual brinda un grado de seguridad y comodidad de buena calidad para los usuarios del camino, y además la gran mayoría cumple con el parámetro mínimo de aceptación requerido de entre 0.50 y 0.80  $\mu$ , establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

## CONCLUSIÓN

La restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado, para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, consiste en las acciones necesarias para desbastar el concreto hidráulico existente de la superficie de rodamiento con equipo autopropulsado, para corregir el escalonamiento entre losas del pavimento, mejorar el índice de perfil (corrección de irregularidades), el índice de fricción (rugosidad de la superficie) y el drenaje superficial (contrarresta el hidropilado), disminuir el ruido excesivo que ocasiona la interacción de los neumáticos de los vehículos con la superficie del pavimento, además proporcionar una mayor capacidad del transporte de cargas aumentando su serviciabilidad.

Con este método, se logra también aumentar de manera considerable el período de vida de los caminos de concreto hidráulico y darle además otros beneficios adicionales significativos, para que los usuarios circulen por ellos con un grado de seguridad y comodidad mayor con el que se cuenta de manera ordinaria, notándose también una mejora significativa en la suavidad de conducción en el pavimento y una iluminación adecuada de la superficie.

En síntesis, la aplicación de esta técnica ayuda a restituir la condición del pavimento rígido a su estado original de construcción, pudiendo restituir sus condiciones de servicio tanto funcional, como estructural, reduciendo considerablemente la necesidad de efectuar reparaciones a futuro con costos

demasiado elevados y que puedan causar mayores daños a la superficie de rodamiento del camino a tratar.

Como objetivo general del presente estudio se planteó proponer el procedimiento de restauración de pavimentos rígidos de concreto hidráulico mediante el método de perfilado y texturizado, para el Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, el cual se encuentra satisfactoriamente descrito en el capítulo 3 de esta investigación, en su totalidad. Dicho procedimiento fue integrado con la experimentación de la observación de la planificación y la ejecución de los trabajos en campo aplicados en la realidad, así como con el apoyo de las normas y especificaciones utilizadas para la realización del mismo.

En lo referente al primer objetivo particular: definir el concepto de carretera, se estableció que una carretera se entiende como la adecuación de una capa de materiales determinados sobre la superficie terrestre que cumpla con los requerimientos del ancho, alineamiento y pendiente con el propósito de soportar de manera satisfactoria el tránsito de vehículos por su superficie de rodamiento, y además cumplir con las necesidades particulares para las cuales fue calculada y proyectada.

Con respecto al segundo objetivo particular: señalar el concepto de pavimentos rígidos, se señaló que los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos son aquellos que tienen la característica de poseer una resistencia considerable a la flexión, comparados con los pavimentos de asfalto o pavimentos flexibles. Otra característica que los hace diferir de los pavimentos

asfálticos, es que se ven afectados considerablemente por los cambios de temperatura.

De acuerdo con el tercer objetivo particular: determinar el índice de perfil del camino previo a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado, se analizó mediante tablas y gráficas obtenidas a partir de perfilogramas obtenidos en campo con el equipo de medición especializado y computarizados llamado perfilógrafo tipo California, que la mayoría de los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado presentaban una condición inicial de irregularidad un poco alta, además debían cumplir con el rango mínimo de aceptación de 25 cm/km, establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

De igual manera, con lo referente al cuarto objetivo particular: determinar el índice de perfil del camino posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado (primera pasada de la perfiladora), se analizó mediante tablas y gráficas obtenidas a partir de perfilogramas obtenidos en campo con el equipo de medición especializado y computarizados llamado perfilógrafo tipo California, que todos los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado fueron restaurados satisfactoriamente con un rango de calidad de superficie muy bueno, y además cumplieron con el rango mínimo de aceptación de 25 cm/km, establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

Como quinto objetivo particular se planteó: determinar el coeficiente de fricción del camino posterior a los trabajos de restauración mediante el método de perfilado y texturizado, se analizó mediante tablas y gráficas de datos obtenidos en la realización de la prueba de coeficiente de fricción obtenidos en campo con el equipo de medición especializado y computarizados llamado Mu-Meter tipo DFT, que la gran mayoría de los sub-tramos de pavimento que fueron sometidos a restauración mediante el método de perfilado y texturizado poseen un coeficiente de fricción aceptable, lo cual brinda un grado de seguridad y comodidad de buena calidad para los usuarios del camino, y además la gran mayoría cumple con el parámetro mínimo de aceptación requerido de entre 0.50 y 0.80  $\mu$ , establecido previamente por la dependencia (CAPUFE).

