



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**COMPARACIÓN DE VARIAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y
RÍGIDOS, SECTOR POLPAICO – LA TRAMPILLA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

NICOLÁS GASTÓN BURGOS ESTRADA

**PROFESOR GUÍA:
JULIO TORREJÓN OLMOS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA
GABRIELA MUÑOZ ROJAS**

**SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2008**

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: NICOLÁS BURGOS ESTRADA
FECHA: 06/10/2008
PROF. GUÍA: Sr. JULIO TORREJÓN O.

“COMPARACIÓN DE VARIAS ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS, SECTOR POLPAICO – LA TRAMPILLA”

La presente investigación se enmarca en el seguimiento de tramos experimentales construidos por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, con el objetivo de evaluar diferentes soluciones de pavimentos y registrar su comportamiento en el tiempo.

El tramo estudiado construido en el año 1995 incluye diversas soluciones de pavimentos flexibles y rígidos. Para determinar el comportamiento de cada tramo se desarrollará una verificación, teniendo como referencia los métodos de diseño utilizados, una estimación de las solicitaciones que han afectado al tramo, una inspección visual de deterioros y un análisis de los parámetros indicadores representativos de la condición de los tipos de pavimentos estudiados, algunos de ellos desde su construcción, y además una estimación de la evolución del índice de serviciabilidad, para cada una de las soluciones evaluadas.

Los tipos de soluciones que comprende la presente evaluación son: dobles tratamientos superficiales con emulsión normal y emulsión elastomérica; pavimentos asfálticos proyectados con diferentes métodos de diseño y construidos con mezcla normal y con mezcla modificada con elastómero; pavimentos de hormigón proyectados con diferentes métodos de diseño, además de diferentes estructuras de traspaso de carga en la junta transversal y longitudes de losas de cuatro y seis metros.

De acuerdo a los resultados del análisis realizado se comprueba que el método AASHTO representó de buena manera el comportamiento de los pavimentos tanto de hormigón como de asfalto. Los tramos de pavimentos de hormigón diseñados mediante el método AASHTO y de longitudes de losas de cuatro metros, muestran un comportamiento por sobre el resto de las soluciones aplicadas en el tramo en estudio.

Los sectores con tratamientos superficiales han podido soportar en buenas condiciones las altas solicitaciones de tránsito.

Agradecimientos

El fin de este trabajo marca el término de un largo camino, el cual no podría haber sido recorrido sin la ayuda de todas esas personas que estuvieron brindándome su fuerza, cariño y ayuda.

Quisiera agradecer a mis fabulosos padres María del Carmen y Oscar por haberme guiado y apoyado durante todos estos años.

A mi familia quienes siempre estuvieron atentos a felicitar me por mis logros o a ayudarme en los momentos difíciles.

Como no agradecer a mi amor Nicolle, junto con quien he recorrido todos mis años en la universidad y ha sido parte indispensable no solo en este trabajo, sino en mi vida.

A Víctor "Negro" quien aparte de ser un gran amigo ayudó en esas largas tardes registrando deterioros en la carretera.

A mi profesor guía Don Julio Torrejón Olmos y a la señora Gabriela Muñoz por todo su tiempo y su excelente voluntad.

A todos mis amigos tanto de la universidad como en general, con quienes he compartido todo este tiempo, me han apoyado y motivado a seguir adelante siempre con las más altas aspiraciones.

A todos ustedes muchas gracias.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Antecedentes generales.....	7
1.2. Objetivos.....	8
1.3. Metodología.....	8
1.4. Resultados esperados.....	9
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.....	11
2.1 Red Vial de Chile.....	11
2.2 Soluciones de pavimentos.....	12
2.2.1 Tratamientos superficiales (pavimentos flexibles).....	12
2.2.2 Mezclas asfálticas (pavimentos flexibles).....	13
2.2.3 Losas de Hormigón (pavimentos rígidos).....	13
2.3 Descripción tramos a estudiar.....	14
2.3.1 Datos importantes de los tramos.....	17
2.3.1.1 Doble tratamiento superficial.....	17
2.3.1.2 Pavimento asfáltico.....	18
2.3.1.3 Pavimento de hormigón.....	19
2.3.2 Datos sobre la construcción del tramo experimental.....	21
2.3.2.1 Tramos de tratamientos superficiales.....	21
2.3.2.2 Tramos de pavimento asfáltico.....	22
2.3.2.3 Tramos de hormigón.....	24
CAPÍTULO 3: MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	28
3.1 Método AASHTO.....	28
3.1.1 Índice de Serviciabilidad Presente AASHTO.....	29
3.1.2 Variables que considera el método.....	29
3.1.3 Procedimiento para diseño en pavimentos flexibles.....	32
3.1.4 Procedimiento para diseño en pavimentos rígidos.....	35
3.2. Manual de Carreteras.....	37
3.3. Método mecanicista de Nueva Zelanda.....	39
3.3.1 Diseño de pavimentos asfálticos.....	40
3.3.2 Diseño de pavimentos de hormigón.....	44
3.4. Método de diseño de Tratamientos Superficiales.....	46
CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE SOLICITACIONES PRODUCTO DEL TRÁNSITO.....	49
4.1. Cálculo de eje equivalentes solicitantes hasta la actualidad.....	52

CAPÍTULO 5: DETERIOROS EN PAVIMENTOS.....	56
5.1 Pavimentos flexibles.....	56
5.1.1 Agrietamiento Estructural.....	56
5.1.1.1 Fisuras y grietas longitudinales.....	56
5.1.1.2 Fisuras y grietas por fatiga.....	57
5.1.2 Grietas térmicas.....	57
5.1.3 Pérdida de áridos.....	57
5.1.4 Baches abiertos.....	58
5.1.5 Ahuellamiento.....	58
5.1.6 Exudación.....	58
5.1.7 Descenso de la berma.....	59
5.2 Pavimentos rígidos.....	59
5.2.1 Agrietamiento transversal.....	59
5.2.2 Grieta esquina.....	59
5.2.3 Grieta longitudinal.....	60
5.2.4 Escalonamiento de juntas y grietas.....	60
5.2.5 Saltadura de junta o grieta (desconche).....	60
5.2.6 Deficiencias del sello.....	61
5.3 Monografías.....	61
5.3.1 Definiciones previas.....	62
5.3.2 Metodología de inspección.....	63
5.4 Deterioros observados en el tramo experimental.....	65
5.4.1 Tratamientos superficiales dobles.....	65
5.4.2 Pavimentos asfálticos.....	66
5.4.3 Pavimentos de hormigón.....	67
CAPÍTULO 6: AUSCULTACIÓN DEL PAVIMENTO.....	73
6.1 Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).....	73
6.2 Determinación del coeficiente de fricción transversal.....	77
6.4 Deflectometría de impacto.....	82
6.5 Cálculo de la evolución de la serviciabilidad.....	86
CAPÍTULO 7: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	91
BIBLIOGRAFIA	96
ANEXO A: PERFILES TRANSVERSALES	
ANEXO B: FOTOGRAFÍAS	
ANEXO C: PLANOS MONOGRAFÍA	

1. INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes generales.

Dada la creciente necesidad de optimizar los diseños de transporte entre distintas zonas de nuestro país y el desafío de implementar caminos seguros y de buena calidad, la Dirección de Vialidad ha desarrollado tramos experimentales para probar distintas alternativas de pavimentos flexibles y rígidos.

El objetivo de estos tramos es determinar qué soluciones son las más adecuadas de implementar en nuestros caminos.

Uno de estos tramos de estudio, es el ubicado en la Ruta 5 Norte en el sector Polpaico – La Trampilla, construido en el año 1995, el cual está compuesto de doce sub-tramos de los cuales cinco corresponden a pavimentos flexibles y siete a pavimentos rígidos. En cada uno de estos subtramos se empleó un tipo de pavimento diferente (doble tratamiento superficial, asfalto tradicional, etc.), o método de diseño diferente (NRB de Nueva Zelanda, AASHTO, etc.).

Estos tramos están ubicados en una zona donde la ruta no tiene intersecciones con otros caminos por lo cual los doce tramos han sido sometidos a las mismas solicitaciones.

También el sector cuenta con un suelo de fundación de similares características a lo largo del trazado. Asimismo el clima es homogéneo en el sector de estudio.

1.2. Objetivos.

Objetivo general:

- Evaluar el comportamiento de distintos tipos de pavimentos flexibles y rígidos en los tramos experimentales construidos en el sector Polpaico – La Trampilla de la Ruta 5 Norte.

Objetivos específicos:

- Comparar los resultados esperados según cada método de diseño con los resultados observados en terreno.
- Determinar qué método de diseño representó de mejor manera el comportamiento esperado de los tramos estudiados.
- Formular recomendaciones para el uso de distintas soluciones y los métodos de cálculo a aplicar.

1.3. Metodología.

Para cumplir con los objetivos mencionados anteriormente se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- Recopilar antecedentes sobre los métodos de diseño y las distintas soluciones implementadas en el sector de estudio.
- Revisar bibliografía de los distintos métodos de diseño utilizados en los tramos en estudio.
- Recopilar las mediciones realizadas desde la puesta en servicio del tramo.
- Estimar el tránsito de la vía.
- Visita a terreno para evaluar la condición de cada sub-tramo: serviciabilidad y condición estructural.
- Medición de parámetros indicadores en caso de ser necesario.

- Comparación entre la serviciabilidad teórica y la obtenida con datos experimentales.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Conclusiones y recomendaciones.

1.4. Resultados esperados.

Determinar cuál método de diseño se ajusta de mejor manera al comportamiento observado hasta el momento en los tramos.

Determinar qué solución de pavimento se comportó de mejor manera frente a las solicitudes en el sector estudiado.

Determinar qué soluciones son las más adecuadas para implementar en caminos con solicitudes similares a las del tramo estudiado.

Lograr una curva de deterioro parcial aproximada para cada sub-tramo.

2. ANTECEDENTES GENERALES.

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES GENERALES.

2.1 Red Vial de Chile.

Es indiscutible el aporte al crecimiento económico y a la calidad de vida que una buena red vial proporciona a un país.

Actualmente la red vial de Chile, administrada por la Dirección de Vialidad, comprende 80694,66 km. de los cuales 14538.64 km. corresponden a pavimento asfáltico y 2123.75 km. a pavimento de hormigón.

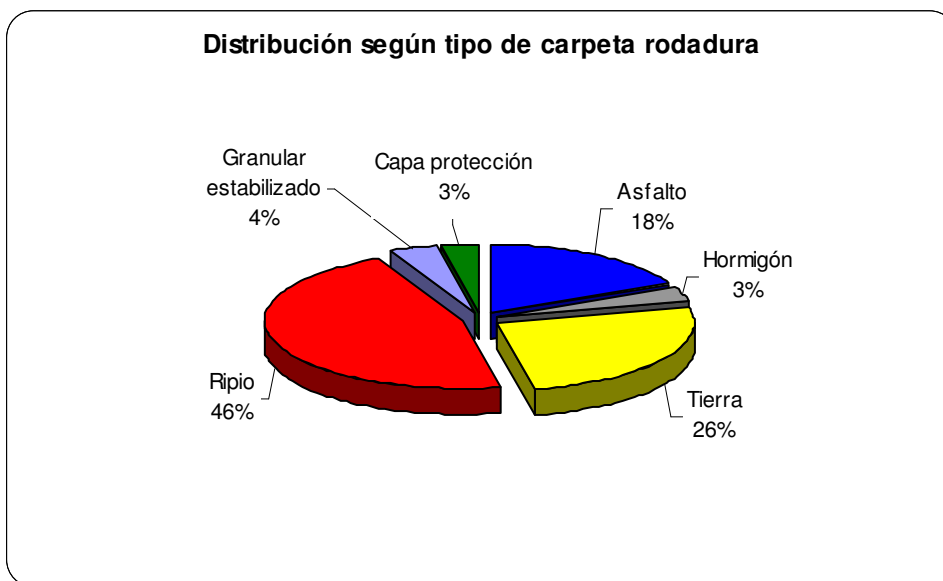


Figura 2-1: Distribución porcentual del tipo de carpeta de rodadura en Chile.

Frente a este panorama, los estudios enfocados a determinar qué tipo de pavimentos tienen un comportamiento mejor en nuestros caminos, son un aporte para optimizar los recursos que se invierten en el mejoramiento de la red vial nacional.

2.2 Soluciones de pavimentos.

El objetivo principal del pavimento es proporcionar una superficie confortable y resistente que pueda soportar el tránsito de vehículos. Las soluciones más comunes son:

2.2.1 Tratamientos superficiales (pavimentos flexibles).

Tratamiento Superficial Simple.

Consiste en la aplicación de un riego asfáltico con emulsión sobre una capa granular imprimada, seguido a continuación de un riego de gravilla de tamaño uniforme (tamaño máximo nominal 10 mm). El espesor del tratamiento es aproximadamente el mismo que el tamaño máximo nominal del agregado.



Tratamiento Superficial Doble.

Consiste en dos aplicaciones de riegos asfálticos alternadas con aplicaciones de agregados pétreos colocadas sobre una capa granular imprimada. El agregado pétreo de cada aplicación debe ser granulométricamente lo más uniforme posible y el tamaño máximo de cada aplicación sucesiva debe estar en proporción 2:1 respectivamente, normalmente 20 y 10 mm. El agregado de tamaño mayor debe colocarse en la capa inferior. El espesor del tratamiento superficial es aproximadamente igual al tamaño máximo nominal de la primera aplicación.



2.2.2 Mezclas asfálticas (pavimentos flexibles).

Este tipo de solución está compuesto de capas granulares sobre el suelo de fundación y capas asfálticas (áridos envueltos y aglomerados con asfalto) sobre las granulares.

En este tipo de pavimentos es necesario diseñar tanto las capas asfálticas como las capas inferiores (base y sub base granular) pues éstas aportan resistencia estructural frente a las solicitaciones de carga. Estas capas granulares deben cumplir una serie de requisitos tales como CBR, granulometría, compactación, etc.

Las capas asfálticas están compuestas por mezclas asfálticas de espesor mínimo 5 cm constituido por una mezcla de áridos con tamaño máximo de 12 ó 20 mm y cemento asfáltico (por ejemplo del tipo CA 24 ó CA 14).

El objetivo de este tipo de pavimento es proporcionar resistencia contra las solicitaciones, impedir la penetración de agua a las capas inferiores, y aportar una superficie adecuada para el tránsito de vehículos.

Para optimizar la estructuración es necesario encontrar un equilibrio entre la capacidad de soporte que entregan las capas granulares y la capacidad que aportan las capas asfálticas.

2.2.3 Losas de Hormigón (pavimentos rígidos).

Dentro de los usos que se le da al hormigón está la construcción de caminos.

A diferencia de los pavimentos flexibles, los pavimentos de hormigón no requieren de una base granular que aporte a la resistencia de las cargas, sólo se requiere de una sub-base que aporte homogeneidad, ya que es la losa de hormigón la que resiste las solicitaciones del tránsito. Por lo tanto el diseño se basa en establecer

los esfuerzos internos que en la losa se producen por efecto de las cargas y las condiciones climáticas.

Comparativamente, ambos tipos de pavimentos (flexibles y rígidos) tienen ventajas y desventajas al momento de su construcción y mantención, y éstas dependen de las condiciones del entorno y de las necesidades de las personas.

2.3 Descripción tramos a estudiar.

Con el objetivo de realizar un seguimiento en el tiempo y determinar el comportamiento de diferentes tipos de pavimentos bajo sollicitaciones conocidas, la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas construyó en 1994 un tramo experimental en la Ruta 5 Norte en el sector Polpaico – La Trampilla, entre los kilómetros Dm 41.417 al Dm 44.917 de dicha ruta.

El tramo en estudio tiene una orientación Nor.-Poniente y consta de una topografía plana y recta en toda su extensión. La zona posee un clima de características intermedias con una temperatura media ponderada anual de 15,3°C.

Este tramo experimental está ubicado en la calzada poniente de la vía, pistas 2 y 4 (llegan a Santiago desde el norte) y tiene una extensión de 3.500 m.

PLANO DE UBICACIÓN

Tramo experimental calzada poniente ruta 5 norte

Sector: Polpaico – La Trampilla

Dm 38.910 a Dm 44.917

Región Metropolitana

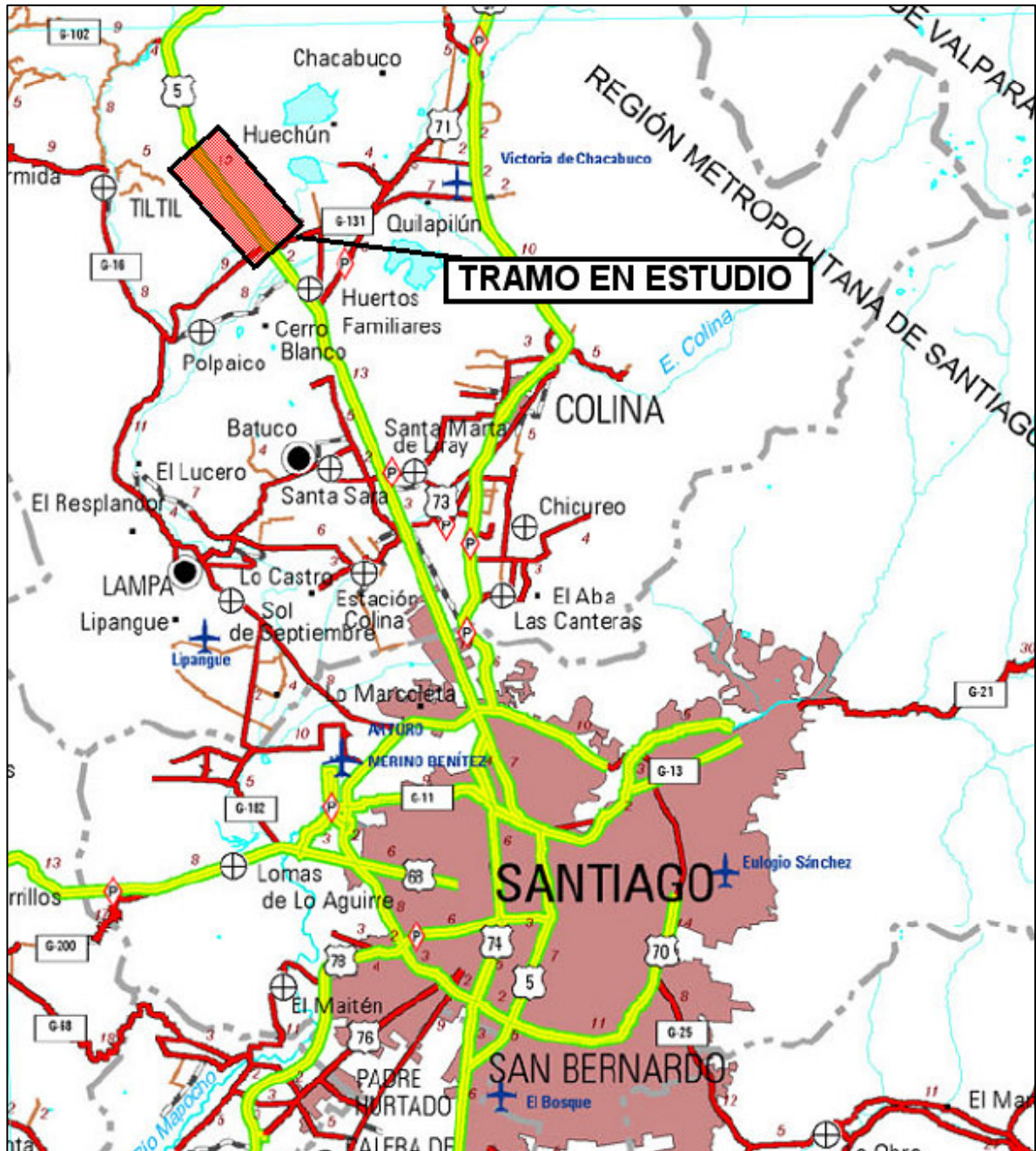


Figura 2-2: Plano de ubicación.

Aspectos geométricos:

- Trazado en planta recta.
- En alzado presenta 2 curvas verticales.
- Velocidad de diseño 100 km./h.
- Ancho calzada 7.0 m.
- Berma exterior 2.5 m.
- Berma interior 1.0 m (lado mediana).
- Sobre ancho de compactación 0.5 m en cada berma.
- Bombeo único hacia berma exterior de 2%.
- Bombeo del DTS 2.5 %.
- Singularidades:
 - o Cruce punta peuco (Polpaico Quilapilun).
 - o Puente Punta Peuco.

Para eliminar la influencia del suelo de fundación en el comportamiento de los pavimentos a estudiar, se construyó un terraplén con un CBR $\geq 25\%$ y un espesor que varía entre un metro y dos metros cincuenta, lo cual permite tener un valor común como capacidad de soporte a lo largo de todo el tramo. Este terraplén granular también independiza la estructura de la napa freática y entrega una rasante adecuada desde el punto de vista geométrico.

Dicho tramo está subdividido en sub-tramos de 500 m de largo cada uno y en algunos casos sub-tramos de 250 m (para pavimentos flexibles), o de 125 m (para pavimentos de hormigón).

En el diseño de cada tramo se utilizaron iguales parámetros básicos, pero las soluciones se estructuraron con métodos de diseño diferentes.

2.3.1 Datos importantes de los tramos.

A continuación se presenta una recopilación con algunos de los aspectos más relevantes de cada tramo.

2.3.1.1 Doble tratamiento superficial.

Para la evaluación del comportamiento de este tipo de solución en caminos de alto tránsito (20 MEE) se construyó un tramo con doble tratamiento superficial de 500 metros de largo. Este sector se dividió en dos sub-tramos de acuerdo a la emulsión utilizada, uno de ellos se realizó con emulsión tradicional, mientras que el otro con emulsión elastomérica.

Tramo 2-A:

Ubicación	:	Dm 41.417 a Dm 41.667.
Largo	:	250 m.
Emulsión	:	Emulsión normal.
Base granular CBR \geq 120%	:	0,14 m de espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,10 m de espesor.
Subbase granular CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Método diseño	:	Método Hanson y australiano.
Observaciones	:	Los primeros 60 m tienen un 3 ^{er} riego.

Tramo 2-B:

Ubicación	:	Dm 41.667 a Dm 41.917.
Largo	:	250 m.
Emulsión	:	Emulsión elastomérica.
Base granular CBR \geq 120%	:	0,14 m de espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,10 m de espesor.
Subbase granular CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Método diseño	:	Método Hanson y Australiano.
Observaciones	:	Los 60 m finales tienen un 3 ^{er} riego.

2.3.1.2 Pavimento asfáltico.

El objetivo de este tramo es poder comparar el desempeño de soluciones asfálticas diseñadas con distintos métodos y/o con diferentes tipos de asfalto. Se podrán comparar el comportamiento dependiendo de las consideraciones en el diseño de cada sub-tramo.

Esta sección cuenta con tres tramos, dos de ellos de 250 metros de largo, mientras que el tercero es de 500 metros.

Tramo 3-A:

Ubicación	:	Dm 41.917 a Dm 42.167.
Largo	:	250 m.
Emulsión	:	Asfalto normal.
Concreto Asfáltico	:	0,05 m espesor.
Base Asfáltica	:	0,05 m espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,15 m de espesor.
Subbase granular CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Método diseño	:	Mecanicista N.R.B.

Tramo 3-B:

Ubicación	:	Dm 42.167 a Dm 42.417.
Largo	:	250 m.
Emulsión	:	Asfalto elastomérico.
Concreto bituminoso	:	0,05 m espesor.
Base Asfáltica	:	0,05 m espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,15 m de espesor.
Subbase granular CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Método diseño	:	Mecanicista N.R.B.

Tramo 4:

Ubicación	:	Dm 42.417 a Dm 42.917.
Largo	:	500 m.
Emulsión	:	Asfalto normal.
Concreto bituminoso	:	0,06 m espesor.
Base Asfáltica	:	0,13 m espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,15 m de espesor.
Subbase granular CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Método diseño	:	Empírico AASHTO.

2.3.1.3 Pavimento de hormigón.

En este caso se cuenta con siete sub-tramos, en los cuales se pueden analizar diversos factores que rigen el comportamiento del pavimento. Sistema de traspaso de carga entre losas, influencia de malla ACMA en el eje neutro, sección y largo de la losa, y el método de diseño de cada tramo son los factores a tener presente.

Tramo 5:

Ubicación	:	Dm 42.917 a Dm 43.415.
Largo	:	498 m.
Cemento	:	Portland.
Losa	:	0,18 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	6 m.
Tipo traspaso carga	:	Zapata.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	N.R.B.

Tramo 6:

Ubicación	:	Dm 43.415 a Dm 43.919.
Largo	:	504 m.
Cemento	:	Portland.
Losa	:	0,18 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	6 m.
Tipo traspaso carga	:	Fierros.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	N.R.B.

Tramo 7:

Ubicación	:	Dm 43.919 a Dm 44.417.
Largo	:	498 m.
Cemento	:	Alta resistencia.
Losa	:	0,21 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	6 m.
Tipo traspaso carga	:	Fierros.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	AASHTO.

Tramo 8-A₁:

Ubicación	:	Dm 44.417 a Dm 44.543.
Largo	:	126 m.
Cemento	:	Alta resistencia.
Losa	:	0,24 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	6 m.
Tipo sección	:	Rectangular.
Tipo traspaso carga	:	Sin estructura.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	AASHTO.

