



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

**SEGUIMIENTO DE UN DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL  
PARA CAMINO DE ALTO TRÁNSITO**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ANGELA BERNARDITA QUEIROLO MENZ**

**PROFESOR GUÍA:  
JULIO TORREJÓN OLMOS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CARLOS AGUILERA GUTIÉRREZ  
VICTOR ROCO HERRERA**

**SANTIAGO DE CHILE  
MARZO 2009**

## **“SEGUIMIENTO DE UN DOBLE TRATAMIENTO SUPERFICIAL PARA CAMINO DE ALTO TRÁNSITO”**

La red vial de Chile cuenta con 80.523 km, de los cuales sólo 17.245 km están pavimentados. Con el propósito de aumentar la red vial pavimentada a un menor costo, el Ministerio de Obras Públicas, a través de las Direcciones Regionales de Vialidad, han aplicado el uso de estructuras económicas de pavimentos granulares con coberturas asfálticas delgadas. Una de estas coberturas es el Doble Tratamiento Superficial (DTS) que hasta hoy sólo se ha usado en caminos con tránsito medio a bajo, no superando en la actualidad los 1 - 1,5 Millones de Ejes Equivalentes (MEE).

El presente estudio se enmarca dentro del convenio suscrito entre el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) y el Instituto Chileno del Asfalto (ICHAS) y consistió en verificar si este tipo de solución, responde de manera satisfactoria en caminos con mayores solicitaciones de tránsito.

Para verificar el resultado de dicha experiencia, se eligió como base el contrato “Reposición de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite II Región”, de largo 22,75 km, que se ubica entre los paralelos 25° 56' y 26° 20' Latitud Sur y meridiano 70° 30' Longitud Oeste. Esta obra incluyó una capa de base granular con superficie de DTS convencional, sobre el pavimento existente.

El desarrollo del trabajo consistió en establecer la condición original de la estructura de pavimento, para luego determinar y comparar la condición actual mediante mediciones de resistencia estructural, funcionalidad y durabilidad. Con esto, más una inspección visual, se logró definir la forma, magnitud y frecuencia del deterioro producido.

En general, la estructura ha respondido satisfactoriamente frente a las solicitaciones de tránsito desde su puesta en servicio y momento actual, años 2004 y 2008 respectivamente. Los posibles daños presentados en este tipo de solución, se asocian a las condiciones ambientales, de drenaje, geometría y diseño estructural del pavimento.

Los resultados en cuanto al comportamiento de la estructura sometida a tránsito medio a alto son promisorios. No obstante, para el futuro de esta investigación, se sugiere continuar con este seguimiento mediante una metodología genérica que incluye mediciones periódicas de su condición estructural y funcional.

# *Agradecimientos*

Quisiera agradecer de manera especial:

A mi mamá y hermano, por todo el amor y apoyo incondicional que me han brindado y por ser parte fundamental de mi desarrollo personal y profesional.

Al Tío Pepe, por encontrar siempre la mejor manera de ayudarme,

A mis tíos y tías, por sus palabras de apoyo,

A mis amigas y amigos, por confiar en mí,

Y a mis tres ángeles de la guarda, que desde el cielo protegen e iluminan mi vida.

Por último, quiero agradecer a mi Profesor Guía, Sr. Julio Torrejón, por su dedicación y comprensión, y a todo el personal técnico del Laboratorio Nacional de Vialidad, en especial al Sr. Victor Roco que, gracias a su gestión, permitió el desarrollo del presente trabajo de título.

A todos los que han colaborado en este proceso, de todo corazón,

*Muchas Gracias.*

# Índice

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1.	PRESENTACIÓN DEL TEMA .....	1
1.2.	JUSTIFICACIÓN DEL TEMA .....	1
1.3.	OBJETIVOS .....	2
1.3.1.	<i>Objetivo General</i> .....	2
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	2
1.4.	METODOLOGÍA .....	3
1.5.	RESULTADOS ESPERADOS .....	4
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1.	PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	5
2.2.	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES .....	6
2.2.1.	<i>Definición y Funciones</i> .....	6
2.2.2.	<i>Actividades Constructivas</i> .....	7
2.2.3.	<i>Dosificación de materiales</i> .....	9
2.2.3.1.	Método Hanson .....	9
2.2.3.2.	Método especificado por el Laboratorio Nacional de Vialidad.....	10
2.3.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	11
2.3.1.	<i>Manual de Carreteras</i> .....	11
2.3.2.	<i>Método de diseño Morin – Todor</i> .....	15
2.3.3.	<i>Método Neozelandés</i> .....	17
2.3.3.1.	Aplicación a Tratamientos Superficiales .....	17
2.4.	DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	22
2.4.1.	<i>Actividades de Mantenimiento</i> .....	23
2.5.	CONDICIÓN FUNCIONAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	24
2.5.1.	<i>Índice de Regularidad Superficial (IRI)</i> .....	24
2.5.1.1.	Índice de Serviciabilidad Presente .....	26
2.5.2.	<i>Resistencia al deslizamiento (Fricción)</i> .....	27
2.5.3.	<i>Textura Superficial</i> .....	29
2.5.4.	<i>Factores Funcionales Complementarios</i> .....	30
2.6.	CONDICIÓN ESTRUCTURAL EN PAVIMENTOS FLEXIBLES .....	30
2.6.1.	<i>Deflexiones Superficiales</i> .....	30
2.6.2.	<i>Retroanálisis AASHTO</i> .....	31
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA OBRA</b> .....	<b>33</b>
3.1.	ANTECEDENTES .....	33
3.2.	ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS .....	38
3.3.	ACTIVIDADES DE CONSERVACIÓN .....	39
3.4.	ANTECEDENTES GEOGRÁFICOS DE LA ZONA .....	41
3.4.1.	<i>Ubicación</i> .....	41
3.4.2.	<i>Relieve y Características del Trazado</i> .....	42
3.4.3.	<i>Geomorfología</i> .....	42
3.4.4.	<i>Clima</i> .....	44
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>ESTUDIO DE TRÁNSITO</b> .....	<b>45</b>

4.1.	TRÁNSITO MEDIO DIARIO ANUAL (TMDA) .....	45
4.1.1.	<i>Puntos de Control</i> .....	45
4.1.2.	<i>Clasificación de Vehículos</i> .....	47
4.1.3.	<i>Tasas de Crecimiento</i> .....	47
4.1.4.	<i>Cálculo del TMDA</i> .....	48
4.2.	EJES EQUIVALENTES SOLICITANTES .....	51
4.3.	PROYECCIÓN DE TRÁNSITO.....	53
4.3.1.	<i>Número Estructural en Función del Pronóstico de Tránsito</i> .....	54
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>INSPECCIÓN TÉCNICA DEL PAVIMENTO.....</b>	<b>56</b>
5.1.	PROGRAMA DE ACTIVIDADES EN VISITA A OBRA .....	56
5.2.	INSPECCIÓN VISUAL .....	56
5.2.1.	<i>Análisis de deterioros</i> .....	57
5.2.2.	<i>Verificación de la estructura del pavimento</i> .....	58
5.3.	MEDICIONES EN TERRENO .....	59
5.3.1.	<i>Deflectometría de Impacto</i> .....	61
5.3.1.1.	Deflexiones Máximas.....	62
5.3.1.2.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación.....	63
5.3.1.3.	Módulo Elástico del Pavimento .....	64
5.3.1.4.	Número Estructural Efectivo del Pavimento.....	65
5.3.2.	<i>Índice de Regularidad Internacional (IRI)</i> .....	66
5.3.2.1.	IRI Antes de la Rehabilitación.....	67
5.3.2.2.	IRI Después de la Rehabilitación.....	68
5.3.2.3.	Índice de Serviciabilidad .....	69
5.3.3.	<i>Coefficiente de Roce al Deslizamiento</i> .....	70
5.3.3.1.	Mediciones del C.R.D en el Sector A.....	71
5.3.3.2.	Mediciones del C.R.D en el Sector C.....	72
5.3.4.	<i>Textura Superficial</i> .....	73
5.3.4.1.	Mediciones de la Textura Superficial en el Sector A .....	74
5.3.4.2.	Mediciones de la Textura Superficial en el Sector C .....	75
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>REFERENCIA DTS POLPAICO – LA TRAMPILLA .....</b>	<b>76</b>
6.1.	ANTECEDENTES .....	76
6.2.	MEDICIONES REALIZADAS.....	82
6.2.1.	<i>Regularidad Superficial</i> .....	82
6.2.1.1.	IRI .....	82
6.2.1.2.	Índice de Serviciabilidad (PSI) .....	83
6.2.2.	<i>Coefficiente de Fricción Transversal</i> .....	84
6.2.3.	<i>Deflectometría de Impacto</i> .....	84
<b>CAPÍTULO 7</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>85</b>
7.1.	DEFLECTOMETRÍA DE IMPACTO.....	85
7.1.1.	<i>Deflexiones Máximas</i> .....	85
7.1.2.	<i>Módulo Resiliente de la Subrasante</i> .....	85
7.1.3.	<i>Modulo Elástico del Pavimento</i> .....	87
7.1.4.	<i>Numero Estructural del Pavimento</i> .....	88
7.2.	ÍNDICE DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI) .....	88
7.3.	COEFICIENTE DE ROCE .....	89
7.4.	TEXTURA SUPERFICIAL .....	89
7.5.	REFERENCIA AL SECTOR POLPAICO – LA TRAMPILLA .....	89

<b>CAPÍTULO 8</b>	<b>REFERENCIA ECONÓMICA .....</b>	<b>91</b>
8.1.	BREVE INTRODUCCIÓN A LOS COSTOS EN PAVIMENTOS .....	91
8.2.	COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE LA RUTA 5N, SECTOR CHAÑARAL – LÍMITE REGIONAL .....	92
<b>CAPÍTULO 9</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>95</b>
9.1.	COMPLEMENTACIONES AL PRESENTE ESTUDIO.....	96
9.2.	PROGRAMA DE SEGUIMIENTO FUTURO .....	96
9.3.	CONCLUSIONES FINALES Y RECOMENDACIONES .....	98
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>99</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>100</b>
ANEXO A	CARTAS DE DISEÑO.....	101
A.1	<i>Manual de Carreteras .....</i>	<i>101</i>
A.2	<i>Tratamientos Superficiales MORIN - TODOR .....</i>	<i>105</i>
ANEXO B	DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	106
B.1	<i>Tipos de fallas .....</i>	<i>106</i>
ANEXO C	SERIE FOTOGRÁFICA .....	114
C.1	<i>Antes de la Rehabilitación.....</i>	<i>114</i>
C.2	<i>Durante la Construcción de DTS.....</i>	<i>116</i>
C.3	<i>Después de la Rehabilitación .....</i>	<i>119</i>
C.4	<i>Inspección Visual Septiembre 2008.....</i>	<i>120</i>
C.5	<i>Calicata km 1034,900 / Septiembre 2008.....</i>	<i>125</i>
ANEXO D	MONOGRAFÍAS.....	126
ANEXO E	MEMORIA DE CÁLCULO.....	137
E.1	<i>Deflectometría de Impacto .....</i>	<i>137</i>
E.2	<i>Regularidad Superficial .....</i>	<i>169</i>
E.3	<i>Textura Superficial .....</i>	<i>171</i>
E.4	<i>Coficiente de Roce.....</i>	<i>173</i>

# Índice de Tablas

Tabla 2.1.	Nivel de Confianza y Valor del $S_0$ . (Tabla 3.604.104.A M.C. Vol. 3).....	12
Tabla 2.2.	Índices de serviciabilidad en pavimentos flexibles.....	13
Tabla 2.3.	Limitaciones a los espesores de las capas estructurales en pavimentos flexibles (Tabla 3.604.108.A, M.C. Vol.3) .....	13
Tabla 2.4.	Equipos para la medición del IRI .....	24
Tabla 2.5.	Índices de serviciabilidad de referencia (Base AASHTO 1993) .....	26
Tabla 2.6.	Equipos de medición de resistencia al deslizamiento .....	27
Tabla 2.7.	Clasificación referencial para valores del C.R.D. (SCT e IMT, México).....	29
Tabla 3.1.	Alternativa 1 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional.....	34
Tabla 3.2.	Alternativa 2 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional.....	34
Tabla 3.3.	Alternativa 3 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional.....	34
Tabla 3.4.	Alternativa 4 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional.....	35
Tabla 3.5.	Estructura teórica del pavimento, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional .....	35
Tabla 3.6.	Geometría de la Sección Transversal, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional.....	36
Tabla 4.1.	Ubicación de los Puntos de Control de Tránsito N°1 y N°2 .....	46
Tabla 4.2.	Incidencia de los puntos de control para estudio de tránsito.....	46
Tabla 4.3.	División del camino por incidencia de tránsito .....	46
Tabla 4.4.	Clasificación de vehículos adoptada por la Dirección de Vialidad.....	47
Tabla 4.5.	Tasas históricas de crecimiento del PGB del país c/r al año anterior.....	48
Tabla 4.6.	Elasticidad y Tasas de crecimiento históricas para cada tipo de vehículo .....	48
Tabla 4.7.	TMDA medido en el Punto de Control N°1, Bifurcación Carrizalillo de/a Antofagasta.....	49
Tabla 4.8.	TMDA medido en el Punto de Control N°1, Bifurcación Carrizalillo de/a Copiapó.....	49
Tabla 4.9.	TMDA medido en el Punto de Control N°2, Bifurcación El Salado de/a Antofagasta .....	50
Tabla 4.10.	TMDA Antes de la Rehabilitación (1998 – 2003).....	50
Tabla 4.11.	TMDA Después de la Rehabilitación (2004 – 2008) .....	51
Tabla 4.12.	Estratigrafía adoptada Pavimento Asfáltico.....	51
Tabla 4.13.	Ejes Equivalentes Antes de la Rehabilitación (1998 – 2003) .....	52
Tabla 4.14.	Ejes Equivalentes Después de la Rehabilitación (2004 – 2008).....	52
Tabla 4.15.	Diseño v/s Estudio de Tránsito.....	53
Tabla 4.16.	Proyección del TMDA acumulado para 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector .....	53
Tabla 4.17.	Proyección de EE acumulados para 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector .....	54
Tabla 4.18.	Ejes equivalentes acumulados en 5, 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector .....	54
Tabla 4.19.	Número estructural esperado para 5, 10 y 20 años desde la rehabilitación .....	55
Tabla 5.1.	Programa de actividades para inspección técnica en el lugar de la obra.....	56
Tabla 5.2.	Sectorización de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional, en los días de medición de textura superficial y coeficiente de roce .....	59
Tabla 5.3.	Espesores considerados en el cálculo retroanálisis para los distintos años de medición .....	61
Tabla 6.1.	Aspectos geométricos del Tramo Polpaico – La Trampilla.....	77
Tabla 6.2.	Características del tramo DTS en el sector Polpaico - La Trampilla. ....	78
Tabla 6.3.	Propiedades estructurales del DTS Sector Polpaico – La Trampilla .....	84
Tabla 8.1.	Precios unitarios para obras de pavimentación .....	92
Tabla 8.2.	Comparación entre las distintas alternativas propuestas para la rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite Regional .....	93
Tabla 9.1.	Programa de Seguimiento Futuro .....	97

Tabla A. 1.	Temperaturas Medias Anuales Ponderadas (TMPA) .....	101
Tabla A. 2.	Coeficientes Estructurales / Método de diseño Morin - Todor .....	105
Tabla B. 1.	Fisuras y Grietas .....	106
Tabla B. 2.	Parches y baches .....	109
Tabla B. 3.	Deformaciones Superficiales.....	110
Tabla B. 4.	Defectos de Superficie .....	111
Tabla B. 5.	Otros Deterioros.....	113
Tabla E. 1.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Marzo 1998 .....	137
Tabla E. 2.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Marzo 1998 .....	141
Tabla E. 3.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Agosto 2001 .....	145
Tabla E. 4.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Agosto 2001 .....	148
Tabla E. 5.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Abril 2004.....	151
Tabla E. 6.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Abril 2004.....	157
Tabla E. 7.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Septiembre 2008.....	163
Tabla E. 8.	Retroanálisis AASHTO/ Pista 2 / Septiembre 2008.....	166
Tabla E. 9.	Evolución del IRI a través del tiempo / Pista 1 .....	169
Tabla E. 10.	Evolución del IRI a través del tiempo / Pista 2 .....	170
Tabla E. 11.	Macrotextura del Pavimento Septiembre 2008 / Pista 1.....	171
Tabla E. 12.	Macrotextura del Pavimento Septiembre 2008 / Pista 2 .....	172
Tabla E. 13.	C.R.D. Septiembre 2008 / Pista 1.....	173
Tabla E. 14.	C.R.D. Septiembre 2008 / Pista 2.....	174



# Índice de Figuras

Fig. 2.1.	Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Simple .....	6
Fig. 2.2.	Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Doble .....	6
Fig. 2.3.	Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble.....	8
Fig. 2.4.	Nivel de espacios entre áridos y asfalto en las etapas de construcción de un Tratamiento Superficial / Método Hanson .....	9
Fig. 2.5.	Dimensión Mínima Promedio de las partículas de agregado .....	10
Fig. 2.6.	Configuración elástica de la estructura de un pavimento tipo Tratamiento Superficial, según método de diseño Neozelandés .....	18
Fig. 2.7.	Gráfico de diseño para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos muy solicitados / Método Neozelandés.....	20
Fig. 2.8.	Gráfico de diseño para pavimentos tipo tratamiento superficial, en caminos con menor grado de solicitud / Método Neozelandés .....	20
Fig. 2.9.	CBR mínimo de la subbase para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos muy solicitados / Método Neozelandés.....	21
Fig. 2.10.	CBR mínimo de la subbase para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos con menor grado de solicitud / Método Neozelandés .....	21
Fig. 2.11.	Influencia de las actividades de conservación en la curva de deterioro de pavimentos .....	23
Fig. 2.12.	Perfilómetro Láser origen Australiano ARRB: Equipo de Alto Rendimiento para la medición del IRI.....	25
Fig. 2.13.	Equipos de Bajo Rendimiento para la medición del IRI.....	25
Fig. 2.14.	Microtextura y Macrotextura de un pavimento.....	27
Fig. 2.15.	Equipos de medición de resistencia al deslizamiento .....	28
Fig. 2.16.	Ensayo del Círculo de Arena .....	29
Fig. 2.17.	Deflectómetro de Impacto .....	31
Fig. 2.18.	Sistema Bicapa Equivalente del Pavimento - Subrasante .....	32
Fig. 3.1.	Perfil Tipo Estructura Rehabilitada, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional .....	37
Fig. 3.2.	Evolución Teórica de la Estructura de Pavimento, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional .....	40
Fig. 3.3.	Plano ubicación Zona DTS, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional.....	41
Fig. 3.5.	Mapa Geológico de la III Región (SERNAGEOMIN).....	43
Fig. 3.4.	Ubicación geomorfológica de la Ruta 5N en la III Región.....	43
Fig. 3.6.	a) Tipos de clima de la III Región, b) Nivel de Precipitación Anual en la III Región .....	44
Fig. 4.1.	Plano ubicación de los Puntos de Control de Tránsito Nº1 y Nº2 .....	45
Fig. 4.2.	División del camino en estudio por incidencia de tránsito.....	46
Fig. 4.3.	Calzada única con dos pistas .....	52
Fig. 5.1.	Sectorización de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional, en los días de medición de textura superficial y coeficiente de roce .....	60
Fig. 5.2.	Deflexiones Máximas / Pista 1 .....	62
Fig. 5.3.	Deflexiones Máximas / Pista 2 .....	62
Fig. 5.4.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación / Pista 1 .....	63
Fig. 5.5.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación / Pista 2 .....	63
Fig. 5.6.	Módulo Elástico del Pavimento / Pista 1.....	64
Fig. 5.7.	Módulo Elástico del Pavimento / Pista 2.....	64
Fig. 5.8.	Número Estructural Efectivo / Pista 1 .....	65
Fig. 5.9.	Número Estructural Efectivo / Pista 2 .....	65
Fig. 5.10.	IRI Antes de la Rehabilitación / Pista 1.....	67
Fig. 5.11.	IRI Antes de la Rehabilitación / Pista 2.....	67

Fig. 5.12.	IRI Después de la Rehabilitación / Pista 1.....	68
Fig. 5.13.	IRI después de la rehabilitación / Pista 2.....	68
Fig. 5.14.	Evolución del Índice de Serviciabilidad / Pista 1.....	69
Fig. 5.15.	Evolución del Índice de serviciabilidad / Pista 2.....	69
Fig. 5.16.	Mediciones del C.R.D en el Sector A / Pista 1.....	71
Fig. 5.17.	Mediciones del C.R.D en el Sector A / Pista 2.....	71
Fig. 5.18.	Mediciones del C.R.D en el Sector C / Pista 1.....	72
Fig. 5.19.	Mediciones del C.R.D en el Sector C / Pista 2.....	72
Fig. 5.20.	Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector A / Pista 1.....	74
Fig. 5.21.	Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector A / Pista 2.....	74
Fig. 5.22.	Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector C / Pista 1.....	75
Fig. 5.23.	Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector C / Pista 2.....	75
Fig. 6.1.	Numeración de Pistas en Doble Calzada .....	76
Fig. 6.2.	Esquema Tramo Experimental Polpaico – La Trampilla .....	79
Fig. 6.3.	Perfil Tipo Tramo 2A con Emulsión Asfáltica Normal, Dm 41.417 – Dm 41.667, L = 250.....	80
Fig. 6.4.	Perfil Tipo Tramo 2B Con Emulsión Asfáltica Elastomérica, Dm 41.667 – Dm 41.917, L = 250m.....	81
Fig. 6.5.	Evolución del IRI Promedio desde 1995 hasta 2007 / Pista 4 .....	82
Fig. 6.6.	Evolución del Índice de Serviciabilida Promedio desde 1995 a 2007 / Pista 4.....	83
Fig. 6.7.	Evolución de la Fricción Promedio desde 2002 a 2008 / Pista 4 .....	84
Fig. 7.1.	Gráfico Tensión v/s Deformación.....	86
Fig. 7.2.	Zona de Descarga y recarga en Gráfico Tensión v/s Deformación .....	87
Fig. A. 1.	Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 6°C.....	102
Fig. A. 2.	Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 14°C.....	103
Fig. A. 3.	Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 19°C.....	104
Fig. D. 1.	Monografía 1.....	127
Fig. D. 2.	Monografía 2.....	128
Fig. D. 3.	Monografía 3.....	129
Fig. D. 4.	Monografía 4.....	130
Fig. D. 5.	Monografía 5.....	131
Fig. D. 6.	Monografía 6.....	132
Fig. D. 7.	Monografía 7.....	133
Fig. D. 8.	Monografía 8.....	134
Fig. D. 9.	Monografía 9.....	135
Fig. D. 10.	Monografía 10.....	136
Fig. E. 1.	Deflexión Máxima 1998 / Pista 1 .....	139
Fig. E. 2.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 1998 / Pista 1 .....	139
Fig. E. 3.	Módulo del Pavimento 1998 / Pista 1 .....	140
Fig. E. 4.	Número Estructural Efectivo 1998 / Pista 1 .....	140
Fig. E. 5.	Deflexión Máxima 1998 / Pista 2.....	143
Fig. E. 6.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 1998 / Pista 2 .....	143
Fig. E. 7.	Módulo del Pavimento 1998 / Pista 2 .....	144
Fig. E. 8.	Número Estructural Efectivo 1998 / Pista 2 .....	144
Fig. E. 9.	Deflexión Máxima 2001 / Pista 1.....	146
Fig. E. 10.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2001 / Pista 1 .....	146
Fig. E. 11.	Módulo del Pavimento 2001 / Pista 1 .....	147

Fig. E. 12.	Número Estructural Efectivo 2001 / Pista 1 .....	147
Fig. E. 13.	Deflexión Máxima 2001 / Pista 2.....	149
Fig. E. 14.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2001 / Pista 2 .....	149
Fig. E. 15.	Módulo del Pavimento 2001 / Pista 2 .....	150
Fig. E. 16.	Número Estructural Efectivo 2001 / Pista 2 .....	150
Fig. E. 17.	Deflexión Máxima 2004 / Pista 1.....	155
Fig. E. 18.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2004 / Pista 1 .....	155
Fig. E. 19.	Módulo del Pavimento 2004 / Pista 1 .....	156
Fig. E. 20.	Número Estructural Efectivo 2004 / Pista 1 .....	156
Fig. E. 21.	Deflexión Máxima 2004 / Pista 2.....	161
Fig. E. 22.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2004 / Pista 2 .....	161
Fig. E. 23.	Módulo del Pavimento 2004 / Pista 2 .....	162
Fig. E. 24.	Número Estructural Efectivo 2004 / Pista 1 .....	162
Fig. E. 25.	Deflexión Máxima 2008 / Pista 1.....	164
Fig. E. 26.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2008 / Pista 1 .....	164
Fig. E. 27.	Módulo del Pavimento 2008 / Pista 1 .....	165
Fig. E. 28.	Número Estructural Efectivo 2008 / Pista 1 .....	165
Fig. E. 29.	Deflexión Máxima 2008 / Pista 2.....	167
Fig. E. 30.	Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2008 / Pista 2 .....	167
Fig. E. 31.	Módulo del Pavimento 2008 / Pista 2 .....	168
Fig. E. 32.	Número Estructural Efectivo 2008 / Pista 2 .....	168

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Presentación del Tema

La red vial de Chile está conformada por 80.528,34 km de los cuales sólo 17.245 km han sido pavimentados<sup>(1)</sup>, debido al alto costo que ello implica. Con el deseo de aumentar y mejorar en calidad la conservación de la red vial, a un menor costo, las Direcciones Regionales de Vialidad han experimentado el uso de soluciones económicas que respondan de buena manera frente a las exigencias de cantidad de flujo vehicular del sector, tipo de clima de la zona, disponibilidad de materiales, etc.

Dentro de estos tipos de soluciones económicas se encuentran los Tratamientos Superficiales, los cuales presentan un menor costo asociado a la construcción que los otros tipos de pavimentos de asfalto y de hormigón, y responden con una satisfactoria calidad técnica en caminos donde las solicitudes de tránsito son relativamente bajas a medias, no superando en la actualidad los 1,5 Millones de Ejes Equivalentes (MEE).

El presente trabajo se desarrolla dentro del marco técnico de colaboración, suscrito entre el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV) y el Instituto Chileno del Asfalto (ICHAS), teniendo como principal propósito, verificar si este tipo de solución, responde de buena manera en sectores donde las solicitudes de tránsito corresponden a un alto flujo de vehículos pesados, como lo es en la mayoría de las carreteras que conforman la red de conexión terrestre entre los puntos más importantes del país.

### 1.2. Justificación del Tema

La característica más notoria de las rutas que conforman la red nacional de carreteras es tener un alto flujo vehicular, desagregado en camiones, buses, maquinarias, etc. Ejemplo de ello, es la Ruta 5, principal vía de comunicación terrestre de Chile, que recorre desde Arica hasta la Isla de Chiloé. Debido a estas solicitudes de gran magnitud, los pavimentos deben ser diseñados de tal manera que cumplan con las expectativas de resistencia, seguridad y serviciabilidad durante toda su vida útil y que resulten ser lo más económico posible.

---

<sup>1</sup> Valores referenciados a diciembre del 2007.

Durante el período abril del 2003 a marzo del 2004, con el fin de rehabilitar la Ruta 5 Norte, que en esos momentos presentaba serios deterioros que comprometían la seguridad de los usuarios, la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas intervino un sector desarrollando el proyecto “Reposición de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite II Región – Provincia de Chañaral, III Región de Atacama”, que consistió en la construcción de un pavimento asfáltico del tipo Doble Tratamiento Superficial (DTS) sobre el pavimento existente.

Para verificar el resultado de esta experiencia, se estudiará y evaluará el comportamiento estructural y funcional de dicha solución frente a las altas solicitaciones de tránsito, teniendo conocimiento de todos los factores que se deben valorizar, como lo son las propiedades y el comportamiento de los suelos locales, el método constructivo utilizado, el tipo de clima de la zona, la acción de los vehículos, la estructura existente, etc.

Así, considerando y analizando todo el conjunto de variables que inciden en el diseño y comportamiento de los pavimentos, se pretende confirmar si este tipo de solución es un método viable en rehabilitación y/o construcción de caminos con alto tránsito.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

- Evaluar el comportamiento de un pavimento del tipo doble tratamiento superficial, diseñado estructuralmente para un camino de alto tránsito.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar el seguimiento del tramo de la Ruta 5 Norte con Doble Tratamiento Superficial, en el Sector Chañaral - Límite II Región y con ello evaluar el comportamiento estructural y funcional de dicha solución.
- Evaluar el deterioro y estado actual del tramo en estudio mediante una inspección visual y mediciones directas de deflectometría, IRI, textura superficial y coeficiente de roce entre pavimento y neumático.
- Formular programas basados en el planteamiento de metodologías y recomendaciones para el seguimiento, uso y conservación de este tipo de solución.

## 1.4. Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del presente trabajo de título, consistió en:

- Revisión bibliográfica sobre métodos de diseño, aspectos constructivos y de mantenimiento en las obras viales, con atención en los pavimentos asfálticos y en especial del tipo tratamiento superficial.
- Definición precisa del tramo de la Ruta 5 a estudiar.
- Recopilación de antecedentes geológicos, geográficos y ambientales de la zona en la cual se emplaza el tramo.
- Recolección de toda la información disponible sobre el proyecto integral de rehabilitación; esto es: estructura y estado del pavimento existente antes del comienzo de la obra, método de diseño utilizado en la nueva estructura, actividades de construcción, control de calidad de la obra y mediciones realizadas desde la puesta en servicio del tramo.
- Estudio de tránsito en el sector para conocer las solicitaciones de la demanda real que ha afectado al pavimento antes y después de la rehabilitación y pronóstico futuro. Se realiza una proyección de tránsito acumulado para 10 y 20 años desde la rehabilitación.
- Inspecciones técnicas en el lugar de la obra con el fin de evaluar el estado actual del tramo mediante una inspección visual y realización de ensayos que permitan la medición y estudio de parámetros indicadores de la serviciabilidad y condición estructural. Para esto, se realizaron mediciones de *deflectometría* con el Falling Weight Deflectometer (FWD) ó Deflectómetro de Impacto, *regularidad superficial* (IRI) por medio de una perfilometría longitudinal, *textura superficial* mediante el ensayo del Círculo de Arena y *coeficiente de roce* con el Péndulo Británico. Todos los equipos fueron provistos por el Laboratorio Nacional de Vialidad y se siguieron los métodos de ensaye que se especifican en el Manual de Carreteras, Volumen 8. Esto, más la recolección de mediciones anteriores, permitirá monitorear la evolución de cada uno de estos parámetros.
- Revisión de un tramo de DTS de 500 metros de longitud, construido como parte de un tramo experimental de la Ruta 5 Norte, Sector Polpaico – La Trampilla, para establecer una referencia real del tramo en estudio. Con esto se espera definir algunos parámetros de comparación para realizar una evaluación general del comportamiento de este tipo de solución en caminos de alto tránsito.
- Procesamiento de las mediciones obtenidas y respectivo análisis de resultados.

- Formulación de un programa específico de seguimiento sistemático para el camino estudiado y planteamiento de una metodología genérica para el seguimiento de dichas soluciones.
- Conclusiones y recomendaciones.

## **1.5. Resultados Esperados**

Con el desarrollo del presente trabajo, se espera:

- Determinar si la solución de pavimento utilizada en el tramo de estudio se comporta bien frente a las altas solicitaciones de tránsito y condiciones del sector.
- Establecer si el seguimiento de la obra realizado hasta el momento ha sido el apropiado.
- Formular un plan futuro para continuar evaluando el comportamiento del pavimento del sector en estudio.
- Determinar si esta solución es adecuada para su implementación en caminos con solicitaciones similares a las del tramo estudiado y hacer recomendaciones sobre la construcción en futuros caminos. Además, generar una metodología de seguimiento para estas soluciones.

# Capítulo 2

## Marco Teórico

### 2.1. Pavimentos Flexibles

Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están conformados por una serie de capas desde la plataforma de la subrasante (algunos incluyen como parte del pavimento la última capa de la subrasante) 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 carga.

La típica estructura de un pavimento flexible consta de las siguientes capas:

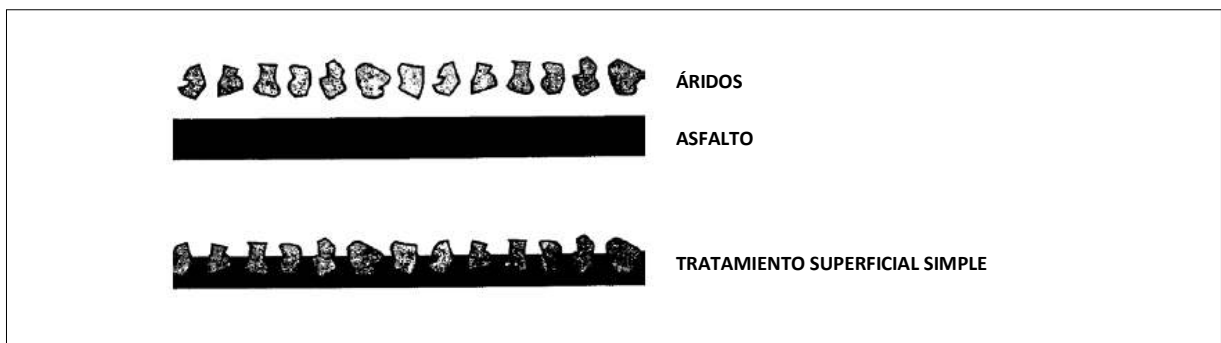
- **Capa superficial o superficie de rodadura:** Esta es la capa que entra en contacto con el tráfico y medio ambiente. La capa superficial puede estar compuesta por una o varias capas asfálticas. En el caso de superficies de rodadura, algunas veces éstas no ayudan a resistir las cargas externas, más bien protegen las capas estructurales inferiores, enmarcándose dentro de esta categoría los tratamientos superficiales (simple, doble, o triple), las lechadas asfálticas y los cape seal.
- **Base:** Esta es la capa que se encuentra directamente debajo de la capa superficial y, en general, se compone de material granular (grava – arena).
- **Sub-base:** Es la capa que está bajo la capa de base y también es granular del tipo grava – arena.



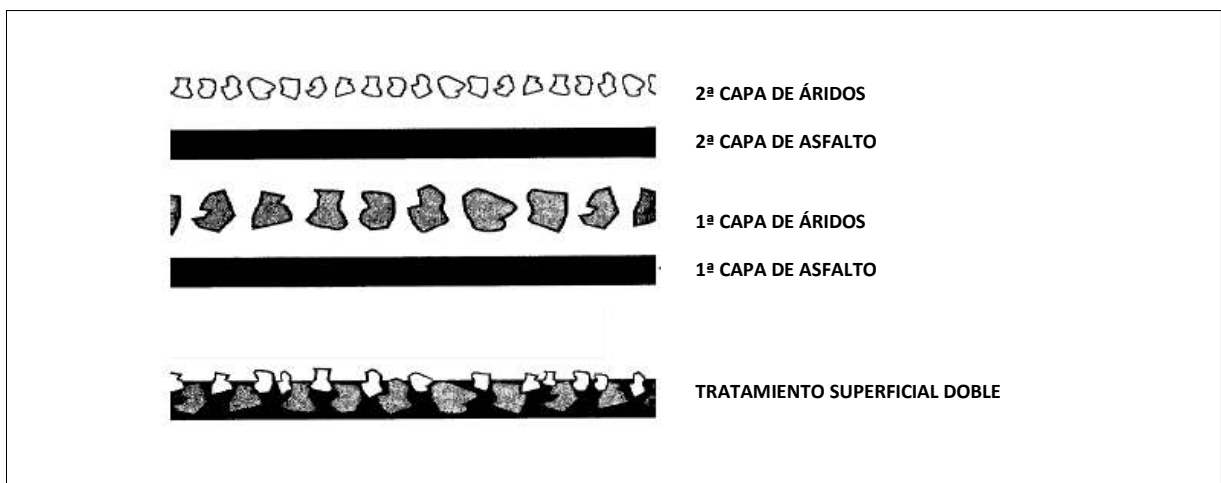
## 2.2. Tratamientos Superficiales

### 2.2.1. Definición y Funciones

Se define un tratamiento superficial como una superficie asfáltica que resulta de una o más aplicaciones sucesivas y alternadas de ligante asfáltico y áridos sobre una base 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 de asfalto y áridos, éstos reciben el nombre de tratamiento superficial simple, doble, triple ó múltiple.



*Fig. 2.1. Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Simple*



*Fig. 2.2. Esquema representativo de un Tratamiento Superficial Doble*

Las principales funciones de los tratamientos superficiales son:

- Proteger la superficie de la base estabilizada de la acción erosiva y esfuerzos tangenciales producidos por los neumáticos de los vehículos.
- Proteger la estructura del camino de la acción del clima, principalmente de las infiltraciones de agua que podrían comprometer la estabilidad de las capas granulares.
- Asegurar un nivel de adherencia mínimo entre neumático y superficie de la calzada.

Su ejecución en forma eficiente permite la obtención de un tratamiento económico, de construcción simple y durable. Aplicados sobre una base granular, su efecto de impermeabilización permite que ésta conserve su capacidad de soporte adecuada. Aplicados sobre pavimentos existentes de asfalto o de hormigón, prolongan la durabilidad de la calzada.

Un tratamiento superficial doble, 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.

### **2.2.2. Actividades Constructivas**

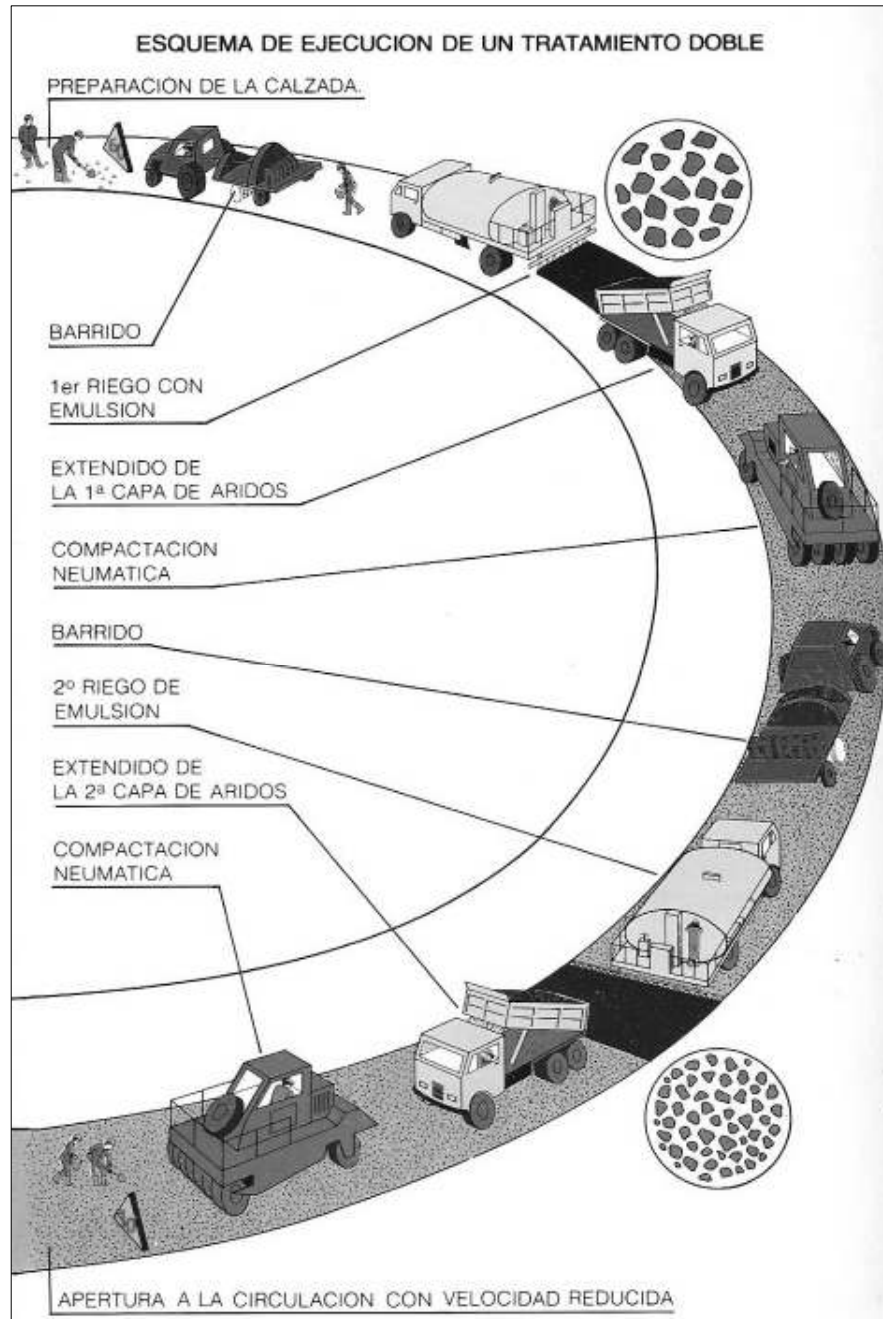
Las especificaciones técnicas generales para la construcción de un tratamiento superficial se definen en el numeral 5.407 del Manual de Carreteras Vol. 5.

Básicamente la construcción de un Tratamiento Superficial Simple (TSS) consta de las siguientes operaciones sucesivas:

- i) Balizado y definición, mediante marcas o líneas visibles, del área a tratar.
- ii) Recepción de la superficie a cubrir por el TSS.
- iii) Limpieza de la superficie.
- iv) Aplicación del riego asfáltico según dosificación.
- v) Riego de los áridos según dosificación.
- vi) Rodillado del tratamiento.
- vii) Barrido y remoción de los áridos excedentes.
- viii) Puesta en servicio con control de tránsito mediante un “vehículo - guía”.

Si el tratamiento es doble se deben repetir las operaciones iii), iv), v), vi), vii) antes de viii), con las dosificaciones de la segunda aplicación.

La Fig. 2.3 muestra en forma esquemática las operaciones de construcción de un DTS.



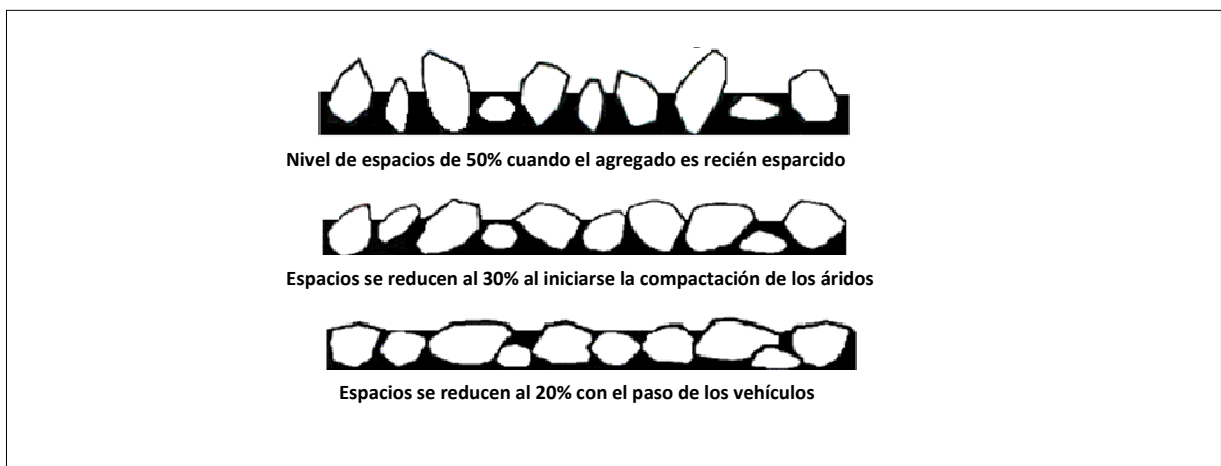
**Fig. 2.3. Esquema de ejecución de un Tratamiento Superficial Doble**

## 2.2.3. Dosificación de materiales

### 2.2.3.1. Método Hanson

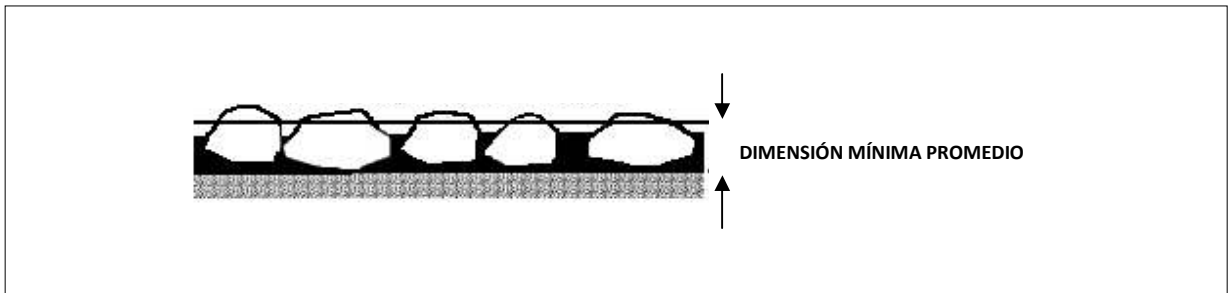
Hanson fue el primero en definir los principios básicos para la dosificación de materiales de los tratamientos superficiales. Éstos son:

- El porcentaje de huecos entre las partículas de agregado disminuye durante el proceso de esparcido, compactación con rodillo y sollicitaciones de tránsito:
  - Cuando el agregado es recién esparcido, típicamente se tiene un nivel de espacios no cubiertos por el asfalto de 50%.
  - Al ser compactado con rodillo los espacios se reducen al 30%.
  - El posterior tránsito de los vehículos disminuye los huecos al 20%.



**Fig. 2.4.** Nivel de espacios entre áridos y asfalto en las etapas de construcción de un Tratamiento Superficial / Método Hanson

- 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.



**Fig. 2.5. Dimensión Mínima Promedio de las partículas de agregado**

Por tanto, la cantidad óptima de asfalto a colocar debe ser ajustada para llenar en aproximadamente un 70% el total de vacíos totales. Esto es, que cada partícula de agregado sea embebida en asfalto residual alrededor de  $2/3$  de su menor dimensión, evitando así, desprendimientos de áridos por déficit o exudaciones por exceso de asfalto.

### **2.2.3.2. Método especificado por el Laboratorio Nacional de Vialidad**

Este método, especificado por el Laboratorio Nacional de Vialidad, es el más conocido y utilizado en Chile y corresponde a una versión modificada del método propuesto por “*The Asphalt Institute USA*”.

Dicha dosificación se determina de acuerdo al Método de la Dimensión Mínima Promedio y para determinar la dosificación de un doble tratamiento superficial se emplea la *Teoría de Volúmenes Absolutos*, que supone que:

- Las partículas de agregado fino llenan los huecos superiores 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%.

En el Manual de Carreteras Vol. 5, numeral 5.407.304, se establece que en general las cantidades de asfalto a colocar estarán comprendidas entre  $0,9$  y  $1,6 \text{ kg/m}^2$  para tratamientos simples, entre  $2,6$  y  $3,2 \text{ kg/m}^2$  para tratamientos dobles y entre  $4,0$  y  $4,6 \text{ kg/m}^2$  para tratamientos triples.

Así mismo, la cantidad de agregado total a colocar estará comprendida entre 8 y 15 kg/m<sup>2</sup> para tratamientos simples, entre 25 y 35 kg/m<sup>2</sup> para tratamientos dobles y entre 45 y 55 kg/m<sup>2</sup> para tratamientos triples.

## 2.3. Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles

A continuación, se describen tres métodos de diseño para pavimentos flexibles nuevos.

### 2.3.1. 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) AASHO 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.

El método de diseño de pavimentos flexibles provisto por el Manual de Carreteras, corresponde a la versión de 1993 del método AASHTO con algunas precisiones y complementos para ajustarlo más a la realidad chilena.

El diseño está basado primordialmente en identificar o encontrar un número estructural “NE” para que el pavimento flexible pueda soportar el nivel de carga solicitante. La fórmula general de diseño (ec. 2.i) relaciona la cantidad de EE solicitantes con el número estructural y el nivel de confianza, de manera que la estructura experimente una pérdida de serviciabilidad determinada.

$$EE = (NE + 25,4)^{9,36} \cdot 10^{(-16,40 + Z_R \times S_0)} \cdot M_R^{2,32} \cdot [(p_i - p_f) / (p_i - 1,5)]^{1/\beta} \quad \text{ec. 2.i}$$

$$\beta = 0,40 + \left[ \frac{97,81}{(NE + 25,4)} \right]^{5,19} \quad \text{ec. 2.ii}$$

En que:

- EE : Ejes equivalentes de 80 kN acumulados durante la vida de diseño.  
 NE : Número estructural (mm).  
 $Z_R$  : Coeficiente estadístico que depende del nivel de confianza que se adopte.  
 $S_0$  : Desviación estándar del error combinado de todas las variables que intervienen en el modelo.  
 $M_R$  : Módulo Resiliente del suelo de la subrasante (MPa).  
 $p_i$  : Índice de serviciabilidad inicial.  
 $p_f$  : Índice de serviciabilidad final.

La Tabla 2.1 indica los valores que se recomienda utilizar para  $Z_R$  y  $S_0$  en el diseño de pavimentos flexibles, 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 subrasante.

**Tabla 2.1. Nivel de Confianza y Valor del  $S_0$ . (Tabla 3.604.104.A M.C. Vol. 3)**

EE Solicitantes (Millones)	Confiabilidad (%)	$Z_R$	$S_0$ 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

El *índice de serviciabilidad* ( $p$ ), mide la calidad de servicio del pavimento para ofrecer un manejo seguro y confortable. Se mide en una escala de valores entre 0 a 5, donde  $p = 0$  indica un camino en pésimas condiciones (intransitable) y  $p = 5$  indica un pavimento perfecto.

La ecuación de diseño (ec. 2.i), 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 ( $p_f$ ). La Tabla 2.2 indica los valores que se recomienda utilizar para estos parámetros en el diseño de pavimentos flexibles.

**Tabla 2.2. Índices de serviciabilidad en pavimentos flexibles**

Índice de serviciabilidad	Valor de Referencia
Inicial ( $p_i$ )	4,2
Final ( $p_f$ )	2,0

▪ **Mecanismo de diseño:**

El primer cálculo es determinar, mediante el algoritmo desarrollado por AASHTO (ec. 2.i y ec. 2.ii), el número estructural ( $NE_T$ ) que se requiere sobre la subrasante.

Luego, todas las capas que compondrán la estructura del pavimento, incluyendo las asfálticas y las no ligadas, se deben estructurar por tipo y espesores de manera que se cumpla con la siguiente ecuación:

$$NE = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot m_3 > NE_T \quad \text{ec. 2.iii}$$

Donde:

- NE : Número estructural (mm).  
 $a_1, h_1$  : Coeficiente estructural y espesor (mm) de cada una de las capas asfálticas o tratadas que componen el pavimento. Los subíndices 2 y 3 representan las capas granulares no tratadas.  
 $m_2, m_3$  : Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas (bases y subbases granulares).

La ec. 2.iii, no tiene una solución única pues existen muchas combinaciones que satisfacen el número estructural, sin embargo, existen una serie de consideraciones que deben tenerse en cuenta al definir los espesores de las diferentes capas.

- La Tabla 2.3, indica las limitaciones de los espesores de las capas estructurales, para cumplir con requerimientos constructivos y de estabilidad.

**Tabla 2.3. Limitaciones a los espesores de las capas estructurales en pavimentos flexibles (Tabla 3.604.108.A, M.C. Vol.3)**

Capa	Espesor (mm)
Cada capa asfáltica individual, mín.	50 (*)
Capa granular no tratada, mín.	15

(\*) Para las capas con mezcla convencionales, dependiendo del clima y condiciones de la zona, el espesor podrá ser 10 mm menor al indicado en esta tabla.



- Por razones constructivas y para evitar una proliferación excesiva de diferentes diseños, los espesores de las capas asfálticas deben redondearse a los 5 mm, en tanto que los de las capas no ligadas o granulares, a los 10 mm.
- La distribución del  $NE_T$  no puede hacerse en forma arbitraria, pues una mala estructuración puede originar tensiones y deformaciones superiores a las que son capaces de soportar la subrasante, las capas granulares o las mezclas asfálticas. Es por esto, que se recomienda proceder ajustándose a los siguientes criterios:
  - La relación entre los módulos elásticos de dos capas granulares sucesivas, no debe ser mayor que 4.
  - El número estructural mínimo a colocar sobre la base ( $NE_A$ ), se determina en función de las solicitaciones previstas y de la temperatura media anual ponderada del aire (TMAPA) del lugar donde se localiza la obra. Con los gráficos que se incluyen en el Anexo A.1 (pág.102), parametrizados para diferentes TMAPA y distintos módulos  $M_R$  de la subrasante, se determina el número estructural mínimo  $NE_A$ , que deben tener las capas asfálticas.

Se debe cumplir entonces que:

$$NE_A(\text{mm}) = \sum a_i \cdot h_i \quad \text{ec. 2.iv}$$

En que:

- $a_i$  : Coeficiente estructural de la capa asfáltica de orden  $i$ .  
 $h_i$  : Espesor (mm) de la capa asfáltica de orden  $i$ .

