



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL**

**SEGUIMIENTO DE TRAMOS DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS DEL TIPO CAPE
SEAL EN LA III REGION**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

GUSTAVO FELIPE ARRIAGADA ALVAREZ

**PROFESOR GUÍA:
JULIO TORREJÓN OLMOS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
CARLOS AGUILERA GUTIÉRREZ
GABRIELA MUÑOZ ROJAS**

**SANTIAGO DE CHILE
JULIO 2008**

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración y buena disposición del personal del Laboratorio de Vialidad de la III región a cargo del Sr. Leonel Ortiz Miranda, de manera especial al Sr. Francisco Cortés Lutz.

También se agradece la gestión del Sr. Héctor Cornejo Espinoza de la Dirección de Vialidad de la III región.

No hubiera sido posible obtener los datos registrados en terreno sin la participación de los Sres. Gabriel Belmar, Gabriel Riquelme y Mauricio Campusano del Laboratorio Nacional de Vialidad.

Este trabajo también es fruto del tiempo dedicado por los profesores, tanto participando activamente en terreno como aportando correcciones durante la elaboración del informe final. Muy importante ha sido el apoyo y la preocupación mostrada por la Sra. Gabriela Muñoz Rojas, profesora integrante.

Finalmente se agradece a todos quienes, de buena fe, aportaron al desarrollo del estudio.

TABLA DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	VI
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	11
INTRODUCCION	12
CAPÍTULO 1	
ANTECEDENTES GENERALES	13
1.1 Red Vial Nacional.....	13
1.2 Descripción general del pavimento tipo Cape Seal	19
1.3 Etapas Constructivas	21
CAPITULO 2	
EXPERIENCIA REGIONAL USANDO CAPE SEAL COMO SOLUCION BASICA	26
2.1 Caminos construidos con Cape Seal.....	26
CAPITULO 3	
REQUISITOS DE LA TEXTURA SUPERFICIAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	33
3.1 Requisitos de Macrotextura Superficial	33
3.2 Requisitos para el Coeficiente de Fricción (Microtextura)	34
CAPITULO 4	
ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DEL TIPO CAPE SEAL SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS	36
4.1 Especificaciones Técnicas Generales.....	36
4.2 Materiales.....	36
4.2.1 Áridos	36
4.2.1.1 Áridos para Tratamiento Superficial	36
4.2.1.2 Áridos para Lechada Asfáltica	37
4.2.2 Ligantes	38

4.2.2.1 Ligantes para Tratamiento Superficial.....	38
4.2.2.2 Ligante para Lechada Asfáltica	40
4.2.3 Diseño de la Primera Capa.....	40
4.2.3.1 Dosis de Agregado.....	40
4.2.3.2 Dosis de Ligante	42
4.2.4 Diseño de la Segunda Capa.....	44
4.3 Visación por parte de la Dirección de Vialidad	48
4.3.1 Controles de calidad durante la Construcción	48
4.3.2 Recepción.....	50
4.3.4 Camino en Servicio.....	50

CAPITULO 5

MEDICIONES DE TEXTURA REALIZADAS A LAS CARPETAS DE RODADURA DE LOS CAMINOS	51
5.1 Textura superficial de pavimentos.....	51
5.2 Ensayos para cuantificar Textura Superficial	52
5.2.1 Péndulo Británico.....	52
5.2.1.1 Descripción	53
5.2.1.2 Procedimiento	54
5.2.1.3 Requisitos para los valores obtenidos.....	55
5.2.2 Círculo de Arena.....	56
5.2.2.1 Descripción	56
5.2.2.2 Procedimiento	57
5.2.2.3 Requisitos para los valores obtenidos.....	57
5.3 Procedimiento en terreno	58

CAPITULO 6

ANALISIS DE RESULTADOS	60
6.1 Construcción de Infraestructura Vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (El Olivar).....	61
6.1.1 Tratamiento Superficial.....	61
6.1.2 Lechada Asfáltica	62
6.1.3 Mediciones en Terreno.....	63

6.1.4 Análisis	64
6.2 Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama	65
6.2.1 Tratamiento Superficial.....	65
6.3 Proyecto: Mejoramiento Ruta C-411, sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Nantoco)	69
6.4 Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Carrera Pinto)	73
6.5 Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama(Los Loros)	77
6.6 Resumen y comparación de los resultados obtenidos	81
 CAPITULO 7	
CONCLUSIONES.....	85
7.1 Aspectos Generales	85
7.2 Características de los Áridos.....	86
7.3 Evaluación.....	86
 BIBLIOGRAFIA	
	88
 ANEXOS	
	89
A. Especificaciones para el ensayo del Péndulo Británico según del Manual de Carreteras Volumen 8, “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”	89
B. Especificaciones para el ensayo del Círculo de Arena según del Manual de Carreteras Volumen 8, “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”	104

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Longitud de caminos Red Vial Nacional, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en km).....	15
Tabla 2: Longitud de caminos Red Vial Básica, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en km).....	16
Tabla 3: Longitud de caminos Red Vial Comunal, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en km).....	17
Tabla 4: Aplicaciones de Cape Seal En La III Región	26
Tabla 5: Exigencia de Macrotextura Superficial. Tabla 5.408.303A del MC-V5	34
Tabla 6: Exigencias para el coeficiente de fricción obtenido con SCRIM. (Tabla 5.408.303 B del MC-V5).....	35
Tabla 7: Exigencias para el coeficiente de fricción obtenido con Péndulo Británico (TRRL). (Tabla 5.408.303C del MC-V5).....	35
Tabla 8: Requisitos de los áridos para Tratamientos Superficiales. (Tabla 5.407.202.A del MC-V5)	37
Tabla 9: Granulometría para material pétreo en Tratamiento Superficial para Cape Seal. (Tabla 5.404.201.A del MC-V5).....	37
Tabla 10: Requisitos De Los Áridos Para Lechada Asfáltica. (Tabla 5.406.202.A del MC-V5).....	38
Tabla 11: Granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica en Cape Seal. (Tabla 5.404.201.B del MC-V5).....	38
Tabla 12: Requerimientos para Emulsiones Asfálticas Catiónicas. (Extracto de Tabla 8.301.5.A del MC-V8).....	39
Tabla 13: Factor de Desperdicio	41
Tabla 14: Factor de Tránsito	43
Tabla 15: Corrección por Textura Superficial	43
Tabla 16: Valores máximos admisibles para adhesión de arena	47
Tabla 17: Clasificación referencial para CRD. (SCT e IMT, México).....	55
Tabla 18: Caminos Estudiados.....	60
Tabla 19: Comparación de granulometría de Tratamiento Superficial, camino sector el Olivar.....	61

Tabla 20: Comparación de granulometría para la Lechada Asfáltica, camino sector el Olivar	62
Tabla 21: Dosificación de Árido Y Ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector el Olivar	62
Tabla 22: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector el Olivar ...	63
Tabla 23: Registro de mediciones ensayo péndulo Británico (TRRL), camino sector el Olivar	63
Tabla 24: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector El Jilguero	65
Tabla 25: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector El Jilguero	66
Tabla 26: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector El Jilguero	66
Tabla 27: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector El Jilguero	67
Tabla 28: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector El Jilguero	67
Tabla 29: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Nantoco	69
Tabla 30: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Nantoco	70
Tabla 31: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Nantoco	70
Tabla 32: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector Nantoco ...	71
Tabla 33: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Nantoco	71
Tabla 34: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Carrera Pinto	73
Tabla 35: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Carrera Pinto	74
Tabla 36: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Carrera Pinto	74
Tabla 37: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Carrera Pinto	75

Tabla 38: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Los Loros	77
Tabla 39: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Los Loros.....	78
Tabla 40: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Los Loros.....	78
Tabla 41: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector Los Loros.	79
Tabla 42: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Los Loros	79
Tabla 43: Resumen del resultado de las mediciones en terreno.....	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aplicación de Sello (Tratamiento Superficial Simple) y Lechada Asfáltica	21
Figura 2: Etapas Constructivas	22
Figura 3: Base Granular sobre pavimento preexistente	23
Figura 4: Aplicación de ligante y árido en la primera capa (Tratamiento Superficial)	24
Figura 5: Aplicación de árido en la primera capa (Tratamiento Superficial)	24
Figura 6: Rodillado y Compactación (Rodillo Neumático)	25
Figura 7: Rodillado y Compactación (Rodillo)	25
Figura 8: Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Panorámica)	28
Figura 9: Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Acercamiento).....	28
Figura 10: Reposición Ruta C-35, Cruce 31-CH Paipote -Juntas, sector Cerrillos - Los Loros, Km 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Panorámica)	29
Figura 11: Reposición Ruta C-35, Cruce 31-CH Paipote -Juntas, sector Cerrillos - Los Loros, Km 20,000 Al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Acercamiento)	29
Figura 12: Conservación periódica Ruta C-17, sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Panorámica).....	30
Figura 13: Conservación periódica Ruta C-17, sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Acercamiento)	30
Figura 14: Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama (Panorámica).....	31
Figura 15: Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama (Acercamiento)	31
Figura 16: Construcción de infraestructura vial de enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (Panorámica)	32
Figura 17: Construcción de infraestructura vial de enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (Acercamiento).....	32

Figura 18: AMH en función del porcentaje de Emulsión para un contenido de agua total constante.....	46
Figura 19: Arena adherida en función del porcentaje de Emulsión para un contenido de agua total constante	47
Figura 20: Toma de muestras para medir dosificación de ligante	49
Figura 21: Cálculo de dosificación según peso de la muestra.....	49
Figura 22: Macrotextura y Microtextura.....	51
Figura 23: Péndulo Británico (TRRL)	52
Figura 24: Registro de medidas de Péndulo Británico	54
Figura 25: Equipo y materiales del ensayo del Círculo de Arena.....	56
Figura 26: Medición de diámetros en distintas direcciones	57
Figura 27: Registro de mediciones.....	58
Figura 28: Comparación de texturas	83

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el estudio y evaluación de la textura superficial de 5 caminos pavimentados con Cape Seal en la III región.

Para llevar a cabo dicha tarea, se cuantifica la textura superficial de las carpetas de rodadura a través del ensayo del Péndulo Británico y el ensayo del Círculo de Arena tomando 10 medidas por camino. Ambos ensayos se describen en el Manual de Carreteras Volumen 8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”. Por una parte, el ensayo del Péndulo Británico permite medir la resistencia al deslizamiento de los pavimentos, característica asociada a la microtextura. En cambio el ensayo del Círculo de Arena es un indicador de la macrotextura resultante.

Además de entregar antecedentes y resultados de las mediciones realizadas, se pretende estudiar el cumplimiento de las especificaciones del Manual de Carreteras Volumen N°5 “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” en términos de dosificación y granulometría de cada una de las 2 aplicaciones que conforman el Cape Seal; así como los requisitos de textura para carpetas asfálticas presentes en el Manual de Carreteras Volumen 8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control” .

Se acompañan las mediciones obtenidas con imágenes registradas en terreno y análisis basados tanto en los resultados de los ensayos como en las observaciones realizadas.

Finalmente se pretende conocer el estado general de la aplicación del Cape Seal en Chile, específicamente en la III región donde se ha utilizado de manera frecuente.

INTRODUCCION

La constante demanda por vías de transporte y las políticas de gobierno que apuntan en este sentido, han contribuido al aumento y mejora de la red vial de nuestro país en estos últimos años previos al bicentenario.