Tramo 8-A₂:

Ubicación	:	Dm 44.543 a Dm 44.667.
Largo	:	124 m.
Cemento	:	Alta resistencia.
Losa	:	0,24 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	4 m.
Tipo sección	:	Rectangular.
Tipo traspaso carga	:	Sin estructura.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	AASHTO.

Tramo 8-B₁:

Ubicación	:	Dm 44.667 a Dm 44.791.
Largo	:	124 m.
Cemento	:	Alta resistencia
Losa	:	0,22 - 0,24 - 0,26 m de espesor.
Subase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	4 m.
Tipo sección	:	Trapezoidal.
Tipo traspaso carga	:	Sin estructura.
Malla ACMA	:	Primeros 60 m.
Método diseño	:	AASHTO.

Tramo 8-B₂:

Ubicación	:	Dm 44.791 a Dm 44.917.
Largo	:	126 m.
Cemento	:	Alta resistencia.
Losa	:	0,22 - 0,24 - 0,26 m de espesor.
Subbase CBR \geq 50%	:	0,15 m de espesor.
Largo losa	:	6 m.
Tipo sección	:	Trapezoidal.
Tipo traspaso carga	:	Sin estructura.
Malla ACMA	:	Últimos 60 m.
Método diseño	:	AASHTO.

2.3.2 Datos sobre la construcción del tramo experimental.

2.3.2.1 Tramos de tratamientos superficiales.

En los tramos de tratamientos superficiales se utilizó la emulsión CRS-2. En el segundo tramo se utilizó una emulsión modificada con un 3% de SBR (estireno – butadieno – estireno) polímero termoplástico. Este polímero se incorporó al asfalto antes de fabricar la emulsión.

La utilización de este polímero busca mejorar propiedades tales como:

- Menor susceptibilidad térmica.
- Aumento de la viscosidad.
- Disminución del envejecimiento.
- Aumento de la cohesión.
- Aumento de la elasticidad.

En los primeros 60 metros del primer sub-tramo y en los últimos 60 metros del segundo sub-tramo se aplicó un tercer riego con emulsión CSS-1H a razón de 0,8 lt/m² previamente diluida en partes iguales en agua. Este riego se cubrió con 4 kg/m² de polvo de roca.

La base granular se imprimió con asfalto MC-30 a razón de 1,27 lt/m² previo a la colocación del tratamiento superficial.

En el tratamiento superficial doble se emplearon gavillas TS-TM 3/4" para la primera aplicación y TS-TM 3/8" para la segunda aplicación.

Las dosificaciones utilizadas fueron:

- Para la primera aplicación 17 kg/m² de agregado y 1,3 lt/m² de asfalto.
- Para la segunda aplicación 10 kg/m² de agregado y 1,5 lt/m² de asfalto.

El método constructivo fue el siguiente: Tras la aplicación de la primera capa de tratamiento superficial se realizaron 20 pasadas de rodillo neumático por día, los tres primeros días y luego a los 20,21 y 22 días.

El día 22 se realizó la segunda aplicación donde también se paso rodillo neumático los tres primeros días y el día 14, tras lo cual se procedió a realizar el tercer riego.

2.3.2.2 Tramos de pavimento asfáltico.

Tramo 3-A y 3-B:

La dosificación utilizada para la base asfáltica del tramo 3-A fue de un 5,2 % de cemento asfáltico 60-80 y Estabilidad Marshall de 2.351 kg/m³. En el tramo siguiente (3-B) se utilizó la misma dosificación salvo que se cambió el cemento asfáltico por cemento elastomérico, obteniéndose una Estabilidad Marshall de 2.324 kg/m³.

Los agregados pétreos se utilizaron en la siguiente relación:

- Grava chancada 1" 38%.
- Grava chancada 1/2" 7%.

- Fino 1/2" 55%.

En la carpeta de rodado también se utilizó cemento asfáltico 60-80 en el tramo 3-A a razón de 5,7% con una Estabilidad Marshall 2.369 kg/m³.

En el tramo 3-B se utilizó cemento asfáltico elastomérico con un 6% de SBS y una Estabilidad Marshall de 2.321 kg/m³.

Los agregados pétreos para la carpeta de rodado se utilizaron en la siguiente proporción:

- Grava chancada 3/4" 20%.
- Grava chancada 1/2" 20%.
- Fino 1/2" 58,5%.
- Filler 1,5 %.

Tramo 4.

La imprimación sobre la base granular se realizó con un MC-30 a razón de 1,05 lt/m².

La base asfáltica empleada en la construcción del tramo 4 consideró una dosificación de un 3,9% de cemento asfáltico 60-80, con una Estabilidad Marshall de 2.354 kg/m³.

Los agregados pétreos fueron los siguientes:

- Grava 1" 40%.
- Grava 1/2" 25%.
- Arena 1/2" 35%.

Para la carpeta de rodado se utilizó cemento asfáltico 60-80 de 6,2% con una Estabilidad Marshall de 2.375 kg/m³. Los agregados fueron siguientes:

- Grava 3/4" 20%.
- Grava 1/2" 20%.
- Arena 3/8" 57%.
- Fino calizo 2%.
- Filler 1%.

2.3.2.3 Tramos de hormigón.

Para la construcción de estos tramos, primero se hormigonó la pista derecha empleando dos hileras de moldes metálicos y posteriormente la pista izquierda, utilizando un molde metálico apoyando el tren pavimentador en el borde del pavimento ya construido.

Los fierros y las zapatas de traspaso de carga en el momento de la construcción se cubrieron primero con una capa de grasa y luego con un recubrimiento plástico en uno de sus extremos para impedir la adherencia entre el fierro y el hormigón.

Se utilizaron armazones metálicas soldadas para la colocación de los fierros de traspaso de carga y se verificó su linealidad y nivelación con nivel de carpintero.

El sistema de curado del hormigón se realizó con una membrana de curado y con una arpillera humedecida ligeramente separada de la superficie del hormigón.

A las 8 horas de concretadas las losas se hizo un corte losa por medio con sierra.

La junta longitudinal fue provista con fierros de amarre $\phi 12$ mm con una longitud de 0,6 metros separados a 0,65 metros. Estos fierros se colocaron al momento de hormigonar la primera pista.

En todos los tramos se colocaron 60 metros con una malla del tipo ACMA en la fibra neutra de la sección (medio de la losa). La malla es equivalente a $\phi 10 @ 15 \text{ cm}$.

En Los tramos 5 y 6 se utilizó cemento Portland y en los tramos 7 y 8 se empleó cemento de alta resistencia.

Las dosificaciones utilizadas en la confección de los hormigones puestos en los distintos tramos fueron las siguientes:

Tramo	Cemento [kg]	Agua [lt]	Grava [kg]	Gravilla [kg]	Arena gruesa [kg]	Arena media [kg]	Aditivo plastificante [lt]
5	300	151	805	322	563	322	1,17
6	300	151	805	322	563	322	1,17
7	300	151	812	322	609	284	1,17
8	300	151	812	322	609	284	1,17

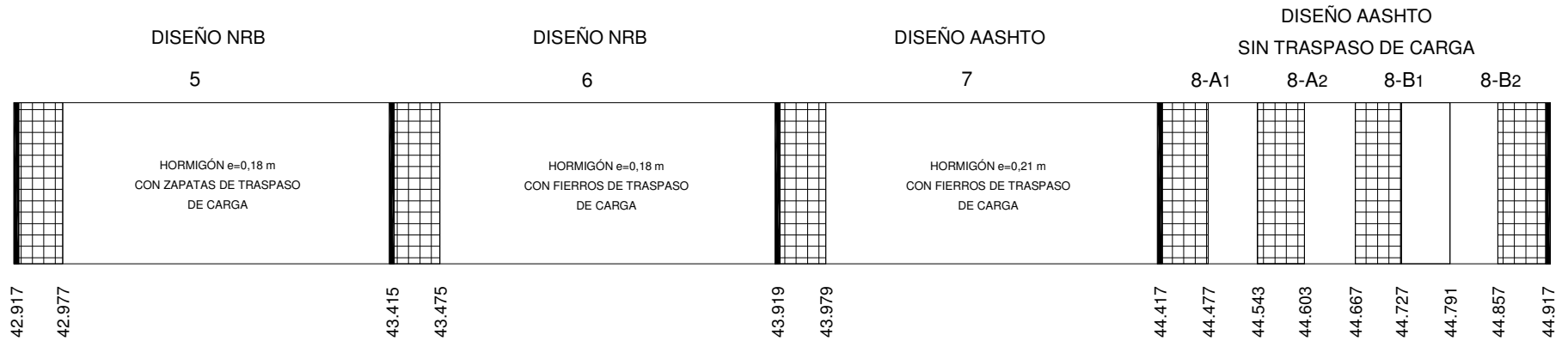
Tabla 2-1: Dosificaciones empleadas para hormigones.

Tramo	Arena gruesa	Gravilla	Grava	Arena media
5	25%	16%	40%	16%
6	25%	16%	40%	16%
7	30%	16%	40%	14%
8	30%	16%	40%	14%

Tabla 2-2: Dosificaciones empleadas para hormigones.

Existen variadas alternativas en la construcción de pavimentos, tanto flexibles como rígidos, y distintos métodos de diseño posibles de implementar. Es por esto la gran importancia de encontrar qué estructura de pavimento se comporta de mejor manera frente a las distintas solicitaciones y qué método de diseño asemejó mejor su predicción al comportamiento real observado en nuestros caminos.

Esquema tramo experimental Polpaico La Trampilla



LOSA DE 6m	LOSA DE 4m	LOSA DE 4m	LOSA DE 6m
SECCION RECTANGULAR		SECCION TRAPEZOIDAL	

SIMBOLOGIA: MALLA ACERO EN FIBRA NEUTRA

CAMBIO DE TRAMO

3. MÉTODOS DE DISEÑOS DE PAVIMENTOS.

CAPÍTULO 3: MÉTODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.

El deterioro de un pavimento se produce principalmente por la acción de cargas repetitivas producto del tránsito, esta repetición de cargas produce en la estructura de pavimento una falla por fatiga cuando el número de cargas es mayor al admisible.

Teniendo esto en consideración, se han desarrollado varios métodos de diseños que buscan representar mediante una ley de fatiga el comportamiento de los pavimentos.

Existen dos grandes grupos de métodos de diseño, los métodos empíricos que se basan en los resultados observados en circuitos de prueba, y los métodos mecanicistas, los cuales están basados en la teoría elástica para prever el comportamiento del pavimento.

La elección de cuál método de diseño aplicar, junto con cuál solución de pavimento es la más apropiada para una determinada zona, es una interrogante que se puede esclarecer mediante el seguimiento de tramos que posean diferentes características de diseño y/o diferentes tipos de pavimentos.

3.1 Método AASHTO.

Uno de los procedimientos de diseño de pavimentos más utilizado en Chile es la adaptación a las condiciones chilenas del método AASHTO (*“American Association of State Highway and Transportation Officials”*).

El diseño AASHTO fue concebido sobre la base de las mediciones realizadas en circuitos de prueba en Illinois, los cuales fueron construidos para estudiar el comportamiento de estructuras de pavimentos de espesores conocidos bajo solicitaciones de cargas móviles de magnitud y frecuencia conocidas y bajo los efectos del medio ambiente. Por tratarse de pruebas realizadas en una zona geográfica con características climáticas específicas se debe tener especial atención al aplicar este

método de diseño en lugares con otros tipos de climas, o en la utilización de materiales cuyas propiedades puedan presentar un comportamiento diferente al mostrado en las pistas de prueba.

Un aporte importante de este método de diseño fue el de cuantificar la condición de un determinado pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. Este indicador es llamado nivel de servicio o serviciabilidad de un pavimento.

3.1.1 Índice de Serviciabilidad Presente AASHTO.

Anteriormente a la incorporación de este indicador como una combinación matemática de diferentes factores que se pueden medir, la clasificación de serviciabilidad de un pavimento era subjetiva y dependía de la percepción del usuario del camino.

Con el objeto de utilizar un indicador más objetivo y de esta manera poder incorporar el nivel de servicio a los métodos de diseños de pavimentos, el método AASHTO introdujo el índice de serviciabilidad presente (PSI por sus iniciales en inglés), el cual depende de:

- Un coeficiente de rugosidad del pavimento.
- Un coeficiente de agrietamiento.
- Un coeficiente de ahuellamiento (pavimentos asfálticos).

3.1.2 Variables que considera el método.

Índice de serviciabilidad (p): Capacidad de un pavimento para brindar al usuario un manejo seguro y confortable al utilizar la vía. Se mide en una escala de cero a cinco donde $p=0$ indica un camino en pésimas condiciones (intransitable) y $p = 5$ pavimento perfecto. Estos valores extremos son teóricos ya que en la práctica un pavimento nuevo

se estima que posee una serviciabilidad aproximada de $p=4,5$ y un pavimento que posea un $p=2$ o inferior debe ser rehabilitado o reconstruido.

Espesor de la losa de hormigón (D): Es la variable que se pretende determinar con el diseño del pavimento. Este espesor depende de todas las demás variables de diseño y se obtiene mediante iteraciones hasta igualar ambos lados de la ecuación principal para pavimentos rígidos.

Ecuación de diseño para pavimentos rígidos según método AASHTO:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 7,35 \cdot \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \cdot 10^7}{(D + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 \cdot p_t) \cdot \log_{10} \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \cdot J \cdot \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Nota: Cada parámetro se explica en el punto 3.1.4 “Procedimiento para diseño en pavimentos rígidos”.

Tránsito (EE o W_{18}): La principal consideración a tener en mente en el diseño es la cantidad de solicitaciones para las que será diseñado el pavimento. Para unificar criterios de carga el método utiliza el concepto de ejes equivalentes y factores de equivalencia de carga. La cantidad de ejes equivalentes solicitantes es la cantidad de solicitaciones de diferentes tipos de vehículos transformados a eje patrón, esto quiere decir, ejes correspondientes a una solicitación de 80 KN en el pavimento. Para realizar la transformación existe una relación para los pavimentos rígidos y una para pavimentos flexibles. Esta transformación depende además del peso del eje solicitante, el tipo de eje (simple, tándem, tridem), la serviciabilidad final del pavimento y del espesor de la

losa de hormigón. Debido a que los EE se calculan de manera distinta para pavimentos flexibles que para rígidos, es posible tener una diferencia en la cantidad de EE solicitantes aún cuando el tránsito fuera el mismo.

Módulo de reacción de la subrasante (k , pavimentos rígidos): En el diseño de pavimentos rígidos este es el coeficiente que representa la capacidad de soporte que aporta el suelo. Este puede ser medido directamente con un ensayo de placa de carga, o estimado como una relación con el CBR.

Coeficiente de la transferencia de cargas (pavimentos rígidos): este parámetro representa la capacidad que tiene una losa para transmitir fuerzas cortantes con las losas adyacentes. Una buena transferencia de carga implica una colaboración entre losas para resistir los esfuerzos. Esto se puede lograr mediante estructuras de traspaso de carga (fierros, zapatas) o por la trabazón producto de superficies irregulares en la interface de contacto entre las losas.

Propiedades del hormigón: El método requiere de la incorporación de las propiedades características del hormigón a utilizar, esto es, el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión.

Resistencia de la subrasante (M_r): Para los pavimentos asfálticos el suelo de fundación es caracterizado por su módulo resiliente. El comportamiento de los suelos tiene generalmente una componente elástica y una inelástica. Conforme el suelo es sometido a ciclos de carga y descarga va acumulando deformaciones, las cuales van disminuyendo con cada ciclo. De esta manera el suelo llega a un estado tal en que toda la deformación es recuperable tras un determinado número de cargas; en este punto la razón entre la tensión y la deformación experimentada representa el módulo resiliente del suelo.

Coeficientes estructurales (pavimentos flexibles): Parámetro característico de cada capa que representa la capacidad estructural relativa del material que la compone, el cual depende de la resistencia del material. Para las capas asfálticas depende de la Estabilidad Marshall y para las capas granulares depende del CBR.

Confiabilidad: Parámetro estadístico que representa la probabilidad que el pavimento se comporte de igual o mejor manera a lo diseñado. La confiabilidad depende del grado de certeza que se tiene de los parámetros de diseño que se están empleando.

Drenaje (pavimentos flexibles): La capacidad de evacuar el agua es un factor determinante en la vida útil de los pavimentos. El coeficiente de drenaje se incorpora como un parámetro que modifica el coeficiente estructural de la capas granulares.

3.1.3 Procedimiento para diseño en pavimentos flexibles.

No existe solución única para este tipo de diseño, más bien se debe buscar un resultado que satisfaga los requerimientos estructurales y que sea óptima desde el punto de vista económico, teniendo en consideración los costos de los materiales a utilizar en la construcción del proyecto.

La etapa principal es la estimación del tránsito que solicitará la vía durante su vida útil. Acertar con la estimación de crecimiento de tránsito implica realizar un diseño económico y útil para el usuario. Si se subestima el número de solicitaciones se traduce en inconvenientes para los usuarios y en reparaciones prematuras y costosas. Por el contrario si se sobreestima el tránsito, se incurrirá en sobredimensionamientos innecesarios.

Partiendo de un año base del que se posean mediciones de tránsito y utilizando tasas de crecimiento esperadas, se procede al cálculo de los ejes equivalentes solicitantes en la vida de diseño del pavimento.

El tráfico predicho generalmente es el tráfico total esperado para el camino, para la realización del diseño se requiere el tránsito solicitante en la pista de diseño. Para esto el tránsito total debe ser reducido por un factor de dirección y un factor de pista de la siguiente manera:

$$W_{18} = D_D \cdot D_L \cdot \hat{W}_{18}$$

Donde:

\hat{W}_{18} : Ejes equivalentes de 18 kip (8.165 kg) totales acumulados predichos por la estimación del tránsito.

D_D : Factor de distribución direccional, (0,5 para vías bidireccionales que tengan igual tránsito en ambos sentidos).

D_L : Factor de distribución por pista (representa la distribución del tránsito en vías con más de una pista por sentido).

Calculados los ejes equivalentes de diseño, se procede a determinar el factor de confiabilidad R para el diseño, el cual tiene asociado un Z_R característico. Junto con esto, es necesario estimar la desviación estándar a utilizar S_0 .

La ecuación general que propone el método AASHTO en sus versiones de 1986 y 1993 para pavimentos asfálticos es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log_{10}(SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 * \log_{10}(M_R) - 8,07$$

Donde:

W_{18} : Ejes equivalentes de 18 kip (8.165 kg) estimados que solicitarán el pavimento durante el periodo de diseño.

Z_R : Desviación estándar normal, depende del factor de confiabilidad.

S_0 : Desviación normal del error combinado en la estimación de los parámetros de diseño y modelo de deterioro.

ΔPSI : Diferencia entre la serviciabilidad de diseño inicial y la serviciabilidad final de diseño.

M_R : Módulo resiliente (psi).

SN: número estructural requerido para todo el espesor del pavimento (inches).

Se debe diseñar una estructura de pavimento que satisfaga el número estructural antes calculado. El número estructural del pavimento se calcula según los espesores de las capas utilizadas y sus coeficientes de drenaje respectivos de la siguiente manera:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Donde:

a_i : Coeficiente estructural de la capa i .

D_i : Espesor de la capa i (inches).

m_i : Coeficiente de drenaje de la capa i (granulares no tratadas).

El número estructural calculado tras aplicar el método es 8,73

Para el pavimento asfáltico se obtuvo la siguiente estructura:

Carpeta de rodado	:	0,06 m espesor.
Base Asfáltica	:	0,13 m espesor.
Base granular CBR \geq 80%	:	0,15 m de espesor.

Esta solución implica un número estructural sobre la base de 7 y un número estructural total de 8,95.

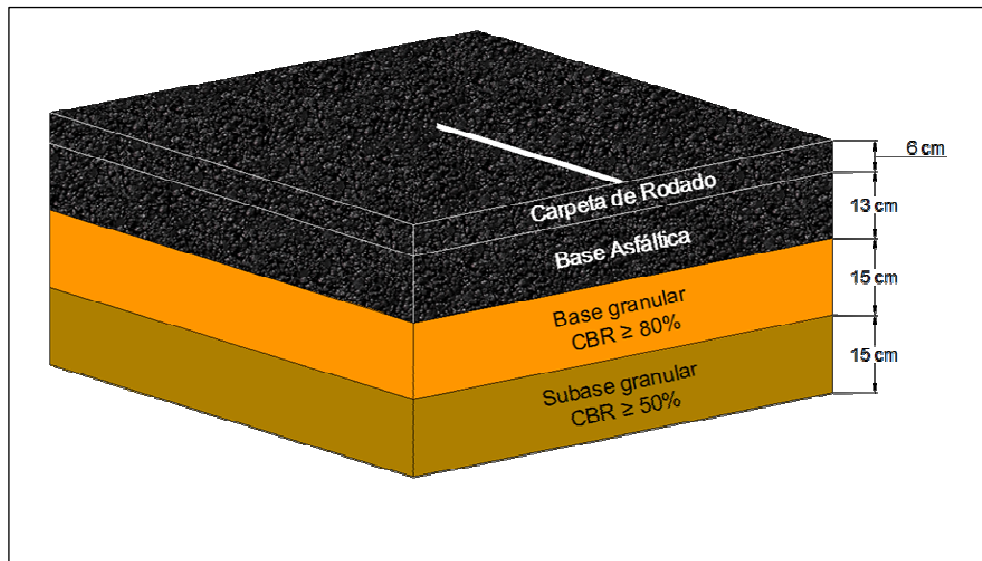


Figura 3-1: Esquema de la estructura de pavimento asfáltico construida según diseño del método AASHTO.

3.1.4 Procedimiento para diseño en pavimentos rígidos.

Al igual que el diseño de pavimentos flexibles, es necesario estimar las solicitaciones de tránsito, así como también los parámetros estadísticos S_0 , Z_R , entre otros.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_0 + 7,35 \cdot \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \cdot 10^7}{(D + 1)^{8,46}}}$$

$$+ (4,22 - 0,32 \cdot p_t) \cdot \log_{10} \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 \cdot J \cdot \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Donde:

W_{18} : Ejes equivalentes de 18 kip (8.165 kg) estimados que solicitarán el pavimento durante el periodo de diseño.

Z_R : Desviación estándar normal, depende del factor de confiabilidad.

S_0 : Desviación normal del error combinado en la estimación de los parámetros de diseño y modelo de deterioro.

ΔPSI : Diferencia entre la serviciabilidad de diseño inicial y la serviciabilidad final de diseño.

S'_c : Módulo de ruptura del hormigón (psi).

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón (psi).

J : Coeficiente de transferencia de carga.

C_d : Coeficiente de drenaje.

k : Módulo de reacción de la subrasante (pci = libras por pulgada cúbica).

El resultado que entrega esta ecuación es el espesor mínimo de la losa de hormigón que es capaz de resistir las solicitaciones predichas en su vida útil. Este espesor mínimo como solución de diseño, está mucho más acotado que en el caso del diseño de los pavimentos flexibles, en el cual se pueden encontrar diferentes configuraciones de capas que satisfagan las restricciones de diseño.

Para las losas de hormigón se obtuvo un espesor de 0,21 m en el caso con fierros de traspaso de carga y de 0,24 m en el caso sin fierros.

Notar que se supuso un CBR de diseño = 25% y el terraplén posee un $\text{CBR} \geq 50\%$ en el coronamiento.

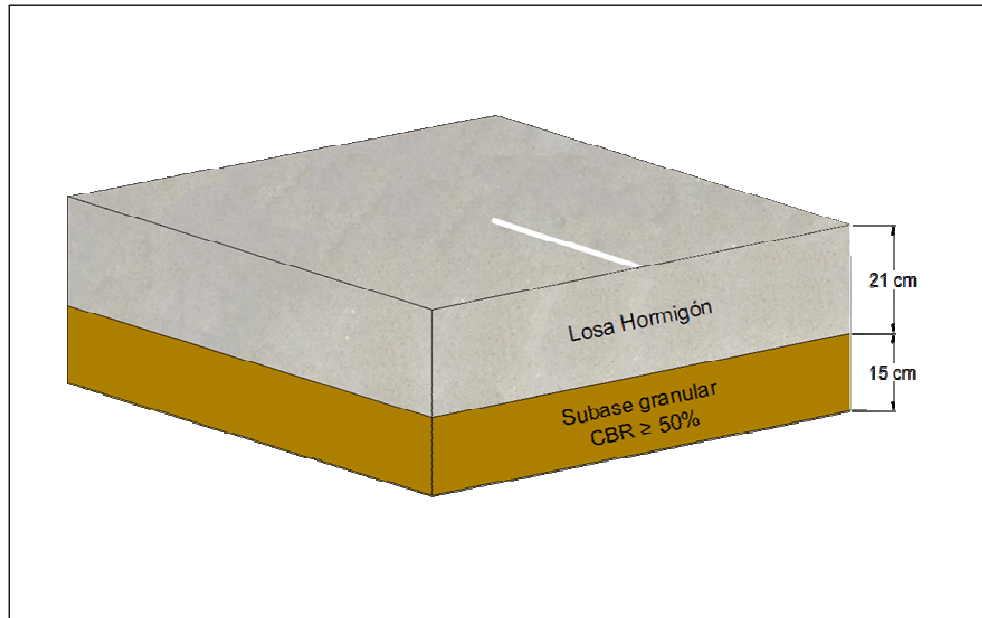


Figura 3-2: Esquema de la estructura de pavimento de hormigón construida para losas con sistema de traspaso de carga según método AASHTO.