Luego, las capas no ligadas (subbases y bases granulares) deben estructurarse de manera que se cumpla la siguiente relación:

$$(NE_T - NE_A) (\text{mm}) = a_2 \cdot h_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot h_3 \cdot m_3 \quad \text{ec. 2.v}$$

Donde:

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

### 2.3.2. Método de diseño Morin – Todor

El numeral 3.604.3 del Manual de Carreteras Volumen 3, entrega un método de diseño para tratamientos superficiales denominado “*Tropical Procedures for Flexible Pavements*” desarrollado por W.J. Morin y Peter Todor, que permite establecer las dimensiones de las capas estructurales de un pavimento tipo tratamiento superficial.

El aspecto más importante de este método de diseño radica en que los coeficientes estructurales de las capas no sólo son función de las propiedades del material que las componen, si no que también de la posición relativa en que éstas se encuentran dentro de la estructura. Los coeficientes estructurales de las diferentes capas y materiales se incluyen en el Anexo A.2. (pág.105).

Básicamente el procedimiento de cálculo se desarrolla en tres etapas:

- Establecer el Índice Estructural (IE), que es función de los ejes equivalentes (EE) que solicitarán el pavimento durante su vida útil y del coeficiente de variación (v) adecuado para reflejar la variabilidad de la construcción.

$$IE_{\text{requerido}} \text{ (mm)} = 1024 v^{0,354} \left[ \frac{9,56}{11,49 - \log EE} - 1 \right] \quad \text{ec. 2.vi}$$

- En función del valor del CBR, determinado como representativo de la subrasante, se determina el espesor mínimo que debe darse a la suma de espesores de la base más la subbase.

$$e_{\text{min}} \text{ (mm)} = 592 - 308 \log (\text{CBR}) \quad \text{ec. 2.vii}$$

- El proceso de estructuración consiste en determinar una estructura tal que cumpla con las siguientes condiciones:

- El espesor de la base ( $h_1$ ) más subbase ( $h_2$ ) debe ser igual o mayor que  $e_{\text{min}}$ .

$$h_1 + h_2 \geq e_{\text{min}} \quad \text{ec. 2.viii}$$

- El Índice Estructural de diseño ( $IE_{\text{diseño}}$ ), determinado como la suma de los productos de los espesores por los correspondientes coeficientes estructurales de cada una de las capas que conforman el pavimento y hasta 900 mm por debajo de la rasante, debe ser al menos igual al IE requerido.

$$IE_{\text{diseño}} = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + \dots + a_n \cdot h_n \geq IE_{\text{requerido}} \quad \text{ec. 2.ix}$$

$$h_1 + h_2 + \dots + h_n = 900 \text{ mm} \quad \text{ec. 2.x}$$

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 MEE. Para mayores solicitaciones de tránsito, normalmente es más adecuado considerar pavimentos en base a capas de mezcla asfálticas.

### 2.3.3. Método Neozelandés

Este método de diseño fue implementado en Nueva Zelanda por el *National Road Board* (NRB) como un manual para el diseño y rehabilitación de pavimentos en carreteras estatales.

El procedimiento de diseño se basa en la teoría elástica de las capas, en conjunto con modernas prácticas, que consiste en la selección de materiales y espesores de capas para asegurar un determinado nivel de serviciabilidad en un determinado período de tiempo.

El principal criterio de diseño del método de Nueva Zelanda establece que la pérdida de serviciabilidad de un pavimento flexible es causada por:

- Deformación permanente de la subrasante producto de las sollicitaciones y el grado de compresión vertical en la parte superior de la subrasante,
- Y por grietas de fatiga en las capas granulares o asfálticas, que son originadas por los esfuerzos horizontales de tracción que se manifiestan en las interfaces de las capas producto de las cargas.

Para ambos tipos de fallas, la relación entre el número de sollicitaciones de carga (N) y el nivel de tensión crítico en la subrasante ( $\epsilon$ ), se define como:

$$N = a \cdot \epsilon^{-b} \quad \text{ec. 2.xi}$$

Donde:

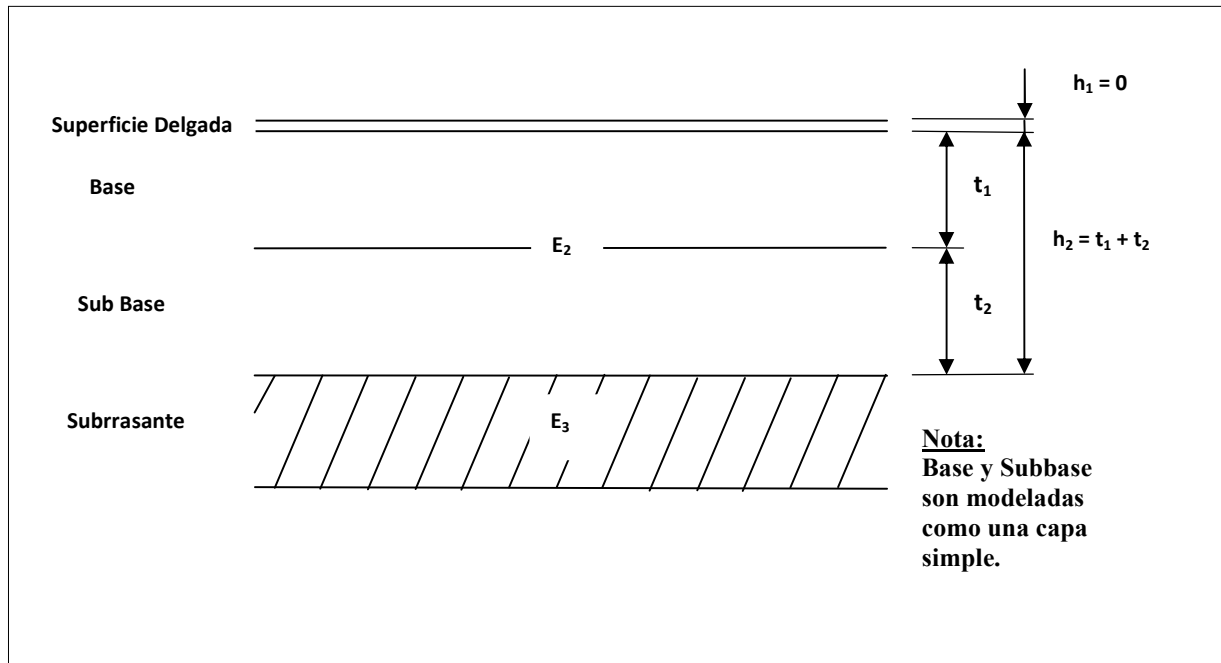
- N : Cargas estimadas de tránsito  
 $\epsilon$  : Tensión de compresión en la superficie de la subrasante  
 a, b : Constantes positivas, cuyos valores resultan de ensayos de laboratorio y de lo observado en el comportamiento de los pavimentos actuales. Distintos métodos eligen diferentes valores para a y b, obteniéndose así diferentes espesores en la estructuración del pavimento

#### 2.3.3.1. Aplicación a Tratamientos Superficiales

Este tipo de soluciones, considera como superficie una delgada capa de protección que no contribuye a la capacidad estructural del pavimento, si no más bien lo protege, otorgando gran resistencia a la acción abrasiva del tránsito e impermeabilidad superficial.

En Nueva Zelanda, este tipo de soluciones ha presentado un buen comportamiento en caminos donde las solicitaciones de tránsito superan los  $5 \times 10^6$  *Equivalent Design Axle* (EDA)<sup>2</sup>.

La Fig. 2.6, ilustra la configuración típica de este tipo de pavimento y a continuación se define la aplicación del modelo general a este caso específico.



**Fig. 2.6. Configuración elástica de la estructura de un pavimento tipo Tratamiento Superficial, según método de diseño Neozelandés**

En este tipo de configuración, la capa superficial se considera de espesor despreciable ( $h_1 = 0$ ) y la base y subbase se modelan como una sola capa de espesor  $h_2$  y módulo elástico  $E_2$ , donde:

$$E_2 = k \cdot E_3, \quad \text{ec. 2.xii}$$

$$k = 0,2 \cdot h_2^{0,45}, \quad 2 \leq k \leq 4 \quad \text{ec. 2.xiii}$$

Para la subrasante, el módulo elástico se calcula según la siguiente expresión:

$$E_3 = 20 \cdot (\text{CBR})^{0,64}, \quad \text{CBR} < 13 \% \quad \text{ec. 2.xiv}$$

$$E_3 = 8 \cdot \text{CBR}, \quad \text{CBR} > 13 \% \quad \text{ec. 2.xv}$$

<sup>2</sup> EDA: *Equivalent Design Axle*. (Eje equivalente de diseño). Eje patrón que consiste en un eje simple de rueda doble de 80kN de peso.

El criterio de diseño consiste en definir la tensión crítica de la subrasante para una carga estándar de acuerdo a la siguiente relación:

- Para pavimentos Clase I y II (Caminos muy solicitados como carreteras, autopistas, etc.):

$$\epsilon_c = 0,021 \cdot N^{-0,23} \quad \text{ec. 2.xvi}$$

- Para pavimentos Clase III y IV (Caminos con menor grado de sollicitación como lo son los caminos colectores, locales, etc.)

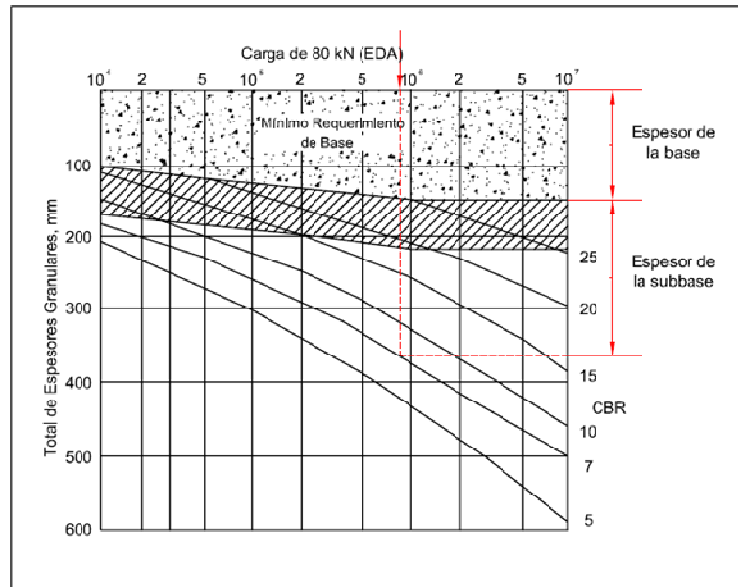
$$\epsilon_c = 0,025 \cdot N^{-0,23} \quad \text{ec. 2.xvii}$$

En donde  $\epsilon$  es la tensión de compresión para una carga estándar eje simple rueda doble y N es el nivel de sollicitaciones de tránsito.

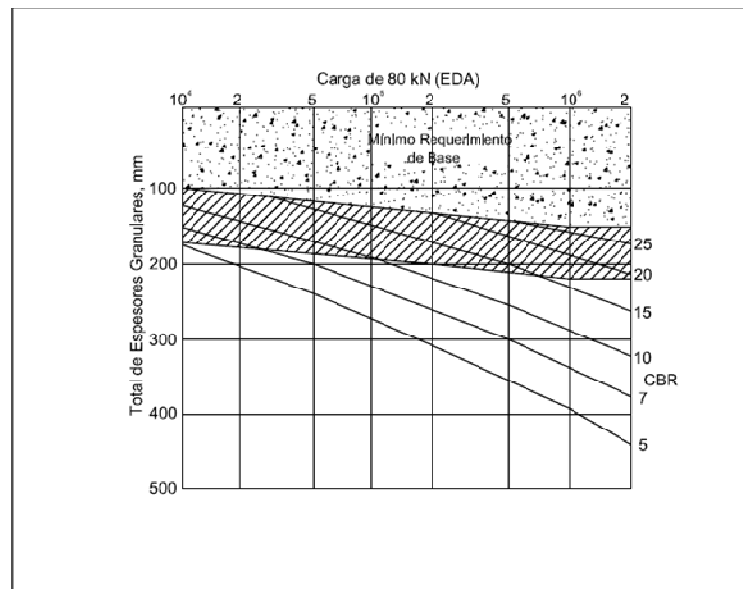
A continuación, en la Fig. 2.7 y Fig. 2.8, se presentan los gráficos de diseño para este tipo de solución, en el cual los parámetros de entrada corresponden al CBR de la subrasante y a las sollicitaciones de carga previstas (EDA), obteniéndose el espesor mínimo que se requiere para la base y la subbase. Algunas de las consideraciones son:

- Si el CBR de la subrasante es mayor a 25%, se considera como parámetro de entrada un CBR = 25%.
- Si el espesor resultante de la subbase es menor a 50 mm, se considera todo el espesor como base.

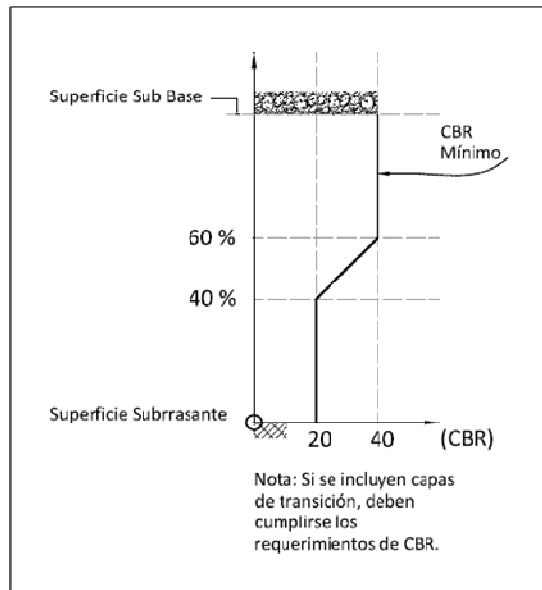
Para caminos muy solicitados, la parte superior de la subbase debe tener un  $CBR_{\min} = 40\%$ , y la parte inferior un  $CBR_{\min} = 20\%$ ; así como en caminos con menor grado de sollicitación, debe cumplirse que la parte superior de la subbase debe tener un  $CBR_{\min} = 30\%$  y la parte inferior un  $CBR_{\min} = 15\%$ . Estos requerimientos mínimos son presentados en la Fig. 2.9 y Fig. 2.10 respectivamente.



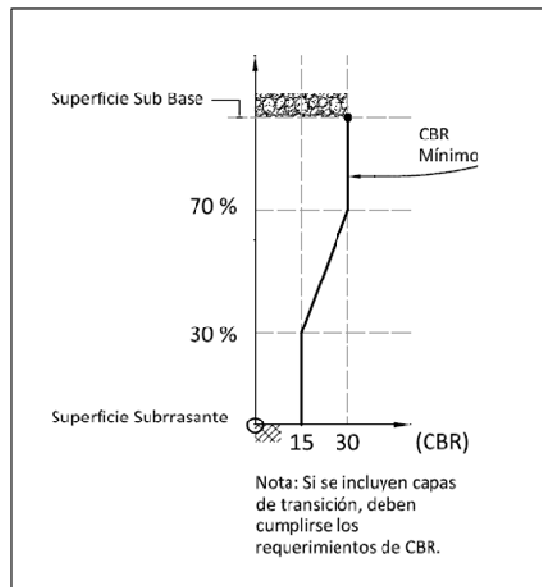
**Fig. 2.7.** Gráfico de diseño para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos muy solicitados / Método Neozelandés



**Fig. 2.8.** Gráfico de diseño para pavimentos tipo tratamiento superficial, en caminos con menor grado de sollicitación / Método Neozelandés



**Fig. 2.9. CBR mínimo de la subbase para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos muy solicitados / Método Neozelandés**



**Fig. 2.10. CBR mínimo de la subbase para pavimentos tipo tratamiento superficial en caminos con menor grado de sollicitación / Método Neozelandés**



## 2.4. Deterioros en Pavimentos Flexibles

El deterioro del pavimento es un proceso progresivo que comienza inmediatamente después de su construcción. La tasa y tipo de deterioro que experimenta un pavimento depende de la intensidad en que se manifiesten las solicitaciones (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.

Los deterioros más importantes que afectan a los pavimentos flexibles durante su vida útil, se clasifican en forma sencilla y resumida según los grupos siguientes:

### A) Fisuras y Grietas:

Dentro de esta categoría se encuentran las grietas por fatiga del material sometido a cargas reiteradas, conocidas también como “piel de cocodrilo”; las grietas en bloque que se producen por diferenciales térmicos; las grietas de borde que se originan exclusivamente cuando las bermas no son pavimentadas; grietas longitudinales y transversales y las grietas de reflexión que se producen en carpetas asfálticas que refuerzan un pavimento de hormigón o asfalto.

### B) Parches y baches:

Dentro de esta categoría se consideran los parches de refuerzo que se encuentran deteriorados y los baches formados por desprendimiento de mezcla asfáltica o capa de tratamiento.

### C) Deformación superficial:

La deformación en la superficie se produce por el hundimiento longitudinal que coincide con la huella y/o por ondulaciones en el perfil longitudinal.

### D) Defectos de superficie:

Los defectos superficiales se pueden manifestar por exudaciones, pérdida de áridos y pérdida generalizada de la parte más superficial de la carpeta, conocido como desgaste.

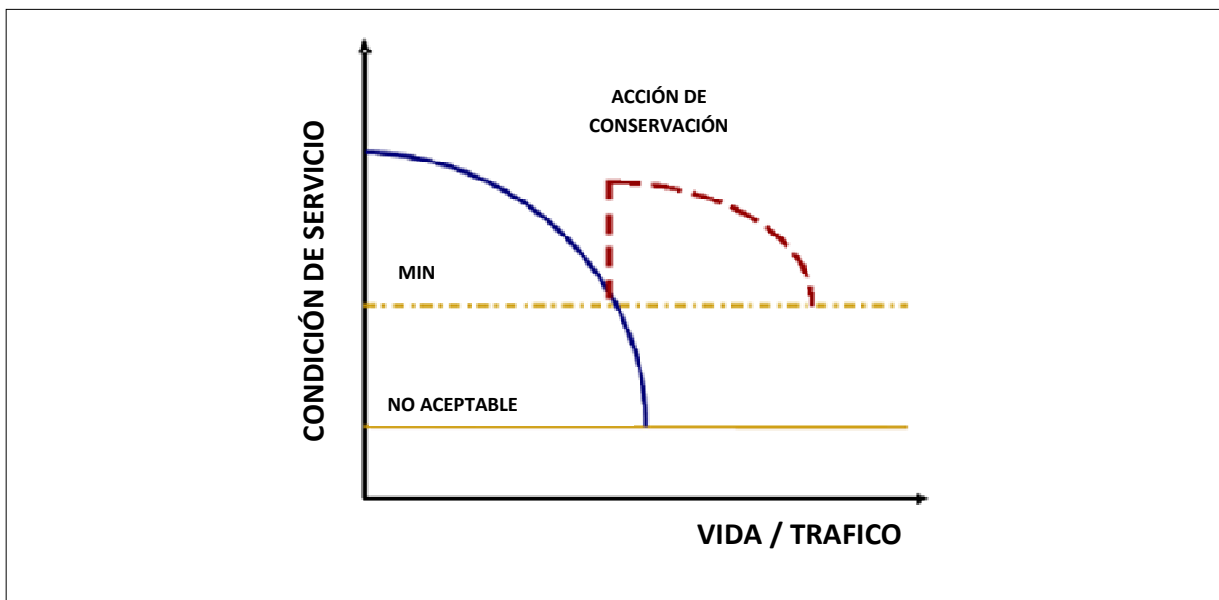
### E) Otros deterioros:

Dentro de otros deterioros, se consideran los afloramientos de agua y finos y descensos de bermas con respecto al borde externo del pavimento.

En Anexos B.1 (pág.106), 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 fue complementada con la información disponible en el Manual “*Distress Identification Manual for the Long – Term Pavement Performance Program*” (U.S. Department of Transportation).

### 2.4.1. Actividades de Mantenimiento

Los tipos de deterioros detectados en pavimentos, conjuntamente con la abundancia y los grados de severidad, definen las operaciones de mantenimiento que corresponde ejecutar, con el fin de conseguir un aumento en la capacidad de servicio y vida útil del pavimento. (Fig. 2.11)



**Fig. 2.11.** Influencia de las actividades de conservación en la curva de deterioro de pavimentos

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.

## 2.5. Condición Funcional en Pavimentos Flexibles

La condición funcional de un pavimento se relaciona únicamente con las características superficiales del pavimento. Aunque una estructura de pavimento colapsada estructuralmente producirá también problemas funcionales y por lo general de mayor severidad.

### 2.5.1. Índice de Regularidad Superficial (IRI)

Uno de los parámetros funcionales más importantes corresponde al *International Roughness Index* (IRI). El IRI, también conocido como Índice de Regularidad Internacional, es un indicador que representa las vibraciones inducidas por la rugosidad o alteraciones del perfil longitudinal del camino en un automóvil de pasajero típico. El cálculo se realiza mediante un modelo que simula el paso de un cuarto de vehículo a 80 km/h sobre el pavimento. El modelo calcula la suma de desplazamientos verticales de una masa en el interior del vehículo estándar a lo largo del camino y se expresa en m/km.

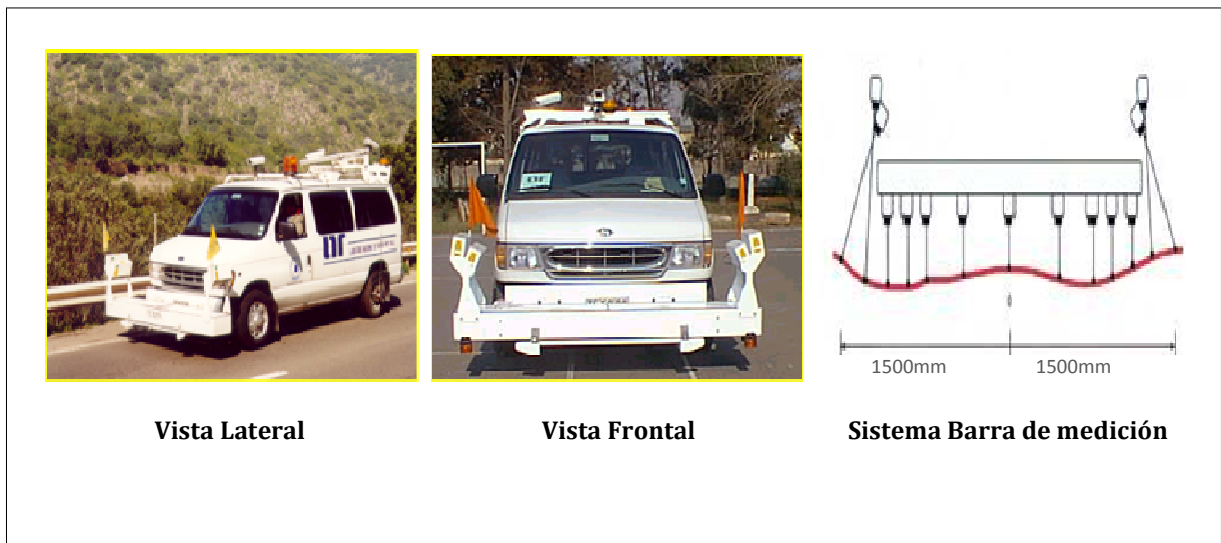
Este tipo de irregularidades superficiales, corresponde a la denominada megatextura del pavimento, y es un parámetro fundamental de la calidad del pavimento influyendo directamente en su condición superficial, en el costo de operación vehicular, y en la comodidad y seguridad del usuario.

Existen variados métodos y equipos estandarizados para realizar mediciones de IRI, los cuales varían en la precisión y rapidez en la obtención de resultados. Los equipos que efectúen mediciones, deben corresponder a los clasificados como Clase 1<sup>(3)</sup> según el Banco Mundial. Dentro de esta clase, los equipos más conocidos son los que se indican en la Tabla 2.4, los cuáles se diferencian sólo por la velocidad con que miden (rendimiento) y no por la precisión con que lo hacen.

**Tabla 2.4. Equipos para la medición del IRI**

Equipos de Alto Rendimiento	Equipos de Bajo Rendimiento
- Perfilómetro Óptico - Perfilómetro Láser	- Mira y Nivel (topográficos) - Perfilómetro Transversal (viga) - Perfilómetro Portátil (con inclinómetro) - Rugosímetro MERLIN

<sup>3</sup> Dentro de esta categoría, se encuentran los equipos más exactos para la medición del IRI.



**Fig. 2.12. Perfilómetro Láser origen Australiano ARRB: Equipo de Alto Rendimiento para la medición del IRI**



**Fig. 2.13. Equipos de Bajo Rendimiento para la medición del IRI**

En las especificaciones técnicas de construcción de un tratamiento superficial (M.de C., Vol 5, sección 5.407), se indica que la superficie de un pavimento del tipo tratamiento superficial tiene una rugosidad aceptable, si las mediciones de autocontrol cumplen con:

- i) IRI Promedio de 5 tramos cada 200 m  $\leq 3,0$  m/km,
- ii) Valores individuales IRI  $\leq 4,0$  m/km

El valor del IRI de un pavimento nuevo tipo tratamiento superficial, se encuentra dentro del rango 2,5 – 3,5 m/km.

La experiencia en el país indica que, tanto para pavimentos asfálticos como de hormigón, valores del orden de 4 m/km para autopistas, 4 a 5m/km para carreteras importantes y 5 m/km para vías secundarias, deben ser los valores máximos aceptables.

### 2.5.1.1. Índice de Serviciabilidad Presente

Existen diversas expresiones que relacionan el IRI con la serviciabilidad presente en los pavimentos. EL Manual de Carreteras propone una estimación del índice de serviciabilidad presente en pavimentos asfálticos que corresponde a:

$$p = 5,85 - 1,68 \cdot \text{IRI}^{0,5} \quad \text{ec. 2.xviii}$$

Sin embargo, una de las más famosas es la desarrollada por B. Al-Omari y M.I. Darter, que calcula la serviciabilidad de pavimentos asfálticos y de hormigón mediante la siguiente expresión:

$$p = 5 \cdot e^{(-0,26 \cdot \text{IRI})} \quad \text{ec. 2.xix}$$

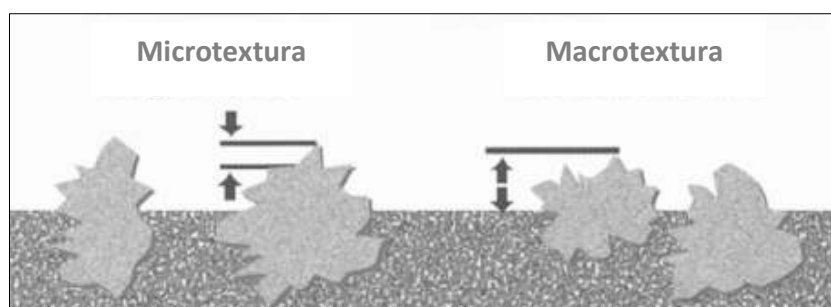
La Tabla 2.5, muestra valores de referencia para el índice de serviciabilidad (p), tal como lo define AASHTO.

**Tabla 2.5. Índices de serviciabilidad de referencia (Base AASHTO 1993)**

Condición	Índice de Serviciabilidad (p)
Pavimento asfáltico nuevo	4,2
Nivel de restauración más exigente	2,5
Nivel de restauración adoptado en Chile	2,0

## 2.5.2. Resistencia al deslizamiento (Fricción)

Las características del pavimento que contribuyen a la resistencia al deslizamiento son las denominadas microtextura y macrotextura. La primera se refiere a las pequeñas rugosidades (del orden de 0 – 0,5 mm de longitud de onda) existentes en la superficie de los áridos que están en contacto con los neumáticos, mientras que la macrotextura está ligada a una escala física mayor (0,5 – 50 mm de longitud de onda) proveniente de los huecos que quedan entre los áridos que componen el pavimento. En la Fig. 2.14, se muestra un esquema que clarifica estos dos conceptos.



**Fig. 2.14. Microtextura y Macrotextura de un pavimento**

El coeficiente de roce entre pavimento y neumáticos es uno de los factores más importantes a considerar en cuanto a la seguridad vial. Esta propiedad también depende de muchos otros factores, entre ellos, la presencia de agua, las características de los neumáticos, la velocidad, la presión de inflado, etc.

Existen distintos procedimientos de ensayos para determinar la resistencia al deslizamiento. Los equipos más utilizados se presentan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Equipos de medición de resistencia al deslizamiento**

Equipo	Grip Tester	SCRIM	Péndulo Británico
<b>Descripción</b>	Equipo con rueda parcialmente bloqueada para medición de Resistencia al Deslizamiento longitudinal.	Equipo dinámico para medición de Resistencia al Deslizamiento transversal.	Equipo estático para la medición de Resistencia al Deslizamiento.
<b>Ensayo</b>	Continuo	Continuo de alto rendimiento	Puntual de bajo rendimiento
<b>Medida y rango</b>	GN (Grip Number) entre 0 y 100	SFC (Side Force Coeficient)	BPN (British Pendulum Number), entre 0 y 100
<b>Vel. de ensayo</b>	20 – 130 km/h	20 – 100 km/h	7 - 10 km/h



**Fig. 2.15. Equipos de medición de resistencia al deslizamiento**

El Péndulo Británico que corresponde a un ensayo no continuo, permite obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) en ciertos puntos del pavimento en que se desea valorar las características antideslizantes de la superficie. El valor del C.R.D. obtenido en cada punto de ensayo, se expresa en tanto por uno según la ec. 2.xx.:

$$\text{C.R.D.} = \frac{\text{Lectura efectiva BPN}}{100} \quad \text{ec. 2.xx}$$

A la fecha, y dada la poca experiencia en Chile en el campo de las medidas de fricción de pavimentos, en comparación a países más desarrollados, aún no existen umbrales normativos de aceptación o rechazo, a excepción de la demarcación vial para la cual se recomienda un valor de C.R.D. mayor o igual a 0,45 (M. de C., Vol. 5).

Según la experiencia de distintas investigaciones y auscultaciones hechas en el país, se han medido distintos valores de C.R.D. para dobles tratamientos superficiales, cuyos valores fluctúan dentro del rango [0,49; 0,70].

Como referencia, los valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica), se pueden clasificar conforme a la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7. Clasificación referencial para valores del C.R.D. (SCT e IMT, México)**

Valor adimensional del C.R.D.	Calificación
< 0,5	Malo
0,51 – 0,6	De regular a bueno
0,61 – 0,8	Bueno
0,81 – 0,9	De bueno a regular
> 0,91	Malo (desgaste de vehículos)

### 2.5.3. Textura Superficial

Otra medida complementaria utilizada en Chile para determinar la textura superficial de un pavimento es el método del ensayo del círculo de arena. Éste es un indicador aproximado de la macrotextura del pavimento.

El método de ensayo (realizado con grasa en pavimentos de aeropuertos) consiste en verter un volumen de arena determinado y de granulometría conocida sobre la superficie de pavimento a auscultar y la subsecuente medición del área total cubierta por ésta, (Fig. 2.16)

Este método está sólo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

**Fig. 2.16. Ensayo del Círculo de Arena**



#### **2.5.4. Factores Funcionales Complementarios**

Además de los factores anteriormente mencionados, se consideran otros factores funcionales complementarios y que dicen relación con un conjunto de aspectos de seguridad, serviciabilidad y apariencia. Entre éstos, los más importantes para pavimentos asfálticos son el ahuellamiento y las grietas, factores que pueden ser no detectados claramente por mediciones directas del IRI en la huella de circulación, además de los parches y baches deteriorados, desprendimientos de gravilla, etc.

### **2.6. Condición Estructural en Pavimentos Flexibles**

La condición estructural de un pavimento se relaciona al nivel de integridad física y estructural en que se encuentra la sección de un pavimento en su conjunto y al estado de cada una de las capas que lo conforman, incluyendo la subrasante.

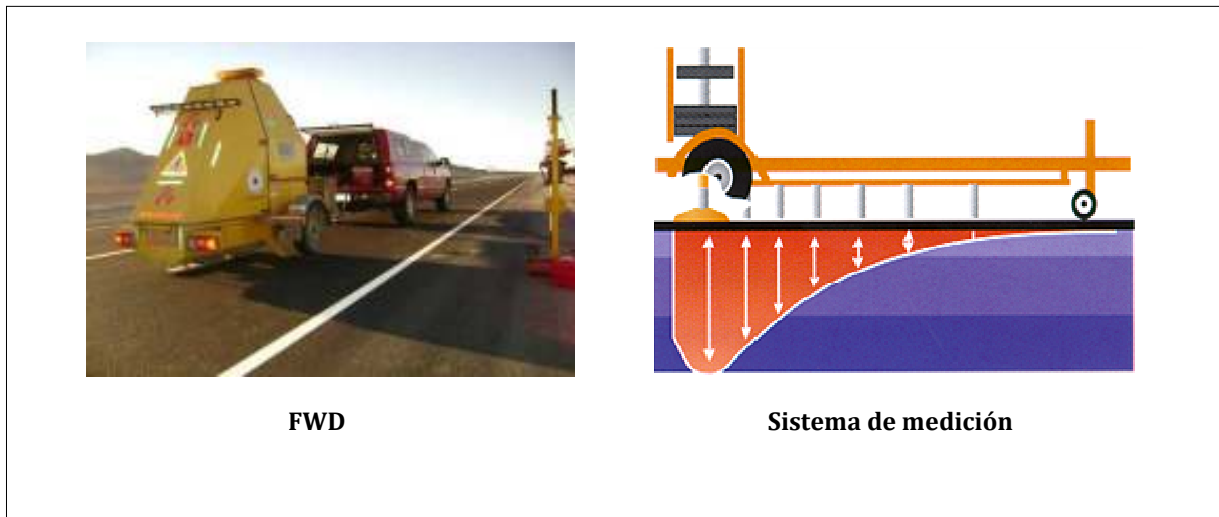
Un programa de seguimiento de la condición estructural del pavimento debe planificarse de tal modo de poder detectar a tiempo el inicio de fallas, ya sea asociadas al diseño estructural, calidad de los materiales utilizados, o proceso constructivo. Una vez que se inicia la progresión del deterioro estructural se comienzan a combinar diferentes factores (filtración de agua, reducción de la resistencia de la estructura fatigada y otros) que pueden llevar con mayor o menor rapidez al colapso de la estructura.

#### **2.6.1. Deflexiones Superficiales**

Al ser sometidos a cargas, los pavimentos sufren una deformación elástica, que genera tracciones por lapsos muy cortos, las que debido a la frecuencia con que se repiten producen un fatigamiento del material. Ello significa que con el tiempo, las sollicitaciones comienzan a superar el límite elástico de la estructura, y las cargas, sin que ninguna supere la resistencia máxima absoluta del material, producen deformaciones no elásticas o permanentes, para finalmente alcanzar la rotura.

En consecuencia, la deflexión que presente un pavimento en un determinado momento al ser sometido a una carga conocida, es un buen indicador de su capacidad estructural remanente.

El *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ó *Deflectómetro de Impacto* (Fig. 2.17) es un equipo diseñado para realizar un ensayo no destructivo, rápido y económico que permite medir deflexiones superficiales por medio de la aplicación de una carga de impacto en la superficie de la estructura. La fuerza de impacto, la velocidad de la aplicación y la forma del plato de carga simulan muy bien las cargas de tránsito.

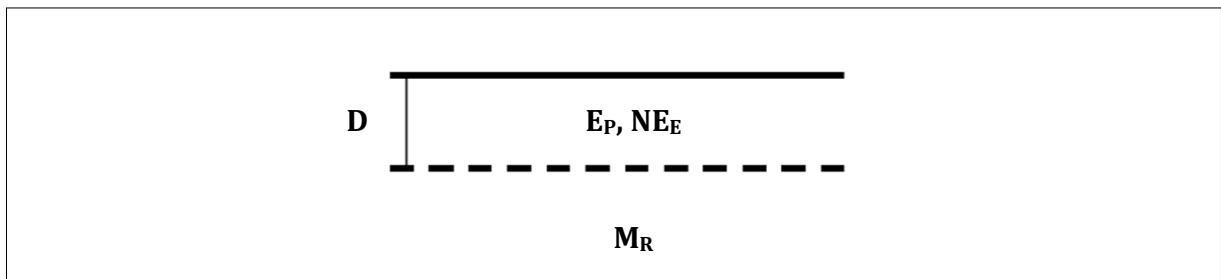


**Fig. 2.17. Deflectómetro de Impacto**

Las deflexiones pueden ser directamente correlacionadas con el comportamiento del pavimento in-situ, o utilizadas para estimar las propiedades elásticas de los materiales que conforman la estructura de pavimento, mediante un análisis de retrocálculo que consiste en ajustar las deflexiones medidas, a las deflexiones teóricas que se obtendrían con un modelo de estructura de pavimento, conocidos los espesores y quedando por determinar los módulos.

### 2.6.2. Retroanálisis AASHTO

El análisis de las deflexiones, utilizando la guía AASHTO, se basa en representar el pavimento por un modelo simplificado de dos capas: una superior propia del pavimento (capas aglomeradas y granulares) para la cual se calcula el módulo elástico equivalente ( $E_P$ ) y el Número Estructural Efectivo ( $NE_E$ ) y una inferior con profundidad infinita y Módulo Resiliente ( $M_R$ ) que representa el suelo de fundación. (Fig. 2.18).



**Fig. 2.18. Sistema Bicapa Equivalente del Pavimento - Subrasante**

### ▪ Módulo Resiliente

El Módulo Resiliente del suelo de fundación se define como aquel que relaciona las tensiones aplicadas y las deformaciones recuperables (AASHTO 1993). El  $M_R$  representativo de la subrasante mediante el análisis bicapa de deflexiones, es casi independiente de la estructura superior del pavimento y corresponde al módulo elástico del suelo después de haber sido sometido a cargas cíclicas.

### ▪ Módulo Elástico del Pavimento

El módulo elástico del pavimento corresponde al módulo de deformación de la capa ubicada sobre la subrasante, después de haber sido sometida a cargas cíclicas.

### ▪ Número Estructural Efectivo

El número estructural efectivo es un número que representa la capacidad estructural del pavimento para resistir las solicitaciones impuestas producto del tránsito.

Según el análisis bicapa AASHTO, el valor del  $NE_E$  es directamente proporcional al espesor y a la raíz cúbica del Módulo Efectivo del pavimento, como indica la ec. 2.xxi.

$$NE_E = f(D, E_P) = 0,024 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_P} \quad \text{ec. 2.xxi}$$

Donde:

- $NE_E$  : Número Estructural Efectivo (cm)
- $D$  : Espesor total de todas las capas sobre la subrasante (cm)
- $E_P$  : Módulo Efectivo del Pavimento (MPa)

## Capítulo 3

### Características Generales de la Obra

#### 3.1. Antecedentes

La Ruta 5, en el sector Chañaral – Límite Regional (II y III Región), fue construida en la década de los 60 y ha estado en servicio por casi 50 años. En sus comienzos la carretera estaba estructurada con carpeta asfáltica, calzada de 7 metros de ancho y bermas sin pavimentar.

Con el transcurso del tiempo, se fueron realizando diferentes tipos de rehabilitaciones como sellos, lechadas, bacheos y recapados de asfalto.

Según antecedentes recabados de una inspección visual realizada a este tramo de carretera en el año 2003<sup>(4)</sup>, el pavimento se encontraba en un avanzado estado de deterioro, debido principalmente a las fallas generadas en las capas asfálticas superiores. El principal tipo de falla era la presencia de distintos tipos de agrietamiento: existían amplios sectores con grietas transversales, longitudinales, fallas en bloque y sectores localizados con fallas tipo piel de cocodrilo, con pérdida de material fino proveniente de la capa granular inferior. Desde el punto de vista de las deformaciones, la presencia de ahuellamiento era esporádica y localizada, existían también a lo largo de todo el camino amplios sectores que presentaban desintegración de la superficie y baches. Las bermas se encontraban a desnivel con respecto al nivel de la calzada y presentaban un pésimo estado; sin embargo, en general, el deterioro del pavimento provenía de las capas superficiales, mientras que la capacidad estructural de las capas granulares se encontraba en buenas condiciones.

Para el diseño de rehabilitación del sector, se consideró una vida útil de 5 años, en cuyo período las solicitaciones de tránsito acumuladas en la pista de diseño, fluctuarían entre los 5,0 y 5,7 MEE, según estudio de tránsito realizado en ese entonces.

Teniendo en consideración el mal estado del pavimento existente y los recursos disponibles, el LNV estudió distintas alternativas de rehabilitación, en las cuales se consideró el módulo resiliente del suelo de fundación a partir de una deflectometría de impacto realizada el año 2001.

Las alternativas consideradas fueron las siguientes:

---

<sup>4</sup> La inspección visual fue realizada por la empresa Ingeniería y Construcción ICAFAL Ltda, en el año 2003.

▪ **Alternativa 1:**

Colocación de una nueva estructura de pavimento asfáltico, previa remoción del existente de acuerdo al siguiente detalle:

**Tabla 3.1. Alternativa 1 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional**

Sector (km)	MEE	M <sub>R</sub> (MPa)	Carpeta (cm)	Base Asfáltica Grad.Gruesa (cm)	Base granular CBR ≥ 80% (cm)
1.021,00 – 1.026,50	5,0	151,4	4	5	20
1.026,50 – 1.035,00	5,0	197,7	4	4	20
1.035,00 – 1.043,75	5,7	129,7	4	7	20

▪ **Alternativa 2:**

Recapado con mezcla asfáltica en caliente sobre el pavimento existente, previa reparación de todos los baches abiertos y zonas inestables, según el siguiente detalle.

**Tabla 3.2. Alternativa 2 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional**

Sector (km)	MEE	MR (MPa)	Carpeta (cm)	Base Asfáltica Abierta (cm)
1.021,00 – 1.026,50	5,0	151,4	4	5
1.026,50 – 1.035,00	5,0	197,7	4	5
1.035,00 – 1043,75	5,7	129,7	4	5

▪ **Alternativa 3:**

Recapado sobre el pavimento existente con mezcla asfáltica en caliente tipo open graded (base asfáltica de graduación abierta) y sobre ésta un sello tipo lechada doble o cape seal, previa reparación de todos los baches abiertos y zonas inestables. El detalle de la estructura es el siguiente.

**Tabla 3.3. Alternativa 3 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional**

Sector (km)	MEE	MR (MPa)	Base Asfáltica Grad. Abierta (cm)
1.021,00 – 1.026,50	5,0	151,4	6
1.021,00 – 1.035,00	5,0	197,7	5
1.035,00 – 1043,75	5,7	129,7	6

▪ **Alternativa 4:**

Colocación de un Tratamiento Superficial Doble diseñado con el método Neozelandés, previa reparación de baches abiertos y zonas inestables. La estructura se detalla a continuación:

**Tabla 3.4. Alternativa 4 para la rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional**

Sector (km)	MEE	MR (MPa)	Base Granular CBR $\geq$ 120% (cm)	Subbase granular CBR $\geq$ 60% (cm)
1.021,0 – 1.026,5	5,0	151,4	16	20
1.021,0 – 1.035,0	5,0	197,7	16	15
1.035,0 – 1.043,75	5,7	129,7	16	25

▪ **Alternativa 5:**

Consiste en la colocación de un Tratamiento Superficial Doble diseñado con en método Neozelandés, pero reciclando la carpeta asfáltica existente para ser utilizada como subbase granular CBR  $\geq$  60%.

Pese a todas las alternativas planteadas por el LNV, la Dirección Regional de Vialidad, decidió la colocación de una base granular nivelante CBR  $\geq$  120% de 18 cm de espesor sobre el pavimento existente y sobre ésta un DTS con emulsión asfáltica elastomérica en las calzadas. En las bermas se consideró un revestimiento con Lechada Asfáltica.

Según antecedentes recopilados en el Inventario Vial de Caminos Pavimentados de la Dirección de Vialidad, año 1996, la estructura teórica del pavimento, resultante del proyecto de rehabilitación, está conformada por las siguientes capas:

**Tabla 3.5. Estructura teórica del pavimento, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional**

Capa	Material	Espesor (mm)
Capa de rodadura	Doble Tratamiento superficial con emulsión asfáltica elastomérica	25
Capa intermedia	Base granular estabilizada CBR $\geq$ 120%	180
Pavimento existente	Mezcla asfáltica en caliente cerrada (granulometría densa con 3 a 5% huecos en la mezcla)	70
Base	Base granular estabilizada CBR $\geq$ 100%	200
Subbase	Subbase granular, CBR estimado de 60%	150
Suelo de Fundación	Suelo tipo grava <sup>(5)</sup> CBR=30%	

**Nota:** Los valores de CBR fueron determinados en probetas sin inmersión.

<sup>5</sup> Según el sistema unificado de clasificación de suelos (USCS).

Por su parte, la geometría de la sección transversal, presenta las siguientes características:

**Tabla 3.6. Geometría de la Sección Transversal, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional**

<b>Elemento sección transversal</b>	<b>Geometría</b>
- Ancho calzada	7,0 m (DTS con asfalto elastomérico)
- Ancho bermas c/u	2,0 m (Lechada asfáltica)
- Bombeo calzadas	1,5 %
- Bombeo bermas	2,0 %
- S.A.P	0,50 m
- Talud terraplén	3:2
- Talud corte T.C.N	2:3

El perfil tipo de la estructura resultante de las obras de rehabilitación, se indica en la Fig. 3.1.

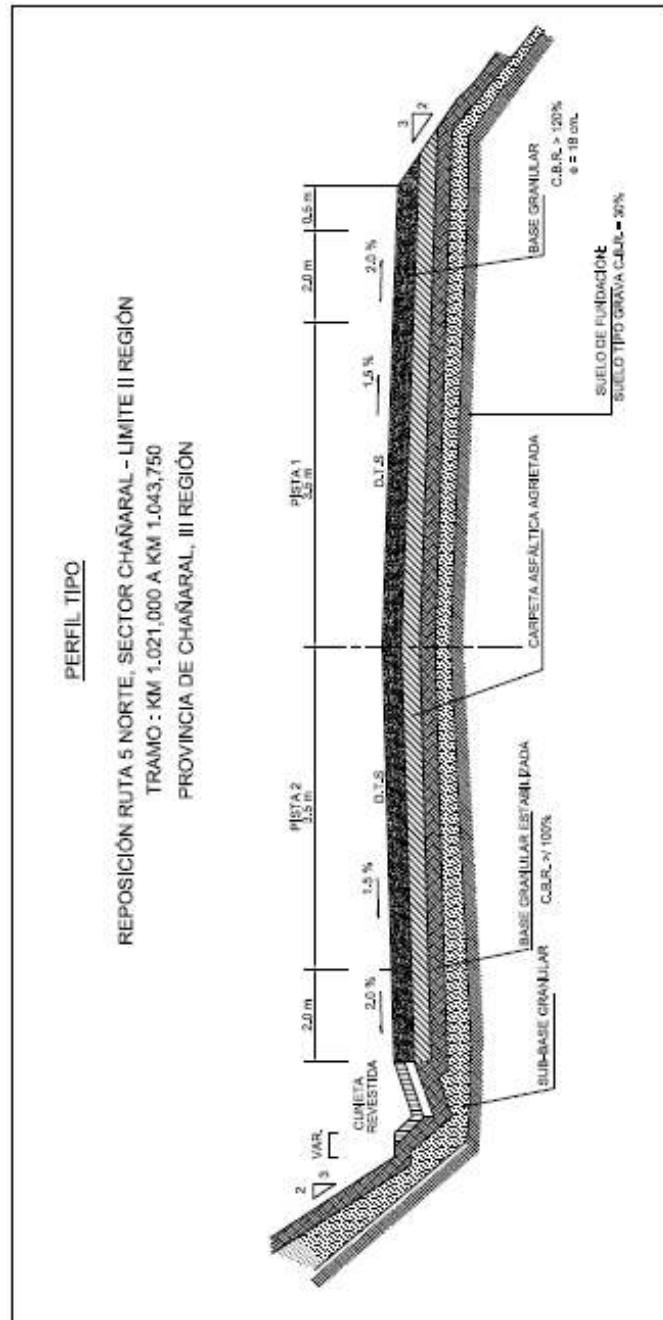


Fig. 3.1. Perfil Tipo Estructura Rehabilitada, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional



## 3.2. Actividades Constructivas

La rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite II Región, que contemplaba además obras de señalización, avenamiento, encauzamiento y seguridad vial, demoró 11 meses, de abril del 2003 a marzo del 2004, y estuvo a cargo de la empresa contratista Ingeniería y Construcción ICAFAL Ltda., bajo la supervisión de la Dirección Regional de Vialidad, III Región.

La construcción del tratamiento superficial doble, empleando como ligante emulsiones modificadas con elastómero, se realizó en conformidad a lo dispuesto en la sección 5.407 del Manual de Carreteras, Vol. 5. El asfalto elastomérico, se obtiene al modificar el cemento asfáltico normal con un polímero, resultando un ligante de características reológicas<sup>(6)</sup> mejoradas que presenta ventajas al utilizarlo en zonas de temperaturas ambientales extremas y/o con tránsito pesado, lento.

Cabe destacar que la construcción del tratamiento, consideró una compactación uniforme con la utilización de un rodillo extrapesado. Este equipo, es utilizado en la construcción de pavimentos de hormigón, y en Chile fue la segunda vez que se ocupó en la construcción de tratamientos superficiales para alto tránsito. La primera vez se utilizó en las obras de construcción del tramo experimental Polpaico – La Trampilla, en 1994 (Capítulo 6).

A pesar de que en terreno se cumplieron las dosis de asfalto y gravilla atendiendo a los rangos establecidos en el Manual de Carreteras, Vol. 5, el tratamiento presentó terminación rugosa y sin uniformidad, deformaciones tanto transversal como longitudinal y exudaciones. Estas anomalías se produjeron principalmente por deficiencias en el método constructivo, más que por una falla en la especificación técnica misma. Entre las causas más importantes destacaron:

- Áridos sucios al momento de su aplicación.
- Barrido demasiado enérgico, en momento inadecuado y sin supervisión.
- Dar tránsito sobre segunda aplicación sin efectuar antes el sello con polvo de roca.
- Tránsito no regulado durante las primeras horas de circulación de los vehículos.

Con el objeto de mejorar la superficie rugosa de la calzada y uniformar su textura, se aplicó un cuarto riego con polvo de roca y emulsión asfáltica diluida en agua en proporción 1:1. Las exudaciones fueron tratadas con polvo de roca o gravilla de 3/8'', calentada a una temperatura máxima de 100°C y compactada con rodillos neumáticos. En cuanto a las deformaciones se repuso el doble tratamiento en su totalidad.

---

<sup>6</sup> Reología: Ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales

### **3.3. Actividades de Conservación**

Como medida de conservación, se recomendó la aplicación de slurry seal sobre el pavimento ejecutado, cuando la Dirección de Vialidad lo estimase necesario, a fin de prevenir la aparición de fallas en la calzada y tomando en cuenta el alto tráfico pesado que circula regularmente por esta vía del país.

Según antecedentes recopilados en la Subdirección de Mantenimiento de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, la única actividad de este tipo realizada a la obra desde su construcción, consistió en la aplicación de una lechada asfáltica (slurry seal) durante el presente año. Este contrato se denominó “Conservación Periódica Ruta 5, Sector acceso sur a Pan de Azúcar, límite II Región, km 1.021 al km 1.043,750 Provincia de Chañaral” y se desarrolló entre el 18/06/08 y el 15/11/08.

En la Fig. 3.2 se muestra en forma esquemática la evolución que ha tenido la estructura de pavimento a través del tiempo, incluyendo las actividades de rehabilitación y conservación.

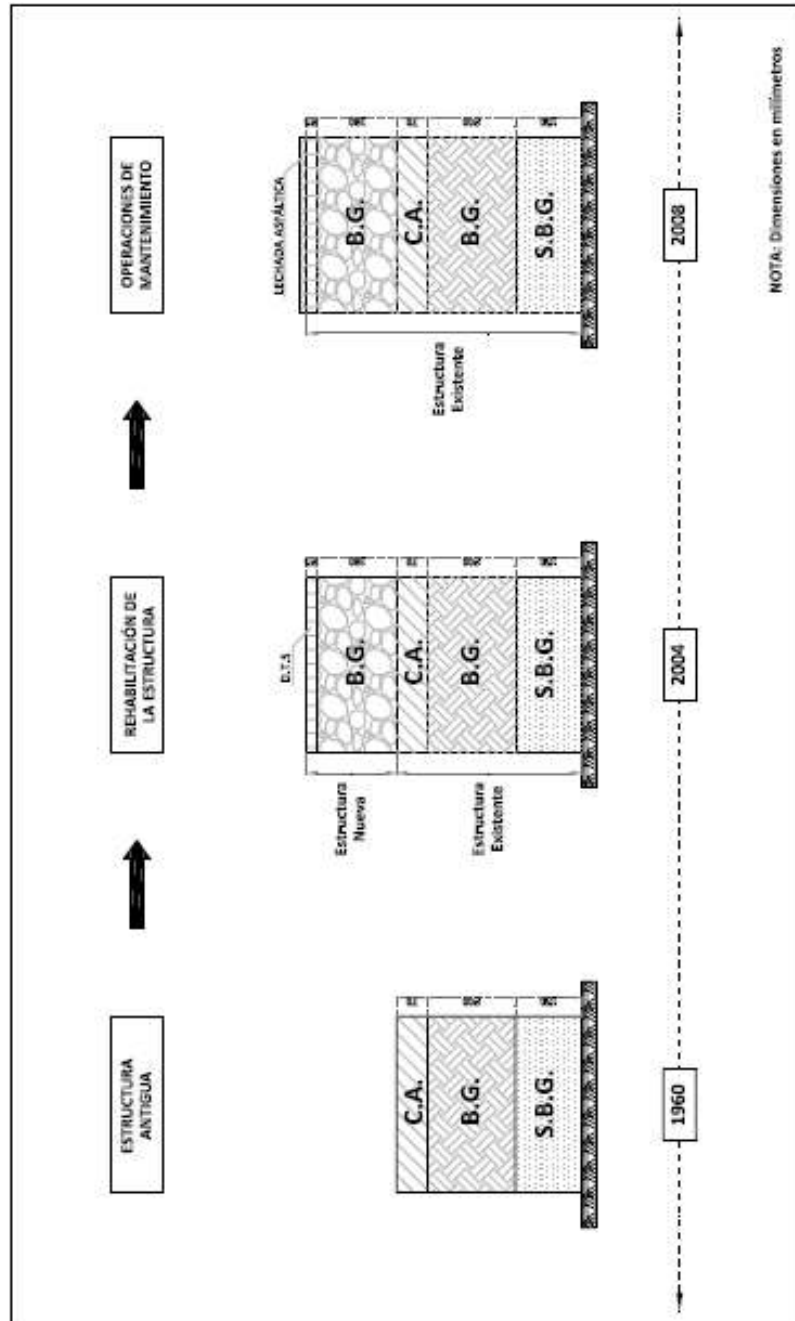


Fig. 3.2. Evolución Teórica de la Estructura de Pavimento, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional

### 3.4. Antecedentes geográficos de la zona

#### 3.4.1. Ubicación

El sector rehabilitado se extiende en una longitud de 22,75 km, entre el Dm 1.021.000, ubicado en Portezuelo, hasta el Dm 1.043.750,000, límite con la segunda región (Fig. 3.3).