Considerando la gran cantidad de caminos que aun continúan sin pavimentar y los que en el futuro deberán ser repavimentados, el estudio y evaluación de las soluciones aplicadas adquiere bastante importancia.

En este sentido, la región de Atacama a través de la Dirección de Vialidad y el Laboratorio Regional de Vialidad han desarrollado grandes avances en cuanto al progresivo aumento de los kilómetros de la red vial pavimentada, repavimentaciones y el mejoramiento de caminos no pavimentados a través de soluciones básicas tanto en base a estabilizaciones como a capas de protección asfálticas.

El presente estudio centra su atención en el pavimento asfáltico del tipo Cape Seal. Los buenos resultados obtenidos en la aplicación de este tipo de pavimento motivan a estudiar su comportamiento a través de un seguimiento que contempla mediciones de textura superficial de la carpeta de rodadura e inspección de las fallas presentes. Lo anterior se realizará considerando y revisando la data de apertura al tránsito, dosificaciones utilizadas y cualquier otro factor de importancia que se observe.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Red Vial Nacional

La red vial nacional ha sido clasificada por la Dirección de Vialidad según la importancia de cada uno de sus caminos, existen cinco categorías:
(Revisar Vol. 2 del manual de carreteras)

- A: Caminos Nacionales
- B: Caminos Regionales Primarios
- C: Caminos Regionales Secundarios
- D: Caminos Comunales Primarios
- E: Caminos Comunales Secundarios

Los caminos estudiados en el presente documento pertenecen a la categoría C.

Los cuadros mostrados en las páginas siguientes, emitidos en Diciembre de 2006 por el Departamento de Gestión Vial del MOP, contienen un resumen de la longitud de red vial nacional y regional, considerando los tipos de carpeta de rodadura.

Es posible observar la importancia de la región en cuanto a la implementación de carpetas granulares estabilizadas como solución básica a los caminos de la red. Posee la mayor cantidad de kilómetros estabilizados a nivel nacional concentrando 42% del total (ver Tabla 1).

En cuanto a los caminos donde se ha aplicado una capa de protección como solución básica (caso del Cape Seal), posee la mayor cantidad de kilómetros del Norte de Chile (ver Tabla 1).

Observando la menor cantidad de kilómetros pavimentados con asfalto en relación al resto del Norte del país; es posible postular que en la región se ha reemplazado, en parte, el uso del pavimento asfáltico tradicional por soluciones básicas.

Corroborando las observaciones anteriores, en la Tabla 2 se aprecia que la región de Atacama es la que tiene mayor cantidad de kilómetros pavimentados con capa de protección en cuanto a caminos básicos se trata. En cambio, al comparar con el resto del Norte del país, es la región con menor cantidad de kilómetros pavimentados con asfalto en la misma red (Red Vial Básica). Es decir, las soluciones básicas ocupan el lugar del pavimento asfáltico tradicional.

Observando la Tabla 3, se aprecia que los caminos comunales han encontrado en la estabilización, realizada con soluciones salinas, una buena manera de aumentar y

mejorar la red regional; siendo la región con mayor cantidad de kilómetros estabilizados. Bordea el 43% del total nacional tanto para la red comunal como básica.

Tabla 1: Longitud de caminos Red Vial Nacional, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en Km.)

Región	Red Vial Pavimentada					Red Vial Solución Básica		Red Vial No Pavimentada		Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Asf./Ripio.	Horm./Ripio	Capa Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
I	1.417,56	2,66	1,16	0	0	99,47	209,4	445,67	2.834,79	5.010,71
II	1.705,59	1,85	0	4,7	0	62,09	300,06	1.008,93	3.353,60	6.436,82
III	982,64	4,38	0	0	0	128,12	1.456,76	905,08	3.544,87	7.021,85
IV	1.172,33	50,84	9,62	0	0	20,22	349,33	2.752,03	1.327,67	5.682,04
V	1.055,05	252,65	25,51	0	0	820,14	2	654,69	420,75	3.230,79
VI	994,64	176,7	40,18	0	0	283,69	20,07	1.416,36	1.204,57	4.136,21
VII	1.230,87	151,4	89,28	0	0	21,53	390,83	3.531,58	1.969,76	7.385,25
VIII	1.856,58	219,01	30,41	0	0	114,41	69,75	5.064,11	1.923,96	9.278,23
IX	1.275,80	121,72	107,84	0	0	100,13	358,21	7.544,07	2.537,68	12.045,45
X	1.691,14	230,27	151,35	0	20,88	199,32	7,3	8.020,98	834,7	11.155,94
XI	147,72	149,88	0	0	0	0	63,68	2.556,24	227,76	3.145,28
XII	26,85	482,93	0	0	0	7,22	194,71	2.226,06	362,71	3.300,48
R.M.	981,87	279,46	61,7	0	0	421,83	0	728,94	391,81	2.865,61
Total	14.538,64	2.123,75	517,05	4,7	20,88	2.278,17	3.422,10	36.854,74	20.934,63	80.694,66

Tabla 2: Longitud de caminos Red Vial Básica, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en Km.)

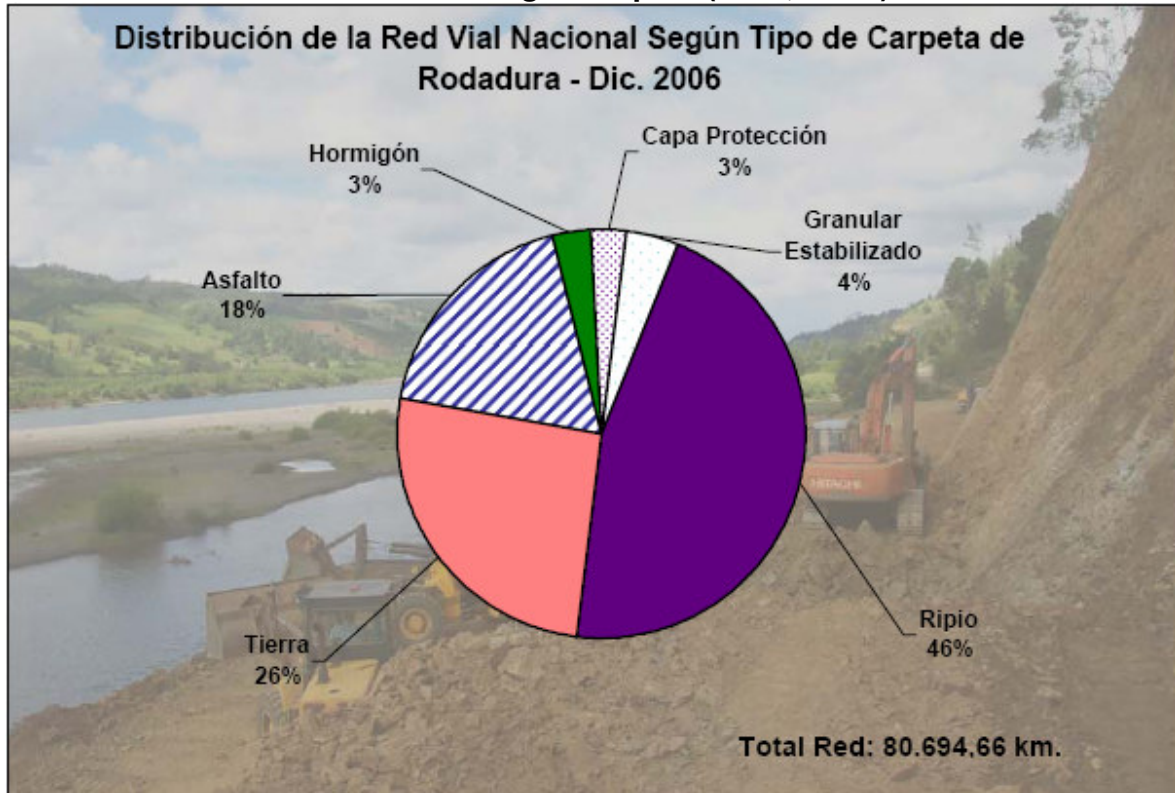
Región	Red Vial Pavimentada					Red Vial Solución Básica		Red Vial No Pavimentada		Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Asf./Ripio.	Horm./Ripio	Capa Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
I	1.236,13	2,66	1,16	0	0	13	13,6	19,45	250,89	1.536,89
II	1.634,57	1,85	0	0	0	10	116,9	196,92	282,07	2.242,31
III	909,81	0	0	0	0	92,12	414,41	155,74	94,23	1.666,31
IV	929,21	45,71	9,62	0	0	1,28	67,35	204,11	41,36	1.298,64
V	936,68	202,62	25,51	0	0	57,64	2	22,67	1,23	1.248,35
VI	655,78	151,75	40,18	0	0	16,05	0	80,6	68,91	1.013,27
VII	1.033,41	125,66	89,28	0	0	9,96	22,04	413,14	78,81	1.772,30
VIII	1.603,56	206,03	30,41	0	0	7,45	14,02	406,49	71,68	2.339,64
IX	1.152,44	86,84	107,84	0	0	23,09	79,38	375,08	15,72	1.840,39
X	1.517,53	199,63	151,35	0	20,69	47,76	5	1.322,98	45,03	3.309,97
XI	147,72	149,88	0	0	0	0	63,68	1.258,27	0	1.619,55
XII	26,85	473,47	0	0	0	7,22	174,07	1.285,02	2,79	1.969,42
R.M.	718,86	234,54	61,7	0	0	58,87	0	76,12	14,28	1.164,37
Total	12.502,55	1.880,64	517,05	0	20,69	344,44	972,45	5.816,59	967	23.021,41

Tabla 3: Longitud de caminos Red Vial Comunal, según región y tipo de carpeta - Dic. 2006 (longitud en Km.)

Región	Red Vial Pavimentada					Red Vial Solución Básica		Red Vial No Pavimentada		Total
	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Asf./Ripio.	Horm./Ripio	Capa Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	
I	181,43	0	0	0	0	86,47	195,8	426,22	2.583,90	3.473,82
II	71,02	0	0	4,7	0	52,09	183,16	812,01	3.071,53	4.194,51
III	72,83	4,38	0	0	0	36	1.042,35	749,34	3.450,64	5.355,54
IV	243,12	5,13	0	0	0	18,94	281,98	2.547,92	1.286,31	4.383,40
V	118,37	50,03	0	0	0	762,5	0	632,02	419,52	1.982,44
VI	338,86	24,95	0	0	0	267,64	20,07	1.335,76	1.135,66	3.122,94
VII	197,46	25,74	0	0	0	11,57	368,79	3.118,44	1.890,95	5.612,95
VIII	253,02	12,98	0	0	0	106,96	55,73	4.657,62	1.852,28	6.938,59
IX	123,36	34,88	0	0	0	77,04	278,83	7.168,99	2.521,96	10.205,06
X	173,61	30,64	0	0	0,19	151,56	2,3	6.698,00	789,67	7.845,97
XI	0	0	0	0	0	0	0	1.297,97	227,76	1.525,73
XII	0	9,46	0	0	0	0	20,64	941,04	359,92	1.331,06
R.M.	263,01	44,92	0	0	0	362,96	0	652,82	377,53	1.701,24
Total	2.036,09	243,11	0	4,7	0,19	1.933,73	2.449,65	31.038,15	19.967,63	57.673,25

