

NO NMC  
66612



UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA INGENIERIA CIVIL

T  
Salgado  
2013



**“UTILIZACIÓN DE LOSAS DE GEOMETRÍA  
OPTIMIZADA REFORZADAS CON FIBRA COMO  
ALTERNATIVA A TRATAMIENTOS  
SUPERFICIALES EN LA SOLUCIÓN DE  
RODADURA DE CAMINOS BÁSICOS”**

Por

Diego Javier Salgado Piña

Trabajo de Título para optar al Grado de Licenciado en  
Ciencias de la Ingeniería y título de Ingeniero Civil

Prof. Guía Guillermo Brante Lara

Junio, 2013

R. 16866

- Pavimentos  
- Losas de Hormigón  
- Ensayo

*Cada día se puede ser mejor que el anterior...*

## Agradecimientos

Quiero agradecer de mucho corazón:

A mí querida familia, Juan Francisco y Paulina Piña, que siempre han estado apoyándome en los momentos más difíciles de mi vida.

Especialmente quiero agradecer a mi querida Madre, quien me ha entregado todo su cariño, comprensión y apoyo durante esta larga etapa. Mi más profundo agradecimiento hacía ella. Todo esto no habría sido posible sin el gran esfuerzo y dedicación que ha puesto en darme este maravilloso regalo, que es mi educación.

A mis tíos, Patricia, Mario, Nancy, Cristian, Francia, Jorge, que siempre me han brindado su profunda confianza y apoyo, además de los valiosos consejos que han hecho de mí una mejor persona. Un inmenso abrazo para ellos.

A mi profesor Guillermo Brante, por todo el tiempo puesto en este trabajo de título, además de la confianza, buena onda y comprensión en las ideas planteadas. Junto con todo el personal del Laboratorio Regional de Valparaíso, Daniel, José, Jorge, Cinthya, Carlos, Oscar, Doris y Alejandra. Que me proporcionaron siempre la ayuda necesaria para poder desarrollar este trabajo de título.

A mis amigos, Mary, Leo, Kako, Barbara, Denisse, Tati, Amaro, Ale y muchos más, quienes han estado siempre entregando la mejor de la buena onda, simpatía, y su inmensa amistad durante estos largos años de universidad.

A mis amigos de la vida Luis, Fernando, Diego, Loreto, Seba, Álvaro, Gonzalo, Paula, Paco, Naty y tantos más, que me han entregado su inmensa amistad durante toda mi vida y buenos deseos. Aparte de la comprensión y apoyo en los buenos y malos momentos.

Finalmente agradecer a todos los profesores que tuve a lo largo de este extenso camino y que me transmitieron todas sus experiencias, conocimiento y buena onda para hacer de mí un buen profesional.

# Índice

Glosario .....	6
Lista de abreviaturas o siglas .....	8
<i>Lista de Tablas</i> .....	10
Lista de Figuras .....	13
Lista de Ecuaciones .....	15
Resumen Memoria.....	16
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b> .....	17
1.1 Planteamiento del problema .....	17
1.2 Objetivos .....	19
1.2.1 Objetivo general .....	19
1.2.2 Objetivo específicos .....	19
1.3 Alcances .....	19
1.4 Metodología .....	20
<b>CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO</b> .....	21
2.1 <i>Antecedentes generales</i> .....	21
2.1.1 Antecedentes la red vial nacional.....	21
2.1.2 Caminos Básicos.....	23
2.1.2.1 Concepto y función .....	23
2.1.2.2 Objetivos de los Caminos Básicos.....	24
2.1.2.3 Soluciones para Caminos Básicos .....	25
2.2 Definición de los pavimentos flexibles y rígidos .....	26
2.2.1 Pavimentos Flexibles.....	26
2.2.1.1 Conformación.....	27
2.2.1.2 <i>Funciones de las distintas capas de un pavimento flexible</i> .....	28
2.2.2 Pavimentos rígidos.....	30
2.2.2.1 Conformación.....	30
2.2.2.2 <i>Funciones de las distintas capas de un pavimento rígido</i> .....	31
2.3 Pavimentos flexibles .....	32
2.3.1 Tratamientos Superficiales.....	32
2.3.1.1 Definición y Funciones .....	32
2.3.1.2 Actividad Constructiva.....	33
2.3.1.3 Dosificación de materiales .....	36

2.3.2	Diseño estructural de pavimentos flexibles.....	38
2.3.3	Deterioro en pavimentos flexibles.....	45
2.4	Pavimentos rígidos.....	47
2.4.1	Losas de hormigón con geometría optimizada.....	47
2.4.1.1	Definición y función.....	47
2.4.2	Fibras estructurales en losas de hormigón con geometría optimizada.....	58
2.4.3	Actividad constructiva para losas de hormigón con geometría optimizada con fibras.....	61
2.4.3	Deterioro en pavimentos con geometría optimizada.....	63
2.5	Actividades de mantenimiento.....	64
<b>CAPÍTULO 3 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA RUTA G-84.....</b>		<b>65</b>
3.1	Antecedentes.....	65
3.2	Antecedentes geográficos de la zona.....	68
3.2.1	Ubicación.....	68
3.2.2	Relieve y características del trazado.....	69
3.2.3	Geomorfología.....	69
3.2.4	Clima.....	72
3.3	Estudio de tránsito.....	73
3.3.1	Tránsito medio diario anual (TMDA).....	73
3.3.2	Ejes equivalentes solicitantes.....	77
3.3.3	Proyección del tránsito.....	79
<b>CAPÍTULO 4 ENSAYES REALIZADOS EN LA RUTA G-84.....</b>		<b>81</b>
4.1	Requisitos mínimos de sub – bases para pavimentos rígidos.....	81
4.2	Ensayes realizados a la carpeta granular de la ruta G-84.....	82
4.2.1	Metodología de Muestreo.....	82
4.2.2	Ensaye “Granulométrico”.....	83
4.2.3	Ensayes de “Límite Líquido” e “Índice de Plasticidad”.....	89
4.2.4	Clasificación del Material.....	91
4.2.5	Ensaye “Desgaste de los Ángeles”.....	92
4.2.6	Ensaye “Proctor Modificado”.....	93
4.2.7	Ensaye “Razón de Soporte California (CBR)”.....	95
4.2.8	Ensaye “Sales Solubles”.....	97
4.3	Ensayes realizados a la sub – rasante de la ruta G-84.....	98
4.3.1	Ensaye “Granulométrico”.....	98
4.3.2	Ensayes de “Límite Líquido” e “Índice de Plasticidad”.....	99

<b>CAPÍTULO 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	100
5.1 Evaluación de la carpeta granular de la ruta G-84.....	100
5.2 Evaluación del comportamiento mecánico de la carpeta granular de la ruta G-84 .....	102
5.3 Retro análisis de diseños de la carpeta granular .....	103
5.4 Diseño de espesor de losas con geometría optimizada .....	107
<b>CAPÍTULO 6 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS</b> .....	110
6.1 Evaluación de las distintas alternativas.....	110
6.1.1 Costos en los Pavimentos.....	110
6.1.2 <i>Consideraciones de Evaluación</i> .....	111
6.2 Costos unitarios para las distintas alternativas .....	116
6.2.1 Integración de los costos unitarios para un doble tratamiento superficial .....	116
6.2.2 Integración de los costos unitarios para losas delgadas con fibra .....	120
6.2.3 Presupuestos finales de implementación .....	125
6.3 Costos de conservación para las distintas alternativas .....	126
6.3.1 Evolución de los pavimentos de la V Región.....	126
6.3.2 Contratos de conservación y mantención vial para la V Región .....	131
6.3.3 Costos unitarios para los diferentes tipos de conservación.....	132
6.4 Análisis de costos para las distintas alternativas .....	133
<b>CAPÍTULO 7 INTEGRACIÓN DE LOSAS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA REFORZADAS CON FIBRAS EN CAMINOS BÁSICOS</b> .....	136
7.1 Metodología básica para la integración de las losas .....	136
7.2 Metodología ICP de conservación de los pavimentos .....	137
<b>CAPÍTULO 8 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES</b> .....	139
8.1 Comentarios y Conclusiones.....	139
Referencias bibliografía .....	141
<b>ANEXOS</b> .....	143
Anexo A .....	143
A.1 - Tablas de diseño, Manual de Carreteras.....	143
Anexo B .....	149
B.1 - Tipos de fallas para pavimentos flexibles.....	149
B.2 - Tipos de deterioros y técnicas de reparación para pavimentos rígidos y flexibles .....	157

## Glosario

Limpieza de faja y saneamiento: Esta actividad consiste en la limpieza, ya sea en forma manual o mecánica, de los fosos, contrafosos, cunetas, alcantarillas y de escombros o basuras presentes, a fin de mantener los sistemas de drenaje existentes en buen estado.

Sello de grietas: Esta operación consiste en sellar con asfalto diferentes tipos de grietas que se producen en los pavimentos asfálticos, a fin de minimizar la infiltración de agua y la oxidación del asfalto.

Bacheo: Esta actividad comprende la reparación de baches o el reemplazo de partes severamente deterioradas de la estructura del pavimento asfáltico.

Riego Neblina: Consiste en la aplicación muy ligera de una emulsión asfáltica con el fin de renovar pavimentos viejos y cerrar pequeñas grietas superficiales.

Sellos asfálticos: Dentro de los sellos asfálticos están las lechadas y los sellos de agregados. La lechada asfáltica es una mezcla de agregado fino bien graduado con una emulsión asfáltica. Los sellos de agregados consisten en una o más aplicaciones de asfalto cubierto inmediatamente por una capa de agregado pétreo tan uniforme como sea posible.

Fresado y reemplazo: Consiste en recortar en frío, con un equipo especialmente diseñado para el trabajo, un determinado espesor de la superficie del pavimento, para posteriormente reemplazar el espesor extraído por una capa equivalente de material asfáltico.

Recapado delgado: También denominado recapado funcional, consiste en la aplicación de una capa de material asfáltico cuyo espesor no sobrepasa los 50 mm.

Recapados estructurales: Estas operaciones consisten en la aplicación de una o varias capas de material asfáltico con el propósito de aumentar la capacidad de soporte del pavimento.

Reciclado: Consiste en procesar, conjuntamente, una parte de mezcla asfáltica proveniente de antigua carpeta con otra parte de materiales nuevos, de manera de producir una nueva mezcla.

Sellos de juntas y grietas: Esta operación consiste en la aplicación un material sellante en las juntas y grietas existentes en el pavimento, con el fin de evitar la penetración del agua o de materiales extraños.

Reparación de losas en parte o en todo su espesor: La reparación de losas en una parte de su espesor se realiza cuando las juntas presentan desconches que sólo afectan a la parte superior del hormigón. En caso que el deterioro afecte a todo el espesor de la losa, se procede al reemplazo de la parte deteriorada.

Cepillado de juntas y puntos altos: Es una operación en la cual una máquina especial provista de una rueda cortadora, elimina la mayoría de los puntos altos presentes en las juntas y en el pavimento de hormigón.

Pulverizado: Esta operación consiste en la utilización de una máquina especial que pulveriza las losas de tal manera que puedan ser utilizadas como material de base para un nuevo pavimento.

- Eje Tandem: Elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes.
- Eje Tridem: Elemento constituido por tres ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes.
- Obras de arte: Constituyen obras de drenaje que se realizan para el saneamiento de las aguas lluvias, en obras viales.
- Escarificar: *Consiste, en la disgregación de la superficie del terreno y su posterior compactación a efectos de homogeneizar la superficie de apoyo, confiriéndole las características prefijadas de acuerdo con su situación en la obra.*
- CRS-2: Emulsión asfáltica usada principalmente para tratamientos superficiales simples y dobles
- Instrumento de Casagrande: *es un instrumento de medición utilizado en geotecnia e ingeniería civil, para determinar el límite de liquidez de un terreno.*
- Ahuellamiento: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada
- Exudaciones: Parte del asfalto contenido en la mezcla aflora a la superficie creando una película de *material bituminoso puro, de aspecto brillante y, a veces, pegajosa.*
- Ondulaciones: Producen por un exceso de asfalto, en especial en aquellas mezclas con elevado porcentaje de agregados, esto puede originar la formación de ondulaciones en la superficie de rodadura.

## Lista de abreviaturas o siglas

MOP	Ministerio de Obras Públicas
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
MC	Manual de Carreteras
TS	Tratamiento superficial
DTS	Doble tratamiento superficial
CBR	California Bearing Ratio
ACI	American concrete institute
TMDA	Transito medio diario anual
DMCS	densidad máxima compactada seca
EE	Ejes equivalentes
Ecu	Ecuación
NE	Numero estructural de las capas que compondrán la estructura (mm).
NE <sub>T</sub>	Numero estructural necesario sobre la sub-rasante (mm).
a <sub>1</sub> , h <sub>1</sub>	Coefficiente estructural y espesor (mm) de cada una de las capas asfálticas.
a <sub>2,3</sub> , h <sub>2,3</sub>	Capas no ligadas (subíndice 2 y 3 correspondiente a sub-base y base)
m <sub>2</sub> , m <sub>3</sub>	Coefficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y sub-bases granulares)
NE <sub>A</sub>	Número estructural mínimo a colocar sobre la base
a <sub>i</sub>	Coefficiente estructural de la capa asfáltica de orden i.
h <sub>i</sub>	Espesor (mm) de la capa asfáltica de orden i.
IE	Índice estructural
e <sub>min</sub>	Espesor mínimo
v	Coefficiente de variación
MEPDG	Mechanistic –Empirical Pavement Design Guide
$\hat{E}$	Modulo equivalente
E <sub>n</sub>	Modulo de elasticidad de la capa n
h <sub>i</sub>	Espesor capa n
ΔT°	Gradiente térmico equivalente (C°)
ΔT° <sub>c</sub>	Gradiente térmico equivalente de construcción (C°)
ΔT° <sub>d</sub>	Gradiente térmico por variaciones de temperatura (C°)
N <sub>ijkl</sub>	Numero de Pasadas Admisible para posición del eje (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
σ <sub>ijkl</sub>	Tensión principal máxima calculada con programas computacionales para posición (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
n <sub>ijk</sub>	Tensión principal máxima calculada con programas computacionales para posición (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
FD <sub>k</sub>	Daño por fatiga para cualquier punto de la losa
MOR	Resistencia a la flexotraccion media a 90 días.
C1	Factor de calibración por geometría de la losa y espesor de la losa.
C2	Factor de calibración por uso de fibras estructurales en hormigón.
C3	Factor de calibración por tipo de berma, (se utiliza solo en posiciones de borde)
FD <sub>kl</sub>	Daño por fatiga en posición k, superior e inferior
%Crack <sub>kl</sub>	Porcentaje de losas agrietadas con falla ocasionada por posición k
P <sub>1</sub>	Carga Máxima (kN)
P <sub>150</sub>	Carga para una deformación de L/150 (kN)
L	Separación de los apoyos
R <sub>3,e</sub>	Razón equivalente de resistencia residual a 3mm de flecha en ensayo de viga en aire
f <sub>150</sub> <sup>150</sup>	Resistencia residual para la deformación de L/150 (MPa)

$b$	Ancho promedio del a probeta de la fractura (mm)
$h$	Altura promedio del a probeta de la fractura (mm)
$i$	Tasa de crecimiento del vehículo tipo $i$
$\alpha$	Tasa de crecimiento del producto geográfico bruto (PGB)
$\beta_i$	Elasticidad flujo de cada vehículo tipo $i$
$T_{Acumulado}$	Tránsito acumulado en los años de diseño
$TMDA_i$	Tránsito medio diario anual del año (i) de implementación del pavimento
$n$	Número de años proyectados para el diseño

## Lista de Tablas

Tabla 2.1 – Rango de dosificaciones que especifica el Manual de Carreteras .....	37
Tabla 2.2 – Nivel de confianza y valores .....	39
Tabla 2.3 – Índices de serviciabilidad .....	40
Tabla 2.4 – Vida de diseño .....	40
Tabla 2.5 – Vida de diseño para losas con geometría optimizada.....	49
Tabla 2.6 – Resistencia a la flexo tracción de hormigón para la utilización de losas de geometría optimizada.....	49
Tabla 2.7 – Factor de ajuste de acuerdo al tipo de borde seleccionado.....	51
Tabla 2.8 – Porcentaje de transferencia de carga de acuerdo a la condición adoptada .....	51
Tabla 2.9 – Porcentaje de losa agrietada de acuerdo a la condición del camino adoptada .....	52
Tabla 2.10 – Nivel de confianza y valores del So pavimento rígido.....	53
Tabla 2.11 – Porcentaje de distribución de acuerdo al tipo de eje adoptado.....	53
Tabla 2.12 – Porcentaje de pasadas de los vehículos de acuerdo al tipo de posición adoptado.....	54
Tabla 2.13 – Porcentaje de resistencia residual adoptado de acuerdo al tipo de fibra.....	60
Tabla 3.1 – Clasificación, descripción y tipo de vehículo adoptados por la dirección de Vialidad.....	74
Tabla 3.2 – Producto geográfico bruto de Chile, según Banco Central .....	75
Tabla 3.3 – Tasa de crecimiento de cada vehículo tipo por año.....	75
Tabla 3.4 – Transito medio diario anual de años faltantes, ajustado por tasas de crecimiento.....	76
Tabla 3.5 – Estratigrafía adoptada, para cada vehículo tipo .....	77
Tabla 3.6 – Ejes equivalentes solicitantes para cada año y tipo de vehículos.....	78
Tabla 3.7 – Transito medio diario anual para distintos periodos de diseño .....	80
Tabla 3.8 – Ejes equivalentes solicitantes para distintos periodo de diseño .....	80
Tabla 4.1 – Banda Granulométrica exigida por el M.C. para sub – bases de pavimentos rígidos .....	81
Tabla 4.2 – Tipos de ensayos y su exigencia requerida para sub – bases de pavimentos rígidos .....	81
Tabla 4.3 – Comportamiento no plástico del material a lo largo de todo el trazado de la ruta G-84 ....	90
Tabla 4.4 – Clasificación del material de la ruta G-84.....	91
Tabla 4.5 – Grado del material por kilometraje de acuerdo al ensaye “Desgaste de los ángeles” .....	92
Tabla 4.6 – Resultado del ensaye “Desgaste de los ángeles” .....	92

Tabla 4.7 – Resultados de Índices de plasticidad de la sub – rasante para los distintos kilometrajes .	99
Tabla 4.8 – Clasificación del material de la sub – rasante de la ruta G-84 .....	99
Tabla 5.1 – Profundidad de la sub – rasante de cada kilometro .....	100
Tabla 5.2 – Resultado y comparación de ensayos mínimos de sub – bases .....	102
Tabla 5.3 – Ejes equivalentes soportantes de la carpeta granular de la ruta G-84 .....	103
Tabla 5.4 – Diseño de espesor mínimo según calculo de Morin – Todor .....	105
Tabla 5.5 – Índice estructural admisible y requerido según calculo por Morin – Todor .....	105
Tabla 6.1 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>preparación de sub – rasante</i> ” para un pavimento tipo tratamiento superficial .....	116
Tabla 6.2 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Colocación de base granular</i> ” para un pavimento tipo tratamiento superficial .....	117
Tabla 6.3 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Imprimación</i> ” para un pavimento tipo tratamiento superficial.....	118
Tabla 6.4 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Colocación de doble tratamiento superficial</i> ” para un pavimento tipo tratamiento superficial .....	119
Tabla 6.5 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Preparación sub – rasante</i> ” para un pavimento de losas con geometría optimizada .....	120
Tabla 6.6 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Re perfilado y compactación de sub – base</i> ” para un pavimento de losas con geometría optimizada .....	121
Tabla 6.7 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Colocación de hormigón con fibra</i> ” para un pavimento de losas con geometría optimizada .....	122
Tabla 6.8 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Curado y texturizado</i> ” para un pavimento de losas con geometría optimizada .....	123
Tabla 6.9 – Estimación de costos unitarios para actividad de “ <i>Cortes con sierra</i> ” para un pavimento de losas con geometría optimizada .....	124
Tabla 6.10 – Presupuesto final de materialización de un tratamiento superficial doble.....	125
Tabla 6.11 – Presupuesto final de materialización de losas con geometría optimizada reforzadas con fibras .....	125
Tabla 6.12 – Evolución por año, del estado de los pavimentos en Chile .....	126
Tabla 6.13 – Evolución por año, del estado de los pavimentos en Valparaíso.....	126
Tabla 6.14 – Porcentaje de pavimentos pertenecientes a las evaluaciones planteadas.....	128
Tabla 6.15 – Acciones de conservación para pavimentos asfálticos .....	129
Tabla 6.16 – Acciones de conservación para pavimentos rígidos .....	129
Tabla 6.17 – Porcentajes de intervención, de acuerdo al tipos de Conservación para diferentes pavimentos, planteadas por la dirección de vialidad .....	130

Tabla 6.18 – Costos unitarios para las distintas acciones de conservación para un tratamiento superficial .....	132
Tabla 6.19 – Costos unitarios para las distintas acciones de conservación para las losas con geometría optimizada reforzadas con fibra .....	133
Tabla 6.20 – Costos unitarios de materialización para las distintas alternativas, evaluando nuevas consideraciones de análisis .....	
Tabla 7.1 – condición del pavimento de acuerdo al índice obtenido.....	138
Tabla A.1 – Tabla de TMMA y TMPA para el diseño para pavimentos flexibles, según Manual de Carreteras Vol. 3. 2012.....	143
Tabla A.2 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 6 °C .....	144
Tabla A.3 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 14 °C .....	143
Tabla A.4 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 19 °C .....	146
Tabla A.5 – Coeficientes estructurales / Método de diseño Morin Todor.....	147
Tabla A.6 – Estimación de valores de CBR, Densidad y K. Para la clasificación de suelos. ....	148
Tabla A.7 – Coeficientes de drenajes para el cálculo de EE de acuerdo a la ecuación 2,5 .....	148
Tabla B.1.1 - fisuras y Grietas .....	149
Tabla B.1.2 – fisuras y Grietas .....	150
Tabla B.1.3 - fisuras y Grietas .....	151
Tabla B.1.4 - Parches y Baches .....	152
Tabla B.1.5 - Deformación Superficial .....	153
Tabla B.1.6 - Deformación Superficial .....	154
Tabla B.1.7 - Otros Deterioros .....	155
Tabla B.1.8 Otros Deterioros .....	156
Tabla B.2.1 - Deterioros de pavimento rígido y su correspondiente técnica de reparación. ....	157
Tabla B.2.2 - Deterioros de pavimento flexible y su correspondiente técnica de reparación. ....	158

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Longitud de caminos de la red vial nacional, según región y tipo de carpeta.....	22
Figura 2.2 – Estructuración de las capas que conforman un pavimento flexible .....	27
Figura 2.3 – Estructuración de las capas que conforman un pavimento rígido .....	30
Figura 2.4 – Proceso constructivo para la realización de un tratamiento superficial simple.....	34
Figura 2.5 – Proceso constructivo para la realización de un tratamiento superficial doble .....	35
Figura 2.6 – Cantidad optima de asfalto, con respecto a la altura total de la gravilla para tratamientos superficiales .....	36
Figura 2.7 – Modo de funcionamiento de las losas con geometría optimizada .....	47
Figura 2.8 – Posición representativa de pasada de los vehículos .....	54
Figura 2.9 – Diagrama de flujo de la metodología para el cálculo de las losas con geometría optimizada.....	56
Figura 2.10 – Curva carga – deformación del ensayo ASTM 1609-11, para medir la resistencia residual del hormigón .....	59
Figura 2.11 – Curva del comportamiento del pavimento y puntos de rehabilitación considerando las distintas estrategias .....	64
Figura 3.1 – Ruta G-84, Sector de San Antonio, Limite Regional de Valparaíso.....	65
Figura 3.2 – Ubicación geográfica de la Ruta G-84 .....	68
Figura 3.3 – Mapa Geomorfológico de la región de Valparaíso.....	70
Figura 3.4 – Imagen Satelital de la Ruta G-84, Sector de San Antonio, Limite Regional de Valparaíso .....	71
Figura 3.5 – Distribución de los puntos de control del tránsito en la región de Valparaíso .....	73
Figura 3.6 – Distribución direccional de transito adoptada.....	77
Figura 3.7 – Comportamiento de los ejes equivalentes acumulados para cada año.....	79
Figura 4.1 – Esquema de obtención de muestras en la zona de estudio .....	82
Figura 4.2 – Granulometría material KM: 22,950 y comparación con banda TM-50a .....	83
Figura 4.3 – Granulometría material KM: 22,450 y comparación con banda TM-50a .....	84
Figura 4.4 – Granulometría material KM: 21,950 y comparación con banda TM-50a .....	84
Figura 4.5 – Granulometría material KM: 21,450 y comparación con banda TM-50a .....	85

Figura 4.6 – Granulometría material KM: 20,950 y comparación con banda TM-50a .....	85
Figura 4.7 – Granulometría material KM: 20,450 y comparación con banda TM-50a .....	86
Figura 4.8 – Granulometría material KM: 19,950 y comparación con banda TM-50a .....	86
Figura 4.9 – Granulometría material KM: 19,450 y comparación con banda TM-50a .....	87
Figura 4.10 – Granulometría material KM: 18,950 y comparación con banda TM-50a .....	87
Figura 4.11 – Granulometría material KM: 18,450 y comparación con banda TM-50a .....	88
Figura 4.12 – Comportamiento del material bajo ensaye L.P. ....	90
Figura 4.13 – Material deslizado en aparato de "A Casagrande" .....	90
Figura 4.14 – Curva DMCS vs Humedad .....	93
Figura 4.15 – Curva de Saturación .....	94
Figura 4.16 – Grafico Carga vs Deformación del ensaye CBR .....	95
Figura 4.17 – Grafico Porcentaje CBR vs DMCS .....	96
Figura 4.18 – Comportamiento granulométrico de la sub – rasante de la ruta G-84 .....	98
Figura 5.1 – Foto Satelital de lugar de obtención de Sub – rasante de zona de estudio.....	101
Figura 5.2 – Comportamiento de los EE soportantes de la carpeta granular de la ruta G-84 .....	104
Figura 5.3 – Grafico Losas Agrietadas vs Vida Útil proyectada de pavimento con 8 cm de espesor. ....	108
Figura 5.4 – Grafico Losas Agrietadas vs Vida Útil proyectada de pavimento con 9 cm de espesor. ....	108
Figura 5.5 – Grafico Losas Agrietadas vs Vida Útil proyectada de pavimento con 10 cm de espesor .....	109
Figura 6.1 – Factores que intervienen en el análisis de costos del ciclo de vida de un pavimento ....	110
Figura 6.2 – Programa cronológico de actividades para la realización de un doble tratamiento superficial.....	113
Figura 6.3 – Programa cronológico de actividades para la realización de losas con geometría optimizada reforzadas con fibras.....	115
Figura 6.4 – Grafico de comportamiento desde el año 2006 al año 2012 del estado de los pavimentos en Chile .....	127

Figura 6.5 – Grafico de comportamiento desde el año 2006 al año 2012 del estado de los pavimentos en Valparaiso.....	127
Figura 6.6 – Tipo de contrato de mantención correspondiente a la ruta G-84 dispuesta por el Ministerio de obras publicas .....	131
Figura 7.1 – Comportamiento del “índice de calidad del pavimento” en el ciclo de vida de un pavimento.....	137

## Lista de Ecuaciones

Ecu. 2.1.....	38
Ecu. 2.2.....	38
Ecu. 2.3.....	39
Ecu. 2.4.....	39
Ecu. 2.5.....	41
Ecu. 2.6.....	41
Ecu. 2.7.....	42
Ecu. 2.8.....	43
Ecu. 2.9.....	43
Ecu. 2.10.....	44
Ecu. 2.11.....	44
Ecu. 2.12.....	44
Ecu. 2.13.....	50
Ecu. 2.14.....	50
Ecu. 2.15.....	52
Ecu. 2.16.....	54
Ecu. 2.17.....	54
Ecu. 2.18.....	55
Ecu. 2.19.....	55
Ecu. 2.20.....	55
Ecu. 2.21.....	60
Ecu. 2.22.....	60
Ecu. 2.23.....	60
Ecu. 2.24.....	60
Ecu. 3.1.....	74
Ecu. 3.2.....	78
Ecu. 3.3.....	79

## Resumen Memoria

Desde el año 2003, la Dirección de Vialidad ha impulsado el programa de caminos básicos, que tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de los habitantes que colindan con caminos no pavimentados. Esto se logra incorporando soluciones básicas, que corrigen la capa de rodadura de las vías, *disminuyendo o eliminando el polvo generado por el tránsito. Estas alternativas son de fácil implementación y económicas, satisfaciendo los objetivos planteados por el programa.*

Las soluciones básicas más usadas para la Región de Valparaíso son los tratamientos superficiales, que debido a su rápida y económica ejecución, han cumplido con los objetivos planteados por el programa. Sin embargo a pesar de lo anterior, muchas veces su valor de implementación llega a ser considerable, y es necesario buscar nuevas alternativas que generen los mismos beneficios pero con menores costos.

Los pavimentos de hormigón han estado desarrollando nuevas tendencias en lo que respecta a su materialización, generando diseños con espesores de losas más delgados, que aseguran un funcionamiento eficiente y económico. Debido a esto se hace necesario evaluar si su participación es comparable, desde el punto de vista económico, al momento de considerarlas como una alternativa en la solución de los caminos básicos.

La memoria de título se basa en poder establecer si las losas de geometría optimizada reforzadas con fibras, son alternativa viable al comparar costos de construcción y parámetros de mantenimiento, con los métodos tradicionales de tratamientos superficiales en la solución de la capa de rodadura de caminos básicos. Para ésto se analiza la capa de rodado de la ruta G-84, la cual presenta una carpeta del tipo granular, en la que mediante ensayos se determina si cumple las condiciones mínimas para servir como sub-base de pavimentos rígidos.

Los ensayos realizados a la ruta G-84, determinaron que la capa de rodadura existente proporcionaba las condiciones mínimas de sub-base para pavimentos rígidos. Debido a lo anterior, se compararon económicamente todos los procesos constructivos que incluyen la implementación de las losas con geometría optimizada reforzadas con fibras con los tratamientos superficiales.

Se establecieron 2 alternativas de espesores de base para los tratamientos superficiales, el primero contemplo el espesor original con el que se intervendría la ruta, y que correspondía al programa de *"Conservación de la red básica de la ruta G-84, Provincia de San Antonio"*, del cual se obtuvo un presupuesto menor al de las losas, pero con una diferencia de 20 % entre ellos.

Para la segunda alternativa se obtuvieron espesores acordes a los análisis realizados en la ruta, en los que se estableció que los espesores originales no daban solución al tránsito proyectado, debido a sectores que presentaban una mala calidad de sub-rasantes. Además se consideraron espesores de losas que se ajustarían a la vida útil de los tratamientos superficiales, obteniendo resultados de presupuestos más económicos para las losas.

Debido a lo anterior se estableció que las losas de geometría optimizada reforzadas con fibra, son una opción viable en la solución de la capa de rodadura de los caminos básicos, solo si éstos presentaban una carpeta granular que aportara las condiciones mínimas de apoyo como sub-base para pavimentos rígidos. Ya que se determinó que los costos de implementación estaban en directa relación con la *calidad de rodadura existente.*

Palabras claves: Caminos básicos, soluciones básicas, tratamiento superficial, losas de geometría optimizada reforzadas con fibra.

## CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo a la dirección de vialidad de Ministerio de Obras Públicas (MOP) la red vial de Chile llega a 77.603 km. de extensión, en el que un 24 % corresponde a la red vial pavimentada y un 76 % a la red vial no pavimentada<sup>1</sup>. Desde el año 2003 la dirección de vialidad implemento el programa de caminos básicos. Éste consiste en mejorar las condiciones de la carpeta de rodadura de caminos no pavimentados, que por su bajo tránsito deberían esperar muchos años para su pavimentación. Desde ese año se han hecho más de 10.000 km de obras de conservación llamadas soluciones básicas.

Hoy en día se han ejecutado muchos proyectos a lo largo del país con distintos tipos de soluciones básicas, además por la particularidad de la geografía de Chile están expuestas a distintas condiciones climáticas y tipos de suelos, esto hace que las soluciones planteadas puedan ser variadas acorde al lugar. Según lo anterior las soluciones más empleadas son estabilizadores o inhibidores de polvo, imprimaciones reforzadas, lechadas asfálticas, "cape seal", "otta seal" y tratamientos superficiales simples o dobles.

*Desde los inicios de este programa se ha considerado que este tipo de soluciones tiene una vida útil muy inferior a los tratamientos tradicionales, pero a un menor costo, por lo que hace que se puedan ejecutar por el mismo presupuesto un número superior de kilómetros, en periodos más cortos y con un alto beneficio. Sin embargo dentro de esos conocimientos, deberían tener operaciones de conservación más frecuentes que para las soluciones tradicionales, por lo que la elección adecuada del tipo de solución básica optimiza los recursos, tanto en su construcción como en el mantenimiento de las mejoras de las carpetas de rodadura de los caminos de bajo tránsito.*

Las nuevas tecnologías y el desarrollo que se ha tenido en el área de la pavimentación han hecho que muchos de los métodos tradicionales usados para ello han tenido que adaptarse a las nuevas tendencias o evaluar su participación, dado su alto costo de materialización. Una de las soluciones básicas antes mencionadas es la de los tratamientos superficiales que a pesar que sus objetivos son la protección, impermeabilización y mejoramiento de la capa de rodadura, los altos costos de implementación hacen que se plantee su competitividad en el mercado.

Los pavimentos de hormigón con losas de geometría optimizada están estableciendo nuevos cambios en lo que respecta al uso del hormigón para pavimentos. Esta es una innovación chilena que adelgaza los pavimentos con respecto a los tradicionales hasta en un 25 % y compite con las soluciones de asfalto equivalente. La nueva propuesta es simple con respecto a su diseño, en losas de largo y ancho tradicional (según AASHTO), los ejes delanteros y traseros de los vehículos, así como también las ruedas de un mismo eje cargan la losa provocando tensión en la cara superior generando grietas de arriba hacia abajo, con el nuevo método se acortan los largos y anchos de las losas y se carga la losa con un set de ruedas disminuyendo las tensiones.

---

<sup>1</sup> Datos obtenidos de la Red vial de Chile 2011, Editado Septiembre 2012

Esta innovación junto con la de incluir fibras sintéticas estructurales en el hormigón hace posible crear losas más delgadas que cumplan con las resistencias demandadas y que puedan competir a un menor costo con las soluciones básicas.

La importancia de conocer las nuevas innovaciones radica en el aprovechamiento, generando mayores beneficios a menores costos de implementación. Por lo tanto hace necesario evaluar esta alternativa y compararla con las soluciones básicas.

La evaluación servirá para poder determinar si es factible que los pavimentos rígidos puedan competir con soluciones básicas en la protección de capas de rodaduras de caminos básicos. De esta forma se podrían establecer nuevos parámetros de evaluación, para la implementación de futuros proyectos, en los que la participación de losas de geometría optimizada reforzada con fibras pueda ser una alternativa económica y con un beneficio importante.

Para el análisis se pretende evaluar la ruta G-84, que clasifica como "caminos básicos", en la que la primera alternativa de implementación era colocar un doble tratamiento superficial. De acuerdo a esto se evaluó la participación de las losas de geometría optimizada reforzadas con fibras, con la cual se hará una comparación económica y técnica, lo que proporciona elementos que puedan concluir si esta innovación es competitiva con las actuales alternativas.

Cabe destacar que para hacer competitivas esta innovación, se evaluará la participación de la carpeta granular existente, considerando los ensayos respectivos para sub-base de un pavimento rígido, según lo establecido en el punto 5.301 de Manual de Carretera Vol. 5 Versión 2012.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general

Establecer si las nuevas soluciones de losas de geometría optimizada reforzadas con fibras, son alternativa viable al comparar costos de construcción y parámetros de mantenimiento, con los métodos tradicionales de tratamientos superficiales en la solución de capas de rodadura de caminos básicos.

### 1.2.2 Objetivo específicos

- Identificar propiedades existentes de la capa de rodadura mediante ensayos de laboratorio (análisis granulométrico, desgaste de los Ángeles, sales solubles, límite líquido, índice de plasticidad, CBR) y evaluar si las propiedades son aceptables o no para ser utilizada como sub - base granular y servir como apoyo de pavimento rígido, según lo establecido en el Volumen 5 del Manual de Carreteras versión 2012.
- Comparar la solución de losa delgada utilizando la sub-base existente con los tradicionales tratamientos superficiales, en términos de costos asociados a su materialización, además de consideraciones de costos de mantenimientos.
- Proponer una metodología para la integración de las losas, en carpetas de rodadura de caminos básicos que sirvan como sub-base para pavimentos rígidos.

## 1.3 Alcances

- La ruta a evaluar será "Ruta G-84" de la comuna de San Antonio, Región de Valparaíso, la cual se encuentra actualmente en licitación.

## 1.4 Metodología

- Recopilación bibliográfica sobre métodos de diseño, aspectos constructivos y de mantenimientos de obras viales, con especial detalle a pavimentos de losas delgadas con fibras y tratamientos superficiales.
- Determinar características naturales del tramo de estudio. Lo cual incluye antecedentes geológicos, geográficos y ambientales en la cual se emplaza el tramo.
- Estudio de tránsito en el sector para conocer las solicitudes de la demanda real que está afectado al pavimento. Se realiza una proyección de tránsito acumulado para periodos según alternativas.
- Obtención de muestras del sector de estudio para evaluar sus propiedades de acuerdo a los parámetros establecidos por el manual de carreteras de requisitos mínimos de sub – base para pavimentos rígidos.
- Recopilación de propuestas adjudicadas para la realización de tratamientos superficiales en la región de Valparaíso, con el fin de analizar costos de materialización y de mantención.
- Recopilación de propuestas adjudicadas para la realización de losas delgadas con fibras para su análisis de acuerdo a los costos asociados a materialización y mantenimiento.
- Formulación de una metodología que sirva para evaluar si las losas delgadas pueden ser implementadas en caminos básicos que cumplan con las exigencias mínimas de sub – base para pavimentos rígidos.
- Comentarios y conclusiones.

## **CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes generales**

#### **2.1.1 Antecedentes la red vial nacional**

Chile cuenta con una red vial total de 77.603 km de longitud. Se encuentra actualizada hasta diciembre del año 2011 y ha sido ajustada en base a la información que se ha medido en terreno. Además de levantamientos hechos con tecnología GPS que ha realizado la Dirección de Vialidad, la que es administrada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP).

Dentro de esta longitud de rutas se puede observar que existe un 23,7 % de vías pavimentadas, ya sea por asfalto, hormigón, o carpetas mixtas como asfalto - hormigón, asfalto - ripio y hormigón - ripio. Esta denominación se obtiene debido a que sus pistas presentan distintas capas de rodadura [2].

El otro 76,3 % corresponde a la red vial no pavimentada en donde encontramos caminos de tierra (22,78 %), caminos de ripio (41,5%) y caminos con soluciones básicas ("capa de protección" y "granular estabilizado") (11,96 %).

Los tipos de superficie de rodadura denominados capas de protección y carpeta granular estabilizada corresponden a una solución básica. La primera consta de la aplicación de una capa asfáltica de protección y la segunda se caracteriza por la utilización de algún tipo de ligante o estabilizador del suelo que mantiene cohesionada la matriz pétreo.

En los antecedentes mostrados en la figura 2.1, existe una gran probabilidad que para el caso de los caminos no pavimentados sus valores no varíen significativamente en el tiempo, ya que en general los recursos económicos son utilizados para pavimentación y conservación de caminos nacionales y regionales primarios, como consecuencia de su mayor importancia geopolítica ya que representan el 80% del tráfico [1].

Por lo general los caminos no pavimentados se les aplica una conservación periódica y muy pocas veces se le hace una intervención estándar, ya que muchos de los requisitos de ésta es que el camino tenga un tráfico superior, que se logra por el desarrollo económico, y que esté conectado a vías principales o zonas de concentración de habitantes, escuelas y/o postas rurales.

Región	Red Vial Pavimentada				
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Asf./Riplo.	Horm./Riplo.
I	1.018,57	0,09	0,00	0,00	0,00
II	1.767,91	2,61	0,00	0,00	0,00
III	1.000,73	4,54	0,00	0,00	0,00
IV	1.267,67	39,63	10,28	0,00	0,00
V	1.122,42	220,32	22,58	0,00	0,00
VI	1.149,62	74,10	45,75	0,00	0,00
VII	1.447,77	149,78	74,67	0,00	0,00
VIII	2.035,30	159,93	30,41	0,00	0,00
IX	1.437,45	102,66	96,76	0,00	0,00
X	1.327,16	145,86	49,90	0,00	0,00
XI	224,46	153,88	0,00	0,00	0,00
XII	29,86	547,17	0,00	0,00	0,00
R.M.	1.173,24	201,73	79,35	0,00	0,00
XIV	637,44	42,66	99,29	0,00	20,88
XV	431,09	0,20	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>16.067,67</b>	<b>1.839,20</b>	<b>508,99</b>	<b>0,00</b>	<b>20,88</b>

Región	Red Vial No Pavimentada			
	Solución Básica		Riplo	Tierra
	Capa Protección	Granular Estabilizado		
I	83,82	346,25	347,03	1.533,09
II	82,44	649,77	509,28	2.633,01
III	182,78	2.139,71	726,93	2.815,02
IV	51,90	793,51	1.979,32	845,15
V	997,57	0,00	527,17	290,80
VI	621,55	0,00	871,42	774,99
VII	112,07	434,05	3.046,02	1.668,92
VIII	232,87	117,57	4.817,67	1.977,59
IX	256,41	344,85	7.284,47	2.502,87
X	268,63	0,70	5.182,31	445,40
XI	19,83	126,08	2.170,95	203,24
XII	90,99	191,27	2.291,76	308,50
R.M.	643,91	2,00	447,69	220,85
XIV	135,12	0,00	1.875,92	299,76
XV	46,35	310,41	141,20	1.269,11
<b>Total</b>	<b>3.824,12</b>	<b>5.455,17</b>	<b>32.208,04</b>	<b>17.678,10</b>

Figura 2.1 – Longitud de caminos de la red vial nacional, según región y tipo de carpeta

## 2.1.2 Caminos Básicos

### 2.1.2.1 Concepto y función

Los caminos de tierra y ripio se extienden a lo largo de muchas localidades del país y son a veces la única vía de acceso que tienen pueblos o lugares donde la densidad poblacional se ve disminuida. Debido a su bajo tránsito requería una intervención limitada, conforme los recursos estén disponibles y su rentabilidad permitiera la inversión. De esta forma sólo unos 400 o 500 km al año van cambiando su estándar, con mejoramientos de trazado, de ancho, de estructura, de obra de drenaje, etc. [4].