Fig. 3.3. Plano ubicación Zona DTS, Ruta 5N Sector Chañaral – Límite Regional

### **3.4.2. Relieve y Características del Trazado**

El tramo objeto del proyecto, atraviesa un terreno de relieve ondulado, en el que destaca la aridez del sector.

En un principio, el trazado en planta presenta un alineamiento recto; luego, en dirección norte, éste se ve interrumpido por la presencia de curvas horizontales consecutivas, que se van suavizando y volviendo aisladas a medida que avanza el kilometraje. Por último, llegando al límite con la II Región, el tramo vuelve a retomar una trayectoria recta.

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

### **3.4.3. Geomorfología**

En la tercera región de Chile, los accidentes geográficos van tomando particulares formas y alturas. En este sector, la Cordillera de la Costa se encuentra interrumpida por los valles y su altura disminuye ostensiblemente, las planicies litorales por su parte, adquieren una gran amplitud y se confunden con la Cordillera de la Costa.

El sector en estudio se encuentra ubicado en la Cordillera de la Costa sobre relieve ondulado, más al sur la Ruta 5 Norte recorre el farellón costero; en Copiapó pasa por llanos de sedimentación fluvial y/o aluvial, para posteriormente continuar su recorrido por la pampa transicional (Fig. 3.4).

Este sector, está formado geológicamente por la presencia de cuerpos intrusivos del último período de la era paleozoica, rocas sedimentarias continentales del período cuaternario y por vulcanitas descendientes del pérmico y jurásico. En la Fig. 3.5, se presenta el Mapa Geológico de la III Región.

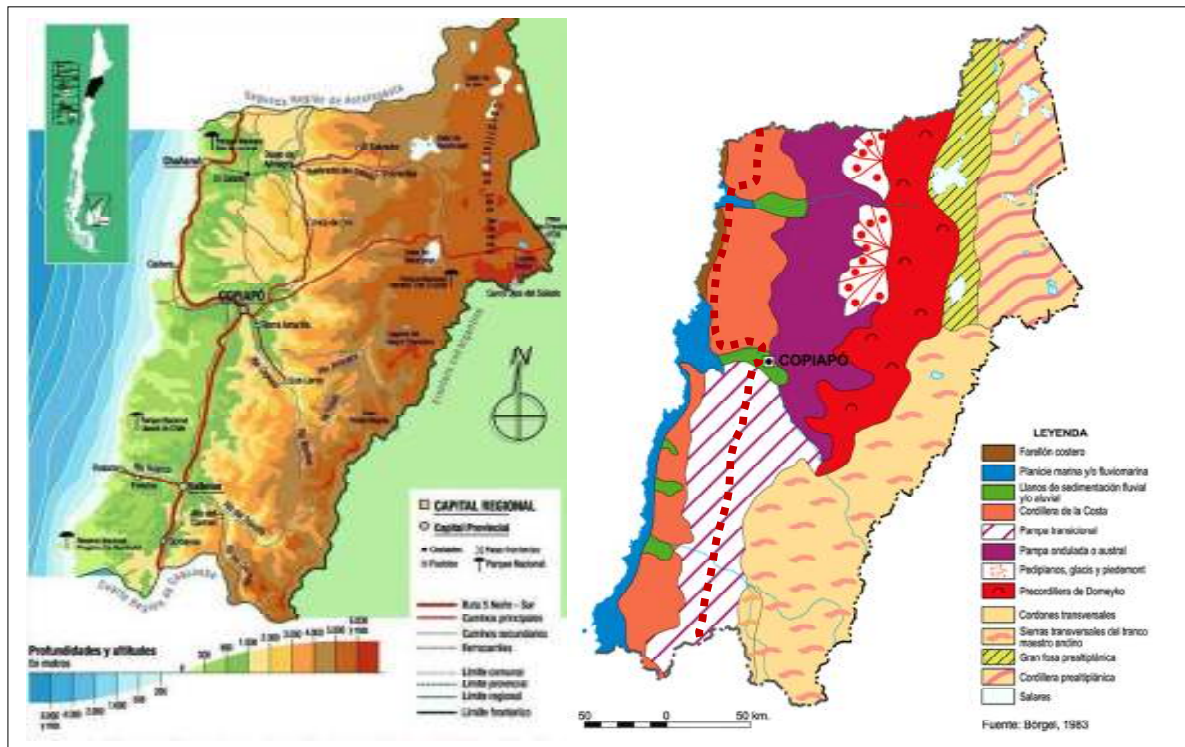


Fig. 3.4. Ubicación geomorfológica de la Ruta 5N en la III Región

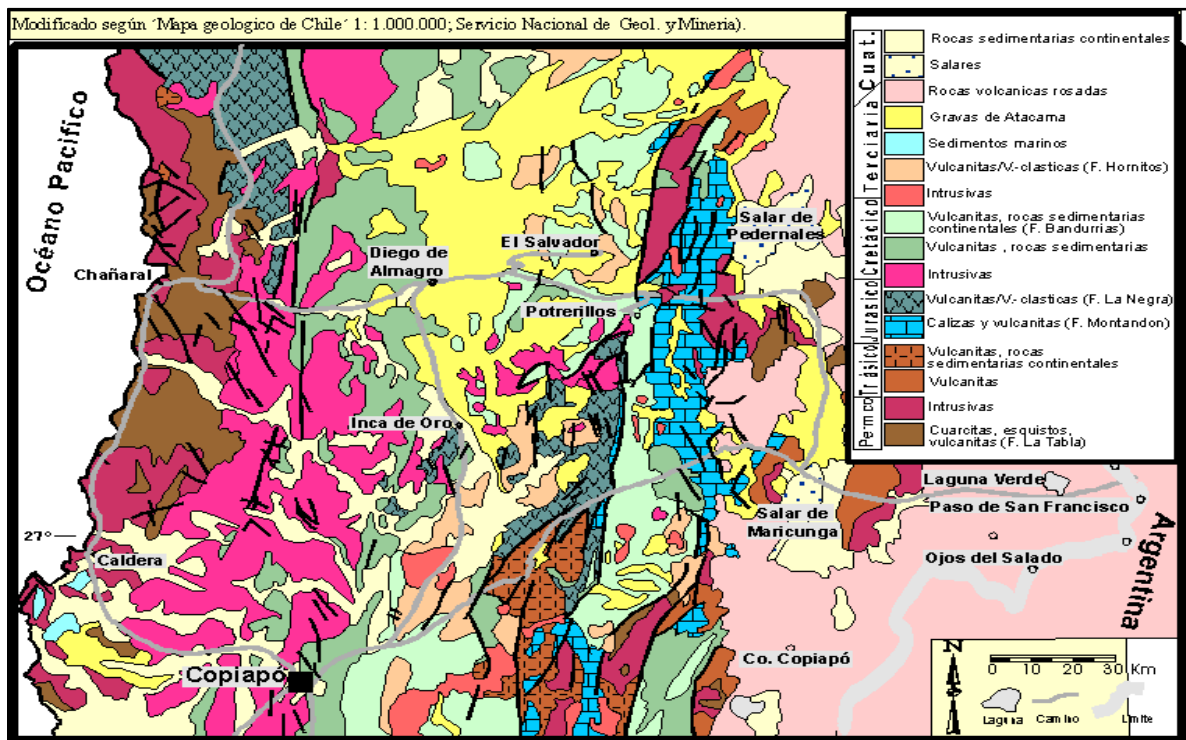


Fig. 3.5. Mapa Geológico de la III Región (SERNAGEOMIN)

### 3.4.4. Clima

El tramo en estudio de la Ruta 5 Norte 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 0,5°C.

En estricto rigor, esta zona presenta un clima desértico con nublados frecuentes, el cual se caracteriza por presentar abundante nubosidad matinal y niebla nocturna durante casi todo el año. Posee escasas precipitaciones y una clara influencia del anticiclón del Pacífico, lo que determina una gran aridez. La oscilación media de la temperatura es de sólo 7,5°C, lo que refleja la influencia marina en la condición térmica de la zona costera.

El aire costero presenta un alto contenido de humedad, con una humedad relativa (HR) anual de un 74%, que varía de un 66% en enero a un 78% en julio.

Precisamente en el sector analizado, el nivel de precipitación anual es muy bajo (Fig. 3.6); sin embargo, el efecto de las precipitaciones es intenso cuando ocurren.

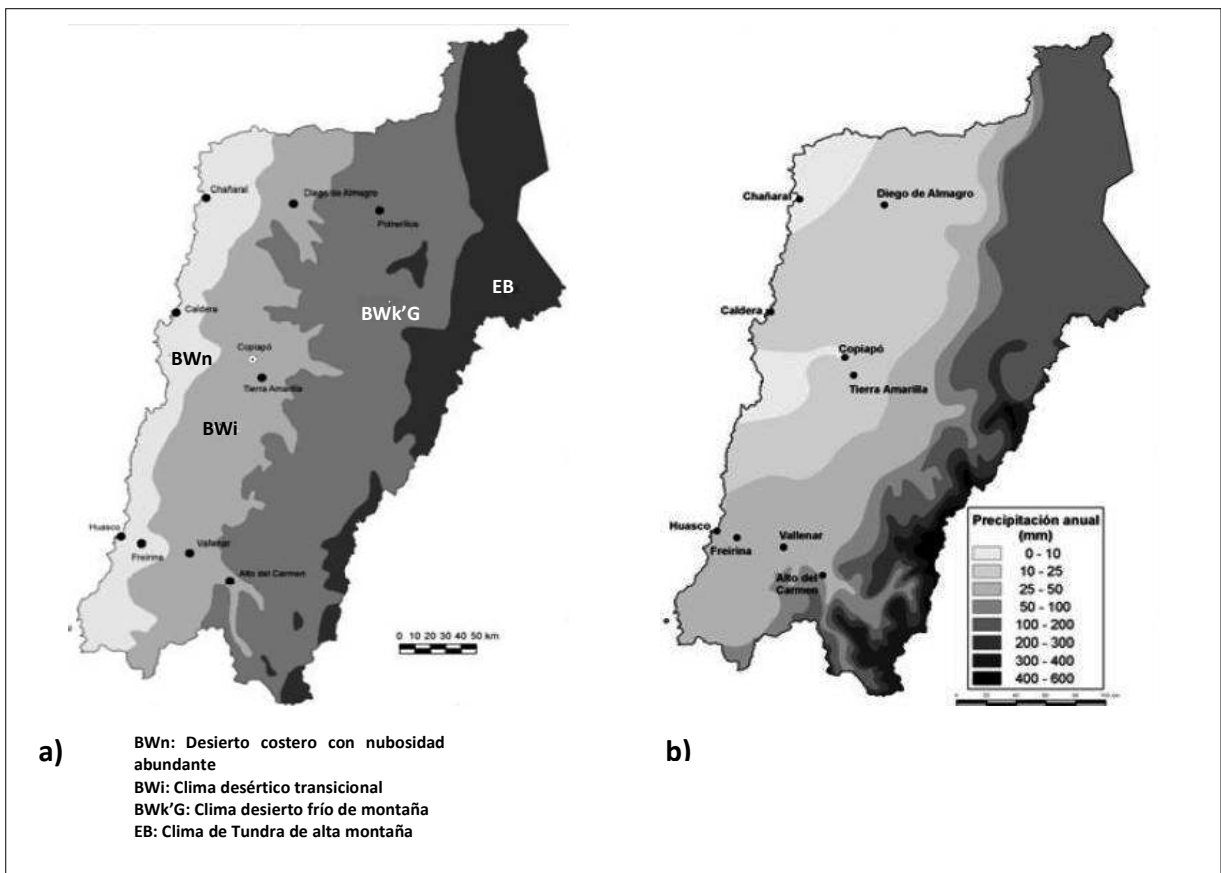


Fig. 3.6. a) Tipos de clima de la III Región, b) Nivel de Precipitación Anual en la III Región

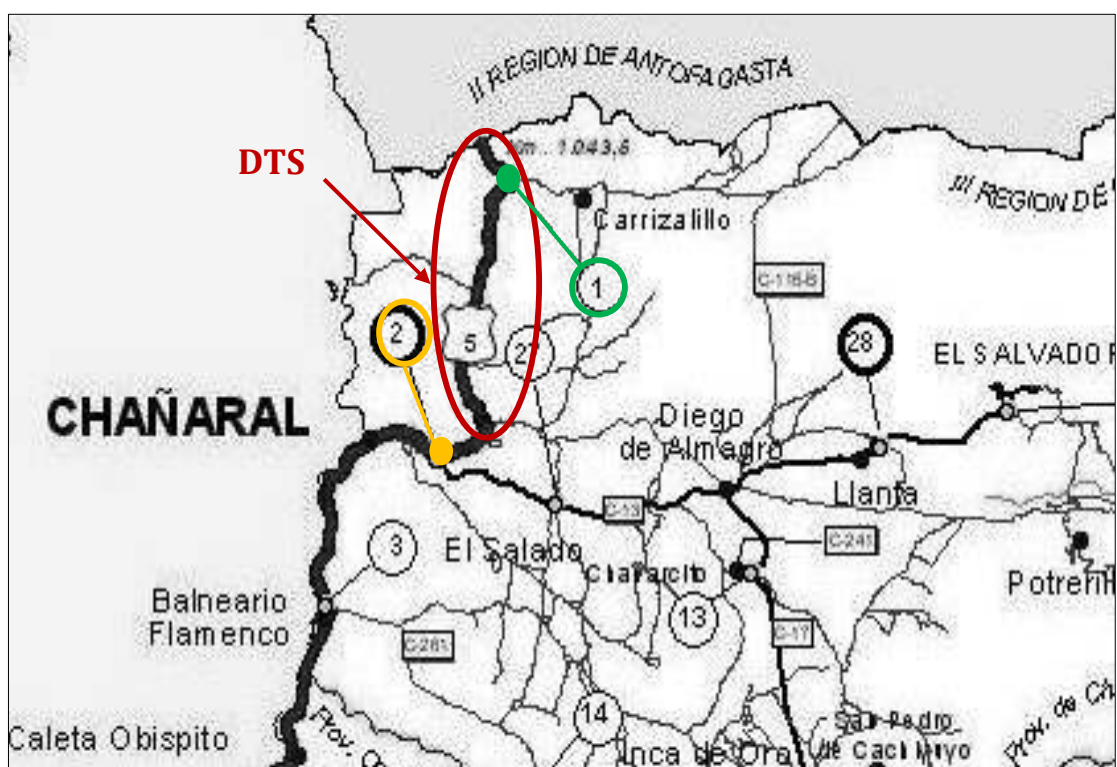
## Capítulo 4

### Estudio de Tránsito

#### 4.1. Tránsito Medio Diario Anual (TMDA)

##### 4.1.1. Puntos de Control

Con el fin de conocer la demanda real histórica de tránsito en el tramo de estudio, se utiliza como antecedente la información disponible del Plan Nacional de Censos, en los puntos de control N° 1 (12 horas de medición) y N° 2 (24 horas de medición).



*Fig. 4.1. Plano ubicación de los Puntos de Control de Tránsito N°1 y N°2*



La ubicación de los puntos de control es la siguiente:

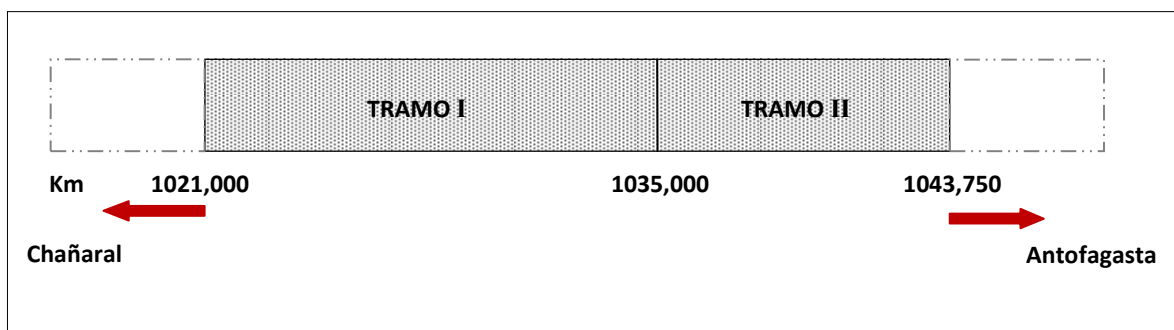
**Tabla 4.1. Ubicación de los Puntos de Control de Tránsito N°1 y N°2**

Punto de Control	Ubicación Ruta 5	Dm
N° 1	Bifurcación Carrizalillo	Dm 1.035.000,000
N° 2	Bifurcación El Salado	Dm 991.000,000

La incidencia de los puntos de control en el sector (Tabla 4.2), divide al camino en 2 tramos, en donde el tramo I queda influenciado por los puntos 2-01 y 1-02 y el tramo II por el punto 1-01 (Fig. 4.2).

**Tabla 4.2. Incidencia de los puntos de control para estudio de tránsito**

Punto	Incidencia
1-01	Bifurcación Carrizalillo de/a Antofagasta
1-02	Bifurcación Carrizalillo de/a Copiapó
2-01	Bifurcación El Salado de/a Antofagasta



**Fig. 4.2. División del camino en estudio por incidencia de tránsito**

Se tiene entonces que:

**Tabla 4.3. División del camino por incidencia de tránsito**

Tramo	Dm <sub>i</sub>	Dm <sub>f</sub>
I	1.021.000,0	1.035.000,0
II	1.035.000,0	1.043.750,0

### 4.1.2. Clasificación de Vehículos

La clasificación de vehículos adoptada por la Dirección de Vialidad es la siguiente:

**Tabla 4.4. Clasificación de vehículos adoptada por la Dirección de Vialidad**

Tipo de vehículo	Clasificación	Descripción
Veh. livianos	AS	Autos, station wagons, jeeps y citronetas
	CTA	Camionetas y furgonetas inferiores a 1000 kg.
Veh. comerciales	C2E	Camiones simples de 2 ejes
	C+2E	Camiones simples de más de 2 ejes, Remolques y Semi-remolques
	BTB	Buses y Taxibuses

### 4.1.3. Tasas de Crecimiento

La tasa de crecimiento de un vehículo tipo  $i$  es función del Producto Geográfico Bruto del país ( $PGB_{País}$ )<sup>(7)</sup> y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$r_i = (1 + \alpha)^{\beta_i} - 1 \quad \text{ec. 4.i}$$

En que:

- $r_i$  : Tasa de crecimiento vehículo tipo  $i$  (%).
- $\alpha$  : Tasa Crecimiento del Producto Geográfico Bruto del país (%).
- $\beta_i$  : Elasticidad Flujo / PGB Veh. Tipo  $i$ .

Las tasas de crecimiento del PGB del país, se obtienen de los reportes del Banco Central de Chile y se indican en la Tabla 4.5.

<sup>7</sup> Referencia: Manual de Carreteras, Vol. 1

**Tabla 4.5. Tasas históricas de crecimiento del PGB del país c/r al año anterior.**

Año	$\alpha$ (%)
1999	-0,8
2001	3,4
2003	3,9
2005	5,6
2007	5,1
2008	5,0 <sup>(8)</sup>

Con la ec. 4.i y los datos entregados en la Tabla 4.5, se calculan las tasas históricas de crecimiento para cada tipo de vehículo:

**Tabla 4.6. Elasticidad y Tasas de crecimiento históricas para cada tipo de vehículo**

Tipo de vehículo	$\beta^{(9)}$	$r_i$ (%)					
		1999	2001	2003	2005	2007	2008
Vehs. livianos	1,5	-1,2	5,1	5,9	8,5	7,7	7,6
C2E	0,5	-0,4	1,7	1,9	2,8	2,5	2,5
C+2E	1,75	-1,4	6,0	6,9	10,0	9,1	8,9
BTB	1,5	-1,2	5,1	5,9	8,5	7,7	7,6

#### 4.1.4. Cálculo del TMDA

El TMDA de los años 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006 fue obtenido directamente del Plan Nacional de Censos realizado por la Dirección de Vialidad en cada punto de control y el TMDA de los años restantes, se obtiene a través de las tasas históricas de crecimiento calculadas con anterioridad.

<sup>8</sup> Estimación conforme a los datos históricos obtenidos

<sup>9</sup> Fuente: Curso Diseño y Construcción de Firms CI62G, Semestre Primavera 2008, Facultad de Cs. Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

**Tabla 4.7. TMDA medido en el Punto de Control N°1, Bifurcación Carrizalillo de/a Antofagasta**

Año	1-01 Bifurcación Carrizalillo de/a Antofagasta			
	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB
1998	637	120	627	122
1999	629	120	618	121
2000	395	75	496	92
2001	415	76	526	97
2002	367	81	424	114
2003	389	83	453	121
2004	374	128	676	120
2005	406	132	744	130
2006	430	84	745	161
2007	463	86	813	173
2008	498	88	885	187

**Tabla 4.8. TMDA medido en el Punto de Control N°1, Bifurcación Carrizalillo de/a Copiapó**

Año	1-02 Bifurcación Carrizalillo de/a Copiapó			
	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB
1998	636	120	624	122
1999	628	120	615	121
2000	402	77	513	92
2001	423	78	544	97
2002	374	83	431	114
2003	396	85	461	121
2004	374	125	672	120
2005	406	129	739	130
2006	432	82	742	161
2007	465	84	810	173
2008	501	86	882	187

**Tabla 4.9. TMDA medido en el Punto de Control N°2, Bifurcación El Salado de/a Antofagasta**

Año	2-01 Bifurcación El Salado de/a Antofagasta			
	Veh. livianos	C2E	C + 2E	BTB
1998	487	117	531	160
1999	481	117	524	158
2000	614	141	618	224
2001	645	143	655	235
2002	458	111	569	191
2003	485	113	608	202
2004	460	147	717	220
2005	499	151	789	239
2006	499	121	744	229
2007	537	124	812	247
2008	578	127	884	265

Para el cálculo del TMDA en el tramo I, se utiliza el TMDA promedio de ambos puntos incidentes, 2-01 y 1-02, y para el tramo II, sólo se utiliza el TMDA del punto 1-01.

**Tabla 4.10. TMDA Antes de la Rehabilitación (1998 - 2003)**

Año	TMDA del tramo I				TMDA del tramo II			
	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB
1998	562	119	578	141	637	120	627	122
1999	555	119	570	140	629	120	618	121
2000	508	109	566	158	395	75	496	92
2001	534	111	600	166	415	76	526	97
2002	416	97	500	153	367	81	424	114
2003	441	99	535	162	389	83	453	121
<b>TMDA acumulado (1998 - 2003)</b>	<b>3.016</b>	<b>654</b>	<b>3.349</b>	<b>920</b>	<b>2.832</b>	<b>555</b>	<b>3.144</b>	<b>667</b>

**Tabla 4.11. TMDA Después de la Rehabilitación (2004 - 2008)**

Año	TMDA del tramo I				TMDA del tramo II			
	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB	Veh. livianos	C2E	C+2E	BTB
2004	417	136	695	170	374	128	676	120
2005	453	140	764	185	406	132	744	130
2006	466	102	743	195	430	84	745	161
2007	501	104	811	210	463	86	813	173
2008	540	107	883	226	498	88	885	187
<b>TMDA acumulado (2004 - 2008)</b>	<b>2.377</b>	<b>589</b>	<b>3.896</b>	<b>986</b>	<b>2.171</b>	<b>518</b>	<b>3.863</b>	<b>771</b>

## 4.2. Ejes Equivalentes Solicitantes

Para determinar el total de ejes equivalentes solicitantes en cada año, antes y después de la rehabilitación, se utiliza la estratigrafía para tránsito pesado de la Tabla 3.603.301.F del Nuevo Vol. 3 del Manual de Carreteras, pues no se conocen datos directos de terreno que permitan definir la estratigrafía de tránsito propia del sector.

**Tabla 4.12. Estratigrafía adoptada Pavimento Asfáltico**

Tipo de vehículo	EE / 1000 Veh.
C2E	1.619,1
C+2E	4.595,1
BTB	1.374,5

Considerando la estratigrafía de pesos por eje señalada, una distribución direccional  $F_D = 50\%$  y una distribución por pista  $F_P = 100\%$  (Fig. 4.3), se obtienen los ejes equivalentes acumulados en la pista de diseño antes y después de la rehabilitación (Tabla 4.13 y Tabla 4.14)

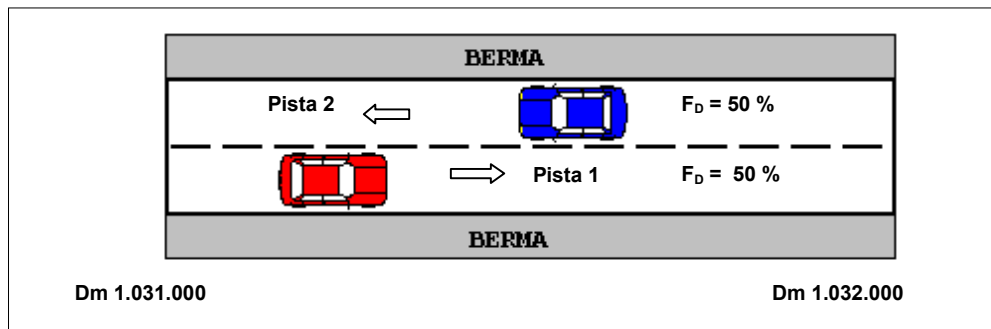


Fig. 4.3. Calzada única con dos pistas

Tabla 4.13. Ejes Equivalentes Antes de la Rehabilitación (1998 - 2003)

Año	EE del Tramo I			EE del Tramo II		
	C2E	C+2E	BTB	C2E	C+2E	BTB
1998	35.162,8	484.714,1	35.369,3	35.458,3	525.805,8	30.603,2
1999	35.162,8	478.005,3	35.118,5	35.458,3	518.258,4	30.352,4
2000	32.207,9	474.650,9	39.633,7	22.161,4	415.948,5	23.077,9
2001	32.798,9	503.163,5	41.640,5	22.456,9	441.106,6	24.332,1
2002	28.662,1	419.302,9	38.379,5	23.934,3	355.568,8	28.596,5
2003	29.253,1	448.654,1	40.637,1	24.525,3	379.888,4	30.352,4
<b>Acumulado (1998 - 2003)</b>	193.247,7	2.808.490,7	230.778,6	163.994,6	2.636.576,5	167.314,4
<b>Total EE<sub>A</sub> (1998 - 2003)</b>	3.232.516,9			2.967.885,5		
<b>∴ Total EE<sub>A</sub> (1998 - 2003)</b>	<b>≈ 3,2 MEE</b>			<b>≈ 3,0 MEE</b>		

Tabla 4.14. Ejes Equivalentes Después de la Rehabilitación (2004 - 2008)

AÑO	EE DEL TRAMO I			EE DEL TRAMO II		
	C2E	C+2E	BTB	C2E	C+2E	BTB
2004	40.186,1	582.831,0	42.643,9	37.822,2	566.897,5	30.101,6
2005	41.368,0	640.694,8	46.406,6	39.004,1	623.922,7	32.610,0
2006	30.139,5	623.084,1	48.915,0	24.820,8	624.761,3	40.386,2
2007	30.730,5	680.109,3	52.677,7	25.411,8	681.786,5	43.396,4
2008	31.617,0	740.488,9	56.691,3	26.002,7	742.166,1	46.908,2
<b>Acumulado (2004 - 2008)</b>	174.041,1	3.267.208,0	247.334,4	153.061,6	3.239.534,0	193.402,5
<b>Total EE<sub>A</sub> (2004 - 2008)</b>	3.688.583,5			3.585.998,1		
<b>∴ Total EE<sub>A</sub> (2004 - 2008)</b>	<b>≈ 3,7 MEE</b>			<b>≈ 3,6 MEE</b>		

En los cinco años transcurridos desde el 2004 hasta el 2008, los EE acumulados en la pista de diseño para el tramo I y II, serían menores que los considerados en el diseño y el tramo I estaría más solicitado que el tramo II.

**Tabla 4.15. Diseño v/s Estudio de Tránsito**

Período 2004 - 2008	EE <sub>A</sub> Tramo I	EE <sub>A</sub> Tramo II
Diseño	≈ 5,0 MEE	≈ 5,7 MEE
Estudio de Tránsito	≈ 3,7 MEE	≈ 3,6 MEE

### 4.3. Proyección de 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:

$$T_{ac} = \frac{T_a(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{ec. 4.ii}$$

Donde:

- T<sub>ac</sub> : Tránsito acumulado desde año a hasta año b.
- T<sub>a</sub> : Tránsito en el año a.
- i : Tasa anual de crecimiento veh<sub>i</sub> (%)
- n : Vida estimada (años)

El pronóstico del TMDA acumulado en la vía, para 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector (año 2004), se indica en la Tabla 4.16

**Tabla 4.16. Proyección del TMDA acumulado para 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector**

Período	Años	TMDA <sub>A</sub> del Tramo I			TMDA <sub>A</sub> del Tramo II		
		C2E	C+2E	BTB	C2E	C+2E	BTB
2004 - 2013	10	5.391	19.080	5.262	4.461	19.082	4.307
2004 - 2023	20	6.748	39.529	9.895	5.576	39.577	8.140



Con esto, y considerando la estratigrafía de tránsito señalada en la Tabla 4.12,  $F_D = 50\%$  y  $F_P = 100\%$ , se estiman las cargas acumuladas en la pista de diseño para 10 y 20 años desde la rehabilitación.

**Tabla 4.17. Proyección de EE acumulados para 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector**

Período	EE <sub>A</sub> Tramo I			EE <sub>A</sub> Tramo II		
	C2E	C+2E	BTB	C2E	C+2E	BTB
2004 - 2013	1.592.963,7	16.000.597,7	1.319.953,0	1.318.161,9	16.002.274,9	1.080.394,8
2004 - 2023	1.993.937,8	33.149.246,7	2.482.123,6	1.647.628,5	33.189.499,8	2.041.888,5
∴ EE <sub>A</sub> (2004 - 2013)	≈ 18,9 MEE			≈ 18,4 MEE		
∴ EE <sub>A</sub> (2004 - 2023)	≈ 37,6 MEE			≈ 36,8 MEE		

Por lo anterior, según estudio de tránsito, el nivel de carga que debiera soportar el camino a partir de la rehabilitación, es el siguiente:

**Tabla 4.18. Ejes equivalentes acumulados en 5, 10 y 20 años desde la rehabilitación del sector**

Período	Años desde la rehabilitación	EE acumulados	
		Tramo I	Tramo II
2004 - 2008	5 años	3.688.583,5	3.585.998,1
2004 - 2013	10 años	18.913.514,4	18.400.831,7
2004 - 2023	20 años	37.625.308,2	36.879.016,8

### 4.3.1. Número Estructural en Función del Pronóstico de Tránsito

Según la fórmula general de diseño para pavimentos flexibles, definida en el Manual de Carreteras, Vol. 3 (ec. 2.i, ec. 2.ii, pág. 11 de este trabajo), se calcula el número estructural para 10 y 20 años a partir de la fecha de rehabilitación (año 2004).

Si se considera un valor promedio representativo de la subrasante, determinado de la deflectometría de impacto realizada el año 2001, igual a  $M_{R\_Tramo\ 1} = 175$  [MPa] y  $M_{R\_Tramo\ 2} = 129,7$  [MPa], un coeficiente de variación del suelo de 20%, un valor promedio en el nivel de confiabilidad (Tabla 2.1, pág 12), e índices de serviciabilidad  $p_i = 4,2$  y  $p_f = 2,0$ , se obtiene el número estructural del pavimento en función de los ejes equivalentes pronosticados para 5, 10 y 20 años a partir del funcionamiento de la estructura rehabilitada, año 2004.

El diseño para los 5, 10 y 20 años se indica a continuación:

**Tabla 4.19. Número estructural esperado para 5, 10 y 20 años desde la rehabilitación**

Período	NE (mm)	
	Tramo I	Tramo II
2004 - 2008	51,8	57,7
2004 - 2013	64,9	71,9
2004 - 2023	70,3	78,0

## Capítulo 5

### Inspección Técnica del Pavimento

#### 5.1. Programa de Actividades en Visita a Obra

Durante septiembre del 2008, se realizó una visita al lugar de la obra, en conjunto con personal técnico del LNV, con el propósito de realizar mediciones de deflectometría, IRI, textura superficial y coeficiente de roce entre neumático y pavimento; además, se realizó una inspección visual en toda la longitud del camino para evaluar tipos de grietas y estado de deterioro.

El programa de actividades en obra fue el siguiente:

*Tabla 5.1. Programa de actividades para inspección técnica en el lugar de la obra*

Fecha	Actividad
Miércoles 03 de septiembre	Medición de IRI
Lunes 08 de septiembre	Medición de Deflectometría
Miércoles 10 y jueves 11 de septiembre	Ensayo del Círculo de Arena
Miércoles 10 y jueves 11 de septiembre	Ensayo del Péndulo Británico
Miércoles 10 y jueves 11 de septiembre	Inspección Visual

#### 5.2. Inspección Visual

La inspección visual, realizada durante los días 10 y 11 de septiembre del 2008 en la longitud total del proyecto, tuvo como principal objetivo obtener una evaluación general de las condiciones actuales del pavimento y dividir al camino por secciones homogéneas.

Se tomaron notas detalladas de las fallas existentes en toda la sección transversal del camino y las principales observaciones fueron:

- En los días que se realizó la inspección visual, entre el Dm 1.021.000 al Dm 1.023.000 aún no se realizaban los trabajos de colocación de lechada, por lo que según antecedentes se debería haber encontrado DTS como superficie de rodado. Sin embargo, la superficie

no correspondía a tal, si no más bien a una superficie que ya contaba con aplicaciones previas de slurry. Lo observado se contrapone a los antecedentes de conservación que fueron recopilados en el Departamento de Proyectos de Vialidad de Atacama, los cuales indican que la única actividad de mantenimiento al pavimento era la que se estaba realizando en ese entonces.

- Durante la inspección, el número de vehículos pesados superaba fácilmente el 50%, siendo significativamente mayor la circulación de vehículos categoría C+2E.
- Desde el punto de vista de las deformaciones, la presencia de ahuellamiento es poco frecuente y localizada.
- El pavimento se encontraba en general en buen estado, no se observaron fisuras ni grietas de ningún tipo, había algunos pocos sectores con pequeños baches de baja severidad, desgaste poco pronunciado en sectores puntuales, y pequeñas ondulaciones principalmente en los últimos kilómetros del sector en dirección norte. Se detectaron escasos sectores con pérdida de áridos y exudaciones de bajo nivel de severidad, concentrados principalmente en la huella.
- En los sectores donde recientemente se había aplicado lechada asfáltica, se notaron importantes fallas de construcción; mientras más días llevaba la aplicación de lechada sobre la superficie, las fallas se hacían más generalizadas y notorias.
- En general, el poco deterioro observado provenía sólo de las capas superficiales. La capacidad estructural de las capas granulares mostraba buenas condiciones.
- Por otra parte, las bermas y obras anexas pertenecientes al tramo se encontraban en buen estado.

### 5.2.1. Análisis de deterioros

Desde el Dm 1.021.000 al Dm 1.043.750, el pavimento se encontraba bajo la misma condición superficial en cuanto al tipo y nivel de severidad de deterioro, exceptuando pequeños baches aislados. Cabe destacar que la superficie estaba completamente sellada con la última y reciente aplicación de lechada asfáltica.

El registro detallado de los deterioros observados durante la inspección se presenta en monografías realizadas en dos sectores particularmente elegidos (Anexo D, pág. 126).

El primer sector elegido, consta de 150 m, entre el Dm 1.043.628 al Dm 1.043.780. Este tramo se eligió con el fin de diferenciar el estado, tipos y nivel de severidad de deterioros presentes en el pavimento del sector en estudio y el pavimento le que continúa hacia el norte por la Ruta 5.

El segundo sector, corresponde a 150 m entre el Dm. 1.037.558 al Dm. 1.037.710. Aquí, las fallas más importantes que se detectaron son de tipo constructivo en la aplicación de lechada, y presencia de pérdidas de áridos con bajo nivel de severidad en la huella y en la mitad de la pista.

En Anexos Serie Fotográfica C.4 (pág. 120), se muestran fotos que revelan el estado en que se encontraba el pavimento durante la inspección visual, las diferencias de textura con la aplicación de lechada, así como también, las fallas más notorias e importantes, aunque de ocurrencia muy particular, que se detectaron.

### **5.2.2. Verificación de la estructura del pavimento**

Con el objetivo de evaluar las capas del pavimento y verificar su estructuración, se realizó una calicata en el Dm 1.034.900 de aproximadamente metro y medio de profundidad en el borde de la berma con la calzada. La estructura detectada, sólo consistía en estratos granulares, de 10, 20 y 10 cm de espesor medidos desde la subrasante hacia la superficie y una capa de superficie de rodadura de 3 cm de espesor, notando capas previas de lechada asfáltica sobre el DTS. No se observó la presencia de la carpeta asfáltica que según antecedentes habría bajo una capa granular. (Anexo Serie Fotográfica C.5, pág. 125)

No se descarta el motivo de que justo en el punto de excavación, la carpeta haya tenido un importante nivel de deterioro que concluyó con una desintegración total ó pérdida de algún vestigio de existencia para la fecha en que se procedió a rehabilitar el sector. Otra hipótesis planteada sobre esta diferencia de estructuración puede ser producto de algún cambio en la geometría del camino con las obras de rehabilitación.

### 5.3. Mediciones en terreno

Las fechas de mediciones coincidieron con los trabajos de mantenimiento que se estaban realizando en obra. Específicamente, el día 3 de septiembre, no se pudo realizar una medición continua del IRI en la pista 2, pues entre el km 1.034,0 al km 1.039,0 se estaba trabajando en la aplicación de lechada. Por el mismo motivo, las mediciones de deflectometría realizadas en la pista 1, el 8 de septiembre, se vieron afectadas entre el kilómetro 1.027 al km 1.030.

Con el propósito de analizar como influye la aplicación de lechada asfáltica en los resultados de los ensayos de textura superficial y coeficiente de roce, se procede a sectorizar al camino según tipo de superficie. La sectorización adoptada para los días de medición respectivos, se indica en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2. Sectorización de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional, en los días de medición de textura superficial y coeficiente de roce**

Sector	Superficie del Pavimento	Pista 1	Pista 2
A	Sin la aplicación de lechada	Dm. 1.021.000,0 - Dm 1.023.000,0	Dm. 1.021.000,0 - Dm1.023.000,0
B	Trabajos en obra	Dm. 1.023.000,0 - Dm 1.032.000,0	Dm. 1.023.000,0 - Dm 1.028.500,0
C	Con Lechada	Dm. 1.032.000,0 - Dm 1.043.750,0	Dm. 1.028.500,0 - Dm 1.043.750,0

Dicha sectorización se ilustra en la Fig. 5.1.

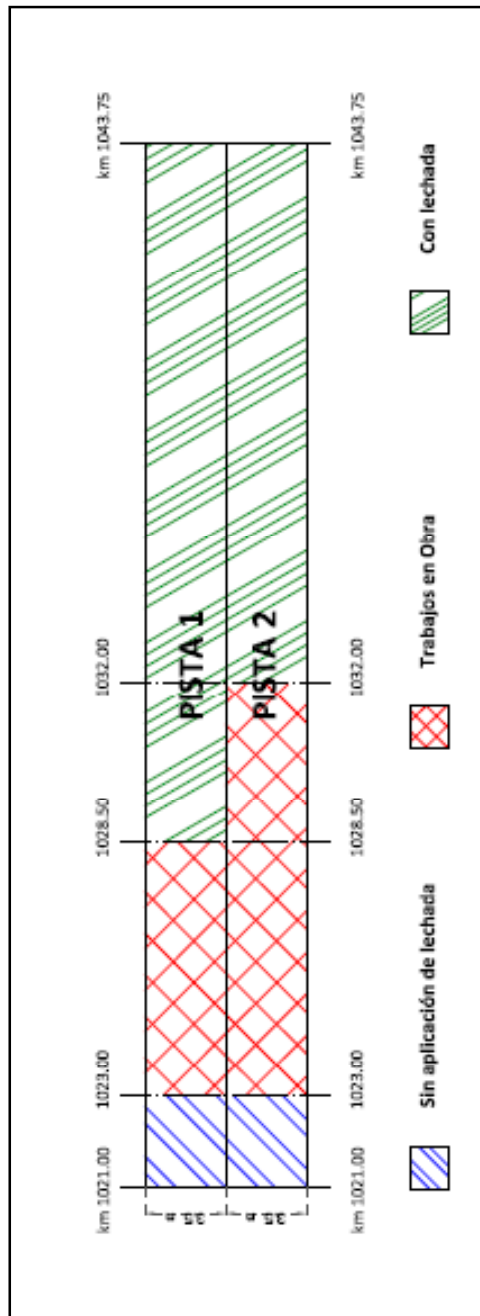


Fig. 5.1. Sectorización de la Ruta 5N, Sector Chañaral - Límite Regional, en los días de medición de textura superficial y coeficiente de roce

### 5.3.1. Deflectometría de Impacto

Los ensayos de deflexiones se realizaron para una carga normalizada de 50 kN. El registro de deflexiones históricas medidas en los años 1998, 2001, 2004 y 2008; así como los resultados del retroanálisis son presentados en el Anexo E.1, pág. 137.

El cálculo de retroanálisis, según el modelo bicapa AASHTO, se realizó con el programa computacional de nombre KUAB que utiliza el LNV para el procesamiento de dichas mediciones.

La estructura de pavimento considerada para el cálculo de retroanálisis, modelo bicapa AASHTO, en cada año de medición se indica en la Tabla 5.3

**Tabla 5.3. Espesores considerados en el cálculo retroanálisis para los distintos años de medición**

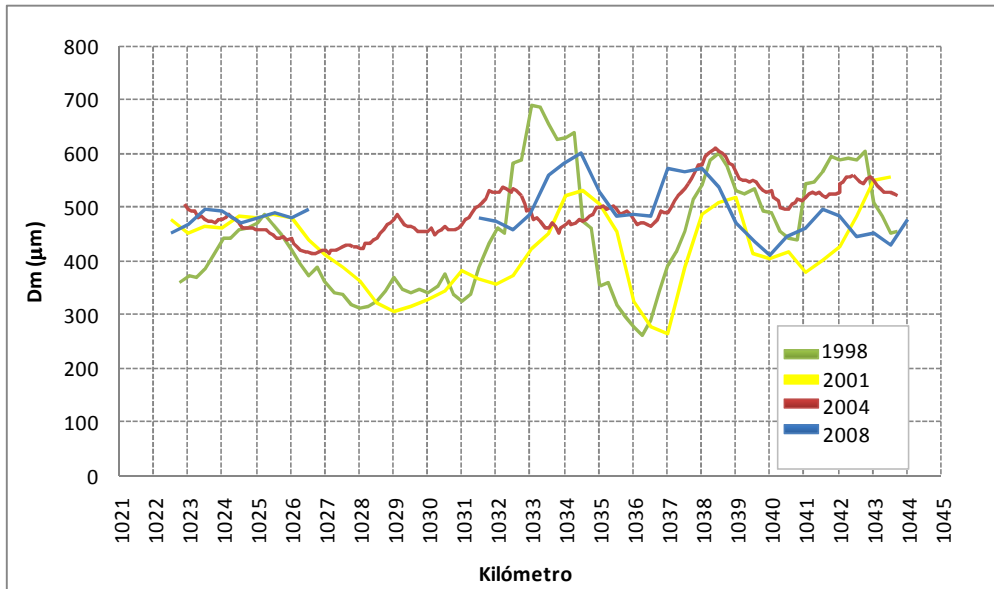
Mes - Año	Tipo de Pavimento	H <sub>ASFALTO</sub>	H <sub>GRANULAR</sub>	Consideraciones
Marzo - 1998	Asfalto	7 cm	35 cm	Estructura teórica
Agosto - 2001	Asfalto	6 cm	15 cm	Datos observados in-situ
Abril - 2004	D.T.S	0 cm	60 cm	Estructura teórica
Septiembre -2008	D.T.S	0 cm	60 cm	Estructura teórica

A continuación se muestra gráficamente la evolución y el comportamiento de las curvas que representan a las deflexiones máximas, al módulo elástico y número estructural del pavimento y al módulo resiliente de la subrasante. Estas curvas representativas, corresponden a la media móvil del conjunto de datos.

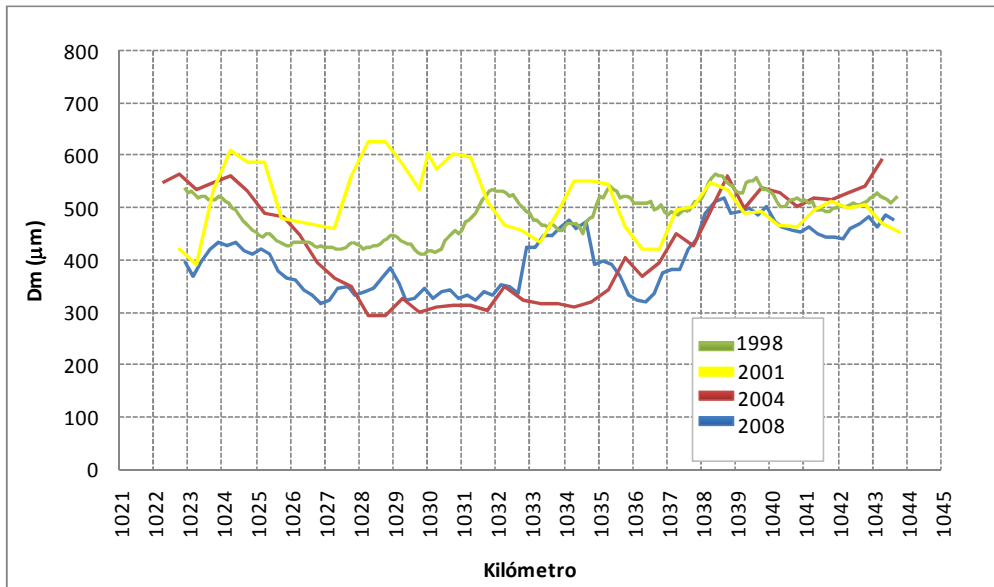


**5.3.1.1. Deflexiones Máximas**

Las medias móviles de las deflexiones máximas de ambas pistas, calculadas antes y después de la rehabilitación, se presentan en la Fig. 5.2 y Fig. 5.3 respectivamente:



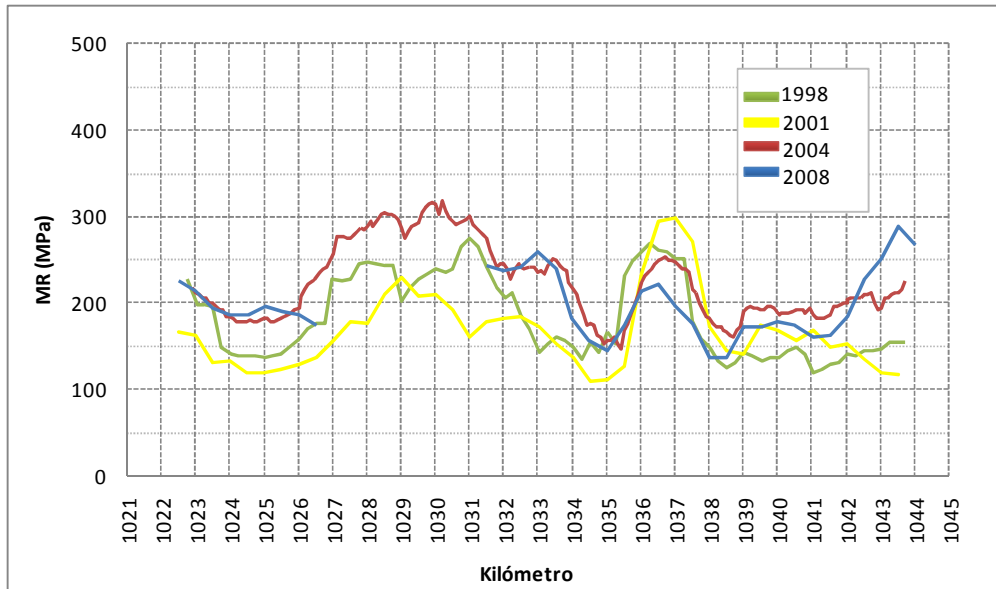
**Fig. 5.2. Deflexiones Máximas / Pista 1**



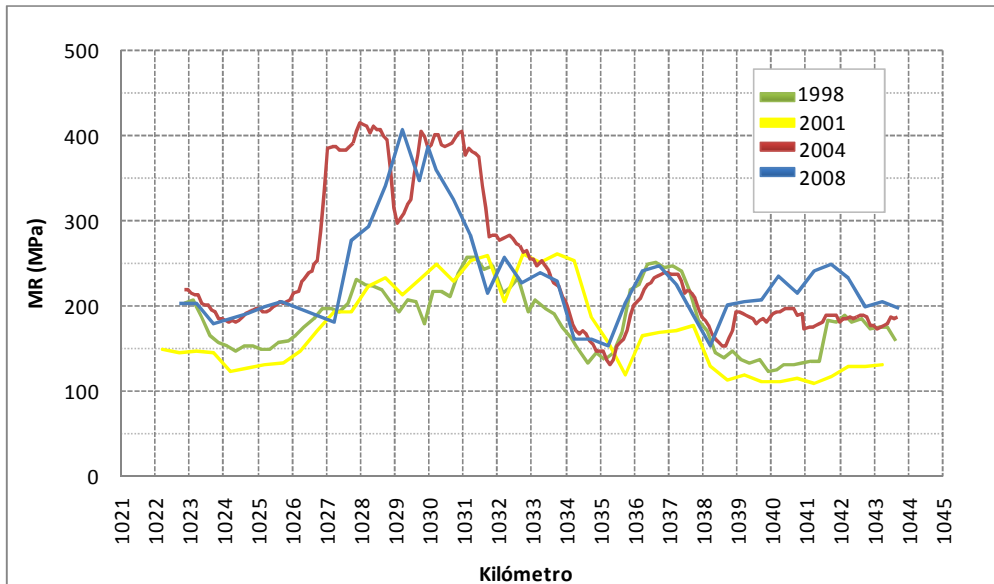
**Fig. 5.3. Deflexiones Máximas / Pista 2**

**5.3.1.2. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación**

La evolución del Módulo Resiliente de la subrasante, a lo largo del camino y en ambas pistas, se presenta en la Fig. 5.4 y Fig. 5.5.