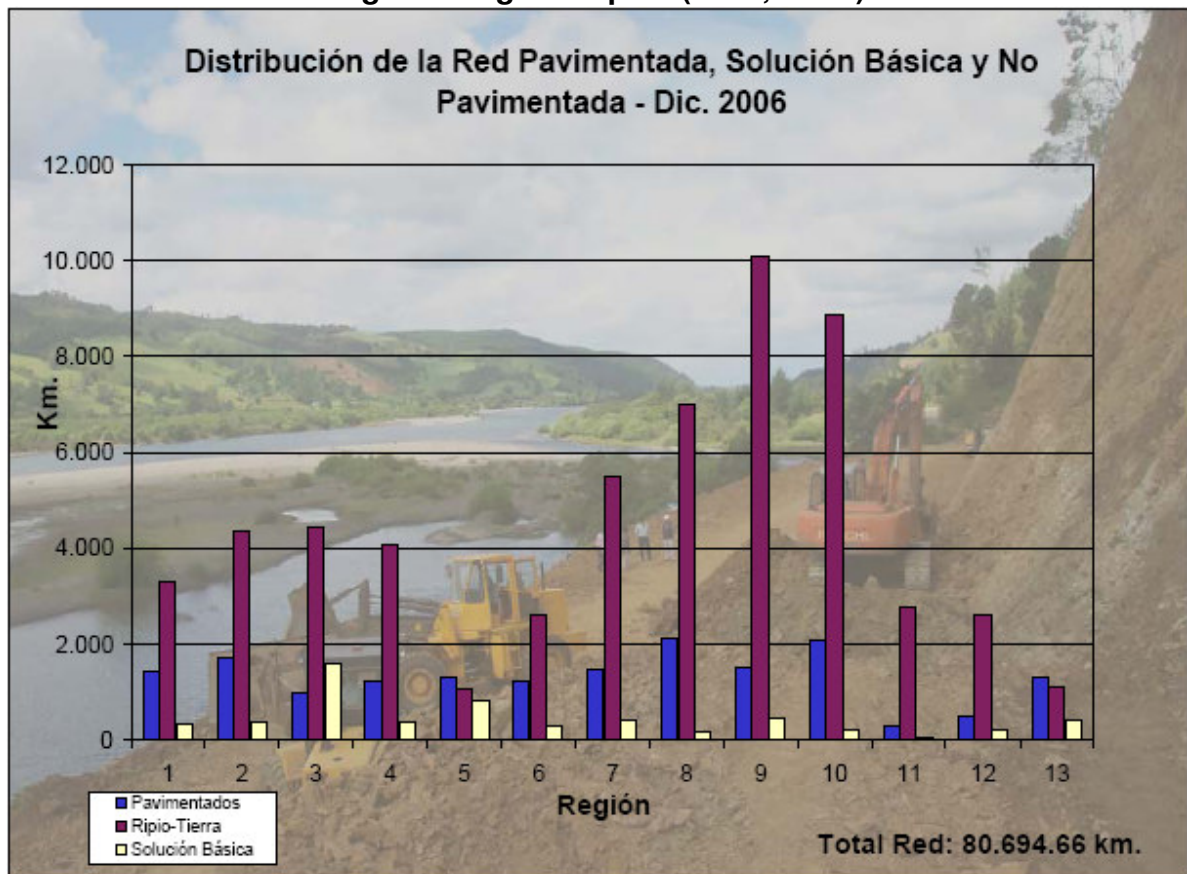
A continuación, gráficos ilustrativos¹ de la red vial considerando el tipo de carpeta:

Gráfico 1: Distribución nacional según carpeta (MOP, Chile)



¹ Ambos gráficos fueron tomados del documento “Red vial nacional dimensionamiento y características” citado en bibliografía.

Gráfico 2: Distribución regional según carpeta (MOP, Chile)



1.2 Descripción general del pavimento tipo Cape Seal

Por primera vez usado en la Ciudad del Cabo, Sudáfrica (Cape Town, South Africa) en 1970. El pavimento tipo Cape Seal recibe su denominación a modo de identificarlo con el nombre de esta ciudad escrito en inglés (uno de los idiomas oficiales de este país), el sufijo Seal se refiere a las características de este pavimento que lo clasifican como un sello (en inglés: Seal).

Cabe describir las clasificaciones de los asfaltos según su aplicación:

- Riegos asfálticos
- Capas asfálticas de protección
- Capas asfálticas estructurales

Riegos asfálticos: Aplicaciones delgadas y uniformes de algún ligante asfáltico, se aplican ya sea sobre pavimentos existentes, bases estabilizadas o suelo. Según la superficie sobre la que se aplican es la función que desempeñan y de ahí su denominación.

Capa asfáltica de protección: Tratamientos asfáltico que por condiciones de espesor o mezcla, no aporte estructura al pavimento pero si lo protege de la acción abrasiva del tránsito y lo impermeabiliza superficialmente.

Capas asfálticas estructurales: Son aquellas que por condiciones de espesor y mezcla, forman una estructura resistente considerable en el diseño del espesor de un pavimento flexible.

Dentro de esta clasificación, el Cape Seal es una capa asfáltica de protección.

El pavimento Cape Seal consta de 2 aplicaciones:

Una primera capa corresponde a un sello o tratamiento superficial simple sobre la superficie preexistente, ya sea un pavimento o una base granular estabilizada seguido de la aplicación de una lechada asfáltica.

1.3 Etapas Constructivas

Una vez preparada la base estabilizada o superficie preexistente (en caso de repavimentación), se procede a realizar un riego de ligante de acuerdo a las especificaciones del tratamiento superficial para posteriormente colocar el árido que corresponda según la granulometría apropiada. Una vez compactado el sello y fraguado el ligante de la primera aplicación y previo riego de liga (cuando se requiera) para asegurar adherencia de la capa siguiente, se aplica la lechada asfáltica con áridos de menor tamaño que la primera capa.

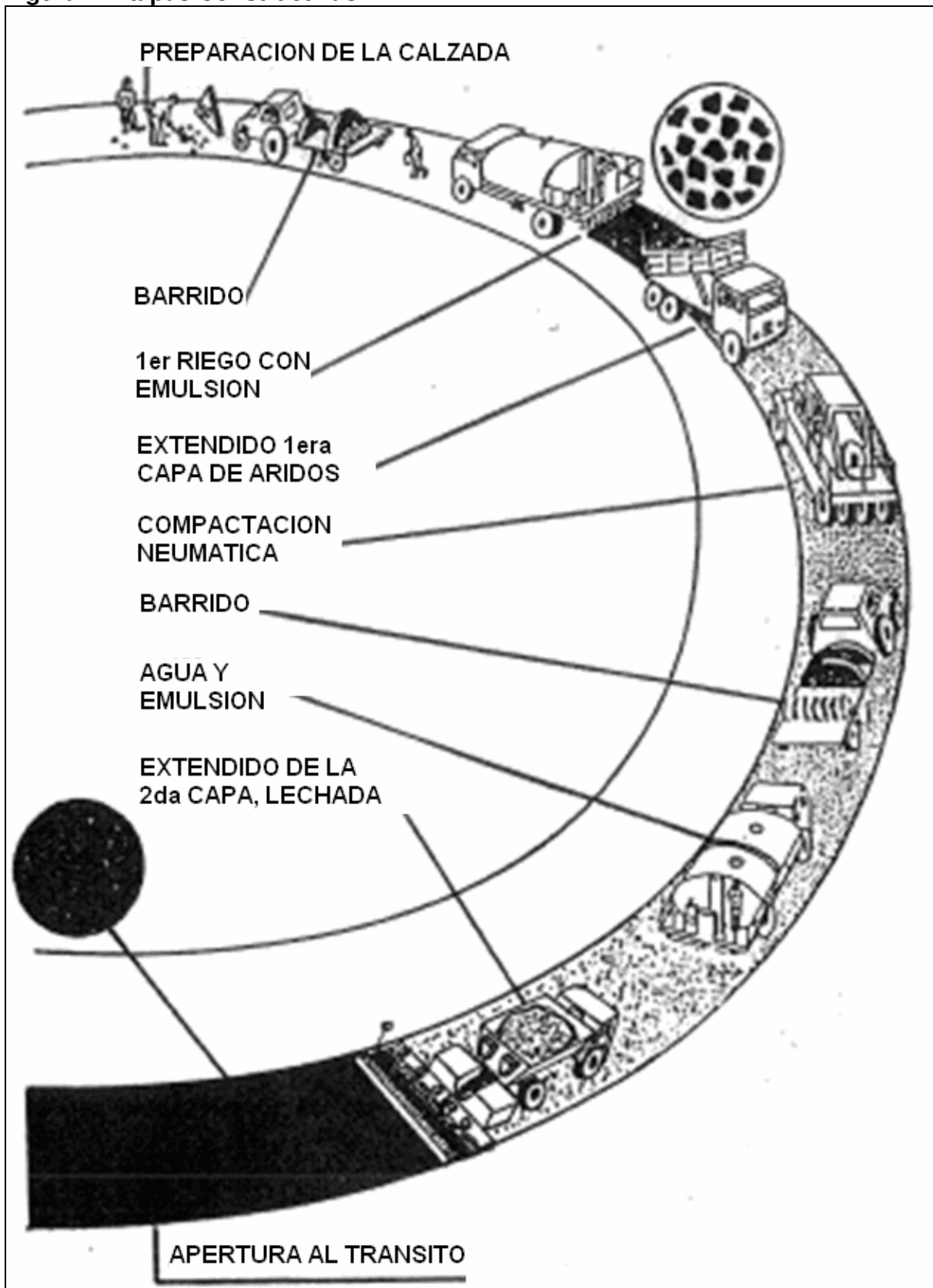
Según la dosificación utilizada, la superficie del árido de mayor tamaño podría quedar totalmente cubierta por la lechada sin estar en contacto directo con la superficie de rodadura, es decir, sin estar en contacto con los neumáticos de los vehículos solicitantes. Si la fricción entregada por la textura de la lechada es inferior a la exigida, se debería dejar expuesto el árido del sello de la primera capa buscando entregar mayor fricción. A continuación una figura esquemática de ambas situaciones:

Figura 1: Aplicación de Sello (Tratamiento Superficial Simple) y Lechada Asfáltica



Se muestra en la Figura 2 , las etapas constructivas mas detalladamente y de manera esquemática.

Figura 2: Etapas Constructivas



Es posible apreciar cada una de las etapas que constituyen la construcción del Cape Seal, y por separado distinguir la primera aplicación correspondiente a un sello o tratamiento superficial y finalmente la aplicación de una lechada asfáltica.

La etapa de preparación de la calzada, en caso de un pavimento nuevo, corresponde a la preparación de la subrasante para luego construir las capas granulares debidamente compactadas que serán luego imprimadas con material bituminoso que permitirá una correcta adherencia de la capa siguiente, en este caso, el tratamiento superficial. En terreno fue posible apreciar la repavimentación correspondiente al contrato de Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama, en esta obra, la subrasante corresponde a un tratamiento superficial doble, sobre él se construye una capa granular de 20cm de espesor y posteriormente las mismas etapas constructivas que en el caso de un pavimento nuevo. A continuación se muestran imágenes recogidas en terreno de la construcción de este proyecto:

Figura 3: Base Granular sobre pavimento preexistente



Figura 4: Aplicación de ligante y árido en la primera capa (Tratamiento Superficial)



Figura 5: Aplicación de árido en la primera capa (Tratamiento Superficial)



Figura 6: Rodillado y Compactación (Rodillo Neumático)



Figura 7: Rodillado y Compactación (Rodillo)



CAPITULO 2

EXPERIENCIA REGIONAL USANDO CAPE SEAL COMO SOLUCION BASICA

2.1 Caminos construidos con Cape Seal

La siguiente tabla muestra las aplicaciones del Cape Seal en la III región de Atacama, considerando su extensión y fecha de apertura al tránsito.