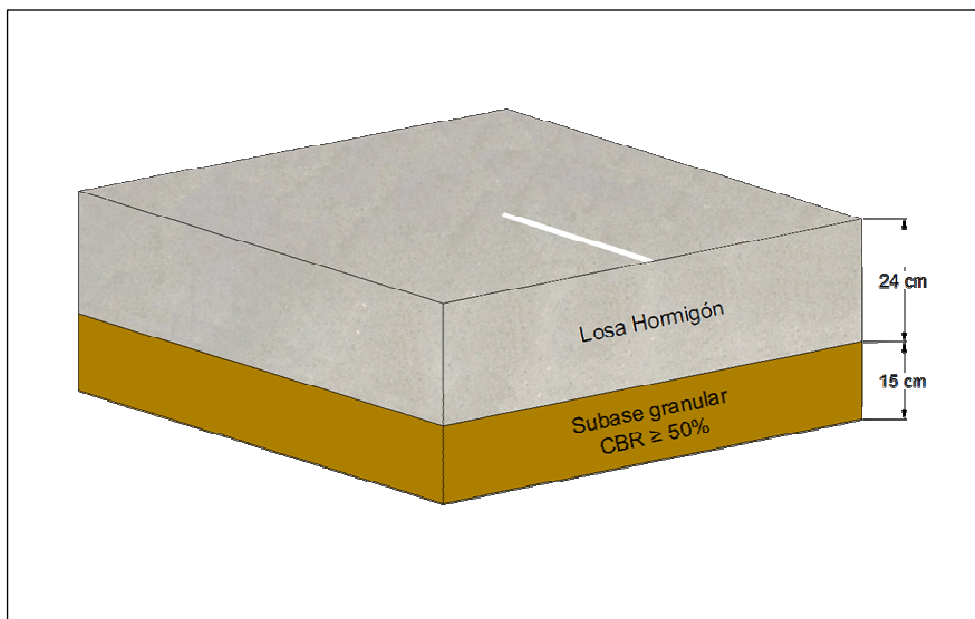


Figura 3-3: Esquema de la estructura de pavimento de hormigón construida para losas sin sistema de traspaso de carga según método AASHTO.

3.2. Manual de Carreteras.

Para poder implementar el método de diseño AASHTO en nuestro país, el Ministerio de Obras Públicas creó un documento llamado "Manual de Carreteras" el cual norma una gran cantidad de temas referentes a proyectos viales. Uno de sus capítulos consta de una adaptación del método de diseño AASHTO (versiones 1993 y 1998) para el diseño de pavimentos de asfalto y pavimentos de hormigón. Esta adaptación considera las diferencias climáticas existentes entre la región donde se desarrolló originalmente el método y los diferentes tipos de climas presentes a lo largo de Chile.

Para introducir los efectos que el clima chileno provoca en los pavimentos, se especificaron diversas consideraciones en el método de diseño, tomando en cuenta la cantidad de precipitaciones de cada localidad, las temperaturas medias registradas a lo largo del año y la capacidad de drenaje que presentan los suelos del lugar. También se indican recomendaciones para zonas específicas de nuestro país.

El Manual de Carreteras también provee de un método de diseño de tratamientos superficiales denominado "Tropical Procedures for Flexibles Pavements", desarrollado por W. J. Morin y Peter Todor.

Además, para facilitar el diseño, la Dirección Nacional de Vialidad integró el software PAVIVIAL, el cual recopila los métodos mencionados anteriormente.

3.3. Método mecanicista de Nueva Zelanda.

Como su nombre lo dice este método de diseño fue implementado en Nueva Zelanda por el National Road Board (NRB) o junta nacional de caminos en español, como un manual para el diseño y rehabilitación de pavimentos en carreteras estatales.

Este método de diseño se basa en la teoría elástica lineal de capas, la cual utilizando los módulos elásticos, coeficiente de Poisson y los espesores de cada capa para determinar las tensiones y deformaciones dentro de la estructura de pavimento.

Adicionalmente este método incorpora la ley de fatiga del terreno natural planteada por el método Shell, la cual relaciona el número de ejes equivalentes que puede soportar el pavimento con la deformación unitaria que experimenta el terreno natural, cuando la estructura de pavimento es solicitada con la carga de un eje equivalente.

El método de Nueva Zelanda considera:

- La distribución de cargas depende directamente de las propiedades consideradas para las capas. Cada capa será capaz de soportar las tracciones de la interface en su cara inferior.
- Introduce los efectos de la temperatura en las consideraciones para el diseño de pavimentos asfálticos. Esto se logra considerando la temperatura media ponderada anual (TMPA) del lugar donde se construirá el camino.

3.3.1 Diseño de pavimentos asfálticos.

El diseño para este tipo de pavimento está basado principalmente en la pérdida de la calidad de servicio provocado por deformaciones permanentes de la subrasante o por grietas por fatiga en las capas asfálticas.

La fatiga producida por los esfuerzos horizontales en las interfaces de las capas asfálticas y granulares ha sido incorporada en los ábacos de diseño de este método.

La deformación permanente que sufre la subrasante depende del número de solicitaciones y el grado de compresión vertical producto de las cargas sobre la subrasante.

Los ábacos de diseño están ideados para asegurar que el pavimento fallará por la deformación permanente de la subrasante y no por el agrietamiento de la carpeta de concreto asfáltico.

El nivel de tensiones en cada capa producto de las cargas depende de la rigidez de cada capa del pavimento y a su vez, la rigidez varía en función de la temperatura ambiente, por lo cual existen ábacos de diseño para diferentes TMPA.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

- Determinar los parámetros de entrada, en este caso, CBR de la subrasante, ejes equivalentes que solicitarán al pavimento, temperatura media ponderada anual del lugar donde se encontrará la vía.
- Se elige el gráfico de diseño según el TMPA, se ubican los ejes equivalentes en la vertical y se traza una línea horizontal hasta interceptar la curva correspondiente al CBR de la subrasante (ver figura 3-4 y 3-5).
- Luego, la ordenada de ese punto muestra el espesor total de la capa de asfalto o el espesor total de la capa granular, dependiendo del lado del gráfico que se eligió.

- Para determinar el espesor de la base granular y el de la subbase granular, se ingresa al gráfico de la figura 3-6 con el espesor total de la capa granular en la vertical y luego se traza una línea horizontal hasta la intersección con la diagonal del gráfico, para luego trazar una vertical hacia arriba. La longitud de esta línea vertical bajo la línea punteada es el espesor de la subbase granular y la longitud sobre la línea punteada es el espesor de la base.

Si se tiene un TMPA intermedio se calculan los espesores para el TMPA inmediatamente anterior y posterior y luego se interpolan los espesores.

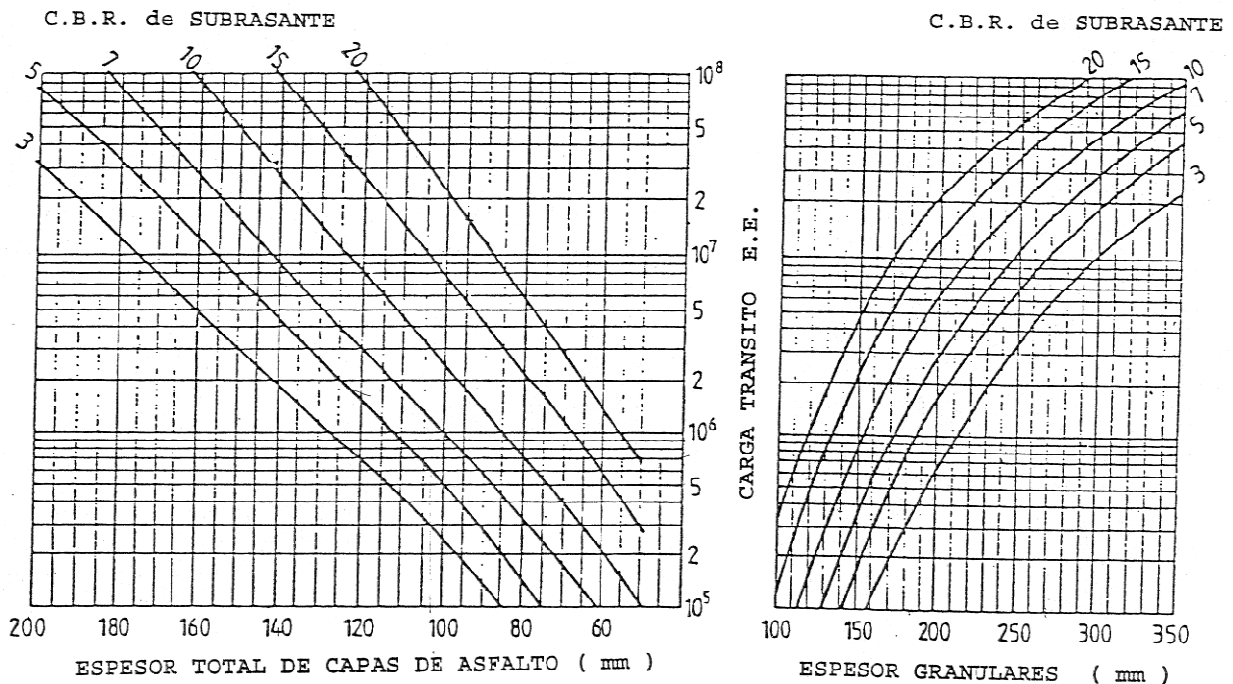


Figura 3-4: Abaco de diseño TMPA=12 °C.

Mediante este método se obtuvo la siguiente estructura del pavimento:

Capa de rodado	:	0,05 m espesor.
Base Asfáltica	:	0,05 m espesor.
Base granular CBR ≥ 80%	:	0,15 m de espesor.
Sub base CBR ≥ 50%	:	0,06 m espesor.

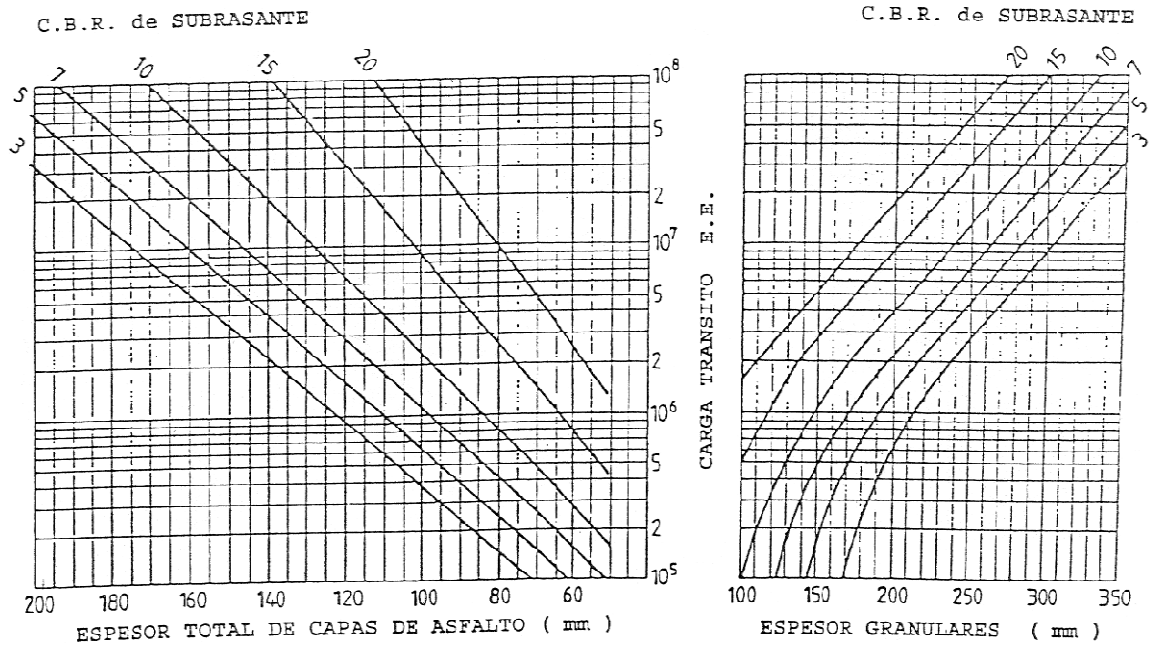


Figura 3-5: Abaco de diseño TPA=16 °C.

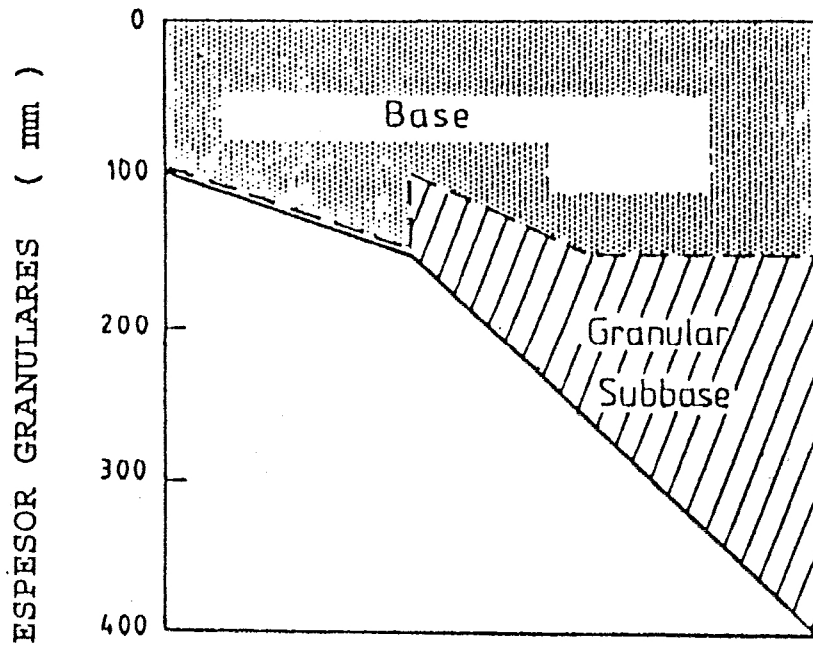


Figura 3-6: Determinación del espesor de la base granular pavimento asfáltico.

Nota: Para el diseño con este método se consideró un CBR=20% en la subrasante

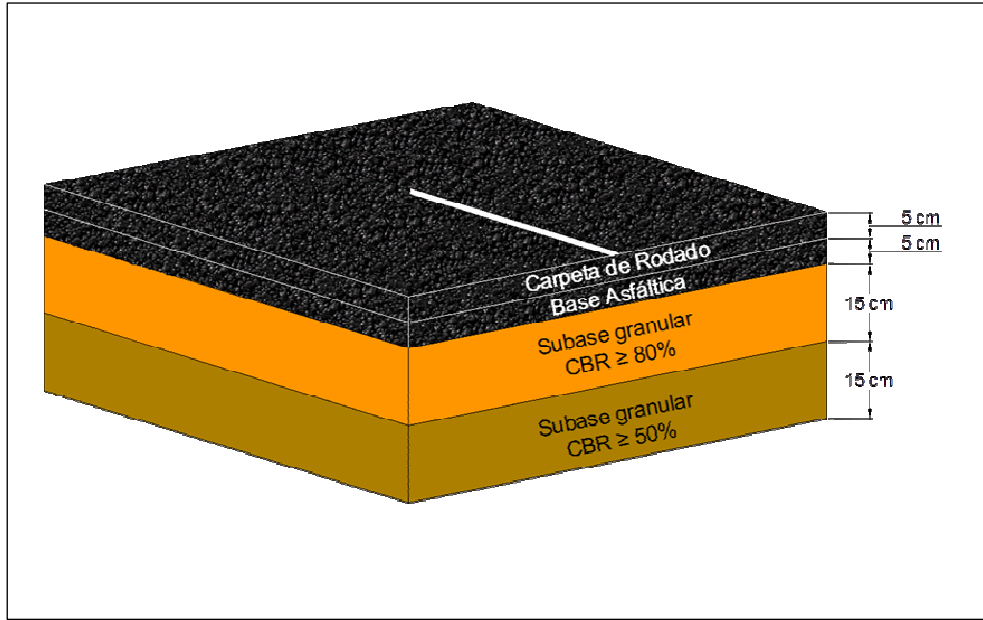


Figura 3-7: Esquema de la estructura de pavimento de asfalto construida según método N.R.B.

3.3.2 Diseño de pavimentos de hormigón.

El método propone realizar el diseño en torno a un índice de servicio, esto es, en cómo el pavimento soporta las condiciones a lo largo del tiempo.

Este método considera la utilización de barras de traspaso de cargas en las juntas para los caminos de alto tránsito sobre 10 MEE.

Las principales consideraciones son:

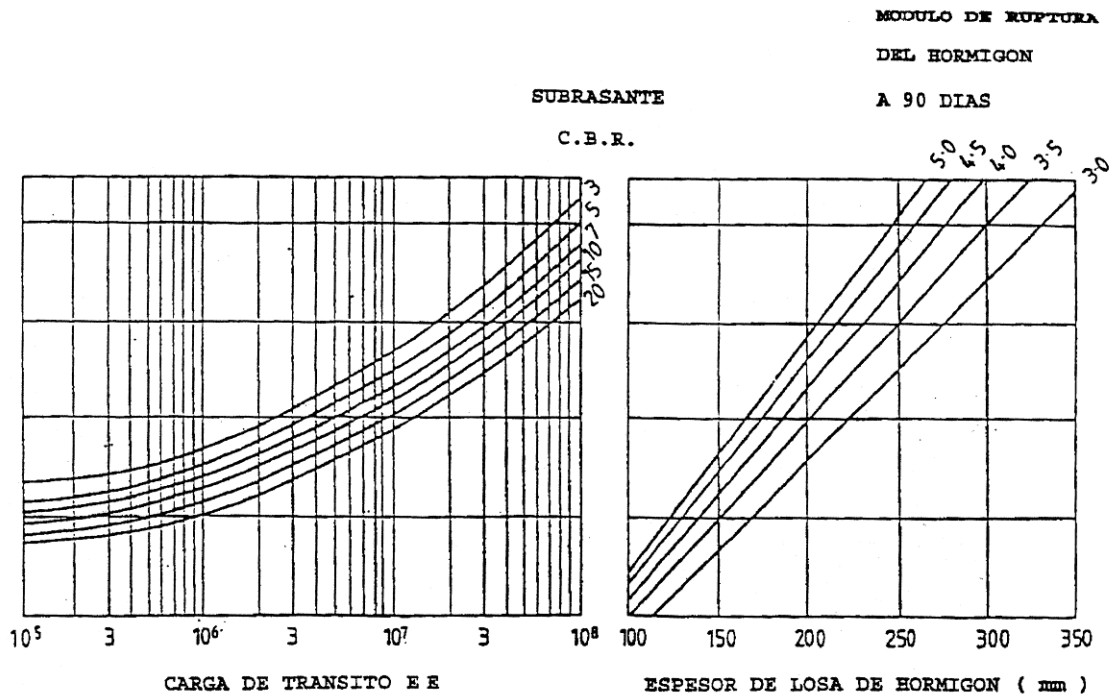
- Una evaluación de la resistencia de la subrasante: esto es para lograr una capa uniforme con capacidad de soporte adecuada, que sea capaz de resistir y distribuir los esfuerzos a las capas inferiores.
- Determinación del espesor de la losa de concreto para que pueda soportar las cargas de tránsito y cumplir con su índice de servicio en el tiempo.

Los parámetros de entrada para este tipo de diseño son:

- Carga de tránsito en ejes equivalentes (EE).
- CBR de diseño de la subrasante.
- Módulo de ruptura a la flexotracción del concreto a los 90 días.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

- Se ubican los ejes equivalentes en la horizontal del gráfico izquierdo (ver figura 3-8).
- Se traza una vertical hasta interceptar la curva de CBR de diseño.
- Luego se dibuja una línea horizontal hacia la derecha hasta la curva del módulo de ruptura a la flexotracción en el gráfico del sector derecho.
- Desde este punto se baja con una línea vertical y se obtiene el espesor de la capa de hormigón.



**ABACO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE
HORMIGON**

Figura 3-8: Abaco diseño Hormigón

Mediante este método se obtuvo un espesor de losa de hormigón de 0,18 m con sistema de traspaso de carga

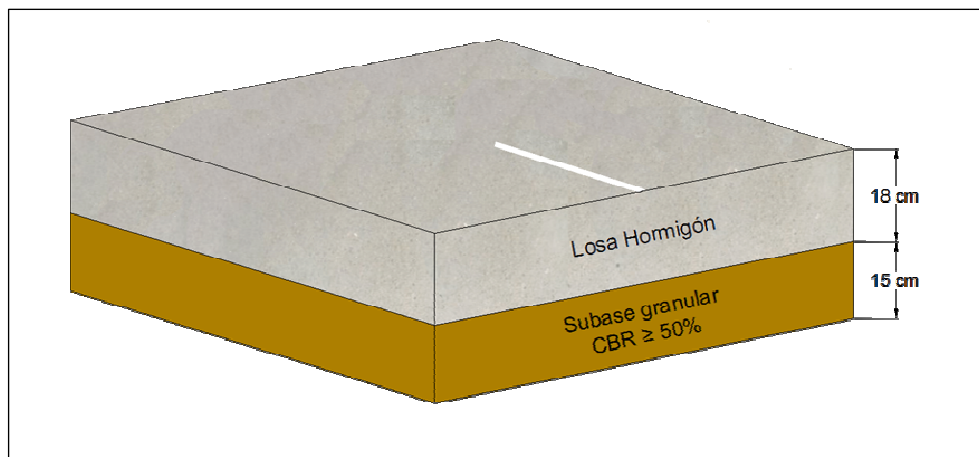


Figura 3-9: Esquema de la estructura de pavimento de hormigón construida según método AASHTO.

3.4. Método de diseño de Tratamientos Superficiales.

Al igual que en el diseño de otros tipos de pavimentos, el diseño de tratamientos superficiales supone que la estructura resistente sigue una determinada ley de fatiga. El factor que marca la diferencia con los otros diseños es el de suponer que la capa más superficial no ayuda a soportar las cargas producto de las solicitaciones. Teniendo esto en consideración, los estratos inferiores (base y suelo) son los encargados de resistir las cargas del tránsito.

Una de las formas más comunes de falla de este tipo de soluciones es por descompactación de la base. Para evitar este tipo de problemas es preponderante impedir la penetración de agua a la base.

El diseño de los tramos con tratamiento superficial fue realizado utilizando el boletín N°31 del Country Board, Victoria, Australia.

El procedimiento de diseño es el siguiente:

- Ubicar la carga de tránsito (EE.) en la parte superior del gráfico (ver figura 3-10).
- Trazar una recta descendente hasta el CBR correspondiente a la subrasante.
- La ordenada de ese punto indica el espesor total del material granular.

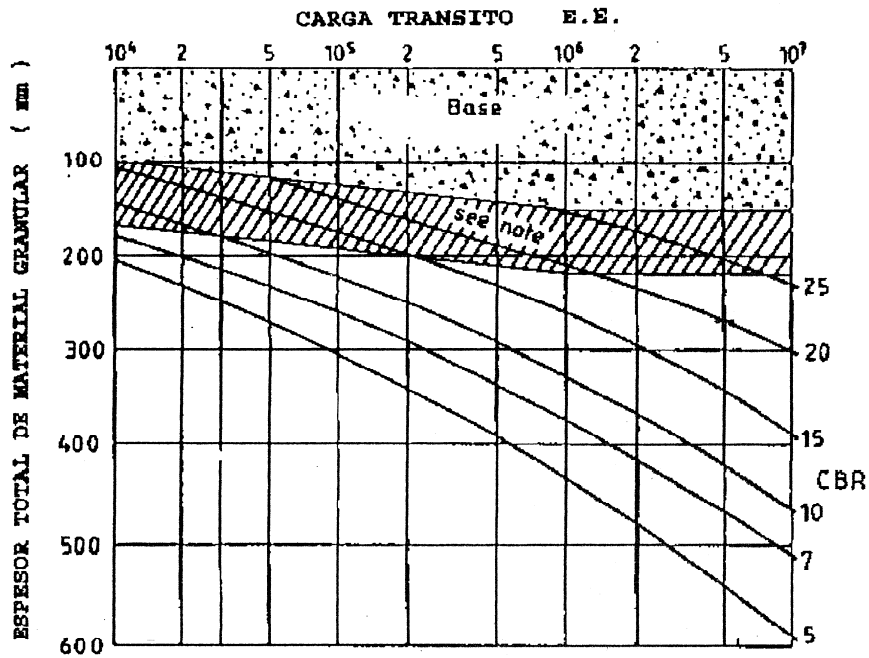


Figura 3-10: Abaco de diseño tratamientos superficiales

Mediante este método se obtuvo la siguiente estructura:

Tratamiento superficial doble	:	0,02 m espesor.
Base CBR \geq 120%	:	0,14 m espesor.
Base CBR \geq 80%	:	0,10 m de espesor.
Sub base CBR \geq 50%	:	0,15 m espesor.