**Fig. 5.4. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación / Pista 1**



**Fig. 5.5. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación / Pista 2**

5.3.1.3. Módulo Elástico del Pavimento

A continuación, en la Fig. 5.6 y Fig. 5.7, se muestra el comportamiento del módulo elástico del pavimento  $E_p$ , en los distintos años de medición:

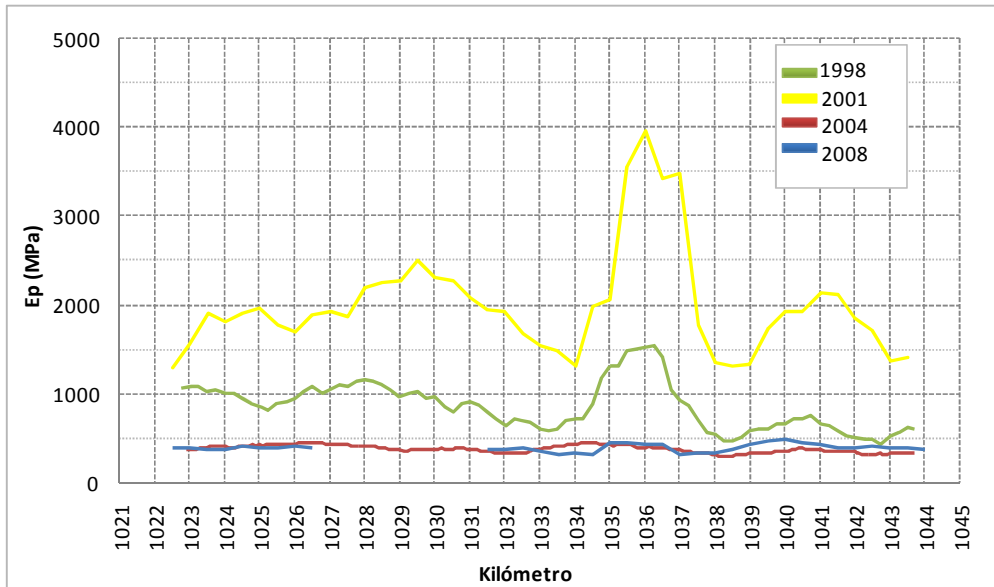


Fig. 5.6. Módulo Elástico del Pavimento / Pista 1

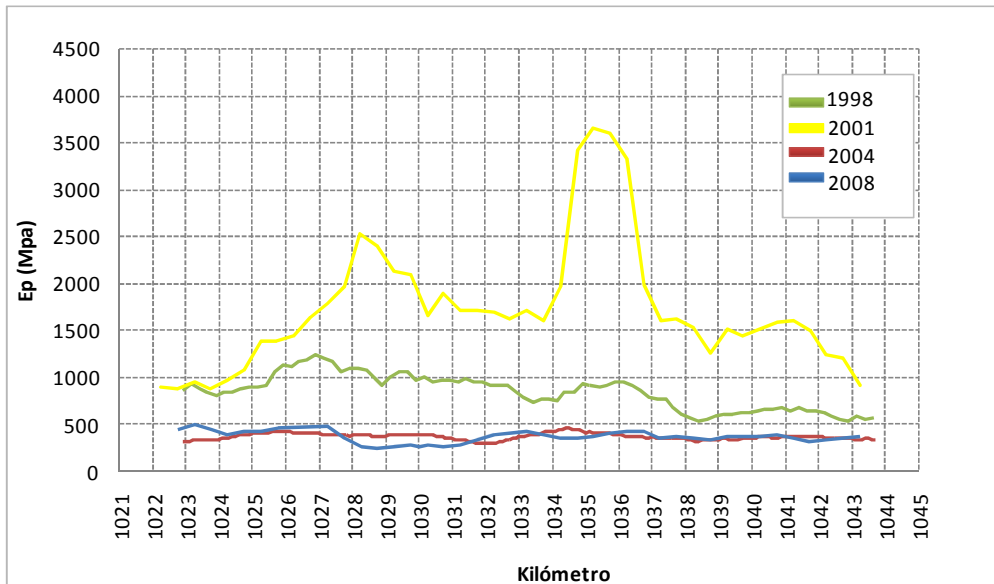


Fig. 5.7. Módulo Elástico del Pavimento / Pista 2

5.3.1.4. Número Estructural Efectivo del Pavimento

En la Fig. 5.8 y Fig. 5.9, se muestran el comportamiento del Número Estructural Efectivo (NEe) del pavimento en toda la longitud del tramo de ambas pistas, antes y después de la rehabilitación.

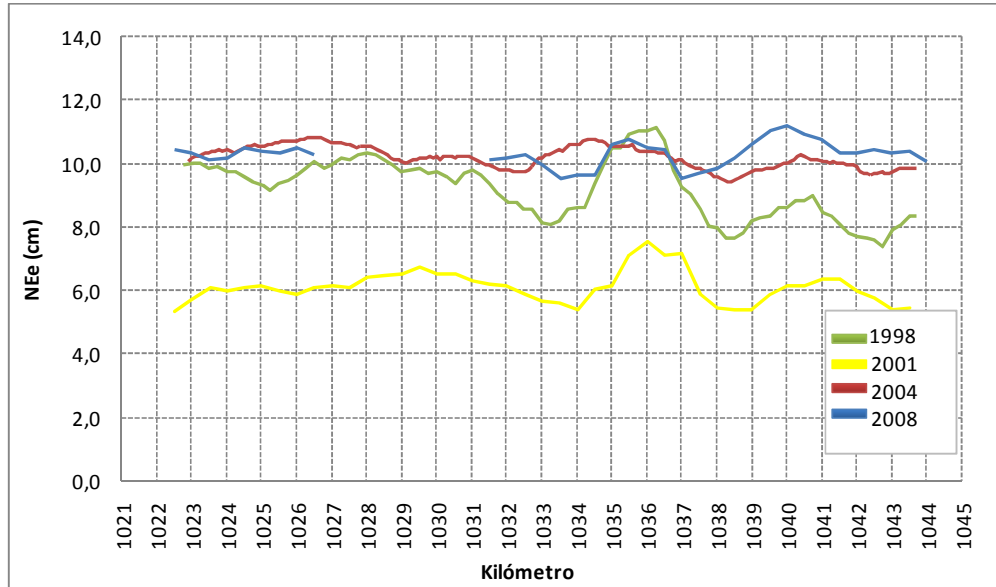


Fig. 5.8. Número Estructural Efectivo / Pista 1

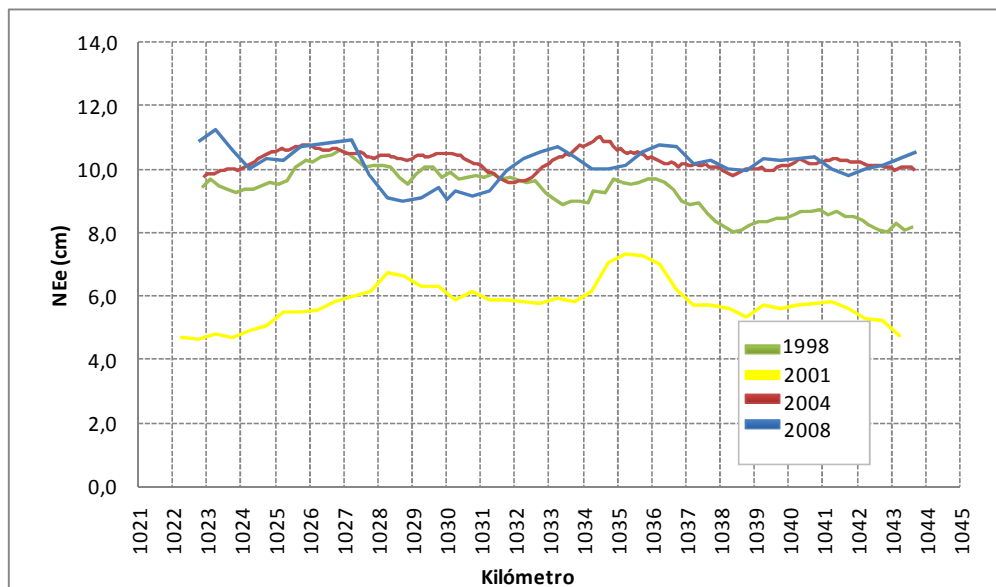


Fig. 5.9. Número Estructural Efectivo / Pista 2

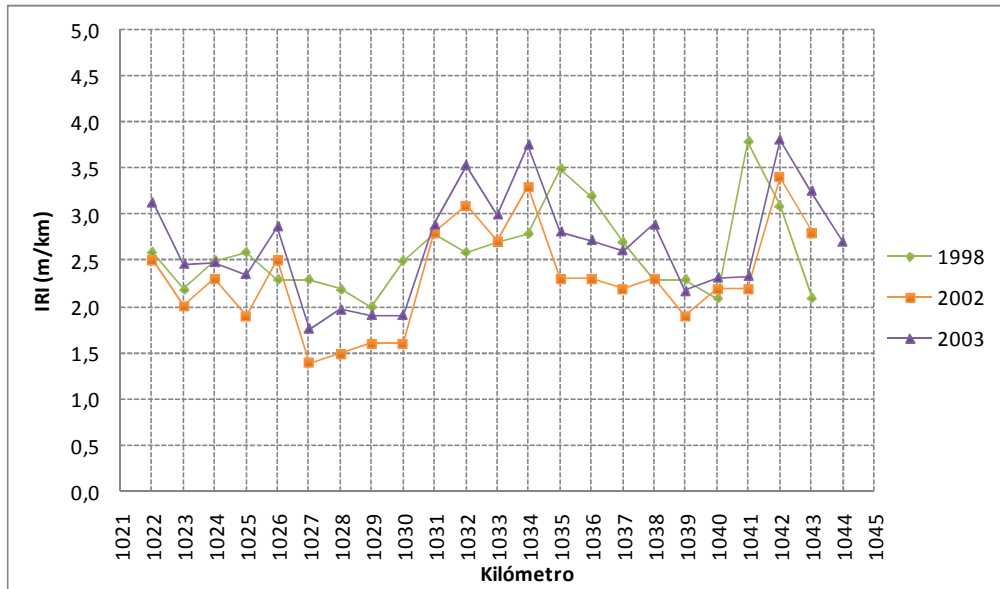
### **5.3.2. Índice de Regularidad Internacional (IRI)**

Las mediciones de IRI, se realizaron con un Perfilómetro Láser de origen Australiano, ARRB (Australian Road Research Board). Su velocidad de operación varía entre 25 y 95 km/h. Este perfilómetro cuenta con 3 sistemas de medición, uno láser, otro GPS y el tercero de tipo video digital.

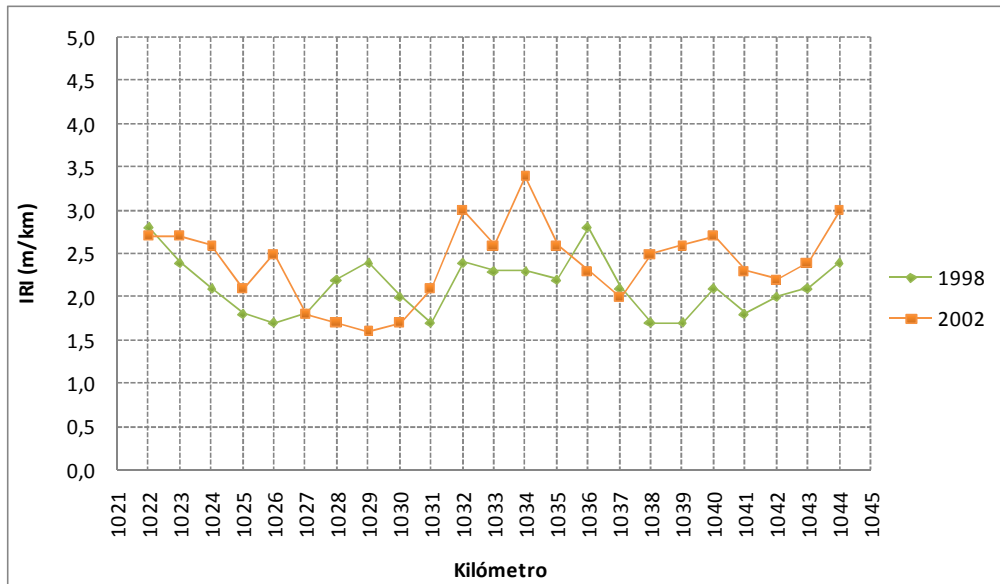
A continuación se expone gráficamente la evolución de este indicador antes y después de la rehabilitación en cada pista de diseño. El registro de datos para cada año es presentado en Anexos E.2 (pág. 169).

**5.3.2.1. IRI Antes de la Rehabilitación**

El IRI promedio de cada kilómetro para antes de la rehabilitación y en ambas pistas, se ilustra en la Fig. 5.10 y Fig. 5.11.



**Fig. 5.10. IRI Antes de la Rehabilitación / Pista 1**



**Fig. 5.11. IRI Antes de la Rehabilitación / Pista 2**

5.3.2.2. IRI Después de la Rehabilitación

La evolución del IRI en ambas pistas después de la rehabilitación, se ilustra en la Fig. 5.12 Fig. 5.13 .

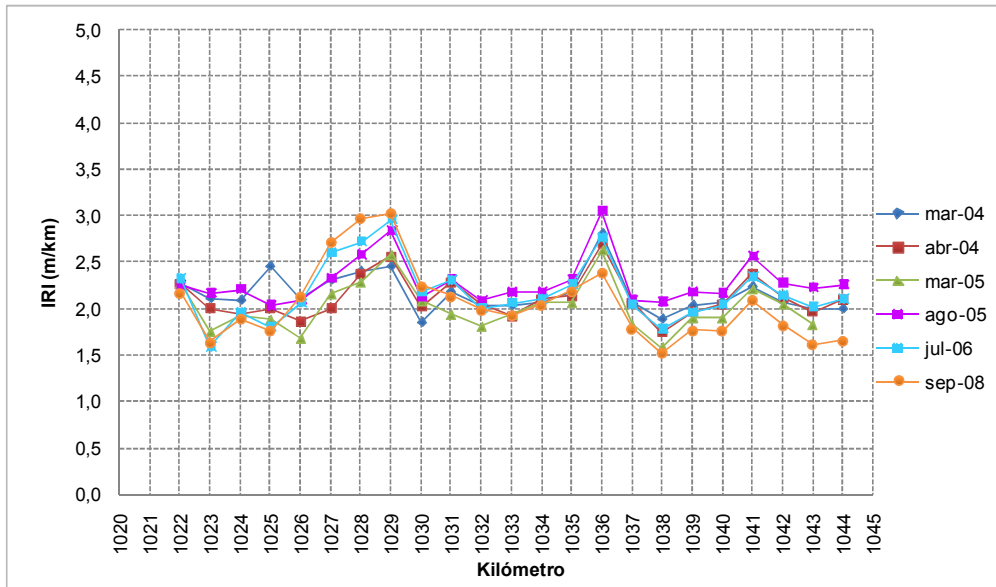


Fig. 5.12. IRI Después de la Rehabilitación / Pista 1

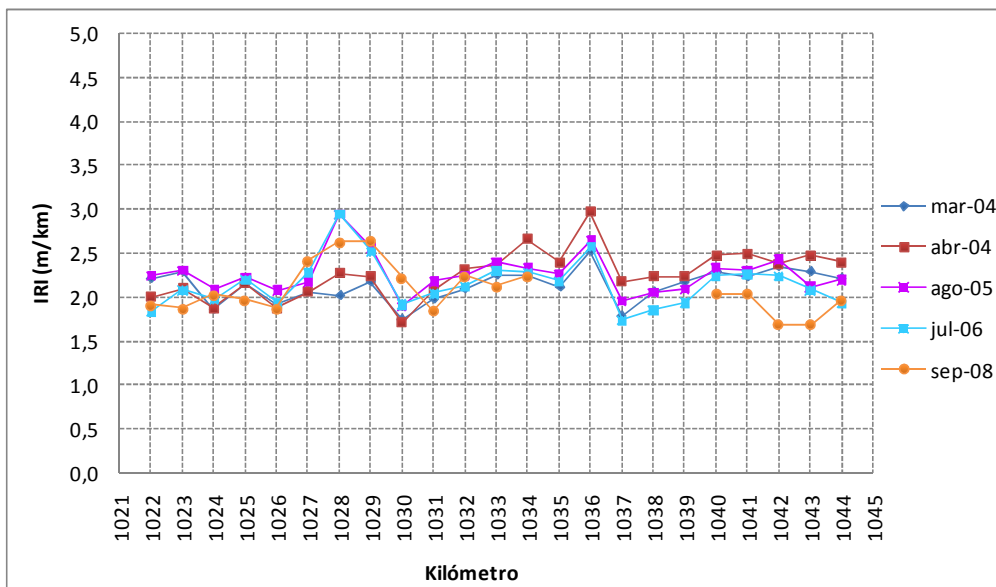
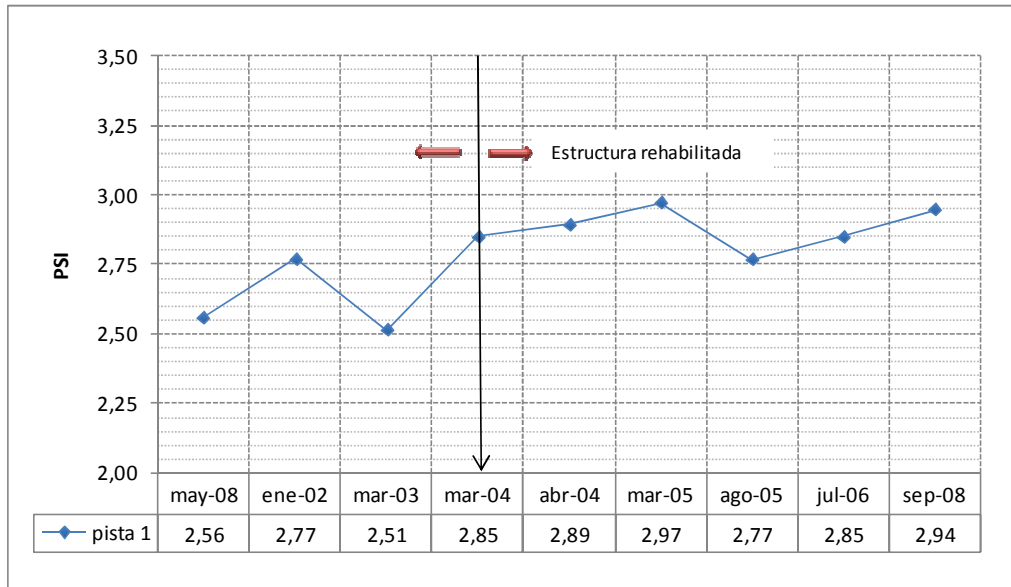


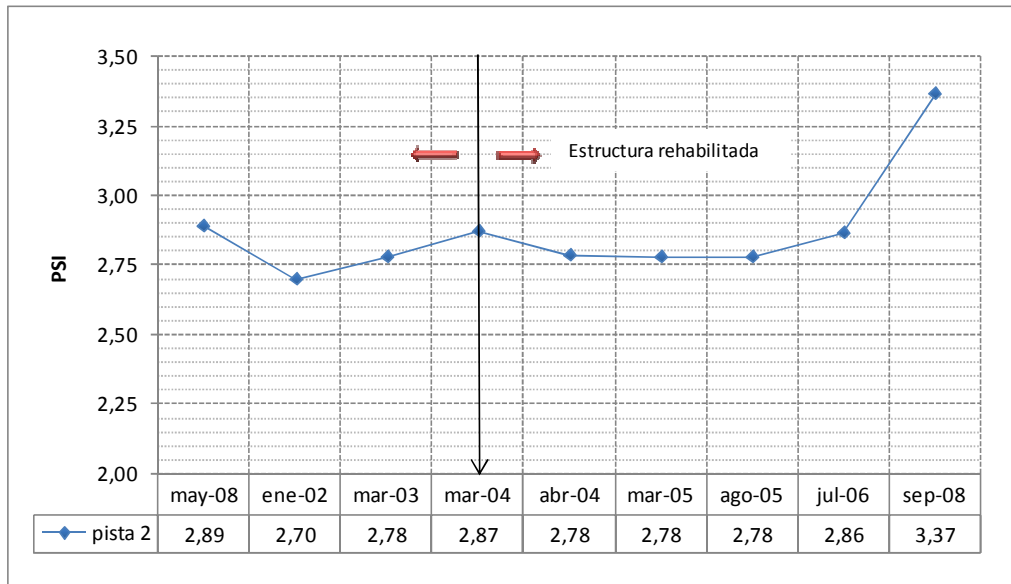
Fig. 5.13. IRI después de la rehabilitación / Pista 2

### 5.3.2.3. Índice de Serviabilidad

Los siguientes gráficos muestran la evolución histórica del índice de serviabilidad promedio de todo el sector, calculado con la expresión de B. Al-Omari y M.I. Darter (ec. 2.xix, pág. 26).



**Fig. 5.14. Evolución del Índice de Serviabilidad / Pista 1**



**Fig. 5.15. Evolución del Índice de serviabilidad / Pista 2**



### 5.3.3. Coeficiente de Roce al Deslizamiento

Este ensayo se realizó con un Péndulo Británico durante el 10 y 11 de septiembre del 2008, bajo un clima despejado. El registro de dichas mediciones, se presenta en el Anexo E.4 (pág. 173). No hay mediciones en años anteriores al 2008.

La Fig. 5.16 y Fig. 5.17, muestra el valor del coeficiente de roce en cada punto de medición del Sector A, el cual aún no contaba con la capa de lechada asfáltica respectiva al trabajo de conservación que se estaba realizando para esos entonces.

Por otra parte, la Fig. 5.18 y Fig. 5.19, muestra el valor del coeficiente de roce obtenido en el Sector C de la ruta que ya contaba con la aplicación de lechada asfáltica.

La línea roja en los gráficos representa el valor promedio del C.R.D. en cada pista y sector de medición.

5.3.3.1. Mediciones del C.R.D en el Sector A

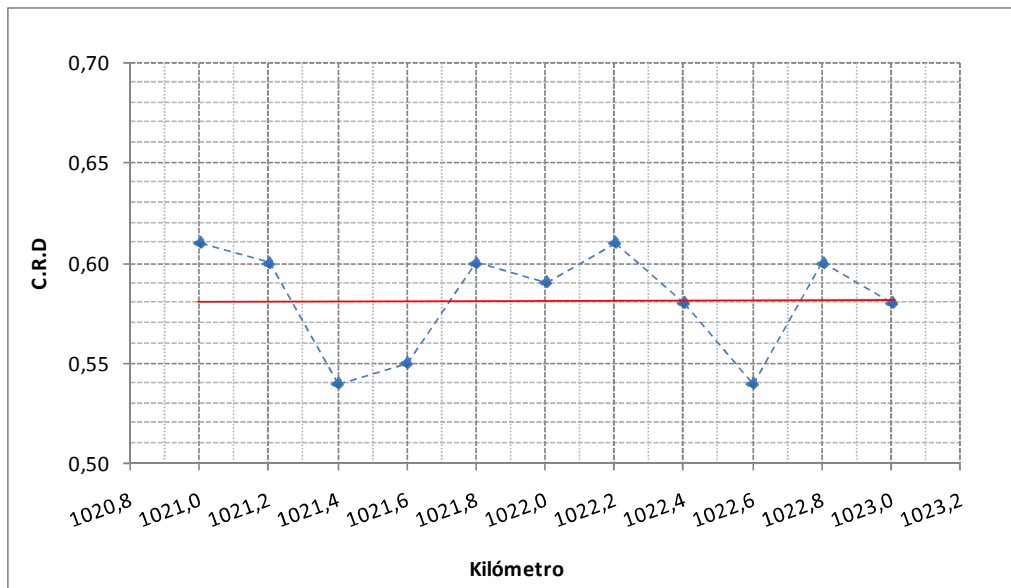


Fig. 5.16. Mediciones del C.R.D en el Sector A / Pista 1

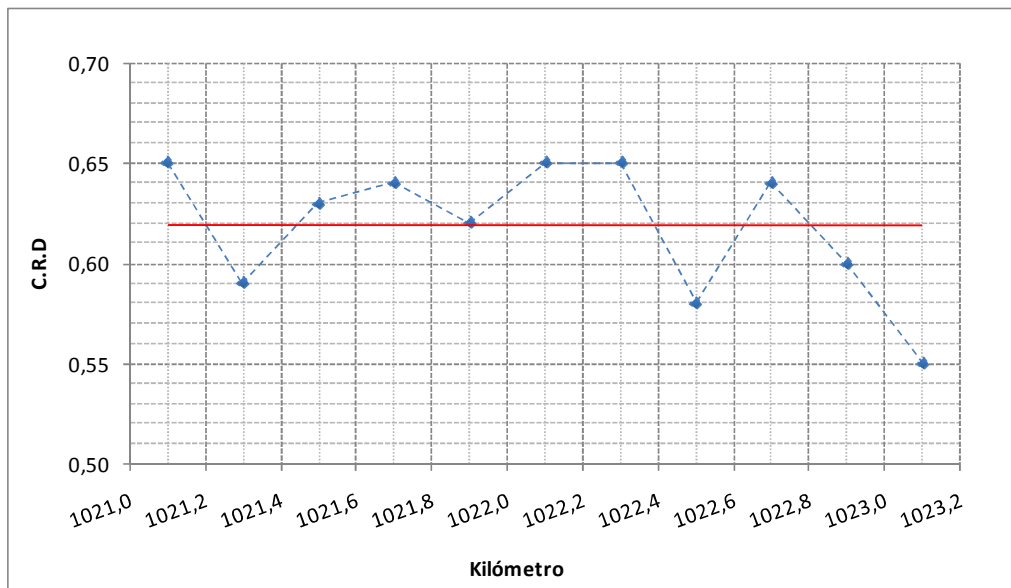


Fig. 5.17. Mediciones del C.R.D en el Sector A / Pista 2

El C.R.D. promedio en el sector A, corresponde a 0,58 en la pista 1 y a 0,62 en la pista 2.

5.3.3.2. Mediciones del C.R.D en el Sector C

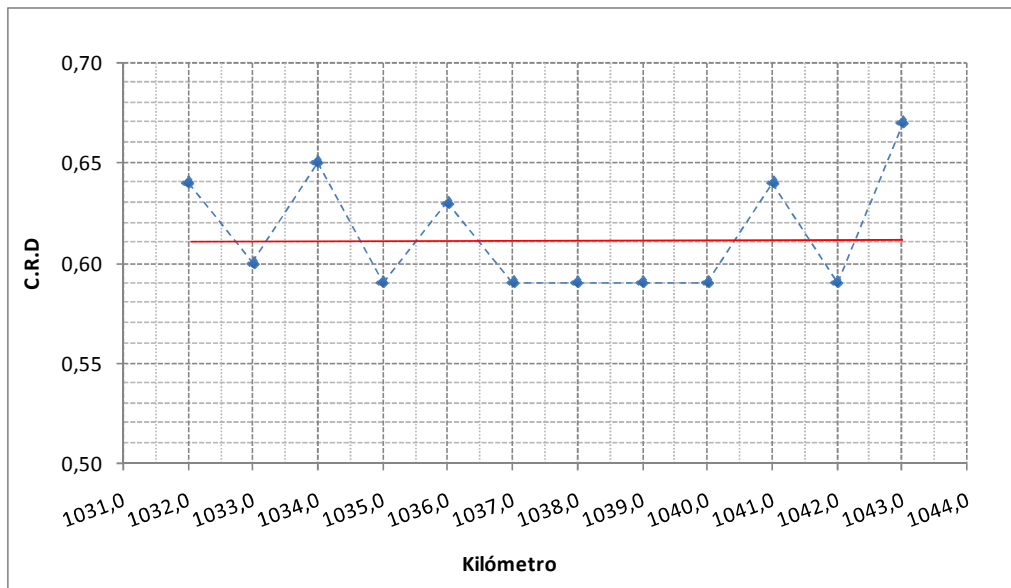


Fig. 5.18. Mediciones del C.R.D en el Sector C / Pista 1

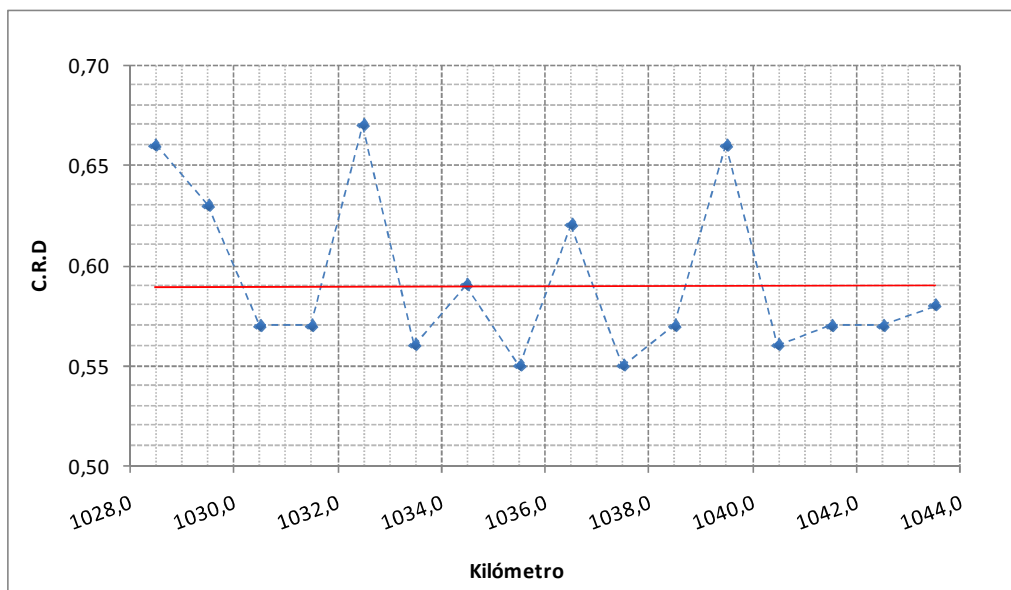


Fig. 5.19. Mediciones del C.R.D en el Sector C / Pista 2

El C.R.D. promedio en el sector C, es 0,61 en la pista 1 y 0,59 en la pista 2.

### 5.3.4. Textura Superficial

El ensayo de círculo de arena se realizó durante los mismos días y en los mismos puntos de medición del C.R.D.; es por esto que se utiliza la misma sectorización en ambas pistas. El registro de dichas mediciones se presenta en el Anexo E.3 (pág. 171).

Para realizar dicho ensayo, se utilizó un volumen de arena de 25 cm<sup>3</sup> tipo 80/100 (pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100). La textura se aprecia similar en todo el tramo según las huellas y  $H_{eq}$  corresponde al espesor promedio de la macrotextura del pavimento.

Las mediciones realizadas en el Sector A, se ilustran en la Fig. 5.20 y Fig. 5.21. y las mediciones obtenidas en el Sector C, se muestran en Fig. 5.22 y Fig. 5.23.

La línea roja en los gráficos representa el valor promedio de  $H_{eq}$  en cada pista y sector de medición.

5.3.4.1. Mediciones de la Textura Superficial en el Sector A

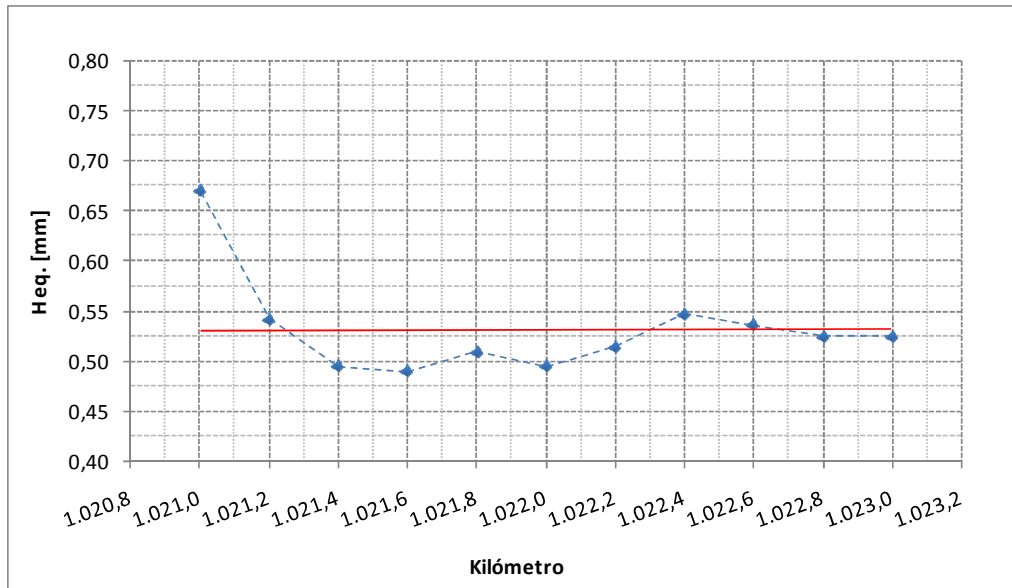


Fig. 5.20. Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector A / Pista 1

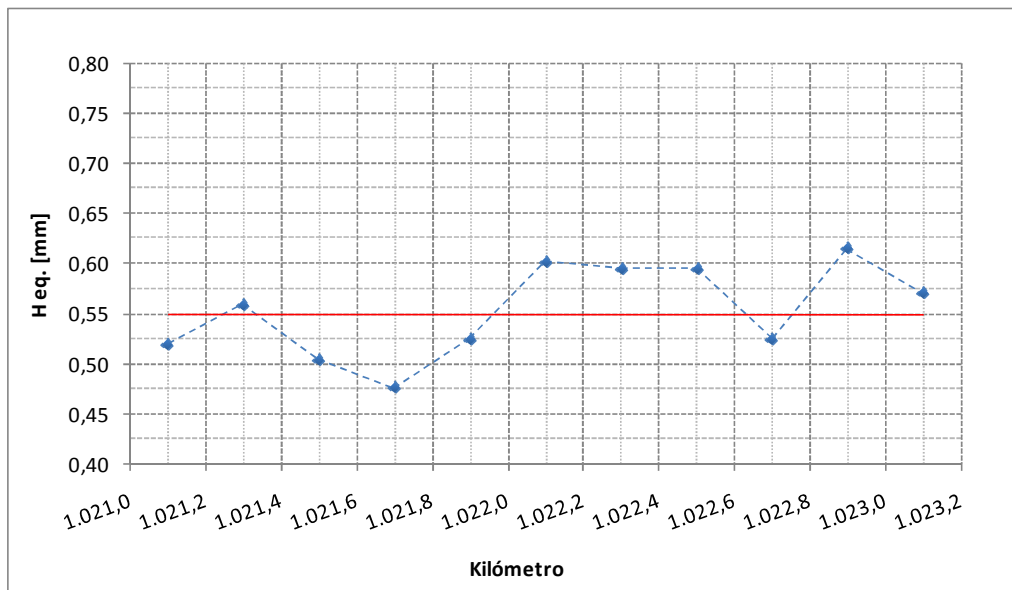


Fig. 5.21. Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector A / Pista 2

Los valores promedios de la macrotextura superficial en el sector A corresponden a  $H_{eq}=0,53$  en la pista 1 y a  $H_{eq}=0,55$  en la pista 2.

5.3.4.2. Mediciones de la Textura Superficial en el Sector C

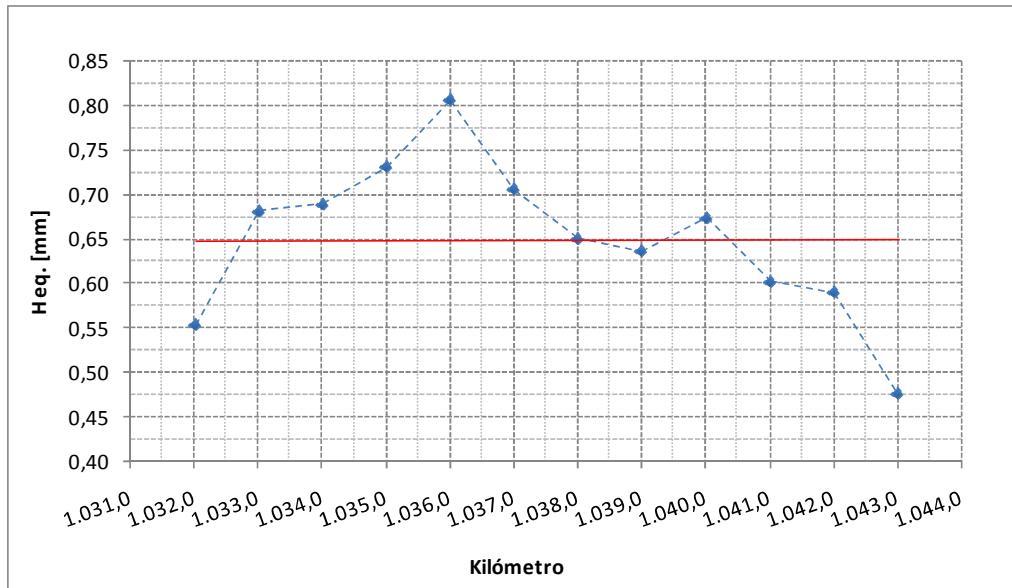


Fig. 5.22. Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector C / Pista 1

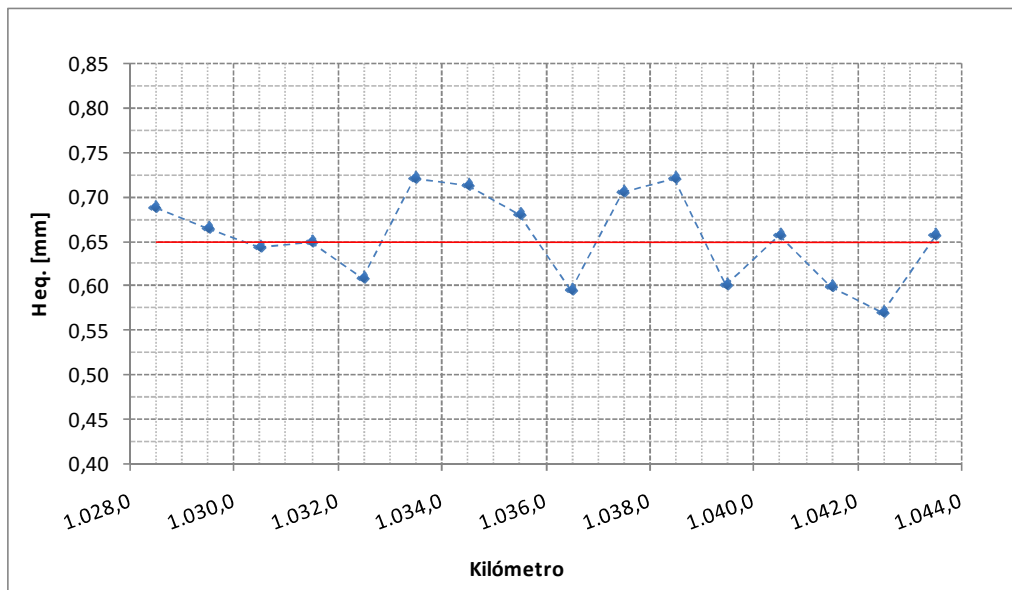


Fig. 5.23. Espesor promedio de la Macrotextura del pavimento en el Sector C / Pista 2

El promedio de la macrotextura superficial en el sector C corresponde a  $H_{eq} = 0,65$  mm en ambas pistas.

## Capítulo 6

### Referencia DTS Polpaico – La Trampilla

Como se explicó en la metodología del presente trabajo (pág. 3), este tramo podría servir a futuro como referencia confiable de los resultados del seguimiento que se infieran después de nuevas investigaciones en la Ruta 5 Norte u otro camino de alto tránsito en que se aplique esta solución.

#### 6.1. Antecedentes

Desde 1995, en la Ruta 5 Norte, sector Polpaico – La Trampilla, entre el  $Dm_i = 41.417$  al  $Dm_f = 44.917$ , existe un tramo experimental de 3.500 m de extensión que construyó la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, con el objetivo de determinar, evaluar y comparar el comportamiento en el tiempo de diferentes soluciones de pavimentos bajo solicitaciones conocidas. Este tramo está ubicado en la calzada poniente de la vía, pista 2 y pista 4 (Fig. 6.1) y está dividido en doce subtramos, de los cuales cinco corresponden a pavimento flexible y siete a pavimento rígido.

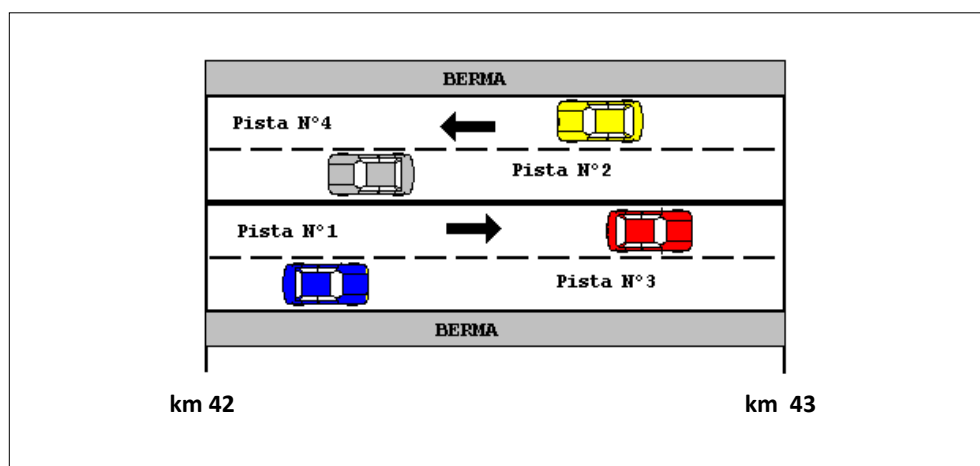


Fig. 6.1. Numeración de Pistas en Doble Calzada

El tramo global consta de una topografía plana y recta en toda su extensión. La zona en la cual está emplazado presenta una TMAPA de 15,3°C.

Este tramo experimental se diseñó para resistir solicitaciones de carga estimadas en 20 MEE y para una velocidad de diseño de 100 km/h.

Los primeros 500 metros del tramo corresponden a pavimentos asfálticos del tipo DTS sometidos a altas cargas de tránsito. Este tramo se subdividió en dos subtramos con diferentes tipos de ligante; los primeros 250 m corresponden a un DTS con emulsión normal y los otros 250 m son de DTS con emulsión elastomérica.

Desde 1995 a fines del 2007 se han registrado 15.609.509 de  $EE_{ac}$  en los tramos de pavimento asfáltico<sup>(10)</sup>, por lo que todavía el tramo de DTS no ha sido solicitado por la totalidad de los EE para el cual fue diseñado (20 MEE).

La Tabla 6.1, detalla la geometría del tramo Polpaico – La Trampilla y las características propias al tramo con doble tratamiento superficial, se indican en la Tabla 6.2.

**Tabla 6.1. Aspectos geométricos del Tramo Polpaico – La Trampilla**

Geometría	Descripción
Trazado en planta	Recta
Trazado en alzado	Presenta 2 curvas verticales
Ancho calzada	7,0 m
Berma exterior	2,5 m
Berma interior	1,0 m (lado mediana)
Sobra Ancho de Plataforma	0,5 m en cada berma
Bombeo único hacia berma exterior	2,0 %
Bombeo DTS	2,5 %
Singularidades	Cruce Punta Peuco (Polpaico Quilapilun) y Puente Punta Peuco.

<sup>10</sup> Fuente: Burgos, Nicolás (2008), “Comparación de Varias estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, sector Polpaico – La Trampilla”. Tesis Universidad de Chile, Depto. Ing. Civil.



**Tabla 6.2. Características del tramo DTS en el sector Polpaico - La Trampilla.**

<b>Características</b>	<b>Tramo 2 - A</b>	<b>Tramo 2 - B</b>
Ubicación	Dm 41.417 a Dm 41.667	Dm 41.667 a Dm 41917
Largo	250 m	250 m
Emulsión	Emulsión asfáltica CRS-2	Emulsión elastomérica
Base Granular CBR $\geq$ 120 %	0,14 m de espesor	0,14 m de espesor
Base Granular CBR $\geq$ 80 %	0,10 m de espesor	0,10 m de espesor
Subbase Granular CBR $\geq$ 50 %	0,15 m de espesor	0,15 m de espesor
Método de diseño	Hanson y Australiano	Hanson y Australiano
Observaciones	Primeros 60 m tienen un 3 <sup>er</sup> riego	Primeros 60 m tienen un 3 <sup>er</sup> riego

Las siguientes figuras, muestran el esquema del tramo experimental Polpaico – La Trampilla y los perfiles transversales de los tramos de pavimentos tipo doble tratamiento superficial, Tramo 2-A y Tramo 2-B.



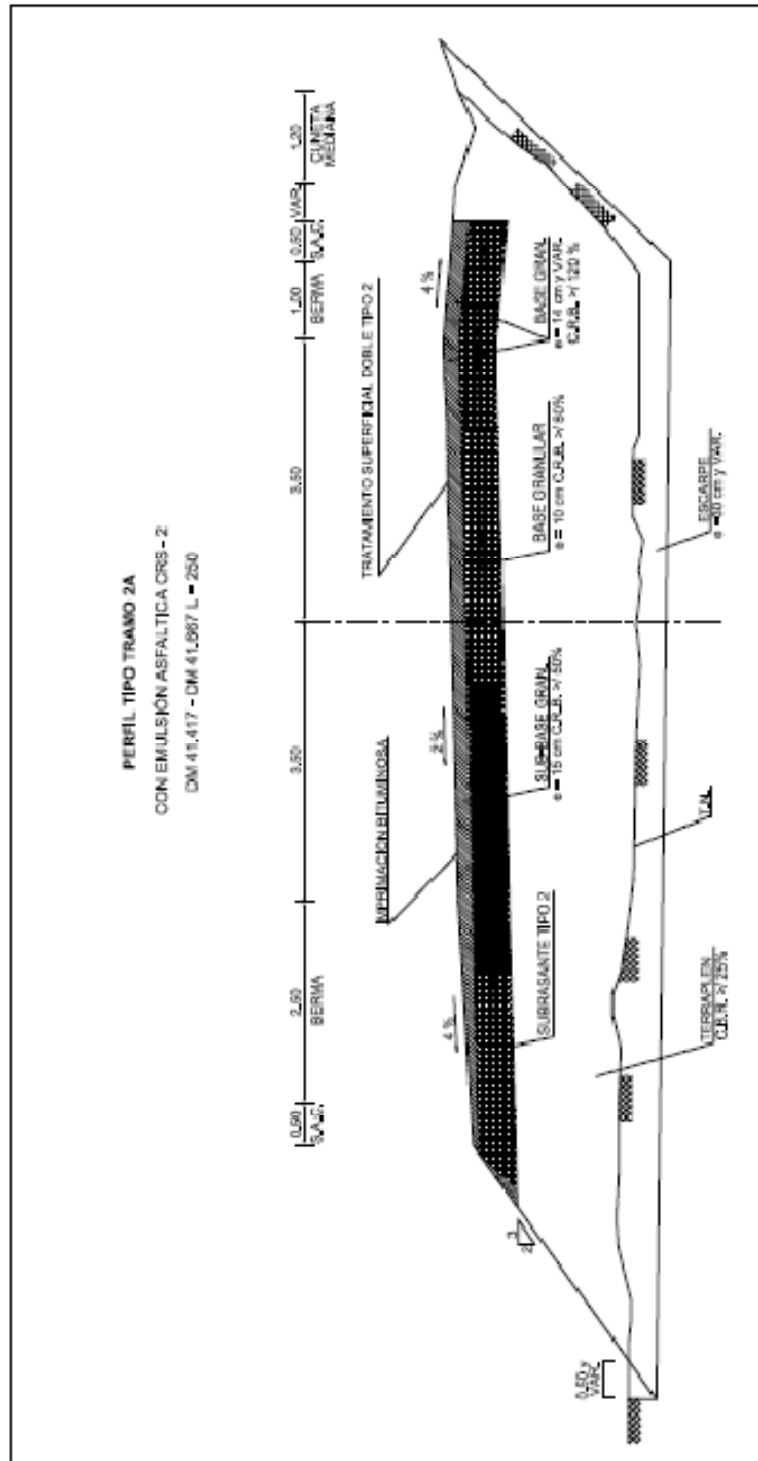
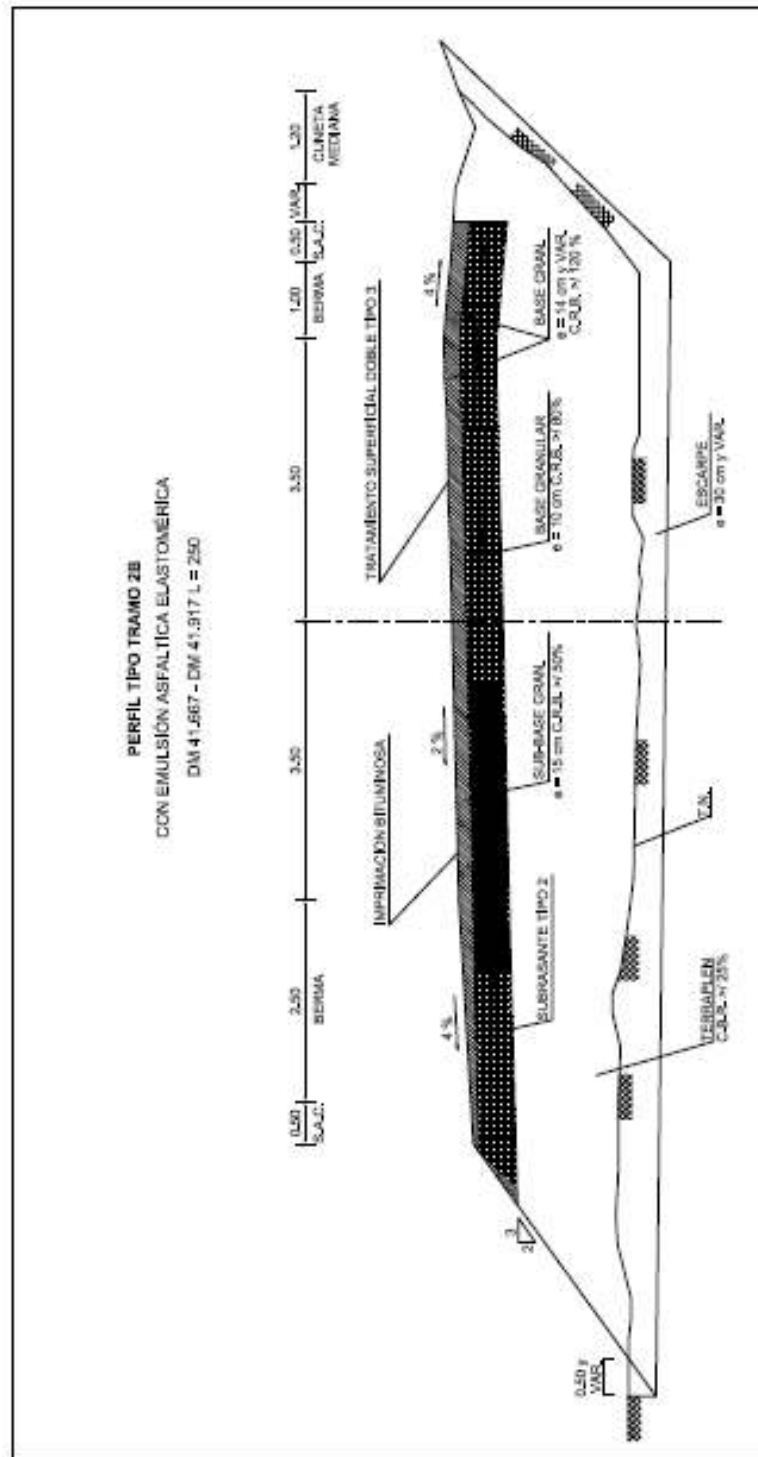


Fig. 6.3. Perfil Tipo Tramo 2A con Emulsión Asfáltica Normal, Dm 41.417 - Dm 41.667, L = 250

NOTA: Dibujos elaborados de acuerdo a la fuente: Burgos, Nicolás, (2008) "Comparación de Varias Estructuras de Pavimentos Flexibles y Rígidos, Sector Polpaico – La Trampilla". Tesis Universidad de Chile, Depto. Ing. Civil.



**Fig. 6.4. Perfil Tipo Tramo 2B Con Emulsión Asfáltica Elastomérica, Dm 41.667 – Dm 41.917, L = 250m**

**NOTA:** Dibujos elaborados de acuerdo a la fuente: Burgos, Nicolás, (2008) “Comparación de Varias Estructuras de Pavimentos Flexibles y Rígidos, Sector Polpaico – La Trampilla”. Tesis Universidad de Chile, Depto. Ing. Civil.

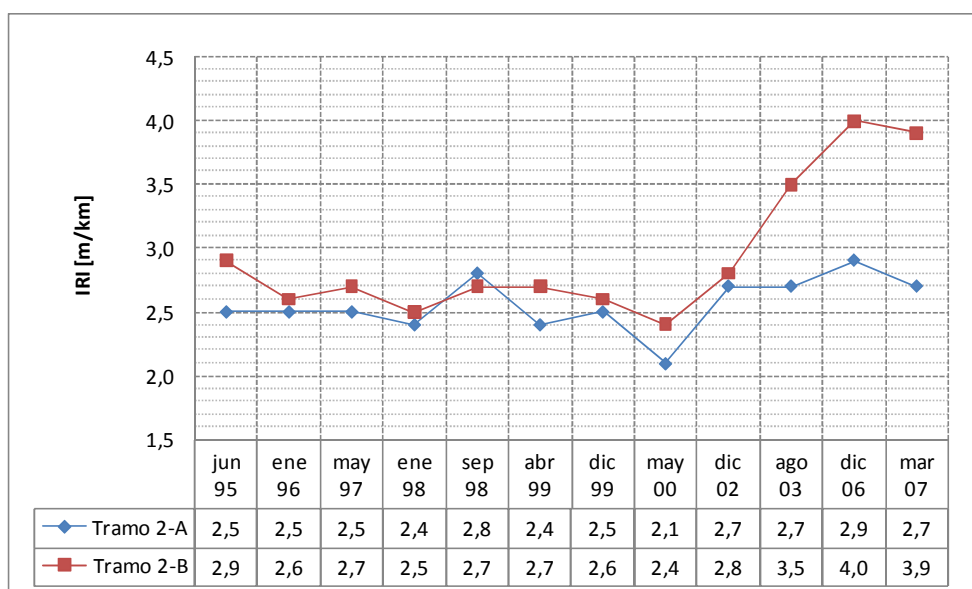
## 6.2. Mediciones Realizadas

A continuación, se muestra el resultado de las mediciones de deflectometría, IRI y coeficiente de roce realizadas en la pista 4 del tramo desde su puesta en servicio <sup>(11)</sup>.

### 6.2.1. Regularidad Superficial

La evolución del valor promedio de la regularidad superficial, en ambos tramos de DTS, se presenta en la Fig. 6.5 y el índice de serviciabilidad respectivo a cada año de medición, se muestra en la Fig. 6.6,

#### 6.2.1.1. IRI



**Fig. 6.5. Evolución del IRI Promedio desde 1995 hasta 2007 / Pista 4**

<sup>11</sup> Fuente: Burgos, Nicolás, (2008) "Comparación de Varias Estructuras de Pavimentos Flexibles y Rígidos, Sector Polpaico – La Trampilla", Tesis Universidad de Chile, Depto. Ing. Civil.