Tabla 4: Aplicaciones de Cape Seal En La III Región

Proyecto	Rol	Extensión [Km.]	Apertura
Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama.	C-411	24	Diciembre 2005
Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.	C-35	33.23	Marzo 2008
Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama).	C-17	30	Al 29/07/2008, sólo tránsito por fajas.
Construcción Variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama.	C-569	6.12	2002
Construcción de Infraestructura vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama.	C-491	2.1	Agosto 2004

Se realizaron visitas a cada uno de los caminos indicados en la Tabla 4, realizando una inspección visual y ensayos para determinar la textura superficial obtenida y evaluar el comportamiento general del pavimento. Las observaciones y la documentación obtenida permitirán contrastar las especificaciones vigentes con la técnica empleada en los caminos, algunos de ellos realizados previamente a la publicación del complemento al Manual de Carreteras Volumen 5 "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción" correspondiente a las especificaciones del Cape Seal, considerando que la región es pionera en la aplicación de este tipo de pavimentos asfálticos. A través de la inspección visual, se observarán las características de la carpeta de rodadura con el objetivo de determinar si el contacto neumático - pavimento

es exclusivamente con los áridos de la lechada asfáltica o también con áridos del tratamiento simple.

A continuación se entregarán fotos de los caminos pavimentados con Cape Seal analizados:

Figura 8: Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Panorámica)



Figura 9: Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Acercamiento)



Figura 10: Reposición Ruta C-35, Cruce 31-CH Paipote -Juntas, sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Panorámica)



Figura 11: Reposición Ruta C-35, Cruce 31-CH Paipote -Juntas, sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 Al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Acercamiento)



Figura 12: Conservación periódica Ruta C-17, sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Panorámica)



Figura 13: Conservación periódica Ruta C-17, sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Acercamiento)



Figura 14: Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama (Panorámica)



Figura 15: Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama (Acercamiento)



Figura 16: Construcción de infraestructura vial de enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (Panorámica)



Figura 17: Construcción de infraestructura vial de enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (Acercamiento)



CAPITULO 3

REQUISITOS DE LA TEXTURA SUPERFICIAL PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

La superficie de la capa deberá presentar una textura homogénea, uniforme y exenta de segregaciones, de modo de entregar una adherencia adecuada. Únicamente, a efectos de recepción de la capa de rodadura, la macrotextura superficial y la resistencia al deslizamiento, no deberán ser inferiores a los valores indicados en las Tablas 5, 6 y 7.

Los requisitos que debe cumplir la textura superficial de los pavimentos asfálticos figuran en el Numeral 5.408.303(3) Macrotextura Superficial y Coeficiente de Fricción de la Sección 5.408 Mezclas Asfálticas en Caliente; del Manual de Carreteras Volumen 5, "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción" (MC-V5).

3.1 Requisitos de Macrotextura Superficial

La medición de este parámetro se efectuará con el ensaye del Círculo de Arena según lo descrito en 8.602.25 del Manual de Carreteras Volumen 8, "Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control" (MC-V8) dentro de un plazo de cuatro meses, después de dado el tránsito.

Las mediciones se realizarán en toda la longitud del camino y en cada una de las pistas, incluyendo singularidades como puentes, badenes u otros similares, cubriendo de preferencia sectores de curvas y con señalización de advertencia de diversa índole.

Para efectos de control, se deberán determinar sectores homogéneos en texturas mediante mediciones continuas efectuadas con perfilómetros que posean sensores adecuados. Definidos los sectores homogéneos para cada una de las pistas, se efectuarán 4 mediciones de la mancha de arena por sector homogéneo.

Los sectores homogéneos se determinarán según la metodología de las diferencias acumuladas propuesta por la guía de Diseño AASHTO año 1993. Definidos los sectores homogéneos, se procederá, mediante un test estadístico, a estudiar la posibilidad de agrupar sub-tramos o sectores adyacentes de modo de trabajar con sectores homogéneos más amplios, para lo cual se recomienda utilizar la Prueba de Hipótesis sobre la igualdad de las medias de dos distribuciones normales con varianza desconocida y no necesariamente iguales con $\alpha = 0,1$.

Si no se dispone de información continua de textura, se efectuarán 4 mediciones de la mancha de arena por kilómetro y por pista.

Los valores de la mancha de arena serán representativos de un cuarto del sector homogéneo o del kilómetro según corresponda y deberán ser mayores o iguales al valor mínimo exigido según tabla 5.408.303A del MC-V5.

Tabla 5: Exigencia de Macrotextura Superficial. Tabla 5.408.303A del MC-V5

ENSAYE	EXIGENCIA
Macrotextura para todo tipo de capa de rodadura	Mínimo 0,6 mm

Según lo determine la Dirección de Vialidad, podrá controlar también la Macrotextura con mediciones de perfilómetro, evaluando el promedio de cada cuarto de un sector homogéneo en textura, en cuyo caso el umbral será un valor distinto del exigido en la tabla 5.408.303.A y cuyo valor será determinado por la Dirección de Vialidad.

La Dirección de Vialidad podrá homologar otros equipos estableciendo los umbrales específicos.

El parámetro de Macrotextura no estará afecto a multas, aceptándose sólo efectuar acciones correctivas en los tramos con deficiencia, para dar cumplimiento a lo especificado en cada sector homogéneo o cuarto de kilómetro según corresponda.

3.2 Requisitos para el Coeficiente de Fricción (Microtextura)

La medición de este parámetro se efectuará de preferencia dentro de un plazo de cuatro meses, después de dado el tránsito.

La medición se efectuará en forma continua en toda la longitud del camino y en cada una de las pistas, incluyendo singularidades como puentes, badenes u otros similares, cubriendo de preferencia sectores de curvas y con señalización de advertencia de diversa índole.

El equipo de medición de recepción es el SCRIM y los valores se informarán en unidades SFC (Sideway Friction Coefficient), medidos a 50 ± 5 Km./h e informados cada 200 metros o fracción de término.

Los valores mínimos exigidos que se deben cumplir, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6: Exigencias para el coeficiente de fricción obtenido con SCRIM. (Tabla 5.408.303 B del MC-V5)

Descripción del Sector		SFC
Sectores con Singularidades	Curvas de radio inferior a 100 m	
	Pendientes $\geq 10\%$	
	Aproximación a Intersecciones	
	Intersecciones	0,55
	Aproximaciones a Semáforos	
	Aproximación a Señalización de Prioridad	
	Ramales	
Sectores sin Singularidades		0,40

Excepcionalmente, y según lo determine la Dirección de Vialidad, podrá controlarse el coeficiente de fricción con el péndulo de fricción TRRL, según lo indicado en 8.602.25 del MC-V8, efectuando en este caso 20 mediciones por kilómetro y por pista para proyectos urbanos y 10 mediciones por kilómetro y por pista para otros proyectos, en las rodaduras internas o externas.

En este caso, los umbrales para efectos receptivos, serán los indicados en la Tabla 7.

Tabla 7: Exigencias para el coeficiente de fricción obtenido con Péndulo Británico (TRRL). (Tabla 5.408.303C del MC-V5)

Descripción del Sector		
Sectores con Singularidades	Curvas de radio inferior a 100 m	
	Pendientes $\geq 10\%$	
	Aproximación a Intersecciones	
	Intersecciones	Mín. 65
	Aproximaciones a Semáforos	
	Aproximación a Señalización de Prioridad	
	Ramales	
Sectores sin Singularidades		Mín. 55

En este caso de incumplimiento de los valores de coeficiente de fricción exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia para dar cumplimiento a lo especificado.

CAPITULO 4

ESPECIFICACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DEL TIPO CAPE SEAL SEGÚN EL MANUAL DE CARRETERAS

4.1 Especificaciones Técnicas Generales

El Manual de Carreteras Volumen N°5 "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción" (MC-V5) detalla los procedimientos, requerimientos y características de los materiales necesarios para utilizar ésta técnica.

La Sección 5.504 del MC-V5 corresponde a un complemento o actualización realizada en Junio de 2006 donde se detallan las especificaciones referidas anteriormente y a continuación descritas:

La primera capa correspondiente a un tratamiento superficial asfáltico simple consiste en la aplicación de asfalto recubierto por árido de granulometría de tamaño máximo 20mm (3/4") en conformidad con lo dispuesto en la Sección 5.407 "Tratamientos Superficiales" del MC-V5, el tipo de ligante a utilizar será CRS-2 u otro autorizado previamente; y una segunda capa que corresponde a una lechada asfáltica de granulometría con tamaño máximo de 10mm (3/8") en conformidad con lo dispuesto en la Sección 5.406 del MC-V5, el tipo de ligante a utilizar será CSS-1h u otro tipo similar de ligante, autorizado previamente.

4.2 Materiales

Para comenzar, se deben especificar los tipos de materiales a utilizar y las características que éstos deben tener para lograr una mezcla en óptimas condiciones de calidad.

4.2.1 Áridos

Deberán acopiarse en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los áridos.

4.2.1.1 Áridos para Tratamiento Superficial

Los áridos empleados para la colocación de la primera capa que conforma el Cape Seal deberán cumplir con las propiedades y características que se indican en la siguiente Tabla, contenida en el Numeral 5.407.202 Áridos, de la sección 5.407 "Tratamientos Superficiales" del Manual de Carreteras Volumen 5, "Especificaciones Técnicas Generales de Construcción" (MC-V5):

Tabla 8: Requisitos de los áridos para Tratamientos Superficiales. (Tabla 5.407.202.A del MC-V5)

ENSAYES	EXIGENCIA	METODO
Desgaste Los Ángeles	Máximo 25% (1)	8.202.11 (LNV 75)
Desintegración con Sulfato de Sodio	Máximo 12%	8.202.17 (LNV 74)
Adherencia Método Estático	Mínimo 95%	8.302.29 (LNV 9)
Árido Chancado	Mínimo 70%	8.202.6 (LNV 3)
Lajas	Máximo 10%	8.202.6 (LNV 3)
Índice de Laja	Máximo 30%	8.202.6 (LNV 3)
Fino por lavado	Máximo 0.5%	8.202.6 (LNV 3)

Los requisitos de la granulometría de los áridos empleados para conformar la primera capa del Cape Seal están señalados en la Tabla 5.404.201.A, contenida en la Sección 5.404 "Tratamiento Superficial Simple con Lechada Asfáltica (Cape Seal)" del MC-V5:

Tabla 9: Granulometría para material pétreo en Tratamiento Superficial para Cape Seal. (Tabla 5.404.201.A del MC-V5)

TAMICES		TN
[mm]	(ASTM)	20 - 10
40	(1 1/2")	
25	(1")	100
20	(3/4")	90-100
12,5	(1/2")	22-55
10	(3/8")	0-15
6,3	(1/4")	-
5	(Nº 4)	0-5
2,5	(Nº 8)	-
1,25	(Nº16)	-
0,08	(Nº 200)	0-0,5

4.2.1.2 Áridos para Lechada Asfáltica

Según las exigencias del MC-V5 Sección 5.406 "Lechada Asfáltica", los áridos deberán ser limpios, angulares, durables y bien graduados. Deberán acopiarse en canchas habilitadas especialmente para este efecto, de manera que no se produzca contaminación ni segregación de los áridos. Los acopios se ubicarán en superficies limpias, planas y niveladas. Se debe retirar cualquier fuente de materia extraña que pueda contaminar el material como vegetación, rocas, etc. Además, el área debe tener adecuado drenaje para evitar acumulación de agua en el acopio.