Los principales inconvenientes que presentan estos caminos son que al encontrarse su carpeta de rodadura deteriorada produce que los vehículos circulantes levanten polvo, el cual genera problemas de seguridad vial tanto en la visibilidad como en el servicio, provocando una lenta y difícil conducción. Acompañado además de la posibilidad que fragmentos de piedras puedan saltar produciendo algún tipo de daño a vehículos o a usuarios [1].

Además de los problemas de calidad del camino, unido a la baja durabilidad que presentan, existe el problema asociado a la poca oportunidad de realizar proyectos integrados de ingeniería que optimicen las soluciones de diseño. Esto quiere decir que el nivel de ingeniería básica con que se realiza el diseño de este tipo de caminos en general no está a un nivel similar al de un proyecto de ingeniería de caminos principales, sin embargo, dada la limitación de los recursos que está presente en este tipo de inversiones, se considera importante contar con soluciones de ingeniería que al menos otorguen una confiabilidad mínima a los proyectos [3].

En Chile a mediados de la década de los 90's se comenzaron a desarrollar las primeras experiencias con nuevos materiales, los cuales proporcionaron caminos más seguros y con un mayor nivel de servicio en el tiempo.

Con el propósito de cambiar el panorama anterior, en el año 2003 la Dirección de Vialidad se impuso la meta de mejorar la capa de rodadura de 5000 km de caminos de bajo tránsito, con soluciones económicas adecuadas, conformándose así el programa "caminos básicos"

El concepto fundamental que existe detrás del nombre de camino básico es el de conservar al camino el mismo trazado y características actuales y aplicar sobre la superficie de rodadura alguna solución sin mejorar la geometría [4].

### 2.1.2.2 Objetivos de los Caminos Básicos

La conservación de los caminos básicos se planteó para poder combatir problemas que venían generándose por el mal estado de las vías y el daño que producían a las comunidades colindantes. Los objetivos planteados para esta conservación fueron variados. Entre los más importantes se encuentran [4]:

- Mejorar la calidad de vida de los habitantes del entorno del camino, disminuyendo o eliminando el polvo generado por el tránsito que puede ser nefasto para la salud y para los cultivos.
- Disminuir los costos de conservación originados por el frecuente re-perfilado de las ripiaduras y periódica reposición de material granular.
- Mejorar las condiciones de rodadura para los usuarios y los vehículos, disminuyendo así los costos de transporte.
- Impulsar el desarrollo económico local, entregando mejores condiciones de rodadura y conectividad para actividades productivas en las zonas beneficiadas.
- Mejorar las condiciones de seguridad vial y confortabilidad, ya que se disminuye la presencia del polvo y se aumenta la serviciabilidad del camino.

### 2.1.2.3 Soluciones para Caminos Básicos

No es posible mejorar la conectividad de las comunidades que dependen de caminos rurales mediante proyectos de alto estándar, ya que los costos asociados a su realización son altos. Sin embargo el avance que se ha tenido en la implementación de soluciones básicas ha logrado brindar diversas alternativas a menores costos que los requeridos por un camino de asfalto u hormigón. En este escenario el resultado final que se pueda esperar dista mucho de una pavimentación con un mejoramiento integral del camino, sin embargo es la mejor solución para lograr los proyectos perseguidos dadas las limitaciones de presupuesto y de bajo tránsito que lo solicita [3,6].

Las soluciones a los caminos básicos pueden ser variadas y van relacionadas a las condiciones del lugar. La elección está relacionada con el tipo y cantidad de flujo vehicular, el tipo de clima de la zona, la disponibilidad de los materiales y el costo de implementación de la solución. Todas estas variables son las que se analizan para poder determinar cuál será la solución adecuada [1].

Dentro de las soluciones empleadas se encuentran las que son del tipo estabilizadoras o inhibidoras de polvo, estas consisten en aplicar sobre el camino un material que mantenga cohesionado los componentes de la carpeta o mantener a estos húmedos [4].

Los productos más comunes para estas soluciones son:

- Cloruro de Magnesio (Bischofita)
- Cloruro de Sodio (Sal)
- Cloruro de Calcio

Otra de las soluciones a los caminos básicos es la aplicación de una capa de protección asfáltica. Su principal tarea es proteger al material granular que se encuentra abajo. No aporta estructura. Las principales soluciones son:

- Imprimación reforzada
- Tratamiento superficial simple y doble
- Lechada asfáltica
- "Cape seal"
- "Otta seal"

## 2.2 Definición de los pavimentos flexibles y rígidos

### 2.2.1 Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles son usualmente conocidos como pavimentos asfálticos, dentro de su composición podemos observar que están formados por varias capas que a su vez están constituidas por materiales que tienen una resistencia a la deformación decreciente con la profundidad. Esta estructuración de capas tiene como propósito [5]:

- Resistir y distribuir adecuadamente las solicitaciones producidas por el paso de los vehículos.
- Proporcionar una superficie de rodadura segura y cómoda para los vehículos, además que ésta asegure las características de uniformidad durante el periodo de vida de la vía para que no se produzcan asentamientos importantes que afecten su uso.
- Resistir los agentes atmosféricos, especialmente los producidos por precipitaciones y del agua en cualquiera de sus formas, ya que en determinados suelos podría eventualmente producir lavados de parte del material e incluso fenómenos de deslizamientos.
- Generar una superficie que tenga la impermeabilidad necesaria para que el agua no pueda infiltrarse y de manera que no se vea afectada por este fenómeno. Además de tener las condiciones geométricas necesarias para que el agua pueda drenarse hacia las obras de saneamientos implementadas.
- Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub-base. La flexibilidad del pavimento permite adoptar la estructura, si es que se llegara a producir algún asentamiento en alguna de las capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin la necesidad de recurrir a costosas reparaciones
- Resistir la acción erosiva de los vehículos, ya que su continuo paso hace que la superficie comience a perder partículas que con el paso del tiempo puedan producir problemas funcionales [5].

### 2.2.1.1 Conformación

Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están conformados por una serie de capas desde la plataforma de la sub-rasante hasta la superficie de rodadura. La distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de estructuración. Este tipo de pavimento está compuesto por capas dispuestas en orden descendente según la capacidad de soporte [7, 8].

La distribución de esfuerzos dentro del pavimento asfáltico se produce desde la superficie de rodadura hacia la sub-rasante. La primera capa que corresponde a una mezcla asfáltica aporta resistencia pero en menor proporción, su propósito es mantener protegida a las capas granulares para que estas mantengan sus propiedades mecánicas [7].

Las capas granulares son las que deben resistir los esfuerzos del tránsito, están constituidas de material que ha sido previamente evaluado para poder cumplir ciertos requisitos de soporte. Las capas granulares son las más importantes dentro de la conformación del pavimento asfáltico ya que estas deben tener la capacidad necesaria para poder resistir las cargas a las que fueron diseñadas sin que se produzcan fallas ni deformaciones remanentes que afecten la calidad de la vía.

Como se observa en la figura 2.2, existen además una serie "capas de espesor cero", constituidas por riegos asfálticos aplicados durante la construcción del pavimento en la superficie de determinadas capas para mejorar sus características de adherencia con la capa superior [7].

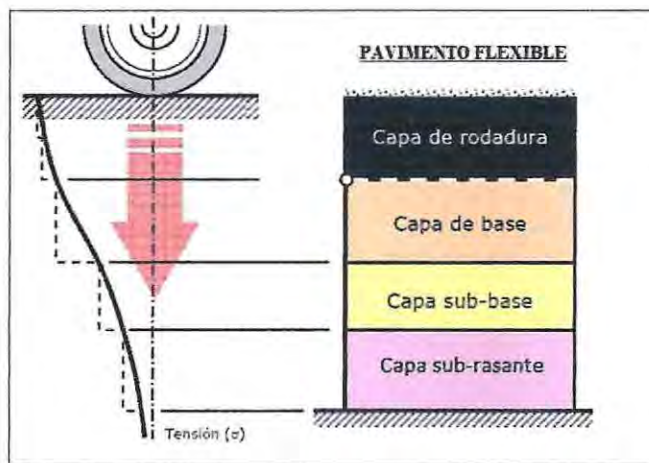


Figura 2.2 – Estructuración de las capas que conforman un pavimento flexible

## 2.2.1.2 Funciones de las distintas capas de un pavimento flexible

### Capa de rodadura

Es la capa superior del pavimento y sobre ella circulan los vehículos durante la vida útil de ésta. Su principal función es proteger la estructura de la agresión del medio ambiente y la acción abrasiva del tráfico, además de impermeabilizar la superficie junto con ser antideslizante y duradera [7].

Pueden estar compuestas por una o varias capas asfálticas que algunas veces no aportarán con resistencia, sino más bien protegerán las capas estructurales inferiores para evitar filtraciones de agua de lluvia. Dentro de las capas que no aportan resistencia están los tratamientos superficiales (simples, dobles y triples), lechadas asfálticas y los "cape seal" [8].

### Base

Su función primordial es la de proporcionar un elemento resistente que permita transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub-base y sub-rasante, en una intensidad adecuada [5]. En su construcción se emplean materiales de mejor calidad y con mejores especificaciones de construcción, estos deben someterse a procesos exigentes que aseguren la calidad de los áridos.

Su importancia radica en su capacidad estructural ya que absorbe la mayor parte de los esfuerzos verticales, particularmente en caminos básicos. En consecuencia la capa base presenta, por tanto, una función eminentemente resistente, debiendo además ser compacta y duradera para que sus características mecánicas sean lo más homogéneas posibles durante periodo del proyecto [7].

### Sub-base

Es la primera capa de la estructura del pavimento que se dispone sobre la sub-rasante, con el fin de facilitar un buen drenaje del pavimento y permitir la construcción del resto de la estructura. Está compuesta por materiales granulares de mediana calidad [8]. En consecuencia se trata de una base de peor calidad, dado que no tiene que resistir cargas excesivas del tráfico, al llegarle muy atenuada la carga por efecto de las capas superiores. [7].

También la función de la sub base, en un pavimento flexible, es puramente económica, buscando utilizar un material más barato. Podría construirse dicho espesor con materiales de alta calidad como en el caso de la base, pero usualmente se hace aquella más delgada y se sustituye en parte por la sub base que es de menor calidad, trayendo como resultado un aumento en el espesor total del pavimento, pues es un hecho que cuando menor es la calidad del material utilizado, mayor será el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos [5].

### Sub-rasante

Es la capa del terreno que soporta la estructura del pavimento y se extiende a una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planes finales de diseño [7,9].

Los materiales usados son de menores calidades y típicamente no deben cumplir mayores exigencias como son las de las capas de base o sub-base, ya que la carga producto del tráfico va disminuyendo con la profundidad. Sin embargo el espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub-rasante [9].

## 2.2.2 Pavimentos rígidos

### 2.2.2.1 Conformación

Los pavimentos rígidos son conocidos usualmente como pavimentos de hormigón, éstos difieren de los pavimentos flexibles dado que poseen propiedades de resistencia considerable a la flexión. Además debido a su rigidez no requieren capas con elevada capacidad de soporte ya que en teoría las losas de hormigón hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, pero por normativa es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento por el paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa [10].

De lo anterior se determina que la sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de hormigón hidráulico y la sub-base, que se construye sobre la capa sub – rasante. La rigidez de los pavimentos de hormigón hace que los esfuerzos producidos por el tráfico tengan incidencia directamente en la losa, produciéndose:

- Esfuerzos de compresión y tracción que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tracción causados por la expansión y contracción del hormigón.
- Esfuerzos de compresión y tracción debidos al alabeo del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.
- Esfuerzos abrasivos causados por los neumáticos de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y corte, causados por las cargas de las ruedas [10].



Figura 2.3 – Estructuración de las capas que conforman un pavimento rígido

## 2.2.2.2 Funciones de las distintas capas de un pavimento rígido

### Sub base

Para los pavimentos rígidos normalmente es muy necesario el uso de una sub-base y casi siempre las condiciones de la sub – rasante la exigen. Además su función principal es la de eliminar la acción de lavado que se produciría por la abrupta subida de los finos, sin embargo cumple otras funciones como son la de aumentar la capacidad de soporte del suelo proporcionando una superficie homogénea y pareja de apoyo de la losa de hormigón, y así hacer mínimos los efectos de cambio de volumen que se puedan producir en la sub-rasante [9].

### Capa de rodadura

Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con hormigón hidráulico, por lo que debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la sub-rasante, dado que no usan capa de base. En general, se puede indicar que el hormigón hidráulico distribuye mejor las cargas hacia las capas inferiores. [7,9].

En la capa superficial de hormigón hidráulico, las funciones principales serán [7]:

1. Proveer un valor de soporte elevado para que resista de manera óptima las cargas concentradas que provienen de ruedas pesadas que solicitan la estructura.
2. Tener una textura superficial poco resbaladiza, aún cuando se encuentre húmeda.
3. Proteger la superficie sobre la cual está construido el pavimento de los efectos destructivos del tránsito.
4. Impedir a la superficie de la penetración del agua.
5. Buena visibilidad ya que por su color claro da una mayor seguridad al tráfico nocturno de vehículos.
6. Gran resistencia al desgaste y con poca producción de partículas de polvo.

### Sub-rasante

La sub-rasante cumplirá con los mismos propósitos para los pavimentos flexibles que para los pavimentos rígidos, sus eventuales características son las que limitarán el diseño de estos. Eso si las exigencias de sus propiedades deberán ser mínimas para que no incidan en daños que pueda producirse con el paso del tiempo.

## **2.3 Pavimentos flexibles**

### **2.3.1 Tratamientos Superficiales**

#### **2.3.1.1 Definición y Funciones**

Los tratamientos superficiales (TS) son aplicaciones que consisten en un riego asfáltico alternado con agregados pétreos, colocados sobre una capa granular o sobre un pavimento existente de asfalto o de hormigón teniendo por finalidad el mejorar o conservar las características físicas y mecánicas de las superficies así tratadas. De acuerdo al número de aplicaciones adoptan el nombre de tratamientos superficiales simples, dobles o triples [5, 6].

Además deben dotar al pavimento de mejores condiciones de impermeabilidad, suavidad para el manejo, prolongar la vida útil del paquete estructural, dar una solución técnica – económica al problema del mantenimiento [5].

Según Waldemar P. C. [6] este tipo de solución se destaca por su bajo costo con respecto al pavimento tradicional, fácil aplicación, buena impermeabilización de la base y por su buen desempeño frente a varias adversidades climáticas y bajos volúmenes de tránsito (menores a 500 vehículos diarios).

La ejecución de un tratamiento superficial debe ser en forma eficiente y económica, de construcción simple y durable. Aplicados sobre la base granular los TS impermeabilizan las capas inferiores asegurando que estas puedan desempeñar mejor su capacidad de soporte. Aplicados sobre pavimentos existentes los TS prolongan la durabilidad de la calzada [6].

Un doble tratamiento superficial (DTS), adecuadamente diseñado y construido, proporciona un considerable incremento en durabilidad y resistencia en comparación con un tratamiento simple, obteniéndose además, una mayor impermeabilidad. La mayor resistencia y durabilidad que proporcionan los tratamientos dobles los hacen especialmente adecuados para condiciones de mayor sollicitación de tránsito, pendientes más pronunciadas y climas más severos [8].

### 2.3.1.2 Actividad Constructiva

Las actividades que se desarrollan para poder llevar a cabo la construcción de un tratamiento superficial son los que se definen en el numeral 5.407 del Manual de Carreteras Vol. 5 [12].

- a. Definición adecuada del área de trabajo, mediante marcas o líneas de la zona en que se aplicara el TS
- b. La recepción de la superficie donde se esparcirá el TS se hará posterior a tener la dosificación visada por parte del Laboratorio de Vialidad o también el inspector fiscal podrá dar inicio a la ejecución de la partida de la obra.
- c. Se deberá preparar la superficie de manera que se elimine todo material suelto, ya sea polvo, suciedad o cualquier otro material extraño. Además Cuando la superficie presenta partículas finas sueltas, como consecuencia de una excesiva sequedad superficial, se podrá rociar ligeramente con agua y no se aplicara el bitumen hasta que haya desaparecido toda el agua de la superficie.
- d. Se aplicara el riego asfáltico de imprimación y luego la aplicación de CRS-2, según la dosificación establecida, este se debe aplicar en forma uniforme y mediante un distribuidor de presión cuando la superficie a sellar este completamente limpia y seca. En los lugares de comienzo y término de los riegos asfálticos, se deberá colocar una protección transversalmente al eje del camino, compuesta por una tira de papel o cartón de un ancho no inferior a 0,80 m. Una vez utilizado, éste deberá ser retirado de inmediato.
- e. Se aplicarán los áridos según la dosificación establecida. Se deberá aplicar los áridos *inmediatamente después de haber aplicado el asfalto. La distribución del árido deberá efectuarse de manera que las ruedas del esparcidor, en ningún momento entren en contacto directo con el material bituminoso recién aplicado.*
- f. Tan pronto como se haya cubierto un determinado tramo, éste deberá revisarse para verificar si existen zonas deficientes de áridos, las que deberán recubrirse con material adicional.
- g. Se aplicara sobre la superficie un rodillo neumático para su compactación. Este debe aplicarse inmediatamente después que el árido ha sido esparcido. La faena de rodillado deberá continuar utilizando equipo complementario, incluyendo el rodillo liso hasta lograr un perfecto acomodo y planchado de las partículas. En todo caso, la faena de rodillado consistirá en un mínimo de tres pasadas completas de rodillo sobre la misma superficie, incluido el rodillado inicial.
- h. Se deberá hacer un barrido de todo material excedente y asegurar su remoción. Esto se aplicara solamente a los áridos en exceso. En el caso que se produzca desprendimiento de áridos incrustados en el material ligante, el barrido deberá postergarse por un periodo adicional al establecido.
- i. La puesta en servicio podrá hacerse después de haber transcurrido un período mínimo de dos horas desde la compactación final. Por otra parte, el material ligante deberá haber curado o quebrado completamente.

Si el tratamiento superficial es doble, se deberán repetir las actividades desde la letra "e" hasta "i". En la figura 2.4 se puede apreciar como es el procedimiento para un tratamiento simple y en la figura 2.5 se puede observar como es la partida para un tratamiento doble.

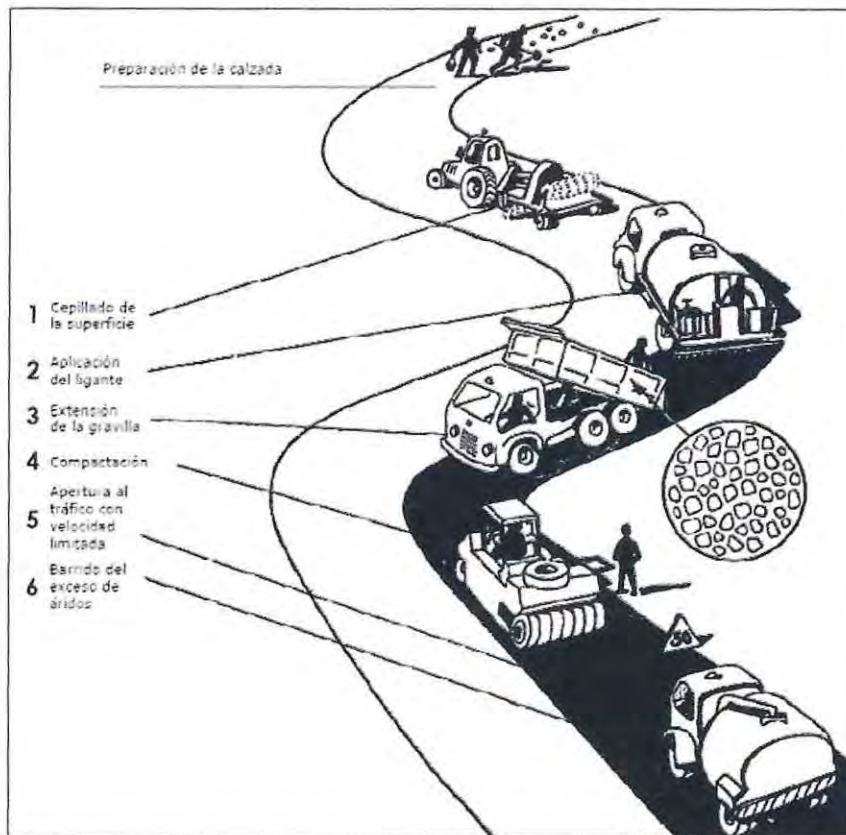


Figura 2.4 – Proceso constructivo para la realización de un tratamiento superficial simple

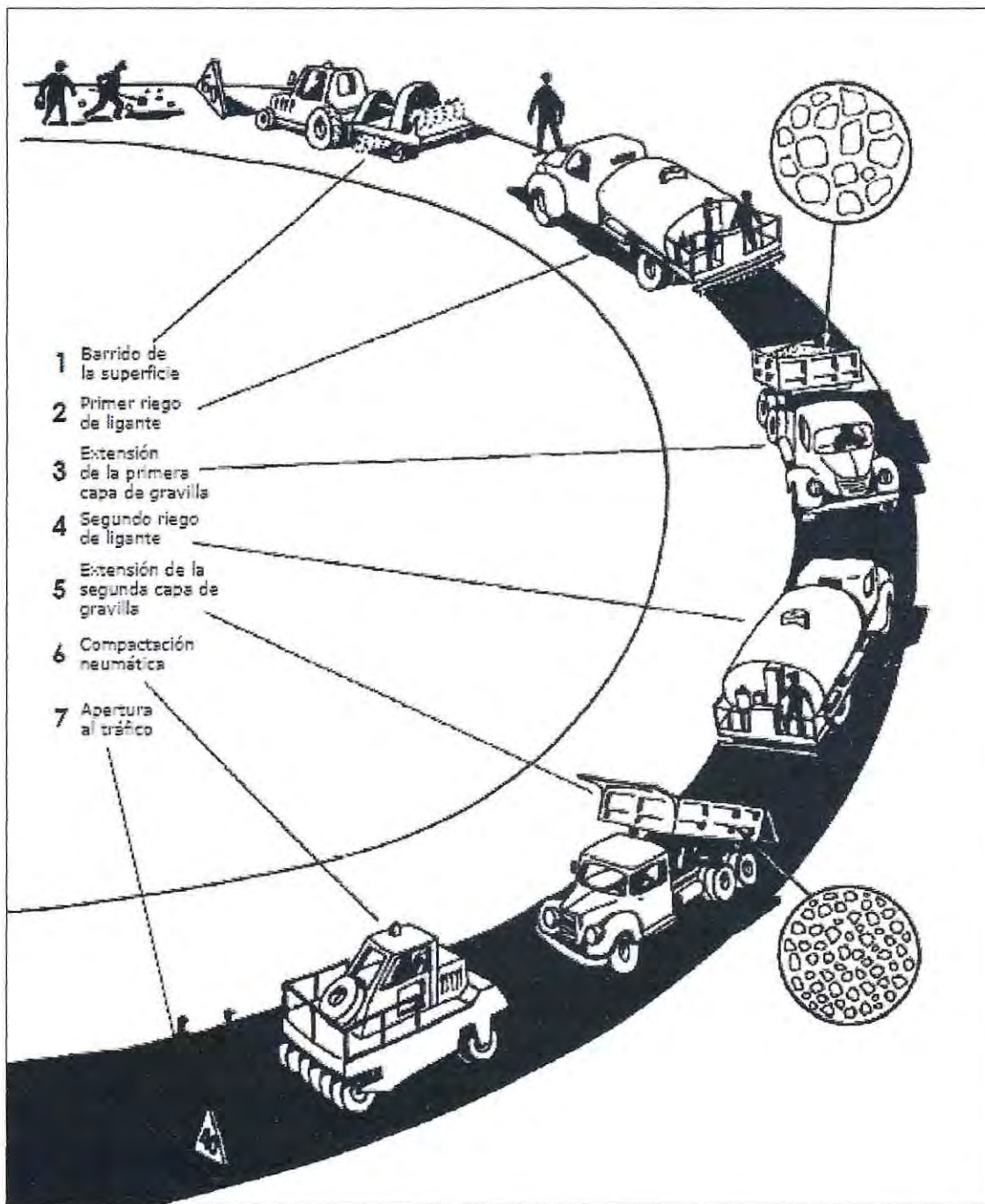


Figura 2.5 – Proceso constructivo para la realización de un tratamiento superficial doble

### 2.3.1.3 Dosificación de materiales

El asfalto utilizado en los tratamientos superficiales debe cumplir con lo indicado en el párrafo 5.405.201 del M.C., Vol. 5., de igual forma, los áridos deben estar sujetos a las exigencias señaladas en el párrafo 5.405.202 del M.C., Vol. 5., tanto en los requisitos de ensayos como en la uniformidad en su granulometría.

#### 2.3.1.3.1 Método Hanson

Este método se basa en las siguientes verificaciones experimentales, las cuales definen los principios básicos de los tratamientos superficiales, estos son:

- El porcentaje de espacios entre las partículas de agregado disminuye durante el proceso de esparcido, compactación y sollicitaciones de tránsito
- Cuando el agregado es recién esparcido de manera tradicional se tiene un nivel de espacios no cubiertos por el asfalto del 50 %
- Al compactarse con rodillo los espacios se reducen al 30 %
- Cuando se abre la pista al tránsito el porcentaje de espacios se reduce al 20 %

El tránsito vehicular permite continuar el reacomodo de las partículas de agregado hasta el punto en el cual alcanzan su posición más estable. Esta posición se consigue cuando las partículas se encuentran apoyadas sobre sus lados más elongados, es decir, con su menor dimensión en vertical. De aquí el concepto de "Dimensión Mínima Promedio", que es el promedio de las dimensiones más pequeñas de las partículas de agregado [8].

Según la figura 2.6, la cantidad óptima de asfalto debiera ser aproximadamente  $\frac{2}{3}$  de la altura total ( $h$ ) de la gravilla. Una altura mayor haría la superficie demasiado deslizante, mientras que con una menor cantidad se producirían desprendimientos al no estar bien sujeta [7].



Figura 2.6 – Cantidad óptima de asfalto, con respecto a la altura total de la gravilla para tratamientos superficiales

### 2.3.1.3.2 Método especificado por el Manual de Carreteras

Este método se basa en el procedimiento de la dimensión mínima promedio desarrolla por el método de Hanson. Además para determinar la dosificación de un doble tratamiento superficial se emplea la "teoría de los volúmenes absolutos" que postula que:

- Las partículas del agregado más fino, que correspondería al segundo riego de material granular llena los espacios dejados por el agregado grueso.
- El espesor final es aproximadamente igual al tamaño máximo del agregado grueso
- Después de la reorientación de las partículas de agregado producto del tránsito, los vacíos alcanzan de un 5% a un 7%.

El Manual de Carreteras especifica los procedimientos adecuados para poder obtener las dosificaciones de tratamientos superficiales simples, dobles y triples. Pero además establece que dichas dosificaciones deberán estar comprendidas entre los siguientes rangos [12].

Tabla 2.1 – Rango de dosificaciones que especifica el Manual de Carreteras

Tipo de Tratamiento	Asfalto [Kg/m <sup>2</sup> ]	Agregado Pétreo [Kg/m <sup>2</sup> ]
Tratamiento superficial simple	0,9 -1,6	8 - 15
Tratamiento superficial doble	2,6 - 3,2	25 - 35

## 2.3.2 Diseño estructural de pavimentos flexibles

### 2.3.2.1 Método manual de carreteras

El método de diseño de pavimentos flexibles nuevos presentado en el Manual de Carreteras, Volumen 3, está basado en el procedimiento de diseño recomendado por la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), el cual se basa en resultados obtenidos en el *Road Test* (Ensayo de Caminos) AASHTO realizado en Ottawa, Illinois, USA, durante los últimos años de la década de los 50 y los primeros del 60. Las ecuaciones empíricas de diseño obtenidas en el mencionado Road Test son de utilidad como modelos básicos en la guía de diseño actual, pero han sufrido ciertas modificaciones para orientar a expandir las posibilidades de aplicación del método a diferentes climas, diseños, materiales y suelos [8].

Este método corresponde a la versión de 1993 de AASHTO y fue adaptado para ajustarlo mas a la realidad chilena, sin embargo el método expuesto en el numeral 3.604.1 solamente corresponde a los pavimentos nuevos usados en climas no desérticos o que se localicen en zonas donde las precipitaciones media anual para 10 años de retorno sea inferior a 40 mm [13].

El método consiste principalmente en encontrar el numero estructural "NE" para que el pavimento flexible pueda soportar el nivel de carga solicitante. La formula general de diseño relaciona los ejes equivalentes (EE) solicitantes con el número estructural y el nivel de confianza, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada.

$$EE = (NE + 25,4)^{9,36} * 10^{(-16,40 + ZR * S0)} * MR^{2,32} * \left[ \frac{pi - pf}{pi - 1,5} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad \text{Ecu. 2.1}$$

$$\beta = 0,40 + \left[ \frac{97,81}{NE + 25,4} \right]^{5,19} \quad \text{Ecu. 2.2}$$

En donde:

EE: Ejes equivalentes de 80 kN acumulados durante la vida de diseño.

NE: Numero estructural (mm).

ZR: Coeficiente estadístico que depende del nivel de confianza que se adopte.

S0: Desviación estándar del error combinado de todas las variables que intervienen en el modelo.

MR: Modulo Resiliente del suelo de la sub-rasante (MPa).

pi: Índice de serviciabilidad inicial.

pf: Índice de serviciabilidad final.

### Modulo Resiliente

El método de diseño de AASHTO caracteriza las propiedades de los suelos de la sub-rasante mediante el parámetro llamado módulo resiliente ( $M_R$ ). El módulo resiliente representa el módulo elástico del material después de haber sido sometido a cargas cíclicas. Se puede determinar con algunos ensayos propuestos por AASHTO, pero habitualmente para el diseño de pavimentos nuevos se obtiene en forma indirecta, estimándolo a partir de resultados de ensayos que establecen el valor de CBR. Las relaciones indirectas que plantea el MC son las siguientes:

$$M_R(\text{MPa}) = 17,6 (\text{CBR})^{0,64} \quad \text{Para } \text{CBR} < 12\% \quad \text{Ecu. 2.3}$$

$$M_R(\text{MPa}) = 21,1 (\text{CBR})^{0,55} \quad 12\% < \text{CBR} < 80\% \quad \text{Ecu. 2.4}$$

### Confiabilidad

El grado de confiabilidad de diseño se controla por el factor de confiabilidad ( $F_r$ ) que es en función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal ( $Z_R$ ) y de la desviación normal del error combinado ( $S_o$ ) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La tabla 2.2 muestra los valores de  $Z_R$  y  $S_o$  que recomienda el manual de carreteras a utilizar, en el diseño de pavimentos flexibles, éstos estarán en función de las solicitaciones esperadas y del coeficiente de variación de la serie de valores representativos de las características de los suelos de la sub-rasante. Por lo general, a medida que la estimación del tráfico sea mayor el nivel de confianza aumentará, esto se debe a que la pista se encontrará cercana al punto de saturación. Además si la dispersión de los valores de la sub-rasantes es alta existe una probabilidad mayor de fallas.

Tabla 2.2 – Nivel de confianza y valores del  $S_o$

EE Solicitantes (Millones)	Confiabilidad %	Z <sub>R</sub>	S <sub>o</sub> en función del coeficiente de variación de los suelos				
			15%	20%	30%	40%	50%
< 5	60	-0.253	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
5 - 15	60 - 70	-0.253 - 0.524	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
15 - 30	60 - 75	-0.253 - 0.674	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
30 - 50	70 - 80	-0.524 - 0.841	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49
50 - 70	70 - 85	-0.524 - 1.037	0.42	0.43	0.44	0.47	0.48
70 - 90	70 - 90	-0.524 - 1.282	0.40	0.41	0.42	0.45	0.46

Fuente – Manual de Carreteras Vol. 3, Versión 2012

### Serviciabilidad

El índice de serviciabilidad es un parámetro que mide la calidad del camino, en términos de confortabilidad y de un manejo seguro. Se mide en una escala de 0 a 5, donde un valor 0 representa un camino en pésimas condiciones y un valor 5 un camino perfecto [8].

El pavimento se diseña para que sirva un determinado periodo de tiempo llamado vida útil de diseño, que se refiere al periodo en el cual la serviciabilidad se mantiene dentro de ciertos límites; terminada la vida útil de diseño deberá rehabilitarse. La ecuación de diseño establece un estado inicial del pavimento ( $p_i$ ), que depende exclusivamente de las posibilidades tecnológicas disponibles para construirlo y un nivel de deterioro considerado como final o inconveniente para transitar ( $p_f$ ) [13].

La tabla 2.3 entrega valores recomendados para estos parámetros.

Tabla 2.3 – Índices de serviciabilidad

Índice de Serviciabilidad inicial ( $p_i$ )	4,2
Índice de Serviciabilidad final ( $p_f$ )	2

Fuente – Manual de Carreteras Vol. 3, Versión 2012

### Solicitaciones

Las solicitudes que afectarán la estructura se expresan como los ejes equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de vida del diseño definido. Salvo que se indique o se autorice específicamente de otra manera, normalmente los pavimentos se deberán diseñar en una sola etapa y para las vidas útiles que se indican a continuación [13].

Tabla 2.4 – Vida de diseño

<b>Clasificación del Camino</b>	<b>Vidas de Diseño (Años)</b>
De alto Tránsito en zonas Urbanas	20 - 30
Caminos Nacionales	10 - 20
Caminos Principales	10 - 20
Caminos secundarios	5 - 20

Fuente – Manual de Carreteras Vol. 3, Versión 2012

La metodología de diseño que se ocupará para el cálculo de los espesores de las capas estructurales del pavimento será:

1. Determinar el número estructural que se requiere sobre la sub-rasante ( $NE_T$ ), este se obtiene aplicando el algoritmo que plantea AASHTO y los parámetros de diseño antes mencionados para el proyecto. Luego las capas que compondrán la estructura del pavimento, incluyendo las *asfálticas* y las *no ligadas* (sub-base y bases granulares), se deben estructurar por tipo y espesor de manera que se cumpla con la siguiente ecuación:

$$NE = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 * m_2 + a_3 * h_3 * m_3 > NE_T \quad \text{Ecu. 2.5}$$

Donde:

$NE$	: Numero estructural de las capas que compondrán la estructura (mm).
$NE_T$	: Numero estructural necesario sobre la sub-rasante (mm).
$a_1, h_1$	: Coeficiente estructural y espesor (mm) de cada una de las capas asfálticas.
$a_{2,3}, h_{2,3}$	: Capas no ligadas (subíndice 2 y 3 correspondiente a sub-base y base)
$m_2, m_3$	: Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y sub-bases granulares)

2. Determinar el número estructural mínimo a colocar sobre la base ( $NE_A$ ), en función de las solicitaciones previstas y la temperatura media anual del aire (TMADA) del lugar donde se localiza la obra. Con los gráficos que se incluyen en el Anexo A, parametrizados para diferentes TMAPA y distintos módulos de  $M_R$  de la sub-rasante, se determina el  $NE_A$ , que deben tener las capas asfálticas. Se debe cumplir entonces que:

$$NE_A(mm) = \sum(a_i * h_i) \quad \text{Ecu. 2.6}$$

Donde:

$NE_A$	: Número estructural mínimo a colocar sobre la base
$a_i$	: Coeficiente estructural de la capa asfáltica de orden i.
$h_i$	: Espesor (mm) de la capa asfáltica de orden i.

3. Por último el número estructural de las capas no ligadas (Sub-base y Bases Granulares) se determinan como la diferencia entre  $NE_T$  y  $NE_A$ , la estructuración de las diferentes capas debe hacerse de manera que la suma de los productos de los espesores por sus correspondientes coeficientes estructurales satisfaga los números estructurales calculados.

$$(NE_T - NE_A)(mm) = a_2 * h_2 * m_2 + a_3 * h_3 * m_3 \quad \text{Ecu. 2.7}$$

Donde:

- $a_2, a_3$  : Coeficiente estructural de la base y sub-base granular.  
 $h_2, h_3$  : Espesor (mm) de la base y sub-base granular.  
 $m_2, m_3$  : Coeficiente de drenaje de la base y sub-base granular.

Algunas consideraciones especiales que se deben tener son [13]:

El cálculo del NE no tiene una solución única pues existen muchas combinaciones que satisfacen el número estructural, sin embargo, existen una serie de consideraciones que se deben tener en cuenta al definir los espesores de las diferentes capas.

- Por razones constructivas y para evitar la proliferación excesiva de distintos diseños, los espesores calculados deberán redondearse a 5 mm para capas asfálticas y 10mm a las capas granulares [13].
- Los espesores de las capas estructurales deberán cumplir con requisitos mínimos que son: Las capas asfálticas individuales tengan espesores mínimos de 50 mm y las capas granulares no tratadas de 150 mm como mínimo. Estos espesores van orientados por donde van a circular los vehículos, para bermas pueden ser menores [13].
- Una mala estructuración puede originar tensiones y deformaciones superiores a las que son capaces de soportar la sub-rasante, las capas granulares y las capas asfálticas por lo que la distribución del  $NE_T$  no puede hacerse en forma arbitraria. Por lo mismo las consideraciones de acuerdo al M.C. son que la relación de los módulos elásticos de 2 capas granulares no ligadas sucesivas no debe ser mayor que 4 [13].

### 2.3.2.2 Método Morín – Todor

Este método fue desarrollado para establecer las dimensiones de las capas estructurales de un pavimento tipo tratamiento superficial en lugares tropicales. A pesar que el estudio se realizó en suelos tropicales, su campo de aplicación puede ampliarse a lugares más templados donde la estructura del pavimento no se vea afectada por heladas [13].

El aspecto más importante de este método de diseño radica en que los coeficientes estructurales de los materiales no sólo son función de las propiedades del material sino que también están asociados a la posición relativa en la que éstas se encuentran dentro de la estructura. Los coeficientes estructurales de distintas capas y materiales se incluyen en el Anexo A.

El método de diseño tiene una metodología que se puede resumir en 3 pasos:

1. Establecer el índice estructural (IE), que es en función de los ejes equivalentes que solicitan el pavimento durante su vida útil y del coeficiente de variación adecuado para reflejar la variabilidad de la construcción.

$$IE (mm) = 1024 * v^{0.354} * \left( \frac{9,56}{11,44 - \log(EE)} - 1 \right) \quad \text{Ecu. 2.8}$$

Donde:

$v$  : Coeficiente de variación  
 $EE$  : Ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño

2. En función del valor del CBR, determinado como representativo de la sub-rasante, se determina el espesor mínimo que debe darse a la suma de espesores de la base más la sub-base [13].

$$e_{min} (mm) = 592 - 308 * \log (CBR) \quad \text{Ecu. 2.9}$$

3. El proceso de estructuración de las capas debe ser tal que cumpla las siguientes condiciones.

- el espesor de la base ( $h_1$ ) más la sub-base ( $h_2$ ) debe ser mayor al  $e_{\min}$

$$h_1 + h_2 > e_{\min} \quad \text{Ecu. 2.10}$$

- El índice estructural IE de diseño, determinado como la suma de los productos de los espesores por sus correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas del pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, debe ser mayor al IE requerido

$$IE_{(Diseño)} = a_1 * h_1 + a_2 * h_2 \dots * a_n * h_n > IE_{(requerido)} \quad \text{Ecu. 2.11}$$

$$h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = 900 \text{ (mm)} \quad \text{Ecu. 2.12}$$

En general, el diseño de tratamientos superficiales se recomienda cuando las solicitaciones no superan los 750.000 Ejes Equivalentes (EE) en la pista de diseño. Sin embargo, actualmente el tipo de solución DTS se acepta para caminos con tránsito de 1 - 1,5 Millones de ejes equivalentes. Para mayores solicitaciones de tránsito, normalmente es más adecuado considerar pavimentos en base a capas de mezcla asfálticas [8].

### 2.3.3 Deterioro en pavimentos flexibles

En la actualidad uno de los problemas con mayor incidencia en el deterioro de las vías asfaltadas, es la presencia de fisuras. Estas se presentan cuando los esfuerzos o deformaciones exceden ciertos valores límites ocasionado por el endurecimiento del asfalto el cual incrementa la rigidez de la superficie asfáltica, el que se torna frágil y propenso a fisurar bajo esfuerzos de decrecimiento de la temperatura de la capa asfáltica, este efecto no sólo crea esfuerzos de tensión debido a la contracción térmica, sino también incrementa su rigidez, haciéndolo más variable a las fallas por tensión ocasionados por el tránsito; estas fracturas en el pavimento constituyen el inicio del deterioro de la carpeta asfáltica, ya que, a través de ellos se producen infiltración de aguas superficiales (lluvias), la que provoca deformaciones de la sub estructura, por pérdida de resistencia al esfuerzo cortante del material conformante de la sub base o sub-rasante. De igual forma las fisuras en los pavimentos ocasionan la pérdida de continuidad, y con ella la redistribución de los esfuerzos. En la carpeta asfáltica, si la vía presenta esta irregularidad, se puede decir que estructuralmente se encuentra fallada, y sin capacidad de absorber los esfuerzos producto de las cargas móviles, por lo tanto es necesario el tratamiento de fisuras y reforzamiento de la carpeta asfáltica con la finalidad de recuperar la capacidad de absorber los esfuerzos y proveerla de mayor tiempo de vida útil [7].

La tasa y tipo de deterioro que experimenta un pavimento depende además de la intensidad en que se manifiesten las sollicitaciones (*tránsito y clima*) y de una serie de otros factores de proyecto que actúan en muy diversas combinaciones, entre los cuales, los más importantes son: calidad del diseño original, calidad de los materiales y especificaciones técnicas, calidad del proceso constructivo y calidad del control de proceso [8].