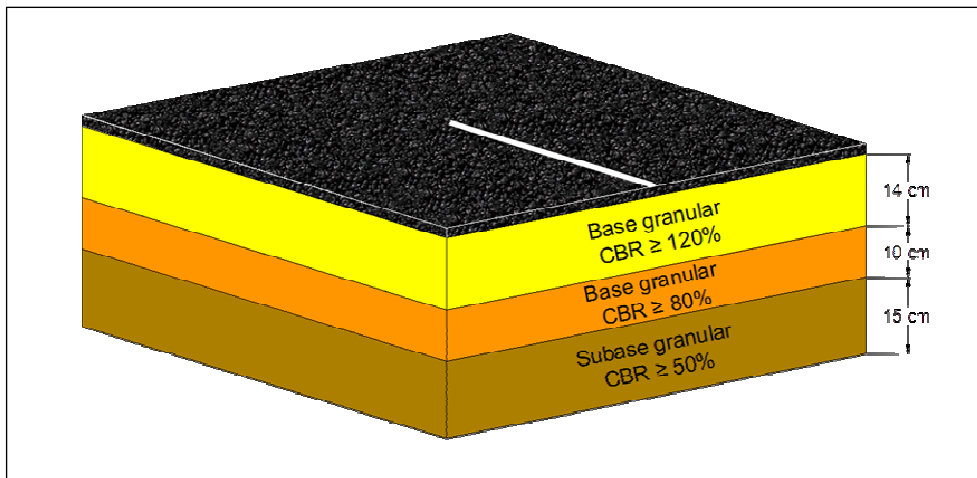


Figura 3-11: Esquema de la estructura de los DTS, construida según boletín N°31 del Country Board, Victoria, Australia.

4. CÁLCULO DE SOLICITACIONES PRODUCTO DEL TRÁNSITO.

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE SOLICITACIONES PRODUCTO DEL TRÁNSITO.

Para entender la evolución del deterioro que los tramos en estudio han presentado en el tiempo, es necesario estimar las cargas solicitantes para diferentes umbrales de tiempo.

Inicialmente los tramos de pruebas se diseñaron para resistir una solicitud de 20 millones de Ejes Equivalentes (EE), los cuales, suponiendo un crecimiento anual de 4,65%, se alcanzarían en 12 años de operación de la vía. Considerando la puesta en servicio en el año 1995 la vida útil del tramo en estudio se proyectó hasta el año 2007.

Conociendo el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) de la vía para distintos años y los factores de equivalencia por tipo de vehículo, se puede estimar cuándo se cumplieron los 20 millones de EE, cuántos EE pasaron a los 12 años de operación de la vía y finalmente cuántos EE han solicitado la vía hasta la actualidad.

Para la realización de estos cálculos se cuenta con los datos de tránsito de los años 1994, 1996, 1998 y 2000 que posee la Dirección Nacional de Vialidad medidos en la estación de Rungue.

Datos de tránsito total en ambos sentidos			
Año	TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL		
	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses
1994	527	1.292	457
1996	843	2.189	555
1998	1.263	2.970	689
2000	1.128	2.343	594

Tabla 4-1: TMDA estación Rungue.

Se supondrá para el tramo un factor de sentido igual a 0,5.

Como complemento a los datos anteriores se cuenta con información provista por la División de Explotación de Obras Concesionadas a cargo del tramo Santiago Los Vilos.

La estación de control perteneciente a la concesionaria Autopista del Aconcagua más cercana al tramo en estudio está ubicada en el Dm 52.000 (PK 52). En este punto de control se registra el flujo vehicular diariamente durante los 365 días del año y los TMDA se calculan como el promedio simple durante el año.

El TMDA en este punto de control es medido independientemente según sentido norte-sur o sur-norte.

Datos de tránsito sentido Norte-Sur			
Año	TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL		
	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses
2005	455	1029	453
2006	608	1951	244
2007	331	1045	139

Tabla 4-2: TMDA PK 52.

Por ser mediciones realizadas en sentido norte-sur, se considera un factor de sentido igual a 1 (100% del tránsito pasa sobre el tramo experimental).

Con los datos antes mostrados e interpolando linealmente para los años en que no se posee información, se estima que el TMDA para la pista de diseño ha presentado la siguiente evolución desde su construcción:

TMDA por año sobre el tramo experimental			
Año	TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL		
	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses
1995	342	870	253
1996	422	1095	278
1997	527	1290	311
1998	632	1485	345
1999	598	1328	321
2000	564	1171	297
2001	542	1143	328
2002	520	1114	359
2003	499	1086	391
2004	477	1057	422
2005	455	1029	453
2006	608	1951	244
2007	331	1045	139

Tabla 4-3: TMDA estimado desde la construcción del tramo.

A partir de estratigrafías de pesos por ejes realizadas en diferentes años desde la construcción del tramo experimental, se determinaron los factores de equivalencia según tipo de vehículo.

Factores de equivalencia pavimento asfáltico			
Año	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses
1995	1,440	3,310	1,440
1996	1,380	3,080	1,380
1997	1,140	2,860	1,740
1998	1,030	2,670	1,730
1999	0,890	2,480	1,780
2000	0,760	2,310	1,830
2001	0,298	1,819	1,836
2002	0,298	1,819	1,836
2003	0,607	1,810	1,773
2004	0,607	1,810	1,773
2005	0,625	3,186	1,740
2006	0,728	3,311	1,865
2007	0,728	3,311	1,865

Tabla 4-4: Factores de equivalencia asfalto.

Factores de equivalencia pavimento hormigón			
Año	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses
Construcción - 2000	0,637	4,423	1,850
2001	0,613	3,227	1,726
2002	0,613	3,227	1,726
2003	0,500	2,311	1,627
2004	0,500	2,311	1,627
2005	0,637	4,423	1,850
2006	0,783	4,236	2,054
2007	0,783	4,236	2,054

Tabla 4-5: Factores de equivalencia hormigón.

Al no contar con datos que posibiliten el cálculo de los factores de equivalencia, se asume un valor constante desde la puesta en servicio hasta el año 2000 para los pavimentos de hormigón.

Todos los factores de equivalencia antes mencionados están calculados según el método AASHTO 1993.

4.1. Cálculo de eje equivalentes solicitantes hasta la actualidad.

Establecidos los factores de equivalencia y utilizando el tránsito medio diario anual se procede al cálculo de los ejes equivalentes según la siguiente ecuación:

$$EE = F_D \cdot F_p \cdot 365 \cdot TMDA \cdot FEC$$

Donde:

EE: Ejes equivalentes de 18 kip (8.165 kg).

F_D: Factor por sentido.

F_p: Factor de pista.

TMDA: Tránsito medio diario anual.

FEC: Factor de equivalencia de carga. Este factor relaciona el deterioro provocado por un determinado tipo de vehículo con el deterioro producto del paso de un eje equivalente.

Considerando un F_P para la pista de diseño de 0,8, los ejes equivalentes solicitantes según tipo de pavimento son los siguientes:

Ejes equivalentes para pavimento asfáltico					
Año	EJES EQUIVALENTES				
	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses	Total por año	Acumulados
1995	143.996	841.278	106.466	1.091.740	1.091.740
1996	169.857	984.457	111.886	1.266.201	2.357.941
1997	175.299	1.077.074	158.083	1.410.456	3.768.397
1998	189.991	1.157.631	174.085	1.521.707	5.290.104
1999	155.356	961.745	166.762	1.283.863	6.573.967
2000	125.139	790.092	158.745	1.073.977	7.647.944
2001	47.173	607.034	175.984	830.191	8.478.135
2002	45.278	591.913	192.703	829.894	9.308.029
2003	88.366	573.939	202.236	864.541	10.172.570
2004	84.506	558.893	218.380	861.780	11.034.349
2005	83.038	957.291	230.160	1.270.489	12.304.838
2006	129.246	1.886.250	132.878	2.148.374	14.453.212
2007	70.363	1.010.319	75.697	1.156.378	15.609.590

Tabla 4-6: Ejes equivalentes solicitantes para los tramos de pavimento asfáltico.

Siguiendo el mismo procedimiento se obtienen los ejes equivalentes para los tramos de hormigón.

Ejes equivalentes para pavimento de hormigón					
Año	EJES EQUIVALENTES				
	Camiones de 2 ejes	Camiones más de 2 ejes	Buses	Total por año	Acumulados
1995	63.698	1.124.161	136.779	1.324.639	1.324.639
1996	78.405	1.413.719	149.993	1.642.117	2.966.756
1997	97.952	1.665.699	168.077	1.931.728	4.898.483
1998	117.499	1.917.678	186.161	2.221.338	7.119.821
1999	111.193	1.715.241	173.320	1.999.754	9.119.576
2000	104.886	1.512.804	160.480	1.778.171	10.897.746
2001	97.036	1.076.910	165.441	1.339.387	12.237.133
2002	93.138	1.050.085	181.158	1.324.381	13.561.514
2003	72.789	732.803	185.582	991.174	14.552.688
2004	69.610	713.592	200.398	983.599	15.536.287
2005	84.632	1.328.970	244.711	1.658.312	17.194.600
2006	139.011	2.413.215	146.343	2.698.569	19.893.169
2007	75.679	1.292.573	83.368	1.451.619	21.344.788

Tabla 4-7: Ejes equivalentes solicitantes para los tramos de pavimento de hormigón.

De las tablas anteriores se puede ver que los pavimentos asfálticos no han sido solicitados por la totalidad de los EE para los cuales fueron diseñados. Por otro lado, los pavimentos de hormigón alcanzaron el nivel de solicitudes para los cuales fueron diseñados casi con exactitud a los 12 años de su puesta en servicio.

5. DETERIOROS EN PAVIMENTOS.

CAPÍTULO 5: DETERIOROS EN PAVIMENTOS.

La cuantificación de los deterioros que afectan a los pavimentos tiene como objetivo evaluar el estado de conservación que presentan éstos en la actualidad, junto con determinar las posibles causas que los provocan.

De esta manera se puede prestar especial atención en las fallas producto de las sollicitaciones de tránsito y desglosar qué deterioros (y su porcentaje con respecto a la superficie total) son producto de otros factores como defectos de construcción, inadecuada calidad de materiales, condiciones climáticas, etc.

Para la caracterización y medición de cada tipo de deterioro se procederá según la metodología sugerida en el Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados y en el Manual de Carreteras vol. 7.

5.1 Pavimentos flexibles.

El tipo de daño así como la manera de cuantificarlo y algunas posibles causas de su aparición se enumeran a continuación.

5.1.1 Agrietamiento Estructural.

Son aquellas fallas producidas por pérdida de capacidad de soporte estructural de las capas del pavimento.

5.1.1.1 Fisuras y grietas longitudinales.

Son predominantemente paralelas al eje de la calzada, ubicadas dentro de la huella por donde circula la mayor parte del tránsito o en el eje de la calzada.

Cuando estas fisuras o grietas coinciden con el eje de la calzada posiblemente son producto de una mala construcción.

En otras posiciones son causadas por gradientes térmicos en mezclas muy rígidas o por asentamientos de la base o de la subrasante por una compactación inadecuada.

5.1.1.2 Fisuras y grietas por fatiga.

Generalmente son una serie de fisuras interconectadas entre sí en su fase inicial, al evolucionar el deterioro se forman trozos de ángulos agudos. En etapas avanzadas forman un deterioro parecido a una “malla de gallinero” o “piel de cocodrilo”. Ocurren en las zonas que reciben la mayor cantidad de solicitaciones.

Este tipo de agrietamiento es causado por deflexiones excesivas en la carpeta de rodadura al estar apoyadas sobre una base o subbase mal compactada o saturada.

5.1.2 Grietas térmicas.

Son grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada producidas por los cambios volumétricos de la mezcla asfáltica al experimentar sucesivas contracciones y dilataciones producto del gradiente térmico de la zona o por juntas de construcción mal construidas.

5.1.3 Pérdida de áridos.

Es la pérdida del mortero asfáltico superficial quedando expuestos parcialmente el árido más grueso, en general, concentrada en la huellas.

Las causas posibles son la falta de adherencia entre el ligante y los áridos o una mezcla asfáltica mal diseñada, ya sea por ligante inadecuado, áridos sucios o por cubrimiento no uniforme del árido.

5.1.4 Baches abiertos.

Desprendimiento y pérdida localizada de material que forma la carpeta de rodadura y a veces parte de la base. Generalmente se presenta con una geometría circular con diámetro variable. Para ser considerado como bache al menos una de sus dimensiones debe tener un mínimo de 150 mm.

Las causas probables de la aparición de baches en la carpeta de rodadura pueden ser un pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante, drenaje inadecuado o insuficiente, defectos de construcción, derrame de solventes (bencina, diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.

5.1.5 Ahuellamiento.

Hundimiento longitudinal que coincide con la huella por donde circula la mayor parte del tránsito y que puede encontrarse asociado a desplazamientos transversales de la carpeta. Para su medición, se materializa la superficie teórica (sin deformación) con un elemento rígido horizontal y se mide el descenso en mm.

Algunas de las posibles causas son: una compactación insuficiente de la base y/o de la mezcla asfáltica, base con una capacidad de soporte inadecuada (falta de traba mecánica), diseño inadecuado de la mezcla asfáltica ya sea por exceso de asfalto o ligante muy blando, mezcla con baja estabilidad Marshall, etc.

5.1.6 Exudación.

Presencia localizada de ligante libre por emigración hacia la superficie del pavimento con áridos totalmente sumergidos, que habitualmente forma una película brillante y a veces pegajosa.

Esto puede deberse a dosificación deficiente de la mezcla, exceso de asfalto, volumen de huecos insuficiente o ligante muy blando.

5.1.7 Descenso de la berma.

Es la diferencia de altura entre el borde externo del pavimento y la berma.

Este asentamiento de la berma es generalmente producto de una compactación insuficiente, en bermas no revestidas. Principalmente se produce por el tránsito, también por erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la plataforma. En zonas frías, con ciclos de hielo y deshielo, se produce por descompactación producida por la penetración de agua.

5.2 Pavimentos rígidos.

5.2.1 Agrietamiento transversal.

Grieta predominantemente perpendicular al eje de la calzada. También pueden extenderse desde una junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la intersección con la junta esté a una distancia del borde mayor que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentre a una distancia inferior a la mitad del ancho de la losa.

El origen de estas grietas es generalmente por longitud excesiva de la losa, junta de contracción aserrada o formada tardíamente, espesor de la losa insuficiente para soportar las sollicitaciones o por retracciones térmicas que originan alabeos en la losa.

5.2.2 Grieta esquina.

Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular al interceptar las juntas transversal y longitudinal, y que forma un ángulo de aproximadamente 50 grados

con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varían entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa.

Generalmente este deterioro se produce por falta de apoyo de la losa, originado por erosión en la base o por alabeo térmico. También puede deberse a una deficiente transmisión de cargas en las juntas o por sobrecarga en las esquinas.

5.2.3 Grieta longitudinal.

Grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce en una distancia mucho mayor que la mitad del ancho de la losa.

Esto es producto de un asentamiento de la base y/o la subrasante, losa de ancho excesivo, carencia de una junta longitudinal, mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas o por un aserrado tardío de la junta.

5.2.4 Escalonamiento de juntas y grietas.

Desnivel entre dos superficies del pavimento, separadas por una junta transversal o grieta.

Las causas probables son una erosión de la base en las inmediaciones de la junta o grieta, deficiencia en el traspaso de carga entre losas o trozos de losas, asentamiento diferencial de la subrasante o un drenaje insuficiente.

5.2.5 Saltadura de junta o grieta (desconche).

Desintegración de las aristas de una junta, longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 500 mm dentro de la losa.

Las causas probables de este deterioro son un debilitamiento de los bordes de la junta debido a un acabado excesivo u otro defecto de construcción, o por la

penetración de partículas incompresibles (como piedras) dentro de la caja de la junta o dentro de una grieta activa.

5.2.6 Deficiencias del sello.

Deterioro del sello de las juntas que permite la incrustación de materiales incompresibles (piedras, arenas, etc.) y/o la infiltración de una cantidad considerable de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Las causas probables son:

- Endurecimiento: producto de mala calidad, envejecimiento.
- Despegado de las paredes de la junta: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada.
- Fluencia fuera de la caja: exceso de sello, producto de mala calidad, proceso de colocación deficiente.
- Carencia: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- Incrustaciones de materiales incompresibles: bermas no pavimentadas, vehículos que dejan caer materiales.

5.3 Monografías.

Teniendo en consideración los diferentes deterioros presentados anteriormente se procedió a la realización de una serie de monografías del tramo en estudio, las cuales detallarán todas las fallas posibles de detectar mediante una inspección visual.

Para los pavimentos flexibles se registran las siguientes variables:

- Ancho de pista.
- Grietas.

- Perdida de áridos.
- Exudación.
- Ahuellamiento.
- Baches abiertos.
- Envejecimiento de carpetas.
- Ancho de bermas.
- Tipo de berma.
- Estado de berma.
- Descenso de berma > 1 cm.
- Rompimiento de borde.

En el caso de los pavimentos de hormigón las variables registradas son:

- Largo de losa.
- Ancho de losa
- Trozos.
- Grietas.
- Saltaduras en grietas.
- Tipo de sello en junta transversal.
- Estado del sello en junta transversal.
- Tipo de sello en junta longitudinal.
- Estado del sello en junta longitudinal.
- Saltadura en juntas.
- Escalonamiento en junta transversal.
- Tipo de berma.
- Ancho de la berma.
- Descenso de la berma > 1 cm.
- Pozos de bombeo.
- Baches abiertos.

El ancho de la pista es una variable común a lo largo de todo el tramo en estudio:

- Ancho de pista = 3,5 m.

5.3.1 Definiciones previas.

A continuación se indican muestra una serie de definiciones previas, las cuales son válidas para todo el estudio y se fundamentan en el criterio general utilizado en la nomenclatura utilizada en caminos.

- Sentido: Se entiende por sentido ascendente si los vehículos se desplazan en la dirección en que avanza el kilometraje. Por el contrario, se tiene un sentido descendente si los vehículos se desplazan en la dirección contraria al avance del kilometraje.
- Doble calzada: Camino con dos o más pistas por sentido.

- Calzada izquierda: Calzada que se encuentra en el sentido descendente del kilometraje, en un camino de doble calzada.
- Calzada derecha: Calzada que se encuentra en sentido ascendente del kilometraje, en un camino con doble calzada.
- Numeración de pistas: para identificar una pista en particular en una carretera o camino de varias pistas, existe un criterio numérico con el cual se puede nombrar cada pista. Se asignan números impares crecientes (1, 3, etc.), partiendo desde el eje central del camino hacia afuera, en las pistas que van en el sentido de avance del kilometraje (sentido ascendente). Se asignan números pares crecientes (2, 4, etc.), partiendo desde el eje central del camino hacia afuera, en las pistas que van en sentido decreciente.

El presente estudio se concentra sobre las pistas 2 y 4, (pistas con sentido decreciente), donde la pista 4 (pista exterior), es la más solicitada por el tránsito.

5.3.2 Metodología de inspección.

La inspección visual fue realizada mediante una serie de visitas a terreno en el periodo comprendido entre mayo y julio de presente año.

Para la correcta medición de los deterioros en cada tramo se procedió a demarcar el pavimento cada 50 metros partiendo desde el inicio del tramo en su extremo norte. La demarcación de los diferentes puntos se materializó con pintura amarilla en spray sobre la berma exterior de la vía.

También se marcaron los hitos importantes como cambios de tramos, kilometrajes, número de losa, entrada a predios, etc. La simbología que se empleó fue la siguiente:

- Línea perpendicular al eje del camino: El eje de esta línea indica el fin del tramo de 50 metros.
- Línea perpendicular al eje del camino con número a la izquierda: El eje de esta línea indica la distancia acumulada hasta el inicio norte del tramo.
- Línea perpendicular al eje del camino con número a ambos lados: El eje de esta línea indica la distancia acumulada (izquierda de la línea) y el kilometraje de referencia (derecha). Ver Imagen 5-1.
- Semi-círculo: Indica cambio de tramo.
- También se marcó el número de losa en alguna de ellas, contando desde la losa en el extremo norte como losa 1.



Imagen 5-1: Demarcación en terreno.

Para registrar de la manera más detallada los deterioros que afectan a la vía, el tramo en su totalidad fue recorrido a pie y las distancias medidas con huincha metálica de 50 metros de longitud.

El detalle de los deterioros registrados se puede apreciar en los planos con la monografía de pavimento, en el anexo C.

5.4 Deterioros observados en el tramo experimental.

Tras la recopilación en terreno y el procesamiento de los diferentes deterioros, se muestra a continuación los resultados más significativos obtenidos en cuanto a tipo de deterioro, severidad y área afectada para los diferentes tipos de pavimentos encontrados en el tramo experimental.

En general las grietas, desconches y baches a lo largo de todo el tramo de prueba de pavimentos rígidos se encontraban reparadas, es decir, selladas. Por el contrario, en el tramo con pavimentos flexibles se encontraron una gran cantidad de grietas, generalmente transversales, que no contaban con un procedimiento de reparación, o sea, no contaban con algún tipo de sello. En los tramos de tratamiento superficial los baches y depresiones identificados se encontraban sellados, mejorando el ahuellamiento de dichos sectores.

5.4.1 Tratamientos superficiales dobles.

Dentro de los tramos de tratamiento superficial el deterioro característico presente es un hundimiento de la carpeta de rodado en la zona de la huella de los vehículos, este hundimiento presenta agrietamiento tipo malla y posee baches tapados generalmente localizados en el centro.

La severidad de este deterioro depende de la profundidad del bache, como estos se encontraban tapados se registró el área afectada y la profundidad del ahuellamiento.

Deterioro en tramos con doble tratamiento superficial				
Tramo	Área deteriorada [m²]		Área total del tramo [m²]	% Área deteriorada
	pista 4	pista 2		
2-A con tercer riego	0,27	0	420	0,06
2-A sin tercer riego	14,18	0,08	1330	1,07
2-B sin tercer riego	44,06	0	1330	3,31
2-B con tercer riego	13,75	0	420	3,27

Tabla 5-1: Resumen de área deteriorada en D.T.S.

Finalmente el tramo 2-A (con emulsión normal) posee un 0,83 % de su superficie deteriorada y el tramo 2-B (con emulsión elastomérica) posee un 3,3 % de su superficie deteriorada.

El ahuellamiento máximo observado en los distintos tramos se presenta en la siguiente tabla:

Ahuellamiento máximo por tramo	[mm]	Severidad
2-A con tercer riego	12	baja
2-A sin tercer riego	17	baja
2-B sin tercer riego	30	media
2-B con tercer riego	22	media

Tabla 5-2: Ahuellamiento en D.T.S.

Según criterio de superficie deteriorada y nivel de ahuellamiento el tramo construido con emulsión normal presenta un menor deterioro frente a las sollicitaciones, en comparación con el sector con emulsión elastomérica.

La aplicación de un tercer riego sobre los D.T.S. muestra un comportamiento diferente si se emplea sobre la emulsión normal o sobre la elastomérica. Sobre emulsión normal muestra un buen comportamiento registrándose una disminución tanto en la superficie deteriorada como en la profundidad del ahuellamiento producido, con respecto del tramo con la misma emulsión pero sin tercer riego. Por el contrario su aplicación sobre emulsión elastomérica no muestra un efecto considerable en la disminución de los deterioros en comparación con el tramo del mismo tipo de mezcla sin tercer riego.

5.4.2 Pavimentos asfálticos.

Los tramos constituidos por pavimentos asfálticos muestran dos tipos de deterioro característico dependiendo del diseño empleado en ellos. Los tramos diseñados con métodos mecanicista N.R.B de Nueva Zelanda muestran una

predominancia importante de grietas transversales en comparación con otro tipo de deterioro. Por el contrario el tramo diseñado con método AASHTO muestra predominantemente grietas longitudinales.

Deterioros en pavimentos asfálticos			
	Grietas estructurales		
tramos	Lineales [m]	Cocodrilo [m ²]	Fisuramiento Térmico [N ^o]
Tramo 4	375	5,46	25
Tramo 3-B	32	47	155
Tramo 3-A	0	40	42

Tabla 5-3: Resumen de deterioros registrados en tramos asfáltico.

El tramo 3-A presenta 3 reparaciones importantes (llamado bacheo profundo) en la pista 4 realizadas en marzo del presente año, con una extensión total de 178 metros. El bacheo profundo es una reparación del pavimento consistente en sacar la carpeta antigua, realizar mejoras en la base granular y recarpetear nuevamente con asfalto.

Estas reparaciones impiden caracterizar los deterioros presentes en el tramo. Pese a lo anterior en los sectores de dicho tramo que no fueron reparados se aprecia una alta incidencia de grietas estructurales del tipo piel de cocodrilo.

Los tramos 3-A y 3-B en general presentan una escasa cantidad de grietas transversales (fisuramiento térmico) selladas. Por el contrario el tramo 4 presenta la mayoría de las grietas aserradas y con sello en buenas condiciones.

5.4.3 Pavimentos de hormigón.

En general, la mayoría de las grietas se encuentran selladas. Pese a esto, se pudo observar en aquellos sectores donde las grietas no presentaban sello, que el ancho de las grietas más allá del desconche superficial no era mayor a 10 mm.

La junta longitudinal a lo largo de todos los tramos de hormigón se encuentra en buenas condiciones, no se aprecia separación de las losas y el sello longitudinal no presenta deterioros importantes.

Los sellos de juntas y grietas se aprecian deteriorados superficialmente. En las juntas se aprecia ligeramente despegado en uno de sus lados. Pese a esto, en el tramo cepillado se aprecia que los sellos, unos pocos centímetros bajo la superficie, se encuentran adheridos a ambos lados de las losas de hormigón tanto en las juntas como en las grietas, cumpliendo con su labor de impedir la penetración del agua a la subbase.

Podría pensarse que este mismo fenómeno ocurre en todos los tramos de hormigón y los sellos, bajo la superficie, se encuentran en buenas condiciones.

Se aprecia poca cantidad de pozos de bombeo a lo largo del tramo completo y en los que se pudieron observar tenían una severidad media a baja.