Como sexto objetivo particular se formuló: señalar los beneficios de la restauración del pavimento rígido del Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos cuerpos, utilizando el método de perfilado y texturizado, que son el mejoramiento del índice de perfil del camino, mejoramiento del coeficiente de fricción, disminución el ruido excesivo al transitar, contrarrestar el hidropneumático, una mejor suavidad de conducción en el pavimento, restituir sus condiciones de servicio tanto funcional, como estructural, los cuales fueron descritos en el capítulo 3 de esta investigación.

Referente a lo planteado al inicio de esta investigación, en la pregunta de investigación: ¿Cuáles serán los beneficios y propiedades particulares que proporcionará la restauración de pavimentos rígidos mediante el método de perfilado y texturizado, para Libramiento Noreste de Querétaro del km 0+866 al 7+866, ambos

cuerpos? Se observó que los beneficios puntualizados anteriormente se ven reflejados directamente en la satisfacción y comodidad de los usuarios de esta vía, ya que es una de las más transitadas e importantes del estado de Querétaro de Arteaga, usadas para transporte de mercancía y carga pesada, además de reducir los índices de accidentes que se tienen registrados en la misma.

Considerando que la resistencia de diseño del concreto hidráulico está referenciada a los 28 días y que ésta se va incrementando después de un año en un 20%, la reducción de 6 mm en el espesor por el perfilado tiene un efecto despreciable en la vida útil del pavimento, sin embargo, fresar más de 10 mm en un solo período puede resultar perjudicial para la capacidad estructural del pavimento.

Se hace la aclaración de que la ejecución de los trabajos de perfilado y texturizado se puede realizar en la superficie de rodamiento de concreto hidráulico de un camino, hasta tres veces pero en diferente período de tiempo, afirmando que no es conveniente perfilar más de una vez la misma sección en el mismo período de tiempo.

Por lo tanto, se recomienda que para los tramos de concreto hidráulico a restaurar mediante el perfilado y texturizado se realice un solo perfilado, para no disminuir de manera considerable el espesor del pavimento y evitar afectar la capacidad estructural de las losas de concreto hidráulico.

## BIBLIOGRAFÍA

American Concrete Institute (Detroit). Committee 316. (1981).

Práctica recomendable para la construcción de pavimentos y bases de concreto (ACI 316-74).

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México.

Crespo Villalaz, Carlos. (1996).

Vías terrestres y aeropistas.

Ed. Limusa, México.

Hernández Sampieri, Roberto; Fernández Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar (2007).

Metodología de la investigación.

McGraw-Hill/Interamericana, México.

Olivera Bustamante, Fernando. (1996).

Estructuración de vías terrestres.

Compañía Editorial Continental, México.

Salazar Rodríguez, Aurelio. (1998).

Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. (1974).

Manual de proyecto geométrico de carreteras.

Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México.

Tamayo y Tamayo, Mario. (2000).

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa, México.

Tonias Demetrios, E. (2004).

Manual del ingeniero civil, Tomo II.

McGraw-Hill, México.

## **OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN**

Cementos Mexicanos (2012).

Sustento técnico para llevar a cabo un solo perfilado.

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ui=2&ik=64ab7b0e5e&view=pt&search=inbox&th=13..30/11/2012>.

Información de Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2006).

M·MMP·4·07·002/06

<http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1>

Información de Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2003).

N·CSV·CAR·3·02·010/03

<http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1>

Información de Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2006).

N·CSV·CAR·3·02·009/06

<http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1>

Instituto Mexicano del Transporte. (2002).

Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

<http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt170.pdf>

Roco H., Víctor; Fuentes L., Claudio; Valverde P., Sergio. (2002).

Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos.

[http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos\\_pdf/33VictorRocoResistenciaDeslizamiento.pdf](http://www2.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/33VictorRocoResistenciaDeslizamiento.pdf)

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos. (2013).

Proyecto de señalamiento de protección de obra de la reparación de losas de concreto hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro.