6.2.1.2. Índice de Serviabilidad (PSI)

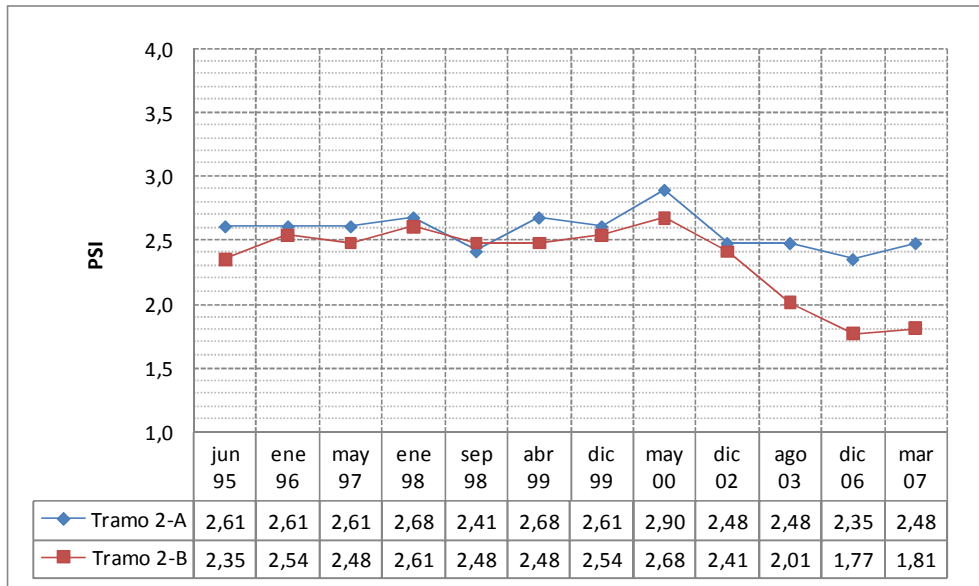


Fig. 6.6. Evolución del Índice de Serviabilidad Promedio desde 1995 a 2007 / Pista 4

### 6.2.2. Coeficiente de Fricción Transversal

Las mediciones de fricción en este caso, se realizaron en forma continua con el equipo SCRIM, y se ilustran en la Fig. 6.7.

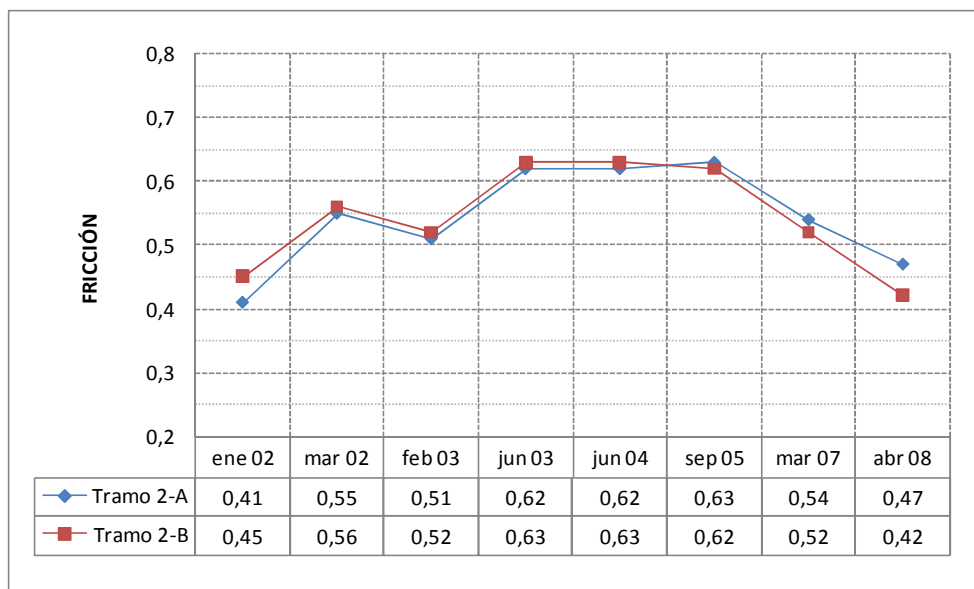


Fig. 6.7. Evolución de la Fricción Promedio desde 2002 a 2008 / Pista 4

### 6.2.3. Deflectometría de Impacto

Para los años de medición 1999 y 2007, la Tabla 6.3 indica los valores de las deflexiones máximas promedio y las propiedades de la estructura del pavimento tipo doble tratamiento superficial, Sector Polpaico – La Trampilla.

Tabla 6.3. Propiedades estructurales del DTS Sector Polpaico – La Trampilla

Propiedades	1999		2007	
	Tramo 2-A	Tramo 2-B	Tramo 2-A	Tramo 2-B
$D_M$ [ $\mu\text{m}$ ]	572,4	581,0	578,2	558,4
$E_p$ [MPa]	467,8	510,0	468,9	480,2
$M_R$ [MPa]	121,3	110,0	113,4	124,6
$NE_E$ [mm]	-	-	-	-

# Capítulo 7

## Análisis de Resultados

### 7.1. Deflectometría de Impacto

#### 7.1.1. Deflexiones Máximas

En la Ruta 5 Norte, sector Chañaral – Límite II Región, las deflexiones máximas medidas en ambas pistas, antes y después del proyecto de rehabilitación (Fig. 5.2 y Fig. 5.3, pág. 62), son bastante pequeñas, (del orden de 500  $\mu\text{m}$ ) y presentan un comportamiento similar a lo largo del kilometraje.

#### 7.1.2. Módulo Resiliente de la Subrasante

En general, las curvas que representan al módulo resiliente del suelo de la subrasante, presentan la misma forma y comportamiento en las mediciones realizadas antes y después del proyecto de rehabilitación (Fig. 5.4 y Fig. 5.5, pág.63). Esto indica que el módulo resiliente es una característica intrínseca del suelo, independiente de la geometría y/o estado de la estructura que se ubique sobre la subrasante.

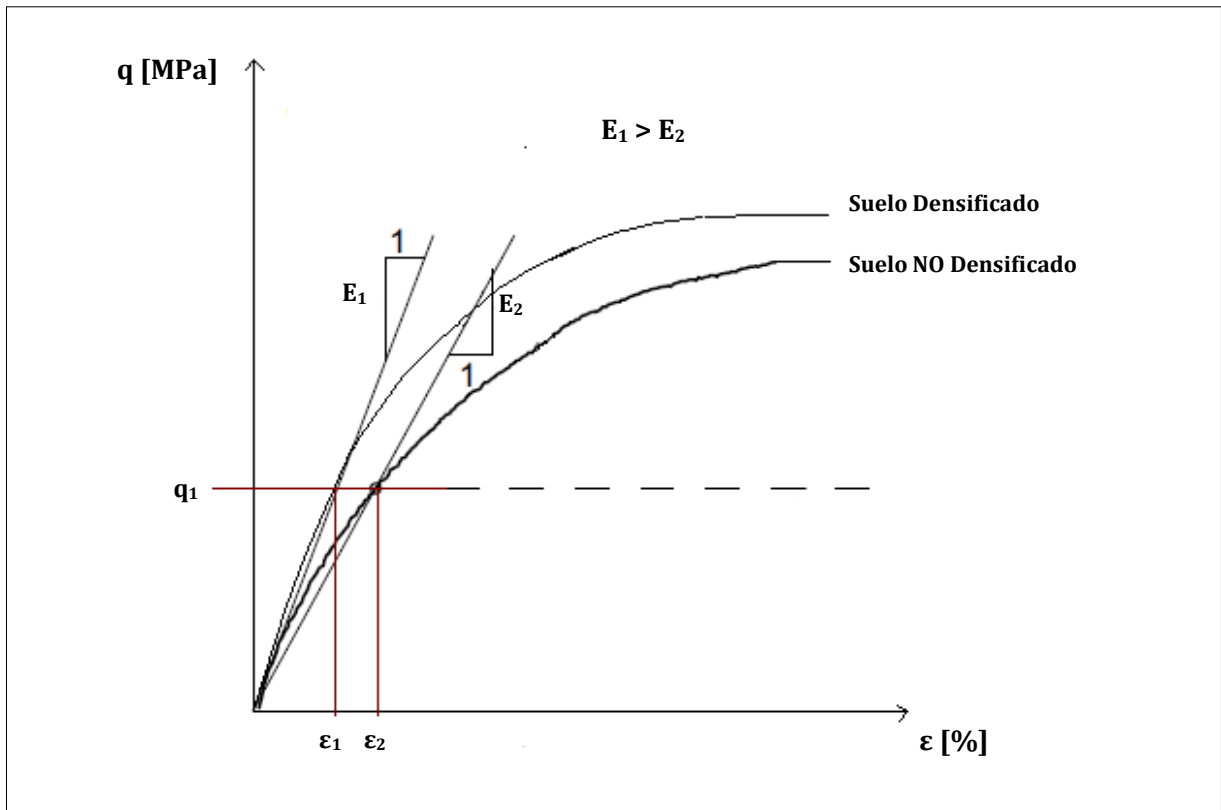
No obstante, posterior a la rehabilitación, años 2004 y 2008, el valor del módulo resiliente de la subrasante es levemente superior al obtenido en las mediciones de los años 1998 y 2001. Esto es posible explicar por la existencia de los siguientes factores:

- **Densificación del suelo:**

En materiales granulares, donde dominan las fuerzas del tipo másicas o físicas, la densificación es instantánea al momento en que se aplica una carga, a diferencia de los materiales finos del tipo arcillosos en donde se presentan fuerzas químicas (tipo enlaces asociados a la mineralogía del material) que varían en función del tiempo, generándose fenómenos como consolidación y creep.



Como indica la Fig. 7.1, un suelo densificado presenta un módulo elástico mayor, en comparación a una condición inicial suelta. Es por esto, que un suelo con mayor grado de densificación, responde con menores deformaciones ante un mismo estado de carga.



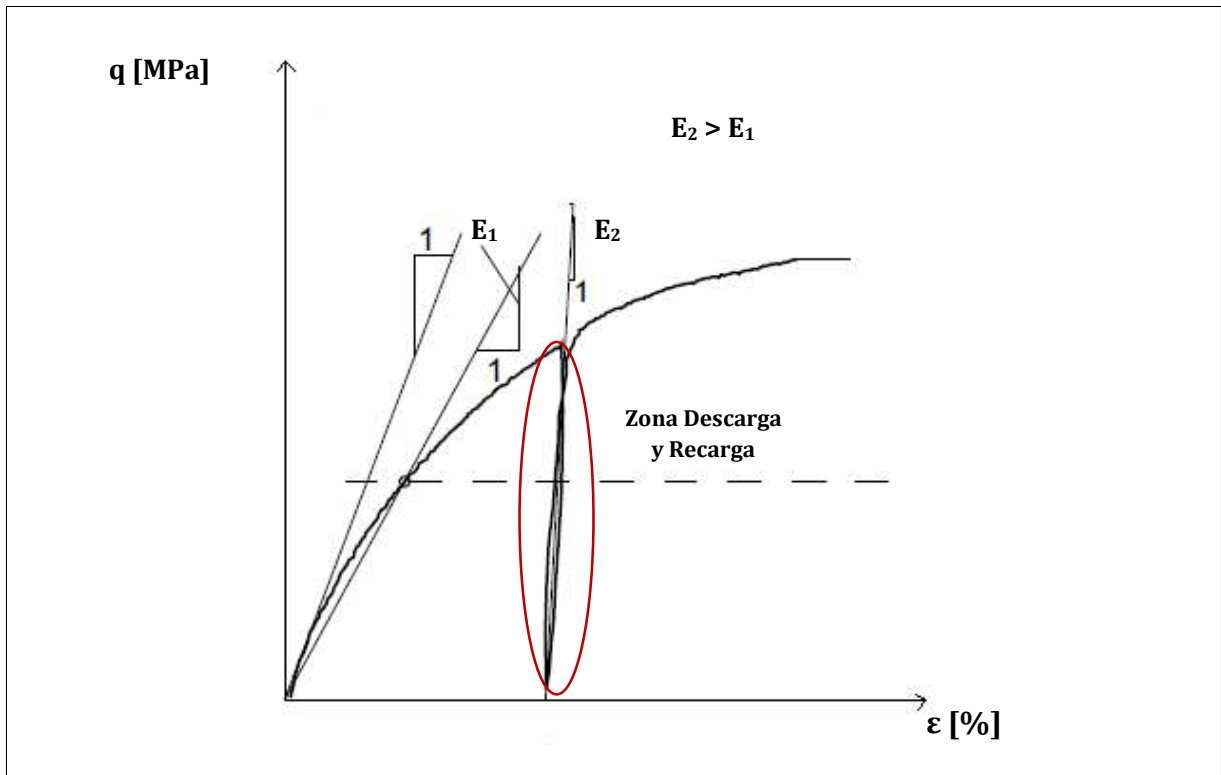
**Fig. 7.1. Gráfico Tensión v/s Deformación**

Entonces, dado que el suelo de la subrasante clasifica como granular, el aumento en el módulo resiliente, está asociado a la densificación instantánea de éste producto de las actividades de rehabilitación (compactación de la base granular y doble tratamiento superficial), y al aporte continuo e incremento de tensiones que implica soportar una capa adicional del pavimento.

#### ▪ **Solicitaciones de Tránsito:**

Las solicitaciones de tránsito, pueden ser modeladas como cargas cíclicas. Por lo anterior, dentro del rango elástico, las cargas asociadas al tránsito originan el efecto de descarga y recarga en el suelo. En la curva tensión - deformación (Fig. 7.2), la condición de recarga tiene un módulo elástico mayor que el obtenido al cargar inicialmente el suelo.

Cabe señalar, que la densificación de un suelo producto de cargas cíclicas es casi despreciable dentro del rango elástico en la zona de descarga y recarga.



*Fig. 7.2. Zona de Descarga y recarga en Gráfico Tensión v/s Deformación*

### 7.1.3. Módulo Elástico del Pavimento

Según el modelo bicapa AASHTO, el módulo elástico del pavimento está asociado al tipo, y espesor de estructura que se considere sobre la subrasante.

Conforme a los datos entregados por la Tabla 5.3 (pág 61), las mediciones realizadas en 1998 y 2001, consideran las mismas capas de pavimento, pero tienen distintos espesores asociados. Los datos observados in situ, año 2001, revelan que el espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante es muy inferior a lo que se considera como estructura teórica (mediciones de 1998). Por este motivo, no se puede realizar una comparación directa entre los valores del módulo efectivo del pavimento.

Después de la rehabilitación, el cálculo asociado al módulo efectivo del pavimento, considera la misma estructura teórica para los años 2004 y 2008, modelada como una capa granular de 60 cm de espesor y sobre ésta un doble tratamiento superficial (Tabla 5.3, pág 61). Esto explica la

gran homogeneidad de los valores representativos del módulo del pavimento en ambos años de medición y a lo largo de todo el kilometraje (Fig. 5.6 y Fig. 5.7, pág. 64).

Por lo explicado con anterioridad, no se puede hacer una comparación directa entre el módulo efectivo del pavimento cuando las configuraciones en tipo y/o espesor son distintas. Si se deseara conocer el efecto de algún cambio en la configuración de un pavimento, se tendría que llevar el valor del módulo de la configuración inicial, a su valor equivalente para el tipo y espesor de la nueva estructura. En otras palabras para hacer una comparación válida, entre módulos efectivos de pavimento, es necesario normalizar estos valores a un tipo definido y espesor fijo de estructura sobre subrasante.

Es por esto, que para realizar una comparación entre distintos tipos de pavimento es preferible utilizar el concepto de Número Estructural Efectivo, el cual está en función del módulo elástico de la capa ubicada sobre la subrasante y al espesor total considerado (ec. 2.xxi).

Por último, para antes de la rehabilitación, es muy notorio que ambas curvas presentan un valor máximo alrededor del km 1035. Esto podría tener relación con la existencia de la bifurcación hacia Carrizalillo ubicada justo en ese kilometraje.

#### **7.1.4. Numero Estructural del Pavimento**

Pese a la disminución del  $E_p$ , la capacidad estructural del pavimento aumenta una vez que se realizan las actividades de rehabilitación (Fig. 5.8 y Fig. 5.9, pág 65). Este aumento se debe a que la capacidad estructural del pavimento, para resistir las solicitaciones impuestas por el tránsito, está mucho más involucrada a la geometría de la estructura que a las características propias del material que la componen. (Ver ec. 2.xxi).

Por lo mismo, y conforme a los distintos espesores de estructura considerados los años 1998, 2001, la disminución en capacidad estructural se asocia a la diferencia entre los espesores considerados in situ, con respecto a los que habría en teoría.

## **7.2. Índice de Regularidad Superficial (IRI)**

Los valores del IRI medidos en ambas pistas, antes y después de la rehabilitación (pág.67 y pág.68), se han mantenido dentro de un margen aceptable.

Es importante notar que desde la rehabilitación del sector (Fig. 5.12 y Fig. 5.13, pág. 68), el valor del IRI medido a lo largo del camino, se encuentra entre 1,5 y 3 m/km, logrando mantenerse dentro de los umbrales de aceptación requeridos para pavimentos del tipo tratamiento superficial.

Se observa además, que en septiembre del 2008, producto de la aplicación de lechada, hay una mejoría relativa del IRI con respecto a las mediciones anteriores.

Para ambas pistas, la serviciabilidad del pavimento se ha visto mejorada luego de la rehabilitación del camino (Fig. 5.14 y Fig. 5.15, pág.69). Desde el 2005, el PSI ha tenido un aumento sostenido en tiempo, lo que indica posibles gestiones de mantenimiento previas a la aplicación de lechada en septiembre del 2008.

### **7.3. Coeficiente de Roce**

En el sector A (Fig. 5.16 y Fig. 5.17, pág 71), donde aún no se procedía a la aplicación de lechada correspondiente a las actividades de mantenimiento del año 2008, se tiene un C.R.D. promedio de 0,58 para la pista 1 y de 0,62 para la pista 2. En el Sector C (Fig. 5.18 y Fig. 5.19, pág 72), la aplicación de lechada mejoró las características superficiales de la pista 1, en comparación con el sector A, aumentando el valor del C.R.D. promedio a 0,61; en cambio, el C.R.D. promedio de la pista 2 disminuyó a 0,59. Esta disminución se asocia a fallas registradas en la construcción de lechada.

### **7.4. Textura Superficial**

En ambas pistas, la aplicación de lechada aumenta significativamente la altura promedio del ensayo a 0,65 [mm] superando el mínimo exigido para todo tipo de capa de rodadura y permitiendo así un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento (Fig. 5.22 y Fig. 5.23, pág. 75).

### **7.5. Referencia al Sector Polpaico – La Trampilla**

El valor del IRI promedio medido en ambos tramos de doble tratamiento superficial, Sector Polpaico – La Trampilla (Fig. 6.5, pág. 82), experimenta un aumento a partir del año 2000, siendo más significativo el aumento en el tramo con doble tratamiento superficial elastomérico. Este aumento de IRI influye en la pérdida de serviciabilidad llegando a valores bajo el mínimo

nivel de servicio exigido en Chile. Por otro lado, este tramo presenta mayores deflexiones máximas que el DTS con asfalto normal en los años de medición 1999 y 2007.

Si se observa la Fig. 6.7 (pág.84), los valores del coeficiente de fricción transversal en los meses de invierno, años 2003, 2004 y 2005, se mantienen constantes. Sin embargo, en los meses de verano el valor de este coeficiente disminuye.

Según antecedentes del índice de serviciabilidad presente en el sector, (Fig. 6.6, pág.83), se desprende que el tramo de DTS con asfalto normal se ha comportado funcionalmente de mejor manera que el tramo con asfalto elastomérico.

# Capítulo 8

## Referencia Económica

### 8.1. Breve Introducción a los Costos en Pavimentos

El concepto general de diseño y conservación de carreteras, involucra criterios técnicos y económicos. El análisis económico provee una sólida base para la evaluación de alternativas factibles de diseño y para identificar aquella que sea más rentable en construcción y mantenimiento.

A grandes rasgos, para realizar un análisis económico entre distintas alternativas de diseño, se debe considerar el costo de construcción inicial (costos involucrados de la carpeta, base y subbase), el de conservación y el costo de rehabilitación ó de refuerzos. Además se deben incluir los costos asociados a la demora del tránsito durante trabajos en obra, costos de operación vehicular para diferentes niveles de tránsito, incluidas las demoras por el mal estado del pavimento y los accidentes, así como también el costo de rescate del pavimento al final de su vida útil. En otras palabras, se tiene lo siguiente:

$$\text{COSTO TOTAL PAVIMENTOS} = \text{C-CONSTRUCCIÓN} + \text{C-CONSERVACIÓN} + \text{C-EXPLOTACIÓN} - \text{C-RESIDUAL}$$

The diagram breaks down the main cost categories into sub-categories:

- C-CONSTRUCCIÓN** includes:
  - C-DISEÑO
  - C-CONSTRUCCIÓN
  - C-CALIDAD
- C-CONSERVACIÓN** includes:
  - C-CONSRVACIÓN RUTINARIA
  - C-CONSERVACIÓN PERIÓDICA
  - C-CONSERVACIÓN DIFERIDA
- C-EXPLOTACIÓN** includes:
  - C-ADMINISTRACIÓN
  - C-DE USUARIOS
- C-RESIDUAL** includes:
  - C-ADMINISTRACIÓN
  - C-CONSTRUCTOR (AUTOCONTROL)

Una forma de encontrar relaciones entre los costos involucrados en las distintas alternativas de diseño factibles para un proyecto, es utilizar el concepto de “*costo unitario*” o “*1 (uno) absoluto*”, cuyo procedimiento consiste en calcular el número de veces que representan los costos de mantenimiento y operación, sobre el costo inicial de construcción que se toma igual a uno.

Con los antecedentes de costos recabados para llevar a cabo un proyecto, se realiza un análisis de factibilidad socioeconómico, a través de índices económicos que están ligados a la macroeconomía del país (VAN, TIR, BAN, año óptimo de inversión, etc.) con el fin de encontrar la mejor alternativa que satisfaga las necesidades técnicas que se requieren.

## 8.2. Comparación Económica de las Distintas Alternativas de Rehabilitación de la Ruta 5N, Sector Chañaral – Límite Regional

A continuación, se realizará una comparación económica simple, estrictamente ligada a los precios de construcción, entre las distintas alternativas de diseño propuestas para la rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector sector Chañaral – Límite Regional, mencionadas en la sección 3.1, pág.33.

Para ello, la Tabla 8.1, muestra algunos valores referenciales para obras de pavimentación. Estos valores, si bien son bastante tentativos, reflejan con claridad la diferencia económica existente entre ellos.

**Tabla 8.1. Precios unitarios para obras de pavimentación**

Designiación	Unidad	P.U. [\$]
<b>Revestimientos y Pavimentos</b>		
Carpeta asfáltica (e=0,04m)	m <sup>2</sup>	5.600
Carpeta asfáltica (e=0,03m)	m <sup>2</sup>	4.200
Tratamiento Superficial Doble	m <sup>2</sup>	3.200
Tratamiento Superficial doble con elastómero	m <sup>2</sup>	3.800
<b>Bases y subbases</b>		
Base asfáltica Graduación Gruesa	m <sup>3</sup>	135.000
Base asfáltica Graduación Abierta	m <sup>3</sup>	130.000
Base granular cualquier CBR (colocada)	m <sup>3</sup>	15.000
<b>Subbases</b>		
Subbase granular	m <sup>3</sup>	14.500

Con estos precios, se calcula el valor asociado a la construcción de las distintas alternativas de rehabilitación. Es importante notar que en esta comparación sólo se consideran los costos asociados a colocación de materiales, no considerando los trabajos asociados a la preparación de áreas de trabajo, movimientos de tierra, remoción de material, estructuras y obras conexas, drenaje y protección de la plataforma, elementos de control y seguridad y conservación.

Se tiene entonces, la siguiente tabla con la evaluación de las distintas alternativas:

**Tabla 8.2. Comparación entre las distintas alternativas propuestas para la rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite Regional**

Material	Cantidad involucrada	Unidad	Precio [€]
<b>Alternativa 1</b>			
Carpeta asfáltica (e=0,04m)	159.250,0	m <sup>2</sup>	891.800.000
Base Asfáltica Grad. Gruesa	8.592,5	m <sup>3</sup>	1.159.987.500
Base Granular CBR >= 80%	31.850,0	m <sup>3</sup>	477.750.000
<b>Total</b>			<b>2.529.537.500</b>
<b>Alternativa 2</b>			
Carpeta (e=0,03)	159.250,0	m <sup>2</sup>	668.850.000
Base Asfáltica Grad. Abierta (open graded)	7.962,5	m <sup>3</sup>	1.035.125.000
<b>Total</b>			<b>1.703.975.000</b>
<b>Alternativa 3</b>			
Base Asfáltica Grad. Abierta (open graded)	8.960,0	m <sup>3</sup>	1.164.800.000
Lechada Asfáltica	159.250,0	m <sup>2</sup>	445.900.000
<b>Total</b>			<b>1.610.700.000</b>
<b>Alternativa 4</b>			
Base Granular CBR >= 120%	25.480,0	m <sup>3</sup>	382.200.000
SubBase Granular CBR>=60%	31.937,5	m <sup>3</sup>	463.093.750
Tratamiento superficial doble con elastómero	159.250,0	m <sup>2</sup>	605.150.000
<b>Total</b>			<b>1.450.443.750</b>
<b>Alternativa Solución adoptada</b>			
Base Granular CBR>=120%	28.665,0	m <sup>3</sup>	429.975.000
Tratamiento superficial doble con elastómero	159.250,0	m <sup>2</sup>	605.150.000
<b>Total</b>			<b>1.035.125.000</b>

Según lo anterior, la solución adoptada para la rehabilitación, contempla la opción más económica para la construcción de la nueva estructura.

Además, los tratamientos superficiales presentan la ventaja de tener una rápida puesta en servicio disminuyendo con esto los costos de construcción y operación involucrados.

En el caso de la construcción de tratamientos superficiales en alto tránsito, como el analizado en este trabajo, el costo asociado a la construcción es menor que una carpeta asfáltica (Tabla 8.2).



Sin embargo, se requiere de un monitoreo constante para detectar su comportamiento a través del tiempo, y con ello evaluar los costos asociados a la explotación y conservación del camino.

Para finalizar, se puede sostener que considerando sólo los costos ligados a la construcción de la estructura del pavimento y obviando los costos involucrados a la conservación y explotación, la solución de tratamiento superficial es más económica con respecto a otros tipos de pavimento.

## Capítulo 9

### Conclusiones y Recomendaciones

El comportamiento estructural del DTS construido en el 2004 como medida de rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite Regional, está condicionado a que en teoría su estructuración contempla una carpeta asfáltica bajo la base, no conformando el tipo de estructura tradicional para este tipo de pavimento, que sería una subbase granular, una base granular y un doble tratamiento superficial como capa de protección.

Por otro lado, el estudio del comportamiento funcional de la superficie de DTS para este trabajo de título, también está condicionado por las aplicaciones de lechada asfáltica según inspección visual y por los trabajos en obra que estaban realizando durante las inspecciones técnicas de septiembre del 2008.

Según el análisis de mediciones de deflectometría de impacto con el FWD, la estructura de DTS contemplada desde la rehabilitación del sector, se ha mantenido en muy buenas condiciones durante estos cinco años en servicio.

Según el estudio de tránsito, las solicitaciones que han afectado al pavimento, en el período 2004 - 2008, serían menores a las consideradas en el diseño, lo que ha influido en el buen comportamiento estructural del pavimento luego de la rehabilitación. El diseño a 5, 10 y 20 años (Tabla 4.19, pág. 55) es sólo una información referencial, ya que mientras no se disponga del dato sobre la verdadera estructura que hay bajo el DTS, no se puede determinar la vida remante efectiva por el método convencional.

El buen comportamiento funcional que ha tenido el pavimento, se ve reflejado en los valores obtenidos de las mediciones de IRI, textura superficial y resistencia al deslizamiento, los cuales se han mantenido dentro de los umbrales permitidos para entregar seguridad y comodidad al usuario.

Es necesario destacar que en la información entregada hay inexactitudes o falencias que en un programa de “seguimiento” de una obra son inaceptables.

## **9.1. Complementaciones al Presente Estudio**

Dado que la estructura teórica no coincide con la estructura que reflejó la calicata realizada durante los días de medición, es imprescindible la extracción de testigos para esclarecer las capas que conforman al pavimento en el sector estudiado.

Debe considerarse que los valores resultantes, en especial los módulos elásticos de las capas ligadas, así como su número estructural son extremadamente sensibles al espesor que se les asigne, por lo que es fundamental disponer de ese antecedente con la mayor exactitud posible.

Es necesario llegar a un acuerdo con la Dirección Regional de Vialidad, para aclarar en definitiva cuantas capas de lechada hay sobre el DTS, puesto que los antecedentes entregados no concuerdan con lo inspeccionado en obra.

## **9.2. Programa de Seguimiento Futuro**

El estudio de tránsito del sector Chañaral – Límite Regional, indica un aumento sostenido en el tiempo de los EE que solicitarán al sector, por lo que es primordial realizar operaciones continuas de mantenimiento para conservar el estado actual en que se encuentra, evitando de este modo aumentos en los costos de operación y los mayores costos asociados a posibles medidas de rehabilitación o reestructuración.

El programa de seguimiento realizado en los cinco años de servicio del DTS ha contemplado mediciones periódicas de deflectometría, IRI, textura superficial y fricción. A continuación, se propone un plan futuro de seguimiento que permitirá establecer la curva de deterioro de la estructura en estudio y formular las acciones de conservación que se estimen convenientes:

Tabla 9.1. Programa de Seguimiento Futuro

Actividad	Importancia	Aconsejable
<b>Inspección Visual</b>	El conocimiento periódico del estado en que se encuentra un pavimento es un antecedente fundamental para ajustar y reajustar, el modelo de deterioro y las posibles medidas de mitigación.	Mínimo 2 veces al año, sobre todo después del invierno o lluvias importantes  * y/o cuando las Direcciones Regionales lo estimen necesario.
<b>Medición de Deflectometría de Impacto</b>	Las deformaciones están relacionadas con la capacidad estructural del pavimento. Se espera que las deformaciones en un pavimento de reciente y adecuada construcción sean ínfimas (décimas de milímetro), mientras que grandes deflexiones se pueden generar en un pavimento que ha perdido total o parcialmente su capacidad de soportar el paso de los vehículos.  Permite determinar puntos o zonas en que el pavimento se encuentra más débil, dando por lo tanto, la oportunidad de intervenir antes de que ocurra un colapso.	Para el caso de pavimentos del tipo DTS en caminos de tránsito medio a alto, se recomienda mediciones 1 vez al año; en el caso que el pavimento lleve un número importante de años en funcionamiento, puede aumentarse a 2 veces por año.  * y/o cuando las direcciones regionales lo estimen necesario.
<b>Medición de IRI</b>	Está directamente relacionado con el “confort” o comodidad que el usuario siente al conducir sobre la carretera. Es un excelente indicativo del nivel de servicio que proporciona la vía al usuario.  Permite dar seguimiento al avance en el grado de deterioro o de recuperación que experimenta la red vial.  Sirve para orientar los programas de inversión, por cuanto un nivel de deterioro de las vías con valor de IRI mayor a 3,5 implica un incremento sustancial en los costos del transporte y mayor nivel de deterioro de la flota vehicular.	Mínimo 1 vez al año  * y/o cuando las Direcciones Regionales lo estimen necesario.
<b>Textura Superficial</b>	Su conocimiento contribuye para evaluar las características antideslizantes de la superficie y con ello la prevención de accidentes.	Ensayos de coeficiente de roce, por lo menos 1 vez al año, principalmente después del invierno  * y/o cuando las Direcciones Regionales lo estimen necesario

### 9.3. Conclusiones Finales y Recomendaciones

Si se considera el seguimiento realizado para la obra Rehabilitación de la Ruta 5 Norte, Sector Chañaral – Límite Regional, y los antecedentes recopilados para el tramo de DTS ubicado en el sector Polpaico – La Trampilla, el cual se diseñó para 20 MEE, superando ampliamente el nivel de solicitaciones aceptado actualmente para este tipo de solución, se concluye que la implementación en caminos nuevos, o como medida de rehabilitación se aplicaría bastante bien en caminos en donde las solicitaciones de tránsito, tipo de suelo y las condiciones ambientales se asemejen. Esto es: tránsito medio a alto, clima moderado, subrasante homogénea y con capacidad de soporte media.

Los resultados de la presente investigación permiten deducir que es factible usar estructuras económicas, como el DTS, en caminos con tránsito medio a alto si se cumplen los requisitos de diseño, asociados a una buena construcción, y mantenimiento oportuno y eficiente. Además, por ahora su aplicación, se limitaría a caminos con subrasante de buena resistencia mecánica (CBR > 20%) y ojalá constituida por materiales granulares y muy homogéneos.

Se recomienda además, dado el buen comportamiento de las lechadas asfálticas que se detectó en el presente trabajo, usar esta delgada capa de cobertura para proteger el DTS y cualquier otro pavimento asfáltico, evitando con ella efectos tales como la pérdida de árido, la permeabilidad al agua y al aire, formación de superficies resbaladizas, etc.

Como este tipo de solución, recién se está aplicando de manera definitiva en caminos de alto tránsito, se recomienda tener especial cuidado en el seguimiento y gestión de mantenimiento, de modo de ir recopilando todas las variables que se vean involucradas en su comportamiento para buscar nuevas y mejores alternativas de diseño, dosificación de materiales, construcción, etc, con objeto de extender su aplicabilidad a más sectores, contribuyendo así a una disminución de costos para el país y permitiendo focalizar esos recursos en la pavimentación o mejoramiento de nuevos y más caminos.

# Bibliografía

- AASHTO, (1993) “Guide for design of pavement structures”.
- Métodos de diseño estructural de pavimentos flexibles: MORIN – TODOR y NEO ZELANDES.
- National Roads Board, (1989) “State Highway Pavement Design and Rehabilitation Manual”, Nueva Zelanda.
- Ministerio de Obras Públicas, (2003) “Manual de Carreteras”, Volumen N°3, N°5, N°7 y N°8.
- Ministerio de Obras Públicas, (2004) “Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados”, Santiago de Chile.
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, (2003) “Distress Identification Manual for the Long – Term Pavement Performance Program”
- Burgos, N. (2008) “Comparación de Varias Estructuras de Pavimentos Flexibles y Rígidos, Sector Polpaico – La Trampilla”
- Aguirre, C. (2001) “Tratamientos Superficiales: Estudios orientados a mejorar su calidad final”. Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- Muñoz, J. (1987) “Usos de los tratamientos superficiales asfálticos en Chile”. Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- Mockridge, E. (2004) “Tipos de soluciones aplicadas a caminos no pavimentados para el mejoramiento de la carpeta de rodadura”. Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- Quinteros, R. (2007) “Tratamientos Superficiales Asfálticos: Perfeccionamiento del método de dosificación de la dimensión mínima promedio”. Tesis Universidad de Chile, Dpto. de Ingeniería Civil.
- <http://www.vialidad.cl> Página web de la Dirección Nacional de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- <http://www.camineros.com>
- <http://www.asphaltwa.com/>, Washington Asphalt Pavement Association.

## **ANEXOS**

## Anexo A Cartas de Diseño

### A.1 Manual de Carreteras<sup>12</sup>

Tabla A. 1. Temperaturas Medias Anuales Ponderadas (TMPA)

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	17,6	16,4	15,6	15,7	16,3	17,5	19,1	20,6	19,0
Iquique - Diego Aracena	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	18,7	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
Quintero	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	10,0	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
Chillán - General B. O'Higgins	19,1	18,3	15,8	12,3	9,60	7,70	7,30	8,20	9,70	11,9	14,9	17,7	13,8
Concepción - Carriel Sur	16,3	15,7	13,9	1,00	10,8	9,20	8,80	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	8,80	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 - Cafel Bajo	15,2	14,5	12,6	10,2	6,70	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	8,80	6,70	6,80	6,80	7,80	8,60	11,8	13,4	10,6
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	3,80	5,90	8,40	11,0	12,6	9,10
Balmaceda - Aeropuerto	11,9	11,4	9,30	6,50	3,40	0,80	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

<sup>12</sup> Fuente: Manual de Carreteras, Vol 3.



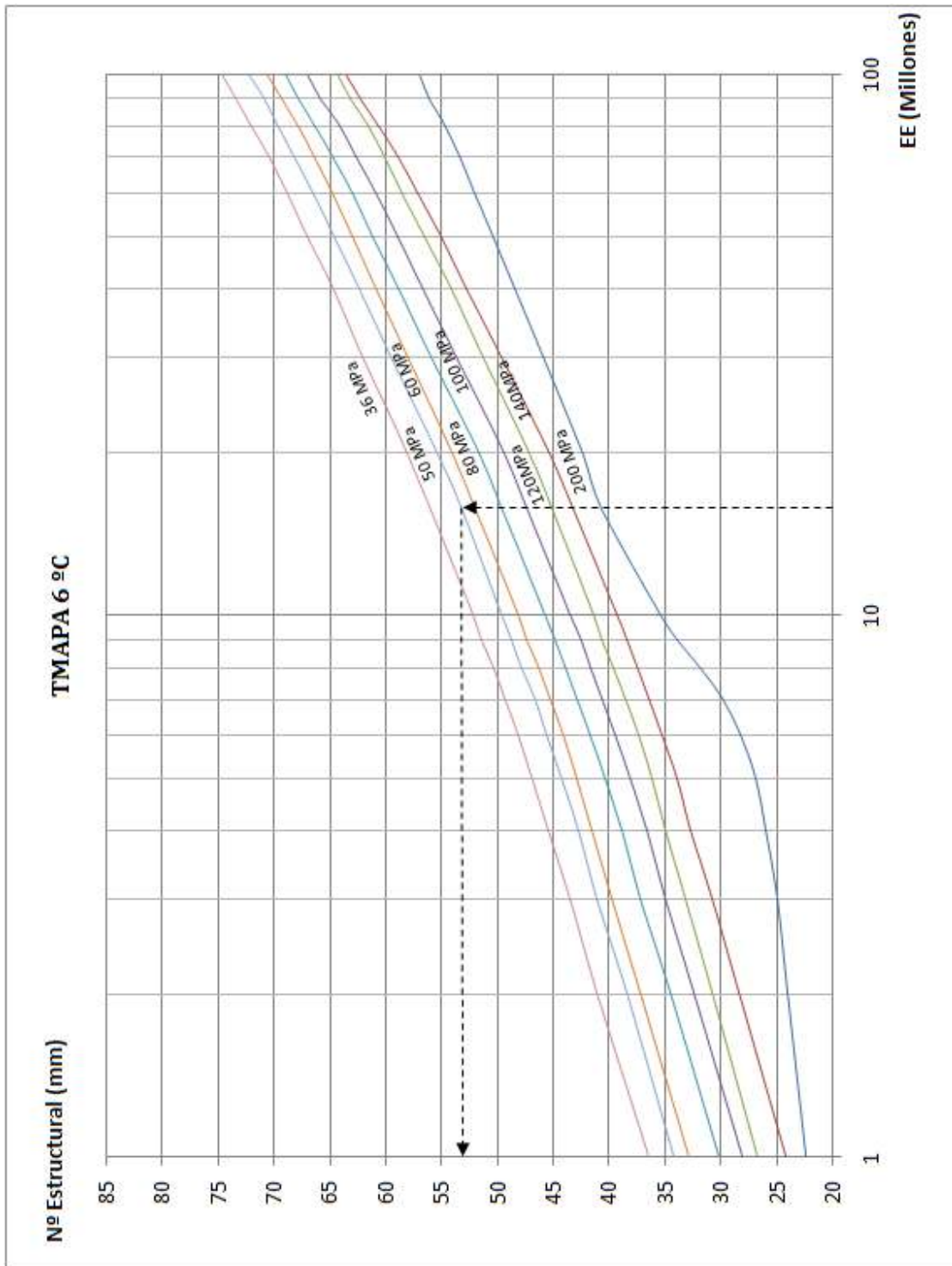


Fig. A. 1. Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 6°C

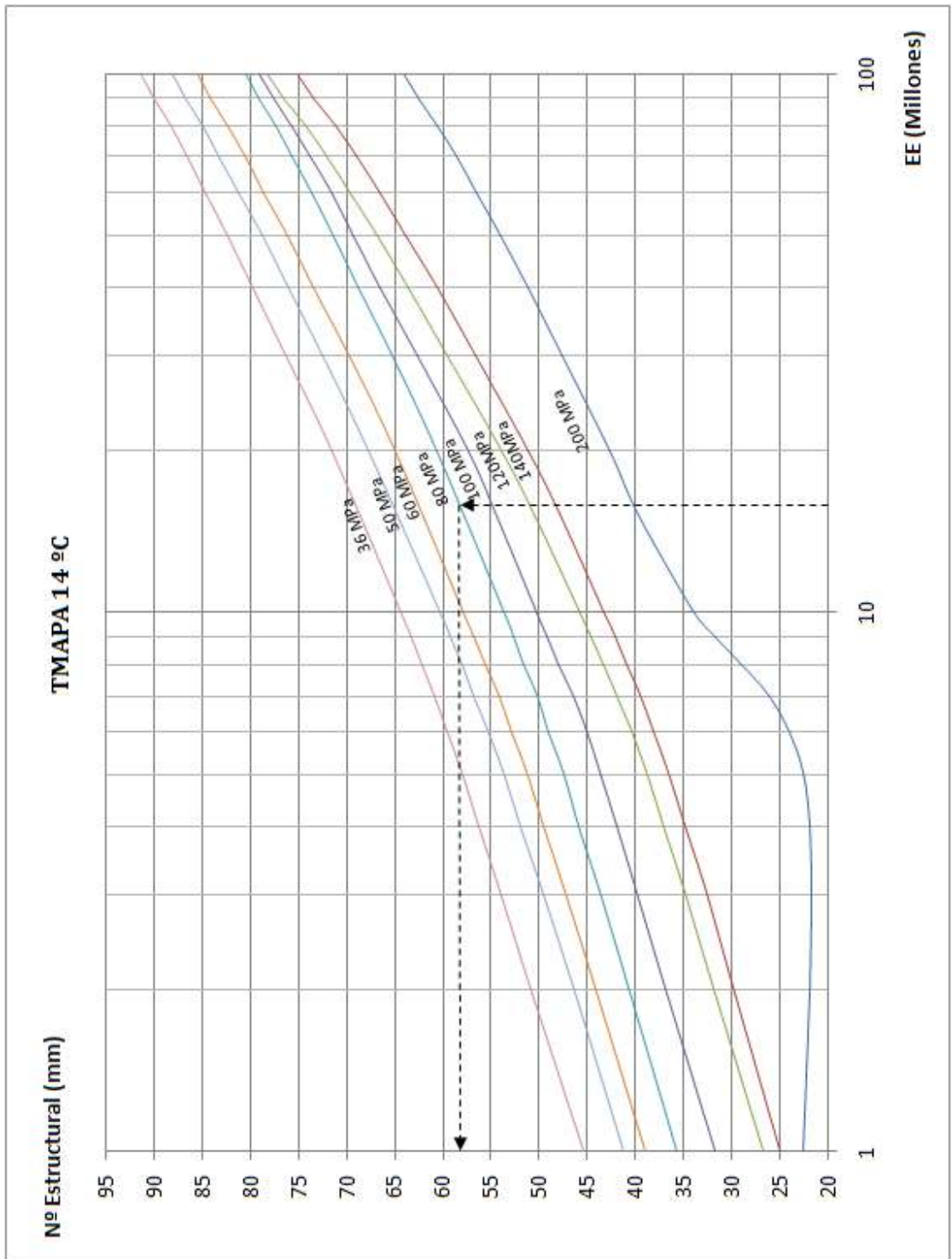


Fig. A. 2. Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 14°C

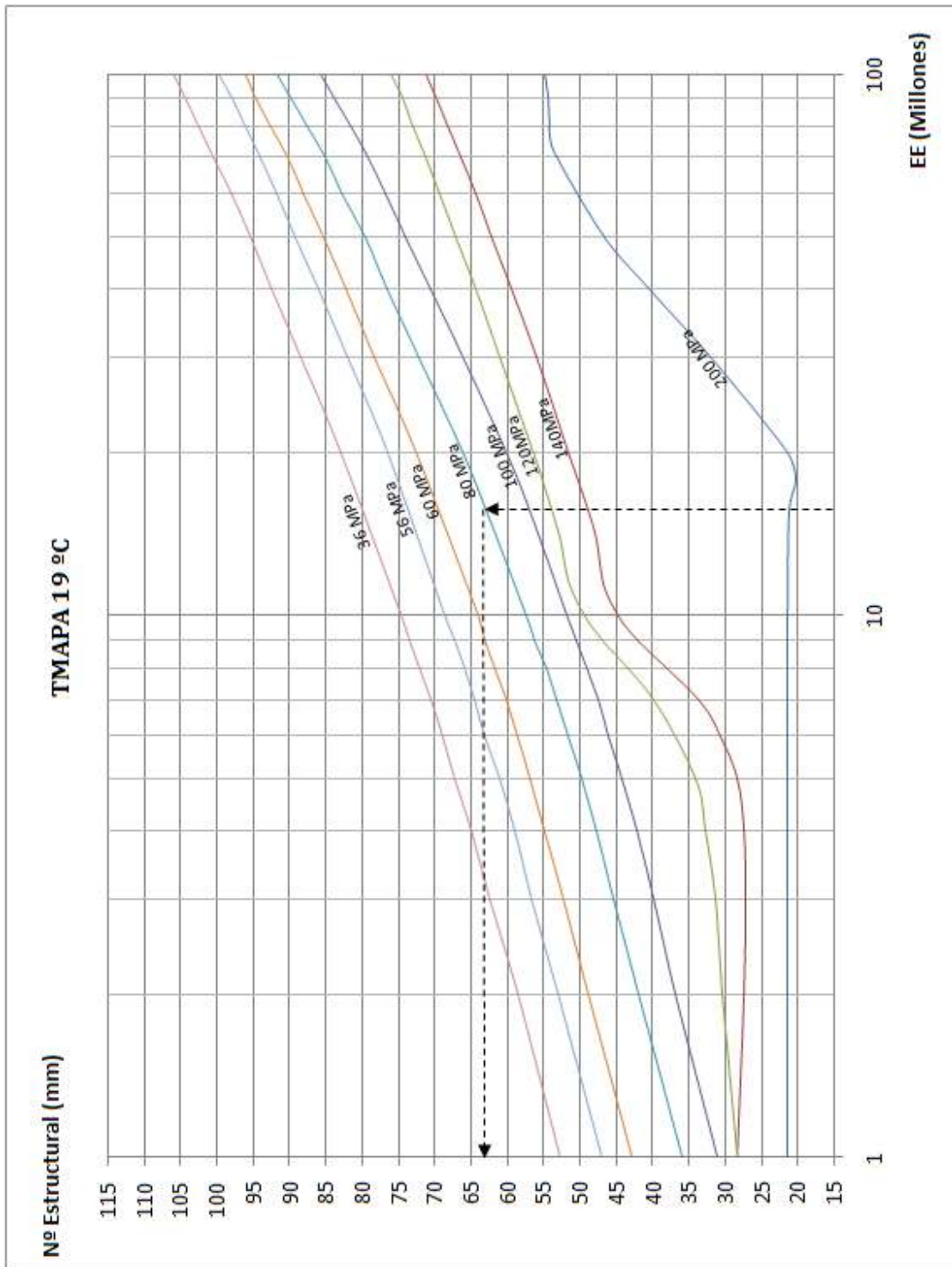


Fig. A. 3. Número Estructural Capas Asfálticas TMAPA 19°C

## A.2 Tratamientos Superficiales MORIN - TODOR

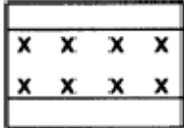
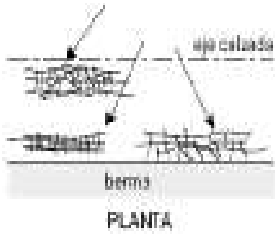
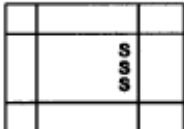
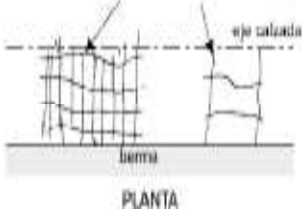
Tabla A.2. Coeficientes Estructurales / Método de diseño Morin - Todor

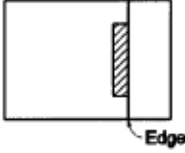
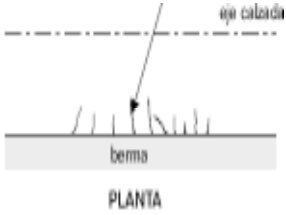
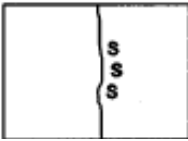
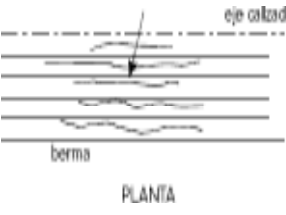
<b>BASES ( 0 a 250 mm de profundidad)</b>	
- Piedras trituradas, graduación abierta	1,037
- Piedras trituradas, bien graduadas	1,394
- Tratadas con cemento	
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 4,6$ MPa	2,400
Resistencia a la compresión cilíndrica a 7 días $\geq 2,8$ MPa	2,100
Resistencia 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

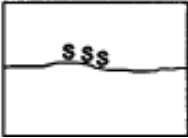
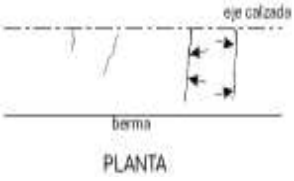
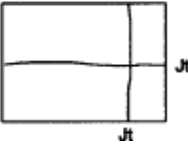
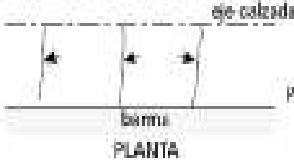
## Anexo B Deterioros en Pavimentos Flexibles

### B.1 Tipos de fallas

Tabla B. 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> 	<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 m2 a 10 m2.</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 <math>\leq 3</math> mm o grietas selladas en buenas condiciones y de un ancho que no se puede determinar.</li> <li>- <b>Media:</b> <math>3 \text{ mm} &lt; \text{ancho grietas} &lt; 20 \text{ mm}</math>, o grietas de ancho medio <math>\leq 20 \text{ mm}</math> rodeadas de un agrietamiento de severidad baja.</li> <li>- <b>Alta:</b> ancho de grietas <math>&gt; 20 \text{ mm}</math> o grietas de un ancho medio <math>\geq 20 \text{ mm}</math>, rodeadas de un agrietamiento de alta severidad.</li> </ul>

Fisuras y Grietas (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p style="text-align: center;"><b>De Borde</b></p> 	<p>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>  <p style="text-align: center;">PLANTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de confinamiento lateral de una carpeta mal adherida a la base.</li> </ul>	<ul 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 style="text-align: center;"><b>Longitudinales</b></p> 	<p>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>  <p style="text-align: center;">PLANTA</p>	<ul 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 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>

Fisuras y Grietas (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p style="text-align: center;"><b>Transversales</b></p> 	<p>Son predominantemente perpendiculares al eje de la calzada, en carpetas que no recubren pavimento de hormigón o base tratada con cemento.</p>  <p style="text-align: center;">PLANTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gradientes térmicos, en especial en mezclas muy rígidas.</li> <li>- Juntas de construcción mal construidas.</li> </ul>	<ul 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\text{mm}</math> o grieta de ancho medio <math>\leq 20\text{mm}</math> rodeadas de grietas de severidad media y alta.</li> </ul>
<p style="text-align: center;"><b>Reflejadas</b></p> 	<p>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 style="text-align: center;">PLANTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimientos que experimentan las losas o trozos del pavimento de hormigón subyacente.</li> </ul>	<ul 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\text{mm}</math> y rodeada por un agrietamiento de alta severidad.</li> </ul>

**Tabla B. 2. Parches y baches**

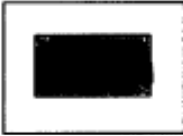

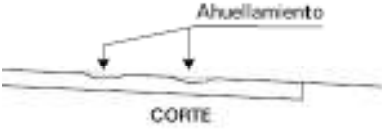
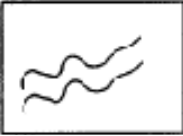

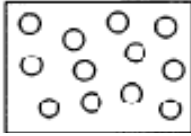
Parches y Baches (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p>Parches deteriorados</p> 	<p>Área del pavimento que ha sido removida y reemplazada, o a la que se le ha agregado una carpeta asfáltica de refuerzo y que se encuentra deteriorada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sólo se recubrió la zona deteriorada sin solucionar las causas que lo originaron (trabajo de cosmética).</li> <li>- Parche estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.</li> <li>- Mala construcción del parche (base insuficientemente compactada, mezcla asfáltica mal diseñada).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <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>- <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>- <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>Baches</p> 	<p>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>- Pavimento estructuralmente insuficiente para el nivel de solicitaciones y características de la subrasante.</li> <li>- Drenaje inadecuado o insuficiente.</li> <li>- Defecto de construcción.</li> <li>- Derrame de solventes (bencina, diesel, etc.) o quema de elementos sobre el pavimento.</li> </ul>	<p><b>En carpetas asfálticas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> profundidad del bache &lt; 30 mm.</li> <li>- <b>Media:</b> 30 mm ≤ profundidad del bache ≤ 50 mm.</li> <li>- <b>Alta:</b> profundidad del bache &gt; 50 mm.</li> </ul> <p><b>En tratamientos superficiales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Baja:</b> profundidad del bache apenas perceptible.</li> <li>- <b>Media:</b> profundidad del bache ≤ 20 mm o del espesor del tratamiento superficial.</li> <li>- <b>Alta:</b> profundidad del bache &gt; 20 mm o del espesor del tratamiento superficial.</li> </ul>




Tabla B. 3. Deformaciones Superficiales

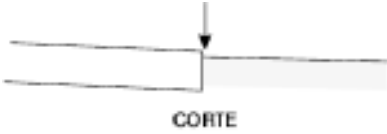
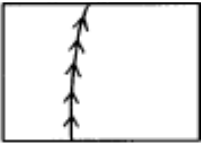
Deformación Superficial (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="268 600 395 622"><b>Ahuellamiento</b></p> 	<p data-bbox="472 412 855 521">Hundimiento longitudinal que coincide con la huella por donde circula la mayor parte del tránsito y que puede encontrarse asociado a desplazamientos transversales de la carpeta.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="932 412 1168 495">-Compactación insuficiente de la base y/o la mezcla asfáltica.</li> <li data-bbox="932 501 1155 584">-Base de capacidad de soporte inadecuada (falta de traba mecánica).</li> <li data-bbox="932 613 1168 757">-Diseño inadecuado de la mezcla asfáltica, exceso de asfalto, ligante muy blando, mezcla de baja estabilidad Marshall, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1203 412 1445 465">- <b>Baja:</b> profundidad máxima del ahuellamiento &lt; 20 mm.</li> <li data-bbox="1203 501 1414 577">- <b>Media:</b> 20mm ≤ profundidad máxima del ahuellamiento ≤ 40 mm.</li> <li data-bbox="1203 613 1445 667">- <b>Alta:</b> profundidad máxima del ahuellamiento &gt; 40 mm.</li> </ul>
<p data-bbox="272 1133 392 1155"><b>Ondulaciones</b></p> 	<p data-bbox="472 887 895 969">Deformación del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciado con ondas cortas y a veces acompañados de grietas semicirculares.</p> <p data-bbox="472 1003 871 1113">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="932 887 1155 909"><b>Ondulaciones extensivas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="932 943 1155 1086">-Diseño inadecuado de la mezcla (uso de áridos redondeados, dosificación inadecuada del ligante, ligante blando, etc).</li> <li data-bbox="932 1120 1168 1229">-Estructura inadecuada para tramos con pendiente longitudinal muy pronunciada.</li> <li data-bbox="932 1263 1155 1317">-Estructura inadecuada para una zona de frenado.</li> </ul> <p data-bbox="932 1350 1168 1373"><b>Ondulaciones individuales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="932 1406 1142 1516">-Mezcla asfáltica poco estable, con ligante muy blando y/o espesor de la capa inadecuado.</li> </ul>	<p data-bbox="1203 887 1406 938"><b>En áreas con deterioro extensivo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1203 972 1441 1055">- No pueden determinarse niveles de severidad mediante inspección visual.</li> <li data-bbox="1203 1088 1441 1229">- Se pueden establecer niveles de severidad en función del incremento que experimente la rugosidad de la superficie (IRI).</li> </ul> <p data-bbox="1203 1263 1366 1314"><b>Para ondulaciones individuales:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="1203 1348 1441 1458">- Cualquier protuberancia de altura igual o mayor que 50 mm debe considerarse de alta severidad.</li> </ul>

**Tabla B. 4. Defectos de Superficie**

Defectos de Superficies (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<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>

Defectos de Superficies (Simbología)	Descripción	Posibles causas	Niveles de Severidad
<p data-bbox="240 566 421 618">Desprendimiento de áridos</p> 	<p data-bbox="467 344 759 483">Pérdida del mortero asfáltico superficial quedando expuestos parcialmente el árido más grueso, en general, concentrada en las huellas.</p>	<p data-bbox="794 344 1082 398">-Falta de adherencia entre ligante y áridos.</p> <p data-bbox="794 434 1086 542">-Mezcla asfáltica mal diseñada (ligante inadecuado, áridos sucios, cubrimiento no uniforme del árido).</p>	<p data-bbox="1126 344 1422 542">- <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="1126 577 1414 801">- <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="1126 837 1414 976">- <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>

**Tabla B. 5. 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>

## Anexo C Serie Fotográfica

### C.1 Antes de la Rehabilitación



Foto N°1



Foto N°2



Foto N°3



Foto N°4



Foto N°5



Foto N°6



**Foto N°7**



**Foto N°8**



**Foto N°9**



**Foto N°10**

## C.2 Durante la Construcción de DTS



Foto N°11



Foto N°12



Foto N°13



Foto N°14



Foto N°15



Foto N°16



Foto N°17



Foto N°18



Foto N°19



Foto N°20



Foto N°21



Foto N°22





Foto N°23



Foto N°24



Foto N°25



Foto N°26



Foto N°27



Foto N°28

### C.3 Después de la Rehabilitación



Foto N°29



Foto N°30



Foto N°31



Foto N°32



Foto N°33



Foto N°34

### C.4 Inspección Visual Septiembre 2008



Foto N°35



Foto N°36



Foto N°37



Foto N°38



Foto N°39



Foto N°40



Foto N°41



Foto N°42



Foto N°43



Foto N°44



Foto N°45



Foto N°46



Foto N°47



Foto N°48



Foto N°49



Foto N°50



Foto N°51



Foto N°52



Foto N°53



Foto N°54



Foto N°55



Foto N°56



Foto N°57



Foto N°58



Foto N°59

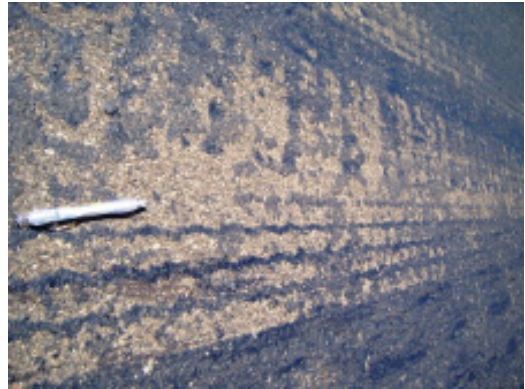


Foto N°60



Foto N°61



Foto N°62



Foto N°63



Foto N°64

**C.5 Calicata km 1034,900 / Septiembre 2008**



**Foto N°65**



**Foto N°66**



**Foto N°67**



**Foto N°68**



## **Anexo D    Monografías**

Las monografías que se presentan a continuación se realizaron según el esquema y simbología propuestos en el libro “*Distress Identification Manual for the Long – Term Pavement Performance Program*”.