Recuento de grietas estructurales										
		N° losas*	N° de grietas transversales		N° de grietas longitudinales		N° de grietas con saltadura > 5cm		% grietas con saltadura > 5cm**	N° de grietas por losa***
			pista 4	pista 2	pista 4	pista 2	pista 4	pista 2		
Tramo 5	Con malla eje neutro	10	11	5	0	0	0	0	0	0,8
	Normal	73	132	71	21	4	78	10	39	1,6
Tramo 6	Con malla eje neutro	10	16	2	0	0	5	0	28	0,9
	Normal	74	130	71	19	2	74	6	36	1,5
Tramo 7	Con malla eje neutro	10	6	0	0	0	0	0	0	0,3
	Normal	73	75	58	7	1	70	5	53	1,0
Tramo 8A1	Con malla eje neutro	10	5	3	0	0	0	0	0	0,4
	Normal	12	11	10	0	0	0	0	0	0,9
Tramo 8A2	Con malla eje neutro	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	Normal	20	7	0	0	0	0	0	0	0,18
Tramo 8B1	Con malla eje neutro	15	0	0	0	0	0	0	0	0
	Normal	21	3	1	0	0	0	0	0	0,10
Tramo 8B2	Con malla eje neutro	10	7	8	0	0	1	0	6,7	0,75
	Normal	11	11	9	0	2	2	2	18	1

Tabla 5-3: Grietas estructurales por tipo y ubicación.

Nota:

(*): Indica la cantidad de losas por pista en el tramo.

(**): Indica el porcentaje de grietas con saltaduras > 5 cm con respecto del total de grietas en el tramo.

(***): Representa la razón entre el número de grietas y el número de losas.

Normal indica sin malla de acero en el eje neutro.

La elección de zapatas de traspaso de carga o fierros de traspaso de carga no influye significativamente en una menor aparición de grietas estructurales en las losas.

Como era de esperar el tramo diseñado con el método AASHTO, el cual posee un espesor de losa de 21 cm, presenta un 60% menos de grietas que los tramos diseñados con el método neozelandés con losas de 18 cm.

Aunque el tramo 7 muestra una menor cantidad de grietas en comparación con el tramo 5 y 6, se aprecia un alto porcentaje de éstas con desconches mayores a 5 cm (53 % de la grietas con saltaduras >5cm) en comparación con los otros 2 tramos, los cuales muestran entre un 36% y 39% de las grietas con saltaduras importantes. Esta comparación puede inducir a algún tipo de error, pues se debe considerar que el tramo 5 se encuentra cepillado en su totalidad y el tramo 6 a partir de aproximadamente la mitad de su longitud. Este cepillado por tratarse de un desgaste superficial del pavimento disminuye el ancho de las saltaduras o, en el caso de las saltaduras más superficiales, las elimina por completo.

El cepillado, pese a mejorar el estado de la grietas con saltaduras, no afecta de igual manera a las grietas estructurales del hormigón, dado que este proceso solo afecta un par de centímetros de la superficie. Por el contrario, las grietas estructurales del hormigón atraviesan la losa en la totalidad del espesor. Debido a esto y prestando una mayor detención al realizar la inspección visual, igualmente se pueden detectar las grietas estructurales.

El largo de losa es un factor muy importante en la incidencia de grietas estructurales en las losas de hormigón, y con ello en la vida útil del pavimento. Los resultados muestran que en promedio un tramo con losas de 4 metros presenta un 85% menos de grietas estructurales que un tramo con las mismas características pero con un largo de losa de 6 metros.

Al comparar los tramos según si su sección es rectangular de 21 cm o trapezoidal, se obtienen resultados contrapuestos para el caso de losas de seis o cuatro metros. Al comparar los tramos de losas de cuatro metros, muestra mejores resultados

la sección rectangular frente a la aparición de grietas. Por el contrario, si comparamos los tramos con losas de seis metros resulta que muestra un mejor desempeño el tramo con sección trapezoidal. De todos modos las diferencias son marginales y se puede concluir que el tipo de sección no influye en mayor escala en un mejor comportamiento del pavimento.

La incidencia de la malla de acero (ubicada en la fibra neutra) en la aparición de grietas en las losas de hormigón, se comparo de manera porcentual debido a que ésta se encuentra solo en 60 metros de cada tramo y los tramos poseen longitudes de 125 o 500 metros.

Se aprecia una reducción promedio de un 60% en la aparición de grietas entre los sectores con malla de acero y los sin ella.

Durante la inspección visual realizada en los tramos de hormigón se pudo apreciar un tipo de deterioro denominado “fisuramiento por retracción” en algunas losas. Este deterioro se manifiesta como fisuras superficiales en forma de malla, y se produce por un curado inadecuado del hormigón, la adición de agua durante el alisado de la superficie o condiciones ambientales rigurosas al momento de la construcción. Por ser un deterioro de la superficie es bastante notorio a simple vista, pero no conlleva una pérdida de capacidad estructural de hormigón.

6. AUSCULTACIÓN DEL PAVIMENTO.

CAPÍTULO 6: AUSCULTACIÓN DEL PAVIMENTO.

Para la determinación del estado de los pavimentos y la evolución de estos en el tiempo existen distintos procedimientos y tecnologías posibles de utilizar.

Los dos grandes criterios por los cuales los pavimentos fallan son por pérdida de capacidad funcional o por pérdida de capacidad estructural.

La evaluación de la capacidad funcional determina el nivel de servicio que un determinado pavimento puede entregar al usuario. Dentro de los indicadores con los que se puede medir la capacidad funcional de un pavimento se encuentra la pérdida de serviciabilidad (ver AASHTO) y el índice de rugosidad (IRI).

La evaluación de la capacidad estructural determina el número de solicitaciones de tránsito que la estructura de pavimento admitirá antes que se produzca la falla, dadas las condiciones actuales de ésta. Para la determinación de la capacidad estructural de un pavimento se puede evaluar la capacidad de soporte, realizar predicciones de vida remanente, retro calcular los parámetros de resistencia de las capas, etc. Para lograr ésta evaluación se debe contar con ensayos, ya sean destructivos o no destructivos. Como ensayo destructivo es posible la extracción de testigos o realización de calicatas, y como no destructivo la medición de las deflexiones del pavimento, producto de cargas estáticas o dinámicas.

A continuación se describen los distintos métodos de evaluación aplicados en el tramo de estudio, como lo son las mediciones de rugosidad (IRI), macro textura y ensayos de deflectometría de impacto (FWD).

6.1 Determinación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

En este estudio se utilizó la rugosidad como uno de los parámetros indicadores del estado funcional del pavimento. Esta técnica de medición consta de un sistema de sensores montados sobre un vehículo que registran las variaciones del perfil

longitudinal del camino y las aceleraciones experimentadas por el coche. Luego, siguiendo un modelo matemático denominado “cuarto de carro normalizado”, que representa la acumulación de desplazamiento relativo entre las masas de la carrocería y la suspensión del modelo circulando a 80 km/h, se obtiene dicho índice, el que posee unidades de metros por cada kilometro de avance (m/km).

En los siguientes gráficos se muestra la evolución en el tiempo del IRI promedio de cada tramo, medido sobre la pista 4 (pista más solicitada).

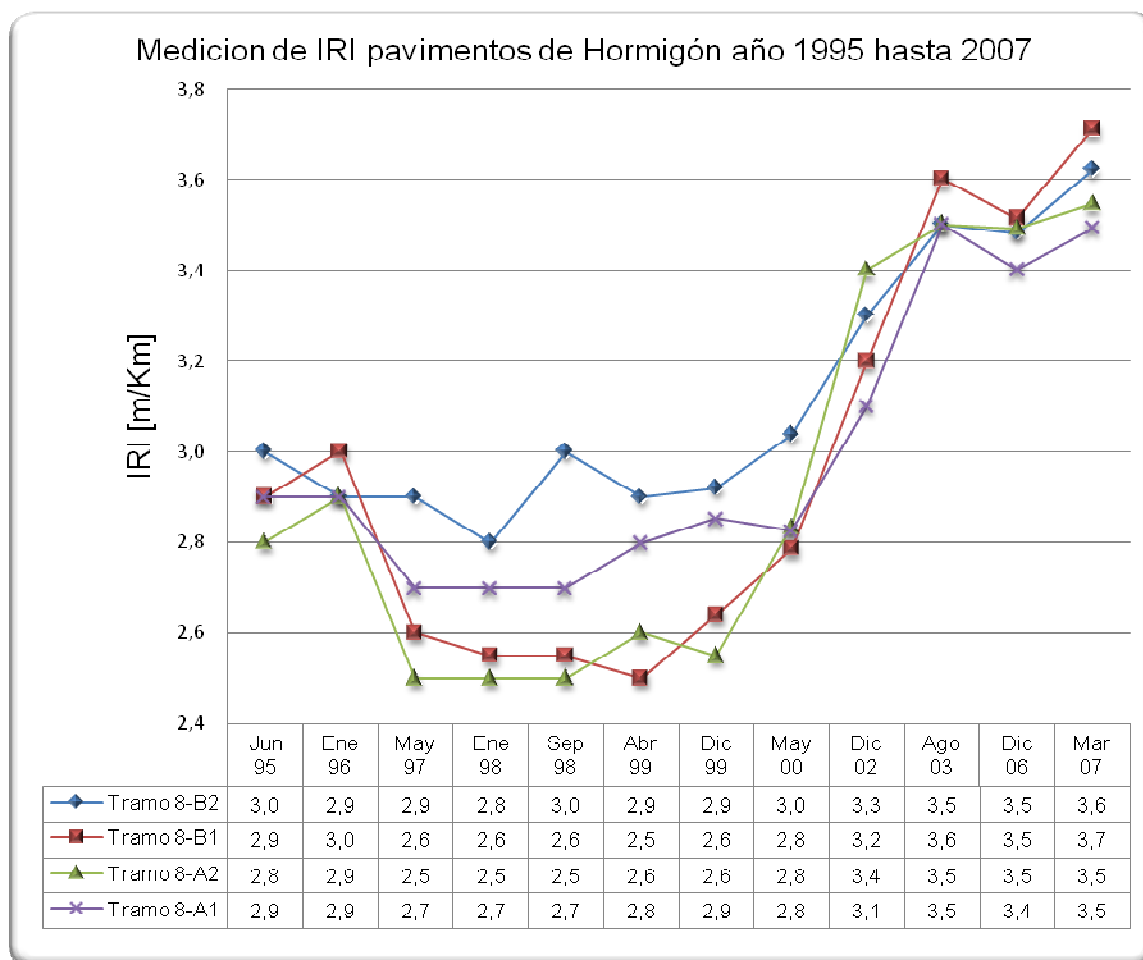


Gráfico 6-1: Evolución IRI tramos de Hormigón.

Tramo 8-B₂: Diseño AASHTO, longitud 6 m, espesor 24 cm promedio, sección variable.

Tramo 8-B₁: Diseño AASHTO, longitud 4 m, espesor 24 cm promedio, sección variable.

Tramo 8-A₂: Diseño AASHTO, longitud 4 m, espesor 24 cm.

Tramo 8-A₁: Diseño AASHTO, longitud 6 m, espesor 24 cm.

Medición de IRI pavimentos de Hormigón año 1995 hasta 2007

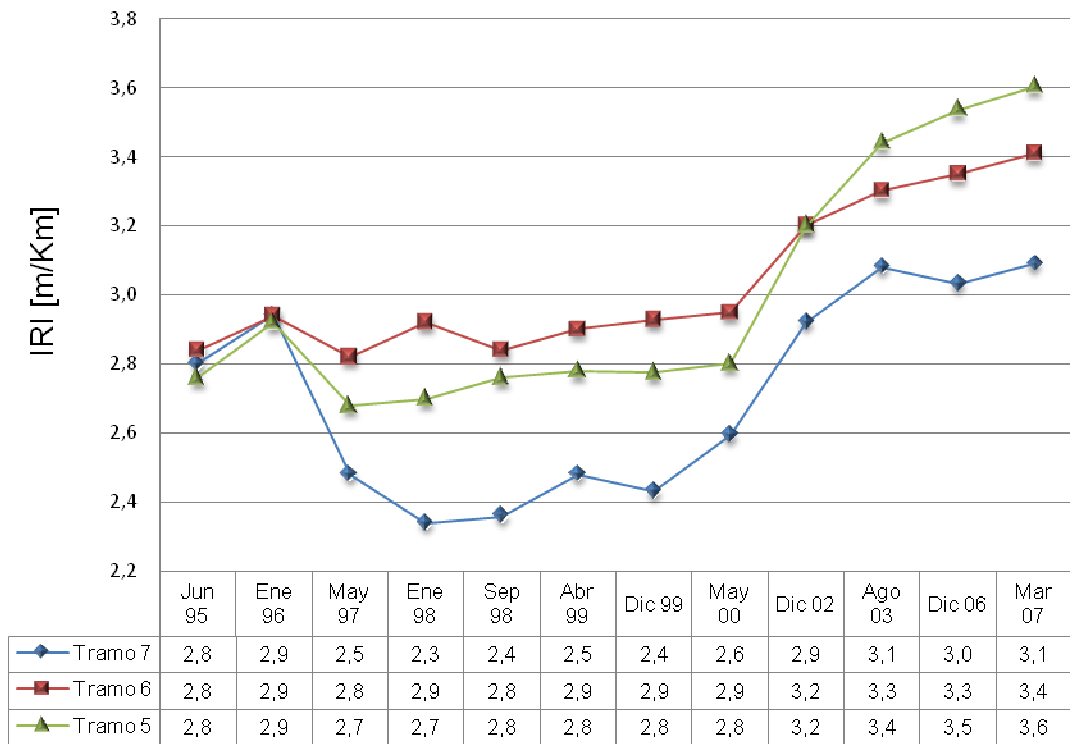


Gráfico 6-2: Evolución IRI tramos de hormigón.

Tramo 7: Diseño AASHTO, long. 6 m, espesor 21 cm, con fierros de traspaso de carga.

Tramo 6: Diseño N.R.B., long. 6 m, espesor 18 cm, con fierros de traspaso de carga.

Tramo 5: Diseño N.R.B., long. 6 m, espesor 18 cm, con zapata de traspaso de carga.

Medición de IRI pavimentos de asfalto año 1995 hasta 2007

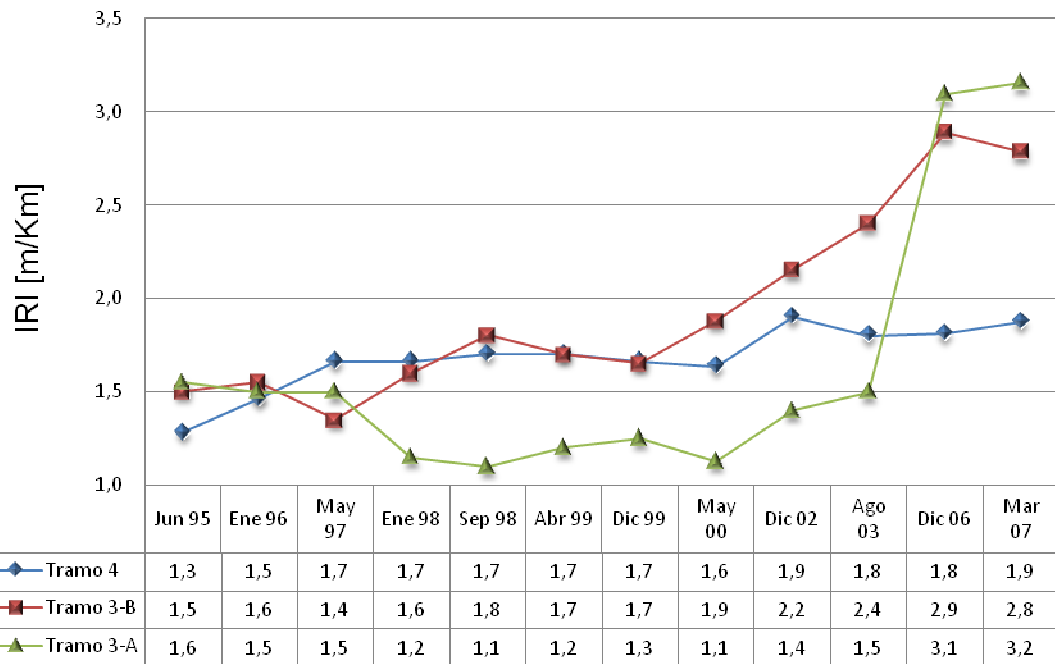


Gráfico 6-3: Evolución IRI tramos de asfalto.

Tramo 4: Diseño AASHTO, asfalto normal.

Tramo 3-B: Diseño N.R.B. asfalto elastomérico.

Tramo 3-A: Diseño N.R.B. asfalto normal.

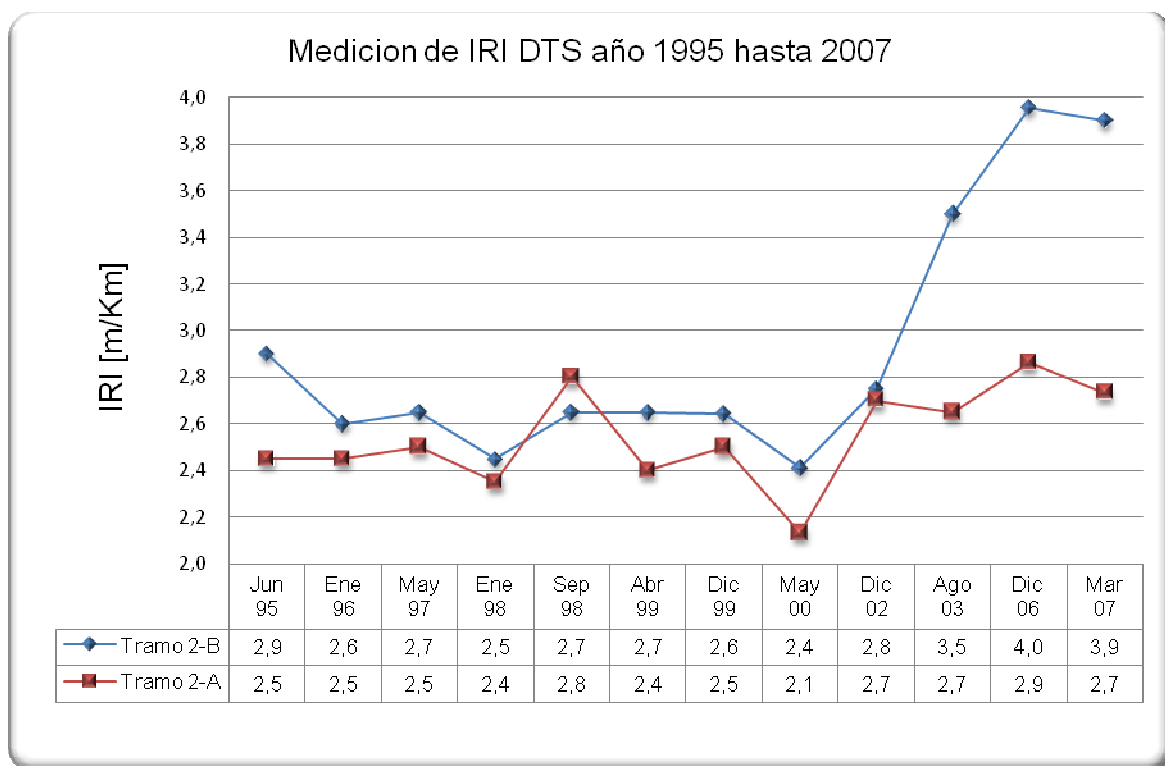


Gráfico 6-4: Evolución IRI tramos de DTS.

Tramo 2-B: Emulsión elastomérica.

Tramo 2-A: Emulsión Normal.

Es posible apreciar un comportamiento relativamente constante en los primeros años de servicio, luego a partir del año 2002 se aprecia un aumento sistemático en la rugosidad promedio para los diferentes tipos de pavimentos.

6.2 Determinación del coeficiente de fricción transversal.

Dentro de las variables que afectan el nivel de servicio, se encuentra el coeficiente de fricción que un pavimento ofrece a los usuarios. Este indicador es muy importante pues la vía debe ofrecer un buen nivel de adherencia neumático-pavimento en todo instante, lo que posibilita un buen frenado o la estabilidad del vehículo en la vía en zonas de curvas. Este parámetro se hace crítico en condiciones de pavimento mojado pues la adherencia en estas condiciones baja, pudiendo llegar a valores inseguros para los usuarios.

Este ensayo se basa en medir la fuerza de fricción que se desarrolla en la interface neumático-pavimento cuando el neumático es impedido de girar. Debido a la susceptibilidad que tiene esta medición con respecto a la velocidad o el tipo de neumático y la criticidad de las condiciones mojadas de la carpeta de rodadura, este ensayo se ha normalizado a una cierta cantidad de agua presente en la vía, una velocidad y tipo de neumático determinado.

El equipo utilizado por el Laboratorio Nacional de Vialidad en las mediciones es el SCRIM, instrumento que permite realizar mediciones continuas y de alto rendimiento.

A continuación se muestra el coeficiente de fricción promedio por tramo de la pista 4 medido desde el año 2002.

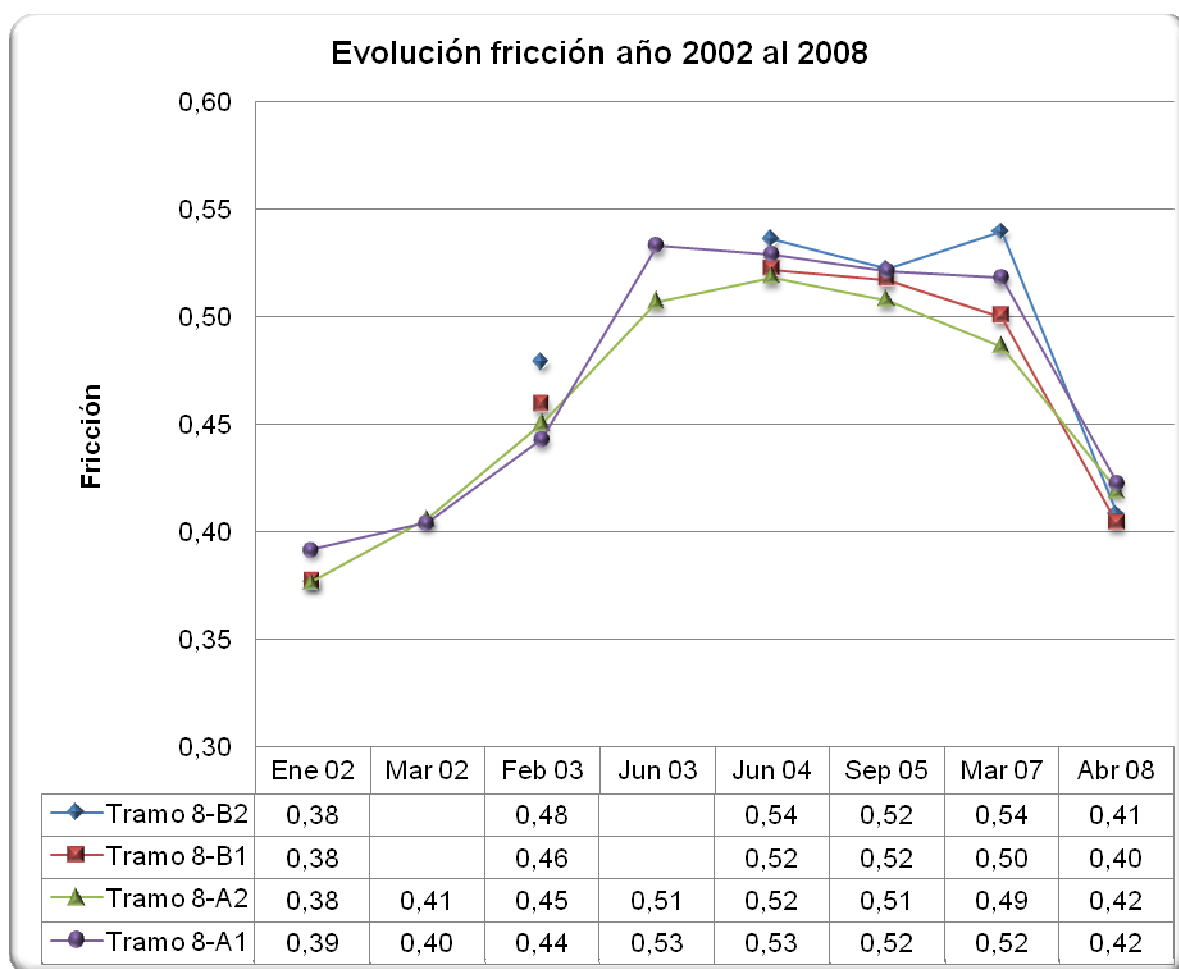


Gráfico 6-5: Evolución coeficiente de fricción tramos de Hormigón.

Tramo 8-B₂: Diseño AASHTO, longitud 6 m, espesor 24 cm promedio, sección variable.

Tramo 8-B₁: Diseño AASHTO, longitud 4 m, espesor 24 cm promedio, sección variable.

Tramo 8-A₂: Diseño AASHTO, longitud 4 m, espesor 24 cm.

Tramo 8-A₁: Diseño AASHTO, longitud 6 m, espesor 24 cm.