Los áridos a utilizar en la lechada asfáltica deberán ser provenientes de la trituración de roca, mezcladas o no con arenas naturales (Si se utilizara, no debe superar el 15%). Estos deben cumplir los siguientes requisitos, establecidos en el Numeral 5.406.202, Tabla 5.406.202.A y la granulometría debe cumplir con lo señalado

en la tabla 5.404.201.B de la Sección 5.404 “Tratamiento Superficial Simple con Lechada Asfáltica (Cape Seal)” del MC-V5:

Tabla 10: Requisitos De Los Áridos Para Lechada Asfáltica. (Tabla 5.406.202.A del MC-V5)

ENSAYE	EXIGENCIA	METODO
Equivalente Arena	Mín. 45%	8.202.9 (LNV 71)
Índice Plasticidad	NP	8.102.4 (LNV 90)
Adherencia Riedel -Weber	0 – 5	8.302.30 (LNV 10)
Desgaste Los Ángeles	máx. 25% (1)	8.202.11 (LNV 75)
Índice de Trituración Total	máx.3,5%	8.202.8 (LNV 7)
Adherencia Método Estático	mín. 95%	8.302.29 (LNV 9)
Partículas Chancadas	mín. 90%	8.202.6 (LNV 3)

(1) El Proyecto podrá indicar otro valor, debidamente justificado, el cual no podrá superar el 35%.

Los requisitos de la Tabla 5.406202.A deberán ser verificados cada 500 m3 o cada vez que se cambie la procedencia del agregado.

Tabla 11: Granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica en Cape Seal. (Tabla 5.404.201.B del MC-V5)

TAMICES		BANDA GRANULOMETRICA PORCENTAJE EN PESO QUE PASA TIPO B1
[mm]	(ASTM)	
10,0	(3/8")	100
5,0	(Nº4)	85-95
2,5	(Nº8)	62-80
1,25	(Nº16)	45-65
0,63	(Nº30)	30-50
0,315	(Nº50)	18-35
0,16	(Nº100)	10-24
0,08	(Nº200)	5-15

4.2.2 Ligantes

4.2.2.1 Ligantes para Tratamiento Superficial

En el tratamiento superficial simple se utilizará como ligante una emulsión asfáltica del tipo CRS-2 u otro tipo de ligante, previamente autorizado por escrito por el inspector fiscal. La Sección 5.407 “Tratamientos Superficiales” del MC-V5 señala que se debe cumplir lo descrito en la Sección 5.405” Sellos Bituminosos” del MC-V5, donde se definen las operaciones requeridas para la construcción de sellos bituminosos consistentes en aplicaciones de asfalto recubiertas por áridos, sobre superficies

pavimentadas. En particular, los requerimientos para las emulsiones asfálticas catiónicas (como el CRS-2) están descritos en la tabla 8.301.5.A de la Sección 8.301.5 Asfaltos: “Especificaciones Para Emulsiones Asfálticas Catiónicas (LNV 31)” del MC-V8, expuesta a continuación:

Tabla 12: Requerimientos para Emulsiones Asfálticas Catiónicas. (Extracto de Tabla 8.301.5.A del MC-V8)

Tipo Grado	Quiebre Rápido				Quiebre Lento			
	CRS-1		CRS-2		CSS-1		CSS-1h	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Ensayes a la emulsión:								
Viscosidad, Saybolt Furol a 25°C, SFs					20	100	20	100
Viscosidad, Saybolt Furol a 50°C, SFs	20	100	100	400				
Ensaye de estabilidad de almacenamiento 24h, %	-	1	-	1	-	1	-	1
Demulsibilidad, 35 ml, 0,8% dioctylsulfosuccinato de sodio, %	40	-	40	-	-	-	-	-
Capacidad de cubrimiento y resistencia al agua:								
Cubrimiento, agregado seco								
Cubrimiento, después de esparcido								
Cubrimiento, agregado húmedo								
Cubrimiento, después de esparcido								
Ensaye de carga de partícula	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva	Posi- tiva
Ensaye de tamizado, % (1)	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10
Ensaye de mezcla con Cemento, %	-	-	-	-	-	2,0	-	2,0
Destilación:								
Aceite destilado por volumen de emulsión, %	-	3	-	3	-	-	-	-
Residuo, %	60	-	65	-	57	-	57	-
Ensayes al residuo de la destilación:								
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	100	250	100	250	100	250	40	90
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	40	-	40	-	40	-	40	-
Solubilidad en Tricloroetileno, %	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-
Ensaye de la mancha:								
Heptano/Xilol, % Xilol		25		25		25		25

4.2.2.2 Ligante para Lechada Asfáltica

En la segunda capa correspondiente a la lechada asfáltica se empleará como ligante una emulsión asfáltica tipo CSS-1H u otro tipo similar de ligante, previamente aprobado por escrito por el Inspector Fiscal.

El ligante de la lechada debe cumplir lo señalado en la Sección 5.406 del MC-V5 “Lechada Asfáltica y Microaglomerados en Frío”. Esta Sección se refiere a la construcción de sellos mediante la aplicación de mezclas constituidas por áridos bien graduados, emulsión asfáltica y agua, sobre superficies pavimentadas. Los requerimientos para las emulsiones asfálticas catiónicas (como el CSS-1h) están descritos en la tabla 8.301.5.A de la Sección 8.301.5 Asfaltos: Especificaciones Para Emulsiones Asfálticas Catiónicas (LNV 31) del MC-V8, expuesta en el punto anterior.

4.2.3 Diseño de la Primera Capa

4.2.3.1 Dosis de Agregado

El método presente en la Sección 8.302.50 Asfaltos: “Método de Diseño de Tratamientos Superficiales” del MC-V8, define el procedimiento a emplear para la dosificación de tratamientos superficiales; siendo éstas definidas como aplicaciones consecutivas de ligante asfáltico y agregado pétreo.

Este método puede ser aplicado también a la dosificación de sellos de agregados.

En ésta sección se definen los términos tratamiento superficial y sello de agregados de la siguiente manera:

Tratamiento Superficial: Superficie de rodado que se aplica sobre una base granular, y consiste en un riego de ligante asfáltico seguido de un riego de agregado pétreo. Un tratamiento superficial doble o triple consiste en dos o tres tratamientos aplicados consecutivamente, uno sobre otro.

Sello de Agregados: Consiste en la aplicación de un riego de ligante asfáltico recubierto por Agregados pétreos sobre superficies pavimentadas. También es posible aplicar sellos dobles de agregados.

Es decir, un tratamiento superficial construido sobre un pavimento preexistente es llamado Sello de Agregados.

La dosis de agregado está dada por las siguientes expresiones.

Dosis de Agregado para tratamiento simple: Se calcula la dosis de agregado en [Kg./m²], de acuerdo a la Ecuación 1:

Ecuación 1:

$$C = M[(1 - 0.4V)H \times \rho_{RS} \times E]$$

donde:

C : Dosis de agregado (Kg./m²).

M : Factor de corrección que debe ser evaluado por la experiencia del diseñador en base al clima y tránsito. Su valor normal es 1,0, sin embargo el Asphalt Institute propone modificarlo según experiencia local. Un valor de 0,9 ha dado buenos resultados en el país. No obstante lo anterior, se podrá utilizar factores de ajuste intermedios entre 0,9 y 1,0

V : Vacíos en el agregado, ver ecuación (2) (decimal)

H : Dimensión mínima promedio (mm).

ρ_{RS} : Densidad real seca del agregado (Kg./dm³).

E : Factor de desperdicio.

El Factor de Desperdicio toma valores a partir de la Dimensión Mínima Promedio según la tabla siguiente:

Tabla 13: Factor de Desperdicio

H (mm)	Desperdicio %	Factor de Desperdicio E
< 6,5	5	1,05
6,5 - 8,0	4	1,04
8,1 - 9,5	3	1,03
> 9,5	2	1,02

Los Vacíos en el Agregado se obtienen partir de las densidades aparentes y real seca a través de la Ecuación 2:

Ecuación 2:

$$V = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_{RS}}$$

donde:

V: Contenido de huecos, expresado en forma decimal.

ρ_{as} : Densidad aparente suelta del agregado (Kg./dm³).

ρ_{RS} : Densidad real seca del agregado (Kg./dm³).

La Dimensión Mínima Promedio se calcula a través de la Ecuación 3:

Ecuación 3:

$$H(mm) = \frac{TM}{1.09 + (0.0118 \times IL)}$$

donde:

H : Dimensión mínima promedio (mm).

TM : Tamaño medio del agregado, abertura del tamiz teórico por el cual pasa el 50 % del agregado (mm).

IL : Índice de Lajas (%).

4.2.3.2 Dosis de Ligante

Se determina la dosis de ligante mediante las siguientes expresiones contenidas en la sección 8.302.50 Asfaltos: "Método de Diseño de Tratamientos Superficiales" del MC-V8:

La dosis de Ligante para tratamientos simples se determina en [lt/m²], de acuerdo a la Ecuación 4:

Ecuación 4:

$$B = K \left(\frac{0.40 \times H \times T \times V + S + A}{R} \right)$$

donde:

B : Dosis de ligante (l/m²).

K : Factor de corrección que debe ser evaluado en base al clima por la experiencia del diseñador. Su valor normal es 1,0, pero puede ser mayor o menor según el diseñador. En climas tropicales se ha aplicado 0,9, mientras en climas muy fríos se usa 1,2. Se podrá utilizar valores intermedios entre los extremos indicados, dependiendo del clima de la región donde se ejecute la obra.

H : Dimensión mínima promedio, (mm), ecuación (1).

T : Factor de tránsito.

V : Vacíos en el agregado, ver ecuación (2) (decimal)

S : Factor de corrección por textura superficial (l/m²).

A : Factor de corrección por absorción de asfalto en el agregado (l/m²).

R : Porcentaje de asfalto residual de la emulsión (decimal).

Se debe determinar el porcentaje de residuo asfáltico (R) del ligante (Normalmente emulsión), de acuerdo con el Método 8.302.5 del MC-V8.

El factor Absorción del Agregado (A) compensa la disminución en la dosis de ligante que provoca la absorción del agregado. Por las características de los materiales utilizados en nuestro país, normalmente este factor se desprecia para la mayoría de los agregados. Para agregados absorbentes, el valor de A puede llegar a 0,15 l/m². Para

agregados altamente absorbentes, como piedras volcánicas u otros, se recomienda utilizar algún procedimiento de pre-tratamiento, como la pre-cobertura con asfalto, en vez de aplicar factores de corrección.

El Factor de Tránsito depende del volumen de tránsito y se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla 14: Factor de Tránsito

Volumen de Tránsito ⁽¹⁾ (veh/día)	Factor T
< 100	0,85
100 – 500	0,75
500 – 1.000	0,70
1.000 – 2.000	0,65
> 2.000	0,60
(1) Volumen estimado para el año de puesta en servicio del tratamiento o sello. (2) En el caso de tratamientos para bermas, considerar T = 0,85	

Para obtener el valor de la Corrección por Textura Superficial se debe recurrir a la siguiente tabla:

Tabla 15: Corrección por Textura Superficial

Textura Superficial	Corrección S (l/m ²)
pavimento asfáltico con exceso de asfalto superficial	hasta -0,3
pavimento asfáltico de textura cerrada	0,0
pavimento asfáltico de textura abierta:	
1	0,1
2	0,2
3	0,3
4	0,4
5	0,5
base granular imprimada	0,0 - 0,2

4.2.4 Diseño de la Segunda Capa

4.2.4.1 Determinación de granulometría y densidad del agregado

Una vez determinada la granulometría del agregado de acuerdo con el Método 8.202.3 del MC-V8, se procede a calcular su área superficial según el Método 8.302.35 del MC-V8.