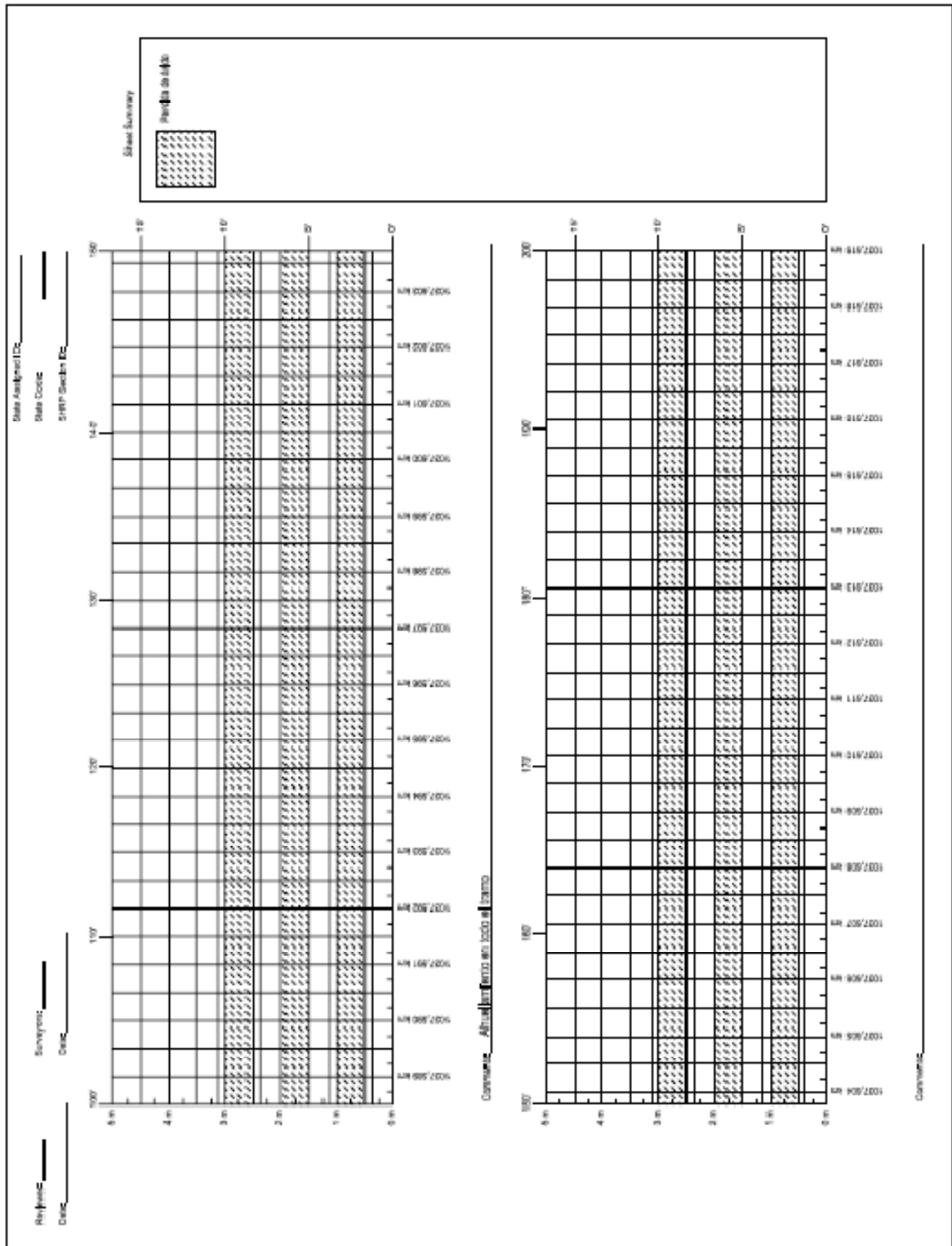


Fig. D.2. Monografía 2

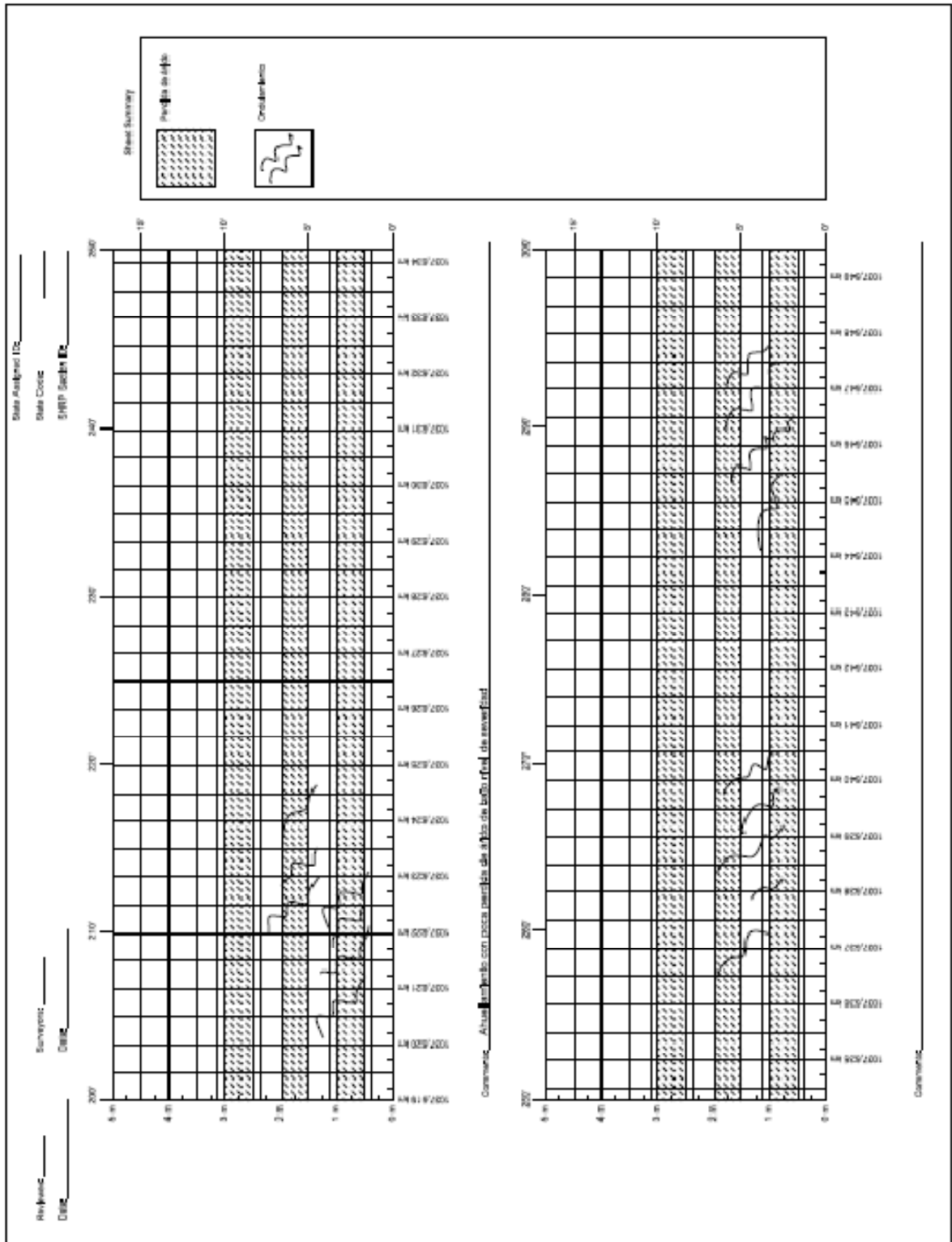


Fig. D. 3. Monografía 3

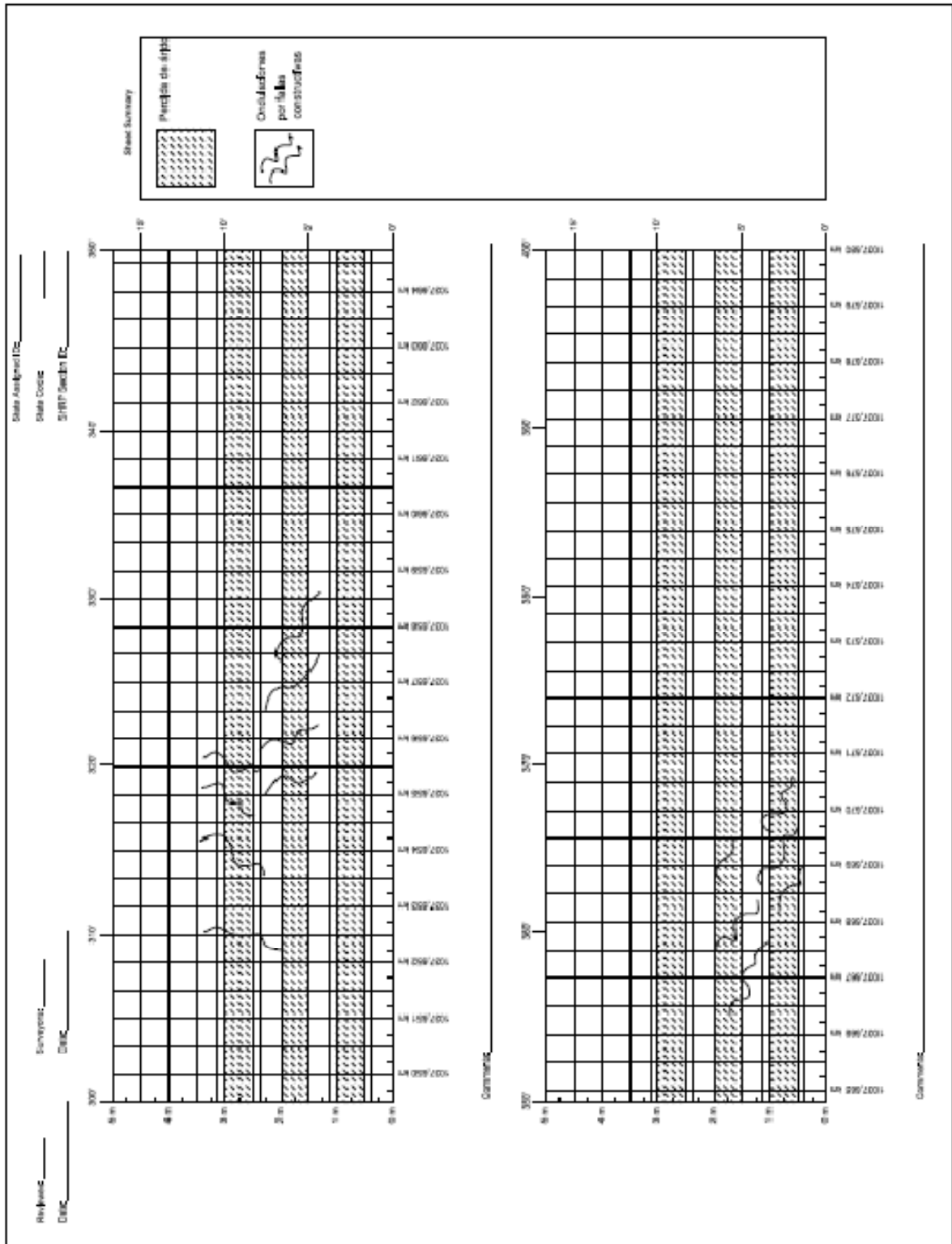


Fig. D. 4. Monografía 4

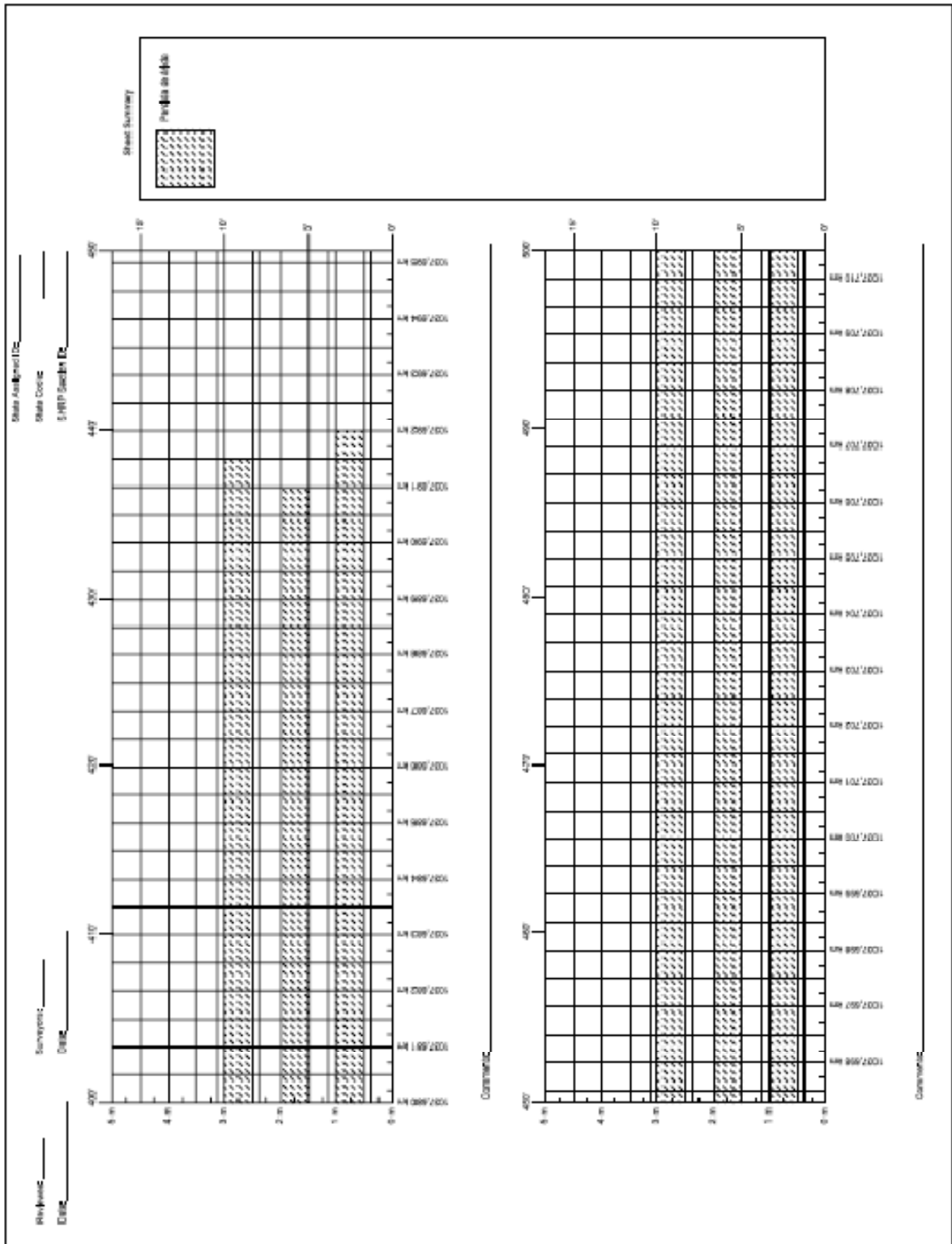


Fig. D. 5. Monografía 5

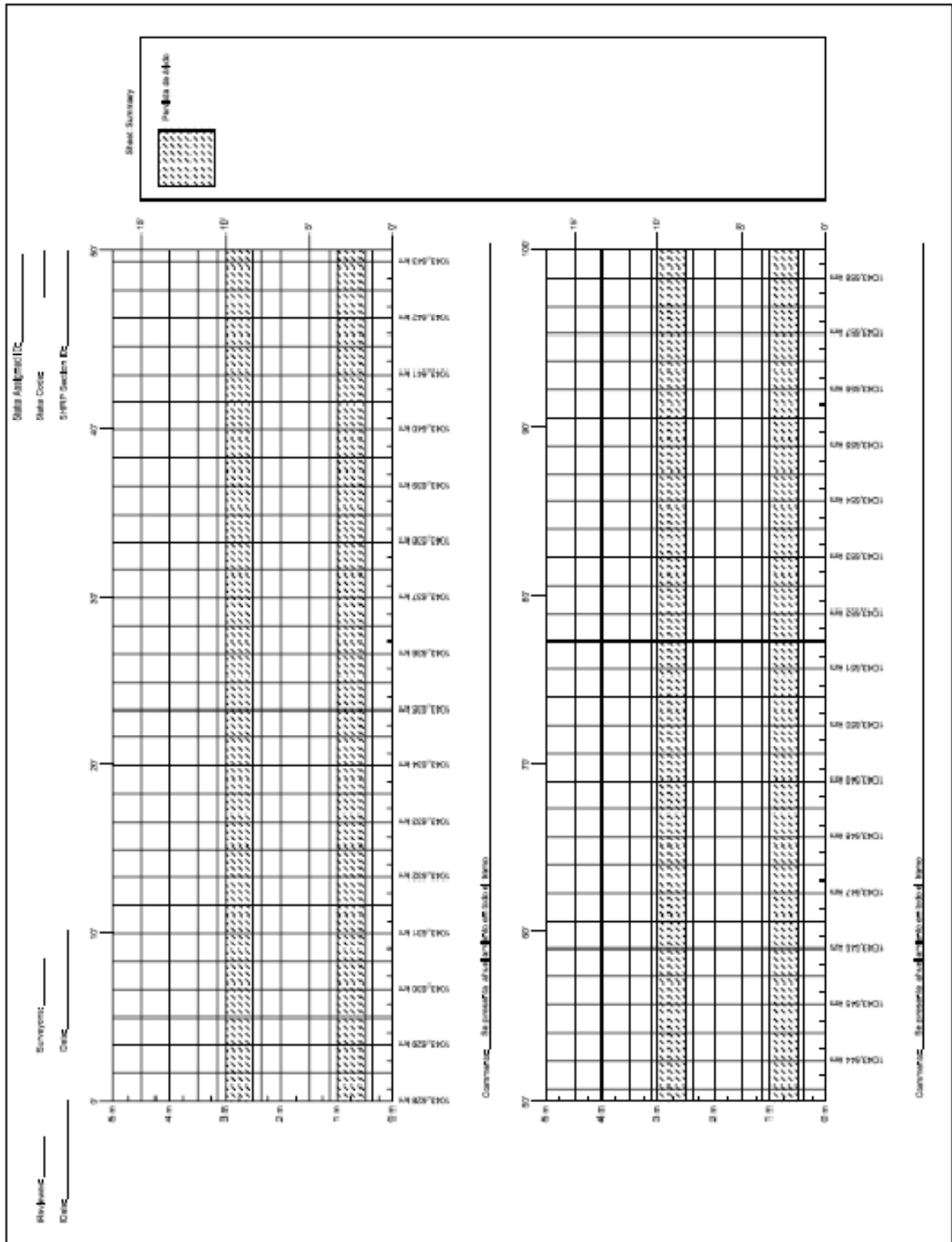


Fig. D. 6. Monografía 6





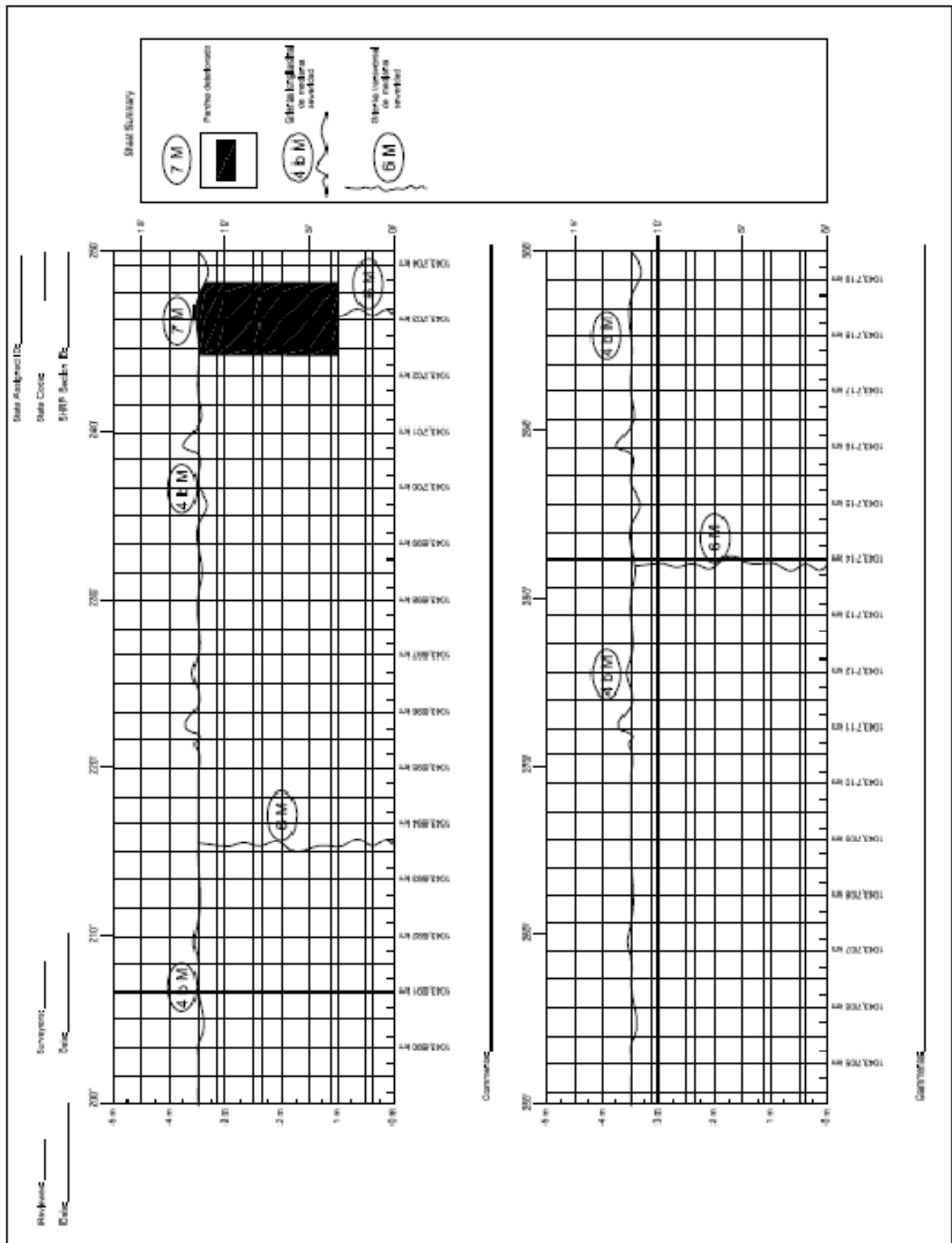


Fig. D. 8. Monografía 8



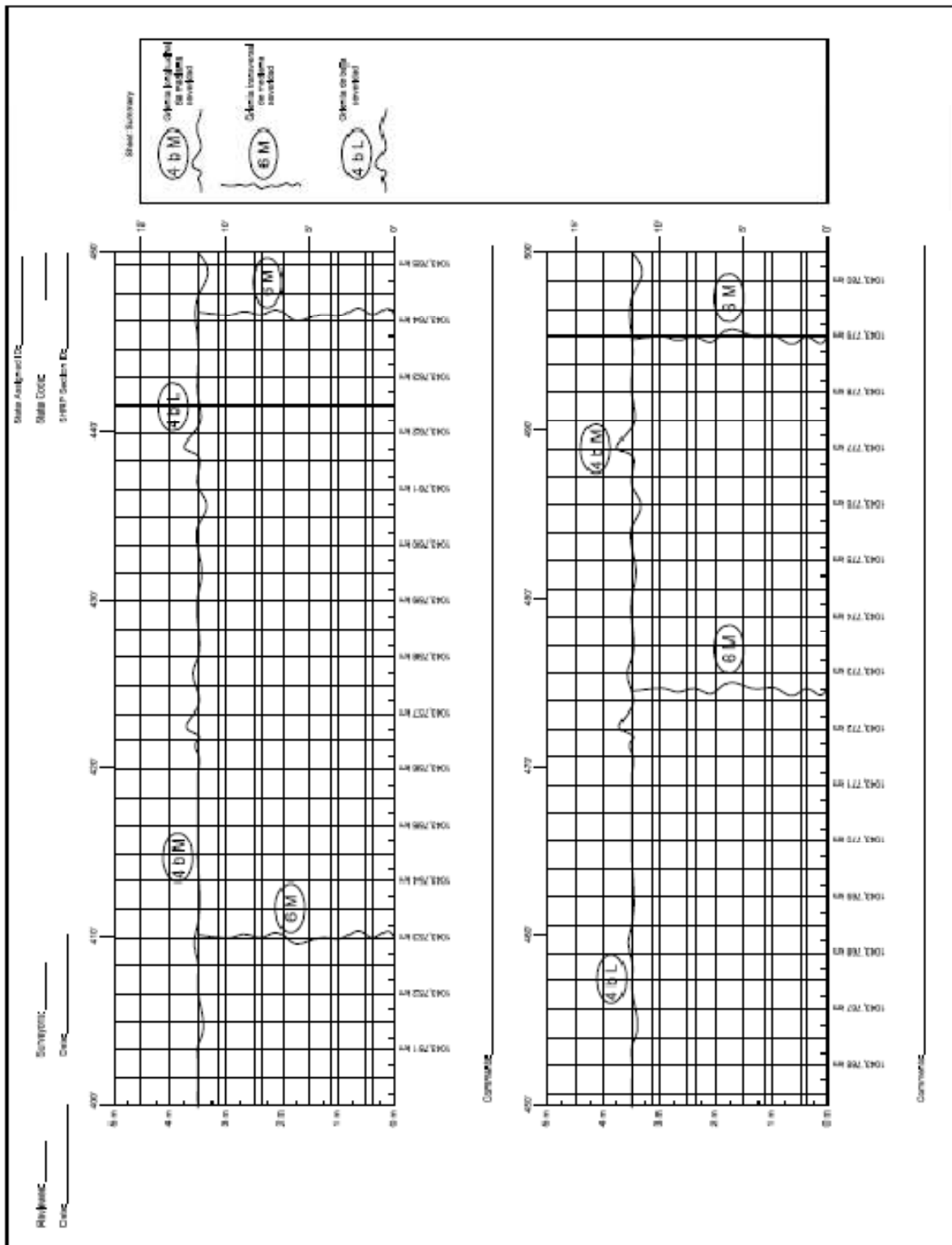


Fig. D. 10. Monografia 10

## Anexo E Memoria de Cálculo

### E.1 Deflectometría de Impacto

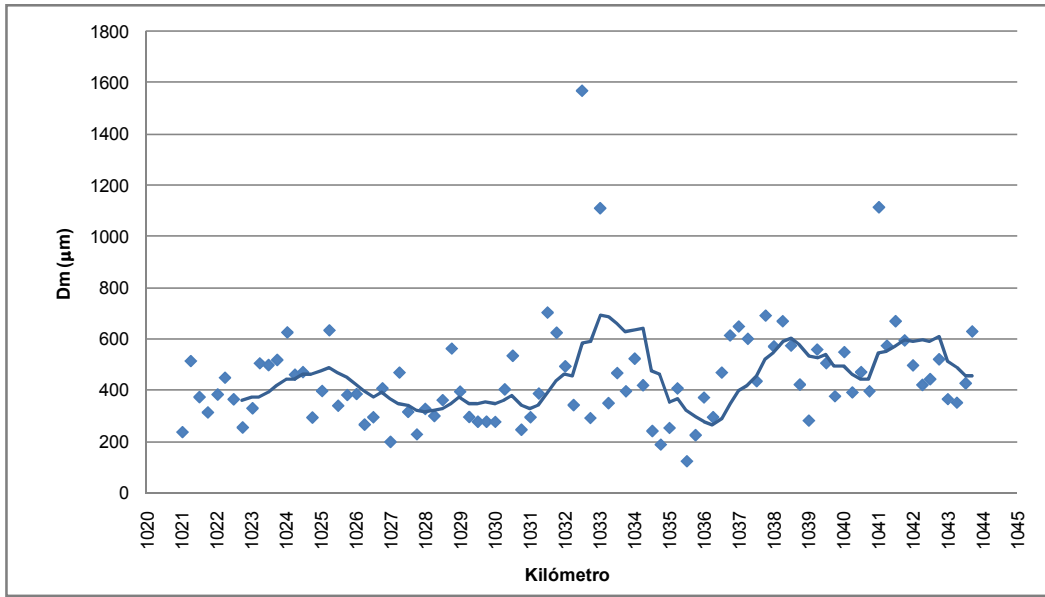
#### ▪ Retroanálisis Deflexiones Marzo 1998

*Tabla E. 1. Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Marzo 1998*

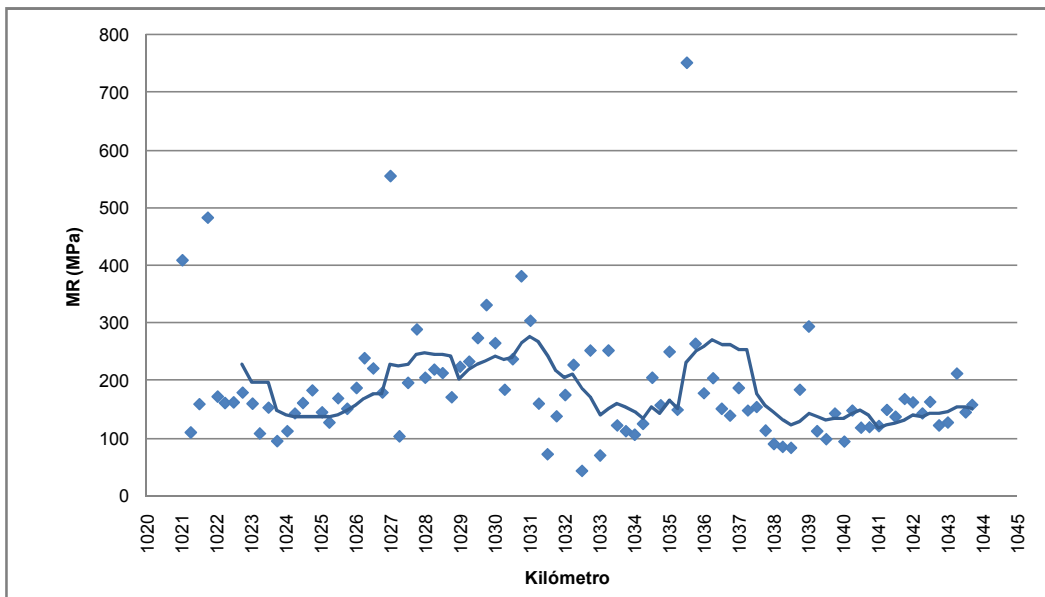
km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (KN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,030	∓35	35	51,2	234	408	1181	10,5
1021,270	7	35	50,9	512	109	777	9,1
1021,520	7	35	51,1	371	158	1073	10,2
1021,760	7	35	51,5	311	482	736	9,0
1022,040	7	35	51,3	381	171	907	9,6
1022,250	7	35	51,5	447	160	741	9,0
1022,500	7	35	51,8	362	161	1085	10,2
1022,760	7	35	51,4	252	178	1956	12,4
1023,040	7	35	51,4	327	159	1287	10,8
1023,250	7	35	51,2	503	107	816	9,3
1023,500	7	35	51,8	496	152	654	8,6
1023,750	7	35	51,3	516	94	872	9,5
1024,040	7	35	51,2	624	111	553	8,2
1024,260	7	35	51,5	459	142	767	9,1
1024,490	7	35	51,7	469	160	709	8,9
1024,760	7	35	51,9	291	182	1426	11,2
1025,040	7	35	51,8	395	144	1014	10,0
1025,250	7	35	51,4	632	126	487	7,8
1025,500	7	35	51,8	337	168	1215	10,6
1025,760	7	35	51,6	379	150	1082	10,2
1026,030	7	35	51,6	383	186	883	9,5
1026,260	7	35	51,7	263	238	1354	11,0
1026,510	7	35	51,8	292	220	1191	10,5
1026,770	7	35	51,6	405	178	811	9,3
1027,000	7	35	51,9	196	554	1303	10,8
1027,260	7	35	51,4	467	102	911	9,6
1027,510	7	35	51,7	313	195	1089	10,2
1027,760	7	35	51,8	225	288	1514	11,4
1028,000	7	35	52,0	325	204	1072	10,2
1028,260	7	35	51,8	297	218	1166	10,5
1028,500	7	35	51,4	359	212	850	9,4
1028,760	7	35	51,5	561	170	476	7,8
1029,000	7	35	51,8	392	223	716	8,9
1029,260	7	35	52,1	293	232	1148	10,4
1029,510	7	35	51,9	275	273	1165	10,5
1029,760	7	35	52,1	275	330	1036	10,1
1030,010	7	35	51,8	274	264	1170	10,5
1030,280	7	35	51,9	401	183	226	9,3
1030,510	7	35	52,3	533	236	454	7,6
1030,760	7	35	52,3	243	380	1140	10,4
1031,020	7	35	51,7	292	303	906	9,6
1031,260	7	35	51,7	385	159	885	9,5
1031,510	7	35	51,0	702	71	571	8,2
1031,770	7	35	51,8	623	137	448	7,6

## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

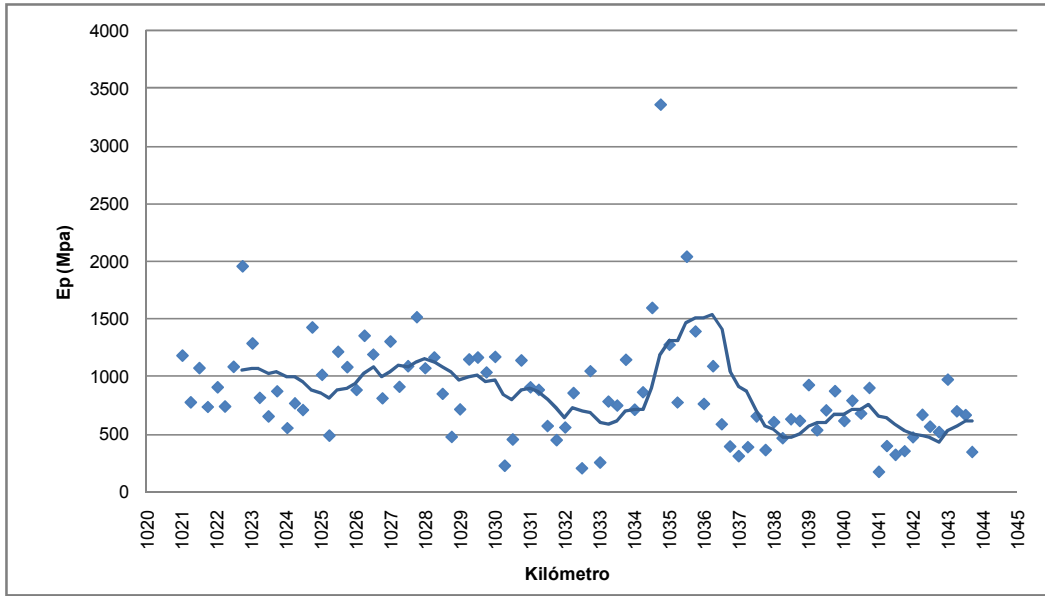
1032,020	7	35	51,9	491	174	558	8,2
1032,260	7	35	52,0	340	226	857	9,4
1032,500	7	35	49,8	1570	42	205	5,9
1032,740	7	35	52,0	289	251	1047	10,1
1033,020	7	35	50,9	1110	69	255	6,3
1033,260	7	35	52,2	347	251	783	9,2
1033,510	7	35	51,8	465	121	749	9,0
1033,760	7	35	51,5	394	111	1146	10,4
1034,010	7	35	51,6	521	105	712	8,9
1034,250	7	35	51,6	417	124	864	9,5
1034,520	7	35	52,0	238	204	1595	11,6
1034,760	7	35	51,5	185	156	3358	14,9
1035,010	7	35	51,7	250	249	1275	10,8
1035,240	7	35	51,6	405	148	775	9,1
1035,510	7	35	52,1	120	751	2039	12,6
1035,760	7	35	52,0	222	263	1391	11,1
1036,000	7	35	52,2	369	177	763	9,1
1036,260	7	35	52,3	292	203	1089	10,2
1036,510	7	35	52,0	467	150	586	8,3
1036,750	7	35	51,4	612	138	394	7,3
1037,000	7	35	51,6	647	186	310	6,7
1037,260	7	35	51,8	599	147	387	7,2
1037,510	7	35	52,1	433	153	655	8,6
1037,770	7	35	51,5	690	112	362	7,1
1038,010	7	35	51,9	569	89	604	8,4
1038,260	7	35	51,5	668	84	466	7,7
1038,500	7	35	51,4	572	82	630	8,5
1038,750	7	35	51,7	420	183	616	8,5
1039,010	7	35	52,0	279	293	926	9,7
1039,250	7	35	51,3	557	111	534	8,1
1039,510	7	35	51,4	504	97	707	8,8
1039,760	7	35	51,8	374	142	874	9,5
1040,030	7	35	51,6	547	93	615	8,4
1040,260	7	35	51,5	389	147	791	9,2
1040,510	7	35	51,7	469	117	679	8,7
1040,750	7	35	51,8	394	118	902	9,6
1041,020	7	35	51,1	1114	120	173	5,5
1041,250	7	35	51,7	572	148	397	7,3
1041,500	7	35	51,7	668	136	322	6,8
1041,760	7	35	51,5	593	167	353	7,0
1042,000	7	35	51,3	495	161	472	7,7
1042,270	7	35	51,5	419	142	667	8,7
1042,490	7	35	51,7	441	162	566	8,2
1042,750	7	35	51,6	519	121	518	8,0
1043,000	7	35	51,7	363	126	974	9,8
1043,260	7	35	51,8	349	211	699	8,8
1043,510	7	35	51,6	425	144	666	8,7
1043,700	7	35	52,0	628	157	345	7,0



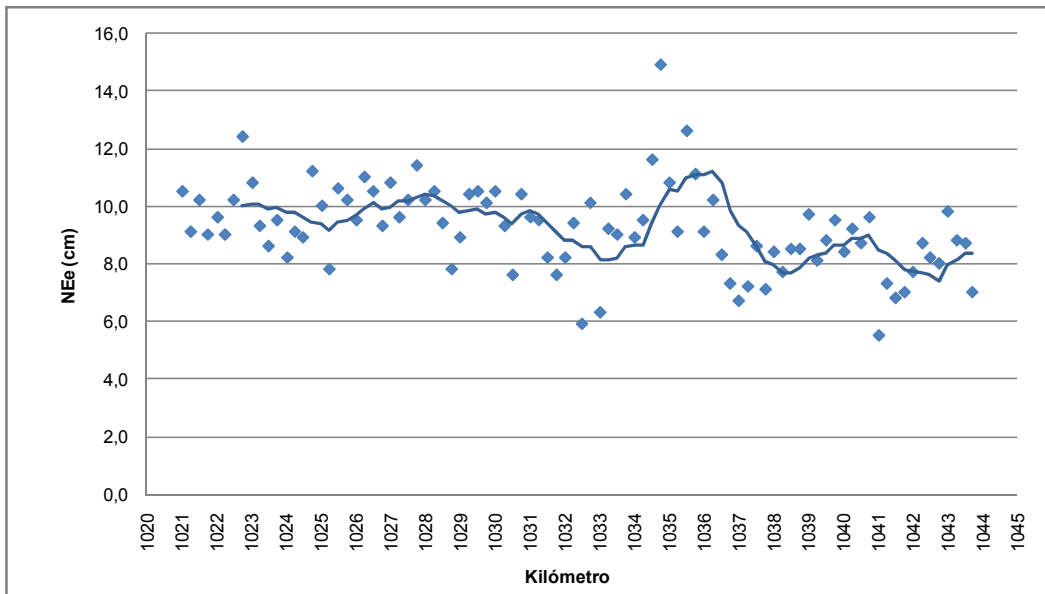
**Fig. E. 1. Deflexión Máxima 1998 / Pista 1**



**Fig. E. 2. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 1998 / Pista 1**



**Fig. E. 3. Módulo del Pavimento 1998 / Pista 1**



**Fig. E. 4. Número Estructural Efectivo 1998 / Pista 1**

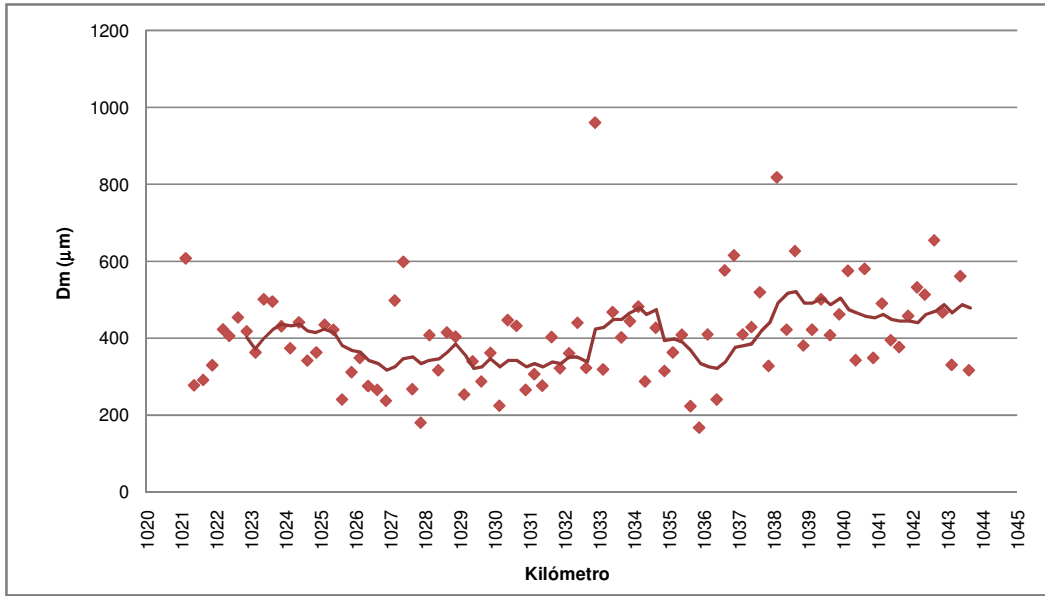
Tabla E. 2. Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Marzo 1998

km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (KN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,13	7	35	51,5	606	127	500	7,9
1021,37	7	35	51,8	277	305	1073	10,2
1021,63	7	35	51,8	291	321	1002	9,9
1021,89	7	35	51,9	329	208	1105	10,3
1022,20	7	35	51,6	422	202	728	8,9
1022,38	7	35	51,8	405	171	884	9,5
1022,63	7	35	51,5	453	133	842	9,4
1022,88	7	35	51,5	417	157	844	9,4
1023,13	7	35	51,5	362	165	1040	10,1
1023,37	7	35	51,5	500	144	645	8,6
1023,62	7	35	51,4	494	136	712	8,9
1023,88	7	35	51,6	430	158	813	9,3
1024,13	7	35	51,5	373	156	1031	10,0
1024,38	7	35	51,4	440	137	850	9,4
1024,62	7	35	51,6	341	172	1119	10,3
1024,88	7	35	51,6	362	161	1057	10,1
1025,12	7	35	51,8	434	124	941	9,7
1025,37	7	35	51,5	421	155	836	9,4
1025,62	7	35	51,8	240	197	1946	12,4
1025,89	7	35	51,4	311	179	1336	10,9
1026,13	7	35	52,3	348	196	892	9,6
1026,37	7	35	52,3	275	216	1266	10,7
1026,63	7	35	52,2	265	252	1280	10,8
1026,88	7	35	52,4	237	265	1500	11,4
1027,13	7	35	51,9	497	124	671	8,7
1027,38	7	35	52,0	597	110	522	8,0
1027,64	7	35	52,2	267	278	1116	10,3
1027,88	7	35	52,2	180	406	1635	11,7
1028,13	7	35	52,1	407	147	853	9,4
1028,38	7	35	52,1	316	200	1054	10,1
1028,63	7	35	51,9	414	221	660	8,6
1028,88	7	35	52,2	403	156	862	9,5
1029,13	7	35	52,5	253	28	1432	11,2
1029,37	7	35	52,1	339	224	902	9,6
1029,62	7	35	52,2	287	268	1117	10,3
1029,88	7	35	52,4	361	195	888	9,5
1030,14	7	35	52,1	224	446	1183	10,5
1030,38	7	35	52,1	446	195	642	8,6
1030,63	7	35	52,7	431	172	748	9,0
1030,89	7	35	52,3	265	385	926	9,7
1031,14	7	35	52,3	306	174	1239	10,7
1031,37	7	35	52,3	276	218	1224	10,6
1031,64	7	35	52,3	402	167	794	9,2
1031,88	7	35	52,4	321	223	954	9,8
1032,14	7	35	52,6	360	193	881	9,5
1032,38	7	35	51,6	439	233	567	8,2
1032,63	7	35	52,2	322	268	848	9,4
1032,89	7	35	51,3	958	71	323	6,8
1033,12	7	35	52,1	318	282	841	9,4
1033,39	7	35	52,1	467	142	689	8,8
1033,64	7	35	51,9	401	111	1110	10,3
1033,89	7	35	51,9	443	106	970	9,8
1034,13	7	35	52,1	481	98	733	9,0
1034,32	7	35	52,3	287	145	1339	10,9
1034,63	7	35	52,1	426	112	802	9,2
1034,88	7	35	52,0	314	170	1011	10,0