Las patologías que afectan habitualmente a los pavimentos que proporciona el "*Manual de Carreteras*" se pueden clasificar dentro de las siguientes tipologías:

#### a) Fisuras y Grietas

- Fisuras y grietas por fatigamiento
- Fisuras y grietas por bloque
- Grietas de Borde
- Fisuras y grietas longitudinales
- *Fisuras y grietas transversales*
- Fisuras y grietas reflejadas

#### b) Deterioro Superficial

- Parches deteriorados
- Baches en carpetas asfálticas
- Baches en tratamientos superficiales
- Ahuellamiento
- Deformación transversal
- Exudaciones
- Desgaste
- Pérdida de áridos
- Ondulaciones

**c) Otros Deterioros**

- Descenso de la berma
- Surgencia de finos y agua
- Separación entre berma y pavimento

En el Anexo B, se presentan tablas con la descripción, las causas posibles y los distintos niveles de severidad para cada tipo de falla de acuerdo al grupo al cual pertenecen. La información respectiva, se obtuvo del Catálogo de Deterioros de Pavimentos (*Manual de carreteras Vol. 7*) y fué complementada con la información disponible en el manual "*Distress Identification Manual for the Long – Term Pavement Performance Program*" (U.S. Department of Transportation).

## 2.4 Pavimentos rígidos

### 2.4.1 Losas de hormigón con geometría optimizada

#### 2.4.1.1 Definición y función

Las losas con geometría optimizada es una innovación chilena en lo que respecta a los pavimentos rígidos. Dicha propuesta plantea que los diseños de largo y ancho tradicionales impuestos por AASHTO están propensos a sufrir fallas, esto se origina ya que los ejes delanteros y traseros de los vehículos, así mismo como las ruedas de un mismo eje en el caso de los camiones, cargan constantemente la losa en los bordes y esquinas, esta posición genera tensiones de tracción en la cara superior de las losas produciendo grietas de arriba hacia abajo. El nuevo funcionamiento que se ofrece es simplemente en reducir las dimensiones de la losa para poder reducir las tensiones. [15]

El objetivo principal que se busca es “dimensionar las losas de tal forma que, cada losa quede cargada solamente por un set de ruedas”. Para lograr esta condición, es necesario dimensionar la losa de tal forma que dado un camión patrón, cada rueda, o set de ruedas, pise una losa a la vez. Como existen diferentes tipos de vehículos, se diseña para el más perjudicial, salvo que se conozca el tráfico y se diseñe para el tipo de vehículo que pasará mayoritariamente por dicha vía. [16]

La nueva alternativa que se plantea hace posible que las losas de hormigón puedan competir en términos económicos con las tradicionales soluciones asfálticas, ya que el diseño que se plantea hace posible disminuir las tensiones en la parte superior de la losa, esto se traduce en una mayor vida útil del pavimento, o visto desde otro punto de vista, permite reducir el espesor de este para lograr las mismas tensiones y vida útil obtenidas en el diseño tradicional. Es en el último caso donde las tensiones generadas por las cargas son menores, donde se puede utilizar un menor espesor de hormigón. [15, 16]

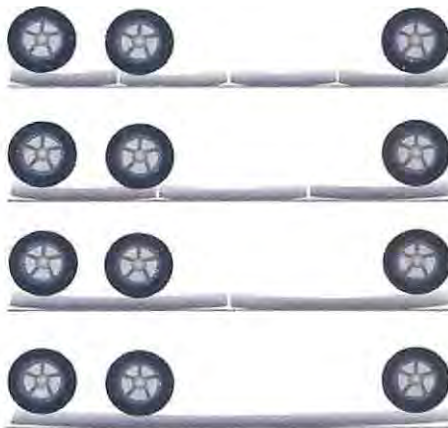


Figura 2.7 – Modo de funcionamiento de las losas con geometría optimizada

### 2.4.1.2 Metodología del Diseño

El procedimiento de diseño es un método "mecanicista – empírico", el cual ha sido calibrado en tramos de pruebas instrumentabilizados para obtener las constantes de calibración. La idea principal radica en que el diseño debe dimensionar la losa para que solamente un set de ruedas se apoye sobre él, de esta manera se puede calcular el daño por fatiga en los puntos críticos de la losa y a su vez poder determinar el espesor correspondiente para las condiciones de suelo, alabeo, tránsito y otras variables que afecten en el cálculo [16].

La metodología que se utiliza para poder determinar un espesor óptimo se desarrolla en base a las características del pavimento, las características de carga y de las condiciones climáticas de la determinada vía a proyectar. Cuando estas variables han sido definidas se pueden obtener las tensiones en las posiciones críticas de agrietamiento de la losa, con las cuales se podrá expresar, en base a formulas empíricas, el desempeño admisible del pavimento. Además el número de pasadas proyectadas del camino establecerá cual será la fatiga acumulada que actuará sobre él pudiendo desarrollar un modelo de agrietamiento admisible que actuará en su vida útil [16].

Los parámetros a considerar y así definir el espesor de losa son los siguientes:

- Ejes equivalentes de tráfico
- Longitud de losa
- Tipo de hormigón
- Modulo de reacción de la sub-rasante
- Tipo de borde
- Transferencia de carga
- Gradientes de temperatura
- Sobrecarga
- Porcentaje de fisuras
- Confiabilidad

Además se le deben agregar los parámetros de las distintas condiciones tales como:

- Lugar de pasada
- Condición de alabeo
- Tipo de eje

Todos estos parámetros son previamente introducidos a programas computacionales que pueden modelar las tensiones que se producen en las losas para ciertas condiciones.

Ejes Equivalentes solicitantes:

Para calcular el daño por fatiga se utilizan las pasadas determinadas como ejes equivalentes solicitantes (EE), las cuales se calculan de la misma forma que para un pavimento rígido tradicional que se enuncia en el numeral 3.604.204 del M.C. Vol. 3 y el que establece vidas de diseño para el cálculo.

Tabla 2.5 – Vida de diseño para losas con geometría optimizada

<b>Clasificación del Camino</b>	<b>Vidas de Diseño (Años)</b>
De alto tránsito en zonas urbanas	25 - 40
Caminos nacionales	20 - 30
Caminos principales	20
Caminos secundarios	20

Fuente: Ordenanza N°9371, Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas

Largo de la losa:

Estos tipos de pavimentos basan su comportamiento en que no se produzca flexión debido a la interacción de cargas colocadas sobre las losas. El largo de losa se debe definir antes del cálculo del espesor, según los siguientes criterios.

- 140 cm: Caso donde el eje tándem queda en losas distintas.
- 180 cm: Caso donde el eje tándem queda en la misma losa.
- 220 cm: Caso donde el eje tándem queda en el centro de una losa y en el borde de otra.

Las consideraciones variarán según el clima de la región de donde se encuentren, por lo general se usarán largos de 220 cm para climas normales, 180 cm para climas extremos (gradientes térmicos altos) o en lugares de tránsito en ambas direcciones. El ancho de las losas deberá ser de media pista (175 cm) y deberá considerar las condiciones de borde con que se diseñe [16].

Tipo de Hormigón:

El hormigón que se debe utilizar debe cumplir con ciertas resistencias mínimas a la flexotracción, el cual debe proporcionar una resistencia media a los 90 días y con cargas de ensayos en los tercios. Se debe tener presente que la resistencia de control de la obra es característica a los 90 días con un 20 % de fracción defectuosa, valor con el que se debe diseñar el pavimento. Los valores recomendados para poder cumplir con estas exigencias son [16].

Tabla 2.6 – Resistencia a la flexo tracción de hormigón para la utilización de losas de geometría optimizada

<b>TIPO DE VÍA</b>	<b>Resistencia a la Flexotracción Característica a 90 días (MPa)</b>	
	<b>Rango</b>	<b>Recomendado</b>
Vías Principales	5,0 - 5,5	5,3
Vías Colectoras	4,6 - 5,5	5,3
Caminos Secundarios	4,6 - 5,3	5,0
Hormigón con Fibra	4,6 - 5,5	5,0

Fuente: Ordenanza N°9371, Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas.

Modulo de reacción de la sub-rasante:

Este parámetro se utiliza para caracterizar la capacidad de soporte de la sub-rasante. La capacidad estructural del suelo está relacionada con el módulo de reacción de la sub-rasante, el cual representa la constante de rigidez "k" de un resorte que modela el suelo. Este modelo, propuesto por E. Winkler, supone resortes independientes en los cuales las deflexiones bajo una carga son directamente proporcionales a la fuerza aplicada. Al ser resortes individuales no hay transmisión de esfuerzos de corte. [17]

Existen variados métodos para poder determinar este parámetro, dentro de los cuales se encuentra el ensayo de placa de carga, la metodología MEPDG y otro método que estima un rango del valor k de acuerdo a la clasificación del suelo y el ensayo CBR. Si bien estos ensayos pueden variar en costos y aproximación al valor real se deben estudiar para poder tener una representación más aproximada al comportamiento del suelo. Es así como lo plantea José Tomas Cañas, quien deduce una fórmula que modela un ensayo de placa de carga para un sistema estructural multicapa. Esta fórmula es la que se plantea a continuación [16]:

$$k = \frac{0,0167087 * E_n}{(1-v^2) * \left( \frac{1 - \frac{E_n}{\hat{E}}}{\left( 1 + \left( \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}}{38,1} \right)^2 * \left( \frac{\hat{E}}{E_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{E_n}{\hat{E}} \right)} \quad \text{Ecu. 2.13}$$

$$\hat{E} = E_1 * \left( \frac{h_1 + h_2 * \sqrt[3]{E_2/E_1} + h_3 * \sqrt[3]{E_3/E_1} + \dots + h_{n-1} * \sqrt[3]{E_{n-1}/E_1}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right)^3 \quad \text{Ecu. 2.14}$$

Fuente: Ordenanza N°9371, Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas

Donde:

- $\hat{E}$  : Modulo equivalente
- $E_n$  : Modulo de elasticidad de la capa n
- $h_i$  : Espesor capa n
- $v$  : Relación de poisson de la capa n

Tipo de Borde:

Este es un parámetro importante para la evaluación de las ecuaciones básicas de diseño como lo es la del número de pasadas admisibles. Se define como borde, aquel que es adyacente por el exterior de una pista de 3,5 metros de ancho. Existen variados tipos de bordes para los cuales existen factores de ajuste como los que se muestran en la siguiente tabla [16].

Tabla 2.7 – Factor de ajuste de acuerdo al tipo de borde seleccionado

Tipo de Borde	Factor de Ajuste C3
Libre	1,00
Berma Granular	0,95
Berma Asfáltica	0,90
Berma de Hormigón	0,85
Sobreeancho	0,80
Vereda	0,80

Transferencia de carga:

La importancia de la transferencia de carga radica en que los esfuerzos internos inducidos por las cargas de tránsito dependen en gran medida de la capacidad de colaboración estructural de losas vecinas, si bien las barras de traspaso de cargas ayudan a disminuir los altos esfuerzos que se produzcan en los bordes, también la misma trabazón de los áridos ayuda a dicho traspaso, pero en menor medida. En el caso de los pavimentos de hormigón con losas optimizadas las juntas transversales y longitudinales se confeccionan con una sierra especial la cual es de menor dimensión de las tradicionales, esto se traduce a una trabazón mayor ya que los cortes son de menor espesor a los tradicionales. A continuación se muestran los valores recomendados a usar de acuerdo al tipo de transferencia de carga [16].

Tabla 2.8 – Porcentaje de transferencia de carga de acuerdo a la condición adoptada

Condición	Transferencia de Carga (%)
Transferencia de carga baja (Áridos de mala calidad)	30
Transferencia de carga normal (Valores Recomendados para el diseño)	50
Transferencia de carga alta (considera barra de traspasos de cargas)	70

Gradiente Térmico:

Este parámetro tiene relación directa con el problema que se produce en las losas por "alabeo". Estas condiciones de alabeo se ingresan como el gradiente térmico equivalente para una determinada deformación. Es decir el valor del gradiente equivale a la suma de los alabeos generados en la losa producto del gradiente térmico y de construcción. Los alabeos equivalentes se calculan de acuerdo a la siguiente expresión.

$$\Delta T^{\circ} = \Delta T^{\circ}c + \Delta T^{\circ}d \quad \text{Ecu. 2.15}$$

Donde:

- $\Delta T^{\circ}$  : Gradiente térmico equivalente (C°)
- $\Delta T^{\circ}c$  : Gradiente térmico equivalente de construcción (C°)
- $\Delta T^{\circ}d$  : Gradiente térmico por variaciones de temperatura (C°)

En el Anexo A se encuentran las tablas de gradientes térmicos equivalente al alabeo de construcción y para el gradiente térmico equivalente a las variaciones de temperaturas para cada región.

Porcentaje de fisuras:

El modelo utilizado calcula el daño por fatiga entregando un espesor de pavimento tal que el porcentaje de losas agrietadas, con una grieta en cualquier dirección al final de la vida de diseño, este dentro del daño admitido para una confiabilidad dada.

Debe considerarse que este parámetro sólo calcula un porcentaje de daño en un tiempo definido y no necesariamente a vida útil del pavimento. [16]

Tabla 2.9 – Porcentaje de losa agrietada de acuerdo a la condición del camino adoptada

Condición del Camino	Losa Agrietada (%)
Vías Principales y autopistas	10 - 20
Vías Colectoras	10 - 30
Caminos Secundarios	30 - 50

Confiabilidad:

De acuerdo a la tabla 2.10, el grado de confiabilidad de diseño se controla por el factor de confiabilidad (FR) que es en función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (ZR) y de la desviación normal del error combinado (So) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

La desviación normal del error combinado (So), es la dispersión de resultados entre el daño por fatiga calculado y el daño medido real. Estos incluyen todos los factores que puedan estar asociados al comportamiento del pavimento y de los errores que podrían producirse en las estimaciones del tránsito y de la variabilidad de la Sub-rasante.

Tabla 2.10 – Nivel de confianza y valores del So pavimento rígido

EE Solicitantes (Millones)	Confiabilidad %	ZR	So en función del coeficiente de variación de los suelos				
			15%	20%	30%	40%	50%
< 5	60	-0.253	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
5 - 15	60 - 70	-0.253 - 0.524	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
15 - 30	60 - 75	-0.253 - 0.674	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
30 - 50	70 - 80	-0.524 - 0.841	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49
50 - 70	70 - 85	-0.524 - 1.037	0.42	0.43	0.44	0.47	0.48
70 - 90	70 - 90	-0.524 - 1.282	0.40	0.41	0.42	0.45	0.46

Tipo de Eje:

Según la tabla 2.11, la distribución de los ejes en el modelo requiere conocer la descomposición porcentual de los EE que solicitan la ruta, el valor se expresa como porcentaje de los EE generados por cada tipo de eje. En la siguiente tabla se expresan los resultados que se ocupan habitualmente para la distribución. En casos cuando no se disponga de la información, la distribución de ejes debe sumar 100 o en lugares donde los ejes equivalentes sean menores a 1 millón y no se disponga de información se le debe asignar una distribución de 50 % para ESRS y 50 % para ESRD.

Tabla 2.11 – Porcentaje de distribución de acuerdo al tipo de eje adoptado

Tipo de Eje	Distribución de ejes (%)
Eje Simple Rueda Simple	20
Eje Simple Rueda Doble	40
Eje Doble Rueda Doble	30
Eje Triple Rueda Doble	10

Sobrecarga:

Para el cálculo del diseño de la losa también se puede incluir un porcentaje de sobrepeso adicional a un 20 % en el caso del ESRD estándar o en caso de existir sobrepeso mayor adicionarle un 10% más [16].

Posición de Daño Crítica:

Para evaluar el daño frente a cargas cíclicas se estudia la posición del eje que genera un mayor daño por fatiga, es decir que controlara el diseño. Según la figura 2.8, el análisis se realizara en 5 posiciones representativas a las cuales se les aplicará el número de pasadas reales en cada una de ellas. La cantidad de pasadas recomendadas por posición se indica en la tabla 2.12, las cuales ponderan la cantidad de pasadas solicitantes (EE de Diseño) para encontrar la cantidad de pasadas reales en cada punto.

Tabla 2.12 – Porcentaje de pasadas de los vehículos de acuerdo al tipo de posición adoptado

Posición	Pasadas (%) (Fu)
Borde	8
Huella (40 cm Borde)	30
Corte Longitudinal	8

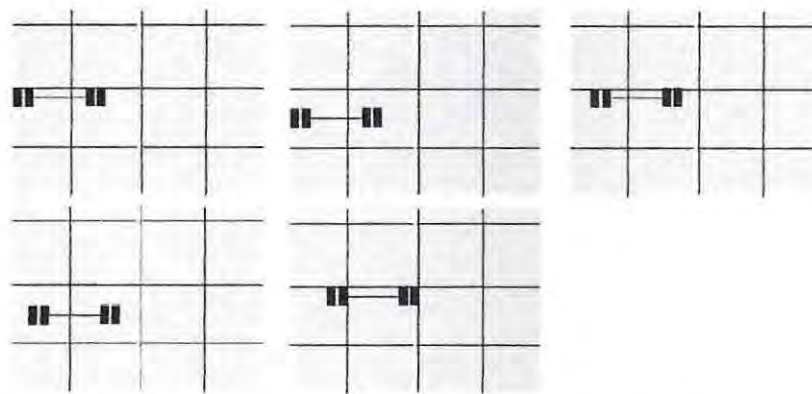


Figura 2.8 – Posición representativa de pasada de los vehículos

Además de esta verificación, se debe encontrar el efecto que producen los ejes tándem de los camiones. Como estos producen tensiones superiores no consideradas con las pasadas anteriores, es que se debe realizar una verificación en la esquina, utilizando las mismas ecuaciones de fatiga y realizando simulaciones en programas computacionales para todas las condiciones con el eje tándem, solo para la fibra superior en la posición de esquina y huella en el corte transversal. Para esto se recurre a la ecuación 2.17 la cual establece la cantidad de ejes tándem y tridem que pasaran [16].

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Ciclos de Carga} : Fu * EE$$

Ecu. 2.16

$$\text{N}^{\circ} \text{ de Ciclos de Carga Tandem} : Fu * EE * (\% \text{ Ejes Tandem} * 2 * \% \text{ Ejes Tridem})$$

Ecu. 2.17

Ecuaciones básicas para el diseño:

Con los programas computacionales se introducen los parámetros antes mencionados, encontrando las tensiones superiores, inferiores y deflexiones en las esquinas. Para el cálculo de la cantidad admisibles de pasadas, dadas las tensiones generadas en la losa, es que se utiliza el modelo de fatiga utilizado por el sistema de diseño ME-PDG [16].

1. Cálculo de Pasadas Admitidas

$$\text{Log}(N_{ijkl}) = 2 * \left( \frac{C3 * \sigma_{ijkl}}{MOR * C1 * C2} \right)^{-1,22} \quad \text{Ecu. 2.18}$$

Donde:

- $N_{ijkl}$  : Numero de Pasadas Admisible para posición del eje (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
- $\sigma_{ijkl}$  : Tensión principal máxima calculada con programas computacionales para posición (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
- $MOR$  : Resistencia a la flexotracción media a 90 días.
- $C1$  : Factor de calibración por geometría de la losa y espesor de la losa.
- $C2$  : Factor de calibración por uso de fibras estructurales en hormigón.
- $C3$  : Factor de calibración por tipo de berma, (se utiliza solo en posiciones de borde)

2. Daño por fatiga en un punto determinado:

$$FD_k = \sum_i \left( \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}} \right) \quad \text{Ecu. 2.19}$$

Donde:

- $FD_k$  : Daño por fatiga para cualquier punto de la losa
- $N_{ijk}$  : Numero de Pasadas Admisible para posición del eje (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)
- $n_{ijk}$  : Tensión principal máxima calculada con programas computacionales para posición (k), condición de alabeo (i) y condición de carga (j), superior o inferior (l)

3. Porcentaje de losas Agrietadas:

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1,98}} \quad \text{Ecu. 2.20}$$

Donde:

- $FD_{kl}$  : Daño por fatiga en posición k, superior e inferior
- $\%Crack_{kl}$  : Porcentaje de losas agrietadas con falla ocasionada por posición k

La ecuación para losas agrietadas plantea que existe agrietamiento superior e inferior, lo que se traduce que para el diseño se debe considerar el máximo valor entre las 2 fibras. Junto con esto se debe tener presente que todas las posiciones deben ser evaluadas para que el cálculo se haga de una manera correcta, cuando se cumplan todas las verificaciones se podrá comparar el % de losas agrietadas con las normadas.

#### 4. Diagrama de flujo para el cálculo

Para entender mejor el concepto de diseño, ilustraremos el siguiente diagrama de flujo a continuación.

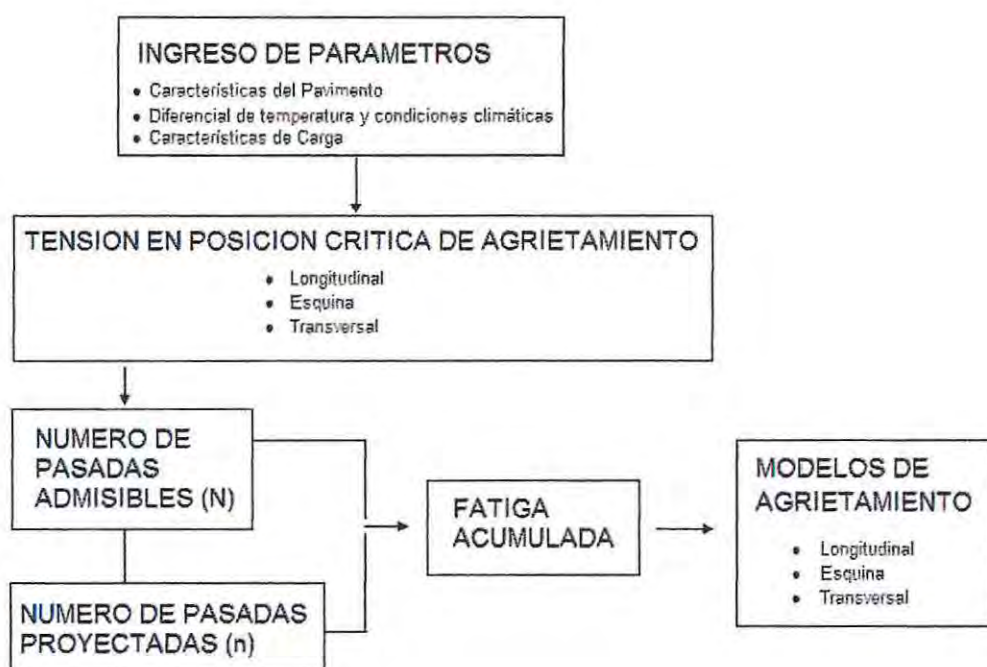


Figura 2.9 – Diagrama de flujo de la metodología para el cálculo de las losas con geometría optimizada.  
Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.1.3 Consideraciones para el diseño

La metodología de diseño planteada anteriormente se debe ajustar a ciertas consideraciones mínimas que deben cumplir los materiales que servirán de apoyo de la losa. Según la ordenanza N°9371 de la Dirección Nacional de Vialidad, las consideraciones planteadas son las siguientes:

- El diseño de las losas se debe hacer con una sub-base granular mínima de 120 mm
- La sub-base debe contar con un CBR no menor a un 50 %
- La cantidad de finos bajo la malla #200 no deberá ser mayor a un 8%
- Se deberá colocar un geotextil entre la sub-rasante y la sub-base granular cuando se cumplan 2 de los 3 siguientes casos. Transito mayor a 1 millón de EE, precipitaciones mayores a 800 mm al año, sub-rasante con CBR menor a 20%
- Para evitar el movimiento de lateral del pavimento deberán colocarse "pines" o barras de fierro estriado cuando el pavimento sea hormigón sin fibra.

## 2.4.2 Fibras estructurales en losas de hormigón con geometría optimizada

### 2.4.2.1 Definición y función

La utilización de fibras en los hormigones convencionales ha sido estudiada desde la época de los años 50, en donde los principales materiales usados para la elaboración de las fibras eran de acero y de vidrio. Años más tarde en los 60's aparecen nuevos estudios sobre hormigones fibroreforzados con fibras sintéticas.

El hormigón reforzado con fibras según el ACI, no es más que cemento hidráulico, conteniendo áridos finos o una mezcla de finos y gruesos, y fibras discretas discontinuas. Estas llamadas fibras no son más que elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa de hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades mecánicas. [19]

La utilización de fibras en el interior de la pasta de cemento tiene como finalidad la formación de un material diverso en el cual el conglomerado, que ya puede ser considerado un material diferente constituido por un esqueleto lítico dispersado en una matriz de pasta de cemento hidratada, está unido a un agente re forzante formado por un material fibroso de distinta naturaleza. [18]

Las fibras estructurales por su capacidad de resistencia mecánica a la tracción, y su perfecta homogenización, constituyen una micro – armadura la cual proporcionan al hormigón un resistencia mayor frente al fenómeno de la retracción. Además pueden conferir ductilidad considerable en la medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras y su cantidad.

El beneficio que conlleva la utilización de fibras en los pavimentos con geometría optimizada es que se pueden obtener pavimentos de menor espesor o de mayor duración, esto se debe a que la fibra reduce el deterioro del pavimento una vez producida la grieta, además aumenta la transferencia de carga en las juntas y elimina la necesidad de confinamiento lateral.

Las ventajas más influyentes son las siguientes [18, 19]:

- En función del tipo de fibra se mejoran en general las características mecánicas del hormigón
- La adherencia fibra – pasta de cemento, influye en la ductilidad de la rotura, por lo que debe evitarse que la fibra rompa antes de que se deslice.
- El incremento de la resistencia a compresión es prácticamente despreciable en comparación a los hormigones en masa e incluso en algunos casos, puede llegar a ser negativo.
- En flexo tracción la adición de fibras en la masa de hormigón aumenta su resistencia y cambia su comportamiento de una rotura frágil a una dúctil.
- Los hormigones con fibras de acero, al tener una rotura a flexo tracción dúctil, aumentan mucho la tenacidad e igualmente mejoran de manera considerable la resistencia a la fatiga.
- Con respecto a la durabilidad, la presencia de las fibras permite una mejor redistribución de las micro-fisuras y de las fisuras.
- En la mayoría de las aplicaciones se podría concluir que el hormigón con fibra puede actuar estructuralmente pero no se podría sustituir al acero en la mayoría de sus aplicaciones.

### 2.4.2.2 Aplicación en el diseño

Las fibras estructurales tienen tanta incidencia dentro de las propiedades del hormigón que se ingresa como un factor de calibración en la ecuación de fatiga Ecu. 2.18. La propiedad principal que se evalúa es la resistencia residual que le proporciona al hormigón, la que por medio de ensayos, según la norma ASTM 1609-11, se puede obtener por la curva carga – deformación.

Según la figura 2.10, el ensayo consta en aplicar una carga sobre los tercios centrales de una viga simplemente apoyada en sus extremos y medir la flecha en centro de la viga ( $L$ =Largo de viga), en un ensayo con deformación controlada hasta un valor de  $L/150$ . La flecha que experimenta el eje neutro de la viga es medida con un extensómetro. La resistencia residual se obtiene a través de la curva carga – deformación que entrega el ensayo. En este ensayo se distinguen 2 tipos de resistencias, la primera se alcanza cuando se produce la primera fisura y coincide con la máxima resistencia a la flexión (MOR), y la segunda es la resistencia que le proporcionan las fibras, en las cuales se evalúa la resistencia para una deformación  $L/150$ , equivalente a 3 mm con una luz de 450mm [16].

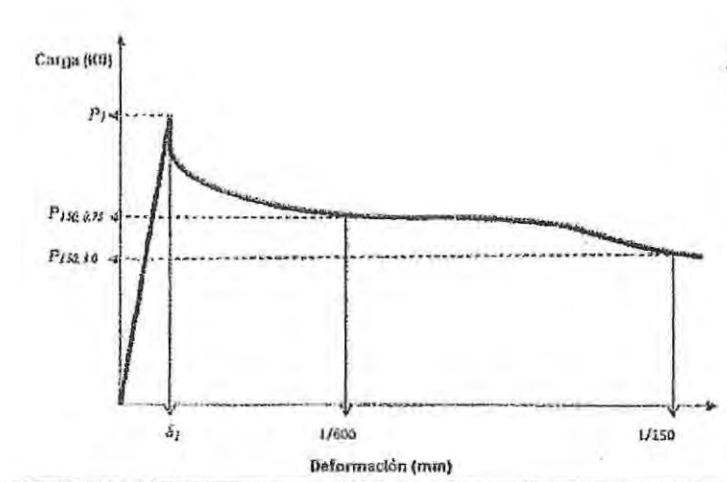


Figura 2.10 – Curva carga – deformación del ensayo ASTM 1609-11, para medir la resistencia residual del hormigón

Fuente: Ordenanza N°9371, Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas

Donde:

- $P_1$  : Carga Máxima (kN)
- $P_{150}$  : Carga para una deformación de  $L/150$  (kN)
- $L$  : Separación de los apoyos

La contribución de la resistencia residual como factor de calibración se hace de acuerdo a la siguiente relación [16]:

$$R_{3,e} = \frac{f_{150}^{150}}{MOR} * 100 \quad \text{Ecu. 2.21}$$

Donde:

$$f_{150}^{150} : \frac{P_{150} * L}{b * h^2} \quad \text{Ecu. 2.22}$$

$$Mor : \frac{P_1 * L}{b * h^2} \quad \text{Ecu. 2.23}$$

$R_{3,e}$  : Razón equivalente de resistencia residual a 3mm de flecha en ensayo de viga en aire

$f_{150}^{150}$  : Resistencia residual para la deformación de L/150 (MPa)

MOR : Resistencia a la flexión de la viga (MPa)

b : Ancho promedio del a probeta de la fractura (mm)

h : Altura promedio del a probeta de la fractura (mm)

El modelo considera 3 tipos de niveles de flexión para  $R_{3,e}$ , los cuales establecen porcentajes que se ilustran en la tabla 2.13 [16].

Tabla 2.13 – Porcentaje de resistencia residual adoptado de acuerdo al tipo de fibra

Fibra	$R_{3,e}$
Fibra 1	Mayor a 20%
Fibra 2	Mayor a 30%
Fibra 3	Mayor a 40%

Dado que la tecnología es relativamente reciente y aún en estudio se recomienda diseñar los pavimentos de hormigón con fibra considerando un 20% de resistencia residual. Por lo que el factor de calibración para la ecuación de fatiga Ecu. 2.18 queda de la siguiente forma [16].

$$C2 = \left(1 + \frac{R_{3,e}}{100}\right) \quad \text{Ecu. 2.24}$$

### 2.4.3 Actividad constructiva para losas de hormigón con geometría optimizada con fibras

El proceso constructivo de las losas de hormigón con geometría optimizada se hace de la misma forma que para un pavimento rígido tradicional, este procedimiento se plantea en el numeral 5.410 del Manual de Carreteras Vol. 5. Si bien la tecnología de losas con geometría optimizada es nueva, existen consideraciones adicionales para su implementación, estas son explicadas a continuación [16].

- a) La superficie será previamente preparada, de acuerdo a los alineamientos, cotas, perfiles y espesores del proyecto. Donde lo indiquen los documentos del proyecto, el pavimento se construirá formando una sección transversal del tipo trapecial.
- b) Se deberá asegurar la calidad y homogeneidad de los áridos en su fuente de producción, previo a su traslado al sector de fabricación de hormigón.
- c) El transporte del hormigón se deberá efectuar en el lapso y con los equipos y procedimientos adecuados para mantener las características y homogeneidad que se obtuvo en el proceso de mezclado. En caso de usarse camiones tolvas, el hormigón deberá ser transportado desde la hormigonera a su lugar de colocación definitivo, en un plazo menor que 30 minutos [16].
- d) La incorporación de fibras al hormigón deberá realizarse en planta mediante un dosificador u otro medio mecánico que asegure una distribución homogénea de fibra dentro de la masa de hormigón.
- e) *La capa de material que servirá de apoyo al pavimento de hormigón, tendrá las características señaladas en los antecedentes del Proyecto. El material debidamente preparado se extenderá sobre la plataforma del camino, incluyendo las áreas de bermas, mediante equipos distribuidores autopropulsados, debiendo quedar el material listo para ser compactado sin necesidad de mayor manipuleo para obtener el espesor, ancho y bombeo deseado [16].*
- f) Una vez extendido el material, éste deberá compactarse mediante rodillos preferentemente del tipo vibratorio para terminarse con rodillos lisos o neumáticos. El rodillado deberá progresar en forma gradual desde el punto bajo de los costados hacia el centro de la vía en construcción, traslapando cada pasada con la precedente, en por lo menos la mitad del ancho del rodillo.
- g) Una vez terminada la cancha, no se transitará sobre ella con excepción de los camiones con hormigón, inmediatamente al frente de la pavimentadora. En caso de que no se disponga de camiones de volteo lateral, se tomarán todas las precauciones necesarias para que, al efectuar los vaciados del hormigón, el camión no produzca daños ni deformaciones en la cancha.

- h) No se colocará hormigón cuando la temperatura de éste sea mayor que 30°C o cuando la temperatura ambiental sea menor que 5°C. En época de verano cuando las temperaturas diarias máximas superen los 25°C se deberá hormigonar después de las 16:00 horas.
- i) La pavimentación deberá realizarse con equipos de moldes deslizantes, los cuales deberán tener una antigüedad de 10 años como máximo. El moldaje deberá ser liso.
- j) No se utilizará barra de traspaso de carga en la junta longitudinal y además no se podrá efectuar faenas de hormigonado en presencia de lluvia.
- k) La operación de pavimentación deberá avanzar en forma tan continua como sea posible, para lo cual, todas las operaciones de mezclado, transporte, colocación, esparcido y compactación del hormigón deberán ser coordinadas de manera que permitan un avance uniforme, reduciendo al mínimo las paradas y arranques.
- l) Inmediatamente terminada la colocación del hormigón y antes que comience la evaporación del agua superficial se deberá aplicar un retardador de evaporación en base a alcohol alifático, el cual se colocará cuando el hormigón se encuentre en estado fresco. Este producto reductor de evaporación de la humedad superficial deberá ser capaz de reducir la evaporación en al menos un 80% y no afectar la resistencia inicial y final del hormigón [16].
- m) Todas las juntas (transversales y longitudinales) deberán ser aserradas utilizando un sistema autopulsado con una sierra de espesor menor o igual a 3 mm, a 1/3 del espesor de la losa como mínimo. Bajo ninguna circunstancia se podrá colocar tablillas para materializar juntas de contracción. Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la superficie de rodado sin dejar marcadas las huellas [16].
- n) Una vez terminada la faena de construcción, se aplicará una membrana de curado en base a resina en dos aplicaciones. Se deberá repasar la membrana de curado después de realizado el corte de las losas en las zonas donde se cortó.
- o) Se podrá utilizar frazadas térmicas, para el proceso de fraguado.

### 2.4.3 Deterioro en pavimentos con geometría optimizada

Los pavimentos rígidos a lo largo de su vida útil van experimentando una serie de problemas funcionales que pueden ser atribuidos a una mala ejecución en los procesos constructivos o a un mal diseño en el modelo planteado, sin embargo a pesar de que un pavimento este bien construido, una vez que ha pasado su vida útil de diseño, la fatiga producto del tránsito, comienza a deteriorar el pavimento generando distintos tipos de fallas. Si bien estos problemas son esperados, existen otras variables que pueden generar mayores complicaciones, muchas veces estas variables pueden llevar a un comportamiento del pavimento tan deficiente que no alcanza a durar el tiempo el cual fue proyectado [10, 7].

La existencia de dichas variables es en su mayoría por procesos constructivos deficientes, más que por un mal diseño, sin embargo el comportamiento del hormigón depende mucho del clima y de las temperaturas actuales al momento de su colocación. Es por esta razón que el mayor cuidado que hay que tener es el de poder controlar las variables constructivas que afectaran la funcionalidad del hormigón [10].

El deterioro más habitual son las fisuras por alabeo de construcción. El alabeo es la curvatura hacia arriba o hacia debajo de las losas de hormigón. Estas se producen por cambios térmicos diarios o estacionales. Muchas veces por elegir días demasiado calurosos al momento de la colocación o por un mal curado de las losas. Además si los cortes para las juntas no se hacen a un tiempo adecuado, se producirá el efecto del alabeo por mayor dimensión de las losas [7].

El efecto del alabeo está asociado al gradiente térmico, este es un parámetro muy importante para el diseño y futuro comportamiento del pavimento. El impacto que ha tenido este parámetro dentro del estudio de las losas con geometría optimizada ha sido que a medida que este valor es mayor el porcentaje de losas agrietadas aumentará.

Otros deterioros que se producen en las losas de hormigón y que son principalmente producto de la fatiga, se enuncian principalmente en 4 categorías. Estas se mencionan a continuación pero se puede encontrar cada uno de los daños correspondiente a cada categoría en el Anexo B.

- Juntas
- Fisuras y grietas
- Deterioro superficial
- Efecto de agentes climáticos

## 2.5 Actividades de mantenimiento

Las técnicas de mantenimiento caen dentro de dos categorías generales: actividades correctivas y actividades preventivas. Las actividades correctivas reparan una falla dada y mejoran la serviciabilidad del pavimento. La reparación de espesor completo y reparación de espesor parcial son actividades correctivas. Las actividades preventivas son actividades que retardan o previenen la aparición de una falla con el fin de mantener una buena serviciabilidad. Resello de juntas y grietas, nivelación de bermas, instalación de drenes, son técnicas preventivas. El cepillado, la colocación de barras de traspaso de cargas, la estabilización de losas, pueden actuar como técnicas correctivas así como también preventivas. En el Anexo B se muestran los tipos de fallas con sus respectivas técnicas de reparación. [10]

La estrategia de conservación de una carretera o de un tramo con características homogéneas se puede definir como el conjunto de actuaciones a desarrollar durante la vida de la carretera o del tramo para que su índice de servicio no baje del mínimo admisible. Su elaboración está condicionada por numerosos factores, tanto del tipo técnico como económico. Entre ellos están el tráfico, tipología de la sección estructural, medios técnicos y humanos para la conservación, asignaciones presupuestarias destinadas al mantenimiento de vías, etc. [7]

Según la figura 2.11, ante esto, es necesario realizar un programa de seguimiento que permita prever deterioros con suficiente antelación como para dar tiempo a actuar en forma preventiva, sin tener que esperar que la falla alcance un nivel que obligue a la reposición o reconstrucción como única alternativa. Si las fallas están afectando la condición funcional se harán operaciones de conservación; en caso de que la falla afecte la condición estructural, se optará por operaciones de rehabilitación o refuerzo.

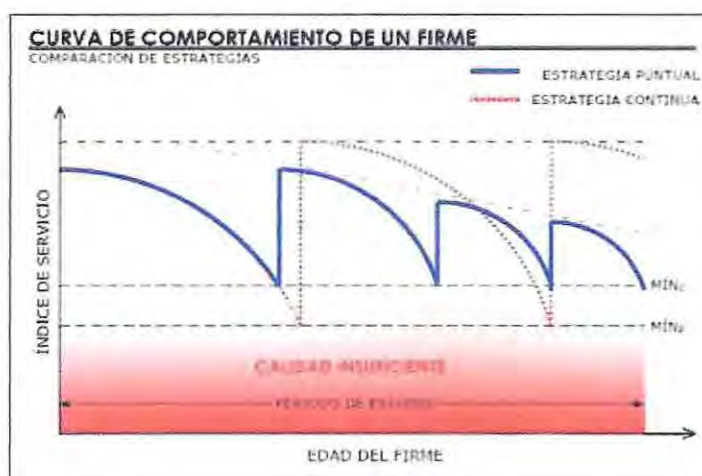


Figura 2.11 – Curva del comportamiento del pavimento y puntos de rehabilitación considerando las distintas estrategias.

Fuente: Manual de Carreteras de Construcción y mantenimiento" Tomo 2,

## CAPÍTULO 3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA RUTA G-84

### 3.1 Antecedentes

La Ruta G-84, en el sector de San Antonio – Límite Regional (V y Región Metropolitana), es un camino de acceso entre las rutas G-80-I y G-870. Une el sector de La Manga con otros pueblos y localidades importantes del sector, como San Pedro y el camino que lleva a Rapel.

La ruta contempla una zona parcelada de mucha vegetación silvestre, en donde se encuentran distintas industrias que en su mayoría son para la producción avícola, junto con algunas casas para usos habitacionales, pero en menor medida.

Las características de la ruta contemplan una carpeta de rodado granular, de un ancho medio de 7 metros conocida comúnmente como "*Camino de Ripio*". De acuerdo a la figura 3.1, la inspección visual que se le hizo al camino se observó que la mayoría de la ruta se mantenía en buenas condiciones, manteniendo su color y homogeneidad dentro de la observación.

Si bien los índices de tráfico muestran que la circulación por el sector no es tan significativa como otras rutas, el beneficio que proporciona a los distintos lugares hace que esta vía sea incluida para el programa de "Caminos Básicos" del Ministerio de Obras Públicas. Es por esta razón que se han planteado distintas alternativas de intervención, evaluándose desde las soluciones más comunes, hasta algunas alternativas nuevas que están marcando tendencias dentro de la pavimentación.



Figura 3.1 – Ruta G-84, Sector de San Antonio, Límite Regional de Valparaíso.

Las alternativas planteadas para la intervención de la ruta fueron: La implementación de una capa de protección de un doble tratamiento superficial, y la utilización de losas de geometría optimizada reforzadas con fibras. El detalle de cada alternativa es presentada a continuación.

#### Alternativa 1:

La primera alternativa que se plantea para la ruta es "*Conservación de la Red Básica de la Ruta G-84, Provincia de San Antonio*", que se enmarca dentro del programa de "*Obras de Conservación 2012*", a licitar por la Dirección de Vialidad V Región de Valparaíso.

El proyecto contempla la ejecución de un tratamiento superficial doble. Previo a la ejecución de estos trabajos se proyecta regularizar la rodadura existente para homogeneizar la actual rasante del camino, esto se logra incorporando terraplén en donde sea necesario y cortes en TCN (Terreno de corte natural) en sectores puntuales para recuperar las pendientes del camino. Con esto se busca mejorar las condiciones del tránsito de los usuarios.

La obra se desarrollará en 2 etapas, la primera incluye todos los procesos que conlleva en la remoción, colocación y movimientos de tierras de la ruta. Y la segunda consiste en la aplicación del pavimento asfáltico.

Dentro de los procesos de movimiento de tierra encontramos

- Excavaciones en TCN para obras de drenaje
- Relleno estructural para regularizar rasante
- Preparación de la sub-rasante

Los procesos de la aplicación del pavimento asfáltico son:

- Colocación de la base granular
- Imprimación
- Colocación del tratamiento superficial doble

Además, se proyectan el remplazo de todas las obras de arte, las que se encuentran con evidente deterioro. Para complementar el saneamiento transversal se proyectan en sectores de cuesta cunetas triangulares, soleras zarpa y cunetas extendidas y en sectores con pendientes bajas se mantiene la cunetas en tierra.