Luego se obtiene la densidad neta del agregado de acuerdo con el Método 8.202.20 y/o 8.202.21 del MC-V8, según corresponda.

Posteriormente se calcula la dosis de ligante, obteniendo un porcentaje en base al peso de agregado aplicado por unidad de superficie.

4.2.4.2 Dosis de Ligante

Se debe comenzar determinando el contenido de emulsión teórico. Éste se obtiene usando la Ecuación 5:

Ecuación 5:

$$Et = \frac{0,4346 \times As \times 1000}{\rho_n \times R} + \frac{ECKc}{R}$$

donde:

Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%).

As : Área superficial del agregado seco (ft²/lb).

ECKc : ECK corregido por densidad neta (%).

ρ_n : Densidad neta del agregado (Kg./m³).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

El equivalente centrífugo de kerosene (ECK) se obtiene de acuerdo con el Método 8.302.35 del MC-V8.

El residuo asfáltico de la emulsión corresponde al obtenido de acuerdo con el Método 8.302.5 del MC-V8.

Luego se calcula el porcentaje de agua total en la mezcla según la siguiente expresión:

Ecuación 6:

$$W = W1 + Et \times (1 - R)$$

donde:

W : Porcentaje de agua total en la mezcla (%).

W1 : Porcentaje de agua de premezclado referido al agregado seco (%).

Et : Contenido de emulsión teórico referido al agregado seco (%).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

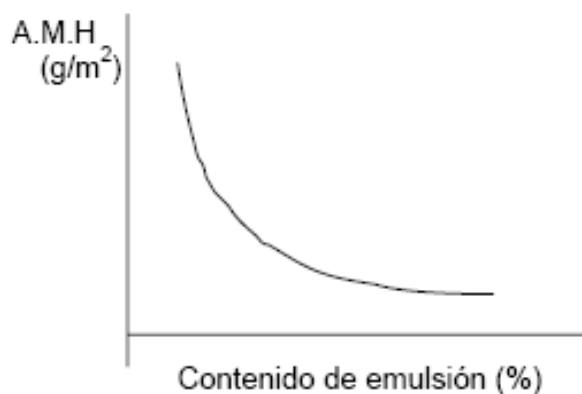
Se debe determinar la cantidad óptima de agua requerida para formar una mezcla estable y trabajable según el Método 8.302.45 "Método para Determinar la Consistencia de Lechadas Asfálticas", usando el contenido de emulsión teórico determinado anteriormente e incorporando la cantidad de agua necesaria para obtener un desplazamiento de la mezcla en el rango de 2 a 3 cm. La cantidad de agua incorporada corresponde al agua de premezclado expresada en porcentaje (%) referida al agregado seco. Registre este valor como W1, aproximando a un decimal.

El residuo asfáltico de la emulsión corresponde al obtenido anteriormente de acuerdo con el Método 8.302.5 del MC-V8.

Una vez calculado el porcentaje de agua total en la mezcla, se procede a elaborar probetas que deberán ser ensayados según los métodos 8.302.53 Asfaltos: "Método para Determinar el Porcentaje Máximo De Ligante En Lechadas Asfálticas Usando La Rueda De Carga" y 8.302.46 Asfaltos: "Método de Abrasión en Medio Húmedo para Lechadas Asfálticas del MC-V8".

Se determina el desgaste por abrasión bajo agua de la mezcla obtenida anteriormente mediante procedimiento teórico de acuerdo con el Método 8.302.46 y luego manteniendo constante el porcentaje de agua total en la mezcla, se debe variar (aumentando o disminuyendo) el contenido (%), determinando el desgaste por Abrasión Medio Húmedo (AMH) para cada una de las probetas. Con la información reunida construya un gráfico que permita obtener una curva como la mostrada en la Figura 18, la cual debe cubrir adecuadamente la zona o rango de trabajo requerido.

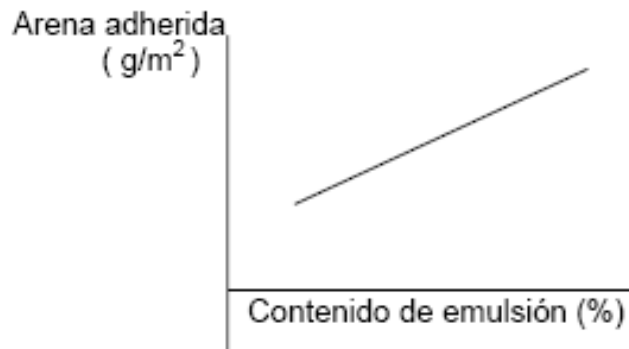
Figura 18: AMH en función del porcentaje de Emulsión para un contenido de agua total constante



Se interpola la curva para el valor máximo de desgaste especificado (550 g/m², excepto cuando se usen emulsiones elastoméricas en que el límite será de 400 g/m²), obteniendo el contenido de ligante asociado a este valor. Este valor corresponde al contenido mínimo de emulsión (E mín), aproximando a un decimal.

Se determina la cantidad de arena adherida de la mezcla obtenida anteriormente mediante procedimiento teórico de acuerdo con el Método 8.302.53. Luego, manteniendo constante el porcentaje de agua total, se procede a variar (aumentando o disminuyendo) el contenido (%) de emulsión respecto del teórico, determinando la cantidad de arena adherida a la probeta (S_a) para cada una de las probetas según Método 8.302.53. Análogamente al caso anterior, con la información reunida construya un gráfico que permita obtener una curva como la mostrada en la Figura 19, la cual debe cubrir adecuadamente la zona o rango de trabajo requerido.

Figura 19: Arena adherida en función del porcentaje de Emulsión para un contenido de agua total constante



Posteriormente, de acuerdo al tránsito, expresado como TMDA, se obtiene desde la Tabla 8.302.52 del MC-V8 (Tabla 16) la cantidad máxima permisible de arena adherida; este valor interpolado en la curva permite obtener el contenido de ligante máximo de emulsión (E máx), aproximando a un decimal.

Tabla 16: Valores máximos admisibles para adhesión de arena

Tránsito (TMDA)	Cantidad máxima permisible de arena adherida (g/m ²)
0 a 500	750
500-1.500	650
1.500-a más de 3.000	540

Finalmente:

El contenido óptimo de emulsión referido al peso del agregado seco se obtiene de la siguiente manera:

Ecuación 7: Contenido óptimo de Emulsión

$$E_{opt} = \frac{E_{mín} + E_{màx}}{2}$$

donde:

E opt : Contenido óptimo de emulsión (%).

E mín : Contenido mínimo de emulsión (%).

E máx : Contenido máximo de emulsión (%).

El contenido (%) óptimo de agua de premezclado se determina utilizando la expresión siguiente:

Ecuación 8: Contenido óptimo de Agua de Premezclado

$$W_{opt} = W - E_{opt} \times (1 - R)$$

donde:

W ópt : Contenido óptimo de agua de premezclado referido al agregado seco (%).

W : Contenido de agua total en la mezcla (%).

E ópt : Contenido óptimo de emulsión referido al agregado seco (%).

R : Residuo asfáltico de la emulsión (expresado en forma decimal).

4.3 Visación por parte de la Dirección de Vialidad

La dosificación presentada por la empresa constructora es visada por parte del Laboratorio de Vialidad.

4.3.1 Controles de calidad durante la Construcción

Durante la construcción de los caminos se realizan controles a la dosificación de los áridos y mezclas asfálticas de ambas capas, verificando el cumplimiento de los valores aprobados para el proyecto. También se estudia cualquier eventual ajuste de ésta. La Figura 20 y la Figura 21 corresponden a un control de dosificación realizado en el contrato Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto

Figura 20: Toma de muestras para medir dosificación de ligante



Figura 21: Cálculo de dosificación según peso de la muestra



4.3.2 Recepción

Al momento de la recepción del proyecto se realiza una revisión general del cumplimiento de las especificaciones y el estado del pavimento antes de entrar en servicio.

4.3.4 Camino en Servicio

Una vez en servicio se realizan inspecciones visuales para determinar las intervenciones correspondientes.

CAPITULO 5 MEDICIONES DE TEXTURA REALIZADAS A LAS CARPETAS DE RODADURA DE LOS CAMINOS

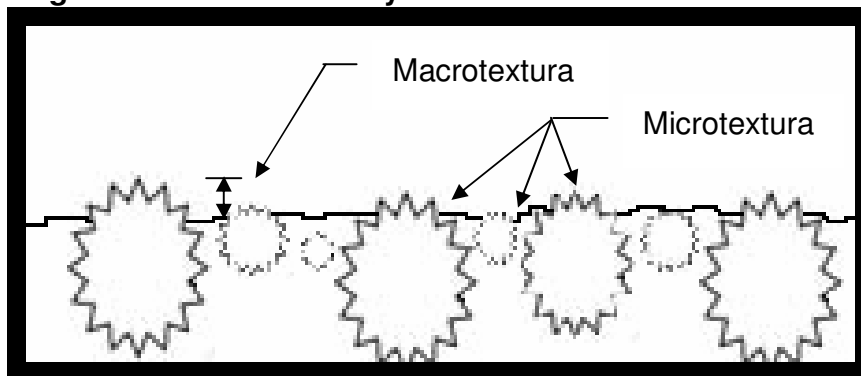
5.1 Textura superficial de pavimentos

Un aspecto de seguridad importante que debe cumplir un pavimento es entregar al usuario una superficie cuya textura asegure una buena adherencia entre neumático y carpeta de rodadura, una fricción adecuada en situaciones normales de circulación, en curvas, zonas de frenado y sobretodo al encontrarse el pavimento eventualmente mojado.

El fenómeno de fricción depende de dos conceptos: microtextura y macrotextura. Mientras que el primero representa la aspereza y textura propia del árido, el segundo representa la profundidad de la mayor o menor exposición del árido grueso fuera del mortero (ver figura). Ambas propiedades ayudan a proporcionar la fricción necesaria del pavimento bajo distintas condiciones.

La microtextura es la responsable de la fricción a velocidades bajas (50 a 60 [Km./h]), en tanto que la macrotextura es la que permite aumentar la adherencia al drenar el agua bajo el neumático cuando este circula a velocidades más altas.

Figura 22: Macrotextura y Microtextura.



5.2 Ensayos para cuantificar Textura Superficial

5.2.1 Péndulo Británico

Figura 23: Péndulo Británico (TRRL)



Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico, contenido en el Manual de Carreteras Volumen 8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”, Numeral 8.602.24 “Seguridad Vial: Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con Péndulo Británico (TRRL).²”

² Desarrollado en la década de los cincuenta por el Transport and Road Research Laboratory, (T.R.R.L.), del Reino Unido

El Péndulo Británico (Figura 23) sigue siendo, casi cincuenta años después, uno de los equipos más versátiles, económicos y de amplia utilización para la obtención de este coeficiente. Pese a sus limitaciones de rendimiento y variabilidad que puede presentar en los resultados de cada ensayo, este equipo es muy sensible a la microtextura, lo que lo hace ideal para ser utilizado en superficies donde los equipos de medición continua y alto rendimiento requieren dimensiones, dirección, sentido y velocidades mínimas de operación. (José Pedro Mery G., Profesor PUC)

Las pequeñas dimensiones de este equipo permite que pueda ser empleado de manera simple en muchas superficies además de las carpetas de rodadura, como por ejemplo: Baldosas.