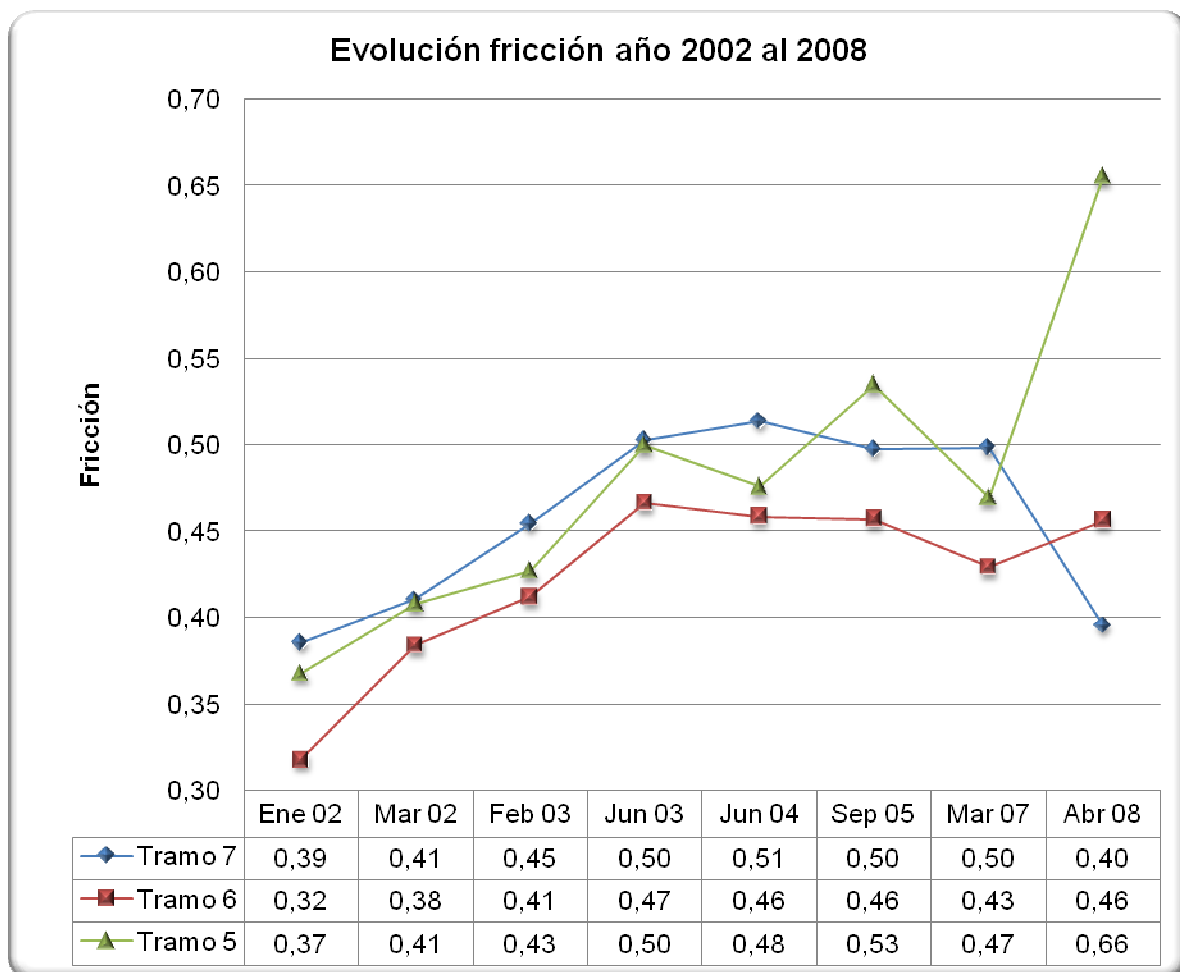


Gráfico 6-6: Evolución coeficiente de fricción tramos de Hormigón.

Tramo 7: Diseño AASHTO, long. 6 m, espesor 21 cm, con fierros de traspaso de carga.

Tramo 6: Diseño N.R.B., long. 6 m, espesor 18 cm, con fierros de traspaso de carga.

Tramo 5: Diseño N.R.B., long. 6 m, espesor 18 cm, con zapata de traspaso de carga.

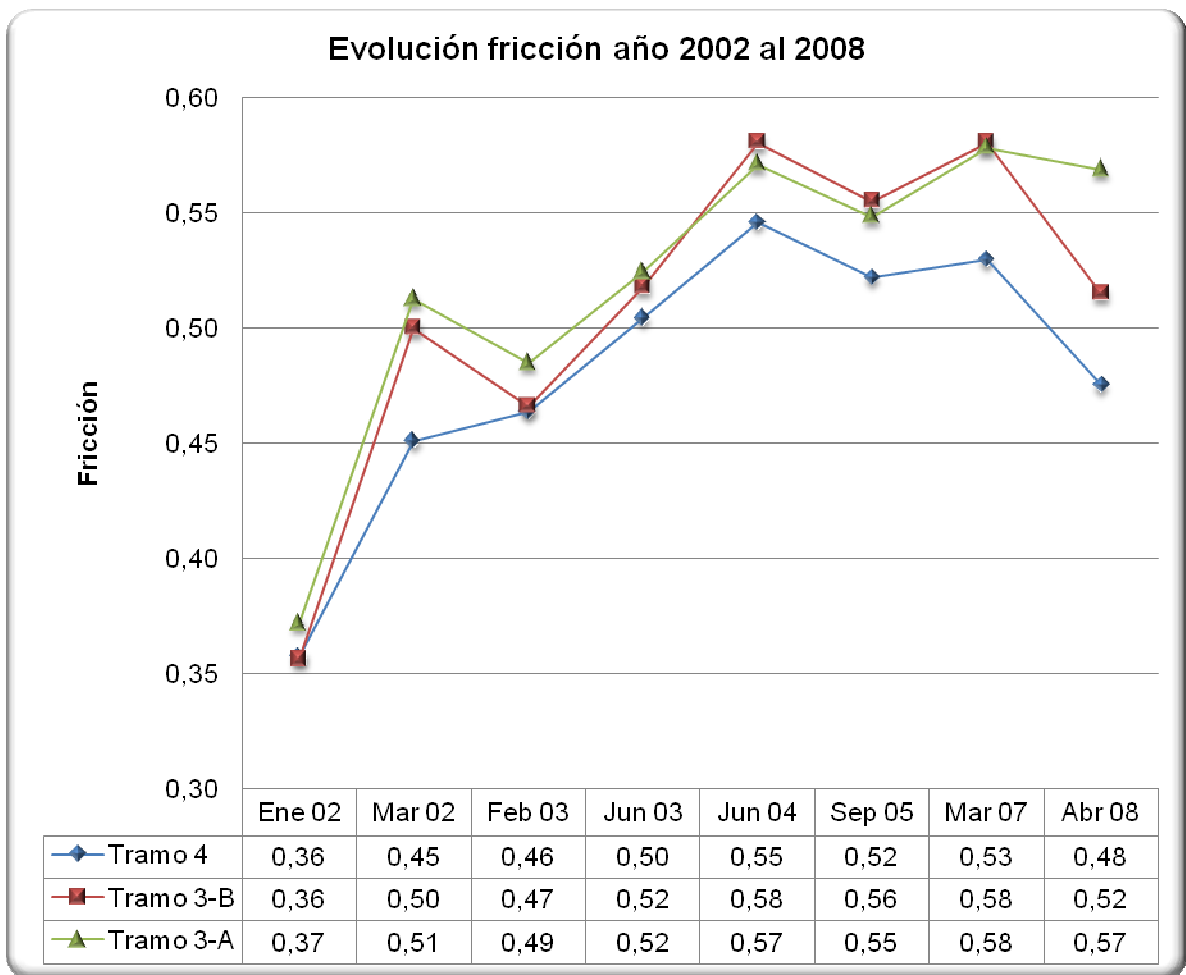


Gráfico 6-7: Evolución coeficiente de fricción tramos de Asfalto.

Tramo 4: Diseño AASHTO, asfalto normal.

Tramo 3-B: Diseño N.R.B. asfalto elastomérico.

Tramo 3-A: Diseño N.R.B. asfalto normal.

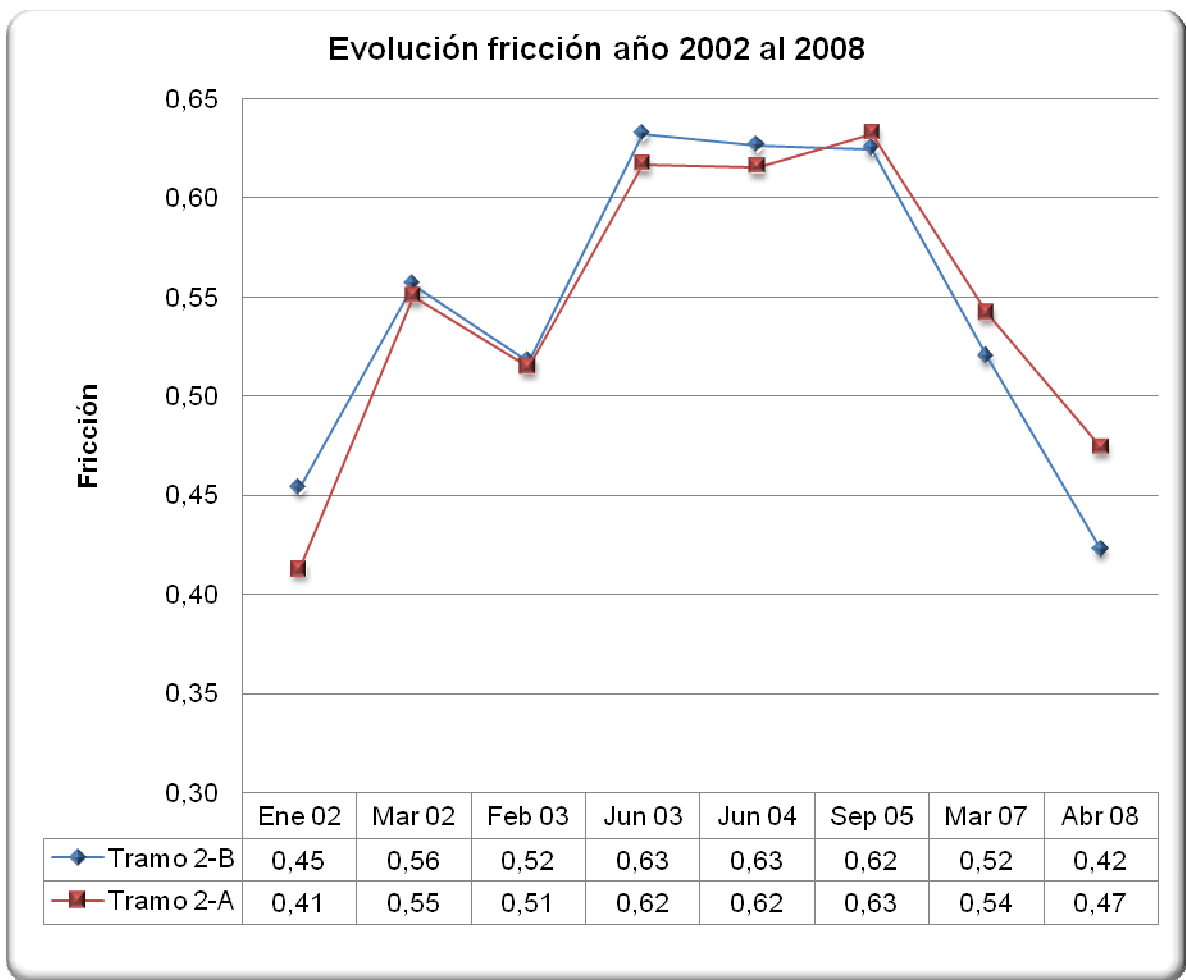


Gráfico 6-8: Evolución coeficiente de fricción tramos de DTS.

Tramo 2-B: Emulsión elastomérica.

Tramo 2-A: Emulsión Normal.

6.4 Deflectometría de impacto.

La deflectometría de impacto o Falling Weight Deflectometer (FWD) es un procedimiento diseñado para evaluar el comportamiento estructural de un pavimento de manera no destructiva. El ensayo consiste en aplicar un pulso de carga a la superficie del pavimento que simula la carga producto de las ruedas de un vehículo al pasar. La carga es producida por una masa que cae y transmitida al pavimento por un plato circular. Una celda de carga mide la fuerza aplicada mientras una serie de sensores puestos radialmente desde el punto de aplicación de la carga miden las deflexiones del pavimento en respuesta al impulso.

El cálculo de los módulos elásticos de las capas de pavimento en base a las deflexiones medidas es denominado retro cálculo. El método AASHTO sugiere algunas formulas basadas en la teoría elástica para realizar este retro cálculo. Con esto en consideración y la utilización de una computadora es posible determinar dichas propiedades de manera inmediata.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de las deflexiones en los tramos en estudio para distintos años:

Deflexiones y parámetros estructurales de la pista 4 (promedio por tramo)						
Tramo	Deflexión Máxima Carga 50 kN[μm]	Constante de Balasto [Mpa/m]	Epc [Mpa]	Módulo pavimento Ep [Mpa]	Módulo resiliente [Mpa]	Número estructural [cm]
8-B2	107,0	42,5	91249,5			
8-B1	182,5	59,0	24735,5			
8-A2	199,7	70,3	14610,5			
8-A1	249,0	41,8	13262,5			
7	197,6	41,1	64892,9			
6	244,8	22,2	98979,9			
5	288,7	40,0	35435,6			
4	301,0			4171,3	106,5	12,9
3-B	441,0			977,7	104,3	9,3
3-A	480,3			937,5	98,9	9,1
2-B	581,0			510,0	110,0	
2-A	572,4			467,8	121,3	

Tabla 6-1: Mediciones a agosto 1999 para carga de 50 kN

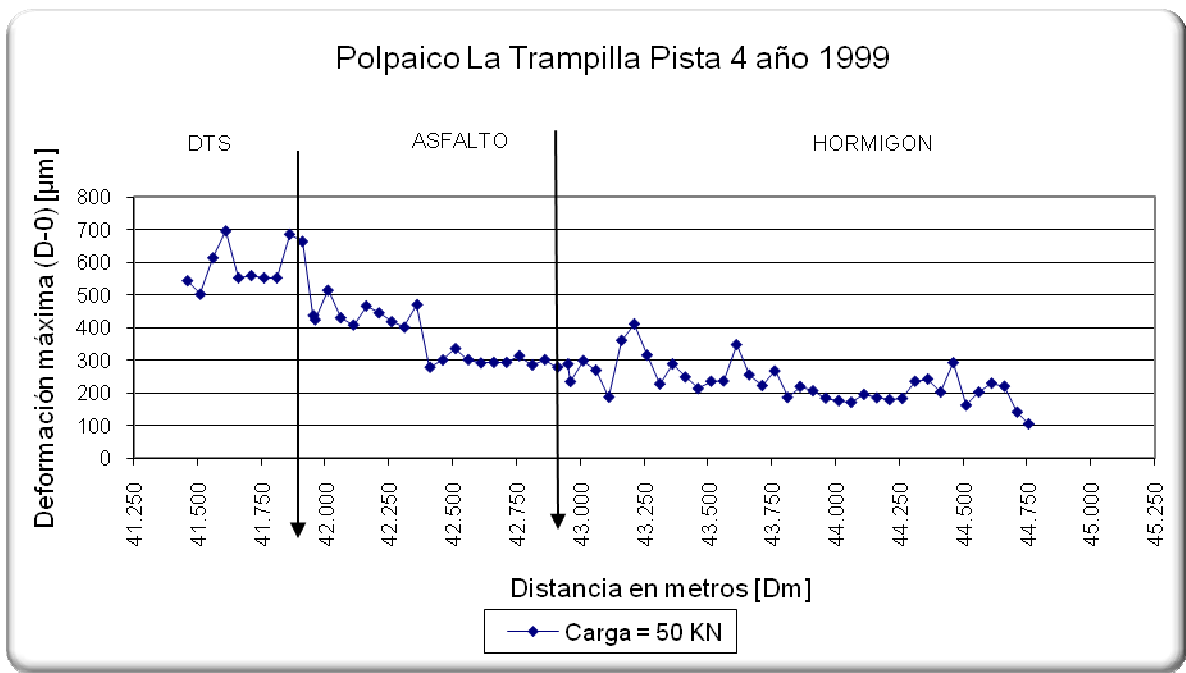


Gráfico 6-9: Deflexiones máximas año 1999.

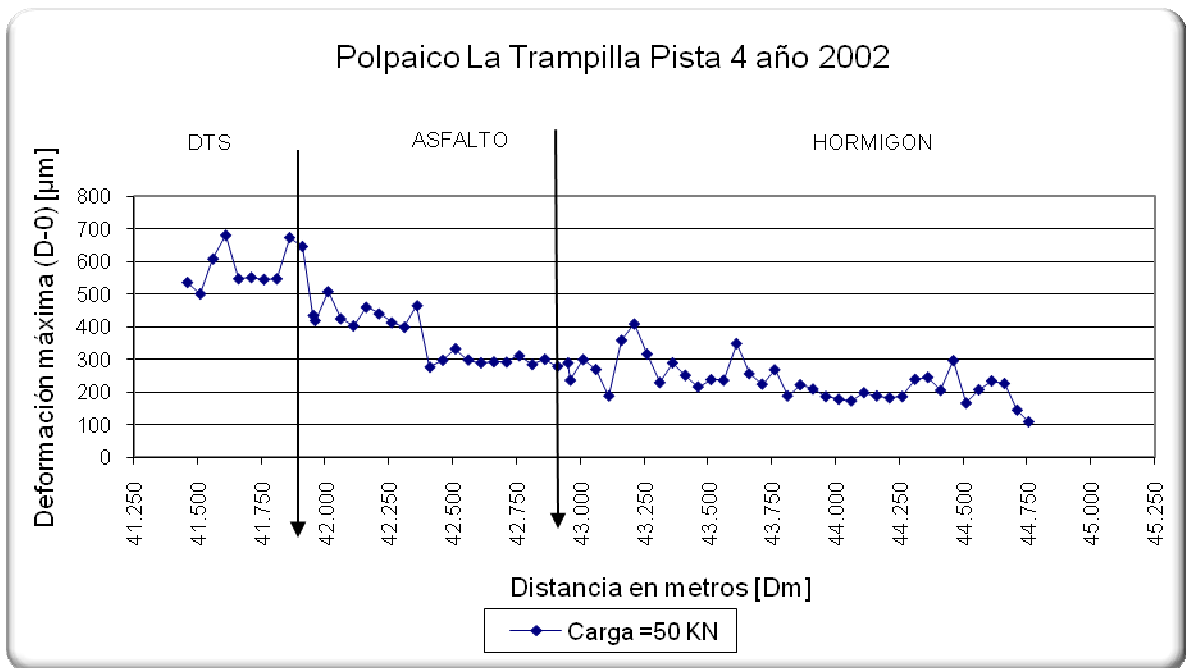


Gráfico 6-10: Deflexiones máximas año 2002.

Resumen de deflexiones y parámetros representativos de la condición estructural de la pista 4, marzo 2007 (promedio por tramo)						
Tramo	Deflexión Máxima para carga de 50 kN [μm]	Constante de Balasto [Mpa/m]	Epc [Mpa]	Módulo del pavimento Ep [Mpa]	Módulo resiliente [Mpa]	Número estructural efectivo [cm]
8-B2	125,0	9,0	641719,5			
8-B1	368,0	119,8	13284,8			
8-A2	201,0	85,0	32561,0			
8-A1	193,0	55,0	75241,5			
7	188,7	47,8	163937,6			
6	264,7	44,1	180987,9			
5	268,2	61,5	52965,1			
4	189,0			2531,1	126,0	15,1
3-B	251,8			1459,2	113,9	12,3
3-A	281,0			1106,0	107,9	11,4
2-B	558,4			480,2	124,6	
2-A	578,2			468,9	113,4	

Tabla 6-2: Resumen de deflexiones y parámetros calculados por retro cálculo.

Donde:

Deflexión Máxima (D_0): deflexión medida bajo el punto de aplicación de la carga.

Constante de balasto: Constante retro calculada según AASHTO.

Epc: Modulo de elasticidad del hormigón, retro calculado según AASHTO.

Ep: Modulo de elasticidad de las capas asfálticas, retro calculado según AASHTO.

Modulo resiliente: Modulo resiliente del suelo de fundación bajo la estructura de pavimento según retro cálculo AASHTO.

Número estructural efectivo: Número estructural del pavimento asfáltico según retro cálculo AASHTO.

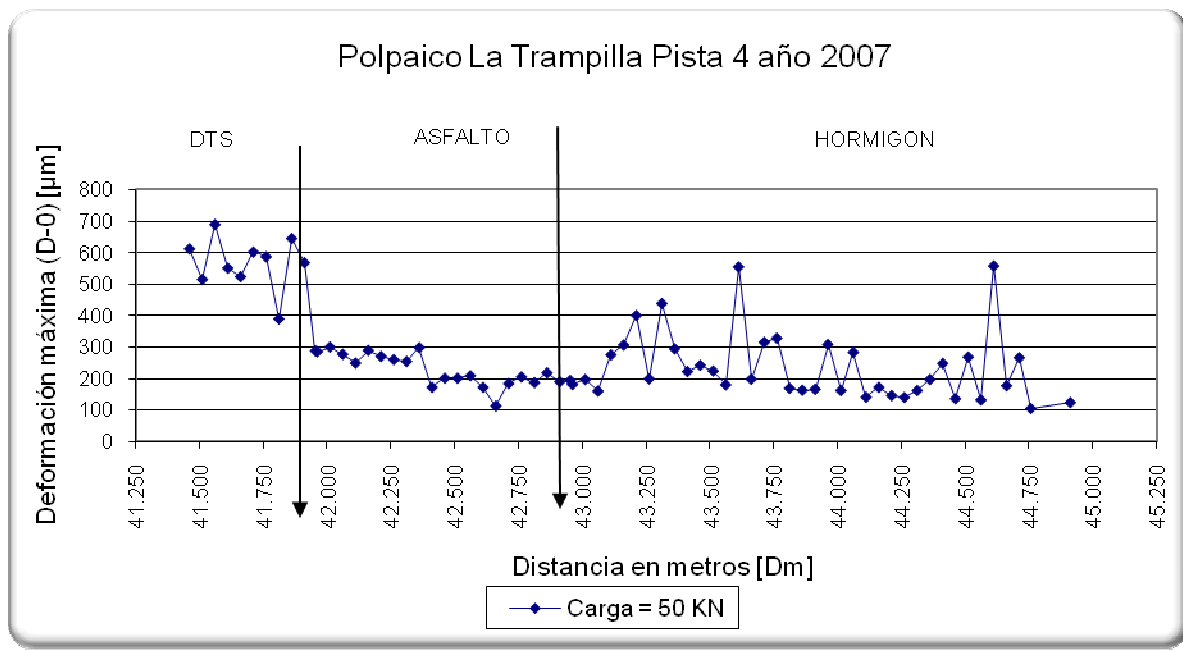


Gráfico 6-11: Deflexiones máximas año 2007.

Durante el transcurso de los años y producto de la solicitaciones se aprecia en los pavimentos asfálticos una disminución en la deformación máxima experimentada durante el ensayo de deflectometría de impacto, esto es, en el año 1999 y 2002 el tramo diseñado mediante el método AASHTO presentaba en promedio una deformación de 300 µm y el tramo diseñado con el método N.R.B. una deformación promedio de 450 µm aproximadamente. Por el contrario las deformaciones promedio medidas el año 2007 en el tramo diseñado con el método AASHTO y N.R.B. son 190 µm y 270 µm respectivamente.

Esta reducción de la deformación frente a la aplicación de una carga muestra la rigidización de la estructura de pavimento producto de las sucesivas cargas inducidas por el tránsito. Este comportamiento muestra que desde el punto de vista estructural el pavimento es capaz de seguir soportando las solicitaciones de tránsito. Si por el contrario se apreciara un aumento en las deformaciones máximas esto indicaría que la capacidad estructural ha sido superada.

Al contrario del comportamiento mostrado por los pavimentos asfálticos, los pavimentos de hormigón muestran un aumento de las deformaciones máximas

registradas cuando se comparan los registros del año 1999, 2002 con los del año 2007. Este hecho guarda relación con la aparición de grietas estructurales que dividen las losas en trozos de menores dimensiones, los cuales son incapaces de ofrecer una rigidez igual a la de la losa completa o con un menor número de grietas estructurales. Por esta razón al comparar los datos no se puede inferir un aumento uniforme en ninguno de los tramos, más bien existen puntos en los cuales seguramente la aparición de grietas influyó en la mayor deformación del pavimento frente a la sollicitación del instrumento medidor.

De los datos obtenidos mediante deflectometría en los tramos de hormigón, y por tener éstos longitudes relativamente pequeñas (125 metros) en los sectores que presentaban menor incidencia de grietas (losas de 4 metros), se poseen registros solo con 2 o 3 datos de deflexiones, con lo cual no se puede inferir alguna tendencia en este tipo de pavimentos.

6.5 Cálculo de la evolución de la serviciabilidad.

A partir de los datos de rugosidad medidos con el parámetro IRI y utilizando formulas que relacionan este parámetro con la serviciabilidad presente de los pavimentos tanto de hormigón como de asfalto, se estimará una curva de pérdida de serviciabilidad en el tiempo de los diferentes tramos.

La relación ocupada es la propuesta por B. Al-Omari y M.I. Darter.

$$PSI = 5 \cdot e^{(-0,26 \cdot IRI)}$$

Los siguientes gráficos muestran la evolución del índice de serviciabilidad presente de la pista 4 desde junio de 1995 hasta marzo del 2007.