En relación al puente La Manga se proyectan obras de conservación, mejorar los accesos, remplazando las defensas metálicas y pintando las barandas peatonales

Por último se considera la ejecución de trabajos complementarios de seguridad vial, los que contemplan la demarcación del eje y las líneas de borde, la colocación de tachas reflectantes, señalización vial preventiva.

### Alternativa 2:

La segunda alternativa es proponer un diseño que pueda ser competitivo con la primera alternativa, ya del punto de vista de los costos de construcción, parámetros de mantenimiento y de diseño. El proyecto que se plantea es la utilización de "losas de geometría optimizada reforzadas con fibras", las cuales se desarrollarán de acuerdo a procedimientos constructivos similares a los de un pavimento rígido tradicional.

El proyecto considera la utilización de la carpeta granular existente en la ruta G-84, para dar soporte como sub – base para pavimentos rígidos. La evaluación de la capa granular se desarrollará de acuerdo a lo estipulado en los requerimientos mínimos que especifica el Manual de Carretera en su volumen 8.

Una vez concretados estos análisis, se proyecta regularizar la sub – rasante del camino, esto se logra escarificando la actual carpeta granular hasta llegar al estrato. Luego se contempla el re perfilado y compactación de la nueva sub – base granular, dando soporte a la solución de losas delgadas con fibras.

La obra se desarrollará en 2 etapas, la primera consisten en todos los procesos que conllevan en la remoción, colocación y movimientos de tierras de la ruta. Y la segunda consiste en la aplicación de las losas delgadas.

Dentro de los procesos de movimiento de tierra encontramos

- Excavaciones en TCN para obras de drenaje
- Preparación de sub – rasante
- Re perfilado y compactación de la sub - base

Los procesos de la aplicación de las losas son:

- Colocación del hormigón con fibra
- Colocación de la membrana de curado y texturizado
- Cortes de acuerdo a las consideraciones del diseño

Al igual que la primera alternativa, se proyecta el remplazo de todas las obras de arte, además de complementar el saneamiento transversal actual. Esto conlleva actividades similares donde se proyecta; en sectores de cuesta, cunetas triangulare, soleras zarpa y cunetas extendidas, y en sectores con pendientes bajas se mantienen las cunetas en tierra. Al mismo tiempo se considera la construcción de embudos en sectores bajos para complementar la evacuación de las aguas superficiales.

Las obras relacionadas al puente la Manga y los trabajos complementarios se mantienen igual que en la primera alternativa.

## 3.2 Antecedentes geográficos de la zona

### 3.2.1 Ubicación

La ruta G-84 está ubicada al sur de la región de Valparaíso, casi llegando al límite regional con la región Metropolitana.

Esta ruta comienza en el Dm 17.800, el cual colinda con el límite regional, y se extiende una longitud de 5.450 km. hasta Dm 23.250 donde se intercepta con la ruta G-80-I.



Figura 3.2 – Ubicación geográfica de la Ruta G-84.

### 3.2.2 Relieve y características del trazado

El tramo objeto del proyecto, atraviesa un terreno de relieve ondulado, en el que se destaca la existencia de vegetación, junto con la presencia de altas quebradas.

*Al comienzo, el trazado en planta presenta un alineamiento recto, luego, en dirección nor-poniente, este se va interrumpiendo por la presencia de curvas horizontales consecutivas, que se van suavizando y volviendo menos pronunciadas para terminar en una última curva, en la cual el trazado vuelve a comportarse recto hasta la intersección de la ruta G-80-l.*

Por otra parte el alineamiento vertical, presenta pendientes y curvas moderadas en función del relieve en el que se emplaza.

### 3.2.3 Geomorfología

La Región de Valparaíso presenta zonas geomorfológicas y climáticas diversas. Es por ello que para la caracterización de su sistema natural, se ha dividido la región en cinco zonas, siguiendo principalmente criterios geomorfológicos y fisiográficos, que determinan a su vez las variaciones climáticas. Las 5 zonas que se pueden encontrar en la zona son el sistema de montañas andinos, la cuenca del Aconcagua, el sistema montañoso semiárido, el borde costero y el sistema de cuencas menores.

Estas últimas cuencas se encuentran hacia el interior de San Antonio y es donde se emplaza la zona de estudio de la ruta G-84. Es más plana que el resto de la región, las unidades morfológicas características son las planicies litorales y la Cordillera de la Costa. Las planicies más antiguas van formando paisajes ondulados y colinas. La Cordillera, a diferencia de su sector norte, presenta relieves suaves y está disectada de oeste a este por una serie de cuencas de corta longitud pero anchos valles.

Según las figuras 3.3, las unidades expuestas en el área de estudio y sus alrededores corresponden en gran parte a batolito paleozoico, mesozoico y complejo metamórfico. En relación a la época geológica actual, la clasificación de esta zona corresponde a Qf, vale decir, depósitos fluviales en cauces activos, correspondiendo principalmente a gravas y gravas arenosas.

Con respecto a la figura 3.4, el área de estudio se localiza dentro del sistema morfogenético del dominio templado seco de Chile central, sin embargo la evolución y formación del paisaje actual, se debe a condiciones climáticas diferentes a las actuales.

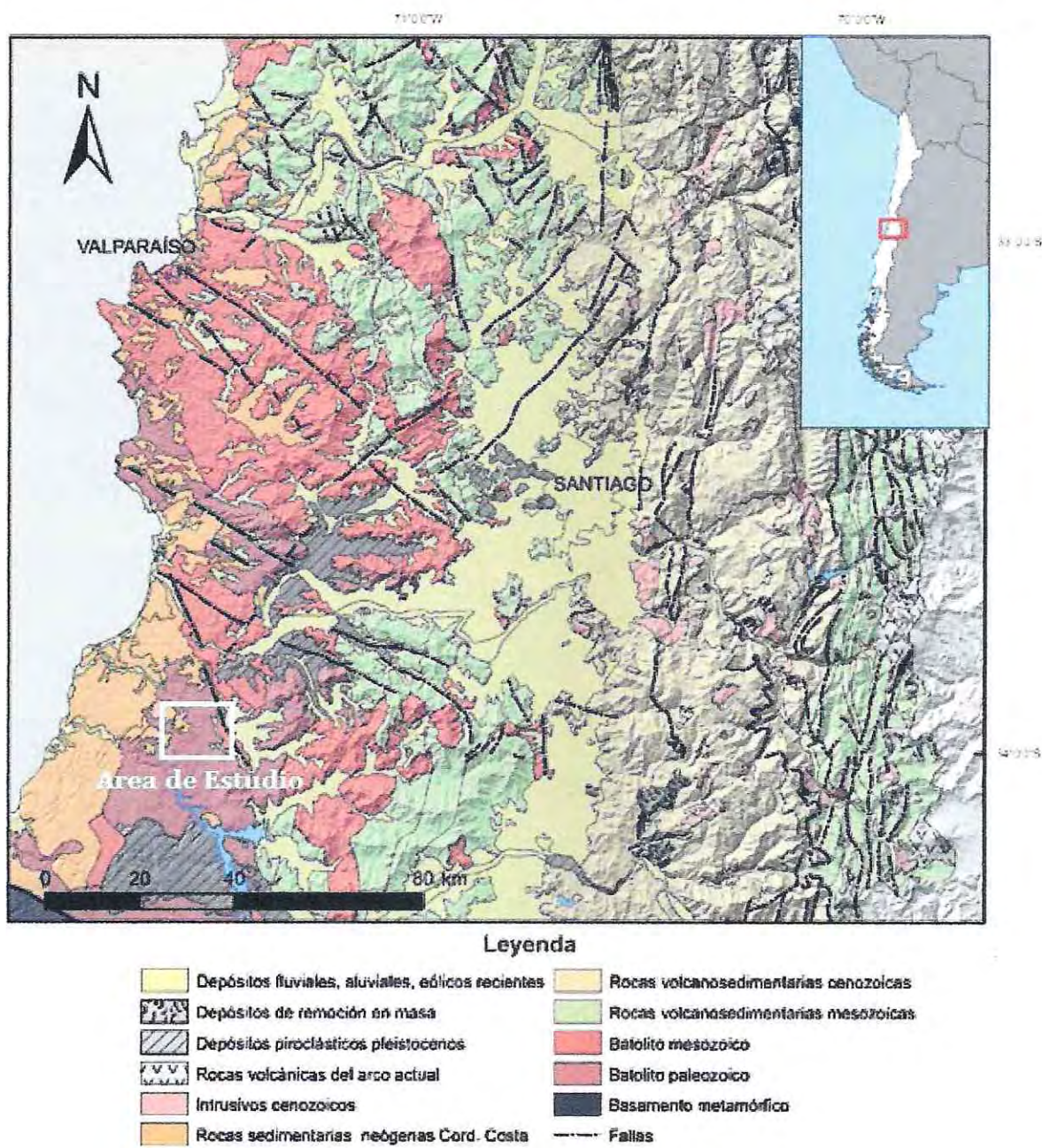


Figura 3.3 – Mapa Geomorfológico de la región de Valparaíso.



Figura 3.4 – Imagen Satelital de la Ruta G-84, Sector de San Antonio, Límite Regional de Valparaíso.

### 3.2.4 Clima

El tramo en estudio de la Ruta G-84 se emplaza cerca de la franja costera de la región. Por sus temperaturas, esta zona se puede calificar como templada, ya que todos los meses del año tienen un promedio entre los 10 y 20°C, a excepción de enero que supera en 30°C.

El clima de esta zona es mediterráneo templado costero. Sin embargo los sectores de las cuencas, a pesar de estar cerca de la costa, presentan un clima más continental, similar al del Valle del Aconcagua. Las temperaturas son semi-cálidas durante todo el año, y se presentan marcadas precipitaciones durante el invierno. En los sectores de las cuencas, las temperaturas máximas y mínimas son más marcadas, de 0°C en invierno, a 30°C en verano. Los vientos corren principalmente desde el oeste.

En general la zona de estudio presenta Temperatura media anual de 13.5 °C y T° medias de enero 20° y de 7 °C en julio. Precipitaciones con un promedio de 80 mm en junio, y un total anual 325 mm.

### 3.3 Estudio de tránsito

#### 3.3.1 Tránsito medio diario anual (TMDA)

##### 3.3.1.1 Puntos de control

Para conocer la demanda de tránsito en la ruta G-84 es que se acudió a la base de dato que maneja el Departamento de Estadísticas y Censos de Tránsito de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras públicas, que de acuerdo a la figura 3.5, se evaluó el punto de control N° 80 que corresponde a la zona de estudio.

Las mediciones que se tomaron correspondieron a los años 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010. En las estaciones de verano, invierno y primavera, las cuales correspondían a vehículos provenientes de la ruta G-80-I que hacían ingreso a la ruta G-80, los provenientes del sector de la Manga, y además los que se dirigían a ella. Todos los datos registrados se hicieron en periodos de 12 horas (diurnas), las cuales por medios de ajustes estadísticos se llevaron a los periodos totales de 24 horas.



Figura 3.5 – Distribución de los puntos de control del tránsito en la región de Valparaíso.

### 3.3.1.2 Clasificación de vehículos

La clasificación de vehículos adoptada por la Dirección de Vialidad a ocupar es la que se muestra a continuación:

Tabla 3.1 – Clasificación, descripción y tipo de vehículo adoptados por la dirección de Vialidad.

Tipo de Vehículo	Clasificación	Descripción
Vehículo Liviano	AS	Autos, Station Wagons, Jeeps y Citronetas
	CTA	Camionetas y Furgonetas inferiores a 1000 kg
Vehículo Comercial	C2E	Camiones Simples de 2 Ejes
	C+2E	Camiones Simples de más de 2 Ejes, Remolques y Semi-remolques
	BTB	Buses y Taxi buses

### 3.3.1.3 Tasa de crecimiento

Para poder evaluar mejor los resultados entregados por el censo, es que se obtuvieron la tasa de crecimiento de los vehículos  $i$ , que es en función del producto geográfico bruto (PGB) y se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$i = (1 + \alpha)^{\beta_i} - 1 \quad \text{Ecu. 3.1}$$

Donde:

- $i$  = Tasa de crecimiento del vehículo tipo  $i$
- $\alpha$  = Tasa de crecimiento del producto geográfico bruto (PGB)
- $\beta_i$  = Elasticidad flujo de cada vehículo tipo  $i$

Los valores ocupados para los cálculos de la tasa de crecimiento de cada año se obtuvieron por los reportes del banco central. Los valores adoptados son los que se muestran a continuación.

Tabla 3.2 – Producto geográfico bruto de Chile, según Banco Central.

PGB	
Año	$\alpha$
1995	10.6
1997	6.6
1999	-0.8
2001	3.4
2003	3.7
2005	6.3
2007	5.2
2009	-1.5
2011	5.9
2012	5.5

Fuente: Datos obtenidos de acuerdo a los reportes del banco central

En base a esta información se calcularon las tasas de crecimiento para los años que faltaban por vehiculó. Cabe destacar que se agruparon los vehículos AS, CTA en un solo grupo de vehículos livianos.

Tabla 3.3 – Tasa de crecimiento de cada vehículo tipo por año.

Tipo Vehículo	$\beta$	Tasa de Crecimiento $i$ , por año									
		1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2012
Vehículo Liviano	1,5	16,30%	10,10%	-1,20%	5,10%	5,60%	9,60%	7,90%	-2,20%	9,00%	8,40%
C2E	0,5	5,20%	3,20%	-0,40%	1,70%	1,80%	3,10%	2,60%	-0,80%	2,90%	2,70%
C+2E	1,75	19,30%	11,80%	-1,40%	6,00%	6,60%	11,30%	9,30%	-2,60%	10,60%	9,80%
BTB	1,5	16,30%	10,10%	-1,20%	5,10%	5,60%	9,60%	7,90%	-2,20%	9,00%	8,40%

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.4 Cálculo del TMDA

El cálculo de los años faltantes se hizo en base a los datos obtenidos directamente del censo de los años anteriores y ajustados con las tasas de crecimiento de los años respectivos. Los valores obtenidos son los que se muestran a continuación.

Tabla 3.4 – Tránsito medio diario anual de años faltantes, ajustado por tasas de crecimiento.

TMDA				
Año	Vehículo Liviano	C2E	C+2E	BTB
1994	268	47	17	21
1995	312	49	20	24
1996	177	23	82	2
1997	195	24	92	2
1998	498	27	180	22
1999	492	27	177	22
2000	499	60	55	19
2001	525	61	58	20
2002	618	43	11	33
2003	653	44	12	35
2004	327	21	55	9
2005	358	22	61	10
2006	422	59	124	23
2007	455	61	136	25
2008	229	18	23	19
2009	224	18	22	19
2010	481	57	59	40
2011	524	59	65	44
2012	568	60	72	47

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.2 Ejes equivalentes solicitantes

La determinación de los ejes equivalentes solicitantes para cada año se hizo en base a una estratigrafía que se basó en la observación de los camiones que circulaban por el sector, como también de la utilización del factor de equivalencia de carga que recomienda AASHTO llamado "*ley de la cuarta potencia*", la cual relaciona la carga por eje del camión circulante con una carga de eje patrón.

Con esta información se calculó la estratigrafía de pesos por eje para cada vehículo tipo, adoptándose los siguientes valores.

Tabla 3.5 – Estratigrafía adoptada, para cada vehículo tipo.

Estratigrafía	
C2E	1.60
C+2E	3.71
BTB	1.30

Fuente: Elaboración propia

Para los cálculos posteriores se desprecia el aporte de los vehículos livianos y se trabaja solamente con el aporte de los vehículos comerciales por ser los que más solicitan la estructura. Además para el cálculo total de los ejes equivalentes solicitantes se debe hacer una distribución direccional del tránsito (FD), como también la proporción de vehículos comerciales circulantes en una dirección que utilizan el carril de diseño (FP).

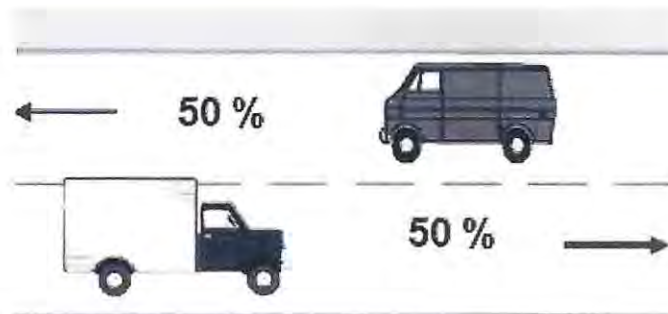


Figura 3.6 – Distribución direccional de tránsito adoptada.

Considerando la estratigrafía de pesos por eje señalada, una distribución direccional  $FD = 50\%$ , de acuerdo a la figura 3.6, y una distribución por pista  $FP = 100\%$  se obtienen los ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño para cada año.

$$EE_i = TMDA_i * FD * FP * FE * 365 \quad \text{Ecu. 3.2}$$

Donde:

- $EE_i$  = Número de aplicaciones de carga del eje de referencia en el carril de diseño en el año  $i$   
 $TMDA_i$  = Tránsito medio diario anual en ambas direcciones durante el año  $i$   
 $FD$  = Factor de distribución direccional del tránsito de vehículos comerciales (Cifras decimales)  
 $FP$  = Factor de distribución de los vehículos por pista de diseño (Cifras decimales)  
 $FE$  = Factor estratigráfico adoptado para cada vehículo tipo.

De acuerdo a la ecuación 3.2, los valores obtenidos son los que se tabulan a continuación.

Tabla 3.6 – Ejes equivalentes solicitantes para cada año y tipo de vehículos.

Ejes Equivalentes Solicitantes para cada Año / Vehículo				
Año	C2E	C+2E	BTB	$\Sigma$ Vehículos
1994	13.724	11.510	4.982	30.217
1995	14.433	13.730	5.795	33.544
1996	6.716	55.520	475	62.711
1997	6.934	62.091	475	69.773
1998	7.884	121.874	5.220	134.977
1999	7.852	120.172	5.157	132.946
2000	17.520	37.239	4.508	59.267
2001	17.815	39.483	4.740	61.827
2002	12.556	7.448	7.829	27.833
2003	12.786	7.937	8.268	29.277
2004	6.132	37.239	2.135	45.506
2005	6.322	41.441	2.340	50.098
2006	17.228	83.957	5.457	106.642
2007	17.670	91.746	5.888	115.825
2008	5.256	15.573	4.508	25.336
2009	5.216	15.166	4.407	24.659
2010	16.644	39.947	9.490	66.081
2011	17.128	44.163	10.342	71.677
2012	17.593	48.501	11.207	77.420

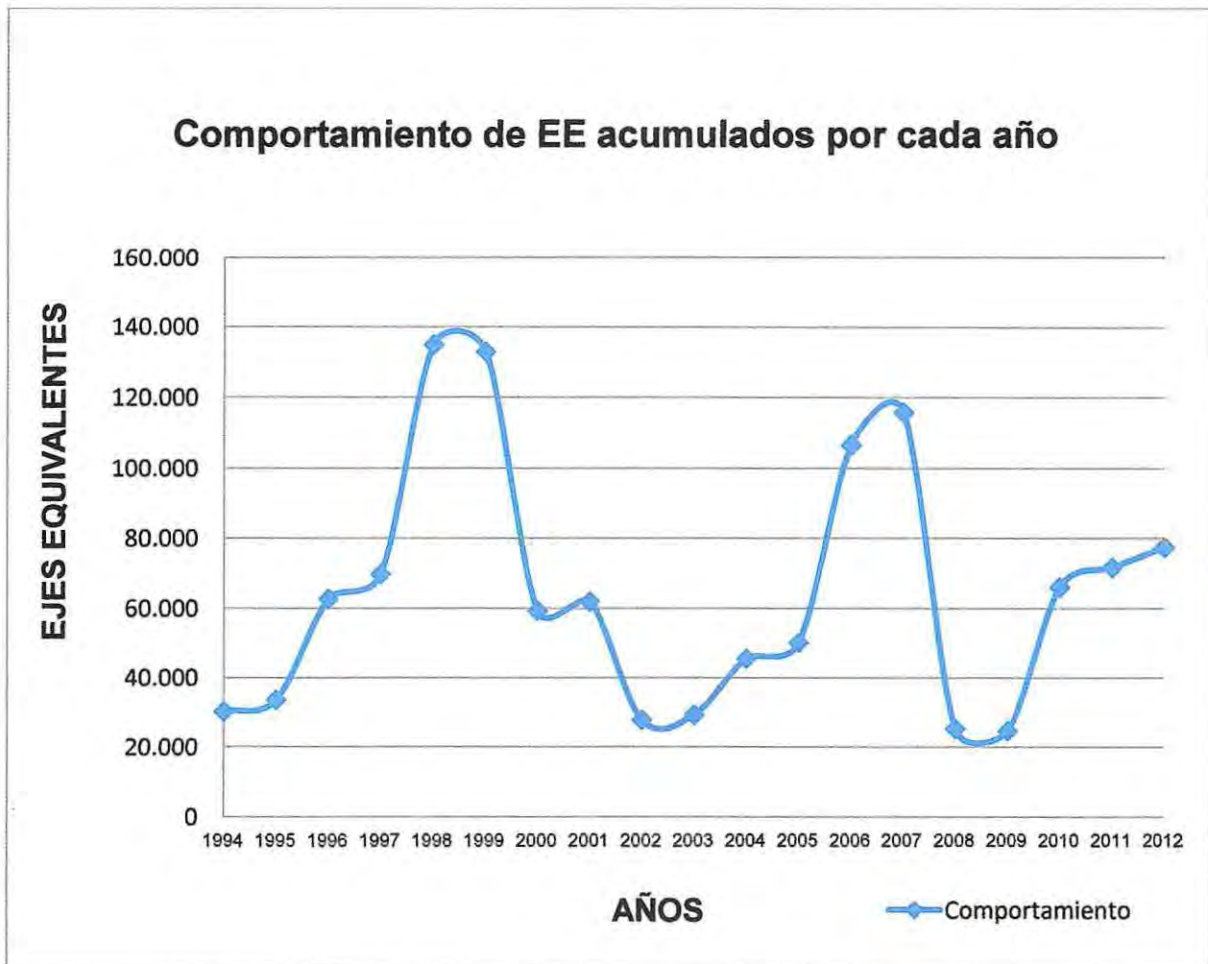


Figura 3.7 – Comportamiento de los ejes equivalentes acumulados para cada año.

### 3.3.3 Proyección del tránsito

La demanda acumulada de tránsito a la que va a estar expuesta una estructura, desde el año  $a$ , hasta el año  $b$ , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T_{Acumulado} = TMDA_i * \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ecu. 3.3}$$

Donde:

- $T_{Acumulado}$  = Tránsito acumulado en los años de diseño
- $TMDA_i$  = Tránsito medio diario anual del año ( $i$ ) de implementación del pavimento
- $i$  = Tasa de crecimiento del Vehículo tipo en el año de implementación del pavimento
- $n$  = Número de años proyectados para el diseño

Para poder conocer la demanda acumulada de tránsito, se estima para los tratamientos superficiales un periodo de vida útil entre 5 a 10 años. De acuerdo a esto se calcularon los TMDA acumulado en la vía para dicho periodo. Además para cada vehículo tipo se ocuparon sus respectivas tasas de crecimientos antes mencionadas.

Tabla 3.7 – Tránsito medio diario anual para distintos periodos de diseño.

<b>TMDA Acumulado por periodo de diseño / Vehículo</b>				
<b>Periodo</b>	<b>Años</b>	<b>C2E</b>	<b>C+2E</b>	<b>BTB</b>
2012 - 2016	5	318	436	279
2012 - 2017	6	387	550	350
2012 - 2018	7	458	676	426
2012 - 2019	8	530	814	509
2012 - 2020	9	605	966	599
2012 - 2021	10	682	1132	696

Con esto, y considerando la estratigrafía de tránsito señalada en la Tabla 3.5, FD = 50% y FP = 100%, se estiman las cargas acumuladas en la pista de diseño para los periodos comprendidos entre 5 y 10 años.

Tabla 3.8 – Ejes equivalentes solicitantes para distintos periodo de diseño.

<b>EE Acumulados por periodo de diseño</b>					
<b>Periodo</b>	<b>Años</b>	<b>C2E</b>	<b>C+2E</b>	<b>BTB</b>	<b>∑ Vehículos</b>
2012 - 2016	5	92.868	295.058	66.224	454.150
2012 - 2017	6	112.980	372.541	82.969	568.490
2012 - 2018	7	133.638	457.635	101.114	692.387
2012 - 2019	8	154.857	551.088	120.776	826.721
2012 - 2020	9	176.651	653.720	142.083	972.454
2012 - 2021	10	199.037	766.433	165.172	1.130.642

De acuerdo a la información suministrada por el Laboratorio Regional de Valparaíso, se espera que los diseños a ocupar para la vida útil de un tratamiento superficial estén entre los periodos de 5 a 10 años, dependiendo de las características de la zona a pavimentar, pero usualmente en la región se trabaja con diseños del orden de los 7 a 8 años como vida útil. Es así que se podrían estimar que los ejes equivalentes fueran de 700.000 EE, ya que este valor oscilaría entre los periodos mencionados, ajustándose a la situación actual de la región.

## CAPÍTULO 4

### ENSAYES REALIZADOS EN LA RUTA G-84

#### 4.1 Requisitos mínimos de sub – bases para pavimentos rígidos

De acuerdo al manual de carretera, todos las sub-bases ocupadas para servir de apoyo a los pavimentos rígidos deben cumplir ciertos requisitos mínimos especificados. De acuerdo al numeral 8.101.1 (3) los materiales para sub-base deberán cumplir con la banda de graduación TM-50a la cual se expone en la siguiente tabla.

Tabla 4.1 – Banda Granulométrica exigida por el M.C. para sub – bases de pavimentos rígidos.

Tamiz	TM-50a	
	Mínimo	Máximo
50	100	100
40	-	-
25	55	100
20	-	-
10	30	75
5	20	65
2.5	-	-
2	10	50
0.5	5	30
0.08	0	20

Esta graduación granulométría es a la que se debe ajustar todo material usado para sub-bases granulares, además el material deberá cumplir con otros requisitos mínimos los cuales se adjuntan a continuación.

Tabla 4.2 – Tipos de ensayos y su exigencia requerida para sub – bases de pavimentos rígidos.

ENSAYE	EXIGENCIA
Límite líquido	Max. 25%
Índice de plasticidad	Max. 6%
Desgaste de los ángeles	Max. 35%
Sales solubles	Max. 4%
Poder de Soporte (CBR)	Min. 50% (Medido al 95% de la DMCS)

## 4.2 Ensayes realizados a la carpeta granular de la ruta G-84

### 4.2.1 Metodología de Muestreo

La metodología de muestreo del material consistió en dividir los 5 km de extensión que contiene la ruta en fracciones de 1 km, es decir que para cada kilómetro se obtendrían muestras representativas con las cuales se va a proceder a ensayar el material.

Si bien dentro de ese kilómetro la variación del material puede ser diverso, ya sea por el desgaste producto de las condiciones climáticas o del mismo tránsito, es que se subdividió el kilómetro para poder compararlo y determinar si las propiedades mecánicas del material se mantenían homogéneas dentro de esa subdivisión.

La figura 4.1 muestra mejor la subdivisión del kilómetro de muestreo. En la imagen se observa que el material de los extremos será seleccionado para la granulometría y el material del centro se seleccionará para los ensayos de proctor y CBR. Cabe mencionar que la obtención de las muestras se fue dando en forma intercalada para cada calzada y se indican cómo lado derecho o lado izquierdo con orientación provista desde el menor kilometraje al mayor.



Figura 4.1 – Esquema de obtención de muestras en la zona de estudio

## 4.2.2 Ensaye “Granulométrico”

Los ensayos de granulometría tienen por finalidad determinar en forma cuantitativa la distribución de las partículas del suelo de acuerdo a su tamaño. La distribución de las partículas se determinó mediante tamizado, con una serie de mallas normalizadas.

El ensaye de granulometría que se aplicó al material se hizo conforme lo estipula el manual de carretera en el numeral 8.102.1 del Vol. 8. Los resultados obtenidos se graficaron y se compararon con la banda de trabajo TM-50a de sub-base para pavimentos rígidos.

A continuación se exponen los gráficos comparativos y además se adiciona el lado de obtención del material, junto con la cantidad de finos que pasa la malla #200.