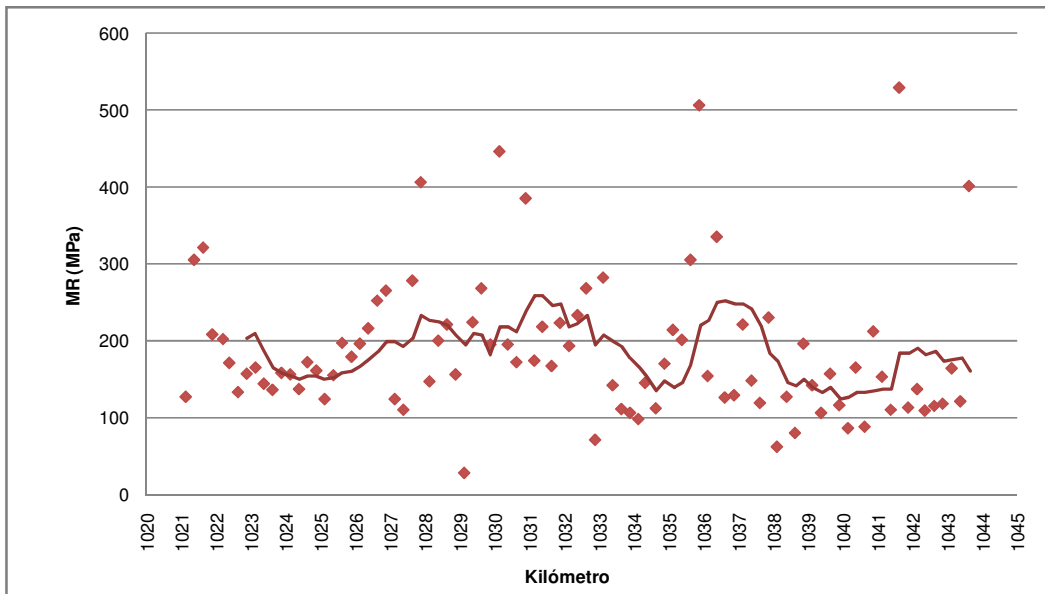


## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

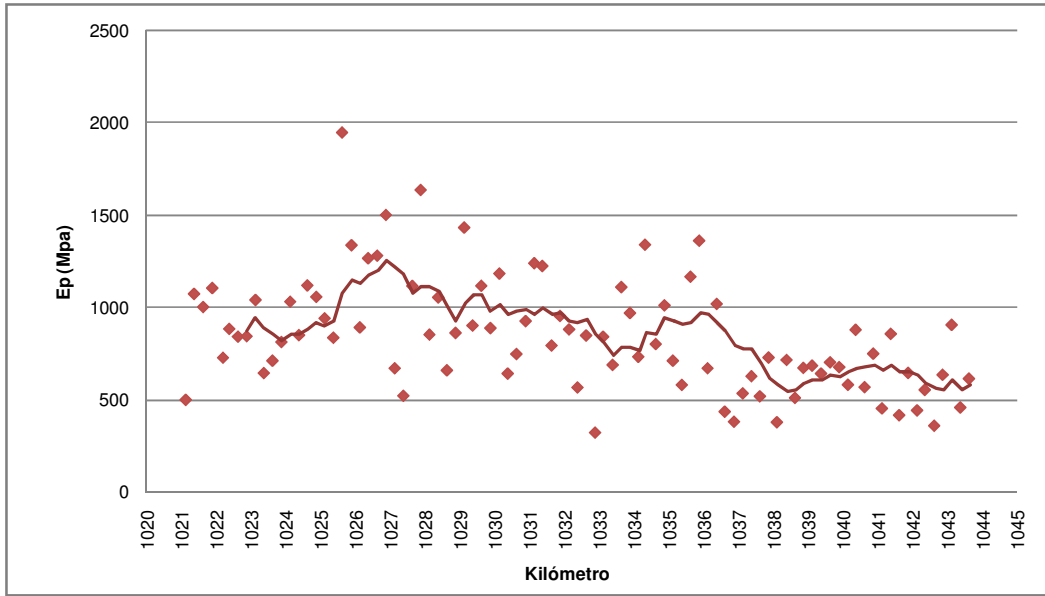
1035,12	7	35	52,4	362	214	712	8,9
1035,38	7	35	52,3	408	201	581	8,3
1035,63	7	35	52,6	223	305	1166	10,5
1035,88	7	35	52,2	167	506	1361	11,0
1036,12	7	35	52,2	409	154	671	8,7
1036,38	7	35	52,8	240	335	1019	10,0
1036,61	7	35	52,0	575	126	436	7,5
1036,88	7	35	52,2	614	129	382	7,2
1037,13	7	35	52,2	409	221	535	8,1
1037,38	7	35	52,1	428	148	628	8,5
1037,62	7	35	51,7	518	119	519	8,0
1037,87	7	35	52,2	327	230	729	8,9
1038,11	7	35	51,5	816	62	379	7,2
1038,39	7	35	52,1	421	127	716	8,9
1038,63	7	35	51,8	625	80	511	7,9
1038,87	7	35	52,3	380	196	673	8,7
1039,12	7	35	52,1	421	142	685	8,8
1039,38	7	35	51,8	500	106	642	8,6
1039,64	7	35	52,1	407	157	703	8,8
1039,90	7	35	51,9	461	116	677	8,7
1040,15	7	35	51,7	574	86	582	8,3
1040,37	7	35	52,3	342	165	879	9,5
1040,63	7	35	51,9	579	88	569	8,2
1040,88	7	35	52,5	348	212	750	9,0
1041,13	7	35	52,3	489	153	454	7,6
1041,38	7	35	52,2	394	110	857	9,4
1041,62	7	35	51,6	376	529	417	7,4
1041,88	7	35	52,1	457	113	646	8,6
1042,14	7	35	52,1	531	137	443	7,6
1042,36	7	35	52,0	512	109	554	8,2
1042,63	7	35	51,6	653	115	360	7,1
1042,87	7	35	52,0	466	118	636	8,5
1043,13	7	35	52,1	330	164	906	9,6
1043,38	7	35	51,7	560	121	459	7,7
1043,63	7	35	52,1	316	401	615	8,4



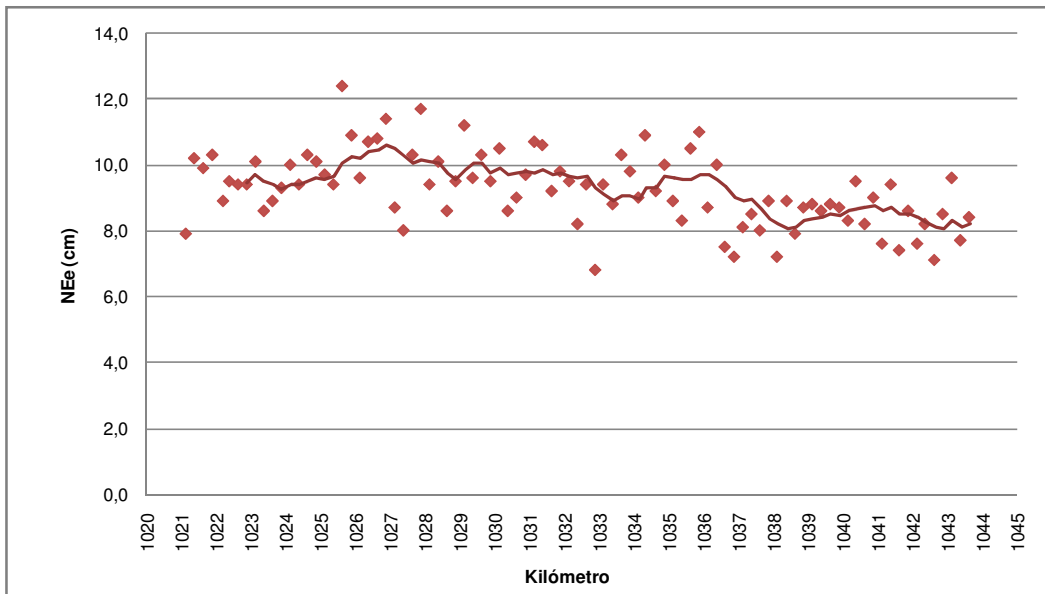
**Fig. E. 5. Deflexión Máxima 1998 / Pista 2**



**Fig. E. 6. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 1998 / Pista 2**



**Fig. E. 7. Módulo del Pavimento 1998 / Pista 2**

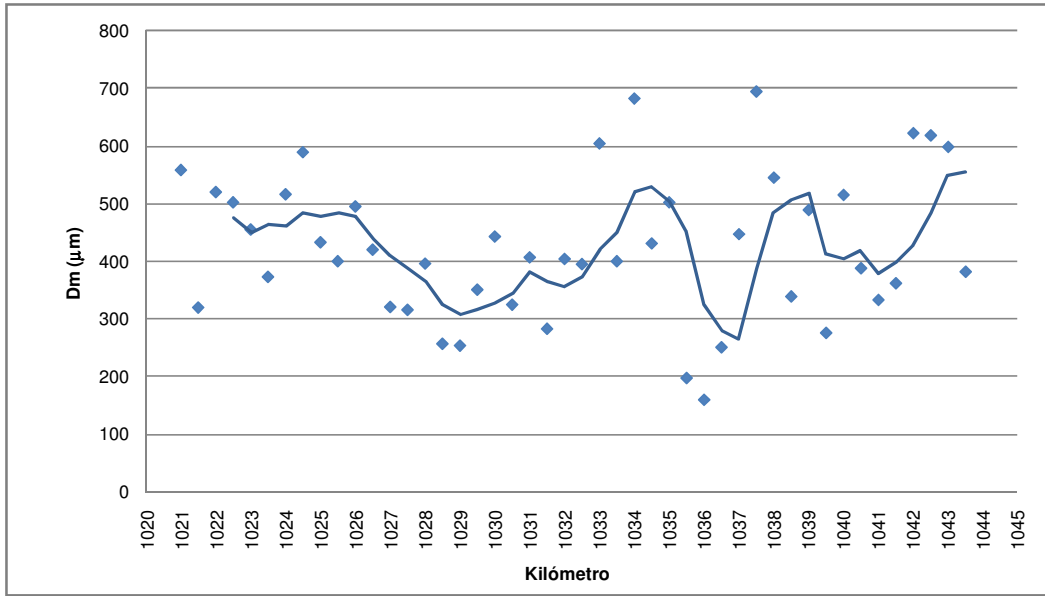


**Fig. E. 8. Número Estructural Efectivo 1998 / Pista 2**

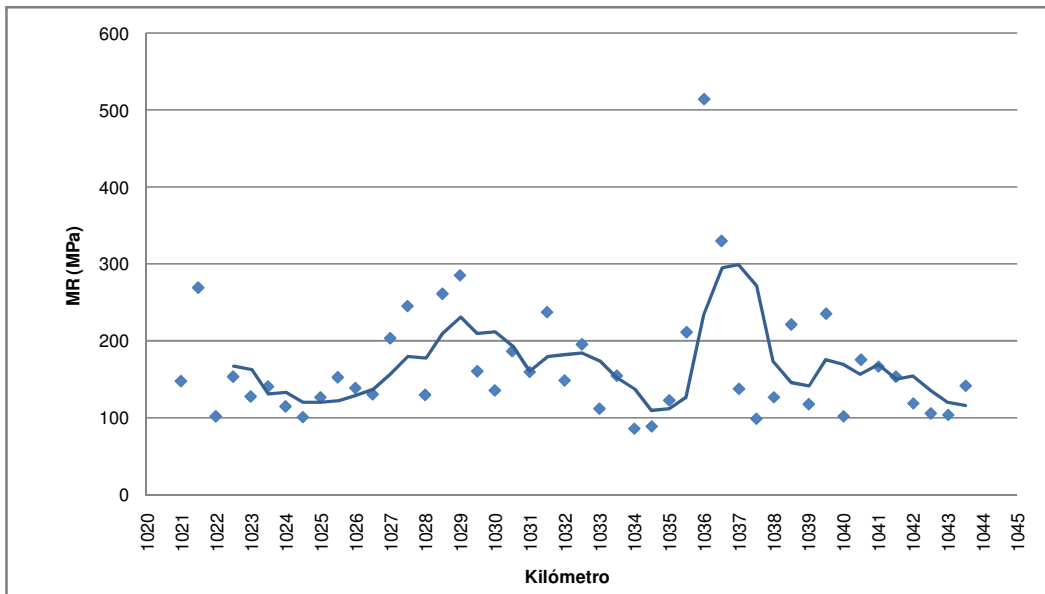
▪ **Retroanálisis Deflexiones Agosto 2001**

**Tabla E. 3. Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Agosto 2001**

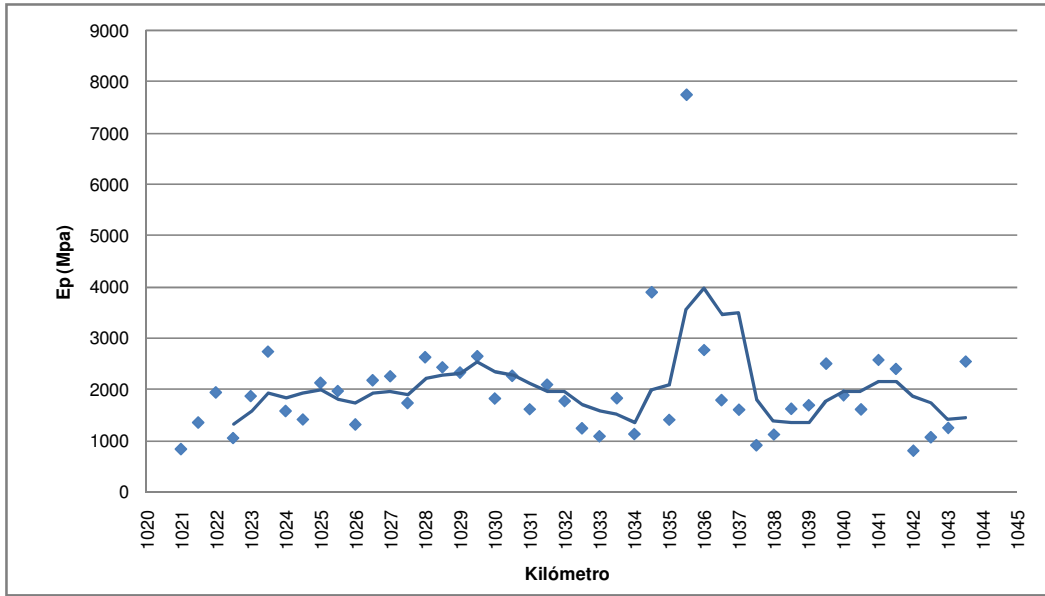
km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (KN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,000	6	15	50,9	558	147	839	4,7
1021,500	6	15	51,2	320	269	1358	5,5
1022,000	6	15	50,0	520	101	1945	6,2
1022,500	6	15	50,2	502	153	1054	5,1
1023,000	6	15	50,2	455	127	1872	6,1
1023,500	6	15	50,7	373	140	2739	7,0
1024,000	6	15	50,3	516	114	1582	5,8
1024,500	6	15	50,5	589	100	1416	5,6
1025,000	6	15	50,6	433	126	2130	6,4
1025,500	6	15	50,1	400	152	1971	6,2
1026,000	6	15	50,4	495	138	1317	5,4
1026,500	6	15	50,3	420	130	2180	6,4
1027,000	6	15	50,5	321	203	2258	6,5
1027,500	6	15	50,9	316	245	1736	6,0
1028,000	6	15	50,4	396	129	2628	6,9
1028,500	6	15	50,8	257	261	2433	6,7
1029,000	6	15	50,7	254	285	2332	6,6
1029,500	6	15	50,6	351	160	2648	6,9
1030,000	6	15	50,5	443	135	1825	6,1
1030,500	6	15	50,6	325	186	2266	6,5
1031,000	6	15	50,5	407	159	1616	5,8
1031,500	6	15	50,7	283	237	2095	6,4
1032,000	6	15	50,8	404	148	1775	6,0
1032,500	6	15	51,2	395	195	1246	5,3
1033,000	6	15	50,7	604	111	1088	5,1
1033,500	6	15	50,9	400	154	1830	6,1
1034,000	6	15	50,8	682	85	1133	5,2
1034,500	6	15	50,6	431	88	3896	7,8
1035,000	6	15	51,1	502	122	1410	5,6
1035,500	6	15	51,1	198	211	7743	9,8
1036,000	6	15	51,5	160	515	2769	7,0
1036,500	6	15	51,5	251	330	1793	6,0
1037,000	6	15	51,2	447	137	1608	5,8
1037,500	6	15	50,9	694	98	915	4,8
1038,000	6	15	50,9	545	126	1123	5,2
1038,500	6	15	51,3	339	221	1623	5,8
1039,000	6	15	50,7	489	117	1693	5,9
1039,500	6	15	51,1	276	235	2504	6,7
1040,000	6	15	50,7	515	101	1889	6,1
1040,500	6	15	50,9	388	175	1611	5,8
1041,000	6	15	50,8	333	166	2576	6,8
1041,500	6	15	50,9	362	153	2402	6,7
1042,000	6	15	50,8	622	118	809	4,6
1042,500	6	15	50,6	618	105	1071	5,1
1043,000	6	15	51,1	598	103	1253	5,4
1043,500	6	15	51,2	382	141	2545	6,8



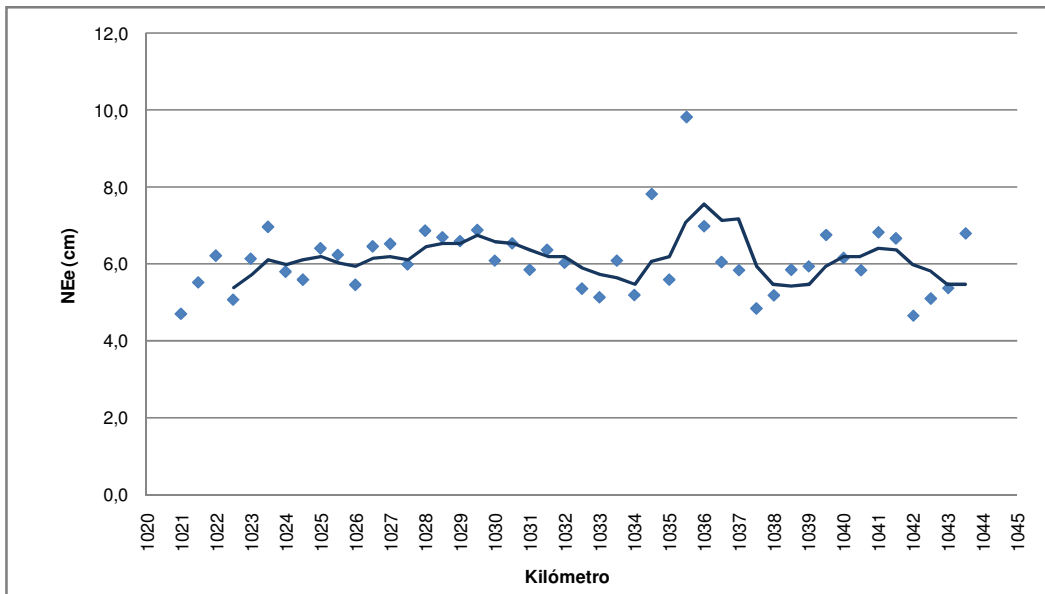
**Fig. E. 9. Deflexión Máxima 2001 / Pista 1**



**Fig. E. 10. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2001 / Pista 1**



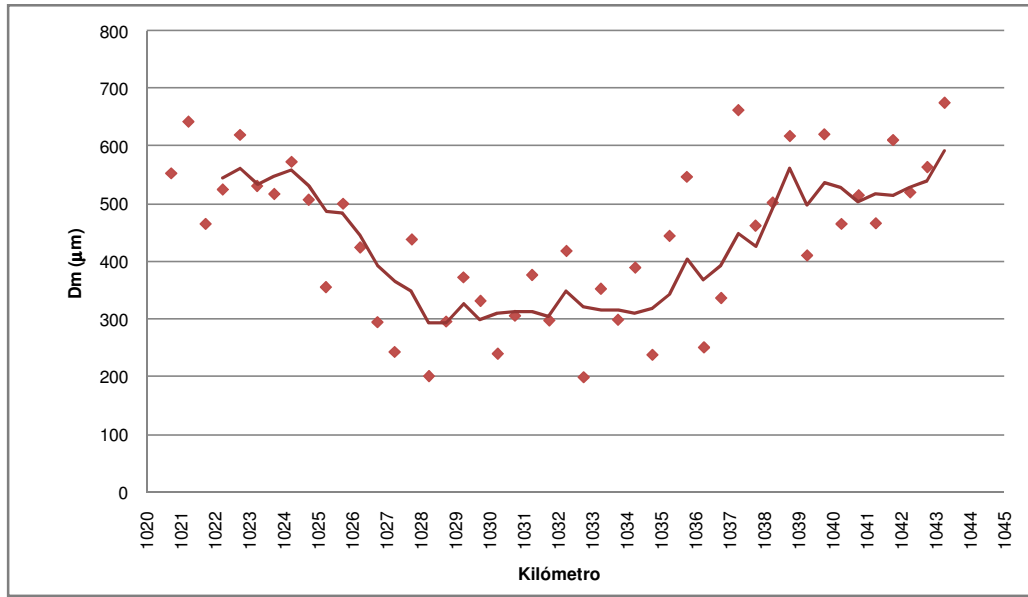
**Fig. E. 11. Módulo del Pavimento 2001 / Pista 1**



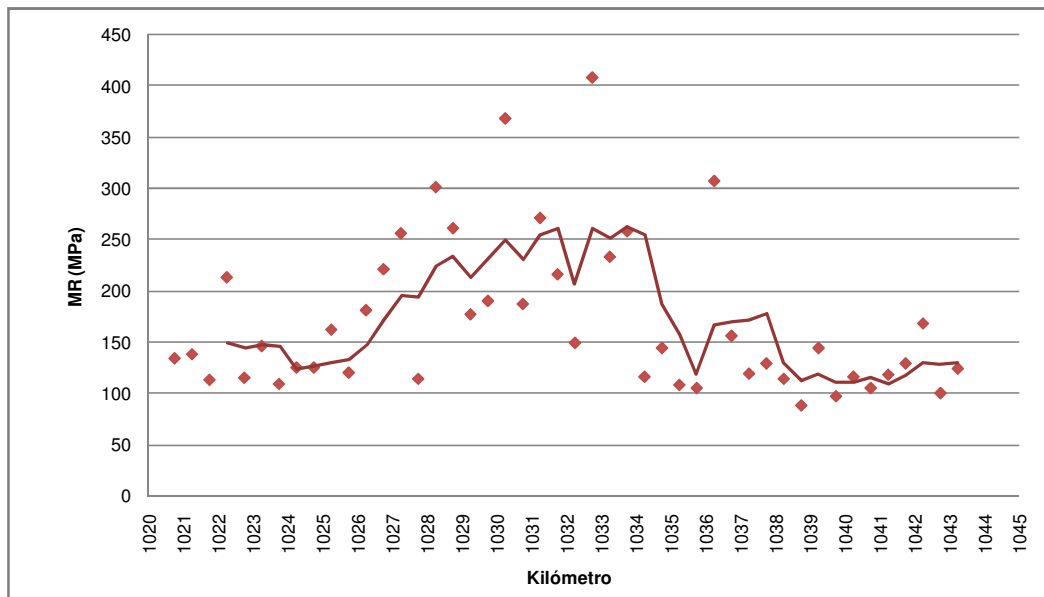
**Fig. E. 12. Número Estructural Efectivo 2001 / Pista 1**

Tabla E. 4. Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Agosto 2001

km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (kN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1020,750	6	15	50,4	554	134	858	4,7
1021,250	6	15	50,2	644	138	556	4,1
1021,750	6	15	50,0	466	113	1673	5,9
1022,250	6	15	51,3	526	213	508	4,0
1022,750	6	15	50,6	621	115	793	4,6
1023,250	6	15	50,2	532	146	833	4,7
1023,750	6	15	50,6	518	109	1386	5,5
1024,250	6	15	50,7	574	125	887	4,8
1024,750	6	15	50,8	508	125	1192	5,3
1025,250	6	15	50,9	356	162	2098	6,4
1025,750	6	15	51,1	501	120	1390	5,5
1026,250	6	15	51,0	425	181	1081	5,1
1026,750	6	15	51,0	295	221	2006	6,3
1027,250	6	15	51,4	243	256	2684	6,9
1027,750	6	15	50,7	439	114	2097	6,4
1028,250	6	15	51,3	201	301	3343	7,4
1028,750	6	15	51,3	296	261	1502	5,7
1029,250	6	15	51,1	373	177	1597	5,8
1029,750	6	15	50,9	332	190	1929	6,2
1030,250	6	15	51,1	240	368	1608	5,8
1030,750	6	15	50,8	306	187	2456	6,7
1031,250	6	15	50,9	377	271	839	4,7
1031,750	6	15	50,7	298	216	1982	6,2
1032,250	6	15	50,2	419	149	1518	5,7
1032,750	6	15	51,0	199	408	2133	6,4
1033,250	6	15	50,6	353	233	1239	5,3
1033,750	6	15	50,7	299	258	1564	5,8
1034,250	6	15	50,4	390	116	2974	7,1
1034,750	6	15	50,6	238	144	7898	9,9
1035,250	6	15	50,0	445	108	2207	6,5
1035,750	6	15	50,7	548	105	1360	5,5
1036,250	6	15	51,0	251	307	1870	6,1
1036,750	6	15	50,7	337	156	2497	6,7
1037,250	6	15	50,1	664	119	682	4,4
1037,750	6	15	50,2	463	129	1479	5,7
1038,250	6	15	50,2	503	114	1479	5,7
1038,750	6	15	49,6	619	88	1373	5,5
1039,250	6	15	50,1	411	144	1759	6,0
1039,750	6	15	49,8	622	97	1153	5,2
1040,250	6	15	50,2	466	116	1775	6,0
1040,750	6	15	50,4	516	105	1667	5,9
1041,250	6	15	50,2	467	118	1800	6,0
1041,750	6	15	50,4	612	129	753	4,5
1042,250	6	15	50,7	521	168	781	4,6
1042,750	6	15	50,5	565	100	1484	5,7
1043,250	6	15	50,2	677	124	650	4,3

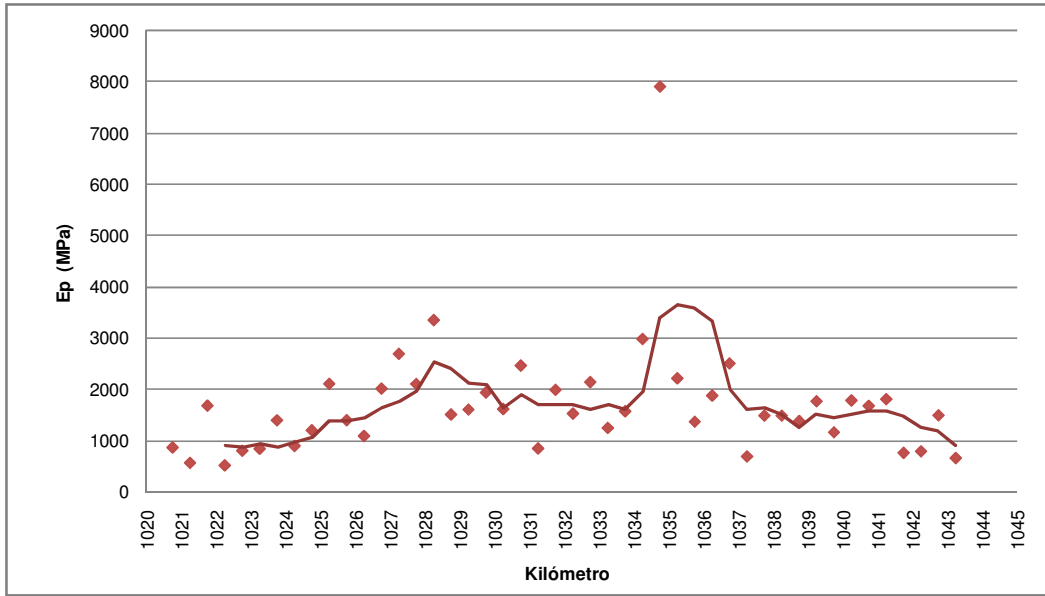


**Fig. E. 13. Deflexión Máxima 2001 / Pista 2**

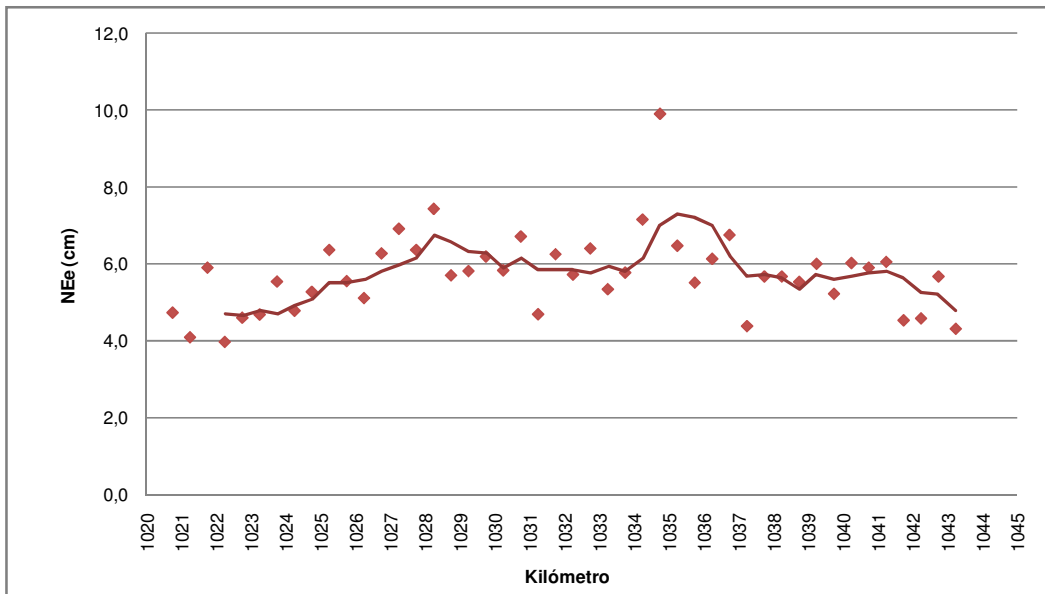


**Fig. E. 14. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2001 / Pista 2**





**Fig. E. 15. Módulo del Pavimento 2001 / Pista 2**



**Fig. E. 16. Número Estructural Efectivo 2001 / Pista 2**

▪ **Retroanálisis Deflexiones Abril 2004**

**Tabla E. 5. Retroanálisis AASHTO/ Pista 1/ Abril 2004**

km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (kN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,020	0	60	48,0	656	295	234	8,7
1021,103	0	60	47,8	487	210	362	10,1
1021,203	0	60	47,8	484	324	330	9,8
1021,306	0	60	47,7	747	147	232	8,7
1021,397	0	60	47,6	525	276	309	9,6
1021,506	0	60	47,3	600	175	292	9,4
1021,607	0	60	47,4	486	246	349	10,0
1021,708	0	60	47,2	443	266	384	10,3
1021,809	0	60	47,0	528	168	349	10,0
1021,907	0	60	47,6	345	307	508	11,3
1022,006	0	60	47,8	481	182	384	10,3
1022,105	0	60	47,4	420	200	446	10,8
1022,206	0	60	47,8	413	290	410	10,5
1022,305	0	60	47,3	683	148	260	9,1
1022,406	0	60	47,2	492	201	363	10,1
1022,506	0	60	47,6	489	198	366	10,2
1022,603	0	60	47,4	622	139	298	9,5
1022,706	0	60	47,4	399	215	466	11,0
1022,809	0	60	47,4	408	200	463	11,0
1022,910	0	60	47,5	394	186	498	11,2
1023,012	0	60	47,3	444	152	455	10,9
1023,112	0	60	47,3	425	193	444	10,8
1023,210	0	60	47,4	522	228	325	9,8
1023,300	0	60	47,1	499	156	385	10,3
1023,405	0	60	47,3	545	154	343	9,9
1023,503	0	60	47,2	505	153	380	10,3
1023,604	0	60	47,6	401	200	473	11,1
1023,704	0	60	47,3	474	175	397	10,4
1023,803	0	60	47,4	439	163	450	10,9
1023,902	0	60	47,3	497	159	384	10,3
1024,007	0	60	47,1	445	179	428	10,7
1024,106	0	60	46,9	538	169	339	9,9
1024,217	0	60	46,9	526	184	341	9,9
1024,308	0	60	47,0	524	162	356	10,1
1024,406	0	60	47,3	428	193	440	10,8
1024,500	0	60	47,1	406	198	468	11,0
1024,600	0	60	47,6	428	178	453	10,9
1024,700	0	60	47,3	390	191	500	11,3
1024,799	0	60	47,4	383	200	504	11,3
1024,900	0	60	47,2	394	201	484	11,1
1025,001	0	60	47,1	401	214	463	11,0
1025,098	0	60	47,3	449	184	419	10,6
1025,199	0	60	47,1	501	144	394	10,4
1025,302	0	60	47,2	505	161	374	10,2
1025,403	0	60	47,2	394	217	472	11,1
1025,502	0	60	47,0	424	190	447	10,9
1025,602	0	60	47,2	329	242	578	11,8
1025,702	0	60	47,4	466	190	395	10,4
1025,792	0	60	47,0	480	192	379	10,3
1025,893	0	60	47,0	389	247	461	11,0
1026,014	0	60	47,5	478	211	371	10,2
1026,105	0	60	47,6	356	445	447	10,9

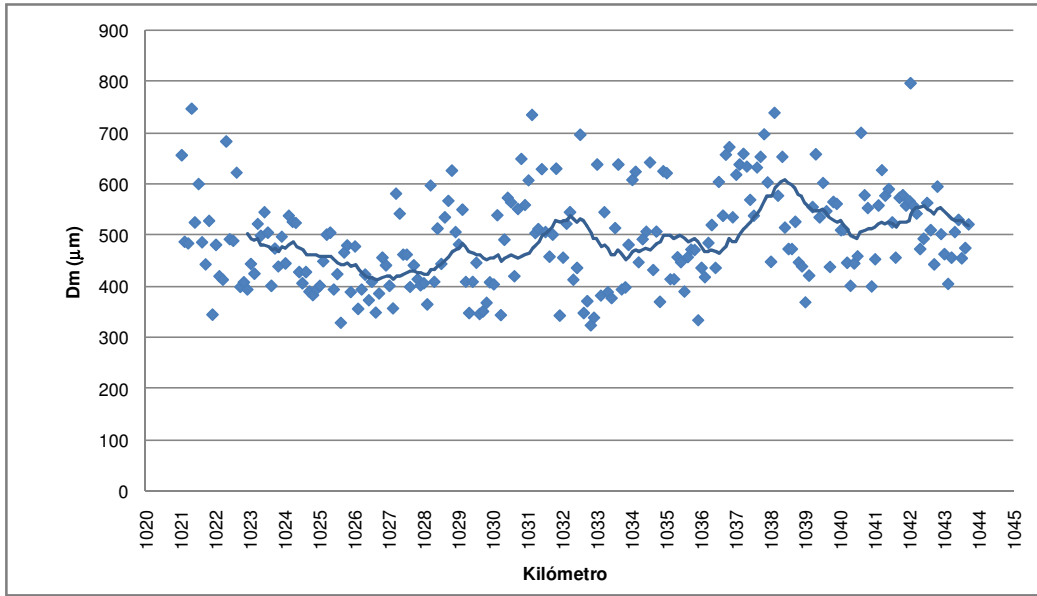
## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

1026,204	0	60	46,8	394	373	410	10,5
1026,306	0	60	47,1	423	269	406	10,5
1026,411	0	60	47,0	373	258	481	11,1
1026,502	0	60	47,0	409	232	442	10,8
1026,609	0	60	47,6	349	359	481	11,1
1026,706	0	60	47,4	386	267	456	10,9
1026,806	0	60	47,1	456	233	383	10,3
1026,906	0	60	47,2	441	350	364	10,1
1027,005	0	60	46,8	401	384	400	10,5
1027,110	0	60	47,4	357	588	425	10,7
1027,196	0	60	47,1	581	126	338	9,9
1027,304	0	60	46,7	542	162	341	9,9
1027,403	0	60	47,4	462	169	415	10,6
1027,503	0	60	47,2	462	215	386	10,3
1027,600	0	60	46,8	399	293	428	10,7
1027,708	0	60	46,8	441	288	379	10,3
1027,817	0	60	46,7	414	267	417	10,6
1027,904	0	60	46,8	402	223	457	10,9
1027,998	0	60	47,2	406	290	419	10,6
1028,095	0	60	47,4	365	562	416	10,6
1028,191	0	60	47,4	597	240	272	9,2
1028,297	0	60	47,9	409	440	380	10,3
1028,392	0	60	46,8	513	367	301	9,5
1028,500	0	60	47,2	444	266	383	10,3
1028,601	0	60	47,1	535	303	296	9,5
1028,704	0	60	47,0	567	272	282	9,3
1028,803	0	60	47,4	626	223	262	9,1
1028,911	0	60	47,3	506	234	336	9,9
1029,003	0	60	47,2	482	215	365	10,1
1029,108	0	60	47,2	550	340	281	9,3
1029,207	0	60	47,3	409	282	418	10,6
1029,303	0	60	47,4	348	287	511	11,3
1029,407	0	60	47,2	409	217	450	10,9
1029,511	0	60	47,0	446	241	391	10,4
1029,604	0	60	46,9	346	544	445	10,8
1029,703	0	60	47,3	351	378	471	11,0
1029,807	0	60	46,9	368	347	454	10,9
1029,898	0	60	47,3	408	278	421	10,6
1030,013	0	60	47,5	404	244	442	10,8
1030,116	0	60	47,1	539	326	289	9,4
1030,218	0	60	47,2	344	559	446	10,8
1030,316	0	60	47,4	491	206	361	10,1
1030,415	0	60	47,5	573	216	294	9,4
1030,515	0	60	47,6	564	176	316	9,7
1030,607	0	60	47,4	420	220	433	10,7
1030,709	0	60	47,4	551	301	287	9,4
1030,805	0	60	47,4	649	294	237	8,8
1030,913	0	60	47,0	559	275	287	9,4
1031,015	0	60	46,9	607	263	262	9,1
1031,115	0	60	47,2	735	175	227	8,7
1031,210	0	60	47,4	504	190	357	10,1
1031,297	0	60	47,3	512	195	348	10,0
1031,398	0	60	47,2	629	140	293	9,4
1031,502	0	60	47,5	506	178	362	10,1
1031,616	0	60	47,6	458	241	378	10,3
1031,710	0	60	47,7	501	205	352	10,0
1031,813	0	60	47,3	630	149	287	9,4
1031,913	0	60	47,7	343	360	491	11,2
1032,011	0	60	47,1	456	230	384	10,3
1032,112	0	60	47,1	522	233	323	9,7

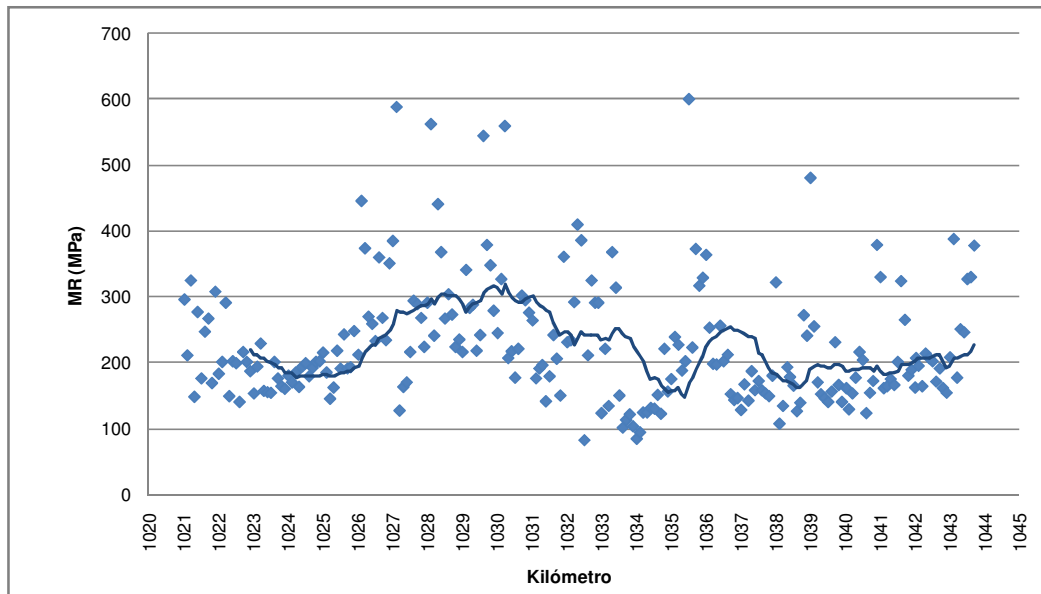
1032,210	0	60	47,4	545	291	292	9,4
1032,305	0	60	47,5	413	409	381	10,3
1032,413	0	60	47,6	436	385	361	10,1
1032,503	0	60	47,1	696	81	312	9,6
1032,605	0	60	47,8	348	210	563	11,7
1032,709	0	60	47,8	371	324	456	10,9
1032,809	0	60	47,9	324	290	559	11,7
1032,900	0	60	47,9	339	290	526	11,5
1032,994	0	60	47,4	638	122	301	9,5
1033,099	0	60	47,2	382	220	490	11,2
1033,200	0	60	47,5	545	133	361	10,1
1033,301	0	60	47,7	389	367	419	10,6
1033,406	0	60	47,8	377	313	452	10,9
1033,507	0	60	46,6	514	149	375	10,2
1033,604	0	60	47,1	638	100	323	9,7
1033,700	0	60	47,5	394	112	619	12,1
1033,805	0	60	47,1	398	120	589	11,9
1033,898	0	60	46,9	481	102	482	11,1
1034,005	0	60	47,4	608	83	376	10,2
1034,098	0	60	48,6	624	93	343	9,9
1034,188	0	60	47,9	447	123	492	11,2
1034,304	0	60	48,3	492	123	429	10,7
1034,408	0	60	47,8	507	130	402	10,5
1034,514	0	60	47,8	642	129	293	9,4
1034,607	0	60	47,8	432	150	475	11,1
1034,700	0	60	48,0	507	121	413	10,6
1034,800	0	60	47,8	370	220	511	11,3
1034,898	0	60	48,1	625	155	287	9,4
1034,998	0	60	47,8	621	174	280	9,3
1035,102	0	60	48,1	414	238	432	10,7
1035,205	0	60	48,1	414	226	438	10,8
1035,306	0	60	48,2	457	187	407	10,5
1035,404	0	60	48,2	447	201	410	10,5
1035,506	0	60	48,4	390	600	381	10,3
1035,602	0	60	48,2	457	222	387	10,3
1035,701	0	60	48,1	472	372	331	9,8
1035,802	0	60	48,0	471	316	343	9,9
1035,904	0	60	47,5	334	328	520	11,4
1036,000	0	60	47,0	436	363	365	10,1
1036,096	0	60	47,3	418	252	420	10,6
1036,198	0	60	47,3	485	197	371	10,2
1036,298	0	60	47,6	520	196	340	9,9
1036,403	0	60	47,2	436	255	396	10,4
1036,500	0	60	47,3	604	201	280	9,3
1036,620	0	60	47,5	538	211	319	9,7
1036,704	0	60	47,2	657	151	271	9,2
1036,803	0	60	47,0	672	142	268	9,1
1036,900	0	60	47,4	535	145	360	10,1
1037,002	0	60	46,9	618	127	310	9,6
1037,097	0	60	47,2	638	166	275	9,2
1037,211	0	60	47,6	659	141	276	9,2
1037,307	0	60	47,5	634	186	268	9,2
1037,400	0	60	47,4	569	157	323	9,7
1037,508	0	60	47,5	538	171	338	9,9
1037,601	0	60	47,4	632	157	282	9,3
1037,703	0	60	47,2	653	152	273	9,2
1037,805	0	60	47,1	697	148	252	9,0
1037,904	0	60	47,4	603	179	289	9,4
1038,004	0	60	47,5	448	321	362	10,1
1038,103	0	60	46,7	739	106	260	9,1

## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

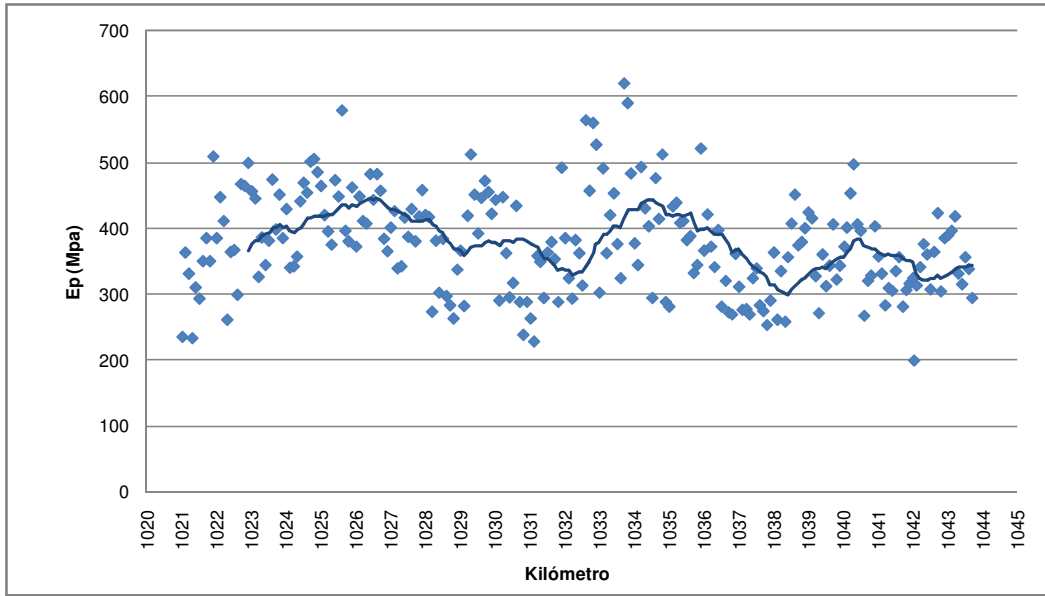
1038,205	0	60	47,2	577	133	334	9,8
1038,329	0	60	47,0	653	192	257	9,0
1038,403	0	60	47,3	515	177	355	10,0
1038,509	0	60	47,7	473	164	406	10,5
1038,605	0	60	47,5	473	125	450	10,9
1038,702	0	60	47,4	526	138	373	10,2
1038,800	0	60	47,4	447	271	378	10,3
1038,896	0	60	47,4	439	240	399	10,4
1038,993	0	60	47,7	369	480	423	10,6
1039,098	0	60	47,7	421	254	414	10,6
1039,202	0	60	47,8	555	169	326	9,8
1039,294	0	60	47,7	658	151	270	9,2
1039,402	0	60	47,0	535	145	359	10,1
1039,502	0	60	47,0	602	139	311	9,6
1039,603	0	60	47,2	547	155	342	9,9
1039,702	0	60	47,2	438	230	405	10,5
1039,801	0	60	47,5	565	165	321	9,7
1039,898	0	60	47,3	561	139	342	9,9
1040,024	0	60	46,9	510	160	371	10,2
1040,098	0	60	47,2	511	128	400	10,5
1040,199	0	60	47,3	446	152	452	10,9
1040,293	0	60	47,4	401	176	496	11,2
1040,402	0	60	47,8	445	215	405	10,5
1040,497	0	60	47,7	459	203	395	10,4
1040,598	0	60	47,0	700	122	266	9,1
1040,701	0	60	47,4	578	153	319	9,7
1040,793	0	60	47,4	553	171	327	9,8
1040,903	0	60	47,5	400	378	402	10,5
1041,004	0	60	47,5	453	329	356	10,1
1041,101	0	60	47,5	558	160	330	9,8
1041,197	0	60	47,4	627	163	282	9,3
1041,297	0	60	47,0	577	174	308	9,6
1041,399	0	60	47,3	590	165	304	9,5
1041,500	0	60	47,4	525	200	334	9,8
1041,595	0	60	47,3	456	323	355	10,0
1041,704	0	60	47,1	573	264	280	9,3
1041,804	0	60	47,0	578	179	305	9,6
1041,895	0	60	46,9	558	188	315	9,7
1042,000	0	60	47,0	566	161	323	9,7
1042,025	0	60	47,4	797	206	198	8,3
1042,098	0	60	48,0	558	194	312	9,6
1042,201	0	60	47,3	542	163	340	9,9
1042,300	0	60	47,4	473	213	375	10,2
1042,401	0	60	47,4	493	206	359	10,1
1042,500	0	60	47,7	563	201	306	9,6
1042,603	0	60	47,7	510	170	363	10,1
1042,705	0	60	47,6	443	190	422	10,6
1042,797	0	60	47,2	595	160	303	9,5
1042,904	0	60	47,2	502	153	384	10,3
1043,002	0	60	47,2	463	207	388	10,4
1043,107	0	60	47,2	405	387	395	10,4
1043,204	0	60	47,5	456	176	417	10,6
1043,300	0	60	46,9	506	250	330	9,8
1043,408	0	60	47,2	530	245	314	9,6
1043,500	0	60	47,0	455	326	355	10,0
1043,599	0	60	47,5	475	329	337	9,9
1043,696	0	60	46,7	521	377	293	9,4



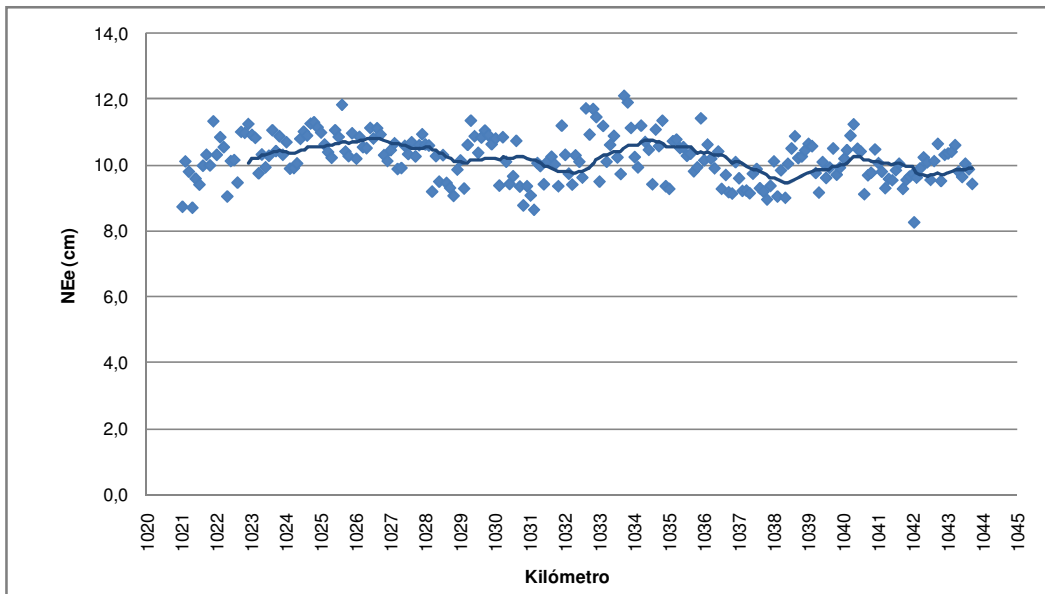
**Fig. E. 17. Deflexión Máxima 2004 / Pista 1**



**Fig. E. 18. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2004 / Pista 1**



**Fig. E. 19. Módulo del Pavimento 2004 / Pista 1**



**Fig. E. 20. Número Estructural Efectivo 2004 / Pista 1**

Tabla E. 6. Retroanálisis AASHTO/ Pista 2/ Abril 2004

km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (kN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,004	0	60	46,8	745	170	225	8,6
1021,086	0	60	47,3	443	263	385	10,3
1021,195	0	60	46,9	622	266	254	9,0
1021,297	0	60	47,2	572	178	309	9,6
1021,389	0	60	47,4	407	372	395	10,4
1021,490	0	60	47,2	571	203	299	9,5
1021,590	0	60	47,5	564	221	298	9,5
1021,698	0	60	47,9	461	304	354	10,0
1021,800	0	60	47,5	524	268	312	9,6
1021,897	0	60	48,1	357	356	469	11,0
1022,003	0	60	47,4	569	195	304	9,5
1022,105	0	60	47,9	506	246	332	9,8
1022,198	0	60	47,8	502	230	341	9,9
1022,297	0	60	47,4	628	157	285	9,3
1022,397	0	60	47,5	497	200	358	10,1
1022,497	0	60	47,6	577	166	312	9,6
1022,599	0	60	47,8	627	138	296	9,5
1022,699	0	60	48,0	524	163	356	10,1
1022,799	0	60	47,2	569	139	336	9,9
1022,906	0	60	47,9	523	142	373	10,2
1023,002	0	60	48,0	498	170	375	10,2
1023,101	0	60	47,7	506	178	362	10,1
1023,201	0	60	48,2	493	247	343	9,9
1023,300	0	60	47,9	474	168	402	10,5
1023,404	0	60	48,1	451	183	417	10,6
1023,505	0	60	47,4	565	162	322	9,7
1023,596	0	60	47,4	468	206	383	10,3
1023,696	0	60	47,6	462	180	407	10,5
1023,802	0	60	47,8	513	230	332	9,8
1023,892	0	60	48,1	509	180	358	10,1
1024,000	0	60	47,6	474	194	384	10,3
1024,106	0	60	47,9	388	220	479	11,1
1024,196	0	60	48,0	409	200	461	11,0
1024,302	0	60	47,9	460	177	410	10,5
1024,401	0	60	47,3	433	191	434	10,7
1024,501	0	60	47,5	375	178	541	11,6
1024,583	0	60	47,8	423	225	427	10,7
1024,703	0	60	47,5	393	241	460	11,0
1024,795	0	60	47,7	442	182	429	10,7
1024,899	0	60	48,0	391	200	491	11,2
1025,004	0	60	47,6	433	196	431	10,7
1025,102	0	60	47,8	383	172	532	11,5
1025,193	0	60	47,5	459	186	406	10,5
1025,295	0	60	47,8	570	166	317	9,7
1025,392	0	60	48,0	444	211	408	10,5
1025,482	0	60	47,5	429	244	409	10,5
1025,599	0	60	47,8	386	242	470	11,0
1025,699	0	60	48,2	366	268	488	11,2
1025,788	0	60	47,6	437	194	427	10,7
1025,901	0	60	47,7	470	224	373	10,2
1025,990	0	60	47,3	456	231	385	10,3
1026,100	0	60	47,7	510	358	304	9,5
1026,210	0	60	47,4	454	253	378	10,3
1026,306	0	60	47,4	410	401	385	10,3
1026,401	0	60	47,8	438	269	388	10,4
1026,508	0	60	47,8	395	330	420	10,6