Estimacion de la evolución del PSI en pavimentos de Hormigón

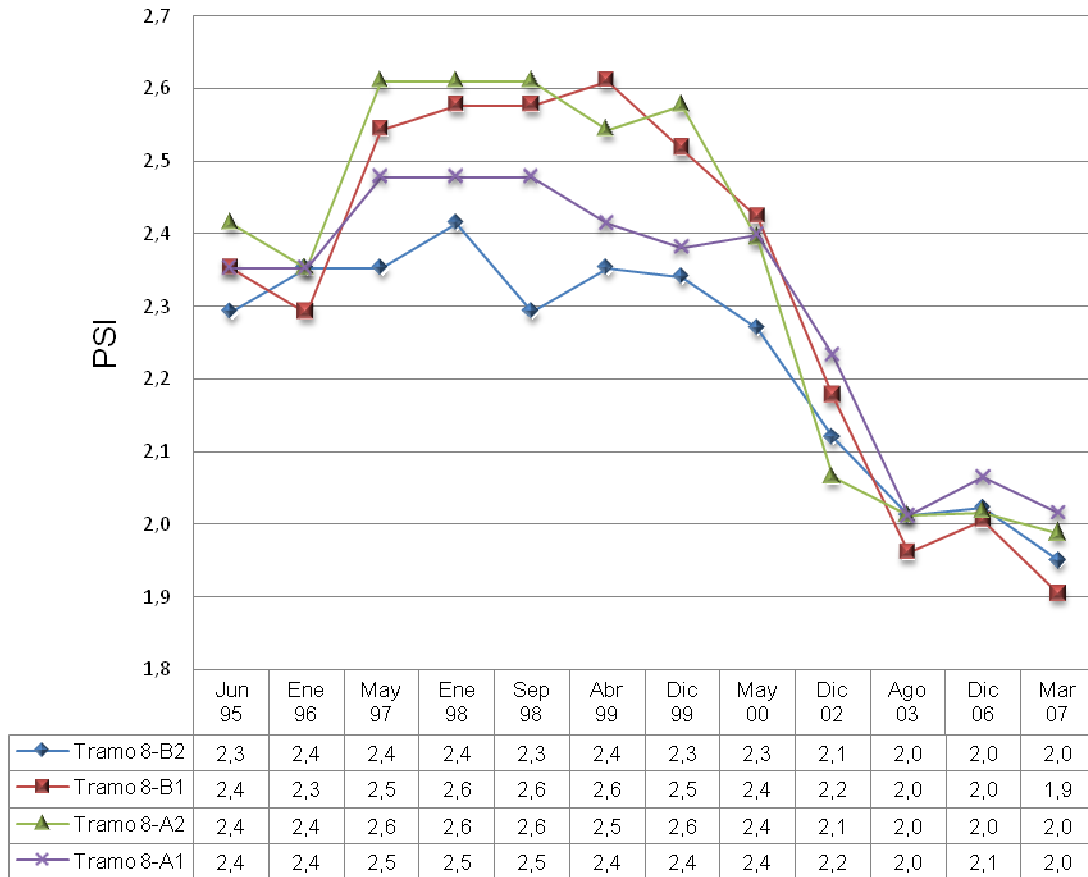


Gráfico 6-12: Evolución del Índice de Serviabilidad Presente en hormigón.

Estimación de la evolución del PSI de pavimentos de Hormigón

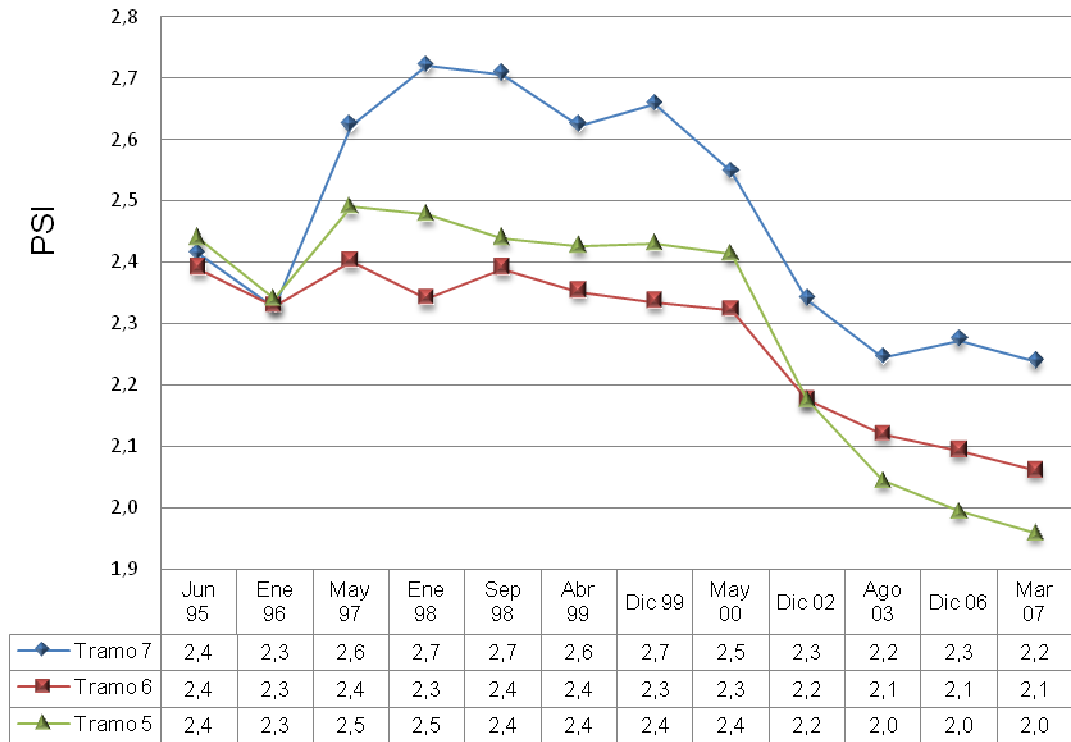


Gráfico 6-13: Evolución del Índice de Serviciabilidad Presente en hormigón.

Estimación de la evolución del PSI en pavimentos de Asfalto

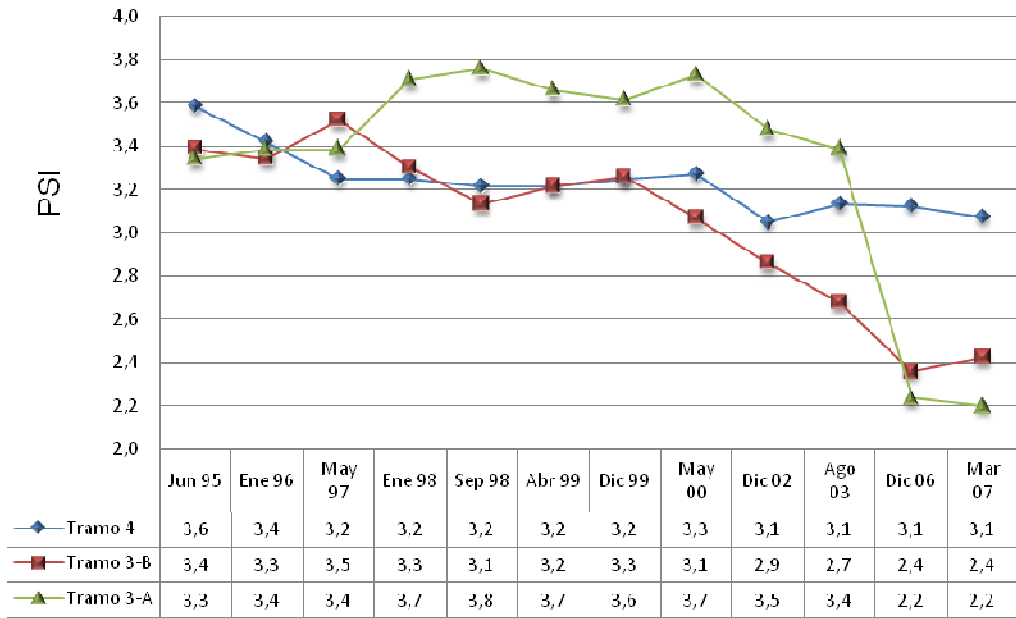


Gráfico 6-14: Evolución del Índice de Serviciabilidad Presente en asfalto.

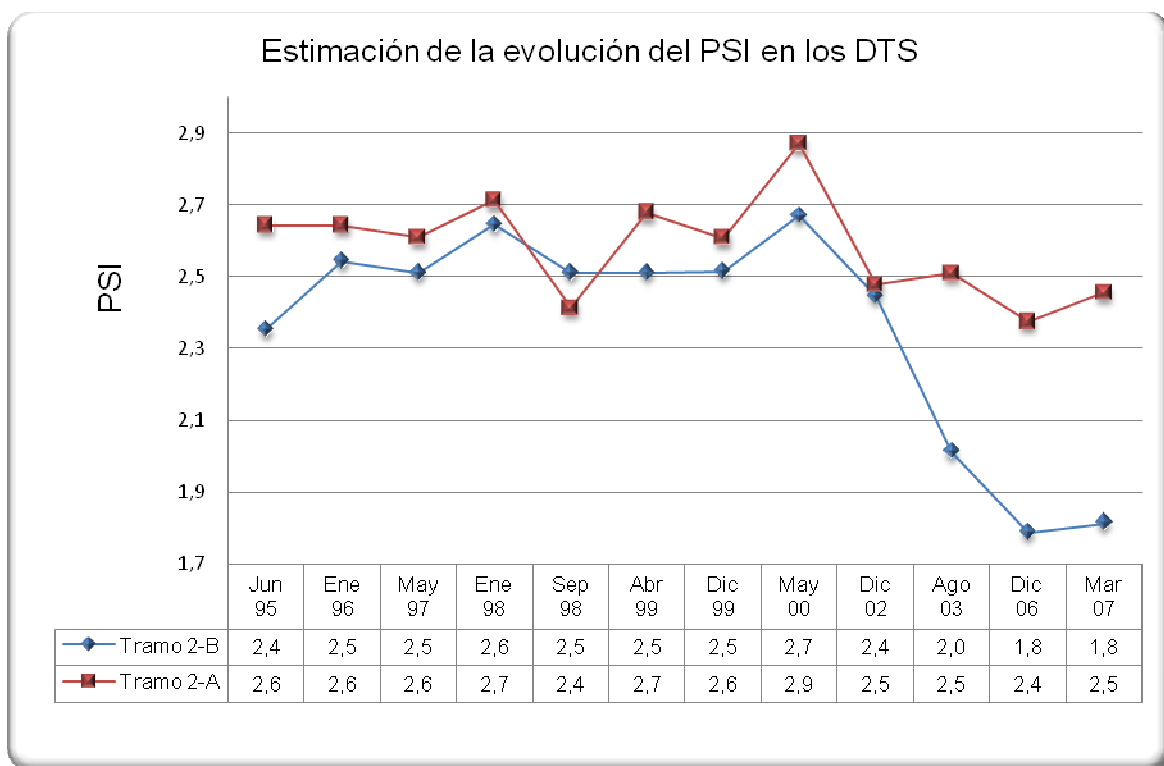


Gráfico 6-15: Evolución del Índice de Serviabilidad Presente en los DTS.

Considerar que la serviabilidad inicial se estimó en 4,2 y la final en 2 en los pavimentos asfálticos.

Para el caso de los pavimentos de hormigón se estima una serviabilidad inicial de 4,5 y la final de 2.

El Manual de Carreteras propone otra relación para la estimación del PSI cuando se tiene el índice de rugosidad internacional IRI. Haciendo notar que estas relaciones se acercan a la condición real del pavimento cuando el nivel de serviabilidad inicial es cercano al índice inicial teórico.

Relaciones propuestas por el Manual de Carreteras (Dujisin – Arroyo):

$$\text{Hormigón: } PSI = 7,1 - 2,19 \cdot (IRI)^{0,5}$$

$$\text{Asfalto: } PSI = 5,85 - 1,68 \cdot (IRI)^{0,5}$$

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

CAPÍTULO 7: COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

Sobre el tránsito:

Se pudo estimar, para el caso de los pavimentos asfálticos, que el número de ejes equivalentes acumulados hasta la fecha es de 15.600.000 aproximadamente, valor inferior al número de EE proyectado para 12 años de servicio (20 millones de EE).

En el caso de los pavimentos de hormigón, se calculó que éstos han sido solicitados con 21.350.000 de ejes equivalentes aproximadamente. Esto indica que se alcanzó el nivel de solicitaciones relativamente en la fecha prevista en el diseño. La diferencia de EE solicitantes entre los pavimentos de hormigón y de asfalto es debida a la relación con que el método AASHTO asigna el grado de deterioro que un determinado eje produce en el pavimento. El cálculo de estos factores de equivalencia varía según el pavimento de asfalto u hormigón, por esto para el mismo tránsito solicitante se obtiene un número diferente de ejes equivalentes.

Tras analizar los datos de tránsito medidos en distintos años, se aprecia que el flujo no muestra un incremento constante año a año, más bien se observa una oscilación, con años de un alto flujo vehicular seguido por periodos de menores flujos. Sin embargo las estimaciones de crecimiento supuestas resultan acertadas cuando se miden periodos de tiempo mayores a diez años. Esto debido al aumento del flujo vehicular en parte y al cambio en los niveles de carga transportada por tipo de vehículo, lo que influye en el aumento de los factores de equivalencia de carga.

Se pudo estimar una curva de evolución de serviciabilidad desde la construcción de los tramos hasta el año 2007 la cual en conjunto con los datos obtenidos de la inspección visual permite comparar el comportamiento de los pavimentos.

Pavimentos asfálticos:

En el caso de los pavimentos flexibles, tras analizar la estructura de pavimento adoptada para cada tramo, es posible apreciar un sobredimensionamiento en los diseños. Esto se produjo debido a que el terraplén granular poseía en el coronamiento 15 cm de material compactado con un CBR $\geq 50\%$. Este hecho indicaría que los pavimentos deberían resistir los 20 millones de EE de diseño en buenas condiciones.

Además, se puede ver en una primera revisión, que el sector diseñado con el método AASHTO es el que mejor ha soportado las solicitaciones de tránsito, presentando una menor cantidad de grietas, ya sean transversales como piel de cocodrilo.

Dentro de los tramos diseñados con método N.R.B. el tramo con asfalto elastomérico presentó un menor grado de deterioro que el tramo construido con asfalto normal. En este caso, la adición del elastómero contribuyó a mejorar el comportamiento del pavimento.

Considerando los ejes equivalentes que han solicitado al tramo, los espesores de pavimento propuestos por el método N.R.B. resultaron insuficientes para soportar las solicitaciones acumuladas desde su construcción hasta la actualidad.

El tramo diseñado con método AASHTO muestra un buen comportamiento en el tiempo, mostrando una pérdida de serviciabilidad aproximada de 0,5 puntos y manteniendo niveles de IRI dentro del rango aceptable. Este tramo podría llegar a cumplir con la solicitud proyectada de 20 millones de ejes equivalentes.

Se observó que la gran mayoría de las grietas presentes a lo largo del sector con pavimento flexible se encontraban selladas, previo un aserrado de sus superficies. Este procedimiento explica la forma y el ancho que presentan las configuraciones de grietas encontradas, las cuales tenían una forma extraña a primera vista.

Tramos de hormigón:

Una de las primeras observaciones tras revisar el estado del agrietamiento de los diferentes tramos de hormigón, es la manera cómo el largo de las losas influye en la aparición de las grietas. Con esto se quiere ejemplificar el caso de las losas de 6 m, las cuales presentan grietas transversales en el medio de su longitud en los tramos con losas de espesores de 24 cm, y en los tercios de su longitud cuando se trata de losas con espesores de 18 cm. Por el contrario, las losas de 4 m de longitud presentan una incidencia de un 85 % menos de grietas. Esto indica que en las losas de largo mayor a 4 m, la concentración de tensiones producto de la sollicitación de tránsito es demasiado grande como para que la estructura de hormigón sea capaz de soportar dichas cargas.

Debido a ajustes en el momento de la construcción de algunos tramos en los cuales las losas poseen 6 m de longitud, se pueden encontrar losas de menores dimensiones, las cuales fueron construidas para ajustar la longitud total del tramo y compensar márgenes de error acumulados en la longitud de éstas. Dichas losas de menores dimensiones (4 metros en tramos de losas de 6 metros) no muestran agrietamientos transversales por el contrario a las losas adyacentes, las cuales se encuentran agrietadas casi en su totalidad. Este hecho corrobora la tesis de que la longitud de las losas influye en la aparición de este tipo de grietas.

En los tramos que poseen losas de espesor de 18 cm y largos de 6 metros es posible apreciar la aparición sistemática de dos grietas transversales en los tercios de la losa. La aparición de estas grietas se puede atribuir a una esbeltez demasiado grande de la losa, pues losas con mayores espesores pero de igual largo solo muestran una grieta en el centro.

La elección de fierros de traspaso de carga o zapatas de traspaso de carga no mostró una diferencia importante en cuanto a la aparición de grietas.

Las losas diseñadas con método AASTHO presentan un mejor comportamiento en relación a las diseñadas con el método N.R.B., lo cual se traduce en un 60 % menos de grietas estructurales en las losas.

Tampoco muestra una gran diferencia en el comportamiento de este tipo de pavimentos la elección de sección rectangular o trapezoidal en las losas. Se registraron un número similar de grietas en cuanto a cantidad y severidad. Considerando que la construcción de losas de hormigón de sección trapezoidal implica una complicación constructiva y que el volumen de hormigón utilizado es el mismo que en las losas de sección rectangular no existen factores que induzcan a pensar que las losas con sección variable son una mejor solución.

La malla de acero incorporada en la fibra neutra de las losas mostró reducir la aparición de grietas en aproximadamente un 60 %, lo que indica que es bastante buena la incorporación de ella a las losas de hormigón.

Llama la atención que los tramos de pavimento de hormigón con losas de 4 metros, pese a haber superado las solicitudes de diseño, muestran un estado de conservación bastante bueno.

Dobles Tratamientos superficiales:

El tramo construido con emulsión elastomérica presenta un mayor deterioro general en cuanto a área afectada por ahuellamiento y baches, así como un mayor IRI.

La incorporación del elastómero en este caso no dio buenos resultados. El tramo con emulsión normal muestra un 0,83% de su superficie dañada, en cambio el tramo con emulsión elastomérica presenta un 3,3% de su superficie dañada.

La aplicación del tercer riego muestra un comportamiento diferente dependiendo si se aplicó sobre emulsión normal o elastomérica. Sobre emulsión normal mejora el comportamiento del tratamiento superficial disminuyendo los ahuellamientos y las

superficies deterioradas. Por el contrario, el tercer riego en el tramo con emulsión elastomérica no muestra un aporte significativo en la disminución de los deterioros.

En los tramos construidos en base a tratamientos superficiales dobles se aprecian líneas longitudinales en toda su extensión, las cuales pueden ser producto de algún tipo de obstrucción en los mecanismos de dosificación (ya sea del material granular o de la emulsión) en el momento de la construcción. Estas líneas, por encontrarse sobre las huellas por donde circula la mayor parte de los vehículos, pueden influir en una menor vida útil del pavimento, pues esta singularidad puede provocar una grieta a edades más tempranas de lo estimado y permitir la penetración de agua a la base, provocando así una pérdida de soporte estructural y un agrietamiento generalizado en la huella.

En este tipo de tratamientos se debe prestar especial cuidado al momento de su construcción con los métodos de dosificación, para que las superficies tratadas resulten lo más uniformes posibles, y de esta manera, no existan puntos débiles por donde comiencen a manifestarse grietas que conduzcan a fallas prematuras del pavimento.

Pese a que los tratamientos superficiales no se recomiendan para ser implementados en caminos de alto tránsito, la evolución de los deterioros que han mostrado estos tramos de prueba indica que son capaces de soportar altas solicitaciones de tránsito, utilizando un diseño especial para alto tránsito.

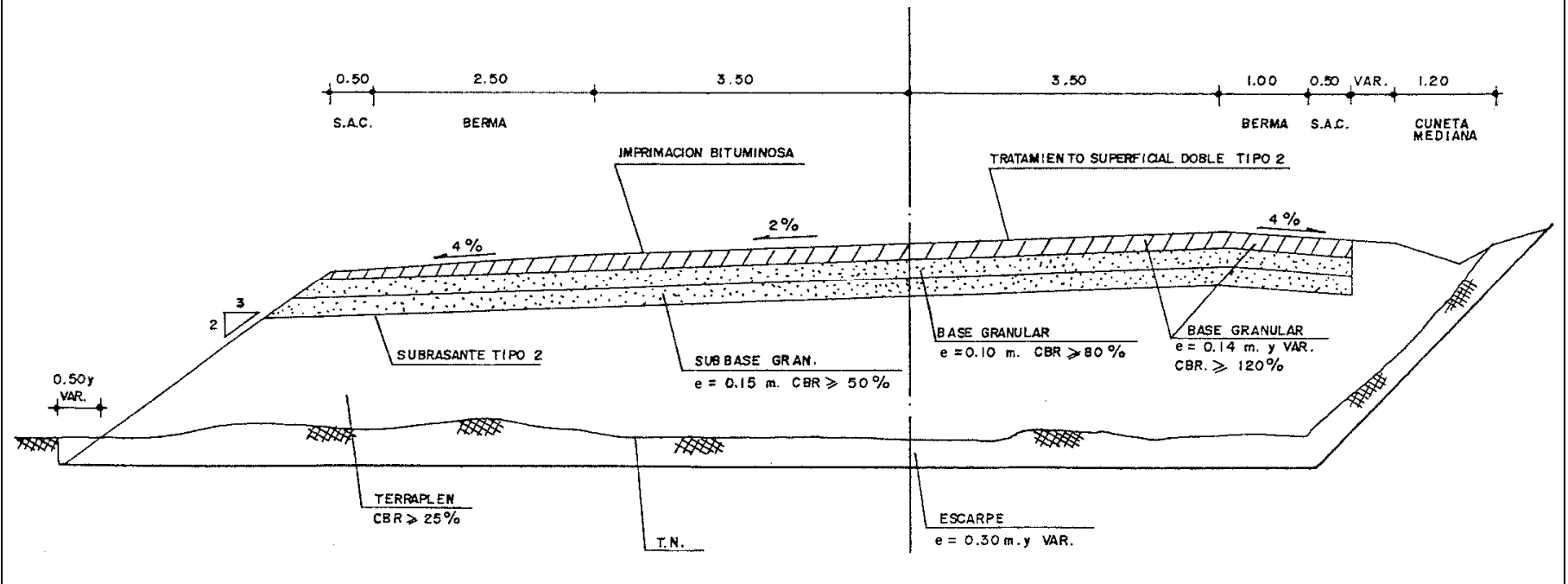
Con respecto al tramo experimental en general, las longitudes de diseño implementadas para cada tramo los hacen posible de inspeccionar en su totalidad, sin la necesidad de tomar unidades de muestreo representativas. Las desventajas son que algunos de los tramos son muy cortos como para apreciar de mejor manera tendencias en los deterioros. Por ejemplo en los tramos de 60 metros que poseían malla de acero en su fibra neutra, aunque se pudo determinar una influencia positiva de ésta frente a la aparición de grietas, al momento del análisis de los datos la aparición de una grieta cambiaba considerablemente los porcentajes de grietas por losa y con esto, el grado en que esta malla ayuda a la no aparición de grietas.

BIBLIOGRAFIA

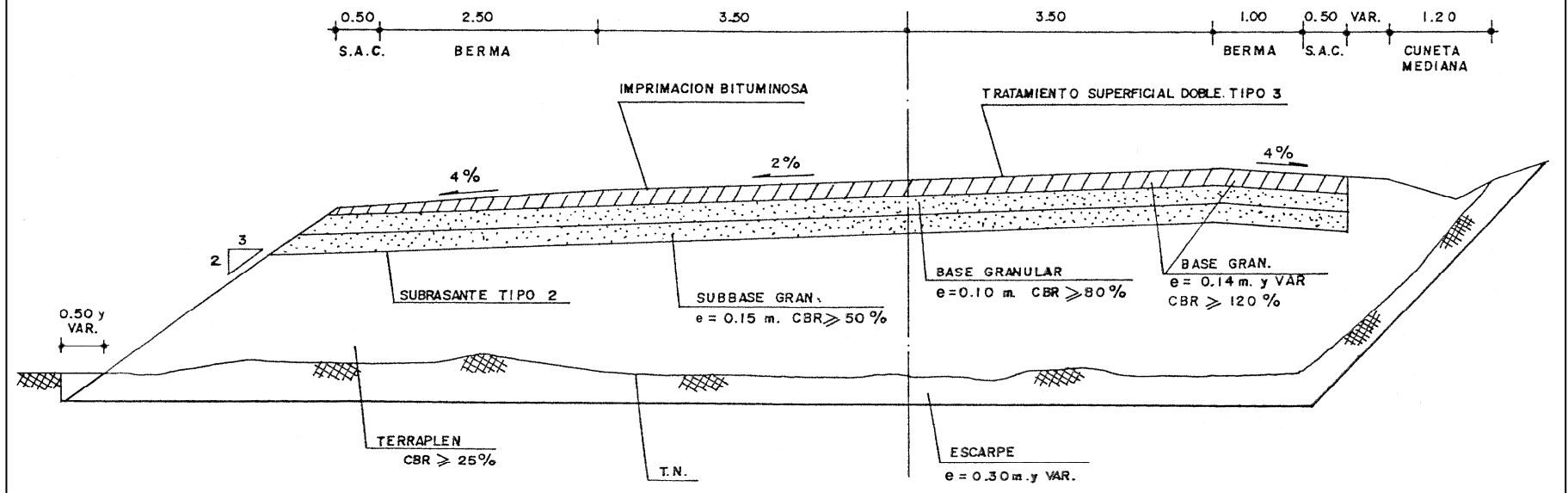
- AASHTO, (1986) "Guide for design of pavement structures".
- AASHTO, (1993) "Guide for design of pavement structures".
- APSA, (2007) "Determinación de la Solicitación de Tránsito, Autopista del Aconcagua", Santiago de Chile.
- AUSTROADS, Australian Road Research Board, (1992) "Pavement Design. A Guide to the Structural design of Road Pavements", Sidney.
- Carvacho, C.; Vergara, C. (1995) "Seguimiento y evaluación de la construcción del camino de prueba de la dirección de vialidad ruta # 5 norte sector Polpaico – La Trampilla", Trabajo de Titulo Universidad Central, Santiago de Chile.
- Gatica, M. (2005) "Evaluación de pavimentos flexibles en tramo experimental Polpaico – La Trampilla" Memoria Universidad de Santiago de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, (2003) "Manual de carreteras, Volumen N°3", Santiago de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, (2004) "Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados", Santiago de Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, (2007) "Red Vial Nacional Dimensionamiento y Características", Santiago de Chile.
- Mockride, E. (2004) "Tipos de soluciones aplicadas a caminos no pavimentados para el mejoramiento de la carpeta de rodadura". Tesis Universidad de Chile, Depto. de Ing. Civil
- National Roads Board, (1989) "State Highway Pavement Design and Rehabilitation Manual", Nueva Zelanda.
- Navarro, N. (1997) "Evaluación del camino experimental Polpaico – La Trampilla", Trabajo de Titulo Universidad Central, Santiago de Chile.
- www.vialidad.cl Página de la dirección Nacional de Vialidad, Ministerio de Obras Publicas, Gobierno de Chile

ANEXO A: PERFILES TRANSVERSALES.