5.2.1.1 Descripción

Péndulo dinámico utilizado para medir la pérdida de energía producto del roce del borde de un patín de goma sobre alguna superficie.

El aparato calibrado permite obtener un el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre una superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

Figura 24: Registro de medidas de Péndulo Británico



5.2.1.2 Procedimiento

El péndulo se coloca en el punto de ensayo ubicando verticalmente la zapata en el punto elegido y cuidando que la dirección de barrido del brazo simula el movimiento que realizan los neumáticos que circulan por la pista sobre la que se trabaja.

La nivelación del aparato se realiza mediante 3 pernos de ajuste ubicados en cada pie de apoyo y una burbuja ubicada en la base. Se comprueba la calibración en cero soltando el péndulo sin tener contacto con el suelo, posteriormente el largo del brazo se ajusta de modo que la superficie de contacto del barrido de la zapata coincida con la longitud de rozamiento indicada en la regla calibrada (124 y 127 mm.).

Se debe limpiar previamente la superficie de barrido y luego humedecer con abundante agua.

Finalmente se registran al menos 4 lecturas de la aguja indicadora al ser arrastrada por la oscilación del péndulo, sin que estas difieran en más de 3 unidades. Se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo para realizar posterior corrección por temperatura.

5.2.1.3 Requisitos para los valores obtenidos

Los requisitos se detallan en la Sección 3.2 del Capítulo III de este documento.

La Tabla 17 entrega una referencia internacional de los rangos aceptables para los valores registrados en el ensayo del Péndulo Británico. Al comparar con los requisitos detallados anteriormente en el Capítulo III, se observa que el rango mejor calificado coincide con los valores usados en Chile. Lo anterior sólo a modo de referencia.

Tabla 17: Clasificación referencial para CRD. (SCT e IMT, México)

CRD	Calificación
<0,5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
>0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

5.2.2 Círculo de Arena

Figura 25: Equipo y materiales del ensayo del Círculo de Arena



Método descrito en Manual de Carreteras, Volumen 8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensayo y Control”, Sección 8.602.25 “Seguridad Vial: Método para determinar la textura superficial del pavimento mediante ensayo del círculo de arena”, llamado también ensayo del Círculo de Arena. Describe el procedimiento para relacionar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento con la medición de los diámetros registrados sobre un volumen conocido de material esparcido sobre la superficie del pavimento.

Dada su simplicidad y efectividad, es un método transversal a nivel mundial para medir la macrotextura en proyectos viales; variando en algunos casos el material a utilizar (Distintos tipos y graduaciones de arena, micro esferas de vidrio, etc.). Sin embargo, métodos dinámicos como el perfilómetro se alzan hoy como alternativas.

5.2.2.1 Descripción

Consiste en determinar la profundidad promedio de la macrotextura de la superficie del pavimento, conocer el espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los caminos.

El 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.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto mas eficiente (en termino de área de contacto) entre neumático y pavimento.

Figura 26: Medición de diámetros en distintas direcciones



5.2.2.2 Procedimiento

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto.

Se procede a depositar el volumen conocido de arena sobre el pavimento y luego se esparce homogéneamente con movimientos circulares utilizando un disco con superficie de goma llenando las cavidades de la carpeta a ras con las crestas de los áridos que afloran de ésta.

Posteriormente se procede a registrar 5 diámetros del círculo obtenido midiendo en distintas direcciones.

Luego, conocido el volumen de arena utilizado, el diámetro promedio del círculo y considerando la fórmula del volumen de un cilindro, se obtiene un valor medio para el espesor de la macrotextura.

5.2.2.3 Requisitos para los valores obtenidos

Los requisitos se detallan en la Sección 3.1 del Capítulo 3 de este documento.

5.3 Procedimiento en terreno

Las medidas obtenidas en terreno se realizaron siguiendo las indicaciones y recomendaciones del MCV 8.

Se consideraron 10 puntos de medición en cada uno de los 5 caminos incluidos en el seguimiento. Ambos ensayos fueron realizados en la huella externa o derecha según el sentido de avance del vehículo y alternando entre pistas, de esta manera se obtienen datos para ambos sentidos del camino. Lo anterior permitirá comparar los resultados obtenidos y analizar una eventual diferencia que pudiera ser atribuida a diferente nivel de desgaste producto de las diferencias en el volumen de tránsito.

El criterio para escoger los puntos obedece al objetivo de obtener una muestra representativa de la longitud total del camino por lo que se intenta escoger puntos equiespaciados y que representen fielmente las condiciones generales observadas y no singularidades de la carpeta. Lo anterior, supeditado a las condiciones de seguridad.

Una vez identificado el punto a medir, se ubican los vehículos ocupando una de las pistas del camino.

Figura 27: Registro de mediciones



Se contempla el uso de paletas y conos, además de la señal luminosa de la camioneta del LNV como elementos indispensables de seguridad.

Los ensayos de Círculo de Arena y Péndulo Británico se realizan simultáneamente y separados por aproximadamente 2 metros, distancia suficiente para no entorpecer el trabajo de cada uno de los laboratoristas.

En la ficha correspondiente se registra: Kilometraje, Pista³ (1 ó 2, según el sentido), diámetros obtenidos para el ensayo de Círculo de Arena, valores BPN medidos en el Péndulo Británico y la temperatura del agua utilizada en este último ensayo.

Además se pone atención ante cualquier observación que pudiera ser útil al momento de analizar los datos como la pendiente del sector donde se realiza el ensayo, cercanía de cruces o curvas, etc.

³ Generalmente se denomina pista 1 aquella que está en el sentido creciente del kilometraje del camino. La pista 2 será la pista con sentido contrario.

CAPITULO 6 ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentaran los valores de diseño para cada camino analizado en contraste con las especificaciones a través de tablas y gráficos.

También se muestran los resultados de las mediciones en terreno y los posteriores cálculos realizados que permiten verificar el cumplimiento de los valores mínimos exigidos a los parámetros de macrotextura y coeficiente de fricción.

Los caminos estudiados son los presentados a continuación en la Tabla 18:

Tabla 18: Caminos Estudiados

Proyecto	Rol	Extensión [Km.]
Construcción de Infraestructura vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama.	C-491	2.1
Construcción Variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama.	C-569	6.12
Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama.	C-411	24
Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.	C-17	30
Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.	C-35	33.23

6.1 Construcción de Infraestructura Vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama (El Olivar)

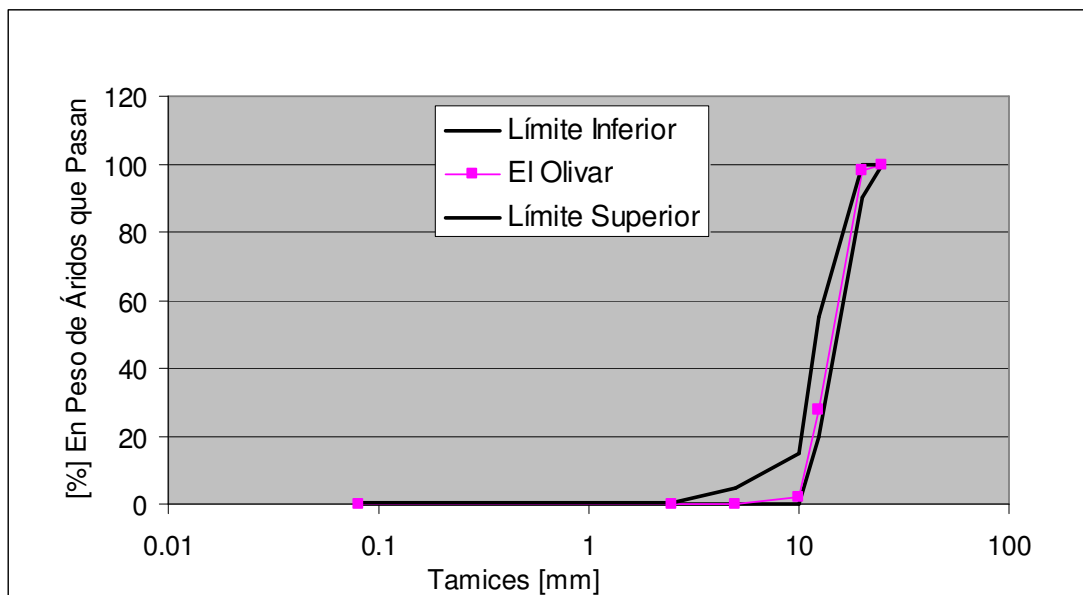
La granulometría utilizada en la construcción del camino y aprobada a través de la visación, se compara a continuación con las bandas granulométricas especificadas tanto para el tratamiento superficial como para la lechada asfáltica:

6.1.1 Tratamiento Superficial

Tabla 19: Comparación de granulometría de Tratamiento Superficial, camino sector el Olivar

Tamiz[mm]	Inferior	El Olivar	Superior
25	100	100	100
20	90	98	100
12.5	20	28	55
10	0	2	15
5	0	0.2	5
2.5	0	0	0.5
0.08	0	0	0.5

Gráfico 3: Comparación de granulometría de Tratamiento Superficial, camino sector el Olivar

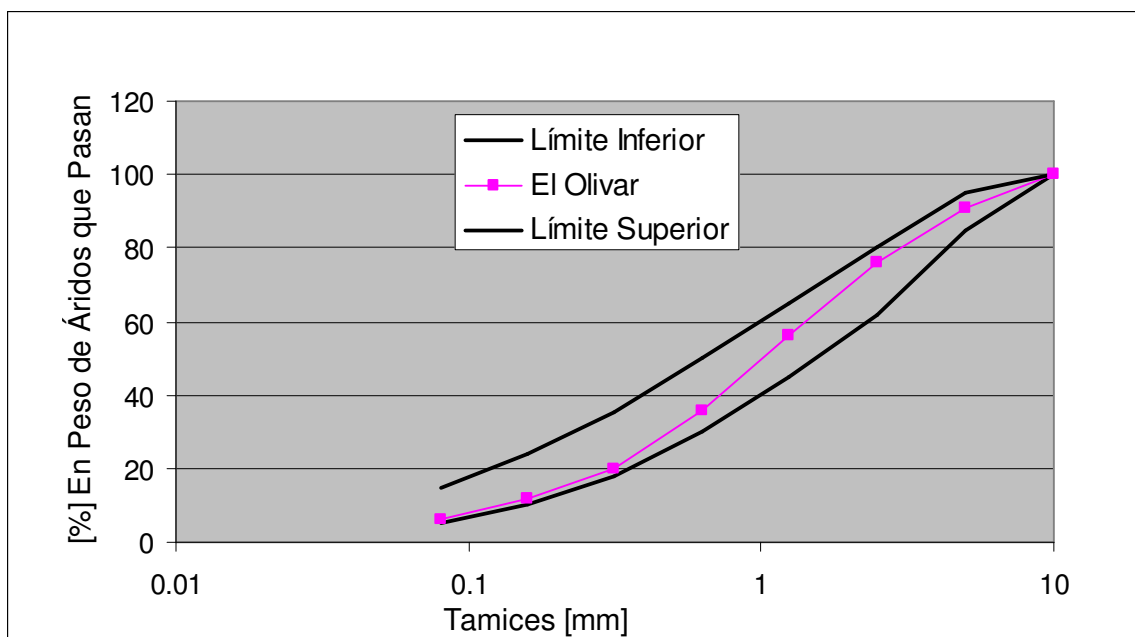


6.1.2 Lechada Asfáltica

Tabla 20: Comparación de granulometría para la Lechada Asfáltica, camino sector el Olivar