**KM: 22,950**

Obtención material : Lado izquierdo

% de finos : 9%

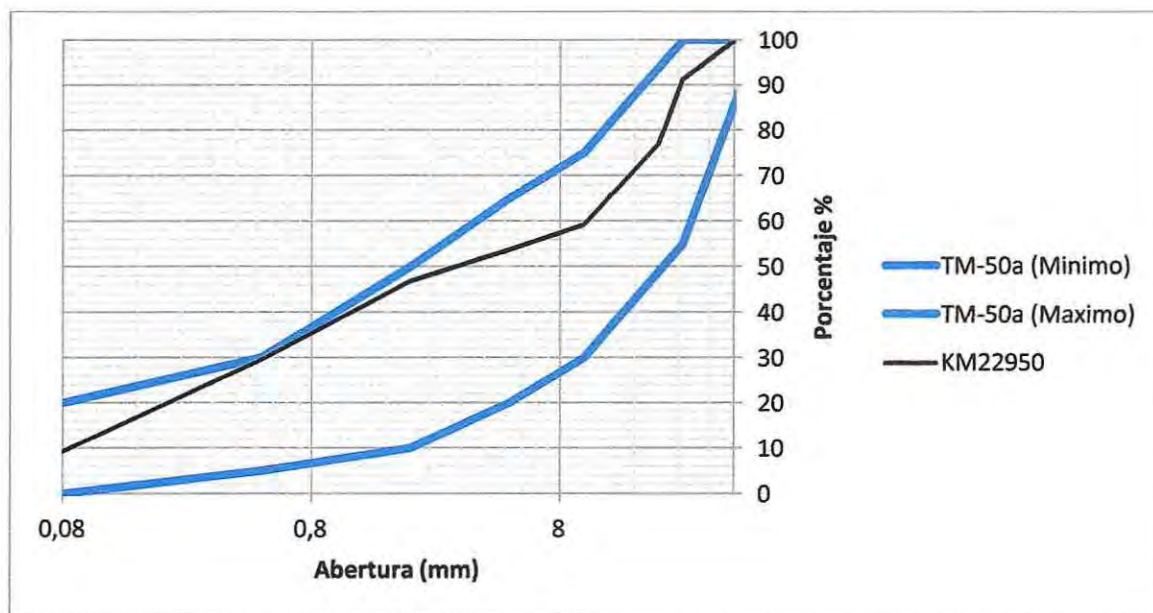


Figura 4.2 – Granulometría material KM: 22,950 y comparación con banda TM-50a

KM: 22,450

Obtención material : Lado Derecho  
 % de finos : 10%

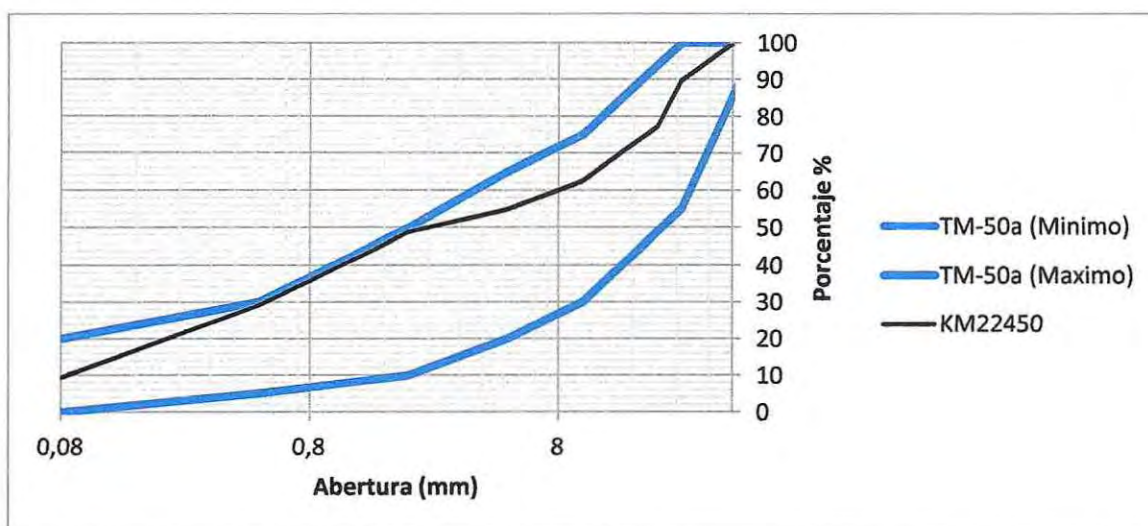


Figura 4.3 – Granulometría material KM: 22,450 y comparación con banda TM-50a

KM: 21,950

Obtención material : Lado Izquierdo  
 % de finos : 9%

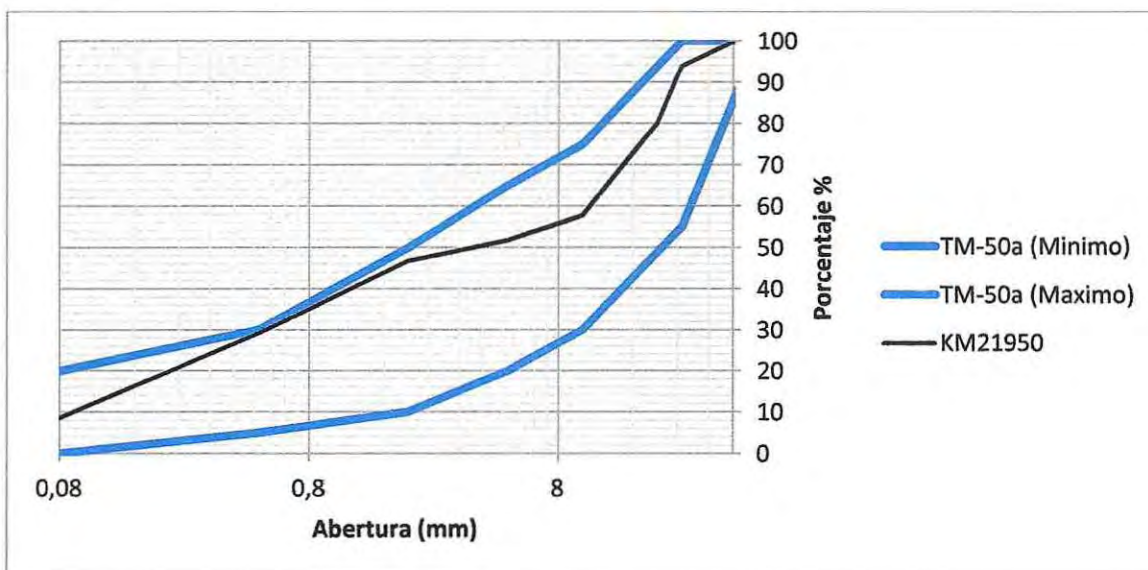


Figura 4.4 – Granulometría material KM: 21,950 y comparación con banda TM-50a

KM: 21,450

Obtención material : Lado Derecho  
 % de finos : 10%

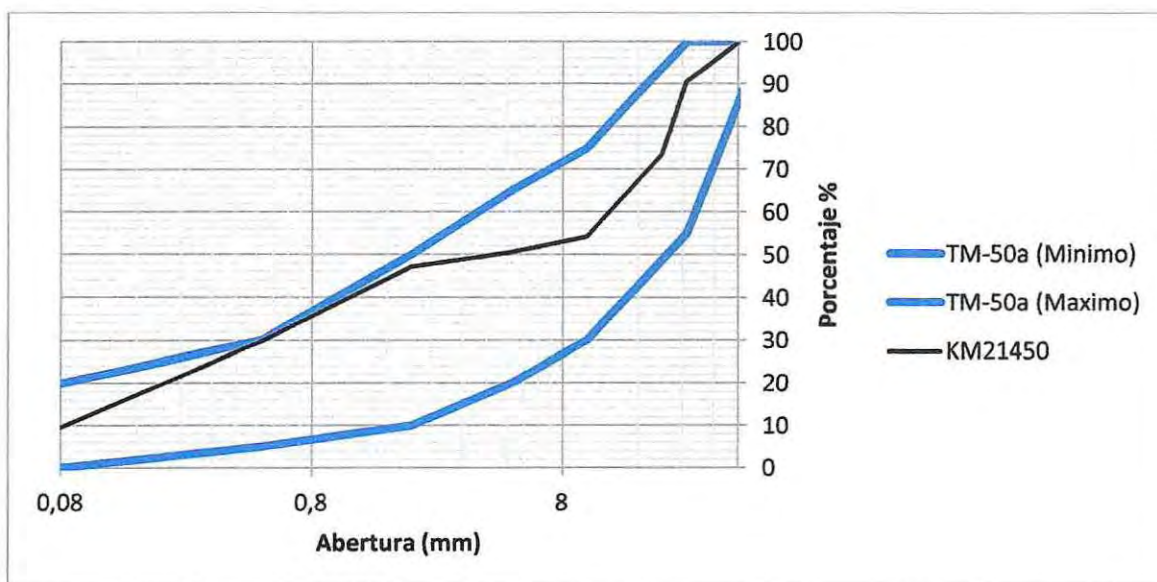


Figura 4.5 – Granulometría material KM: 21,450 y comparación con banda TM-50a

KM: 20,950

Obtención material : Lado Izquierdo  
 % de finos : 10%

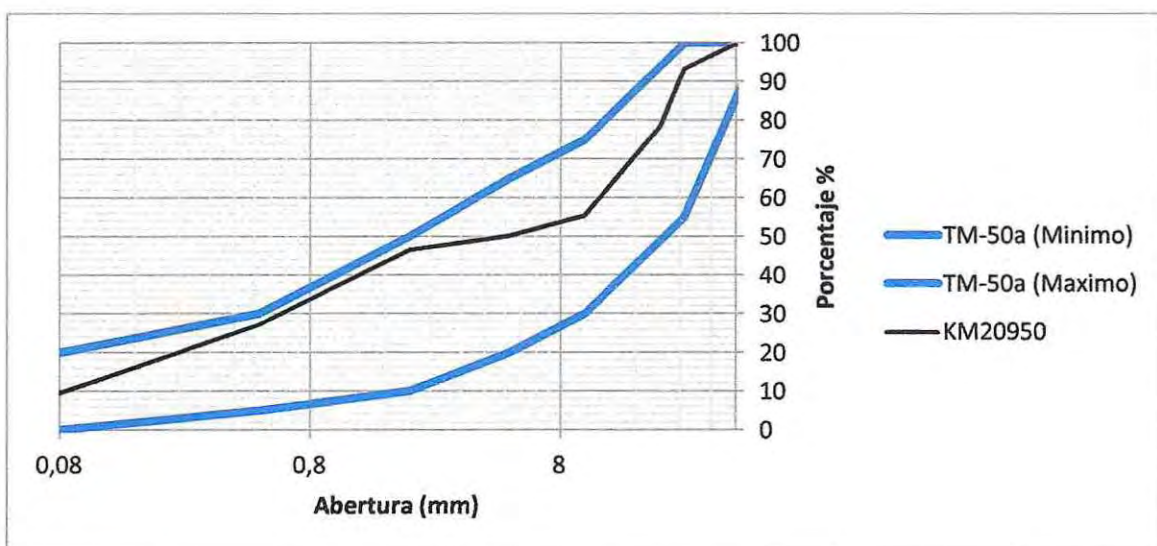


Figura 4.6 – Granulometría material KM: 20,950 y comparación con banda TM-50a

KM: 20,450

Obtención material : Lado Derecho  
 % de finos : 9%

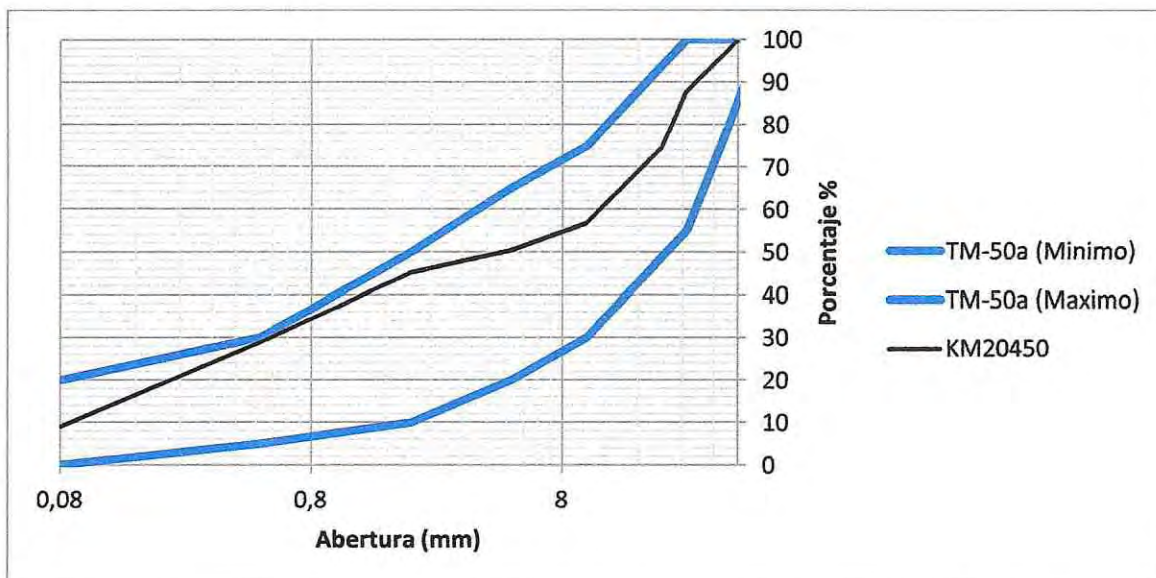


Figura 4.7 – Granulometría material KM: 20,450 y comparación con banda TM-50a

KM: 19,950

Obtención material : Lado Izquierdo  
 % de finos : 8%

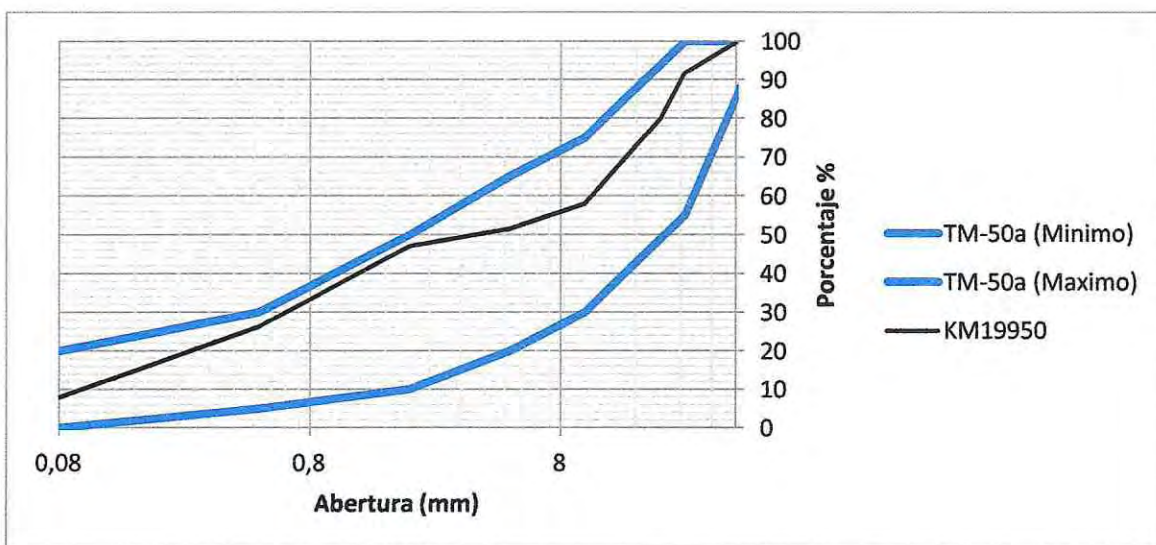


Figura 4.8 – Granulometría material KM: 19,950 y comparación con banda TM-50a

**KM: 19,450**

Obtención material : Lado Derecho  
 % de finos : 9%

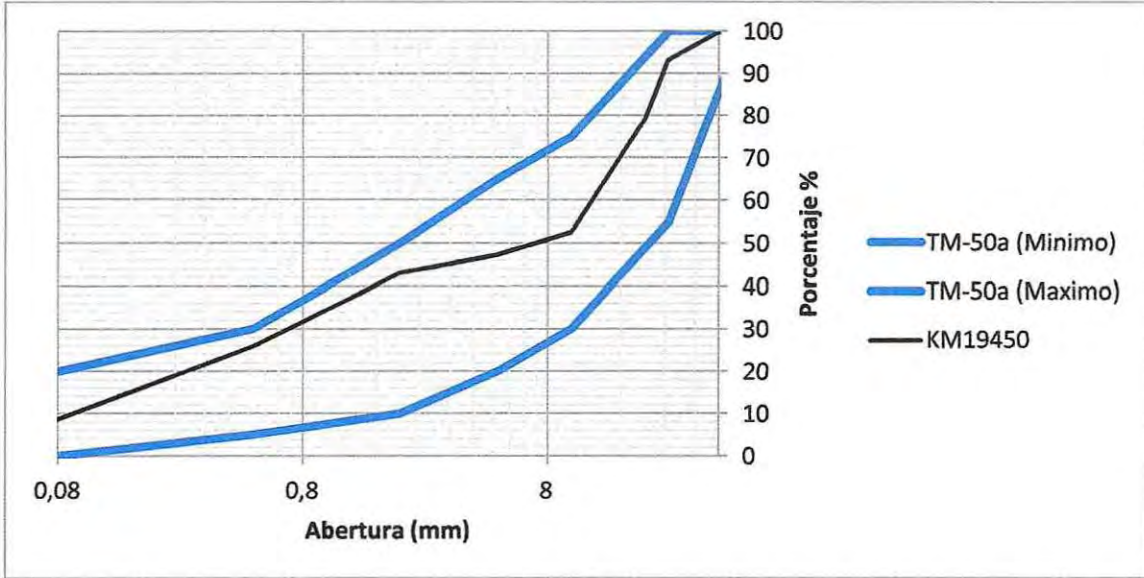


Figura 4.9 – Granulometría material KM: 19,450 y comparación con banda TM-50a

**KM: 18,950**

Obtención material : Lado Izquierdo  
 % de finos : 11%

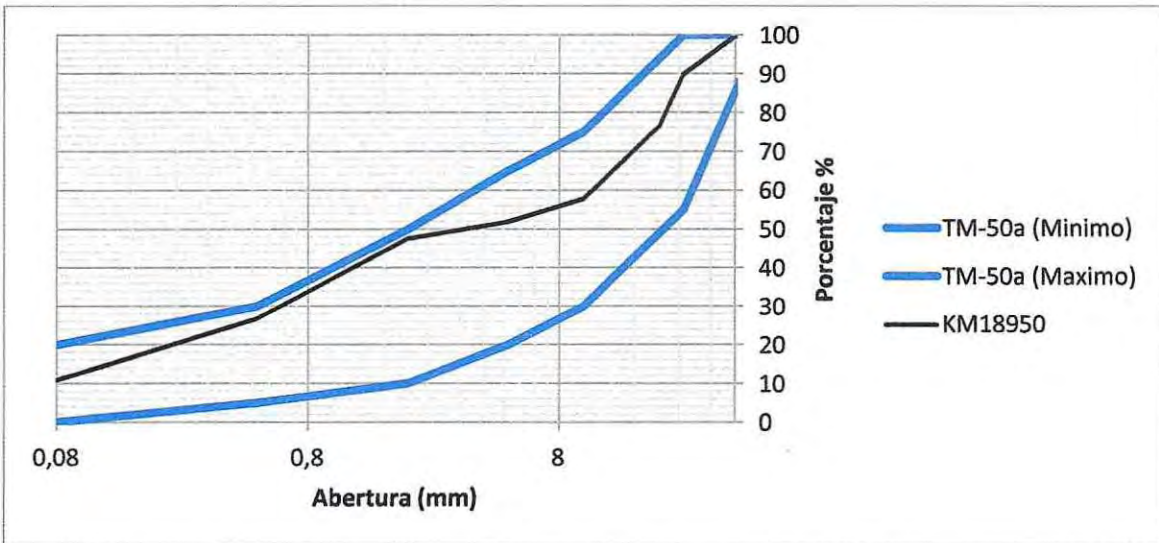


Figura 4.10 – Granulometría material KM: 18,950 y comparación con banda TM-50a

**KM: 18,450**

Obtención material : Lado Derecho  
 % de finos : 9%

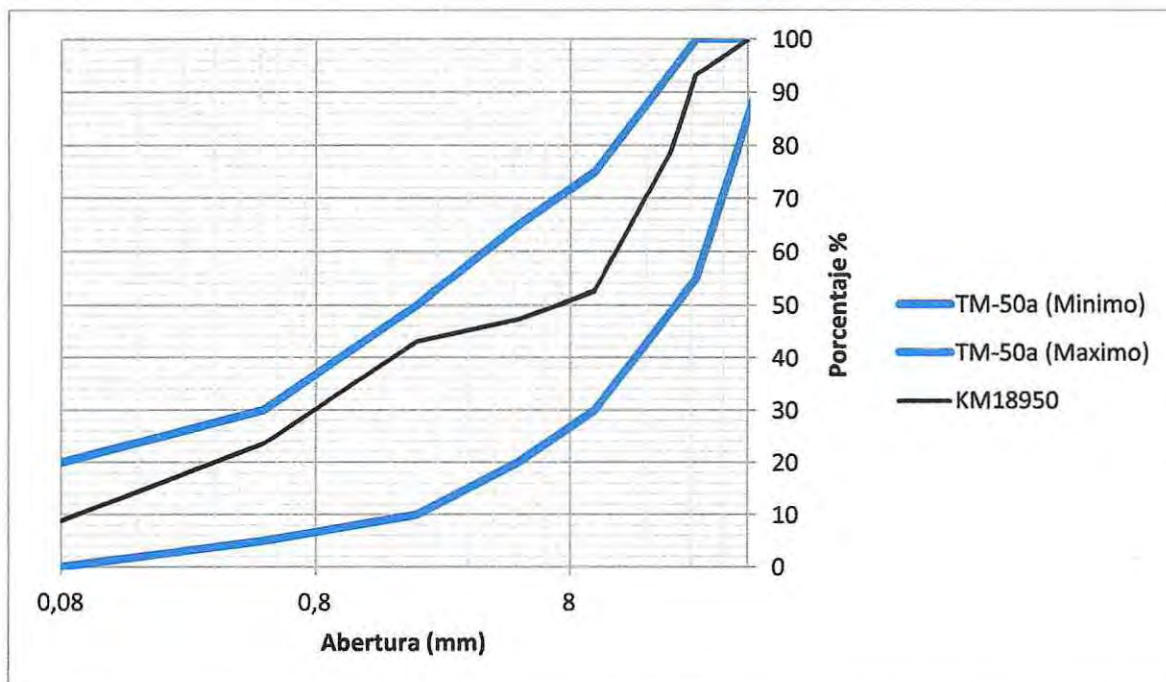


Figura 4.11 – Granulometría material KM: 18,450 y comparación con banda TM-50a

Según los gráficos expuestos anteriormente se puede observar que el comportamiento del material se mantuvo homogéneo dentro de toda la extensión de la ruta, si bien las granulometrías tuvieron variaciones en los porcentajes, todas se mantuvieron dentro de la banda de trabajo que se especifica para las sub-bases de pavimentos rígidos.

### 4.2.3 Ensayes de “Límite Líquido” e “Índice de Plasticidad”

El ensaye de índice de plasticidad (IP) es realizado para obtener el rango de humedades en las que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por otra parte el ensaye de límite líquido (LL) es la humedad a partir de la cual un suelo deja de tener un comportamiento plástico y pasa a tener un comportamiento viscoso, es decir, es la humedad límite entre el estado plástico y el estado viscoso. A partir de esta humedad, el suelo fluiría.

Por lo general cuando se recurre a estos ensayes es necesario realizar el ensaye de límite plástico (LP) el cual tiene como finalidad obtener la humedad a partir de la cual un suelo deja de tener un comportamiento frágil para pasar a tenerlo plástico, es decir, la humedad límite entre el estado sólido y el plástico. A partir de esta humedad, el suelo puede sufrir cambios de forma irreversibles sin llegar a fracturar, y por debajo de esta el suelo no presenta plasticidad.

Según los procedimientos de ensayes del manual de carreteras, la obtención del índice de plasticidad no será más que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. De acuerdo a esta información es que se tuvo que realizar el ensaye de límite plástico a cada uno de las muestras extraídas en terreno.

Los ensayes se realizaron de acuerdo a lo que estipula el manual de carreteras en el numeral 8.102.3 Vol. 8 para el límite líquido y el numeral 8.102.4 Vol. 8 para el índice de plasticidad.

Las muestras para los ensayes, tanto de límite líquido y límite plástico, se obtuvieron del material extraído para cada uno de los puntos donde se evaluó la granulometría. Con lo que la cantidad de ensayes a determinar fueron de 10 determinaciones para límite líquido y 10 determinaciones para límite plástico.

Al momento de la realización de los ensayes se pudo observar que ninguno de estos pudo ser completado, ya que al comenzar con el procedimiento el material empezó a mostrar indicios que se trataba de un material no plástico como se observa en la figura 4.13.

Las primeras observaciones se basaron en el comportamiento que tuvo el material dentro del instrumento de Casagrande para el ensaye de límite líquido, donde se pudo apreciar que de las 5 muestras que se debían obtener, ya en la segunda el material comenzaba a deslizarse dentro del molde. Este es un indicio que el material no tiene cohesión y se desplazara por lo cual el ensaye no es aplicable.

Aunque se volvió a repetir el ensaye, el material mostró el mismo comportamiento, en algunas ocasiones se repitió por más de 4 veces apreciándose las mismas observaciones. Según el manual de carreteras si cualquiera de los 2 ensayes no es realizable se concluye que el material será no plástico ya que no se podrá determinar el índice de plasticidad.

Con lo anterior se pudo determinar la no plasticidad del material, pero para poder comprobar aún mejor los resultados es que se realizó el ensaye de límite plástico, que de acuerdo a la figura 4.12 se observó que el material se comportó de igual manera que con el ensaye anterior, no pudiendo ser armado los bastones en las dimensiones con las que se especifica, concluyéndose finalmente que el material no tenía plasticidad.

Tabla 4.3 – Comportamiento no plástico del material a lo largo de todo el trazado de la ruta G-84

KILOMETRAJE	22,950	22,450	21,950	21,450	20,950	20,450	19,950	19,450	18,950	18,450
Límite Líquido	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Límite plástico	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP



Figura 4.13 – Material deslizado en aparato de "Casagrande"



Figura 4.12 – Comportamiento del material bajo ensaye LP

## 4.2.4 Clasificación del Material

Con los datos de la granulometría y de los índices de plasticidad antes obtenidos es posible clasificar el material. La clasificación se hizo en base a los 2 métodos tradicionales, que son el "Sistema unificado de clasificación de suelos" (USCS) y la clasificación de suelos AASHTO. Los resultados obtenidos para cada uno de los puntos ensayados fueron los siguientes:

Tabla 4.4 – Clasificación del material de la ruta G-84

KILOMETRAJE	SUCS	AASHTO
22,950	GP-GM	A-1a(0)
22,450	GP-GM	A-1a(0)
21,950	GP-GM	A-1a(0)
21,450	GP-GM	A-1a(0)
20,950	GP-GM	A-1a(0)
20,450	GP-GM	A-1a(0)
19,950	GP-GM	A-1a(0)
19,450	GP-GM	A-1a(0)
18,950	GP-GM	A-1a(0)
18,450	GP-GM	A-1a(0)

Según la clasificación SUCS el material GP-GM corresponde a una grava mal graduada con limo y arena, y de acuerdo a la clasificación AASHTO el material A-1a (0) correspondería a un material granular de fragmentos de roca, grava y arena.

Como se observa el material fue clasificado en toda su extensión de igual manera, concluyéndose que el material, dada las características granulométricas que mostró, mantendrá sus propiedades mecánicas durante toda su extensión.

## 4.2.5 Ensaye “Desgaste de los Ángeles”

Este ensaye se basa en conocer la resistencia a la abrasión y el desgaste de los agregados que conformarán la sub-base granular. Estos deben ser capaces de ser durables y poder resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

La realización de este ensaye se hizo en base a lo estipulado en el numeral 8.202.11 Vol. 8 del Manual de Carreteras. De acuerdo al procedimiento de este ensaye es necesario obtener la granulometría del material y luego elegir, de acuerdo a las normativas, el grado de ensaye que mejor represente la muestra.

El grado del material que se plantea en el ensayo determina cuales son las cantidades necesarias de material a ocupar. Los grados a encontrar son 7, por lo que para este ensaye se calcularon los grados correspondientes a cada una de las granulometrías para poder determinar si existía diferencia en el grado obtenido para cada muestra.

De acuerdo a la tabla 4.5 todos los valores calculados para las distintas muestras estarían dentro del grado 4, con lo que de acuerdo a ese índice se calculó la cantidad de material necesario para el ensaye.

Tabla 4.5 – Grado del material por kilometraje de acuerdo al ensaye “Desgaste de los ángeles”

KILOMETRAJE	22950	22450	21950	21450	20950	20450	19950	19450	18950	18450
Grado	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

Si bien el ensaye es aplicable a una muestra, la determinación de cuál de las muestras era la más representativa se hizo en base a la información obtenida.

- Como el material presentó una clasificación constante a lo largo de la ruta y su granulometría se mantuvo dentro de la banda, es esperable que el material mantenga sus propiedades mecánicas en toda su extensión.
- Se observó además que la suma de los porcentajes parciales retenidos para obtener el grado del ensaye se comportó muy similar en todas las muestras, concluyéndose que la muestra más representativa sería el promedio de los resultados.

Según al promedio el sector que se ensayo, fue el KM: 21.950, el cual de acuerdo al grado y a los procedimientos se obtuvo un 12 % de desgaste del material.

Tabla 4.6 – Resultado del ensaye “Desgaste de los ángeles”

RESULTADOS	
Masa Inicial	4999
Masa Final	4413
Diferencia	586
Desgaste L.A.	12%

## 4.2.6 Ensayo “Proctor Modificado”

El ensayo de Proctor Modificado es uno de los más importantes procedimientos para el control de calidad de un suelo. Con este ensayo es posible determinar la compactación máxima que puede tener un terreno en relación a su humedad.

El ensayo de “Proctor Modificado” se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en el numeral 8.102.7 del Vol. 8 del Manual de Carreteras.

Según los requisitos mínimos que establece el M.C., para los pavimentos rígidos no se considera el ensayo de Proctor Modificado, sin embargo se tuvo que realizar este ensayo ya que el requisito mínimo del ensayo CBR es que se debe trabajar con la humedad óptima del material.

Como anteriormente se mencionó, las propiedades mecánicas del material se van a comportar constantes dentro de la ruta, ya que según los datos granulométricos y de clasificación se trataría de un mismo material en la totalidad de la extensión.

Con los datos obtenidos del ensayo se elaboró la curva de “Densidad Vs % de Humedad” con la cual se pudo obtener una humedad óptima de 5.7% y una densidad máxima compactada seca (DMCS) de 2246 [kg/cm<sup>3</sup>]

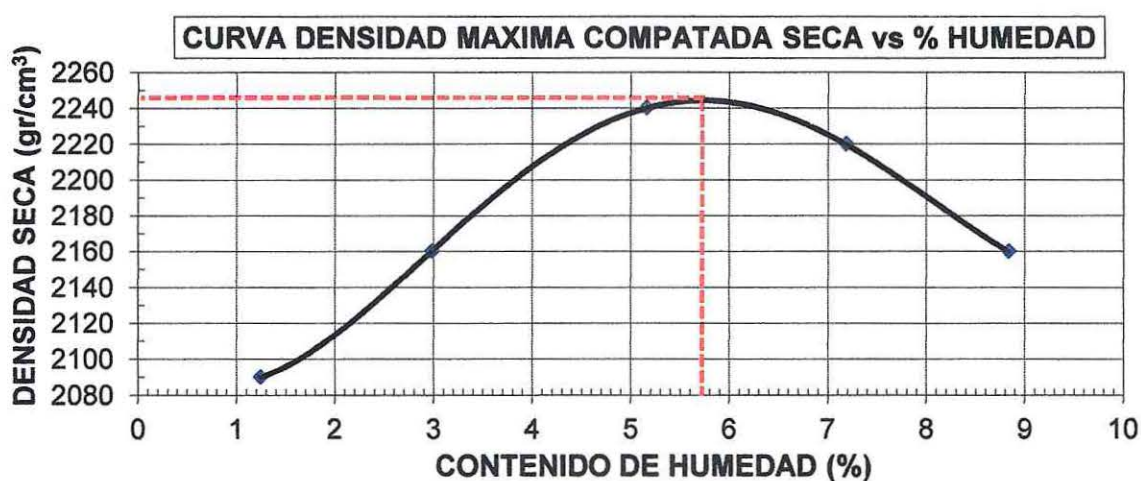


Figura 4.14 – Curva DMCS vs Humedad

Además para poder hacer más representativos los datos del ensaye proctor, es que se confeccionó la curva de saturación, que representa la densidad seca de un suelo en estado de saturación. Esto equivale a que el volumen de los vacíos está totalmente ocupado por agua. La recta se logra por el ensaye de densidad de partículas sólidas. El procedimiento de este ensaye está estipulado en el numeral 8.102.10 del Vol. 8 del Manual de Carreteras.

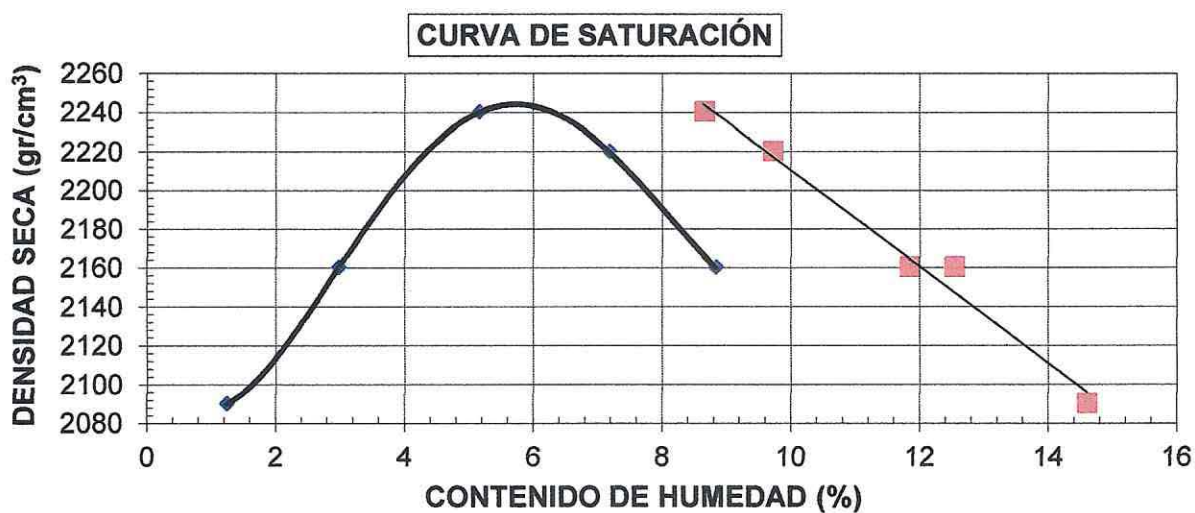


Figura 4.15 – Curva de Saturación

Los resultados del ensayo de partículas sólidas sirvieron para elaborar la curva de saturación, que según las consideraciones exponen que si la recta corta la curva de proctor, se tiene que reevaluar el ensaye por no ser representativo, pero en este caso se logro la curva y se confirma que los resultados estuvieron correctamente elaborados.

## 4.2.7 Ensaye “Razón de Soporte California (CBR)”

Si bien con el ensaye Proctor se pueden establecer los medios óptimos de compactación, es necesario además poder medir la resistencia al corte de un suelo bajo estas condiciones. Es así como con el ensaye CBR se puede encontrar la capacidad de soporte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad dadas.

El ensaye de “Razón de Soporte California CBR” se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en el numeral 8.102.11 del Vol. 8 del manual de carreteras.

El ensaye se desarrolló con material proveniente del km 19.950 y se realizó con los valores obtenidos del ensaye proctor modificado. Los datos se tabularon y luego se conformaron las curvas para cada nivel de energía de compactación.

El procedimiento dicta que se debe cortar la curva de “Carga Vs Deformación” en 2 pulgadas y obtener la carga para dicha deformación, siempre y cuando las curvas presenten un comportamiento en el que su origen sea (0,0), en caso de no presentarse este comportamiento se deberá trazar una tangente al comienzo de la curva y que ésta intercepte con el eje X. La distancia desde el origen hasta el punto de intersección será la que se le adicionará a la deformación de 2 pulg. y con la que se obtendrá la carga.

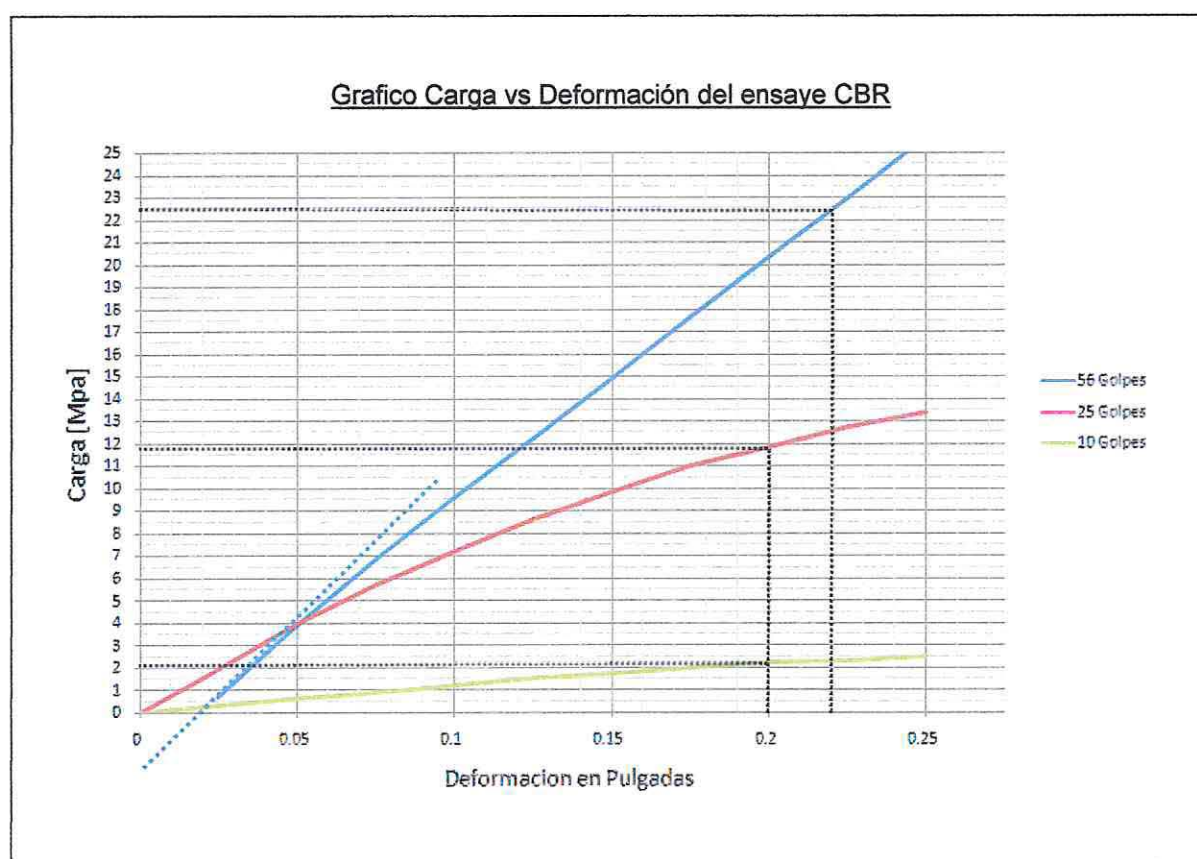


Figura 4.16 – Grafico Carga vs Deformación del ensaye CBR  
Fuente – Elaboración propia

Según este procedimiento se ensayó el material y se trazaron las curvas respectivas a 56, 25 y 10 golpes para posteriormente obtener la carga asociada a cada nivel de energía de compactación.

Como se puede apreciar en el gráfico 4.16, para los niveles de energía de 10 y 25 golpes las curvas se comportaron normales, pudiendo encontrar las cargas representativas para una deformación de 2 pulg. Sin embargo para 56 golpes se observó una curva desplazada en 0.02 pulg., lo que indica que la obtención de la carga debía hacerse desplazándose dicha distancia.

Una vez realizado este procedimiento se encontraron los valores de carga de 21 [Mpa] para 56 golpes, 11,8 [Mpa] para 25 golpes y 2,2 [Mpa] para 10 golpes.

De acuerdo al procedimiento del ensaye, con los valores de cargas encontrados, se obtuvieron los porcentajes de soporte para cada nivel de energía de compactación, los cuales dieron:

- 202 % para 56 golpes
- 115 % para 25 golpes
- 21 % para 10 golpes

Con estos valores se confeccionó la curva de CBR vs DMCS, la cual establece el valor de capacidad de soporte del material. Este valor se obtendrá de acuerdo al 95 % de la DMCS que se obtuvo en el ensaye de proctor modificado. El valor al 95% correspondería a 2134 [Kg/cm<sup>3</sup>].

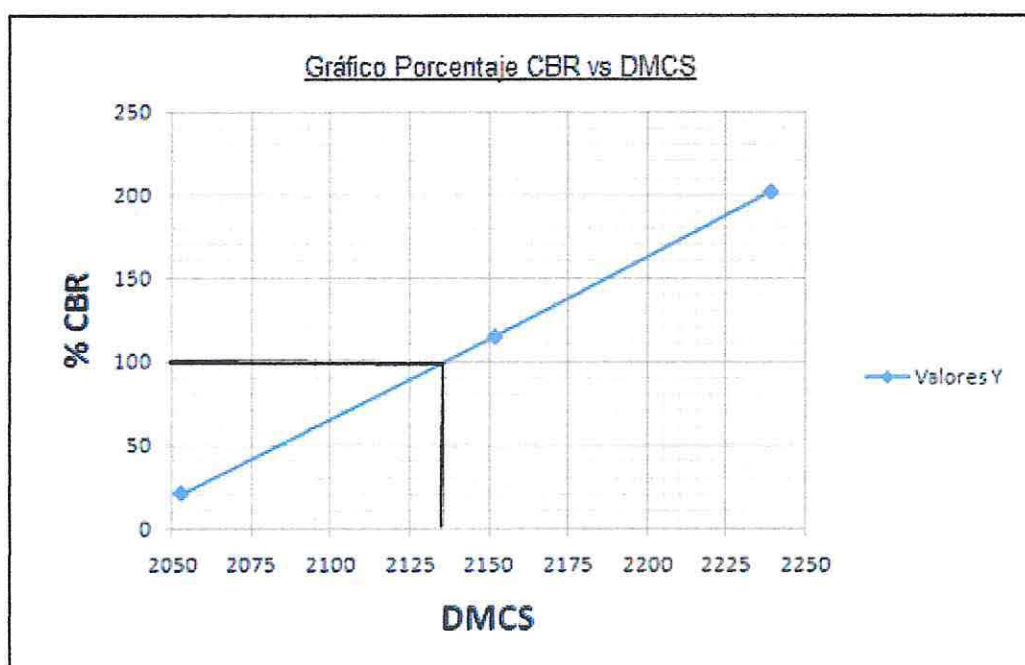


Figura 4.17 – Gráfico Porcentaje CBR vs DMCS  
Fuente – Elaboración propia

De acuerdo al gráfico se puede observar que según el 95 % de la DMCS, el CBR del material sería del 100 %.

#### **4.2.8 Ensaye “Sales Solubles”**

Este método establece el procedimiento analítico de cristalización para determinar el contenido de cloruros y sulfatos solubles en agua de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. Este método es aplicable en controles de obras, debido a la rapidez de visualización y cuantificación de contenido de sales.

El procedimiento de ensaye es el que establece el Manual de Carreteras en su numeral 8.202.14 del Vol. 8. De acuerdo con los datos obtenidos en el procedimiento, se obtiene que el material está exento de sales.

### 4.3 Ensayes realizados a la sub – rasante de la ruta G-84

#### 4.3.1 Ensaye “Granulométrico”

El muestreo del material de la sub-rasante se obtuvo cada 1 kilómetro, obteniéndose de los mismos puntos de donde se obtuvo el material para Proctor y CBR. Se comenzó por el kilometraje 18.700 y se fue avanzado cada 1 kilómetro en forma sucesiva. Se hizo en base a los mismos procedimientos antes mencionados, salvo que esta vez se hizo una apreciación visual más detallada al material, ya que al ser retirado, el color, olor y dureza del material cambiaban según su ubicación.

Los datos granulométricos fueron tabulados y comparados en el siguiente gráfico:

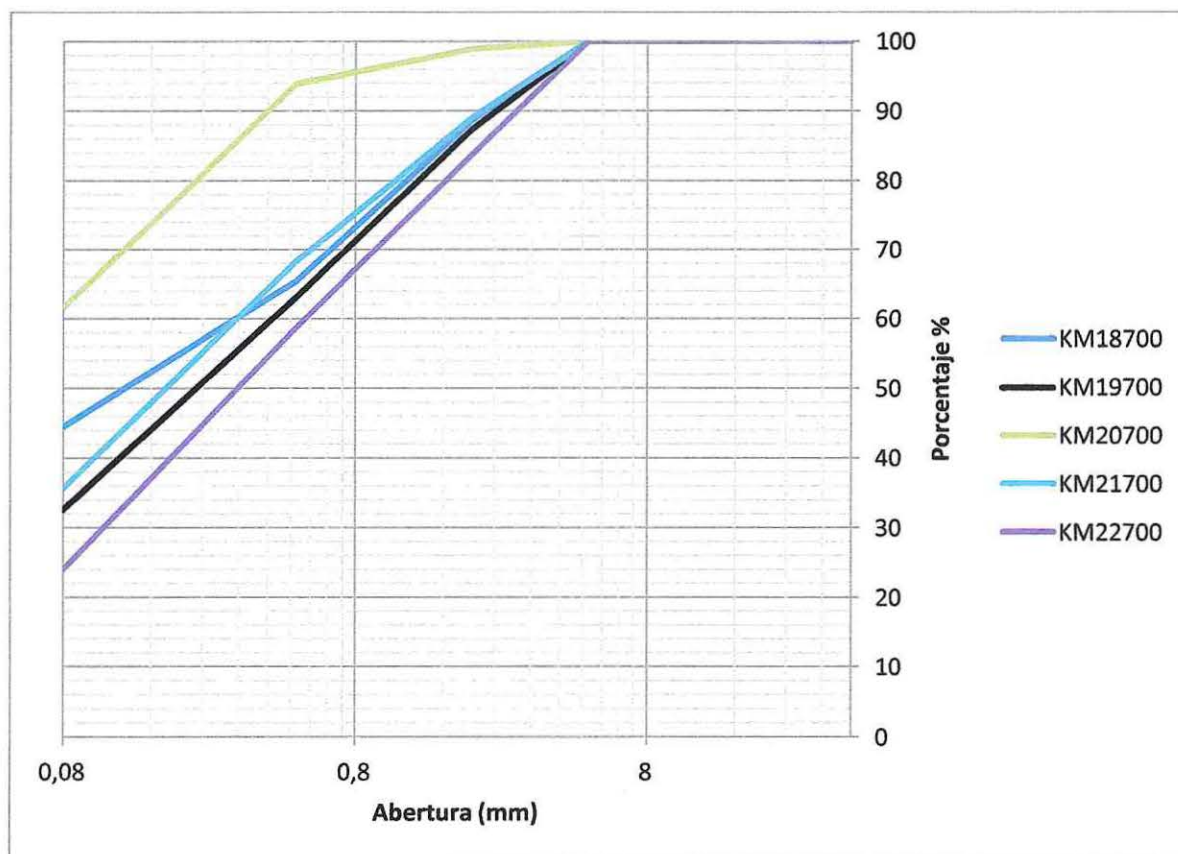


Figura 4.18 – Comportamiento granulométrico de la sub – rasante de la ruta G-84  
Fuente – Elaboración propia

### 4.3.2 Ensayes de “Límite Líquido” e “Índice de Plasticidad”

El material se ensayó con los mismos procedimientos antes mencionados. El material se obtuvo de los ensayos granulométricos y se le aplicaron los respectivos ensayos, dando como resultado los siguientes valores.

Tabla 4.7 – Resultados de Índices de plasticidad de la sub – rasante para los distintos kilometrajes

KILOMETRO	18.700	19.700	20.700	21.700	22.700
LL	23,8	24,6	22,8	30,2	27,7
LP	17,8	17,3	17,4	16,2	16,9
IP	6	7	5	14	11

### 4.3.2 Clasificación del Material

La clasificación del material se hizo en base al método SUCS, y se ocuparon los datos obtenidos del ensayo granulométrico y el índice de plasticidad. La clasificación obtenida se tabula a continuación.

Tabla 4.8 – Clasificación del material de la sub – rasante de la ruta G-84

KILOMETRO	18.700	19.700	20.700	21.700	22.700
SUCS	SM-SC	SM-SC	CH-MH	SC	SC

Según los datos mostrados, se puede apreciar que la conformación de la sub-rasante en los primeros kilómetros (18.700 – 19.700), se caracteriza por ser un suelo arenoso con alto contenidos de arcilla, como también de limo. El kilometro 20.700 es un suelo de peor calidad, ya que según los datos, *contiene un alto porcentaje de finos que pasan por la malla #200, que de acuerdo a la clasificación se trataría de una arcilla o limo de alta plasticidad.* La última extensión de la ruta, del kilometro 21.700 – 22.700, muestra que el material de la sub-rasante estaría conformado por una arena arcillosa.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 5.1 Evaluación de la carpeta granular de la ruta G-84

La carpeta de rodadura de la ruta G-84 mostró un comportamiento bastante bueno a pesar de las condiciones climáticas y de carga por tránsito a las que está expuesta. Si bien presenta visualmente una homogeneidad en todo el trazado, existen lugares donde se puede apreciar que la gran mayoría de los áridos (finos y gruesos) se han ido transportando por acción de las precipitaciones y de las pronunciadas pendientes que presenta. Este fenómeno se ve disminuido por las obras de saneamiento y obras de arte que presenta la ruta, sin embargo la exposición continua a las precipitaciones podrían generar que el espesor de la base disminuya en forma paulatina, aumentando los esfuerzos en la sub-rasante y en consecuencia la estructura del pavimento sufra desniveles considerables en el tiempo.

Aunque esta afirmación se hizo en forma visual, se pudo analizar con más detalle en los resultados granulométricos. En los gráficos del capítulo 4, se observó diferencias en los porcentajes de finos, los cuales variaron de acuerdo a las pendientes de la ruta de donde se obtuvieron. Estas diferencias pueden ser asociadas al escurrimiento del agua, el cual trasladó los finos de un lugar a otro dejando la *capa de rodadura con una menor cohesión*.

Este lavado de la capa produjo un debilitamiento, el cual se vio reflejado por el paso del tránsito, donde las ruedas de los vehículos produjeron que los áridos gruesos se fueran desprendiendo fácilmente, disminuyendo el espesor de la base.

Este fenómeno se va provocando en forma gradual y afecta en forma directa los lugares donde se encuentran las *mayores diferencias de pendientes*. Si bien esta *conclusión se hizo en base a la observación y análisis de los ensayos realizados*, se pudo tener una comprensión mayor cuando se realizó el muestreo del material de la sub-rasante, donde se midió la profundidad a la que se encontraba obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 5.1 – Profundidad de la sub – rasante de cada kilómetro.

KILÓMETRO	Profundidad Sub-rasante (cm)
18.700	27
19.700	27
20.700	16
21.700	29
22.700	24

En la tabla 5.1 se observa que el kilómetro 20.700 es el más afectado por la pérdida de áridos, ya que en comparación a los otros kilómetros la variación alcanza casi un 50 % con respecto al valor más alto. La apreciación del lugar donde se obtuvo la muestra queda mejor representada por la imagen satelital, en la cual se puede observar que la zona afectada esta justo en un lugar de transición de la geografía local, en donde se genera una quebrada de alta pendiente y en la cual se inserta la vía.



Figura 5.1 – Foto Satelital de lugar de obtención de Sub – rasante de zona de estudio.

## 5.2 Evaluación del comportamiento mecánico de la carpeta granular de la ruta G-84

El comportamiento que mostró la carpeta granular de la ruta G-84 fue bastante homogéneo de acuerdo a los ensayos realizados. Las granulometrías en los puntos establecidos se mantuvieron dentro de la bandas TM-50a para pavimentos rígidos, y además se determinó que el material no contenía plasticidad en toda la extensión. Con estos datos se pudo clasificar la carpeta granular concluyéndose que en la totalidad de la extensión se encontraba el mismo material.

Esta conclusión pudo establecer que las propiedades mecánicas se mantendrían semejantes pues al tratarse de un mismo tipo de suelo, este podría ser agrupado y ensayado con algunos criterios de elección antes mencionados. Estos criterios se basaron en el análisis previo de algunos resultados observados en la granulometría, eligiéndose el punto más representativo de acuerdo al ensaye.

Otros ensayos, como el desgaste de los ángeles, se tuvieron criterios de selección en base al promedio de los índices asociados a cada punto. Eligiéndose el material más cercano a dicho valor.

Los valores de cada ensayo se encuentran tabulados en la tabla 5.2, en la cual se observa que el material cumple con los requisitos mínimos de sub-bases para pavimentos rígidos del manual de carreteras.

Tabla 5.2 – Resultado y comparación de acuerdo a ensayos realizados y exigencia planteada por M.C. para sub-bases de pavimentos rígidos.

ENSAYE	EXIGENCIA	ENSAYADO
Límite líquido	Max. 25%	No Plástico
Índice de plasticidad	Max. 6%	No Plástico
Desgaste de los ángeles	Max. 35%	12%
Sales Solubles	Max. 4%	Sin Sales
Poder de Soporte (CBR)	Min. 50% (Medido al 95% de la DMCS)	100%

### 5.3 Retro análisis de diseños de la carpeta granular

Según lo mencionado anteriormente, las condiciones en las cuales se encuentra la ruta G-84 son de una variabilidad considerable en el espesor de la carpeta granular. Esta diferencia provoca una reducción en los ejes equivalente soportantes que puede resistir la vía, disminuyendo su vida útil.

A continuación se propone evaluar el comportamiento de la actual carpeta granular de la ruta. Esto se logra haciendo un retro análisis de diseño, en las que se incluirán las formulas propuestas por AASHTO, las que fueron mencionadas en el capítulo 2.

Según la ecuación 2.1, se pueden obtener los ejes equivalentes soportantes del camino, incluyendo el número estructural, el cual se obtuvo con los datos medidos en terreno. Además se consideró un tratamiento superficial colocado directamente sobre la superficie de rodado, el cual no aportaría estructura ni espesor. Los coeficientes estructurales que se adoptaron fueron los que aporta la capa granular. Los demás parámetros, como confiabilidad y serviciabilidad, se mantuvieron iguales para cada kilometraje.