# **ANEXO 1**

## **PLANTA DEL TRAMO KM 0+866 AL 37+500 DEL LIBRAMIENTO NORESTE DE QUERÉTARO**

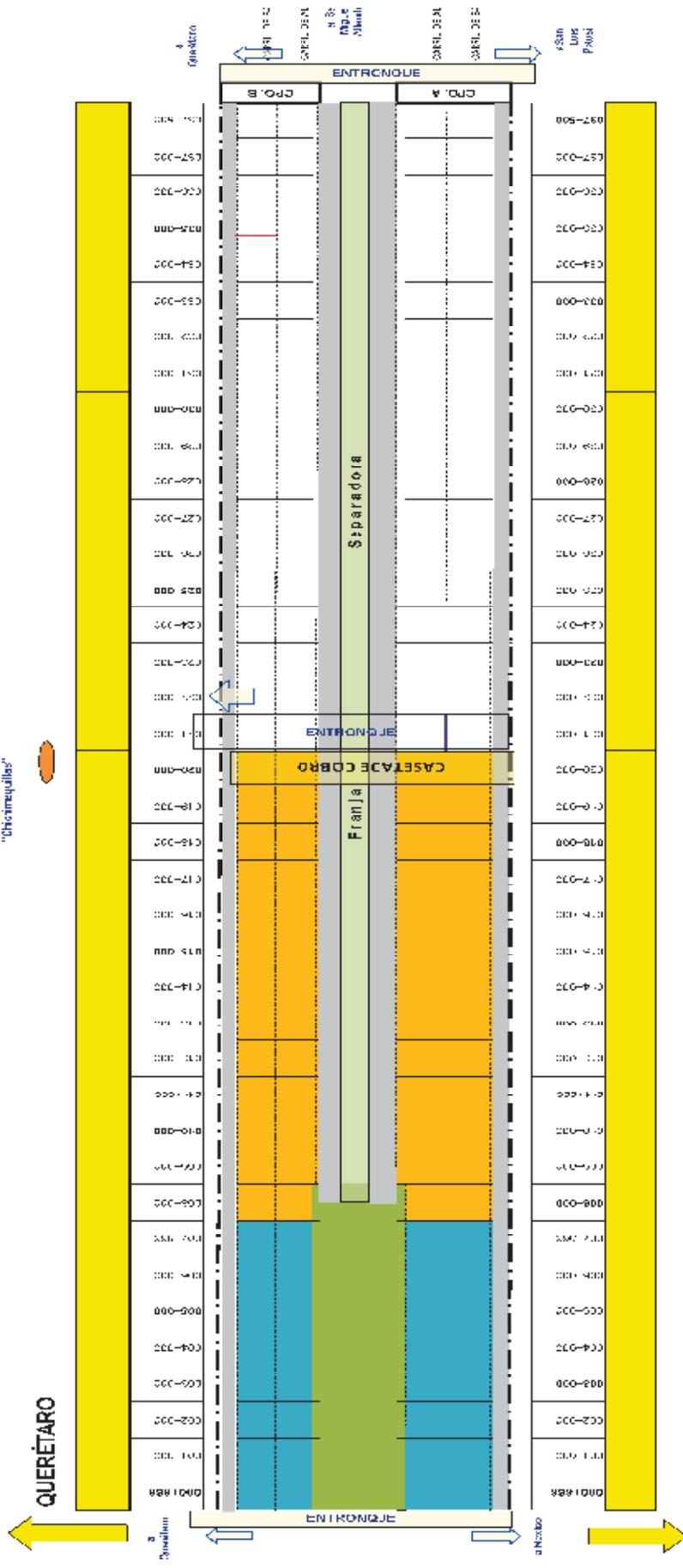
**(Fuente: Proyecto de reparación de losas de  
concreto hidráulico del Libramiento Noreste de  
Querétaro; CAPUFE 2013).**

**AUTORÍA: LIBRAMIENTO NORESTE DE QUERÉTARO**

**RESTAURACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILADO Y TEXTURIZADO, PARA EL LIBRAMIENTO NORESTE DE QUERÉTARO DE. KM 0+866 AL 7+866. AMBOS CUERPOS.**

**PLANTA DEL TRAMO KM 0+866 AL 37+500 DEL LIBRAMIENTO NORESTE DE QUERÉTARO**

Cambio de Conservación "Chimiquillas"



**MÉXICO**      PERFILADO Y TEXTURIZADO DEL TRAMO 0+866 AL 7+866, AMBOS CUERPOS.

## **ANEXO 2**

### **PROYECTO DE SEÑALAMIENTO DE PROTECCIÓN DE OBRA EN REPARACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO**

**(Fuente: Proyecto de señalamiento de protección de  
obra de la reparación de losas de concreto  
hidráulico del Libramiento Noreste de Querétaro;  
CAPUFE 2013.).**