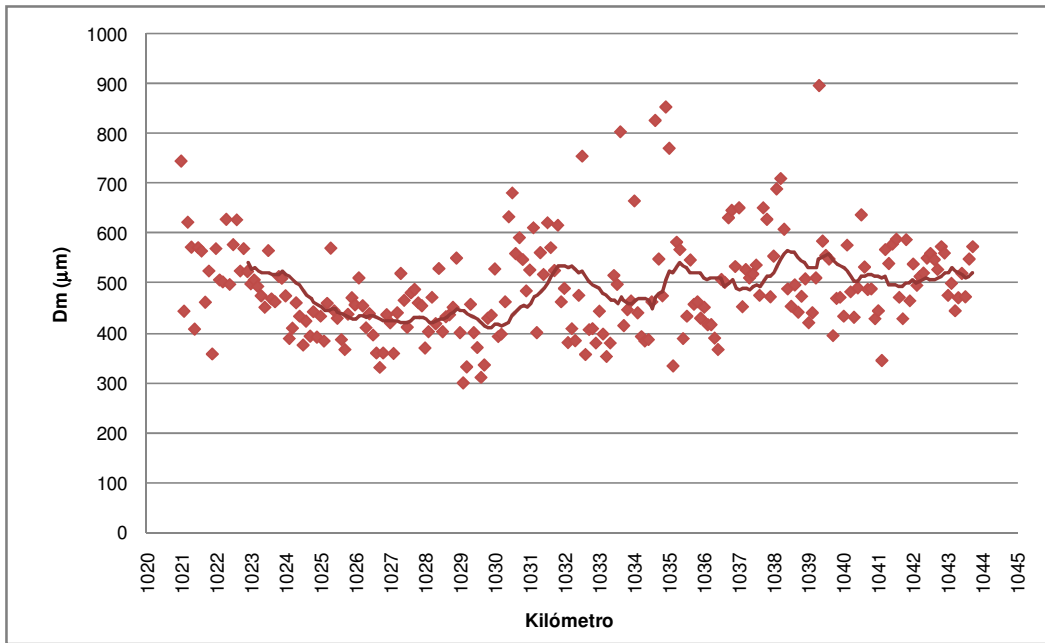
## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

1026,606	0	60	47,8	359	248	512	11,4
1026,700	0	60	47,4	330	395	503	11,3
1026,797	0	60	47,1	359	277	496	11,2
1026,899	0	60	47,6	436	875	321	9,7
1027,000	0	60	47,4	420	1149	325	9,8
1027,095	0	60	47,7	358	1211	385	10,3
1027,203	0	60	47,2	440	220	408	10,5
1027,303	0	60	47,4	519	155	366	10,1
1027,399	0	60	47,6	465	135	446	10,8
1027,487	0	60	47,5	411	226	442	10,8
1027,597	0	60	47,8	480	273	346	10,0
1027,698	0	60	47,8	487	345	323	9,7
1027,801	0	60	47,8	460	281	362	10,1
1027,905	0	60	47,7	454	480	332	9,8
1027,996	0	60	47,4	369	444	429	10,7
1028,095	0	60	47,8	402	319	415	10,6
1028,196	0	60	47,2	471	222	372	10,2
1028,304	0	60	47,7	418	239	425	10,7
1028,396	0	60	47,5	529	429	282	9,3
1028,501	0	60	47,6	402	224	455	10,9
1028,597	0	60	47,7	432	258	400	10,5
1028,700	0	60	47,8	436	245	400	10,5
1028,801	0	60	47,1	451	198	407	10,5
1028,900	0	60	47,6	550	185	321	9,7
1029,003	0	60	47,8	400	242	449	10,9
1029,093	0	60	47,5	299	844	492	11,2
1029,192	0	60	47,3	331	321	529	11,5
1029,302	0	60	47,8	457	266	370	10,2
1029,397	0	60	47,7	400	341	411	10,5
1029,493	0	60	47,7	370	374	443	10,8
1029,603	0	60	48,0	310	853	471	11,0
1029,697	0	60	47,4	335	815	434	10,7
1029,795	0	60	47,4	429	843	327	9,8
1029,898	0	60	47,8	435	324	375	10,2
1029,997	0	60	47,7	528	193	335	9,9
1030,096	0	60	47,3	392	388	410	10,5
1030,188	0	60	47,7	397	454	391	10,4
1030,296	0	60	47,6	462	254	369	10,2
1030,399	0	60	47,3	633	199	264	9,1
1030,500	0	60	47,5	681	181	247	8,9
1030,596	0	60	47,4	559	263	289	9,4
1030,703	0	60	47,6	591	295	264	9,1
1030,798	0	60	47,0	547	343	282	9,3
1030,901	0	60	47,8	484	273	342	9,9
1031,000	0	60	47,6	526	313	300	9,5
1031,105	0	60	47,3	611	252	262	9,1
1031,201	0	60	47,5	400	497	382	10,3
1031,303	0	60	47,2	561	193	310	9,6
1031,393	0	60	46,7	517	307	308	9,6
1031,509	0	60	46,7	621	268	254	9,0
1031,602	0	60	46,8	571	193	304	9,5
1031,708	0	60	46,9	525	284	308	9,6
1031,805	0	60	46,5	616	156	292	9,4
1031,903	0	60	47,2	462	370	340	9,9
1031,993	0	60	46,9	489	172	382	10,3
1032,097	0	60	46,7	380	267	466	11,0
1032,207	0	60	46,9	408	521	370	10,2
1032,305	0	60	47,0	384	285	452	10,9
1032,405	0	60	47,2	475	255	356	10,1
1032,502	0	60	46,3	755	78	282	9,3

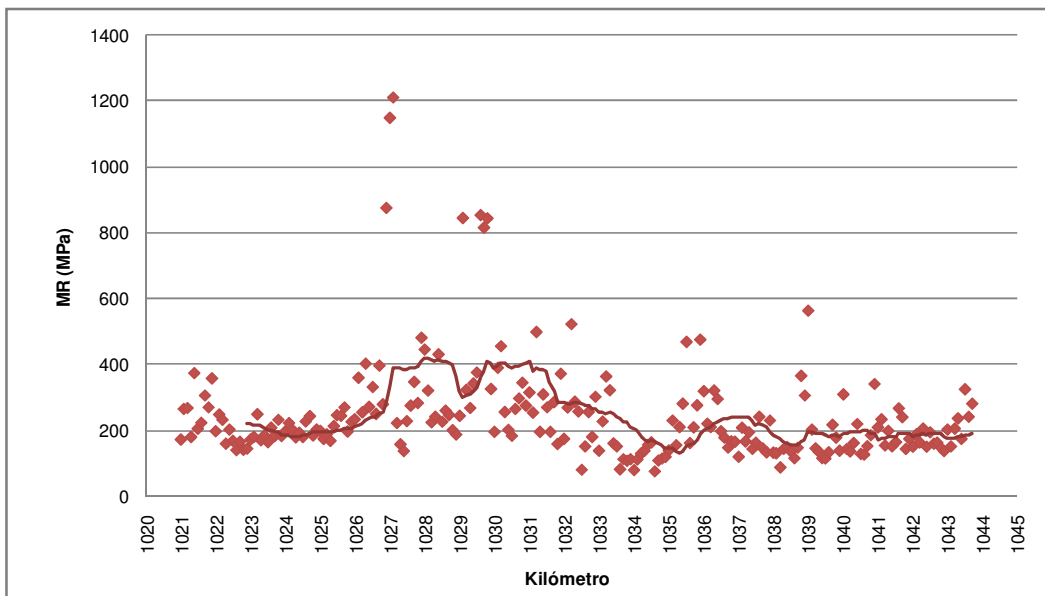
1032,599	0	60	46,9	356	149	626	12,1
1032,702	0	60	46,9	406	254	434	10,7
1032,801	0	60	47,3	408	178	481	11,1
1032,896	0	60	47,3	379	300	452	10,9
1032,996	0	60	47,0	443	136	477	11,1
1033,100	0	60	47,2	397	225	462	11,0
1033,200	0	60	47,1	352	362	474	11,1
1033,308	0	60	47,2	379	320	446	10,8
1033,412	0	60	46,7	515	158	367	10,2
1033,507	0	60	46,8	497	149	394	10,4
1033,600	0	60	46,5	804	79	256	9,0
1033,696	0	60	46,7	414	110	578	11,8
1033,802	0	60	47,0	446	105	530	11,5
1033,904	0	60	47,2	464	110	488	11,2
1034,000	0	60	47,0	665	77	340	9,9
1034,096	0	60	47,2	440	109	533	11,5
1034,203	0	60	47,3	392	127	584	11,9
1034,299	0	60	47,5	383	136	586	11,9
1034,402	0	60	47,4	386	154	550	11,6
1034,500	0	60	47,5	462	161	422	10,6
1034,596	0	60	46,2	827	73	255	9,0
1034,699	0	60	47,7	548	106	391	10,4
1034,804	0	60	47,3	474	112	472	11,0
1034,901	0	60	47,0	854	117	208	8,4
1034,998	0	60	47,1	771	137	227	8,7
1035,108	0	60	47,3	333	228	581	11,8
1035,211	0	60	47,0	582	153	316	9,7
1035,304	0	60	46,9	567	208	300	9,5
1035,399	0	60	47,4	388	279	448	10,9
1035,505	0	60	47,3	433	467	351	10,0
1035,604	0	60	46,8	546	159	340	9,9
1035,709	0	60	46,6	457	207	395	10,4
1035,808	0	60	47,2	462	274	362	10,1
1035,899	0	60	47,1	429	474	355	10,0
1036,002	0	60	47,5	451	317	361	10,1
1036,103	0	60	46,9	416	218	440	10,8
1036,201	0	60	46,9	416	208	446	10,8
1036,300	0	60	47,1	389	319	433	10,7
1036,399	0	60	46,8	366	293	476	11,1
1036,495	0	60	46,8	507	195	351	10,0
1036,594	0	60	46,6	501	176	368	10,2
1036,697	0	60	47,0	631	145	289	9,4
1036,794	0	60	46,8	646	164	271	9,2
1036,893	0	60	47,0	533	163	347	10,0
1037,000	0	60	46,6	651	117	297	9,5
1037,099	0	60	46,8	452	206	402	10,5
1037,196	0	60	46,8	527	164	352	10,0
1037,299	0	60	47,1	510	192	351	10,0
1037,395	0	60	46,4	518	141	379	10,3
1037,494	0	60	46,7	536	160	347	10,0
1037,591	0	60	47,3	475	239	362	10,1
1037,695	0	60	46,6	651	143	278	9,3
1037,800	0	60	46,5	628	131	300	9,5
1037,899	0	60	46,8	472	228	369	10,2
1037,994	0	60	46,1	554	130	356	10,1
1038,079	0	60	46,9	689	128	268	9,2
1038,197	0	60	46,4	710	85	297	9,5
1038,293	0	60	46,9	608	141	306	9,6
1038,394	0	60	47,1	488	147	404	10,5
1038,498	0	60	47,6	453	134	466	11,0

## ANEXO E. MEMORIA DE CÁLCULO

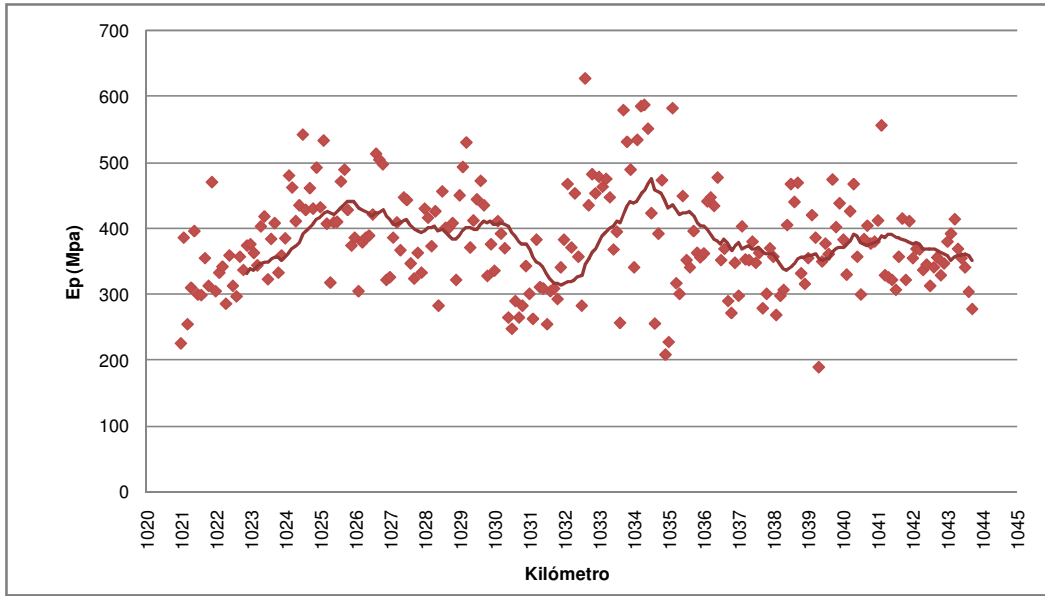
1038,600	0	60	47,0	496	113	439	10,8
1038,697	0	60	47,3	441	145	468	11,0
1038,795	0	60	47,1	473	364	331	9,8
1038,899	0	60	47,3	508	304	315	9,7
1038,998	0	60	47,4	420	562	354	10,0
1039,102	0	60	46,9	440	200	419	10,6
1039,204	0	60	46,8	510	143	385	10,3
1039,299	0	60	46,5	897	133	189	8,1
1039,395	0	60	46,6	584	113	349	10,0
1039,488	0	60	46,9	555	112	376	10,2
1039,583	0	60	46,8	548	131	360	10,1
1039,695	0	60	46,8	394	215	473	11,1
1039,796	0	60	47,2	469	176	401	10,5
1039,898	0	60	47,3	471	136	437	10,8
1040,003	0	60	47,6	433	307	382	10,3
1040,100	0	60	47,1	576	141	329	9,8
1040,200	0	60	47,4	482	134	425	10,7
1040,300	0	60	47,8	431	159	466	11,0
1040,404	0	60	47,1	490	217	356	10,1
1040,507	0	60	46,8	637	126	299	9,5
1040,599	0	60	46,8	532	124	383	10,3
1040,690	0	60	47,2	487	150	403	10,5
1040,791	0	60	47,2	488	183	376	10,2
1040,899	0	60	47,5	428	339	379	10,3
1040,995	0	60	47,0	444	207	411	10,5
1041,096	0	60	47,3	344	231	555	11,7
1041,197	0	60	47,1	567	152	328	9,8
1041,294	0	60	47,0	539	196	325	9,8
1041,401	0	60	47,2	578	149	321	9,7
1041,512	0	60	46,9	588	162	306	9,6
1041,596	0	60	47,0	471	265	356	10,1
1041,696	0	60	47,0	428	238	414	10,6
1041,796	0	60	46,8	587	141	321	9,7
1041,898	0	60	47,3	464	172	410	10,5
1041,996	0	60	46,9	538	148	354	10,0
1042,100	0	60	47,0	495	186	368	10,2
1042,188	0	60	47,0	513	161	367	10,2
1042,291	0	60	46,8	520	203	336	9,9
1042,392	0	60	47,1	550	148	344	9,9
1042,491	0	60	47,0	559	192	312	9,6
1042,599	0	60	46,7	547	157	340	9,9
1042,695	0	60	46,7	527	160	355	10,1
1042,800	0	60	46,8	573	145	328	9,8
1042,891	0	60	46,6	560	135	346	10,0
1042,992	0	60	46,5	475	200	379	10,3
1043,091	0	60	47,0	499	149	391	10,4
1043,197	0	60	47,2	444	203	413	10,6
1043,289	0	60	47,4	470	234	368	10,2
1043,389	0	60	46,9	519	172	354	10,0
1043,492	0	60	47,2	472	323	340	9,9
1043,599	0	60	46,6	548	239	303	9,5
1043,700	0	60	47,0	573	279	277	9,3



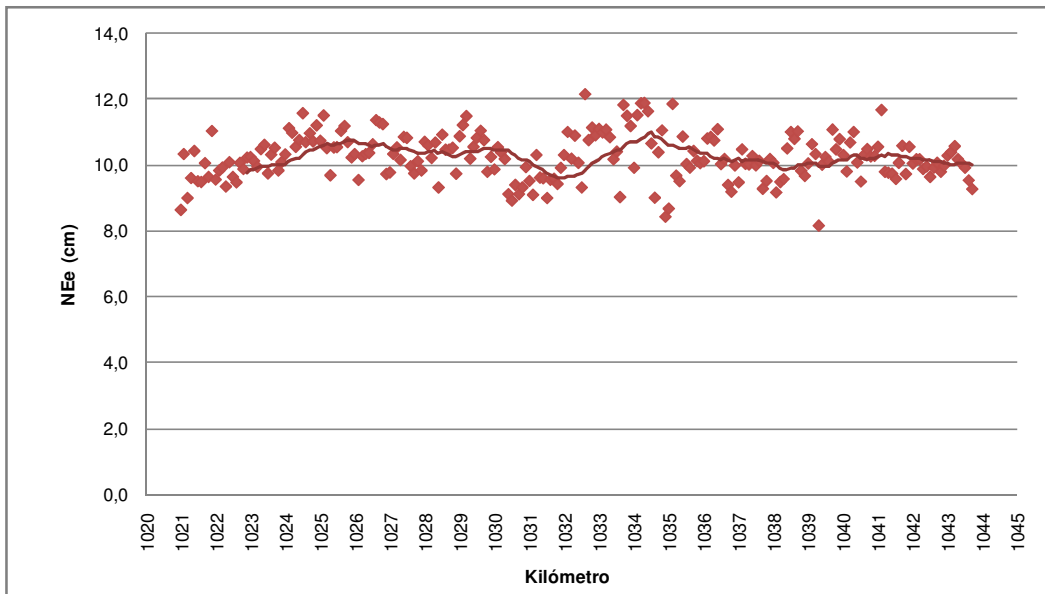
**Fig. E. 21. Deflexión Máxima 2004 / Pista 2**



**Fig. E. 22. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2004 / Pista 2**



**Fig. E. 23. Módulo del Pavimento 2004 / Pista 2**

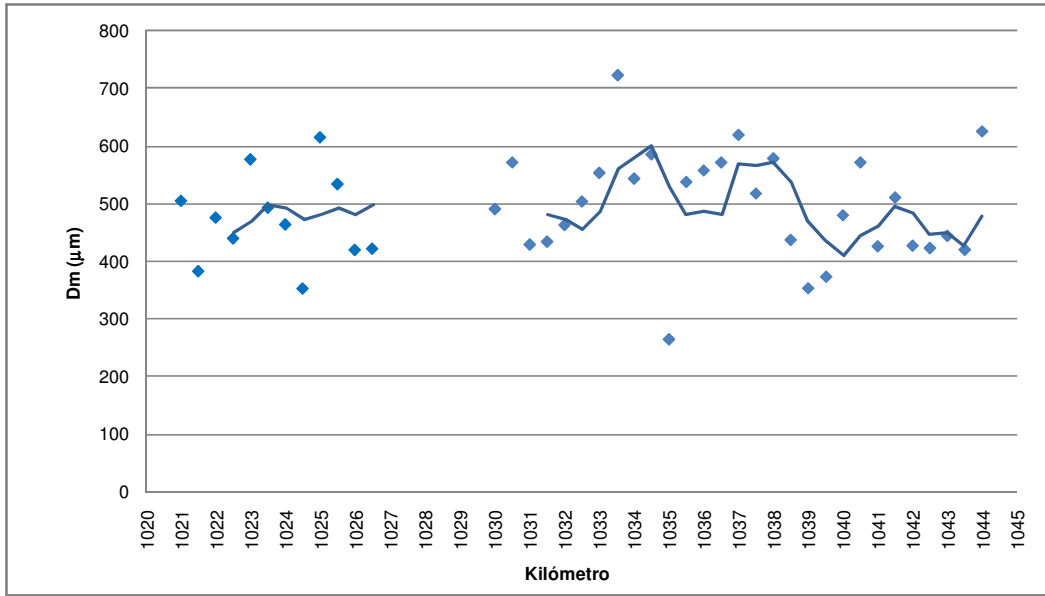


**Fig. E. 24. Número Estructural Efectivo 2004 / Pista 1**

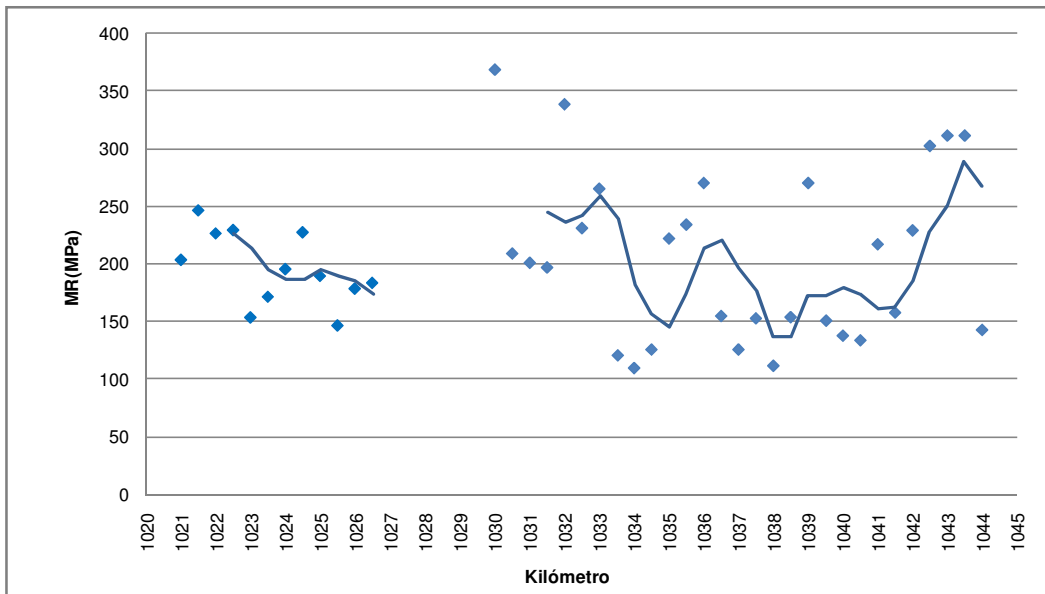
▪ **Retroanálisis Deflexiones Septiembre 2008**

**Tabla E. 7. Retroanálisis AASHTO/Pista 1/ Septiembre 2008**

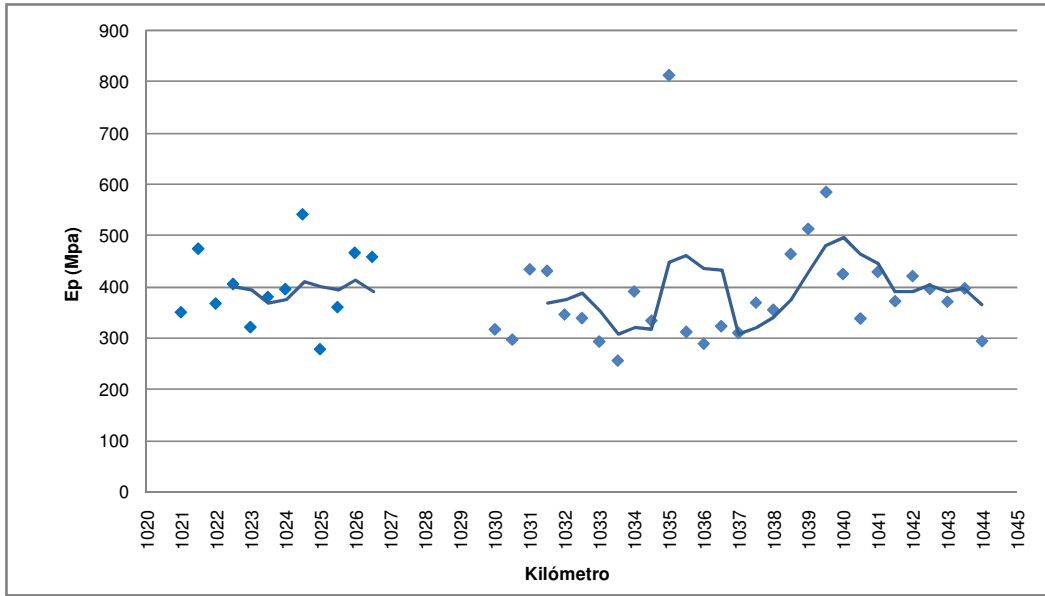
km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (kN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,000	0	60	49,7	504	203	350	10,0
1021,500	0	60	49,9	382	246	474	11,1
1022,000	0	60	49,8	475	226	367	10,2
1022,500	0	60	49,8	439	229	405	10,5
1023,000	0	60	49,6	576	153	321	9,7
1023,500	0	60	49,7	492	171	380	10,3
1024,000	0	60	49,8	463	195	395	10,4
1024,500	0	60	49,9	352	227	541	11,6
1025,000	0	60	49,6	614	189	278	9,3
1025,500	0	60	49,7	533	146	360	10,1
1026,000	0	60	49,8	419	178	466	11,0
1026,500	0	60	49,8	421	183	458	10,9
1030,000	0	60	49,7	490	368	317	9,7
1030,500	0	60	49,6	571	209	297	9,5
1031,000	0	60	49,8	428	201	434	10,7
1031,500	0	60	49,8	433	197	431	10,7
1032,000	0	60	49,8	462	338	346	10,0
1032,500	0	60	49,7	503	231	339	9,9
1033,000	0	60	49,7	553	265	293	9,4
1033,530	0	60	49,5	723	121	256	9,0
1034,000	0	60	49,7	543	110	391	10,4
1034,500	0	60	49,6	585	126	334	9,8
1035,000	0	60	50,0	263	222	813	13,2
1035,500	0	60	49,7	537	234	312	9,6
1036,000	0	60	49,7	557	270	289	9,4
1036,500	0	60	49,6	571	155	323	9,7
1037,000	0	60	49,6	619	126	310	9,6
1037,500	0	60	49,7	517	153	369	10,2
1038,000	0	60	49,6	578	112	355	10,1
1038,500	0	60	49,8	436	154	464	11,0
1039,000	0	60	49,9	352	270	513	11,4
1039,520	0	60	49,9	372	151	585	11,9
1040,000	0	60	49,8	479	138	425	10,7
1040,500	0	60	49,6	571	134	338	9,9
1041,000	0	60	49,8	425	217	429	10,7
1041,500	0	60	49,7	510	158	372	10,2
1042,000	0	60	49,8	426	229	421	10,6
1042,500	0	60	49,8	422	302	396	10,4
1043,000	0	60	49,8	443	311	371	10,2
1043,500	0	60	49,8	419	311	397	10,4
1044,000	0	60	49,6	625	143	294	9,4



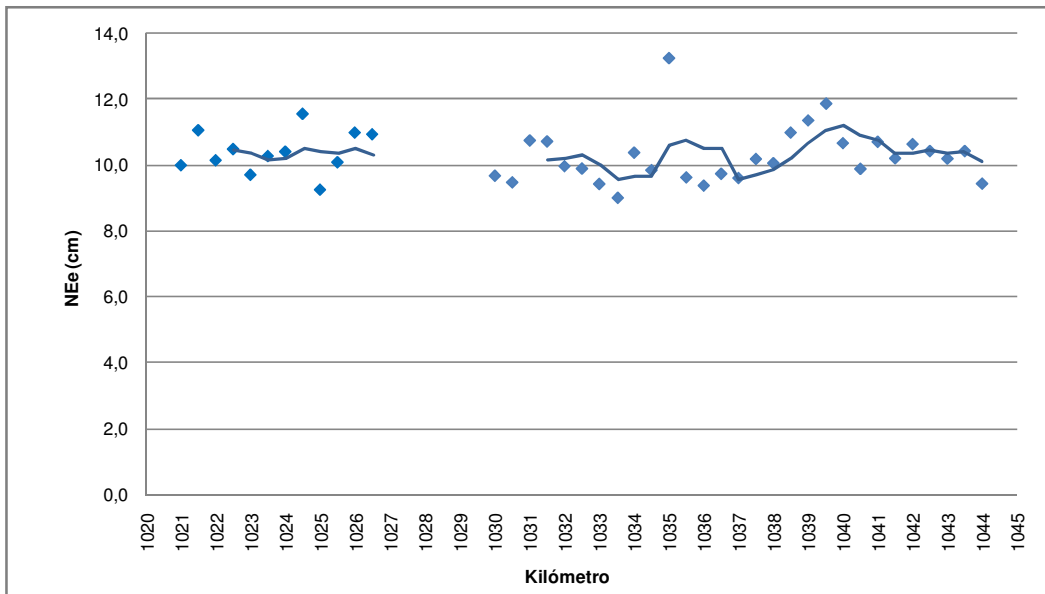
**Fig. E. 25. Deflexión Máxima 2008 / Pista 1**



**Fig. E. 26. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2008 / Pista 1**



**Fig. E. 27. Módulo del Pavimento 2008 / Pista 1**

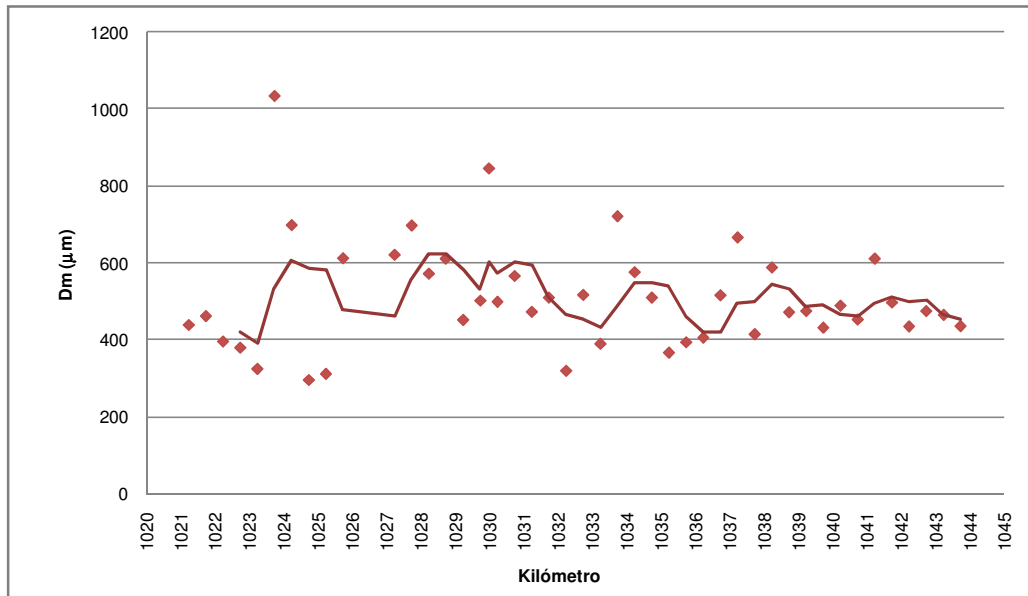


**Fig. E. 28. Número Estructural Efectivo 2008 / Pista 1**

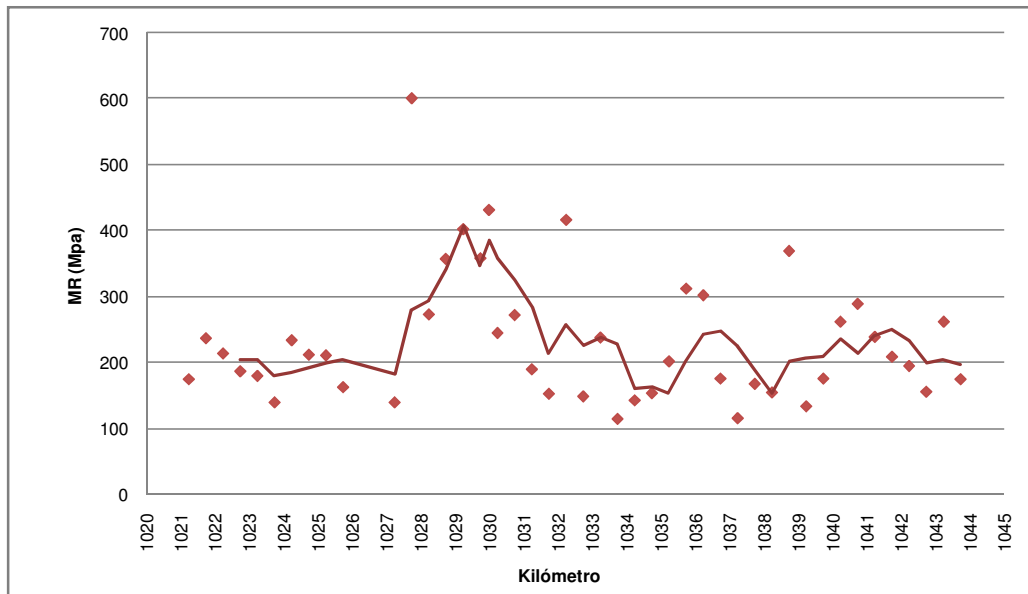


Tabla E. 8. Retroanálisis AASHTO/ Pista 2 / Septiembre 2008

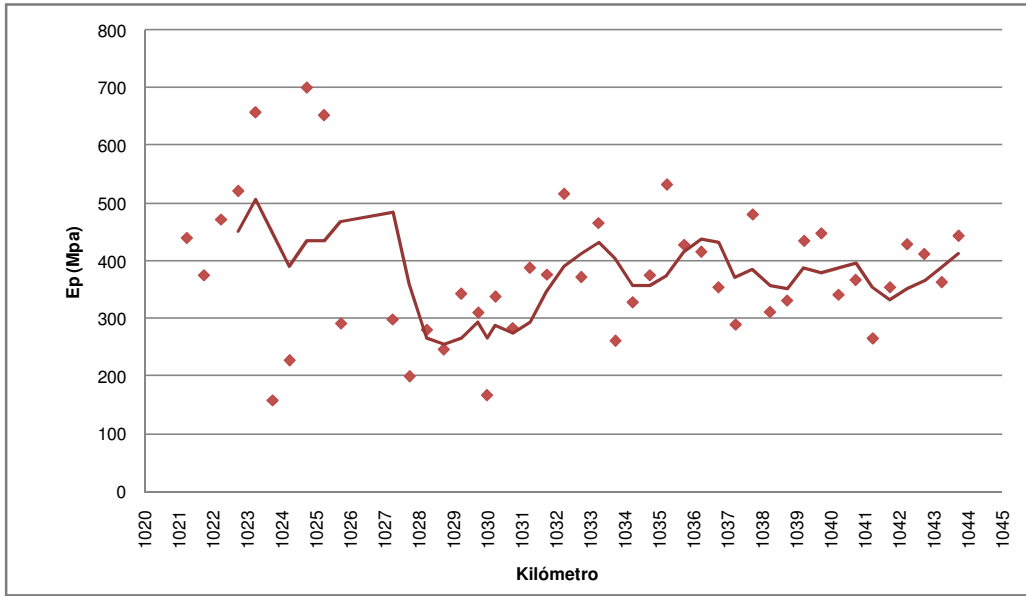
km	H1 (cm)	H2 (cm)	Cga (kN)	Dmx (mm)	MR (Mpa)	Ep (MPa)	NEef (cm)
1021,250	0	60	49,8	439	175	440	10,8
1021,750	0	60	49,8	462	237	375	10,2
1022,250	0	60	49,8	396	214	472	11,0
1022,750	0	60	49,9	380	187	522	11,4
1023,250	0	60	49,9	325	180	659	12,3
1023,750	0	60	49,1	1033	140	157	7,7
1024,250	0	60	49,5	698	234	227	8,7
1024,750	0	60	50,0	296	212	702	12,6
1025,250	0	60	49,9	312	211	654	12,3
1025,750	0	60	49,6	612	163	291	9,4
1027,250	0	60	49,6	621	140	298	9,5
1027,750	0	60	49,5	697	600	199	8,3
1028,250	0	60	49,6	572	273	280	9,3
1028,740	0	60	49,6	611	357	246	8,9
1029,250	0	60	49,8	452	402	343	9,9
1029,750	0	60	49,7	502	358	310	9,6
1030,000	0	60	49,3	845	431	166	7,8
1030,250	0	60	49,7	499	245	338	9,9
1030,750	0	60	49,7	566	272	283	9,3
1031,250	0	60	49,8	473	190	388	10,3
1031,750	0	60	49,7	510	153	376	10,2
1032,250	0	60	49,9	320	416	517	11,4
1032,750	0	60	49,7	517	149	372	10,2
1033,250	0	60	49,9	390	238	466	11,0
1033,750	0	60	49,5	721	115	261	9,1
1034,250	0	60	49,6	576	143	328	9,8
1034,750	0	60	49,7	510	154	375	10,2
1035,250	0	60	49,9	367	202	533	11,5
1035,750	0	60	49,9	394	312	428	10,7
1036,250	0	60	49,8	406	302	416	10,6
1036,750	0	60	49,7	516	176	354	10,0
1037,250	0	60	49,5	666	116	289	9,4
1037,750	0	60	49,8	415	168	481	11,1
1038,250	0	60	49,6	588	155	311	9,6
1038,750	0	60	49,8	472	369	331	9,8
1039,250	0	60	49,8	475	134	435	10,8
1039,750	0	60	49,8	432	176	448	10,9
1040,250	0	60	49,7	489	262	341	9,9
1040,750	0	60	49,8	453	289	367	10,2
1041,250	0	60	49,6	611	239	265	9,1
1041,750	0	60	49,7	497	209	354	10,0
1042,250	0	60	49,8	435	195	429	10,7
1042,750	0	60	49,8	475	156	412	10,6
1043,260	0	60	49,8	465	262	363	10,1
1043,750	0	60	49,8	436	175	444	10,8



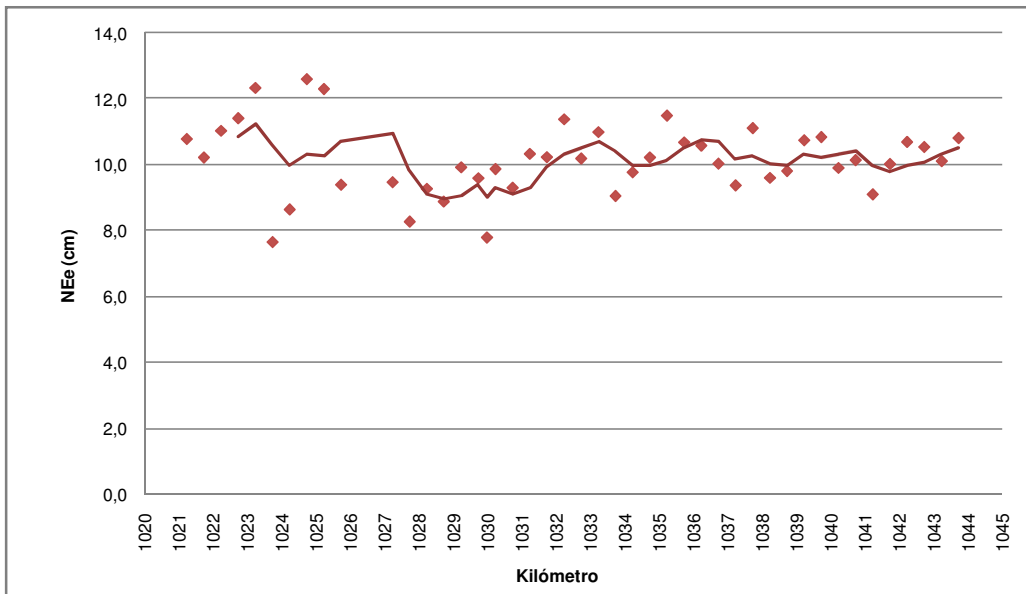
**Fig. E. 29. Deflexión Máxima 2008 / Pista 2**



**Fig. E. 30. Módulo Resiliente del Suelo de Fundación 2008 / Pista 2**



**Fig. E. 31. Módulo del Pavimento 2008 / Pista 2**



**Fig. E. 32. Número Estructural Efectivo 2008 / Pista 2**

## E.2 Regularidad Superficial

*Tabla E. 9. Evolución del IRI a través del tiempo / Pista 1*

$k_i$	$k_f$	IRI – 1998 may-98	IRI -2002	IRI-2003	IRI-2004 mar-04	IRI-2004 abr-04	IRI-2005 mar-05	IRI-2005 ago-05	IRI-2006 jul-06	IRI-2008 sep-08
1021	1022	2,6	2,5	3,1	2,3	2,3	2,3	2,2	2,3	2,2
1022	1023	2,2	2,0	2,5	2,1	2,0	1,7	2,2	1,6	1,6
1023	1024	2,5	2,3	2,5	2,1	1,9	1,9	2,2	2,0	1,9
1024	1025	2,6	1,9	2,4	2,5	2,0	1,9	2,0	1,8	1,8
1025	1026	2,3	2,5	2,9	2,1	1,9	1,7	2,1	2,1	2,1
1026	1027	2,3	1,4	1,8	2,3	2,0	2,2	2,3	2,6	2,7
1027	1028	2,2	1,5	2,0	2,4	2,4	2,3	2,6	2,7	3,0
1028	1029	2,0	1,6	1,9	2,5	2,6	2,6	2,8	3,0	3,0
1029	1030	2,5	1,6	1,9	1,9	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2
1030	1031	2,8	2,8	2,9	2,2	2,3	1,9	2,3	2,3	2,1
1031	1032	2,6	3,1	3,5	2,0	2,0	1,8	2,1	2,0	2,0
1032	1033	2,7	2,7	3,0	2,0	1,9	1,9	2,2	2,1	1,9
1033	1034	2,8	3,3	3,8	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1	2,0
1034	1035	3,5	2,3	2,8	2,2	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2
1035	1036	3,2	2,3	2,7	2,8	2,7	2,6	3,1	2,8	2,4
1036	1037	2,7	2,2	2,6	2,1	2,1	1,8	2,1	2,0	1,8
1037	1038	2,3	2,3	2,9	1,9	1,7	1,6	2,1	1,8	1,5
1038	1039	2,3	1,9	2,2	2,0	2,0	1,9	2,2	2,0	1,8
1039	1040	2,1	2,2	2,3	2,1	2,0	1,9	2,2	2,0	1,8
1040	1041	3,8	2,2	2,3	2,2	2,4	2,2	2,6	2,3	2,1
1041	1042	3,1	3,4	3,8	2,1	2,1	2,0	2,3	2,1	1,8
1042	1043	2,1	2,8	3,3	2,0	2,0	1,8	2,2	2,0	1,6
1043	1044	-	-	2,7	2,0	2,1		2,3	2,1	1,7

**Tabla E. 10. Evolución del IRI a través del tiempo / Pista 2**

k <sub>i</sub>	k <sub>f</sub>	IRI – 1998 may-98	IRI -2002	IRI-2003	IRI-2004 mar-04	IRI-2004 abr-04	IRI-2005 mar-05	IRI-2005 ago-05	IRI-2006 jul-06	IRI-2008 sep-08
1021	1022	2,8	2,7	-	2,2	2,0	-	2,2	1,8	1,9
1022	1023	2,4	2,7	-	2,3	2,1	-	2,3	2,1	1,9
1023	1024	2,1	2,6	-	1,9	1,9	-	2,1	2,0	2,0
1024	1025	1,8	2,1	-	2,2	2,2	-	2,2	2,2	2,0
1025	1026	1,7	2,5	-	1,9	1,9	-	2,1	1,9	1,9
1026	1027	1,8	1,8	-	2,1	2,1	-	2,2	2,3	2,4
1027	1028	2,2	1,7	-	2,0	2,3	-	2,9	2,9	2,6
1028	1029	2,4	1,6	-	2,2	2,2	-	2,6	2,5	2,6
1029	1030	2,0	1,7	-	1,8	1,7	-	1,9	1,9	2,2
1030	1031	1,7	2,1	-	2,0	2,1	-	2,2	2,0	1,9
1031	1032	2,4	3,0	-	2,1	2,3	-	2,2	2,1	2,2
1032	1033	2,3	2,6	-	2,3	2,4	-	2,4	2,3	2,1
1033	1034	2,3	3,4	-	2,3	2,7	-	2,3	2,3	2,2
1034	1035	2,2	2,6	-	2,1	2,4	-	2,3	2,2	-
1035	1036	2,8	2,3	-	2,5	3,0	-	2,7	2,6	-
1036	1037	2,1	2,0	-	1,8	2,2	-	1,9	1,7	-
1037	1038	1,7	2,5	-	2,1	2,2	-	2,0	1,9	-
1038	1039	1,7	2,6	-	2,2	2,2	-	2,1	1,9	-
1039	1040	2,1	2,7	-	2,3	2,5	-	2,3	2,2	2,0
1040	1041	1,8	2,3	-	2,2	2,5	-	2,3	2,3	2,0
1041	1042	2,0	2,2	-	2,4	2,4	-	2,4	2,2	1,7
1042	1043	2,1	2,4	-	2,3	2,5	-	2,1	2,1	1,7
1043	1044	2,4	3,0	-	2,2	2,4	-	2,2	1,9	2,0

### E.3 Textura Superficial

**Tabla E. 11. Macrotextura del Pavimento Septiembre 2008 / Pista 1**

km	Diámetro 1 [cm]	Diámetro 2 [cm]	Diámetro 3 [cm]	Diámetro 4 [cm]	Promedio [cm]	H eq [cm]	Observaciones	Textura
1.021,000	22,0	22,0	21,5	21,7	21,8	0,7	Sector A	media
1.021,200	24,0	24,5	24,0	24,5	24,3	0,5	Sector A	media
1.021,400	25,5	25,0	25,5	25,5	25,4	0,5	Sector A	media
1.021,600	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	0,5	Sector A	media
1.021,800	25,0	25,5	25,0	24,5	25,0	0,5	Sector A	media
1.022,000	25,5	25,5	25,5	25,0	25,4	0,5	Sector A	media
1.022,200	25,0	25,0	24,5	25,0	24,9	0,5	Sector A	media
1.022,400	24,0	24,0	24,5	24,0	24,1	0,5	Sector A	media
1.022,600	24,5	24,5	24,0	24,5	24,4	0,5	Sector A	media
1.022,800	25,0	24,5	24,5	24,5	24,6	0,5	Sector A	media
1.023,000	25,0	24,5	24,5	24,5	24,6	0,5	Sector A	media
1.032,000	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	0,6	Sector C	media
1.033,000	21,5	22,0	21,5	21,5	21,6	0,7	Sector C	media
1.034,000	21,5	22,0	21,5	21,0	21,5	0,7	Sector C	media
1.035,000	21,0	21,0	20,5	21,0	20,9	0,7	Sector C	media
1.036,000	20,0	20,0	20,0	19,5	19,9	0,8	Sector C	profunda
1.037,000	20,5	21,5	21,5	21,5	21,3	0,7	Sector C	media
1.038,000	22,0	22,5	22,0	22,0	22,1	0,7	Sector C	media
1.039,000	22,5	22,5	22,0	22,5	22,4	0,6	Sector C	media
1.040,000	22,0	21,5	22,0	21,5	21,8	0,7	Sector C	media
1.041,000	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	0,6	Sector C	media
1.042,000	23,5	23,0	23,5	23,0	23,3	0,6	Sector C	media
1.043,000	26,0	25,5	26,0	26,0	25,9	0,5	Sector C	media

Tabla E. 12. Macrotextura del Pavimento Septiembre 2008 / Pista 2

km	Diámetro 1 [cm]	Diámetro 2 [cm]	Diámetro 3 [cm]	Diámetro 4 [cm]	Promedio [cm]	H eq [cm]	Observaciones	Textura
1.021,100	24,5	24,5	25,0	25,0	24,8	0,5	Sector A	media
1.021,300	24,0	24,0	23,5	24,0	23,9	0,6	Sector A	media
1.021,500	25,5	25,0	25,0	25,0	25,1	0,5	Sector A	media
1.021,700	25,5	26,0	26,0	26,0	25,9	0,5	Sector A	media
1.021,900	24,0	25,0	24,5	25,0	24,6	0,5	Sector A	media
1.022,100	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	0,6	Sector A	media
1.022,300	23,0	23,5	23,0	23,0	23,1	0,6	Sector A	media
1.022,500	23,0	23,5	23,0	23,0	23,1	0,6	Sector A	media
1.022,700	24,5	25,0	24,5	24,5	24,6	0,5	Sector A	media
1.022,900	23,0	22,5	22,5	23,0	22,8	0,6	Sector A	media
1.023,100	24,0	23,5	23,5	23,5	23,6	0,6	Sector A	media
1.028,500	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	0,7	Sector C	media
1.029,500	22,0	22,0	21,5	22,0	21,9	0,7	Sector C	media
1.030,500	22,5	22,0	22,0	22,5	22,3	0,6	Sector C	media
1.031,500	22,0	22,5	22,0	22,0	22,1	0,7	Sector C	media
1.032,500	23,0	23,0	23,0	22,5	22,9	0,6	Sector C	media
1.033,500	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	0,7	Sector C	media
1.034,500	21,5	21,0	21,0	21,0	21,1	0,7	Sector C	media
1.035,500	22,0	21,5	21,5	21,5	21,6	0,7	Sector C	media
1.036,500	23,5	23,0	23,0	23,0	23,1	0,6	Sector C	media
1.037,500	21,0	21,5	21,0	21,5	21,3	0,7	Sector C	media
1.038,500	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	0,7	Sector C	media
1.039,500	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	0,6	Sector C	media
1.040,500	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,7	Sector C	media
1.041,500	23,0	23,0	23,2	23,0	23,1	0,6	Sector C	media
1.042,500	24,0	23,5	23,5	23,5	23,6	0,6	Sector C	media
1.043,500	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,7	Sector C	media

## E.4 Coeficiente de Roce

Tabla E. 13. C.R.D. Septiembre 2008 / Pista 1

km	Pista	T (°C) Agua	BPN	BPN	BPN	BPN	CRD	CRD	Superficie
			Med.1	Med.2	Med.3	Med.4	Promedio	Corregido	
1021,000	1	22°	61	61	60	60	0,61	0,61	Sector A
1021,200	1	22°	60	60	59	60	0,60	0,60	Sector A
1021,400	1	22°	55	54	53	53	0,54	0,54	Sector A
1021,600	1	22°	56	55	55	54	0,55	0,55	Sector A
1021,800	1	18°	60	60	61	61	0,61	0,60	Sector A
1022,000	1	18°	60	59	61	61	0,60	0,59	Sector A
1022,200	1	18°	62	63	62	62	0,62	0,61	Sector A
1022,400	1	18°	60	59	59	59	0,59	0,58	Sector A
1022,600	1	18°	55	56	54	55	0,55	0,54	Sector A
1022,800	1	18°	61	60	61	61	0,61	0,60	Sector A
1023,000	1	19°	58	58	57	58	0,58	0,58	Sector A
1032,000	1	22°	65	64	64	64	0,64	0,64	Sector C
1033,000	1	22°	59	61	60	61	0,60	0,60	Sector C
1034,000	1	22°	64	66	64	64	0,65	0,65	Sector C
1035,000	1	22°	60	59	57	58	0,59	0,59	Sector C
1036,000	1	15°	64	64	63	64	0,64	0,63	Sector C
1037,000	1	15°	60	59	60	59	0,60	0,59	Sector C
1038,000	1	15°	60	59	60	59	0,60	0,59	Sector C
1039,000	1	15°	60	60	60	59	0,60	0,59	Sector C
1040,000	1	15°	60	60	59	59	0,60	0,59	Sector C
1041,000	1	15°	64	65	65	65	0,65	0,64	Sector C
1042,000	1	15°	59	60	59	60	0,60	0,59	Sector C
1043,000	1	15°	68	68	69	68	0,68	0,67	Sector C



Tabla E. 14. C.R.D. Septiembre 2008 / Pista 2

km	Pista	T (°C)	BPN	BPN	BPN	BPN	CRD	CRD	Superficie
		Agua	Med.1	Med.2	Med.3	Med.4	Promedio	Corregido	
1021,100	2	22°	66	65	65	65	0,65	0,65	Sector A
1021,300	2	22°	59	58	58	59	0,59	0,59	Sector A
1021,500	2	22°	64	62	63	63	0,63	0,63	Sector A
1021,700	2	22°	64	64	64	63	0,64	0,64	Sector A
1021,900	2	22°	62	63	62	62	0,62	0,62	Sector A
1022,100	2	20°	65	64	64	66	0,65	0,65	Sector A
1022,300	2	20°	65	66	65	65	0,65	0,65	Sector A
1022,500	2	20°	58	57	57	58	0,58	0,58	Sector A
1022,700	2	20°	64	65	64	64	0,64	0,64	Sector A
1022,900	2	20°	59	60	60	60	0,60	0,60	Sector A
1023,100	2	19°	55	56	55	55	0,55	0,55	Sector A
1028,500	2	18°	67	66	67	66	0,67	0,66	Sector C
1029,500	2	18°	63	63	65	63	0,64	0,63	Sector C
1030,500	2	18°	58	58	57	58	0,58	0,57	Sector C
1031,500	2	19°	57	58	57	56	0,57	0,57	Sector C
1032,500	2	19°	66	66	68	68	0,67	0,67	Sector C
1033,500	2	19°	56	55	56	55	0,56	0,56	Sector C
1034,500	2	19°	58	58	59	59	0,59	0,59	Sector C
1035,500	2	19°	55	55	55	54	0,55	0,55	Sector C
1036,500	2	19°	62	62	63	62	0,62	0,62	Sector C
1037,500	2	19°	55	56	55	55	0,55	0,55	Sector C
1038,500	2	19°	58	59	58	57	0,58	0,57	Sector C
1039,500	2	15°	67	66	66	67	0,67	0,66	Sector C
1040,500	2	15°	56	57	57	57	0,57	0,56	Sector C
1041,500	2	15°	58	57	57	58	0,58	0,57	Sector C
1042,500	2	15°	58	57	58	57	0,58	0,57	Sector C
1043,500	2	15°	59	59	59	58	0,59	0,58	Sector C