Como se observó en los ensayos realizados, el tipo de suelo de la sub – rasante va cambiando. De acuerdo a la clasificación del material se hizo una estimación del valor CBR. Según la tabla del anexo A.6, los valores adoptados se tomaron como el promedio de ellos. Con los parámetros definidos se evaluó el aporte que hace el camino en cada uno de los kilometrajes, dando como resultado los datos que se incluyen en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 – Ejes equivalentes soportantes de la carpeta granular de la ruta G-84

KILOMETRAJE	Clasificación	CBR (%)	MR	H (cm)	NE (mm)	$\beta$	Ejes Equivalentes Soportantes (EE)
18.700	SM - SC	20	110	28	51	4,0	648.016
19.700	SM - SC	20	110	27	49	4,5	517.130
20.700	CH-MH	4	43	16	29	21,3	3.122
21.700	SC	10	77	29	53	3,6	354.165
22.700	SC	10	77	24	44	6,5	111.317

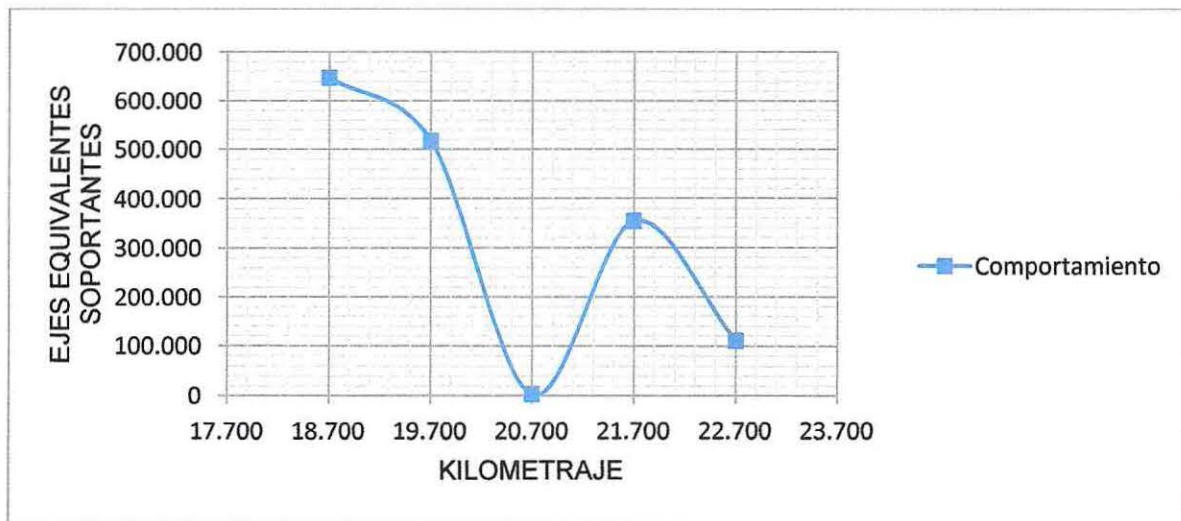


Figura 5.2 – Comportamiento de los EE soportantes de la carpeta granular de la ruta G-84.

Según lo observado en el gráfico, la diferencia de espesor de la carpeta granular hace que los ejes equivalentes soportantes tengan diferencias muy grandes en los distintos puntos del camino. Esta disminución tiene además una relación directa con el tipo de suelo que conforma la sub-rasante, según el estrato, la estimación del CBR contempla grandes variaciones de un punto a otro.

Si bien el retro análisis de los ejes equivalentes soportantes se hizo colocando un pavimento del tipo tratamiento superficial, el que no aportaría estructura ni espesor, es importante comparar el diseño típico que se hace para este tipo de solución.

Usualmente la vida útil que tienen estas soluciones está entre los 5 y 10 años. Con los datos obtenidos en la estimación del tránsito, calculados en el capítulo 3, se pudo proyectar el tránsito para dichos periodos. Si se compara esa información con los ejes solicitantes soportantes, se visualiza que el kilometro 18,700 se acerca a los EE proyectados para 7 años.

Si incluimos esta información dentro de los cálculos de diseño de las ecuaciones de Morin – Todor, podemos calcular si la capa granular actual junto con la sub-rasante son aptas para resistir los EE proyectados.

Ocupando los mismos parámetros de la sub – rasante, espesores de las capas y el tránsito proyectado, se pueden obtener el índice estructural junto con los espesores mínimos asociados a cada kilometraje.

Tabla 5.4 – Diseño de espesor mínimo según calculo de Morin - Todor.

Morin - Todor		
Kilometraje	Espesor Actual (mm)	Espesor mínimo de diseño (mm)
18,700	280	191
19,700	270	191
20,700	160	407
21,700	290	284
22,700	240	284

Como se observa en la tabla 5.4, el kilómetro 20.700 y el 22.700, no cumplen con los espesores mínimos de diseño. Esto se debe principalmente a que esos puntos son aquellos que tienen los valores más bajos de ejes equivalentes soportantes.

Si bien las ecuaciones plantean un espesor mínimo, también deben cumplir con un índice estructural (IE) requerido. Ocupando las tablas del Anexo A.5 para los respectivos coeficientes estructurales y además de los espesores de cada kilometraje, se calculan los IE de los puntos seleccionados.

De acuerdo con la información provista de la tabla 5.5 se puede ver que nuevamente los puntos 20.700 y 22.700 no cumplen con las exigencias requeridas del diseño.

Tabla 5.5 – Índice estructural admisible y requerido según calculó por Morin - Todor.

Morin - Todor						
KILOMETRAJE	Coef. Estructural Sub - Rasante	Coef. Estructural Base	Espesor Base	Espesor Sub - Rasante	IE Total (mm)	IE (mm) requerido
18,700	0.481	1.394	280	400	583	444
19,700	0.481	1.394	270	400	569	444
20,700	0.020	1.394	160	400	231	444
21,700	0.212	1.394	290	400	489	444
22,700	0.212	1.394	240	400	419	444

Con esto se puede concluir que el CBR de la sub – rasante incide directamente en el espesor que tendrá la capa granular, ya que el espesor mínimo requerido variará de acuerdo al valor representativo que se le asocie.

Además como los espesores de las capas no eran constantes, afectaron directamente en los cálculos de índices estructurales totales, provocando que no se cumplan los requisitos mínimos de diseño.

*Si bien los demás kilometrajes se mantuvieron dentro de los cálculos y así soportar un tránsito de 700.000 EE, se podría suponer que todos los kilometrajes soportaran el tránsito, es necesario que la capa granular del km 20.700 deba aumentar considerablemente su espesor. Según la tabla 5.4 el espesor de la capa debe ser de más de 40 cm para que se pueda dar soporte al tránsito existente. No obstante se debería tener una consideración especial, debido a que sí el espesor de la capa granular fuera de 40 cm, el CBR de la sub – rasante incidiría en el comportamiento del espesor mínimo, provocando que el diseño estuviera siempre al límite de lo proyectado.*

Este problema se podría solucionar extrayendo el terreno no apto, para poder rellenarlo con un material de un CBR de mejor calidad para sub-rasante, aumentando las capacidades mecánicas del terreno para poder resistir el tránsito proyectado.

Cabe destacar que estas consideraciones fueron planteadas para poder observar cómo se comportaría la actual carpeta granular, colocando un pavimento flexible directamente sobre el terreno actual. Sin embargo el proyecto original planteado en el capítulo 3, incluye una capa granular de 20 cm con CBR 100 %, colocada directamente encima de la actual carpeta, Diseño que en primera instancia podría dar solución a la mayoría de los kilómetros de la ruta, pero que no ofrecería solución al problema que se genera en el km 20.700.

Para el capítulo 6, referente a los costos y conservación, se incluirá en los análisis trabajar solamente con las consideraciones que estableció el proyecto original, abordando además la repercusión económica de su puesta en marcha.

## 5.4 Diseño de espesor de losas con geometría optimizada

Para que los pavimentos rígidos puedan ser competitivos con los tratamientos superficiales, se debe recurrir a una metodología que consiga innovar los diseños actuales, y que pueda mejorar tanto el diseño como los costos.

El sistema TCP (*Thin Concrete Pavement*) consiste en optimizar el espesor de los pavimentos considerando la ubicación relativa de las cargas de las ruedas, con la geometría de las losas del pavimento, donde el principio es: a cada losa sólo la cargue un set de ruedas.

Los cálculos para el diseño se ejecutaron utilizando el sistema de diseño TCP, que se basa en los análisis de elementos finitos con el software ISLAB 2000, especial para el análisis de pavimentos de caminos apoyados en el suelo. Este programa funciona considerando las mismas ecuaciones planteadas en el capítulo 2, y se consideraron para el pavimento las siguientes variables:

Las variables utilizadas para el diseño fueron las siguientes:

- Las solicitaciones de tránsito consideradas fueron de EE: 700.000
- La propiedad del suelo natural se tomó como MR: 80 MPa
- La condición de borde se considero berma granular
- Las propiedades del hormigón fueron: H35 (80) 40, a 28 días con 1 MPa de resistencia residual según ASTM 1609-10
- Módulo de elasticidad del hormigón de 29.000 MPa
- Coeficiente de retracción térmica  $1 \times 10^{-5}$  1/C°
- Retracción hidráulica del hormigón: 600 micrones a 90 días.
- Largo de losas de hormigón: 175 cm
- Confiabilidad de 80 % de pavimentos
- Porcentaje de losas con fisura al término de la vida de diseño: 80 %
- Sello de juntas : No
- Barra de traspaso de carga: En juntas de construcción
- Barras de amarre: No

Estos tipos de pavimentos están diseñados para funcionar fisurados, es por esto que el umbral de diseño es de un 50 %. Esto es posible principalmente a la incorporación de fibras que mantienen las fisuras cerradas. Este umbral no significa que el pavimento pierda su serviciabilidad requerida, sino que tiene un 50 % de losas con 1 fisura.

El análisis contempla daño por erosión de la base, lo que podría disminuir la vida útil del pavimento, dependiendo de las condiciones climáticas del lugar.

Para los cálculos se estimaron 3 espesores de losas, los cuales se evaluaron de acuerdo a las consideraciones antes mencionadas. Además se evaluó el comportamiento de las losas aplicando las cargas en distintos puntos, generando un gráfico de comportamiento para los distintos espesores.

### Primer Espesor de 8 cm

De acuerdo a la figura 5.3, el primer espesor de losa tanteado fué de 8 cm, en donde se observa que a los 2 años de uso las losas experimentarían un 50 % de agrietamiento, y cerca de los 5 años el porcentaje de losa agrietada sería del 100 %

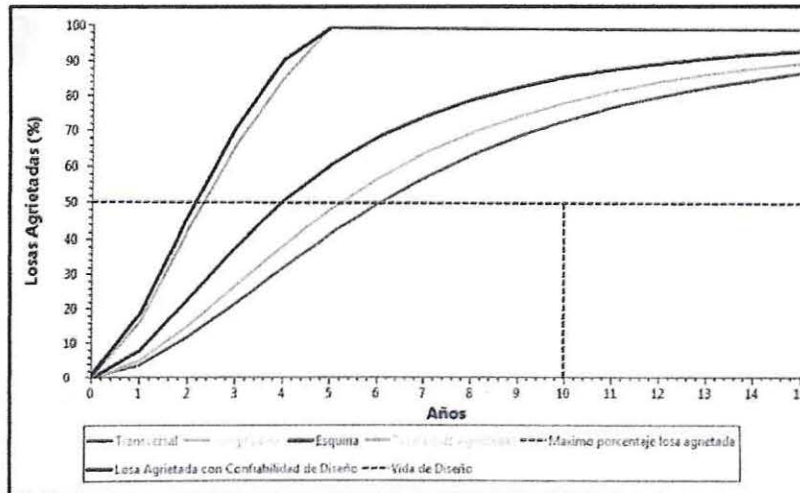


Figura 5.3 – Gráfico Losas Agrietadas vs Vida útil proyectada de pavimento con 8 cm de espesor.  
Fuente: Elaboración proporcionada por TCPavements

### Segundo Espesor de 9 cm

De acuerdo a la figura 5.4, el segundo espesor de losa tanteado fue de 9 cm, en donde se observa que a los 5 años de uso las losas experimentarían un 50 % de agrietamiento, y a los 10 años el porcentaje de losa agrietada sería del 100 %

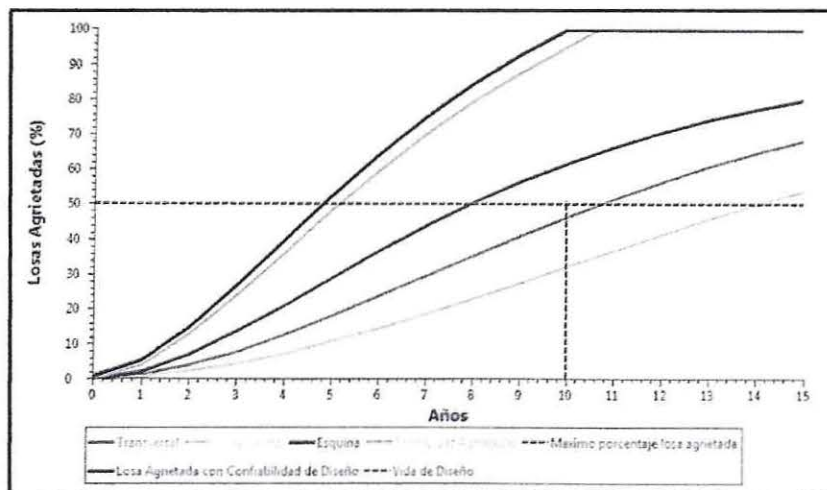


Figura 5.4 – Gráfico Losas Agrietadas vs Vida útil proyectada de pavimento con 9 cm de espesor.  
Fuente: Elaboración proporcionada por TCPavements

### Tercer Espesor de 10 cm

De acuerdo a la figura 5.5, el tercer espesor de losa tanteado fue de 10 cm, en donde se observa que pasados los 10 años, recién se alcanzaría el 50 % de losas agrietadas.

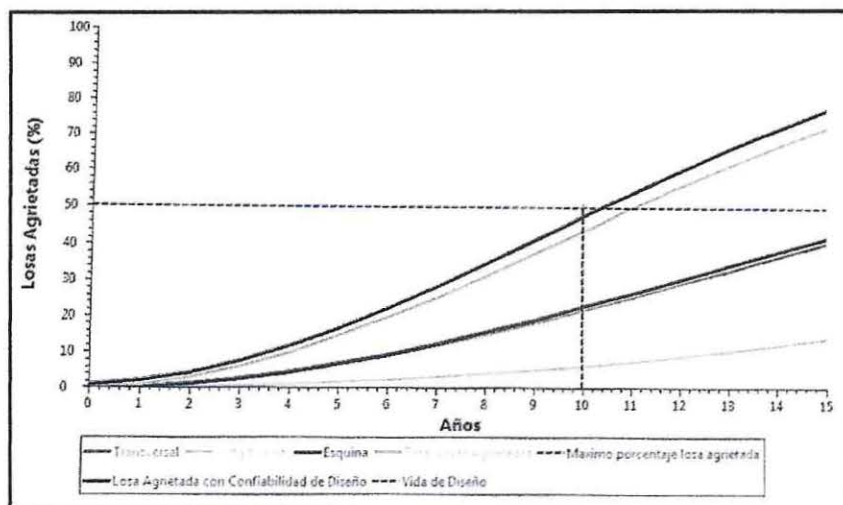


Figura 5.5 – Gráfico Losas Agrietadas vs Vida útil proyectada de pavimento con 10 cm de espesor.  
Fuente: Elaboración proporcionada por TCPavements

De acuerdo a los gráficos, el comportamiento que presentaron los distintos espesores de losas fue muy variable con tan sólo aumentar 1 cm el espesor. Dentro del diseño esta diferencia no es tan significativa pero en términos de costos puede llegar a serlo.

Para que esta solución pueda competir con los tratamientos superficiales se elegirá el espesor de 9 cm, debido a que se observó, dentro de los 5 a 10 años es donde se presentará el mayor aumento de losas agrietadas, por lo que su comportamiento, en términos de daño, será muy parecido a la solución asfáltica.

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE COSTOS

#### 6.1 Evaluación de las distintas alternativas

##### 6.1.1 Costos en los Pavimentos

Hace un par de años se ha estado investigando sobre nuevas alternativas que puedan hacer que los pavimentos rígidos sean más competitivos sobre las típicas soluciones asfálticas. Este trabajo de título implicó a que se reevaluaran los típicos diseños, y se modifican las actuales normas. Si bien este planteamiento generó nuevas metodologías cómo diseñar un pavimento rígido, también cambió el concepto económico que se tenía sobre él mismo.

La nueva innovación de pavimentos rígidos pudo adelgazar las losas de hormigón, resistiendo las mismas solicitaciones pero con un menor espesor. Este sencillo cambio puso en marcha una serie de cuestionamientos constructivos, lo que repercutieron directamente en lo económico.

Los costos de los pavimentos involucran criterios técnicos y económicos, el análisis económico provee una sólida base para la evaluación de opciones factibles de diseño, y para identificar aquella que sea más rentable en la construcción y mantenimiento. Este es el concepto general de diseño y conservación de carreteras que usualmente se logra buscar en la planeación de las alternativas.

El criterio de selección de una estructura de pavimento para una carretera o camino esta generalmente fundamentado en un análisis económico comparativo de los costos totales durante su vida útil, comúnmente llamado como "*análisis de costos del ciclo de vida*" en el que se involucran, además del costo inicial, costos de conservación, rehabilitación y los costos de operación de los vehículos.

Usualmente para realizar un análisis total, se deben incluir todos los factores antes mencionados. Cada uno de ellos representados mejor en el siguiente esquema.

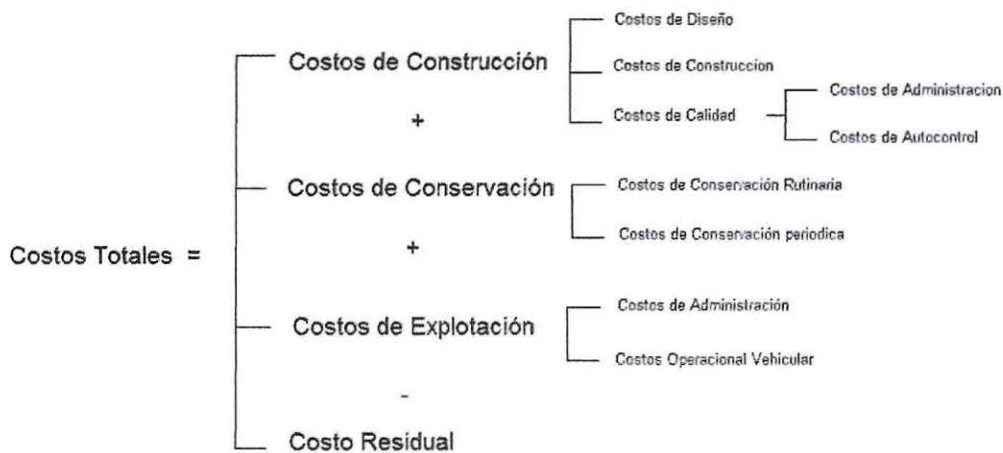


Figura 6.1 – Factores que intervienen en el análisis de costos del ciclo de vida de un pavimento.

Fuente – Elaboración propia

## 6.1.2 Consideraciones de Evaluación

Como se vió en el Capítulo 3, las alternativas planteadas para la conservación de la ruta G-84 fueron; la implementación de un doble tratamiento superficial y la utilización de losas con geometría optimizada reforzadas con fibra.

Cada una de estas alternativas fueron estudiadas de acuerdo a las diferencias que podían presentar dentro de su materialización. Si bien existen variaciones significativas que deben ser evaluadas desde el punto de vista técnico – económico, existen otros procesos que son similares para ambas soluciones. Estos procesos recaen principalmente en los trabajos de protección de la plataforma o de seguridad vial, los que usualmente están contemplados para todos los tipos de pavimentos.

Por lo anterior, se determina que para la evaluación económica solamente se consideraran los trabajos de materialización (costos de construcción), junto con sus correspondientes obras de mantenimientos (costos de conservación), ya que son los ítems que presentan mayores diferencias económicas. Los costos de explotación, se dejarán fuera del análisis al igual que el costo residual de la estructura.

La materialización se analizará de acuerdo a todas las partidas que constituyan la confección de la alternativa, esto incluye desde los procesos de preparación del área de trabajo hasta la implementación de la solución. Además se trabajará con precios unitarios representativos evaluados de la recolección de datos de distintas licitaciones hechas en la región de Valparaíso.

Las partidas que se consideraron y que constituyen la materialización de las alternativas son expresadas a continuación:

### Doble Tratamiento Superficial

- Preparación de sub – rasante
- Colocación de base granular
- Imprimación
- Aplicación del Doble tratamiento superficial

### Losas delgadas con fibras

- Preparación de sub – rasante
- Re perfilado y compactación de la Sub-base
- Colocación de hormigón con fibra
- Curado y texturizado del hormigón
- Cortes con sierra

### 6.1.3 Especificaciones de las Alternativas

#### Doble tratamiento Superficial:

La duración de los distintos trabajos fueron establecidos de acuerdo a la recopilación de información de contratos realizados por la Dirección de Vialidad. Además se incluyeron posibles atrasos en sus realizaciones, llegando a tiempos semejantes a la realidad. Dichos tiempos fueron con los que se consideraron para confeccionar el análisis de precios unitarios de cada una de las partidas.

Además se establecieron los parámetros geométricos para las cubicaciones, junto con especificaciones técnicas de acuerdo al manual de carreteras.

Las consideraciones que se incluyeron en el análisis de las cubicaciones fueron:

- Longitud: 5.450 kilómetros
- Ancho promedio: 7 metros
- Bombeo 3 %
- Base granular graduación cerrada con CBR = 100%, espesor de 0,2 metros
- Utilización de emulsión asfáltica tipo CRS-2
- Dosificación de acuerdo al manual de carreteras, que para el diseño de un doble tratamiento superficial se dejó en 3 [kg/m<sup>2</sup>] para asfalto y 30 [kg/m<sup>2</sup>] para el agregado pétreo.

Las actividades que conforman la materialización del doble tratamiento superficial se llevaron a una Carta Gantt, en la cual se muestran mejor los tiempos ocupados para las distintas partidas. De acuerdo a esa información se basaron los tiempos de utilización de las distintas maquinarias, mano de obra, combustibles y el traslado de los materiales.

OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	SEMANAS											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Preparación de la Sub-rasante	m2	37.712	■	■	■	■								
Colocación base granular graduación cerrada	m3	7.364					■	■	■	■				
Imprimación	m2	37.720											■	■
Tratamiento superficial doble	m2	37.618											■	■

Figura 6.2 – Programa cronológico de actividades para la realización de un doble tratamiento superficial.  
Fuente – Elaboración propia

### Losas con geometría optimizada con fibras:

Al igual que para la alternativa anterior, la duración de los distintos trabajos que conllevan la materialización de las losas con geometría optimizada reforzadas con fibra, fueron establecidas de acuerdo a la recopilación de antecedentes de otros contratos que se han hecho a lo largo del país.

Como ésta es una innovación nueva, se analizaron otras obras de pavimentos rígidos tradicionales que pudieran esbozar el esquema constructivo de los procesos más predominantes que conllevan su ejecución. Junto con esto se pudieron establecer precios unitarios más representativos para confeccionar el análisis de costo.

Los parámetros geométricos y técnicos adoptados se muestran a continuación:

- Longitud: 5.450 kilómetros
- Ancho promedio: 7 metros
- Bombeo: 2.5 %
- Espesor de losa: 9 cm
- Dimensiones de losas: 175 cm de ancho con 175 cm de largo
- Utilización de capa granular existente como sub – base para pavimentos rígidos
- El hormigón deberá ser confeccionado con cemento hidráulico de alta resistencia H35
- La resistencia característica mínima a la flexo compresión del hormigón será de 5.3 MPa a los 90 días, considerando una fracción defectuosa del 20 %. Además el hormigón deberá cumplir con la resistencia residual de 1,2 MPa a los 90 días.
- Barra de traspaso de carga en juntas de construcción serán de acero A44-28H, lisas, de 22 mm de diámetro y 40 cms. de longitud, espaciadas a 30 cms. entre sí
- Las juntas (transversales), deberán ser aserradas utilizando una sierra de espesor menor o igual a 2,2mm, a 1/3 del espesor de losa como mínimo
- No se incluirán sellos en las juntas

Para esta solución se creó una Carta Gantt que pudiera mostrar mejor la realización de las distintas partidas. Así se pudo cuantificar mejor el tiempo utilizado por toda la maquinaria, mano de obra y el traslado de los materiales que hagan factible la materialización de la alternativa.

OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	SEMANAS													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Preparación de la sub-rasante	m2	37.712	■	■	■	■										
Re-perfilado y compactación de sub-base	m2	37.712					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Colocación hormigón con fibra	m3	3.308								■	■	■	■	■	■	■
Curado y texturizado del hormigón	m2	37.712														
Cortes con Sierra	m2	37.712														

Figura 6.3 – Programa cronológico de actividades para la realización de losas con geometría optimizada reforzadas con fibras.

Fuente – Elaboración propia

## 6.2 Costos unitarios para las distintas alternativas

De acuerdo a la información obtenida, referente a costos unitarios utilizados en los contratos de proyectos de pavimentación de la región de Valparaíso, proporcionado por el Laboratorio de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, fueron confeccionadas las distintas integraciones de costos unitarios para ambas soluciones. En las siguientes tablas se contemplaron: equipos, combustible, mano de obra, herramientas y materiales para cada una de las partidas. Junto con lo anterior se incluyeron los costos directos e indirectos, además del impuesto (IVA) respectivo de un 19 %.

Los costos indirectos se calcularon para hacer más representativo los presupuestos finales. En ellos se contemplaron gastos generales (30%), imprevistos (4,49), utilidades (10%). Dando un total de un 44,49 % del costo directo.

### 6.2.1 Integración de los costos unitarios para un doble tratamiento superficial

- Preparación de la Sub-rasante

Tabla 6.1 – Estimación de costos unitarios para actividad de "preparación de sub – rasante" para un pavimento tipo tratamiento superficial.

Preparación Sub - Rasante					Total	
					37.712 m <sup>2</sup>	
<b>Equipo</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Hrs.	80	\$ 4.492	\$ 359.360	
	Moto niveladora	Hrs.	160	\$ 13.190	\$ 2.110.400	
	Camión Aljibe	Hrs.	160	\$ 6.828	\$ 1.092.480	
	Camión Plano	Hrs.	80	\$ 7.748	\$ 619.840	
	Cargador Frontal	Hrs.	160	\$ 9.876	\$ 1.580.160	
	Rodillo vibratorio	Hrs.	160	\$ 6.506	\$ 1.040.960	
				Total	\$ 6.819.200	
<b>Combustible</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Lt	200	\$ 676	\$ 135.200	
	Moto niveladora	Lt	800	\$ 509	\$ 407.200	
	Camión Aljibe	Lt	600	\$ 509	\$ 305.400	
	Camión Plano	Lt	200	\$ 509	\$ 101.800	
	Cargador Frontal	Lt	600	\$ 509	\$ 305.400	
	Rodillo vibratorio	Lt	800	\$ 509	\$ 407.200	
				Total	\$ 1.562.200	
<b>Mano de Obra</b>						
Número de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
8	Jomales	Hrs.	160	2500	\$ 3.200.000	
2	Paleteros	Hrs.	160	2000	\$ 640.000	
1	Topógrafo	Hrs.	80	3000	\$ 240.000	
1	Alarife	Hrs.	80	2500	\$ 200.000	
				Total	\$ 4.280.000	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 214.000	
<b>Materiales</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	-	-	-	-		
<b>COSTOS TOTALES</b>						
Costos Directos					\$ 12.975.400	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 5.772.755	
Total Neto					\$ 18.748.155	
IVA (19%)					\$ 3.562.150	
Total					\$ 22.310.305	
Valor Unitario Por m <sup>2</sup>					\$ 592	

Fuente – Elaboración propia

- Colocación de la Base Granular

Tabla 6.2 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Colocación de base granular" para un pavimento tipo tratamiento superficial.

Colocación Base Granular					Total	
					7.364 m3	
<b>Equipo</b>						
Numero de Equipos	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
1	Camioneta inspección	Hrs.	80	\$ 4.492	\$ 359.360	
2	Camión Tolva	Hrs.	160	\$ 7.473	\$ 2.391.360	
1	Camión Aljibe	Hrs.	160	\$ 6.828	\$ 1.092.480	
1	Camión Plano	Hrs.	80	\$ 7.748	\$ 619.840	
1	Moto Niveladora	Hrs.	160	\$ 13.190	\$ 2.110.400	
1	Cargador Frontal	Hrs.	160	\$ 9.876	\$ 1.580.160	
1	Rodillo vibratorio	Hrs.	160	\$ 6.606	\$ 1.056.960	
					Total	\$ 9.210.560
<b>Combustible</b>						
Numero de Equipos	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
1	Camioneta inspección	Lt	200	\$ 808	\$ 161.600	
2	Camión Tolva	Lt	340	\$ 634	\$ 431.120	
1	Camión Aljibe	Lt	600	\$ 634	\$ 380.400	
1	Camión Plano	Lt	200	\$ 634	\$ 126.800	
1	Moto Niveladora	Lt	800	\$ 634	\$ 507.200	
1	Cargador Frontal	Lt	600	\$ 634	\$ 380.400	
1	Rodillo vibratorio	Lt	800	\$ 634	\$ 507.200	
					Total	\$ 2.494.720
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Hrs. Trabajo	Costo/Unidad	Sub Total	
8	Jornales	Hrs.	160	2500	\$ 3.200.000	
2	Paleteros	Hrs.	160	2000	\$ 640.000	
1	Topógrafo	Hrs.	160	3000	\$ 480.000	
1	Alarife	Hrs.	160	2500	\$ 400.000	
1	Laboratorista	Hrs.	160	2500	\$ 400.000	
1	Ayudante de Laboratorista	Hrs.	160	2000	\$ 320.000	
					Total	\$ 5.440.000
<b>Herramientas</b>						
					5 % Mano de Obra	
					\$ 272.000	
<b>Materiales</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Base Granular CBR 100%	m3	7364	6500	\$ 47.866.000		
<b>COSTOS TOTALES</b>						
					Costos Directos	
					\$ 65.283.280	
					Costos Indirectos (44,49% de CD)	
					\$ 29.044.531	
					Total Neto	
					\$ 94.327.811	
					IVA (19%)	
					\$ 17.922.284	
					Total	
					\$ 112.250.095	
					Valor Unitario Por m3	
					\$ 15.021	

Fuente – Elaboración propia

- Imprimación

Tabla 6.3 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Imprimación" para un pavimento tipo tratamiento superficial.

Imprimación					Total	
					37.720 m2	
Equipo						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Camioneta de inspección	Hrs.	24	\$ 4.492	\$ 107.608		
Camión Asfaltero	Hrs.	48	\$ 24.784	\$ 1.189.632		
			Total	\$ 1.297.440		
Combustible						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Camioneta de inspección	Lt.	50	\$ 808	\$ 40.400		
Camión Asfaltero	Lt.	170	\$ 634	\$ 107.780		
			Total	\$ 148.180		
Mano de Obra						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
4	Ayudantes Camión Asfalto	Hrs.	48	2000	\$ 384.000	
2	Paleteros	Hrs.	48	1500	\$ 144.000	
1	Laboratorista	Hrs.	48	2500	\$ 120.000	
1	Ayudante de Laboratorista	Hrs.	48	2000	\$ 96.000	
			Total	\$ 744.000		
Herramientas						
5 % Mano de Obra					\$ 37.200	
Materiales						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Asfalto Cortado MC-30	Ton	50	\$ 629.510	\$ 31.475.500		
COSTOS TOTALES						
Costos Directos					\$ 33.702.320	
Costos indirectos (44,49% de CD)					\$ 14.994.162	
Total Neto					\$ 48.696.482	
IVA (19%)					\$ 9.252.332	
Total					\$ 57.948.814	
Valor Unitario Por m2					\$ 1.536	

Fuente – Elaboración propia

- Colocación del Doble tratamiento superficial

Tabla 6.4 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Colocación de doble tratamiento superficial" para un pavimento tipo tratamiento superficial.

Colocación del Doble Tratamiento Superficial					Total	
					37.618 m2	
<b>Equipo</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Camioneta de inspección	Hrs.	40	\$ 4.492	\$ 179.680		
Rodillo Vibratorio	Hrs.	80	\$ 6.606	\$ 528.480		
Camión Plano	Hrs.	40	\$ 7.748	\$ 309.920		
Camión Asfaltero	Hrs.	80	\$ 24.784	\$ 1.982.720		
Camión Tolva	Hrs.	160	\$ 7.473	\$ 1.195.680		
Cargador Frontal	Hrs.	80	\$ 9.867	\$ 789.360		
Rodillo Neumático	Hrs.	80	\$ 11.076	\$ 886.080		
Gravilladora	Hrs.	80	\$ 33.708	\$ 2.696.640		
				Total	\$ 8.568.560	
<b>Combustible</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Camioneta de inspección	Lt	100	\$ 808	\$ 80.800		
Rodillo Vibratorio	Lt	400	\$ 634	\$ 253.600		
Camión Plano	Lt	100	\$ 634	\$ 63.400		
Camión Asfaltero	Lt	320	\$ 634	\$ 202.880		
Camión Tolva	Lt	340	\$ 634	\$ 215.560		
Cargador Frontal	Lt	300	\$ 634	\$ 190.200		
Rodillo Neumático	Lt	400	\$ 634	\$ 253.600		
Gravilladora	Lt	320	\$ 634	\$ 202.880		
				Total	\$ 1.462.920	
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Hrs. Trabajo	Costo/Unidad	Sub Total	
6	Jornales	Hrs.	80	\$ 2.000	\$ 960.000	
2	Paleteros	Hrs.	80	\$ 1.500	\$ 240.000	
1	Laboratorista	Hrs.	80	\$ 2.500	\$ 200.000	
1	Ayudante de Laboratorista	Hrs.	80	\$ 2.000	\$ 160.000	
				Total	\$ 1.560.000	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 78.000	
<b>Materiales</b>						
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total		
Gravilla 3/8	m3	500	\$ 14.875	\$ 7.437.500		
Gravilla 3/4	m3	500	\$ 14.875	\$ 7.437.500		
Emulsión Asfáltica CRS-2	Ton	115	\$ 522.870	\$ 60.130.050		
				Total	\$ 75.005.050	
<b>Valor Unitario</b>						
Costos Directos					\$ 86.674.530	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 38.561.498	
Total Neto					\$ 125.236.028	
IVA (19%)					\$ 23.794.845	
Total					\$ 149.030.874	
Valor Unitario Por m2					\$ 3.962	

Fuente – Elaboración propia

## 6.2.2 Integración de los costos unitarios para losas delgadas con fibra

- Preparación de la Sub-rasante

Tabla 6.5 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Preparación sub – rasante" para un pavimento de losas con geometría optimizada.

Preparación Sub - Rasante					Total	
					37.712 m2	
<b>Equipo</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Hrs.	80	\$ 4.492	\$ 359.360	
	Moto niveladora	Hrs.	160	\$ 13.190	\$ 2.110.400	
	Camión Aljibe	Hrs.	160	\$ 6.828	\$ 1.092.480	
	Camión Plano	Hrs.	80	\$ 7.748	\$ 619.840	
	Cargador Frontal	Hrs.	160	\$ 9.876	\$ 1.580.160	
	Rodillo vibratorio	Hrs.	160	\$ 6.606	\$ 1.056.960	
	Total				\$ 6.819.200	
<b>Combustible</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Lt	200	\$ 676	\$ 135.200	
	Moto niveladora	Lt	800	\$ 509	\$ 407.200	
	Camión Aljibe	Lt	600	\$ 509	\$ 305.400	
	Camión Plano	Lt	200	\$ 509	\$ 101.800	
	Cargador Frontal	Lt	600	\$ 509	\$ 305.400	
	Rodillo vibratorio	Lt	800	\$ 509	\$ 407.200	
	Total				\$ 1.662.200	
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
8	Jornales	Hrs.	160	\$ 2.500	\$ 3.200.000	
2	Paleteros	Hrs.	160	\$ 2.000	\$ 640.000	
1	Topógrafo	Hrs.	80	\$ 3.000	\$ 240.000	
1	Alarife	Hrs.	80	\$ 2.500	\$ 200.000	
	Total				\$ 4.280.000	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 214.000	
<b>Materiales</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	-	-	-	-		
<b>COSTOS TOTALES</b>						
Costos Directos					\$ 12.975.400	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 5.772.755	
Total Neto					\$ 18.748.155	
IVA (19%)					\$ 3.562.150	
Total					\$ 22.310.305	
Valor Unitario Por m2					\$ 592	

Fuente – Elaboración propia

- Re-perfilado y compactación de sub – base.

Tabla 6.6 – Estimación de costos unitarios para actividad de “Re perfilado y compactación de sub – base” para un pavimento de losas con geometría optimizada.

Re perfilado y compactación de Sub - Base		Total			
		37.712 m2			
<b>Equipo</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
Camioneta inspección	Hrs.	40	\$ 4.492	\$ 179.680	
Moto niveladora	Hrs.	80	\$ 13.190	\$ 1.055.200	
Camión Aljibe	Hrs.	80	\$ 6.828	\$ 546.240	
Camión Plano	Hrs.	40	\$ 7.748	\$ 309.920	
Cargador Frontal	Hrs.	80	\$ 9.876	\$ 790.080	
Rodillo vibratorio	Hrs.	80	\$ 6.606	\$ 528.480	
			Total	\$ 3.409.600	
<b>Combustible</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
Camioneta inspección	Lt	100	\$ 676	\$ 67.600	
Moto niveladora	Lt	400	\$ 509	\$ 203.600	
Camión Aljibe	Lt	300	\$ 509	\$ 152.700	
Camión Plano	Lt	100	\$ 509	\$ 50.900	
Cargador Frontal	Lt	300	\$ 509	\$ 152.700	
Rodillo vibratorio	Lt	400	\$ 509	\$ 203.600	
			Total	\$ 831.100	
<b>Mano de Obra</b>					
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total
8	Jornales	Hrs.	80	\$ 2.500	\$ 1.600.000
2	Paleteros	Hrs.	80	\$ 2.000	\$ 320.000
1	Topógrafo	Hrs.	40	\$ 3.000	\$ 120.000
1	Alarife	Hrs.	40	\$ 2.500	\$ 100.000
			Total	\$ 2.140.000	
<b>Herramientas</b>					
5 % Mano de Obra				\$ 107.000	
<b>Materiales</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
-	-	-	-		
<b>COSTOS TOTALES</b>					
Costos Directos				\$ 6.487.700	
Costos Indirectos (44,49% de CD)				\$ 2.886.378	
Total Neto				\$ 9.374.078	
IVA (19%)				\$ 1.781.075	
Total				\$ 11.155.152	
Valor Unitario Por m2				\$ 296	

Fuente – Elaboración propia

- Colocación hormigón con fibra

Tabla 6.7 – Estimación de costos unitarios para actividad de “Colocación de hormigón con fibra” para un pavimento de losas con geometría optimizada.

Colocación Hormigón con Fibra					Total	
					3308	m3
<b>Equipo</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Hrs.	120	\$ 4.492	\$ 539.040	
	Cercha Vibradora	Hrs.	240	\$ 3.154	\$ 756.960	
	Moldaje Pavimento	Hrs.	240	\$ 5.214	\$ 1.251.360	
				Total	\$ 2.547.360	
<b>Combustible</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Camioneta inspección	Lt	300	\$ 676	\$ 202.800	
				Total	\$ 202.800	
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
3	Ayudante Pavimentadora	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 1.800.000	
2	Ayudante Terminación	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 1.200.000	
3	Jornales	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 1.800.000	
2	Paleteros	Hrs.	240	\$ 2.000	\$ 960.000	
				Total	\$ 5.760.000	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 288.000	
<b>Materiales</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Hormigón H35, e = 9 cm	m3	3308	\$ 47.279	\$ 156.398.932	
	Fibra Estructural	Kg	3308	\$ 3.723	\$ 12.315.684	
	Acero A44-28H 22mm lisas	m	25067	\$ 613	\$ 15.366.071	
				Total	\$ 184.080.687	
<b>COSTOS TOTALES</b>						
Costos Directos					\$ 192.878.847	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 85.811.799	
Total Neto					\$ 278.690.646	
IVA (19%)					\$ 52.951.223	
Total					\$ 331.641.869	
Valor Unitario Por m3					\$ 100.254	

Fuente – Elaboración propia

- Curado y texturizado

Tabla 6.8 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Curado y texturizado" para un pavimento de losas con geometría optimizada.

<b>Curado y Texturizado</b>					Total	
					37.712 m2	
<b>Equipo</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Bomba Aspersora	Hrs.	240	\$ 1.153	\$ 276.720	
	Regla vibradora WACKER	Hrs.	240	\$ 1.573	\$ 377.520	
	Total				\$ 276.720	
<b>Combustible</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Bomba Aspersora	Lt	25	\$ 493	\$ 12.325	
	Total				\$ 12.325	
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
1	Operador Bomba Aspersora	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 600.000	
3	Ayudante Texturizado	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 1.800.000	
1	Operador Regla vibradora	Hrs.	240	\$ 2.000	\$ 480.000	
	Total				\$ 2.880.000	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 144.000	
<b>Materiales</b>						
	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
	Antisol Sika	Lt	7543	\$ 1.396	\$ 10.530.028	
	Total				\$ 10.530.028	
<b>COSTOS TOTALES</b>						
Costos Directos					\$ 13.843.073	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 6.158.783	
Total Neto					\$ 20.001.856	
IVA (19%)					\$ 3.800.353	
Total					\$ 23.802.209	
Valor Unitario Por m2					\$ 631	

Fuente – Elaboración propia

- Cortes con sierra

Tabla 6.9 – Estimación de costos unitarios para actividad de "Cortes con sierra" para un pavimento de losas con geometría optimizada.

<b>Cortes con Sierra</b>					<b>Total</b>	
					37.712 m2	
<b>Equipo</b>						
Numero de Equipos	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
4	Sierra de Corte WACKER	Hrs.	240	\$ 1.293	\$ 1.241.280	
20	Disco corte hormigón 2,2 mm	Hrs.	240	\$ 1.798	\$ 8.630.400	
				<b>Total</b>	<b>\$ 9.871.680</b>	
<b>Combustible</b>						
Numero de Equipos	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
4	Sierra de Corte WACKER	Lt	50	\$ 509	\$ 101.800	
				<b>Total</b>	<b>\$ 101.800</b>	
<b>Mano de Obra</b>						
Numero de Trabajadores	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
4	Operador Sierra	Hrs.	240	\$ 2.500	\$ 2.400.000	
				<b>Total</b>	<b>\$ 2.400.000</b>	
<b>Herramientas</b>						
5 % Mano de Obra					\$ 120.000	
<b>Materiales</b>						
Descripción		Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Sub Total	
					\$ -	
				<b>Total</b>	<b>\$ -</b>	
<b>COSTOS TOTALES</b>						
Costos Directos					\$ 12.493.480	
Costos Indirectos (44,49% de CD)					\$ 5.558.349	
Total Neto					\$ 18.051.829	
IVA (19%)					\$ 3.429.848	
Total					\$ 21.481.677	
Valor Unitario Por m2					\$ 570	

Fuente – Elaboración propia

### 6.2.3 Presupuestos finales de implementación

Según los cálculos, se confeccionan las tablas de presupuestos finales para las distintas actividades que se desarrollaron para ambas alternativas. De acuerdo con los resultados observados, las diferencias entre las 2 propuestas son de \$ 70.488.386, y que corresponde a un 20.73 % sobre el valor de la alternativa más económica, que en este caso sería la de un tratamiento superficial doble.