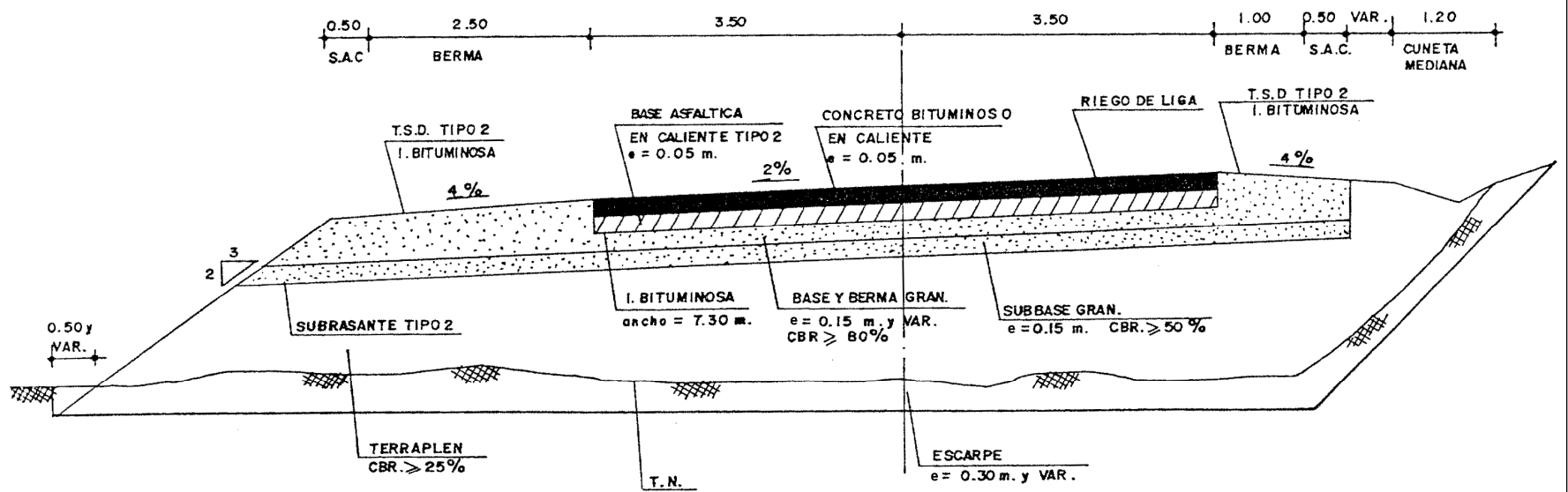
PERFIL TIPO TRAMO 2A
CON EMULSIÓN ASFALTICA CRS – 2
DM 41.417 – DM 41.667 L=250 m



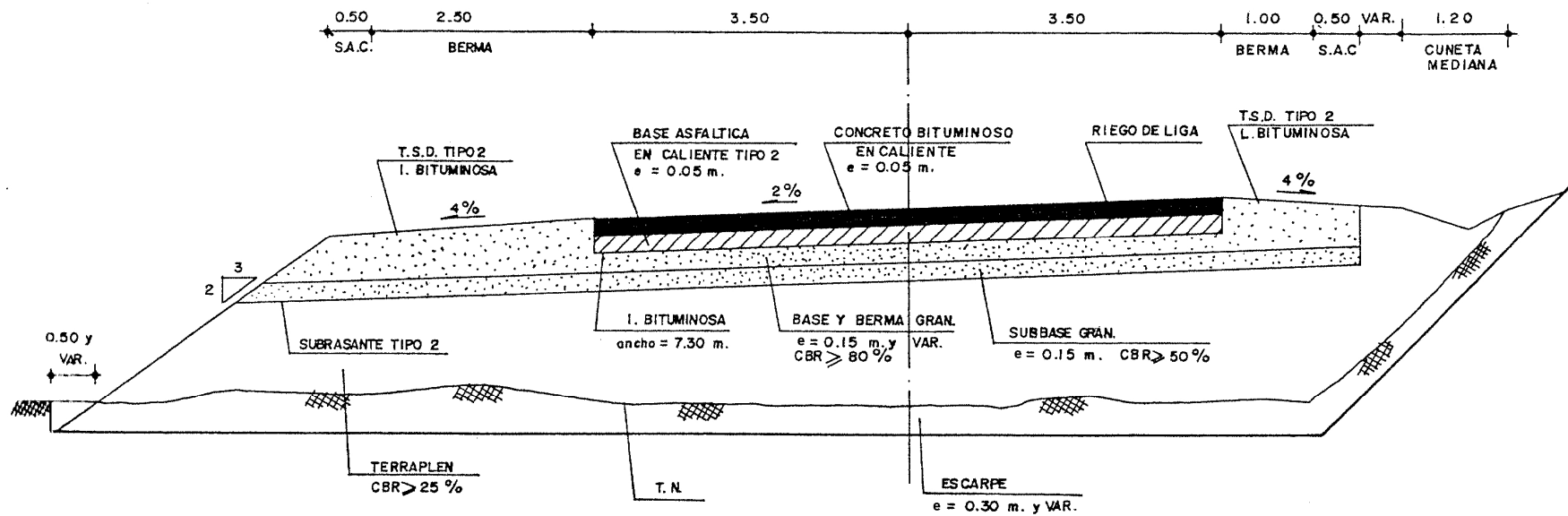
PERFIL TIPO TRAMO 2B
CON EMULSIÓN ASFÁLTICA ELASTOMÉRICA
 DM 41.667 – DM 41.917 L=250 m



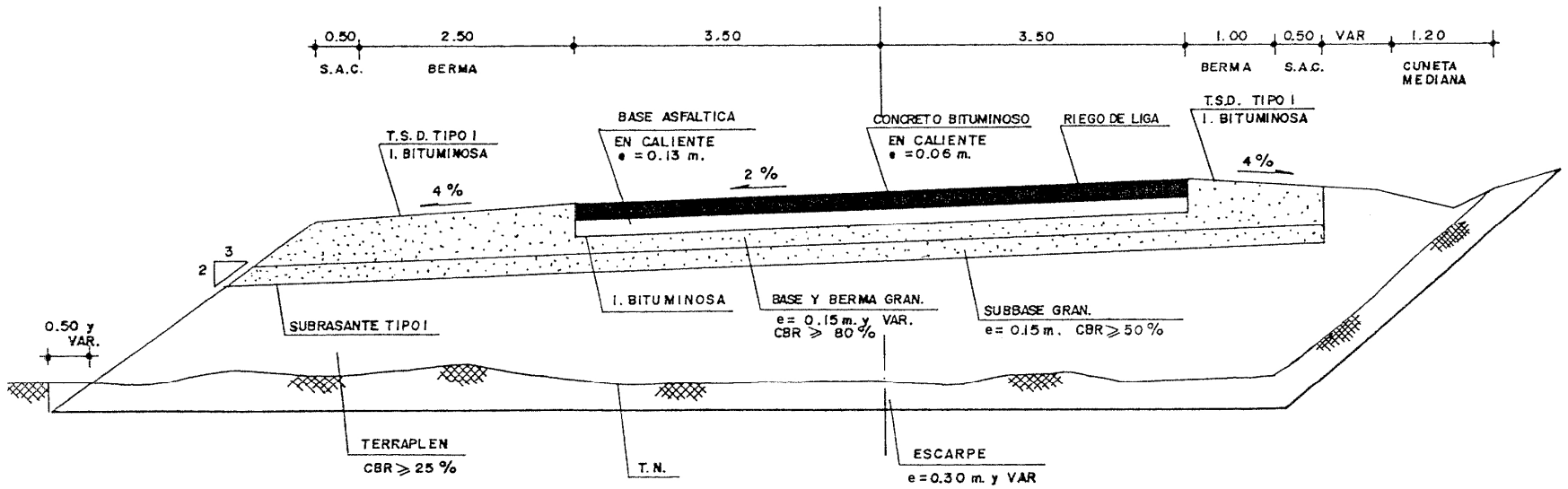
PERFIL TIPO TRAMO 3-A
PAVIMENTO ASFALTICO EN CALIENTE CON C.A. 60/70
 DM 41.917 – DM 42.167 L=250 m



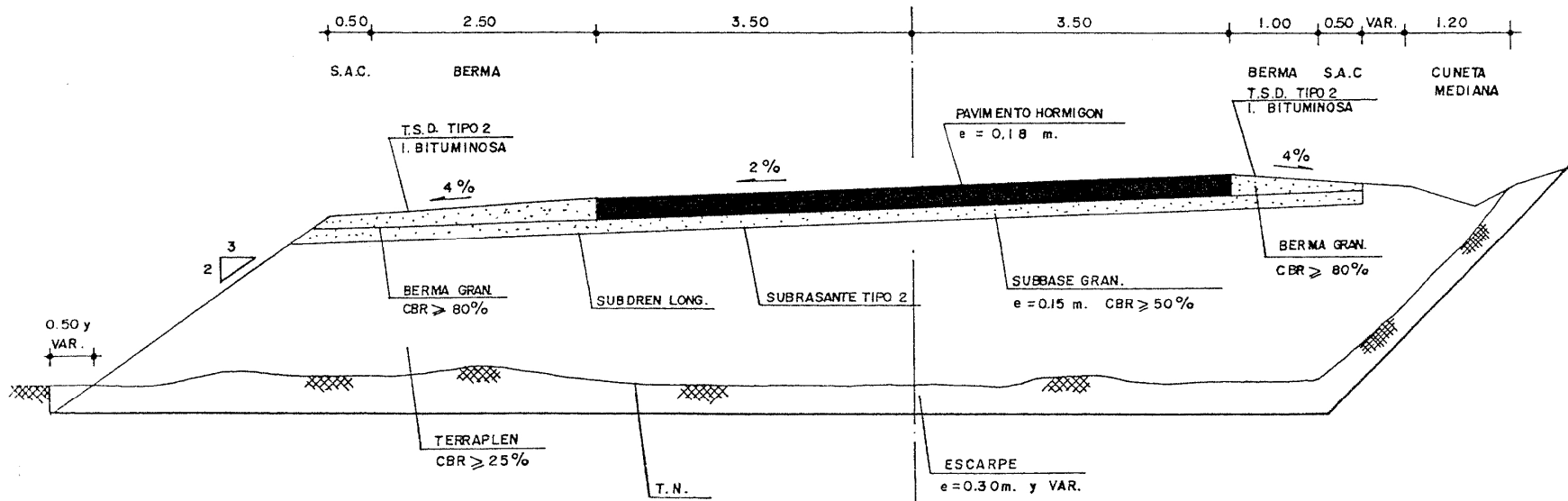
PERFIL TIPO TRAMO 3-B
PAVIMENTO ASFALTICO EN CALIENTE CON C.A. 60/70 ELASTOMERICO
DM 42.167 – DM 42.417 L=250 m



PERFIL TIPO TRAMO 4
PAVIMENTO ASFALTICO EN CALIENTE
 DM 42.417 – DM 42.917 L=500 m



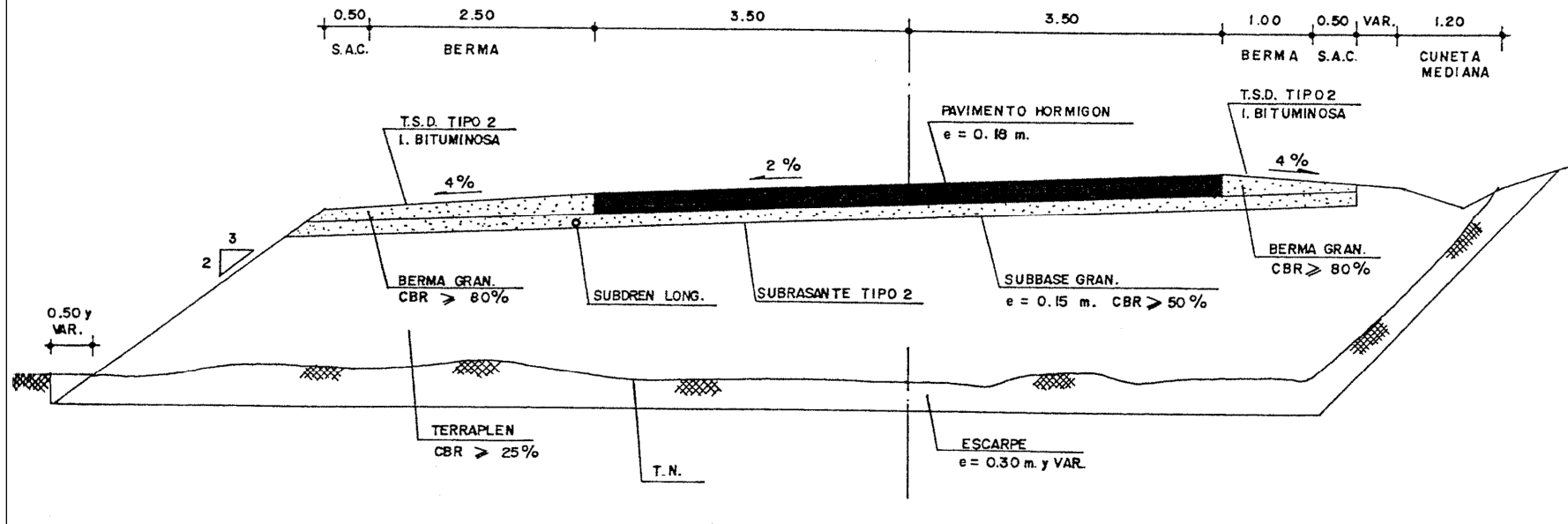
PERFIL TIPO TRAMO 5
 PAVIMENTO DE HORMIGON CON ZAPATA
 DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES
 DM 42.917 – DM 43.417 L=500 m



PERFIL TIPO TRAMO 6

PAVIMENTO DE HORMIGON CON FIERROS DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES
DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES

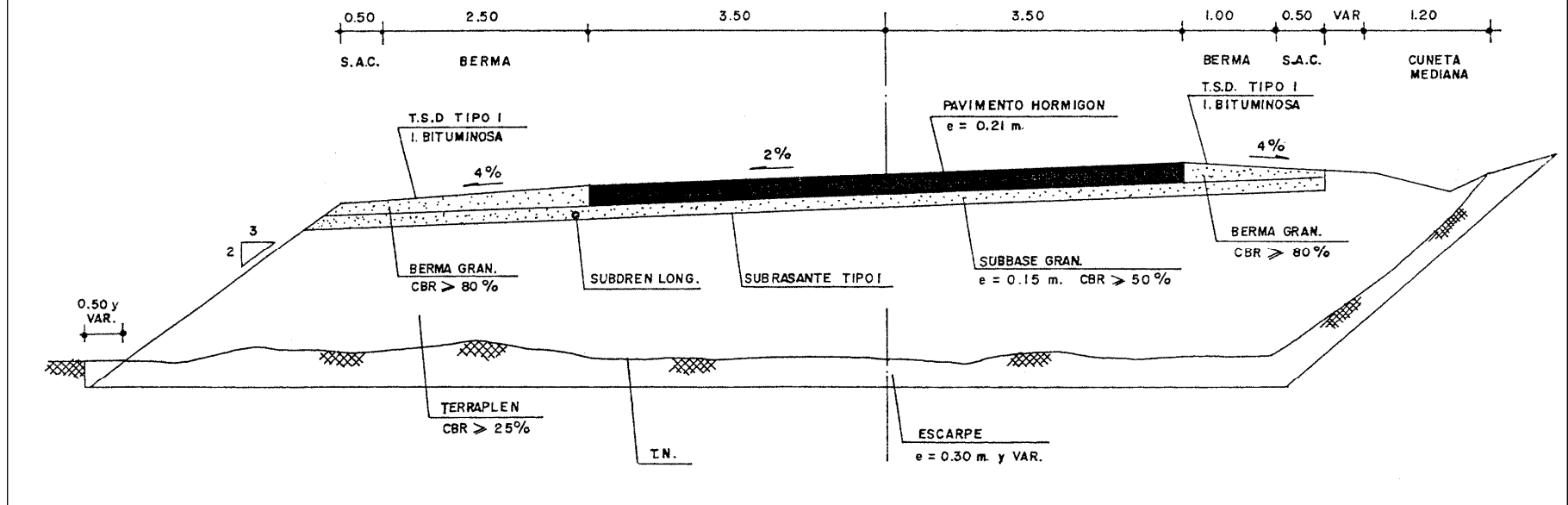
DM 43.417 – DM 43.917 L=500 m



PERFIL TIPO TRAMO 7

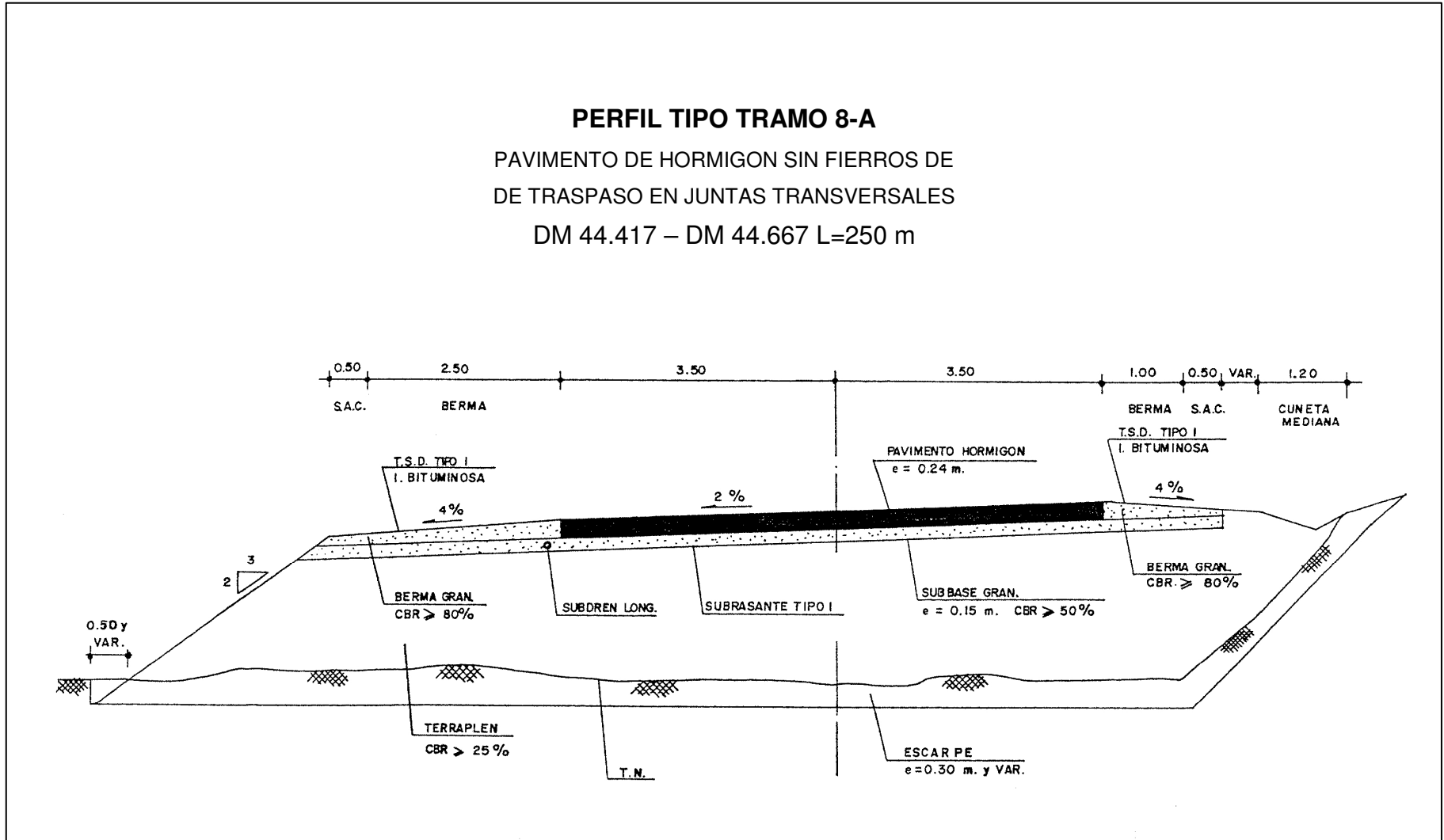
PAVIMENTO DE HORMIGON CON FIERROS DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES
DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES

DM 43.917 – DM 44.417 L=500 m



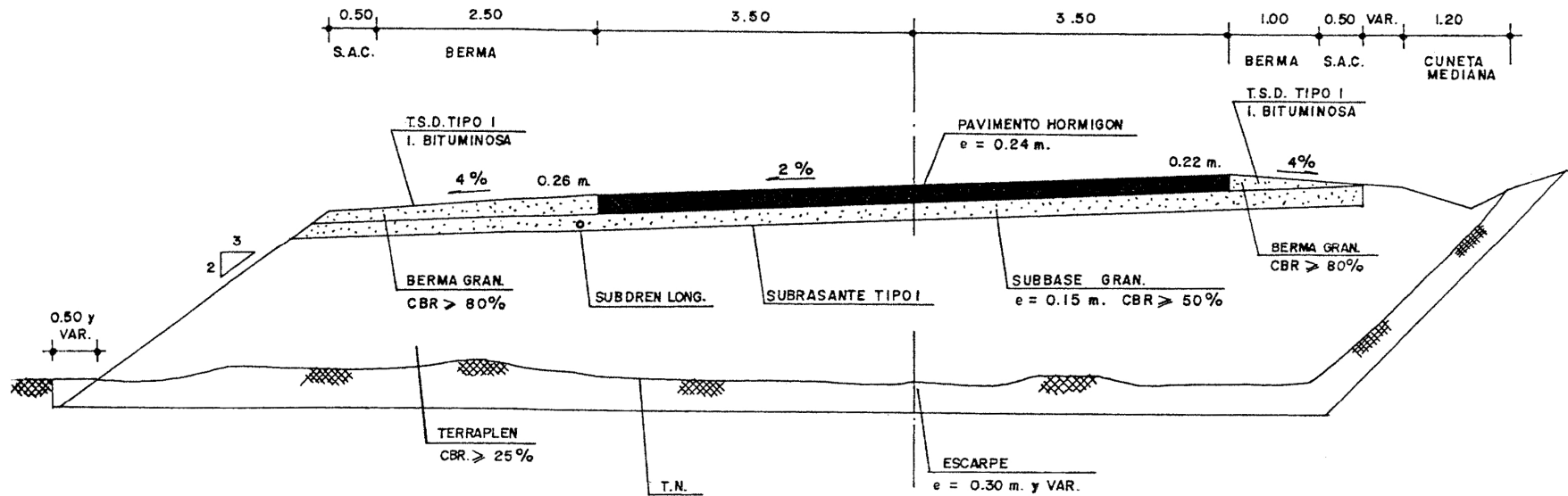
PERFIL TIPO TRAMO 8-A

PAVIMENTO DE HORMIGON SIN FIERROS DE
DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES
DM 44.417 – DM 44.667 L=250 m



PERFIL TIPO TRAMO 8-B

PAVIMENTO DE HORMIGON CON SECCION TRAPEZIAL
 SIN FIERROS DE TRASPASO EN JUNTAS TRANSVERSALES
 DM 44.667 – DM 44.917 L=250 m



ANEXO B: FOTOGRAFÍAS.

Fotografías tramo experimental Polpaico La Trampilla



ASFALTO MÉTODO AASHTO



ASFALTO MÉTODO AASHTO



PIEL DE COCODRILO NRB



CAMBIO TRAMO



PARCHE TRAMO NRB



INICIO DTS



AHUELLAMIENTO



DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL



DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL



HORMIGÓN CEPILLADO



DETERIORO SUPERFICIAL HORMIGÓN



PAVIMENTO HORMIGÓN



GRITA EN LOS TERCIOS DE LA LOSA



EXTREMO NORTE TRAMO
EXPERIMENTAL

ANEXO C: PLANOS MONOGRAFÍA.