Tabla 6.10 – Presupuesto final de materialización de un tratamiento superficial doble.

Tratamiento Superficial Doble				
OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL ITEM
Preparación de la Subrasante	m2	37.712	\$ 592	\$ 22.310.305
Base Granular Graduación Cerrada CBR > o = 100%	m3	7.364	\$ 15.021	\$ 110.612.833
Imprimación	m2	37.720	\$ 1.536	\$ 57.948.814
Tratamiento Superficial Doble	m2	37.618	\$ 3.962	\$ 149.030.874
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 339.902.826</b>

Tabla 6.11 – Presupuesto final de materialización de losas con geometría optimizada reforzadas con fibras.

Losas con Geometría Optimizada Reforzadas con Fibras				
OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL ITEM
Preparación de la Sub - Rasante	m2	37.712	\$ 592	\$ 22.310.305
Reperfilado y Compactacion de Sub - Base	m2	37.712	\$ 296	\$ 11.155.152
Colocacion Hormigon Con Fibra	m3	3308	\$ 100.254	\$ 331.641.869
Curado y Texturizado del Hormigon	m2	37.712	\$ 631	\$ 23.802.209
Cortes con Sierra	m2	37.712	\$ 570	\$ 21.481.677
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 410.391.212</b>

Fuente – Elaboración propia

## 6.3 Costos de conservación para las distintas alternativas

### 6.3.1 Evolución de los pavimentos de la V Región

El departamento de gestión vial, perteneciente a la Subdirección del Desarrollo de la Dirección de Vialidad, organiza cada 2 años inspecciones visuales de los pavimentos a lo largo de Chile. El registro de los deterioros de los caminos, permite determinar el estado de las vías y proponer acciones inmediatas de conservación que se deban ejecutar sobre los pavimentos para mejorar su estado. Los resultados de la determinación del estado de las calzadas son posteriormente utilizados para desarrollar evaluaciones técnico-económicas, las cuales determinan las acciones de conservación óptimas durante el periodo de evaluación.

Las evaluaciones realizadas categorizan el estado del pavimento en 5 niveles ("muy malo", "malo", "regular", "bueno", "muy bueno"). De acuerdo a la información que se obtenga se pueden ir confeccionando propuestas de conservación que ayudan a mejorar la calidad de las rutas, y al mismo tiempo mejorar accesos.

Para el presente trabajo de título, se analizaron datos obtenidos de la región de Valparaíso y se comparo su evolución con respecto al panorama global de los pavimentos en Chile, criterio que se adopto tendiendo en consideración que la información obtenida para los costos unitarios provenía de contratos adjudicados de la zona, y además que el área de estudio de encuentra en dicha región.

La evolución del estado que ha tenido los pavimentos a nivel nacional (Chile) y en Valparaíso, son los que se muestran en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 6.12 – Evolución por año, del estado de los pavimentos en Chile.

Evolución del estado de los pavimentos en Chile				
ESTADO	2006	2008	2010	2012
Muy Bueno	20,10%	22,40%	19,80%	8,70%
Bueno	37,70%	42,00%	43,40%	41,70%
Regular	22,20%	21,80%	27,50%	44,50%
Malo	8,00%	6,90%	5,10%	2,90%
Muy Malo	12,00%	7,00%	4,20%	2,30%

Tabla 6.13 – Evolución por año, del estado de los pavimentos en Valparaíso.

Evolución del estado de los pavimentos de Valparaíso				
ESTADO	2006	2008	2010	2012
Muy Bueno	23,00%	3,00%	9,40%	11,30%
Bueno	36,40%	26,90%	49,90%	39,60%
Regular	14,20%	51,00%	34,50%	39,70%
Malo	9,40%	10,30%	4,50%	4,70%
Muy Malo	17,00%	8,90%	1,70%	4,80%

Fuente – Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

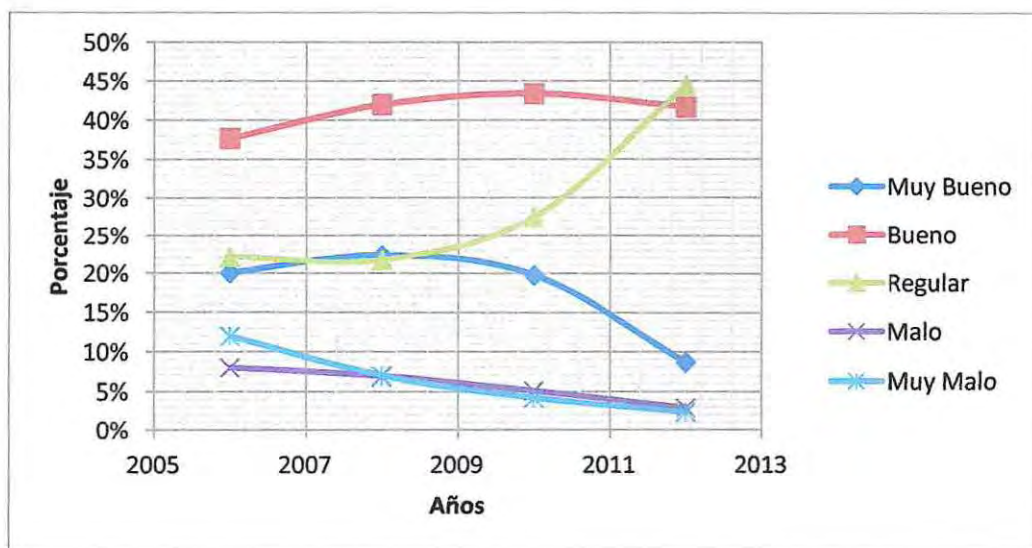


Figura 6.4 – Grafico de comportamiento desde el año 2006 al año 2012 del estado de los pavimentos en Chile.  
Fuente – Elaboración propia

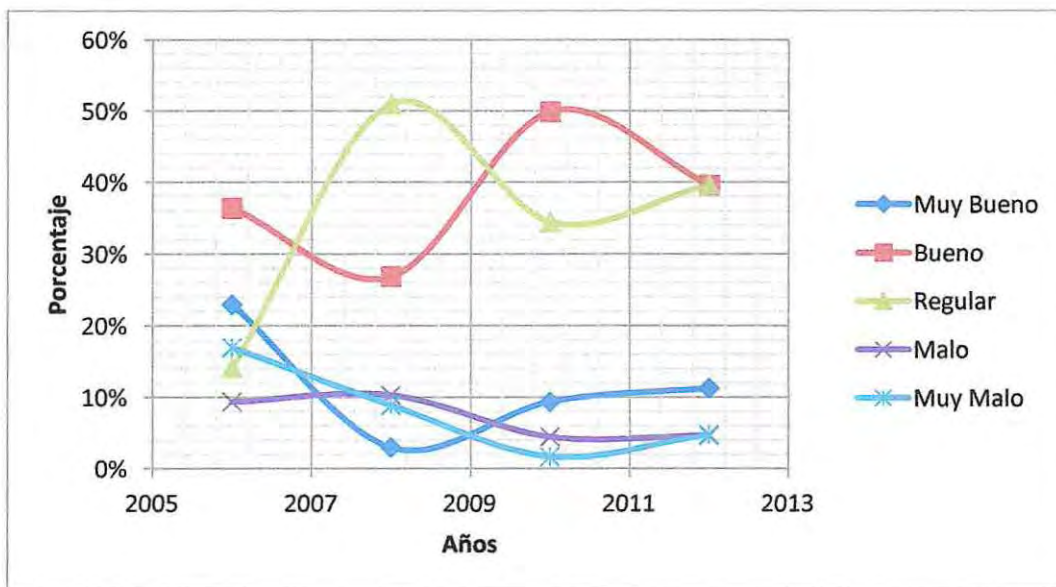


Figura 6.5 – Gráfico de comportamiento desde el año 2006 al año 2012 del estado de los pavimentos en Valparaiso.  
Fuente – Elaboración propia

Según los gráficos se puede observar que el estado de los pavimentos a nivel global ha ido disminuyendo dentro de los niveles de muy bueno, malo y muy malo. Y aumentando en los niveles buenos y regulares. Esta tendencia radica que las metas propuestas cada año contemplan la suma de los 3 niveles superiores, generándose una aceptación de los resultados logrados, que normalmente deben ser de más de 80 %, que satisfacen los objetivos propuestos por la Dirección. Sin embargo, el comportamiento de la región de Valparaíso es de carácter más inestable, con una evidente disminución porcentual en el estado de pavimentos muy buenos y muy malos, aunque con un aumento en el porcentaje de caminos con un nivel regular de superficie. Si bien la situación varía con respecto al panorama global, las metas y objetivos buscados tienden hacia la misma finalidad.

En general las políticas adoptadas en los últimos años para la conservación de caminos trascienden en ir mejorando la calidad de los caminos con un índice de servicio malo o muy malo, y llevarlo a estándares aceptables que mejoren la calidad de las vías, de esta manera se puede brindar un tránsito más seguro para los vehículos [25].

Todos los datos obtenidos anteriormente se desarrollaron con metodologías de asignación de daño, que integran los distintos deterioros que van presentando las vías, y se correlacionan en ecuaciones que representan el estado final del pavimento. Las ecuaciones planteadas corresponden al "índice de condición de pavimento" (ICP).

Si bien los estados de los pavimentos mencionados anteriormente representan la totalidad de las rutas evaluadas, es necesario conocer los tipos de pavimentos que se consideraron dentro de la evaluación. En la tabla 6.14 se muestran las longitudes evaluadas para los distintos tipos de carpetas, a lo largo de Chile y de Valparaíso del año 2012.

Tabla 6.14 – Porcentaje de pavimentos pertenecientes a las evaluaciones planteadas.

Región		Asfalto	Recapados	T. Superficiales	Hormigón	Total
V	Km.	472,00	7,15	175,13	103,82	758,10
	%	62,26%	0,94	23,10%	13,69%	100%
Total (Chile)	Km.	11.612,81	40,00	876,08	1.658,27	14.178,16
	%	81,90%	0,30%	6,20%	11,70%	100%

Fuente – Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

En la tabla 6.14 se observa que existe una gran diferencia entre los porcentajes de pavimentos tipo tratamientos superficiales a nivel global (6.2%), con el porcentaje que existe en Valparaíso (23.1%). Esta diferencia indica que una gran parte de la totalidad de estos tipos de pavimentos se encuentran en la región, llegando a ser casi un cuarto de la totalidad de los caminos existentes, a demás los tratamientos superficiales superan casi en un doble a los pavimentos de hormigón.

Según los estados antes mencionados, en el último año se generó un aumento de pavimentos de estado muy malo, y una disminución de pavimentos de estados buenos. Por lo cual al menos una cantidad considerable de esos deterioros, fueron absorbidos por los tratamientos superficiales.

De acuerdo a los estados obtenidos para cada año, el Departamento de Gestión de Vialidad evalúa propuestas para determinar porcentajes de intervención, corrigiendo los deterioros existentes y manteniendo estándares adecuados, tanto estructurales como funcionales. Las acciones de conservación se clasifican en tres tipos: conservación rutinaria, conservación periódica y conservación mayor. En las tablas 6.15 y 6.16 se pueden observar las distintas actividades asociadas al tipo de conservación para los diferentes pavimentos.

Tabla 6.15 – Acciones de conservación para pavimentos asfálticos.

Tipo de Conservación	Acciones de Conservación Pavimento Asfáltico
Rutinarias	Limpieza de faja y saneamiento
	Sello de Grietas
	Bacheo
Periódicas	Riego Neblina
	Sellos Asfálticos: Lechadas asfálticas, sellos de agregados
	Frezado y Reemplazo
	Recapado Delgado
Mayor	Recapado Estructural
	Reciclado
	Reconstrucción

Tabla 6.16 – Acciones de conservación para pavimentos rígidos.

Tipo de Conservación	Acciones de Conservación Pavimento de Hormigón
Rutinarias	Limpieza de faja y saneamiento
Periódicas	Sello de Juntas y Grietas
	Reparación de losa en parte o todo su espesor
	Cepillado de Juntas o puntos altos
	Reemplazo de losas
Mayor	Recapado
	Pulverizado
	Reconstrucción

Además de categorizar el tipo de conservación, la Dirección de Vialidad considera los resultados obtenidos en la determinación del estado de las calzadas, con las cuales se determinan las acciones de conservación óptimas durante el periodo de evaluación. Estas acciones se distribuyen de acuerdo al tipo de pavimento y a la longitud evaluada. En la tabla 6.17 se pueden observar los distintos porcentajes adoptados para el año 2012, en la Región de Valparaíso y en Chile

Tabla 6.17 – Porcentajes de intervención, de acuerdo al tipo de conservación para diferentes pavimentos, planteadas por la dirección de vialidad.

Región	Carpeta	Unidad	Tipo de Conservación			Total
			Rutinaria	Periódica	Mayor	
V	Asfalto	km	383,88	39,44	55,83	479,15
	Tratamiento	km	-	137,65	37,48	175,13
	Hormigón	km	32,45	48,10	23,27	103,82
	Total	km	416,33	225,19	116,58	758,10
	Asfalto	%	80,10	8,20	11,70	100
	Tratamiento	%	0	78,60	21,40	100
	Hormigón	%	31,30	46,30	22,40	100
	Total	%	54,90	29,70	15,40	100
Total (Chile)	Asfalto	km	9.792,39	635,81	1.224,61	11.652,81
	Tratamiento	km	-	648,70	227,38	876,08
	Hormigón	km	789,51	794,38	74,38	1.658,27
	Total	km	10.581,90	2.078,89	1.526,37	14.187,16
	Asfalto	%	84,00	5,50	10,50	100
	Tratamiento	%	0	74,00	26,00	100
	Hormigón	%	47,60	47,90	4,50	100
	Total	%	74,60	14,70	10,80	100

Fuente – Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

Según los datos, los porcentajes de intervención para los tratamientos superficiales a nivel global son casi idénticos con los que presenta Valparaíso. La gran diferencia está en los hormigones, en los que las actividades de conservación mayor alcanzan un 22,4 % en Valparaíso y a un 4,5 % a nivel global.

Esta excesiva diferencia puede ser atribuida a que entre los años 2010 y 2012 se produjo en la región un aumento de pavimentos de estado muy malo, lo que conllevó a aplicar soluciones de conservación del tipo mayor, que en base a los datos observados son consecuencias en parte de las soluciones de pavimentos de hormigón.

En consecuencia se puede concluir, según lo expuesto, que las soluciones de tratamiento superficiales experimentan más acciones de conservación del tipo periódico y mayor que los pavimentos de hormigón, los cuales de acuerdo a la tabla 6.17 contemplan solo un 46,3 % en los recursos para su mantención periódica. Esto tiene su origen en que los tratamientos superficiales están confeccionados con materiales susceptibles a los agentes ambientales, lo que genera una pérdida de material, que aunque mínima, provoca grandes deterioros en el tiempo, por lo que su mantención debe ser monitoreada constantemente. Caso contrario a los pavimentos rígidos, ya que al estar conformados por una matriz pétreo, su deterioro se basa en la fisuración o en deformaciones entre losas, los que mayoritariamente están ligados a los procesos constructivos iniciales y al tráfico circulante.

### 6.3.2 Contratos de conservación y mantención vial para la V Región

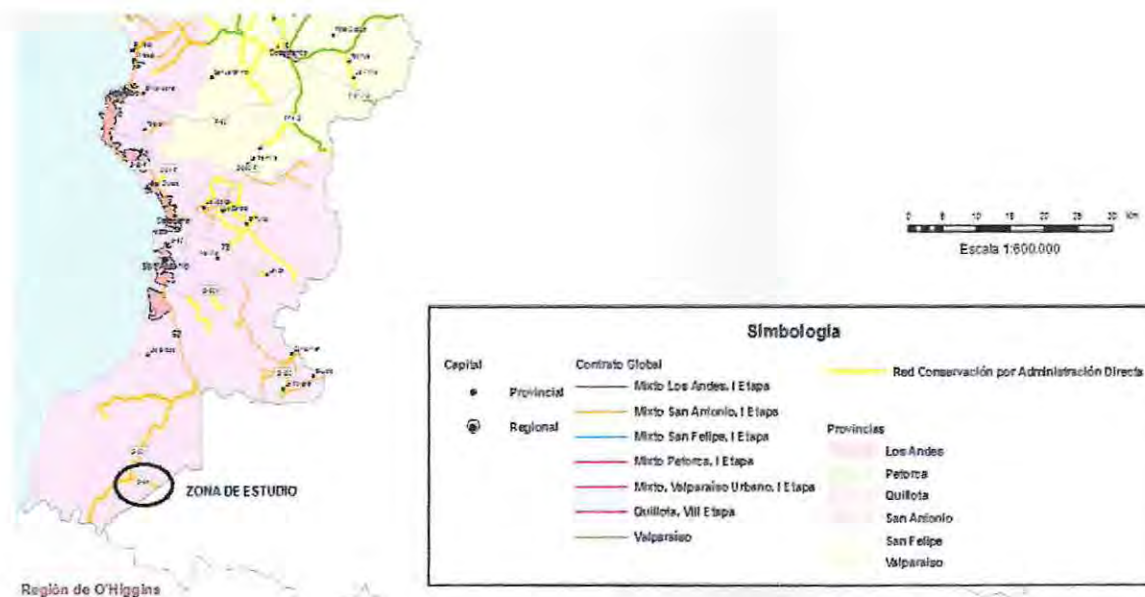
La Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas es la entidad responsable de la preservación del patrimonio vial de los caminos que estén bajo su tuición, teniendo entre sus funciones, la de ejecutar las distintas obras de conservación que requiere la red vial.

Las modalidades de conservación corresponden a la manera con que la Dirección de Vialidad aborda el mantenimiento de las rutas. Las obras u operaciones de mantenimiento pueden ser ejecutadas directamente por la Dirección de Vialidad, mediante la modalidad conocida como Administración Directa, o por la contratación de empresas externas, cuyas modalidades corresponden a Contratos Tradicionales de Conservación, Contratos de Conservación de Redes (Contratos Globales y Globales Mixtos) y Concesión del Mantenimiento.

Las vías de la Región de Valparaíso se encuentran adjudicadas a diferentes tipos de contratos. La zona de estudio, que corresponde a la ruta G-84, está ligada a todos las actividades de conservación de los contratos globales mixtos.

Este tipo de contrato está orientado a la ejecución de un programa de conservación de vías pavimentadas y no pavimentadas, cuya longitud total alcanza, en general, entre 400 y 600 km. Las operaciones, previamente definidas en cuanto a tipo y cantidades de obra por ejecutar, se contratan a serie de precios unitarios, que en general, corresponden tanto a operaciones rutinarias, en forma predominante, como también a operaciones periódicas.

Figura 6.6 – Tipo de contrato de mantención correspondiente a la ruta G-84 dispuesta por el Ministerio de obras publicas.



### 6.3.3 Costos unitarios para los diferentes tipos de conservación

Los costos de conservación para un "tratamiento superficial" está por lo general condicionado a los diferentes tipos de carreteras, niveles de tránsito y las condiciones climatológicas del lugar. Por lo que las técnicas de reparación se adecuaran de acuerdo al nivel del deterioro observado. Los pavimentos rígidos están afectos a las mismas condiciones salvo las constructivas, ya que estas tienen mucha incidencia en su funcionamiento final.

Como se mencionó en capítulos anteriores uno de los agentes más predominantes en el funcionamiento de las losas era el alabeo constructivo, el cual va en directa relación con el futuro comportamiento de las losas de hormigón. Lo que indica que el costo de conservación total dependerá de la calidad del trabajo preliminar, ya que si presentan deficiencias, estas se verán reflejadas en un decrecimiento de la vida útil de la losa o en elevados costos de rehabilitación.

Por otra parte las actividades de conservación se clasificaron en conservación periódica, conservación rutinaria y conservación mayor. Adicionalmente, existen un grupo de acciones denominadas complementarias, las que principalmente se requieren para corregir problemas en vías urbanas asociadas a la seguridad vial o al reemplazo de obras de saneamiento existentes. Estas últimas no se incluirán dentro de los análisis por ser prácticamente similares para todos los tipos de pavimentos. En el Anexo B se puede obtener el tipo de deterioro con su respectiva técnica de reparación [25].

La Dirección de Vialidad por lo general mantiene acciones de conservación relacionadas al nivel de contrato adjudicado. Dado que los costos unitarios cambian de acuerdo a los factores antes mencionados, es difícil poder cuantificar y establece valores estándar que aseguren que estos se mantendrán para todas las vías, por lo mismo es que se trabajó solamente con los precios unitarios que establece el contrato global mixto que incluye la ruta G-84.

Además se contemplaron solamente acciones de conservación que afectan directamente a los tratamientos superficiales y a las losas de hormigón con geometría optimizada. Estas últimas al no llevar sellos en las juntas se excluye el uso de ésta acción de conservación.

Tabla 6.18 – Costos unitarios para las distintas acciones de conservación para un tratamiento superficial.

<b>Tipo de Conservación</b>	<b>Acciones de Conservación Para Tratamiento Superficial</b>	<b>Unidad</b>	<b>Precio Unitario</b>
Rutinarias	Limpieza de faja manual	m2	\$ 128
	Sello de Grietas	m2	\$ 1.970
Periódicas	Lechadas asfálticas	m2	\$ 1.127
Mayor	Reconstrucción	m2	\$ 2.600

Fuente – Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

Tabla 6.19 – Costos unitarios para las distintas acciones de conservación para las losas con geometría optimizada reforzadas con fibra.

Tipo de Conservación	Acciones de Conservación Pavimento de Hormigón	Unidad	Precio Unitario
Rutinarias	Limpieza de faja manual	m2	\$ 128
	Sello de Grietas	m2	\$ 1.086
Periódicas	Reparación de losa en parte o todo su espesor	m2	\$ 28.144
	Cepillado de Juntas o puntos altos	m2	\$ 4.752
	Reemplazo de losas	m2	\$ 28.144
Mayor	Fresado y Recapado	m2	\$ 17.192
	Reconstrucción	m2	\$ 126.000

Fuente – Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

## 6.4 Análisis de costos para las distintas alternativas

Según lo observado en las tablas 6.10 y 6.11, de presupuestos finales, se puede concluir que para la ejecución de un pavimento del tipo “losas con geometría optimizadas reforzadas con fibras” los costos de materialización son mucho mayores que para los de un pavimento tipo “tratamiento superficial doble”. Estos costos, contemplan una diferencia de 20% con respecto a la solución asfáltica.

Para el pavimento rígido se utilizó la carpeta granular existente como sub – base, la cual redujo considerablemente el costo total de materialización. En cambio para la ejecución del pavimento flexible se tuvo que colocar material como apoyo, ya que la carpeta granular actual no soportaría la proyección del tránsito estimada.

Evaluando solamente la materialización de las alternativas, se observa que los pavimentos flexibles dependen enormemente del material en el que se apoyan, siendo necesario utilizar espesores considerables para poder resistir las cargas del tránsito calculadas. Esta dependencia provoca que necesariamente se considere un espesor de base para que el comportamiento sea el proyectado, lo que genera que siempre se deba considerar una capa granular como base en los costos de materialización.

A su vez, la losas delgadas basan su comportamiento en relación a la capacidad de soporte que presentó la carpeta granular existente, la cual brinda las características mínimas para servir de sub – base. Esto proporcionó que la alternativa de losas delgadas, en términos de materialización, pudiera competir con tan solo un 20 % de diferencia con las actuales soluciones de tratamientos superficiales.

Sin embargo la situación es distinta en términos de conservación. Lo expuesto anteriormente indica que los pavimentos flexibles, en este caso tratamientos superficiales, experimentan mayores actividades de conservación que los pavimentos rígidos, lo que conlleva a invertir mayores sumas de dinero que las presupuestadas inicialmente.

Aunque se observe que los costos unitarios de las acciones de conservación de pavimentos rígidos sean mayores, muchas de ellas pueden verse minimizadas por las diversas innovaciones constructivas que presentan las losas delgadas. Por ejemplo la presencia de cortes con sierras delgadas disminuye el fenómeno de bombeo de finos en las juntas de construcción, reduciendo el problema de escalonamiento que pudiera provocarse en las losas. La acción correctiva para este fenómeno correspondería a un cepillado de las juntas o a un constante sellado de las mismas, actividad que podría descartarse según el comportamiento que presente la ruta.

Otra de las características que presentan las losas delgadas es la incorporación de las fibras estructurales. Estas actúan como retardadores de posibles fisuras o grietas que puedan provocarse, dado las propiedades mecánicas que aportan. Además si la grieta se produce, estas no afectan la serviciabilidad del camino, ya que las fibras retienen la fisura, generándose un problema de características visual más que funcional. Esta simple aplicación en las losas proporciona un mejor desempeño frente al deterioro por fatiga, lo que induce que las acciones de conservación para estos deterioros puedan aplazarse o simplemente verse disminuido con el tiempo.

De acuerdo con la información expuesta, es esperable que los pavimentos del tipo "Losas con geometría optimizadas reforzadas con fibras", puedan seguir siendo más competitivos en el tiempo si se manejan correctamente los parámetros constructivos, ya que este factor es el más predominante en el futuro funcionamiento estructural. Por lo mismo la integración de nuevas tecnologías en los procesos constructivos ayudaran a mitigar problemas y deficiencias que incidan directamente en la resistencia de las losas. Con esto se logrará disminuir los costos de conservación y competir a un nivel más técnico, controlando variables directas en su funcionamiento.

Además es necesario poder evaluar como es el comportamiento económico que deben tener estas alternativas si se incluyen las consideraciones hechas en el Capítulo 3.

*En él, se demostró que se debía tener especial cuidado en el km 20.700, ya que los 20 cm que se habían propuesto para el proyecto original no daban solución al tránsito proyectado en dicho km. De acuerdo a los resultados provistos de la Tabla 5.4, se pudo obtener un espesor mínimo de más de 40 cm de base, eso quiere decir que se incluye el material existente (16 cm) más el proyectado (20 cm), para el km 20.700, el espesor llegaría a tan solo 36 cm. Según esto, se debe haber propuesto un espesor de 25 cm y no de 20, el cual brindaría la calidad de soporte que necesitaba la ruta.*

Además para el análisis de los costos unitarios de las losas delgadas, se trabajo con un espesor de losa de 9 cm. Este se prefirió debido al deterioro que se experimentaría en el periodo de 5 y 10 años, y el que se ajustaría más a los años de vida del doble tratamiento superficial para poder ser comparables.

De acuerdo a lo anterior, las losas estarán 100 % agrietadas pasados los 10 años, sin embargo al incluir las fibras, el agrietamiento no afectara la parte funcional ni el de serviciabilidad de las losas, ya que estas pueden seguir funcionando aun cuando estén agrietadas. Entonces para que las losas puedan ser más competitivas, podemos incluir losas de 8 cm, que pasados los 5 años tendrán un 100 % de losas agrietadas.

Si se incluyen estas consideraciones en los costos unitarios, aumentando a 25 cm la base granular del doble tratamiento superficial, y disminuyendo a 8 cm las losas de hormigón, se pueden establecer nuevos presupuestos.

Tabla 6.20 – Costos unitarios de materialización para las distintas alternativas, evaluando nuevas consideraciones de análisis.

Losas con Geometría Optimizada Reforzadas con Fibras				
OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL ITEM
Preparación de la Sub - Rasante	m2	37.712	\$ 592	\$ 22.310.305
Reperilado y Compactación de Sub - Base	m2	37.712	\$ 296	\$ 11.155.162
Colocación Hormigón Con Fibra	m3	3016	\$ 101.471	\$ 306.035.098
Curado y Texturizado del Hormigón	m2	37.712	\$ 631	\$ 23.802.209
Cortes con Sierra	m2	37.712	\$ 570	\$ 21.461.677
TOTAL				\$ 384.784.441

Tratamiento Superficial Doble				
OPERACIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL ITEM
Preparación de la Subrasante	m2	37.712	\$ 592	\$ 22.310.305
Base Granular Graduación Cerrada CBR > o = 100%	m3	9.205	\$ 17.774	\$ 163.609.670
Imprimación	m2	37.720	\$ 1.536	\$ 57.948.814
Tratamiento Superficial Doble	m2	37.618	\$ 3.962	\$ 149.030.874
TOTAL				\$ 392.899.663

Fuente – Elaboración Propia

Según la tabla 6.20, si se incluyen las consideraciones antes mencionadas, los costos totales hacen que la alternativa de losas con geometría optimizada sea mucho más económica en términos de materialización y de conservación, que los dobles tratamientos superficiales.

Esto supone que el análisis considerado es decisivo al momento de evaluar la implementación de las 2 alternativas, ya que si bien en uno existía un problema de diseño, asociado al terreno, el otro es competitivo en base a la nueva tecnología empleada. De acuerdo a lo anterior se concluye que para la ruta G-84, la alternativa que puede dar solución a la actual carpeta granular es la implementación de "Losas con geometría optimizada reforzadas con fibras".

## **CAPÍTULO 7**

# **INTEGRACIÓN DE LOSAS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA REFORZADAS CON FIBRAS EN CAMINOS BÁSICOS**

### **7.1 Metodología básica para la integración de las losas**

El planteamiento que se usará para la metodología consiste en consideraciones básicas para la integración de las losas en caminos que presenten una carpeta granular. Esta integración se desarrollará evaluando parámetros técnicos constructivos, junto con estimaciones hechas a la carpeta granular, que aseguren un comportamiento homogéneo dentro de la ruta.

Según lo expuesto en los capítulos anteriores, las losas basaran completamente su implementación si la carpeta granular existente cumple los requisitos mínimos para dar soporte como sub – base de pavimentos rígidos. A su vez los procesos constructivos de las mismas, deben asegurar la correcta implementación, para que el funcionamiento sea el proyectado y se minimicen los deterioros producto de los mismos. Estas 2 consideraciones son las que presentan incidencias directas en los costos de materialización y los de conservación, por lo que son un factor considerable, y determinable si las losas puedan ser competitivas del punto de vista económico.

Por lo anterior se concluye que la metodología aplicable será del tipo evaluativo, ya que como se menciono anteriormente existen consideraciones que se deben establecer para poder estimar si la alternativa es viable o no.

Las condiciones de implementación que se manejen quedaran a cargo del contratista y de las maquinarias o presupuestos que se dispongan para la implementación de la solución.

La metodología evaluativa consiste en 3 pasos básicos, los que consisten en:

1. Evaluar las características mecánicas de la carpeta granular existente y concluir si esta puede dar soporte como sub – base para pavimentos rígidos. Estimaciones que deberán asegurar que las muestras a ensayar, sean tomadas en forma representativa y espaciada no más de 250 metros.
2. Determinar, basado en un análisis de factibilidad, los correctos procesos constructivos para el desarrollo de las losas delgadas. Integrando maquinaria, materiales o distintos procesos que disminuyan el alabeo constructivo, o factores que reduzcan las capacidades estructurales de las losas.
3. Establecer, mediante la metodología ICP, actividades de mantenimiento y/o acciones correctivas a tiempo que aseguren el buen funcionamiento de las losas durante la vida útil proyectada.

## 7.2 Metodología ICP de conservación de los pavimentos

El mantenimiento y conservación de los pavimentos comprenden desde lo preventivo hasta la reconstitución total de la estructura. Este intervalo de daño se cuantifica de acuerdo a la calidad de servicio que pueda proporcionar la vía.

Para poder evaluar correctamente el comportamiento que tendrá la ruta, es necesario recurrir a una metodología que evalúe constantemente el deterioro del pavimento a lo largo de los años proyectados. La metodología de evaluación del índice de calidad del pavimento (ICP), es una alternativa que permite medir de forma visual y con bases estadísticas el comportamiento del pavimento a lo largo de su ciclo de vida.

En general los pavimentos muestran distintas relaciones deterioro-tiempo acordes con la combinación de los distintos factores involucrados en el mecanismo de deterioro. La figura 7.1, muestra una curva de deterioro en función del tiempo (o repeticiones de carga) de un pavimento.

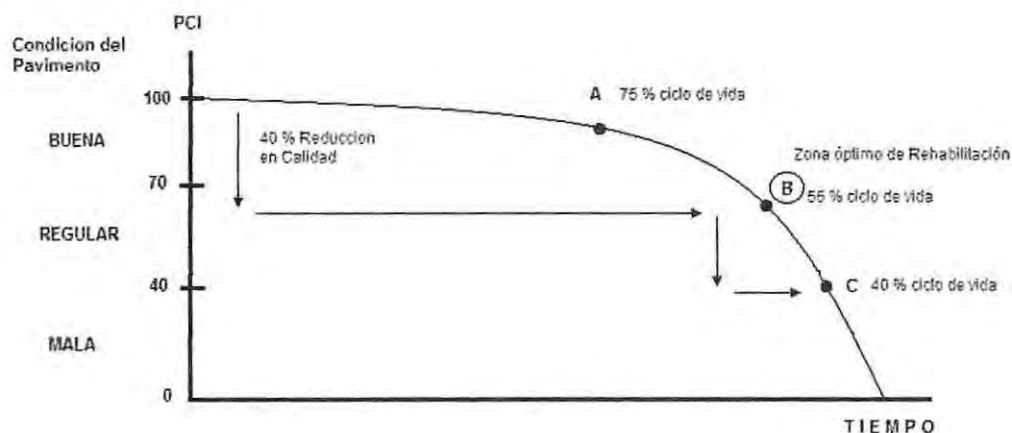


Figura 7.1 – Comportamiento del “índice de calidad del pavimento” en el ciclo de vida de un pavimento

Esta figura ilustra lo que pudiera definirse como una curva normal o típica, en la que se distinguen tres puntos.

- **Punto A:** El pavimento comienza a mostrar síntomas menores de deterioro que requieren el inicio de labores de mantenimiento rutinario menor (sellado de grietas, reparación de huecos y bacheo menor). Las acciones menores correctivas son importantes para controlar el deterioro.
- **Punto B:** El deterioro comienza a crecer rápidamente, puede requerirse algún tipo de acción mayor. Este punto está dentro de la zona denominada "óptima de rehabilitación", en la que inversiones relativamente pequeñas producen grandes beneficios. La estructura del pavimento y su calidad de rodaje no se han deteriorado severamente, el pavimento aún conserva buena parte de su resistencia original, y una adecuada acción de rehabilitación mejorará considerablemente su condición y estructura.
- **Punto C:** La condición del pavimento ha caído en un estado crítico, tanto desde el punto de vista funcional como estructural. En este punto, normalmente se requieren costosos trabajos de mantenimiento mayor, rehabilitación o reconstrucción.

De acuerdo al valor de ICP que se obtenga es posible evaluar la condición del pavimento. Esta metodología es de carácter visual y estadístico, por lo que el valor obtenido generalmente está afecto de errores dado el grado de subjetividad que presenta. Sin embargo con una buena experiencia y un buen desarrollo de los procesos metódicos del ICP es posible obtener rangos representativos acordes a la realidad.

Tabla 7.1 – condición del pavimento de acuerdo al índice obtenido.

ICP	CONDICIÓN	CARACTERÍSTICAS
> 70	Buena	El pavimento no requiere acción especial solo mantenimiento menor
70 - 40	Regular	Condición intermedia. Acciones de conservación periódica
< 40	Mala	El pavimento requiere mejoras

En conclusión es factible poder establecer rangos de mantenimiento siguiendo el método del Índice de calidad del pavimento, generando tiempos representativos en los que se puede plantear soluciones preventivas o reconstructivas de la ruta.

## CAPÍTULO 8 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

### 8.1 Comentarios y Conclusiones

Desde el año 2003, se han estado desarrollando múltiples proyectos de pavimentación para el programa de "Caminos Básicos" del Ministerio de Obras Públicas. La ruta G-84 del presente trabajo, se enmarca dentro de los requisitos del programa, que de acuerdo a las características que presenta, se considera una solución básica correspondiente a la utilización de un doble tratamiento superficial (DTS).

La memoria de título se basa en poder establecer si las losas de geometría optimizada reforzadas con fibras, son alternativa viable al comparar costos de construcción y parámetros de mantenimiento, con los métodos tradicionales de tratamientos superficiales en la solución de la capa de rodadura de caminos básicos. Para ésto se analiza la capa de rodado de la ruta G-84, la cual presenta una carpeta del tipo granular

Por medio de los ensayos de análisis granulométrico, desgaste de los ángeles, sales solubles, límite líquido, índice de plasticidad y CBR. Se identifican las propiedades mecánicas que presenta la vía, de las cuales se establece que la capa de rodadura existente proporciona las condiciones mínimas para servir de sub-base para pavimentos rígidos.

Respecto al análisis de costos de materialización que se realizó en primera instancia, se consideró el espesor original de 20 cm. del proyecto de "*Conservación de la red básica de la Ruta G-84, Provincia de San Antonio*" expuesto en el capítulo 3, además de un espesor de losa de hormigón de 9 cm. Estos análisis reflejaron que las losas de hormigón podían competir con una diferencia mayor de tan sólo un 20 %, con respecto a los costos totales de materialización de los DTS.

Sin embargo, al analizar los diseños originales contemplados para el DTS, se establece que no eran suficientes, ya que los antecedentes demostrados en el retro análisis de diseño del capítulo 5, dan cuenta que el espesor de base considerado no es capaz de soportar las cargas producidas por el tránsito. Esto producto de las características de sub-rasante que presenta un sector en particular.

En base a lo anterior, se contempla un aumento en el espesor de base de 25 cm., además de considerar que las fibras estructurales podían proporcionar que las losas pudieran seguir funcionando agrietadas, estableciendo un espesor de losa de 8 cm., el cual lograría un deterioro ajustable a la vida útil del DTS.

Por consecuencia se comparan los nuevos presupuestos de materialización, obteniéndose valores para las losas del orden de \$ 384.784.441 pesos, y de \$ 392.899.663 pesos para el doble tratamiento superficial. Debido a lo anterior se establece que las losas de geometría optimizada reforzadas con fibra, son una opción viable en la solución de la capa de rodadura de los caminos básicos, solo si éstos presentaban una carpeta granular que aporte las condiciones mínimas de apoyo como sub-base para pavimentos rígidos.

Con respecto a los costos de conservación, y en base a la información estadística suministrada por la Dirección de Vialidad, se observa que los recursos de mantención para un tratamiento superficial son de un 78,6 % v/s un 46,3 % para los de hormigón. Esta diferencia da cuenta que los pavimentos rígidos necesitan una actividad periódica, pero no tan excesiva como los tratamientos superficiales. Esto indica que los recursos destinados a la conservación de los pavimentos del tipo tratamiento superficial, en la Región de Valparaíso, son mayores que los destinados a las losas de hormigón.

Con respecto a las losas, se identificó que existen 3 pasos básicos en la integración de éstas en la solución de la capa de rodadura de los caminos básicos. Estos tienen directa relación con el presupuesto destinado al proyecto, siendo necesario poder desarrollar un método que evalúe las características existentes del lugar, la factibilidad económica para desarrollar los correctos procesos constructivos y un seguimiento constante al funcionamiento esperado.

Debido a lo anterior se hace imprescindible el uso de una metodología evaluativa, que oriente al contratista al momento de tomar decisiones que integren las losas en la solución de los caminos básicos.

Finalmente es posible sintetizar los resultados de esta memoria indicando que las losas con geometría optimizada reforzada con fibra son una opción viable al momento de considerarlas en la solución de la capa de rodadura de los caminos básicos. Esta opción estará en directa relación con la calidad que presente la carpeta granular existente. Siendo imprescindible identificar sus propiedades, como también que se cumplan los correctos procedimientos de trabajo para su implementación.

---

## Referencias bibliografía

- [1] Cristián Salgado Bocaz, "Diseño de Base tratada de Escoria de Vanadio con Asfalto espumado para Caminos Básicos", Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad del Bio-bio, Noviembre 2008, Chile.
  - [2] Dimensionamiento y características de la Red Vial Nacional 2011, Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, Diciembre 2011, Editado Septiembre 2012.
  - [3] Guillermo Thenoux, Ernesto Barrera; "Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Transito", Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas, Enero 2002.
  - [4] Programa de "Conservación y alternativas de mejoramiento para caminos básicos", Dirección de vialidad del Ministerio de Obras Publicas.
  - [5] Rafael Alejandro Torres Zirion; "Análisis Comparativo de costos entre el pavimento flexible y el pavimento rígido", Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Octubre 2007.
  - [6] Wademar Pablo Cavieres Acevedo; "Comportamiento de las soluciones básicas de carpeta de rodadura aplicadas a caminos de bajo transito", Universidad de Chile, Santiago de Chile, Marzo 2008.
  - [7] Luis Bañon Blázquez, José F.Bevía García; "Manual de Carreteras Construcción y mantenimiento" Tomo 2.
  - [8] Angela Bernardita Queirolo Menz; "Seguimiento a un doble tratamiento superficial para camino de alto transito" Santiago, Universidad de Chile, Santiago de Chile 2009.
  - [9] Edgar Ernesto Pineda Méndez; "Método de diseño y análisis comparativo de costos entre pavimentos rígidos y flexibles", Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, Guatemala 1987.
  - [10] Ricardo Javier Miranda Rebolledo; "Deterioro de pavimentos en flexibles y rígidos" Universidad Austral, Valdivia, Chile 2010
  - [11] Manual de Carreteras, Volumen 8 "Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control", Dirección de Vialidad del ministerio de Obras Publicas, Chile, 2012.
  - [12] Manual de Carreteras Volumen 5 "Especificaciones técnicas generales de construcción", Dirección de Vialidad del ministerio de Obras Publicas, Chile, 2012.
  - [13] Manual de Carreteras Volumen 3 "instrucciones y criterios de diseño", Dirección de Vialidad del ministerio de Obras Publicas, Chile, 2012.
  - [14] Manual de Carreteras Volumen 7 "Mantenimiento vial", Dirección de Vialidad del ministerio de Obras Publicas, Chile, 2012.
  - [15] Revista "Hormigón al Día", Marzo 2012.
  - [16] Ordenanza N°9371, Dirección Nacional de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas.
-

- [17] José tomas Cañas, "Método de cálculo del modulo de reacción "k" para un sistema de fundación multicapas para pavimentos de hormigón", Memoria para optar al título de ingeniero civil en obras civiles, Universidad de los Andes, Santiago, Mayo 2010
- [18] Fibras como elemento estructural para refuerzos de hormigón, manual técnico MACCAFERRI.
- [19] Mármol Patricia, "Hormigones con fibras de acero características mecánicas", Trabajo de fin de master, Universidad Politécnica de Madrid, 2010
- [20] Martin Valenzuela Hitschfeld, "Estudio del comportamiento de hormigones con fibras estructurales en pavimentos", Universidad de los Andes, Santiago de Chile 2010.
- [21] John S. Miller & William Y. Bellinger, "Distress Identification Manual for the long – term Pavement Performance program" Junio 2003.
- [22] Néstor Eduardo Cornejo Alvarenga & William Alexander Velásquez Galdámez, "Análisis comparativo entre métodos de diseño de estructuras de pavimento rígido", Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, El Salvador 2009.
- [23] Portal de Camineros de la Red, [www.camineros.com](http://www.camineros.com)
- [24] American Association of State Highway and Transportation Officials, "Guide for Mechanistic – Empirical Design of new and rehabilitated pavement structures", Marzo 2004
- [25] "Informe proposiciones de acciones de mantenimiento y estado de la calzada y bermas para caminos pavimentados de la red vial nacional", Departamento de Gestión Vial, Subdirección de Desarrollo, Dirección de Vialidad, 2012

## ANEXOS

## Anexo A

## A.1 - Tablas de diseño, Manual de Carreteras

Tabla A.1 – Tabla de TMMA y TMPA para el diseño para pavimentos flexibles, según Manual de Carreteras Vol. 3. 2012

MANUAL DE CARRETERAS VOL. Nº 3 DISEÑO	TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES (TMMA) Y TEMPERATURAS MEDIAS ANUALES PONDERADAS (TMPA)												3.604.108 A
													Junio 2002
ESTACION	TMMA (° c)												TMPA
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Arica - Chacalluta	22,0	22,3	21,4	19,5	17,8	16,4	15,8	15,7	16,3	17,5	19,1	20,6	19,0
Iquique - Diego Aracana	21,1	21,1	20,1	18,3	16,9	15,9	15,2	15,3	15,9	16,9	18,4	20,0	18,2
Calama - El Loa	15,1	14,9	13,9	12,1	10,3	8,70	8,60	9,40	11,2	12,7	14,1	14,8	12,5
Antofagasta - Cerro Moreno	20,0	19,9	18,7	16,8	15,2	14,0	13,4	13,7	14,3	15,5	16,9	16,7	16,8
Isla de Pascua - Mataverí	23,3	23,6	23,1	21,8	20,2	18,8	18,2	18,0	18,3	19,1	20,4	21,8	20,8
Copiapó - Chamonate	19,6	19,4	17,9	15,4	13,2	11,4	11,3	12,0	13,2	14,8	16,4	18,3	15,8
Vallenar - Aeródromo	18,6	18,6	17,1	14,9	13,1	11,7	11,4	12,2	13,0	14,5	15,6	17,5	15,3
La Serena - La Florida	17,1	16,9	15,6	13,7	12,3	10,9	10,7	10,9	11,6	12,9	14,3	16,1	13,9
Guinteró	16,0	15,6	14,3	12,7	11,6	10,3	10,0	10,4	11,0	12,3	13,8	15,1	13,5
Valparaíso - Punta Angeles	17,0	16,8	15,6	14,2	13,3	12,0	11,4	11,7	12,1	13,2	14,7	16,2	14,3
Santiago - Pudahuel	20,2	19,1	16,7	13,1	10,0	7,70	7,30	8,60	10,6	13,6	16,6	19,2	14,9
Santiago - Quinta Normal	20,9	19,9	17,6	14,2	11,1	8,50	8,10	9,50	11,5	14,5	17,3	19,9	15,7
Santiago - Los Cerrillos	20,5	19,6	17,4	14,2	11,1	8,50	8,20	9,40	11,3	14,1	17,0	19,4	15,4
Isla Juan Fernández	18,5	18,7	17,9	16,6	15,3	13,7	12,7	12,3	12,4	13,4	14,9	17,0	15,6
Sewell	15,8	15,6	14,3	11,9	8,30	5,70	4,80	5,50	7,10	9,40	12,1	14,5	11,4
Parrón	18,9	18,1	15,9	12,4	10,6	7,50	7,30	7,80	9,30	12,2	15,1	17,6	13,8
Curico - General Freire	19,9	18,9	15,9	12,1	9,50	7,40	7,20	8,20	10,1	13,0	15,9	18,7	14,4
Chilán - General B. O'Higgins	19,1	18,3	15,8	12,3	9,60	7,70	7,30	8,20	9,70	11,9	14,8	17,7	13,8
Concepción - Carmel Sur	16,3	15,7	13,9	1,00	10,8	9,20	8,60	9,10	9,70	11,5	13,5	15,5	12,6
Temuco - Maquehue	15,8	15,4	13,5	11,0	9,40	7,50	7,20	7,70	8,60	10,6	12,7	14,7	11,8
Valdivia - Pichoy	15,8	15,2	13,2	10,5	9,30	7,40	7,00	7,40	8,60	10,4	12,7	14,9	11,7
Osorno - Cañal Bajo	15,2	14,5	12,6	10,2	8,70	6,70	6,50	7,10	8,20	10,1	12,3	14,3	11,1
Puerto Montt - El Tepual	14,3	13,6	12,1	10,1	8,60	6,70	6,80	6,80	7,80	9,60	11,6	13,4	10,5
Puerto Aysén - Aeródromo	13,6	13,2	11,5	9,20	6,70	4,30	3,90	5,10	6,90	9,10	11,4	12,9	9,70
Coyhaique - Teniente Vidal	13,6	13,2	11,2	8,20	5,20	2,60	2,00	3,60	5,90	8,40	11,0	12,6	9,10
Balmaceda - Aeropuerto	11,9	11,4	9,30	6,50	3,40	0,60	0,20	1,90	4,10	6,70	9,20	10,9	7,40
Chile Chico - Aeródromo	15,4	15,0	12,3	8,80	5,50	3,00	2,30	3,70	6,40	9,30	12,5	14,4	10,4
Cochrane - Aeródromo	13,6	13,2	10,5	7,40	4,00	1,10	0,90	3,00	5,80	8,50	11,1	12,7	8,90
Punta Arenas - Carlos Ibáñez	10,5	10,1	8,20	6,00	3,40	1,50	1,10	2,00	4,00	6,40	8,20	9,70	6,60
Isla Diego Ramírez	7,20	7,50	6,60	5,60	4,50	3,70	3,20	3,20	3,60	4,70	5,50	6,50	5,30

MOP - ODEPLAN - DIRECCIÓN NACIONAL DE CARRETERAS

Tabla A.2 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 6 °C

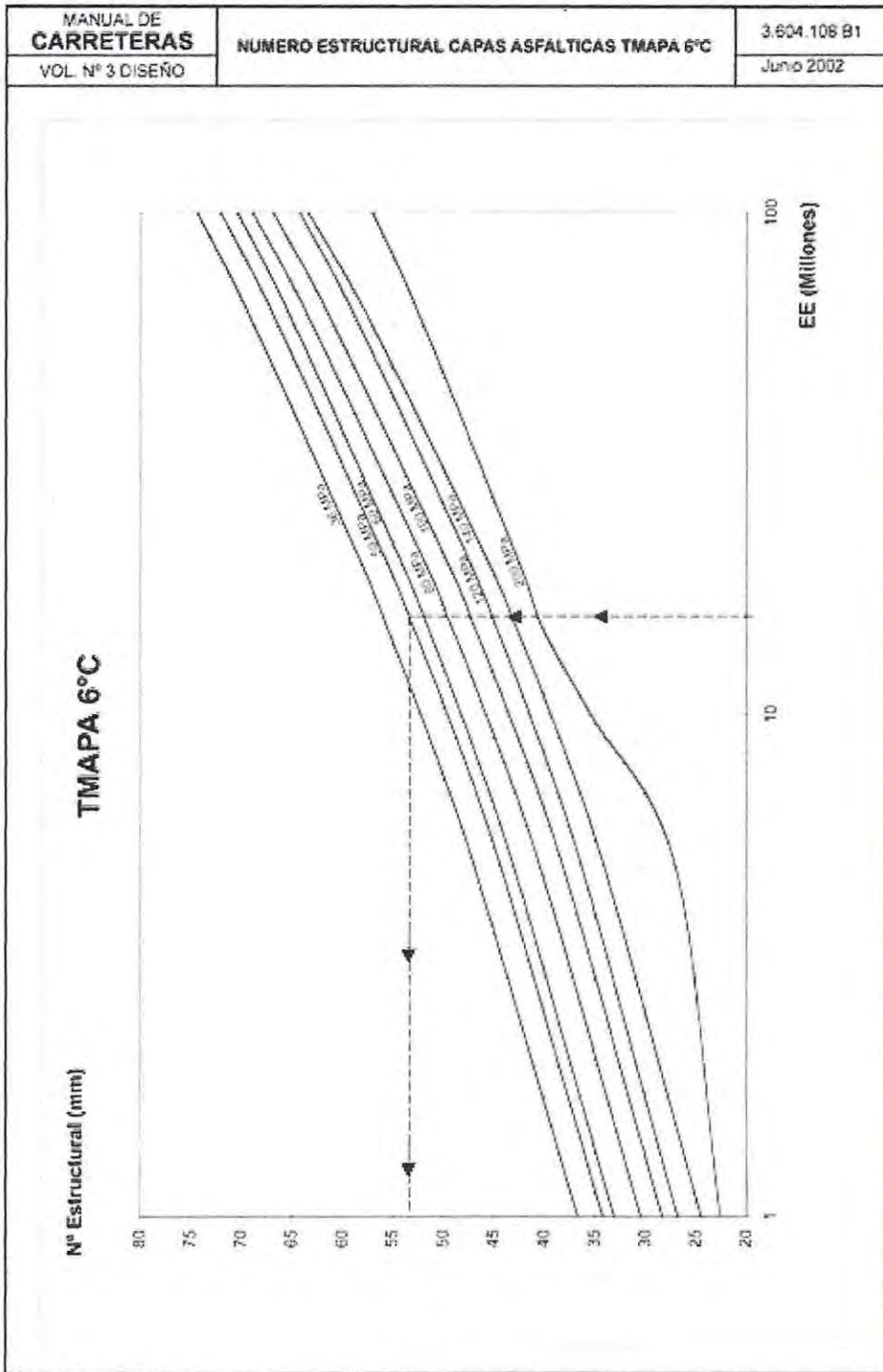


Tabla A.3 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 14 °C

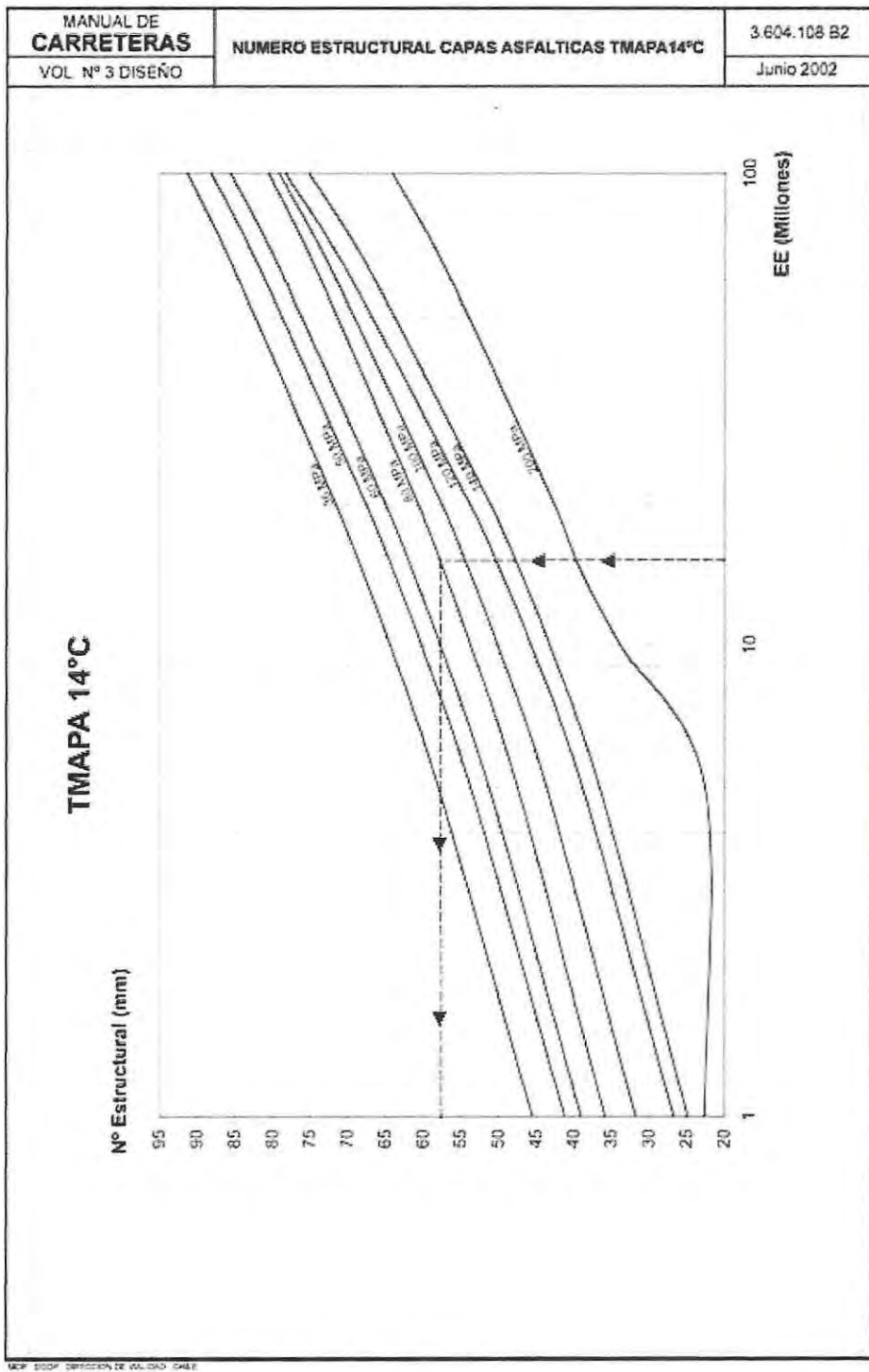


Tabla A.4 – Numero estructural de capas asfálticas TMDAP 19 °C

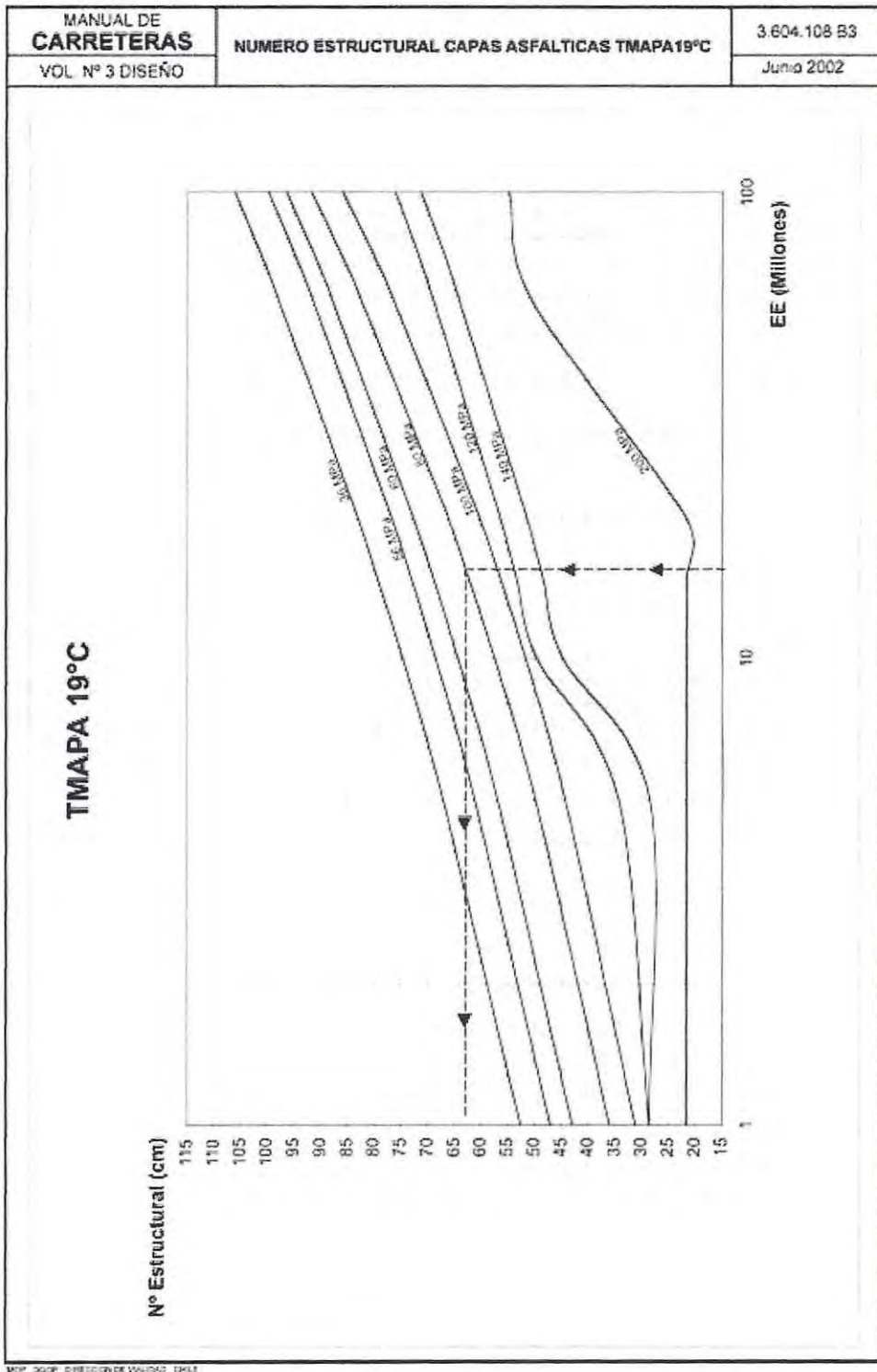


Tabla A.5 – Coeficientes estructurales / Método de diseño Morin Todor

<b>BASES ( 0 a 250 mm de profundidad)</b>	
- Piedras trituradas, graduación abierta	1,037
- Piedras trituradas, bien graduadas	1,394
- Tratadas con cemento	
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 4,6$ MPa	2,400
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 2,8$ MPa	2,100
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $< 2,8$ MPa	1,600
- Tratadas con cal	1,400 – 1,600
- Gravas no tratadas	
CBR $\geq 100$ %	1,394
CBR = 90 %	1,232
CBR = 85 %	1,167
CBR = 80 %	1,102
CBR = 75 %	1,037
CBR = 70 %	0,940
CBR = 60 %	0,552
CBR = 50 % (mín)	0,383
<b>SUBBASES ( 250 a 500 mm de profundidad)</b>	
CBR $\geq 40$ %	0,576
CBR = 35 %	0,290
CBR = 30 %	0,205
CBR = 25 % (mín)	0,075
<b>SUBRASANTE ( 500 a 900 mm de profundidad)</b>	
CBR $\geq 20$ %	0,481
CBR = 15 %	0,357
CBR = 10 %	0,212
CBR = 9 %	0,183
CBR = 8 %	0,133
CBR = 7 %	0,084
CBR = 6 %	0,053
CBR = 5 %	0,033
CBR = 4 %	0,020
CBR = 3 %	0,015
CBR = 2 % (mín)	0,010

Tabla A.6 – Estimación de valores de CBR, Densidad y K. Para la clasificación de suelos.

CLASIFICACION AASHTO	DESCRIPCION	U.S.C. S	DENSIDAD SECA (kg/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	k (MPa/m)
suelos gruesos					
A-1-a, bien graduado	Grava	GW, GP	2.000-2.250	60 – 80	80 - 120
A-1-a, mal graduado			1.900-2.100	35 – 60	80 – 110
A-1-b	Arena gruesa	SW	1.750-2.100	20 – 40	55 – 110
A-3	Arena fina	SP	1.680- 1.900	15 – 25	40 – 80
Suelos A-2 (granulares con muchos finos)					
A-2-4, grava	Grava limosa	GM	1.100-2.300	40 – 80	80 – 135
A-2-5, grava	Grava limo arenosa				
A-2-4, arenosa	Arena limosa	SM	1.900-2.150	20 – 40	80 – 110
A-2-5, arenosa	Grava areno limosa				
A-2-6, grava	Grava arcillosa	GC	1.900-2.250	20 – 40	55 – 120
A-2-7, grava	Grava areno arcilla				
A-2-6, arenoso	Arena arcillosa	SC	1.680-2.100	10 – 20	40 – 95
A-2-7, arenoso	Arena gravo arcillosa				

Tabla A.7 – Coeficientes de drenajes para el cálculo de EE de acuerdo a la ecuación 2,5

Drenaje Longitudinal	Clima	Subrasante Suelos finos		Subrasante Suelos Granulares	
		Base No-Permeable	Base Permeable	Base No-Permeable	Base Permeable
No	Húmedo	0,70 – 0,90	0,85 – 0,95	0,75 – 0,95	0,90 – 1,00
No	Seco	0,90 – 1,10	0,95 – 1,05	0,90 – 1,15	1,00 – 1,10
Si	Húmedo	0,75 – 0,95	1,00 – 1,10	0,90 – 1,10	1,05 – 1,15
Si	Seco	0,95 – 1,15	1,10 – 1,20	1,10 – 1,20	1,15 – 1,20

## Anexo B

### B.1 - Tipos de fallas para pavimentos flexibles

Tabla B.1.1 - fisuras y Grietas

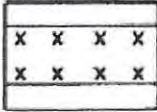
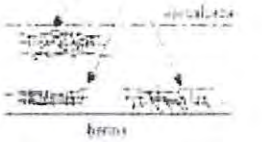
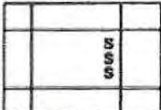

Fisuras y Grietas (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p style="text-align: center;"><b>Por fatiga</b></p> 	<p>Estas grietas ocurren con más frecuencia en las zonas del pavimento que reciben la mayor parte de las solicitaciones. En la fase inicial de desarrollo, se presentan como una serie de fisuras y grietas interconectadas entre sí; en una etapa más avanzada, éstas forman muchos trozos de ángulos agudos, semejando una piel de cocodrilo.</p>  <p style="text-align: center;">barras <b>PLANIA</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones y/o baja capacidad de soporte de la subrasante.</li> <li>- Drenaje inadecuado en zonas localizadas.</li> <li>- Mezcla asfáltica muy rígida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> fisuras que no supera los 3 mm, no se interconectan entre sí, no presentan saltaduras y no han sido selladas; no hay evidencias de surgencia de finos desde la base.</li> <li>- <b>Media:</b> las grietas pueden presentar algún grado de saltaduras en los bordes, pueden haber sido selladas; no hay evidencias de surgencia de finos desde la base.</li> <li>- <b>Alta:</b> agrietamiento con bordes saltados de severidad media a alta; los trozos pueden experimentar movimientos al pasar los vehículos; las grietas pueden haber sido selladas, a veces hay evidencias de surgencia de finos desde la base.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>En Bloques</b></p> 	<p>Patrón de grietas que divide el pavimento en trozos aproximadamente rectangulares, cuyos tamaños varía entre los 0.1 m<sup>2</sup> a 10 m<sup>2</sup>.</p>  <p style="text-align: center;">barras <b>PLANIA</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones y/o para la capacidad de soporte de la subrasante.</li> <li>- Mezcla asfáltica muy rígida.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> ancho de fisuras ≤ 3 mm o grietas selladas en buenas condiciones y de un ancho que no se puede determinar.</li> <li>- <b>Media:</b> 3 mm &lt; ancho grietas &lt; 20 mm, o grietas de ancho medio ≤ 20 mm rodeadas de un agrietamiento de severidad baja.</li> <li>- <b>Alta:</b> ancho de grietas &gt; 20 mm o grietas de un ancho medio ≥ 20 mm, rodeadas de un agrietamiento de alta severidad.</li> </ul>

Tabla B.1.2 – fisuras y Grietas

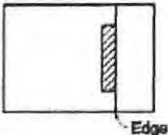
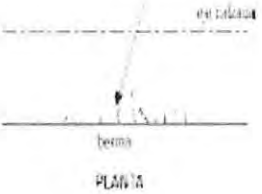
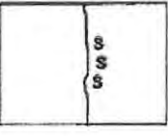
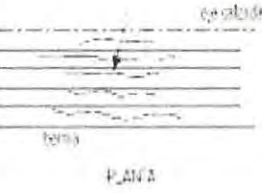
Fisuras y Grietas (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="285 829 358 854">De Borde</p> 	<p data-bbox="448 662 727 949">Se originan exclusivamente cuando las bermas no son pavimentadas. El agrietamiento se desarrolla en forma de medialuna, normalmente entre el borde del pavimento y hasta unos 600 mm hacia el interior en. También se incluyen las fisuras longitudinales que se producen fuera de la huella por donde transita la mayor parte del tránsito.</p> 	<ul data-bbox="751 662 1016 1024" style="list-style-type: none"> <li>- Falta de confinamiento lateral de una carpeta mal adherida a la base.</li> </ul>	<ul data-bbox="1040 662 1320 1024" style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> fisuras sin saltaduras en los bordes y sin pérdidas de mezcla asfáltica.</li> <li>- <b>Media:</b> grietas con algunas saltaduras de los bordes y pérdidas de mezcla asfáltica en no más del 10% de la longitud del tramo afectado.</li> <li>- <b>Alta:</b> grietas con considerables saltaduras en los bordes y pérdidas de mezcla asfáltica en más del 10% de la longitud del tramo afectado.</li> </ul>
<p data-bbox="269 1348 383 1373">Longitudinales</p> 	<p data-bbox="448 1243 727 1398">Son predominantemente paralelas al eje de la calzada, de preferencia se localizan dentro de las huellas por donde circula la mayor parte del tránsito; también pueden coincidir con el eje de la calzada.</p> 	<ul data-bbox="751 1243 1016 1547" style="list-style-type: none"> <li>- Si coinciden con el eje de la calzada son producto de una mala construcción.</li> <li>- En otras posiciones son originadas por gradientes térmicos, en especial en mezclas asfálticas muy rígidas.</li> <li>- Asentamiento de la base o de la subrasante, por una compactación inadecuada.</li> </ul>	<ul data-bbox="1040 1243 1320 1597" style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> ancho de la fisura &lt; 3 mm o grieta sellada y en buenas condiciones por lo que no se puede establecer el ancho.</li> <li>- <b>Media:</b> 3mm ancho grieta ≤ 20mm o cualquier grieta de ancho medio ≤ 20mm y rodeada por grietas de baja severidad.</li> <li>- <b>Alta:</b> ancho grieta &gt; 20 mm o cualquier grieta de ancho medio ≤ 20mm y rodeada por grietas de media o alta severidad.</li> </ul>

Tabla B.1.3 - fisuras y Grietas

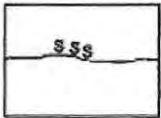

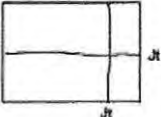

Fisuras y Grietas (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="282 835 386 855">Transversales</p> 	<p data-bbox="447 733 700 855">Son predominantemente perpendiculares al eje de la calzada, en carpetas que no recubren pavimento de hormigón o base tratada con cemento.</p>  <p data-bbox="541 1038 601 1058">PLANTA</p>	<ul data-bbox="733 733 976 855" style="list-style-type: none"> <li>- Gradientes térmicos, en especial en mezclas muy rígidas.</li> <li>- Juntas de construcción mal construidas.</li> </ul>	<ul data-bbox="1009 733 1268 1079" style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> fisuras no selladas de ancho medio <math>\leq 3</math> mm o grietas selladas en buen estado que impide determinar el ancho.</li> <li>- <b>Media:</b> <math>3\text{ mm} &lt;</math> ancho medio de la grieta <math>\leq 20</math> mm o grietas de ancho medio <math>\leq 20</math> mm rodeadas por grietas de severidad baja.</li> <li>- <b>Alta:</b> ancho medio grietas <math>&gt; 20</math> mm o grieta de ancho medio <math>\leq 20</math> mm rodeadas de grietas de severidad media y alta.</li> </ul>
<p data-bbox="294 1255 376 1276">Reflejadas</p> 	<p data-bbox="447 1154 700 1353">Se producen en carpetas asfálticas colocadas sobre un pavimento de hormigón o una base rígida (base estabilizada con cemento) y que coinciden con las juntas y grietas del hormigón o base. Las grietas reflejadas de las juntas aparecen con un distanciamiento constante.</p>  <p data-bbox="541 1504 601 1524">PLANTA</p>	<ul data-bbox="733 1154 976 1228" style="list-style-type: none"> <li>- Movimientos que experimentan las losas o trozos del pavimento de hormigón subyacente.</li> </ul>	<ul data-bbox="1009 1154 1268 1500" style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> fisuras sin sello con un ancho medio <math>\leq 3</math> mm o grietas selladas y en buen estado de un ancho indeterminable.</li> <li>- <b>Media:</b> <math>3\text{ mm} &lt;</math> ancho grieta <math>\leq 20</math> mm o cualquier grieta de ancho medio <math>\leq 20</math> mm y rodeada por un agrietamiento de baja severidad.</li> <li>- <b>Alta:</b> cualquier grieta <math>&gt; 20</math> mm o cualquier grieta de ancho medio <math>\leq 20</math> mm y rodeada por un agrietamiento de alta severidad.</li> </ul>

Tabla B.1.4 - Parches y Baches


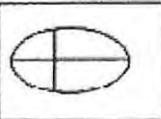
Parches y Baches (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="239 704 404 725"><b>Parches deteriorados</b></p> 	<p data-bbox="437 569 710 694">Área del pavimento que ha sido removida y reemplazada, o a la que se le ha agregado una carpeta asfáltica de refuerzo y que se encuentra deteriorada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="735 569 999 673">- Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron (trabajo de cosmética).</li> <li data-bbox="735 704 1007 797">- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.</li> <li data-bbox="735 828 999 932">- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1032 569 1313 694">- <b>Baja:</b> cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche si es baja severidad o el escalonamiento o asentamiento del perímetro es imperceptible.</li> <li data-bbox="1032 725 1313 849">- <b>Media:</b> cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche si es de severidad media o el escalonamiento o asentamiento del perímetro no supera los 5 mm.</li> <li data-bbox="1032 880 1313 1004">- <b>Alta:</b> cualquiera sea el tipo de deterioro que presenta el parche si es de severidad media o el escalonamiento o asentamiento del perímetro no supera los 5 mm.</li> </ul>
<p data-bbox="289 1284 355 1305"><b>Baches</b></p> 	<p data-bbox="437 1067 710 1305">Cavidad, normalmente redondeada, que se forma al desprenderse mezcla asfáltica o capa de tratamiento en caso de carpetas asfálticas y tratamientos superficiales respectivamente. Para considerarlo como bache al menos una de sus dimensiones debe tener un mínimo de 150 mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="735 1067 1007 1170">- Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.</li> <li data-bbox="735 1201 925 1253">- Drenaje inadecuado o insuficiente.</li> <li data-bbox="735 1284 941 1305">- Defecto de construcción.</li> <li data-bbox="735 1336 1007 1408">- Derrame de solventes (bencina, diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.</li> </ul>	<p data-bbox="1032 1067 1222 1087"><b>En carpetas asfálticas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1032 1118 1313 1170">- <b>Baja:</b> profundidad del bache &lt; 30 mm.</li> <li data-bbox="1032 1201 1313 1253">- <b>Media:</b> 30 mm ≤ profundidad del bache ≤ 50 mm.</li> <li data-bbox="1032 1284 1313 1336">- <b>Alta:</b> profundidad del bache &gt; 50 mm.</li> </ul> <p data-bbox="1032 1357 1280 1377"><b>En tratamientos superficiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1032 1408 1280 1460">- <b>Baja:</b> profundidad del bache apenas perceptible.</li> <li data-bbox="1032 1491 1313 1564">- <b>Media:</b> profundidad del bache ≤ 20 mm o del espesor del tratamiento superficial.</li> <li data-bbox="1032 1595 1313 1667">- <b>Alta:</b> profundidad del bache &gt; 20 mm o del espesor del tratamiento superficial.</li> </ul>

Tabla B.1.5 - Deformación Superficial

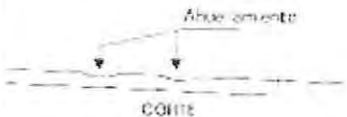
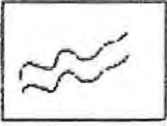
Deformación Superficial (Símbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="282 754 403 774"><b>Ahuellamiento</b></p> 	<p data-bbox="469 582 816 685">Hundimiento longitudinal que coincide con la huella por donde circula la mayor parte del tránsito y que puede encontrarse asociado a desplazamientos transversales de la carpeta.</p>	<ul data-bbox="882 582 1096 893" style="list-style-type: none"> <li>- Compactación insuficiente de la base y/o la mezcla asfáltica.</li> <li>- Base de capacidad de soporte inadecuada (falta de traba mecánica).</li> <li>- Diseño inadecuado de la mezcla asfáltica, exceso de asfalto, ligante muy blando, mezcla de baja estabilidad Marshall, etc.</li> </ul>	<ul data-bbox="1129 582 1346 816" style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> profundidad máxima del ahuellamiento &lt; 20 mm.</li> <li>- <b>Media:</b> 20mm ≤ profundidad máxima del ahuellamiento ≤ 40 mm.</li> <li>- <b>Alta:</b> profundidad máxima del ahuellamiento &gt; 40 mm.</li> </ul>
<p data-bbox="282 1168 403 1189"><b>Ondulaciones</b></p> 	<p data-bbox="469 948 849 1023">Deformación del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciado con ondas cortas y a veces acompañados de grietas semicirculares.</p> <p data-bbox="469 1052 849 1156">También puede presentarse como una onda individual que normalmente se produce en la zona de cambio de un pavimento flexible hacia otro rígido (en el sentido del tránsito).</p>	<p data-bbox="882 948 1096 969"><b>Ondulaciones extensivas:</b></p> <ul data-bbox="882 1002 1096 1334" style="list-style-type: none"> <li>- Diseño inadecuado de la mezcla (uso de áridos redondeados, dosificación inadecuada del ligante, ligante blando, etc).</li> <li>- Estructura inadecuada para tramos con pendiente longitudinal muy pronunciada.</li> <li>- Estructura inadecuada para una zona de frenado.</li> </ul> <p data-bbox="882 1367 1096 1388"><b>Ondulaciones individuales:</b></p> <ul data-bbox="882 1421 1096 1524" style="list-style-type: none"> <li>- Mezcla asfáltica poco estable, con ligante muy blando y/o espesor de la capa inadecuado.</li> </ul>	<p data-bbox="1129 948 1346 1002"><b>En áreas con deterioro extensivo:</b></p> <ul data-bbox="1129 1031 1346 1259" style="list-style-type: none"> <li>- No pueden determinarse niveles de severidad mediante inspección visual.</li> <li>- Se pueden establecer niveles de severidad en función del incremento que experimente la rugosidad de la superficie (IRI).</li> </ul> <p data-bbox="1129 1292 1346 1346"><b>Para ondulaciones individuales:</b></p> <ul data-bbox="1129 1375 1346 1479" style="list-style-type: none"> <li>- Cualquier protuberancia de altura igual o mayor que 50 mm debe considerarse de alta severidad.</li> </ul>

Tabla B.1.6 - Deformación Superficial


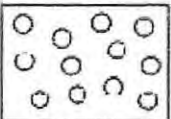
<p style="text-align: center;"><b>Exudación</b></p> 	<p>Presencia de asfalto sin árido en la superficie, que habitualmente forma una película brillante y, a veces, pegajosa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dosificación deficiente de la mezcla.</li> <li>- Exceso de asfalto.</li> <li>- Volumen de huecos insuficiente.</li> <li>- Ligante muy blando.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De preferencia, establecer niveles de severidad en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento.</li> <li>- Cuando se carece del instrumental para medir el coeficiente de fricción, se puede clasificar como sigue: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> el área del pavimento (especialmente la huella) presenta un color ligeramente más oscuro que el resto de la superficie.</li> <li>- <b>Media:</b> la zona presenta un cambio de textura debido a la película superficial de asfalto que se ha formado</li> <li>- <b>Alta:</b> en la zona afectada la superficie se presenta brillante, casi no puede verse el árido, y con altas temperaturas ambientales los neumáticos de los vehículos dejan marcas.</li> </ul> </li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Desgaste</b></p> 	<p>Pérdida generalizada de la parte más superficial de la carpeta, quedando expuestos los áridos más gruesos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de áridos poco tenaces, susceptibles de pulimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No pueden determinarse niveles de severidad mediante inspección visual.</li> <li>- Se establecen niveles de severidad en función de la reducción que experimenta la resistencia al deslizamiento (coeficiente de fricción).</li> </ul>

Tabla B.1.7 - Otros Deterioros


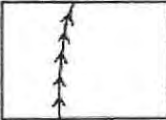

Otros deterioros (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p><b>Descenso de berma</b></p> 	<p>Es la diferencia de altura entre el borde externo del pavimento y la berma.</p>	<p>-Asentamiento de la berma, normalmente por una compactación insuficiente.</p> <p>-En bermas no revestidas, principalmente por el tránsito; también por erosión de la capa superficial por agua que escurre desde el pavimento hacia el borde externo de la plataforma.</p> <p>-En zonas frías, con ciclos de hielo deshielo, por descompactación producida por la penetración de la helada en suelos heladizos.</p>	<p>- <b>Baja:</b> descenso &lt; 10 mm.</p> <p>- <b>Media:</b> 10 mm ≤ descenso ≤ 30 mm.</p> <p>- <b>Alta:</b> descenso &gt; 30 mm.</p>
<p><b>Surgencia de finos y agua</b></p> 	<p>Expulsión de agua mezclada con finos, a través de las grietas y borde externo del pavimento, al pasar un vehículo especialmente pesado.</p> <p>En algunos casos se forma un pequeño pozo o bache en la berma, al borde del pavimento.</p> <p>En otras situaciones, después de pasado algún tiempo de terminada la precipitación, el fenómeno queda de manifiesto por depósitos de suelos finos sobre la superficie y alrededor del lugar por donde fue expulsado.</p>	<p>-Cuando existe agua entre el pavimento y la base o ésta se encuentra cercana a la saturación, el tránsito, en especial los vehículos pesados, produce un efecto de succión y luego bombeo, que erosiona material fino de la base.</p>	<p>- Cuando el fenómeno se manifiesta sin dejar un pozo o bache no pueden aplicarse niveles de severidad.</p> <p>- La severidad de los pozos o baches es la siguiente:</p> <p>- <b>Baja:</b> cavidad entre pavimento y berma &lt; 50 mm.</p> <p>- <b>Media:</b> 50 ≤ cavidad entre pavimento y berma ≤ 150 mm.</p> <p>- <b>Alta:</b> cavidad entre pavimento y berma &gt; 150 mm.</p>

Tabla B.1.8 Otros Deterioros

Defectos de Superficies (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="235 797 397 845">Desprendimiento de áridos</p> 	<p data-bbox="435 596 699 727">Pérdida del mortero asfáltico superficial quedando expuestos parcialmente el árido más grueso, en general, concentrada en las huellas.</p>	<p data-bbox="727 596 992 650">-Falta de adherencia entre ligante y áridos.</p> <p data-bbox="727 679 992 774">-Mezcla asfáltica mal diseñada (ligante inadecuado, áridos sucios, cubrimiento no uniforme del árido).</p>	<p data-bbox="1019 596 1284 774">- <b>Baja:</b> se puede detectar una pérdida incipiente de áridos o ligante pero el proceso no se ha desarrollado en forma significativa, existe alguna pérdida de árido fino. La profundidad de la huella es menor que 20 mm.</p> <p data-bbox="1019 810 1284 1009">- <b>Media:</b> existe pérdida tanto de áridos como de ligante, tal que la superficie se presenta rugosa e irregular, hay pérdidas de partículas individuales y alguna pérdida de áridos finos y gruesos. La profundidad de la huella es igual o mayor que 20 mm.</p> <p data-bbox="1019 1044 1284 1162">- <b>Alta:</b> las pérdidas son tan significativas que la superficie se presenta muy rugosa e irregular; existe una pérdida importante de árido grueso.</p>

## B.2 - Tipos de deterioros y técnicas de reparación para pavimentos rígidos y flexibles

Tabla B.2.1 - Deterioros de pavimento rígido y su correspondiente técnica de reparación.

<b>Pavimento Rígido</b>	
<b>Deterioro</b>	<b>Técnica de Reparación</b>
Deficiencias del sellado	Sellado de juntas y grietas
Separación de la junta Longitudinal	Sellado de juntas y grietas Reparación del espesor Total
Grieta de esquina	Sellado de juntas y grietas Reparación del espesor Total
Juntas Saltadas	Sellado de juntas y grietas Reparación del espesor parcial
Grieta longitudinales y transversales	Sellado de juntas y grietas Reparación del espesor Total
Fisuramiento por retracción	Reparación del espesor parcial
Desintegración	Reparación del espesor parcial
Baches	Reparación del espesor parcial Reparación del espesor Total
Levantamiento localizado	Reparación del espesor total
Escalonamiento de juntas y grietas	Cepillado de la superficie
Descenso de la berma	Nivelación de berma
Separación entre berma y pavimento	Sellado de juntas y grietas
Parches deteriorados	Reparación del espesor total
Surgencia de Finos	Instalación de drenes de pavimento
Fragmentación Múltiple	Reparación del espesor total

Tabla B.2.2 - Deterioros de pavimento flexible y su correspondiente técnica de reparación.

<b>Pavimento Flexible</b>	
<b>Deterioro</b>	<b>Técnica de Reparación</b>
Fisuras y grietas por fatigamiento	Bacheo Superficial
	Bacheo Profundo
Fisuras y grietas en bloque	Sello Bituminoso
Grietas de Borde	Sello Bituminoso Bacheo Profundo
Fisuras y grietas longitudinales y transversales	Sellado de grietas
Fisuras y grietas reflejadas	Sellado de grietas
Parches deteriorados	Sello Bituminoso Bacheo Superficial Bacheo Profundo
Baches en carpetas asfálticas y tratamientos superficiales	Bacheo Superficial Bacheo Profundo
Ahuellamiento	Sello Bituminoso
<i>Deformación transversal</i>	Bacheo Superficial Bacheo Profundo
Desgaste	Sello Bituminoso
Pérdida de áridos	Sello Bituminoso
Ondulaciones	Bacheo Profundo
Descenso de la berma	Nivelación de berma
Surgencia de finos y agua	Instalación de drenes de pavimento
Separación entre berma y pavimento	Sellado de grietas