Tamiz[mm]	Inferior	El Olivar	Superior
10	100	100	100
5	85	91	95
2.5	62	76	80
1.25	45	56	65
0.63	30	36	50
0.315	18	20	35
0.16	10	12	24
0.08	5	6	15

Gráfico 4: Comparación de granulometría de Lechada Asfáltica, camino sector el Olivar



La dosificación del gráfico es la siguiente:

Tabla 21: Dosificación de Árido Y Ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector el Olivar

Lechada Asfáltica		Tratamiento Superficial		
Tipo Ligante	% Ligante (con respecto al peso seco de agregado)	Tipo Ligante	Dosificación Ligante [lt/m ²]	Dosificación Árido [Kg./m ²]
CSS-1h	11 -12	CRS-2	1,14 lt	17-19

6.1.3 Mediciones en Terreno

Los resultados de las mediciones en terreno se muestran a continuación:

Tabla 22: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector el Olivar

Nombre:	Construcción de Infraestructura vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama.						
Rol:	C-491	Fecha:	17-04-2008				
Operador:	Gabriel Belmar						
Mediciones							
Dm*	Pista	1	2	3	4	5	MTD[mm]
500	1	19.5	19	19	19.5	19	1.4
1,500	1	18	18	17.5	18	17.5	1.6
2,050	1	22	22	21	22	21.5	1.1
1,700	2	21.5	21	21.5	21	21	1.2
1,400	2	21.5	21.5	21	21	21	1.2
1,050	2	20	19	20	20	20	1.3
700	2	22	21.5	22	21.5	21	1.1
500	2	20	20	20.5	20	19.5	1.3
300	2	21	20	20.5	20	19.5	1.2
0	2	17	17	17	16.5	16.5	1.8
* Dm: Distancia en metros.					MTD Promedio = 1.3		

Tabla 23: Registro de mediciones ensayo péndulo Británico (TRRL), camino sector el Olivar

Nombre:	Construcción de Infraestructura vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama.							
Rol:	C-491	Fecha:	17-04-2008					
Operador:	Gabriel Riquelme							
Mediciones								
Dm*	Pista	1	2	3	4	Promedio	T [°C]	CRD
500	1	64	64	65	64	64.3	21.9	0.65
1,500	1	64	63	63	64	63.5	24.5	0.65
2,050	1	60	61	60	61	60.5	26.3	0.62
1,700	1	61	62	62	62	61.8	26.6	0.63
1,400	1	59	60	60	60	59.8	24.6	0.61
1,050	1	56	56	56	56	56.0	24.2	0.57
700	2	65	64	64	64	64.3	24.8	0.65
500	2	60	60	60	59	59.8	25.3	0.61
300	2	60	60	60	59	59.8	25.3	0.61
0	2	70	70	71	71	70.5	25.6	0.72
* Dm: Distancia en metros.						CRD Promedio = 0.63		

6.1.4 Análisis

El promedio obtenido para la microtextura del camino (CRD=0.63) está por sobre lo exigido para pavimentos asfálticos en sectores sin singularidades (CRD mín.=0.55).

La menor resistencia al deslizamiento en relación al resto de los caminos analizados (Resultados del ensayo BPN) del camino El Olivar es atribuible principalmente a la superficie pulida observada de los áridos de la capa de rodadura, se observa además una superficie con menor macrotextura en relación al resto de los caminos analizados, esto último respaldado por el ensayo del círculo de arena. Sin embargo el promedio (MTD=1.3), supera ampliamente el valor mínimo exigido (MTD mín.= 0.6).

Cabe destacar que a diferencia de las superficies de los otros caminos, fue bastante fácil en este caso fijar la longitud de rozamiento para el ensayo BPN debido a lo regular de la carpeta. Visualmente se observa una superficie muy lisa donde el neumático está en contacto directo con el ligante asfáltico donde los áridos, de aspecto pulimentado, están embebidos. La superficie pulimentada puede ser producto de un desgaste debido al tránsito o a la procedencia de los áridos. Por lo tanto como recomendación es deseable que los áridos de la lechada asfáltica sean chancados y no rodados, y que posean alta resistencia al desgaste.

No existen mayores variaciones entre las mediciones realizadas en la pista 1 con respecto a las recogidas en la pista 2.

6.2 Construcción variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama

La granulometría utilizada en la construcción del camino y aprobada a través de la visación, se compara a continuación con las bandas granulométricas especificadas tanto para el tratamiento superficial como para la lechada asfáltica:

6.2.1 Tratamiento Superficial

Tabla 24: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector El Jilguero

Tamiz[mm]	Inferior	Jilguero	Superior
25	100	100	100
20	90	99	100
12.5	20	34	55
10	0	5	15
5	0	2	5
2.5	0	0	0.5
0.08	0	0	0.5

Gráfico 5: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector El Jilguero

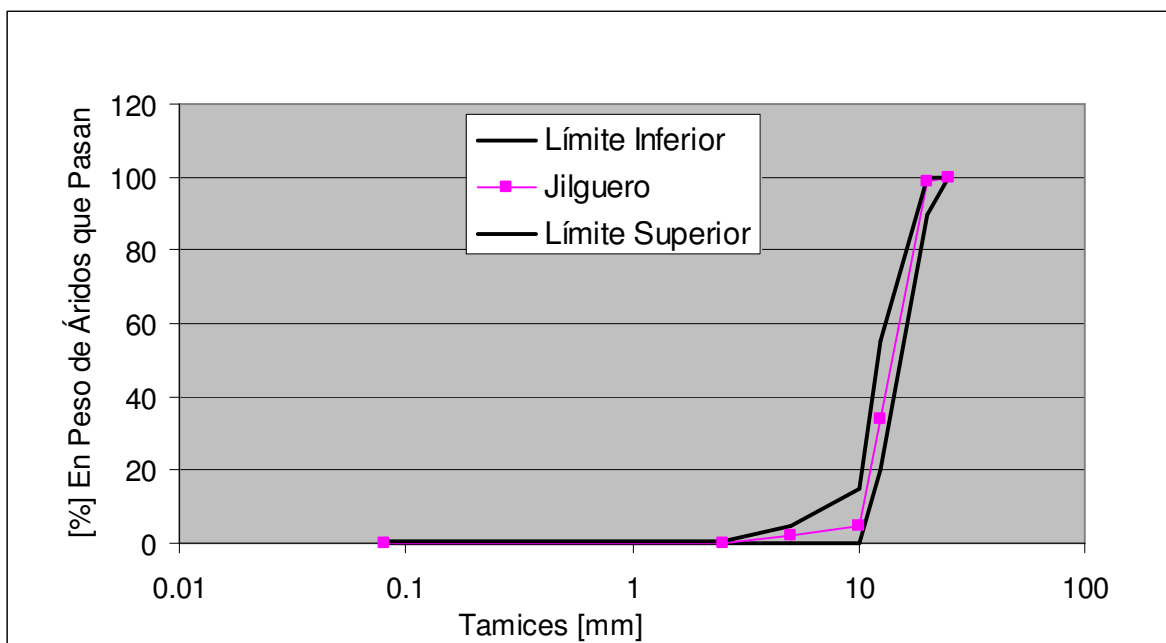
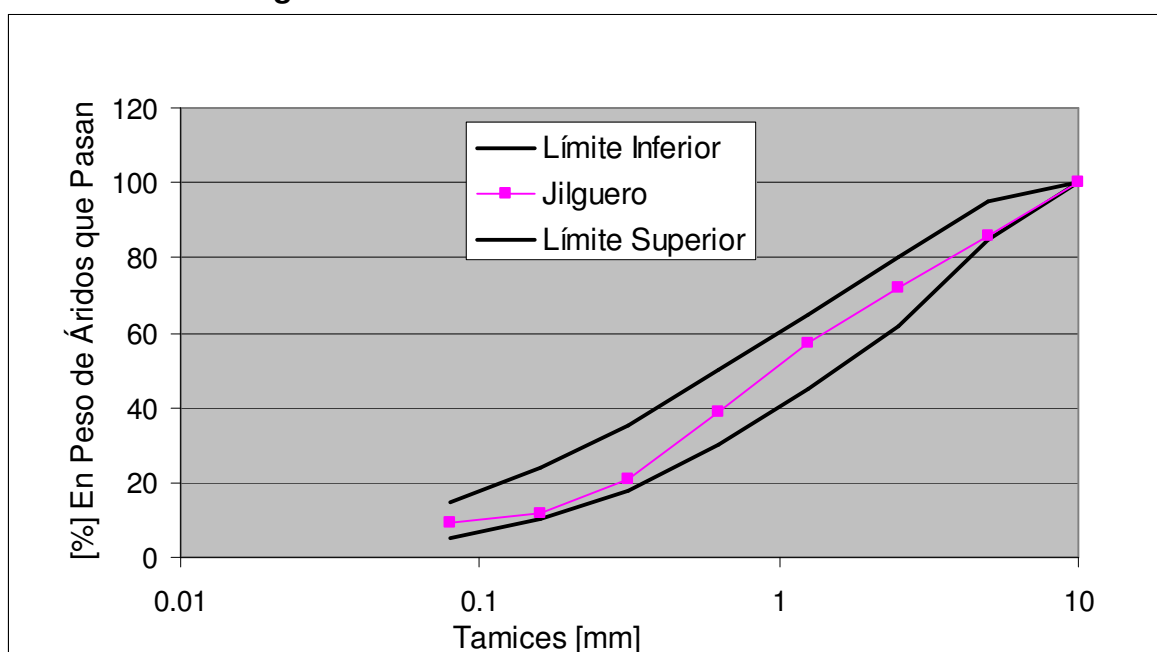


Tabla 25: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector El Jilguero

Tamiz[mm]	Inferior	Jilguero	Superior
10	100	100	100
5	85	86	95
2.5	62	72	80
1.25	45	57	65
0.63	30	39	50
0.315	18	21	35
0.16	10	12	24
0.08	5	9	15

Gráfico 6: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector El Jilguero



La dosificación del proyecto es la siguiente:

Tabla 26: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector El Jilguero

Lechada Asfáltica		Tratamiento Superficial		
Tipo Ligante	% Ligante (con respecto al peso seco de agregado)	Tipo Ligante	Dosificación Ligante [lt/m ²]	Dosificación Árido [Kg./m ²]
CSS-1h	15	CRS-2	1,17 lt	22.85

Tabla 27: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector El Jilguero

Nombre:	Construcción Variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama.						
Rol:	C-569	Fecha:	17-04-2008				
Operador:	Gabriel Belmar						
Mediciones							
Dm*	Pista	1	2	3	4	5	MTD[mm]
600	1	13	13	13.5	13.5	13.5	3.0
1,500	1	15.5	15	15.5	15.5	15	2.3
2,500	1	16	15	15.5	15	15	2.2
3,500	1	17	18	17.5	18	17.5	1.7
4,500	1	15	15	14.5	14.5	14.5	2.3
5,500	1	15	14.5	15	15	15	2.3
5,000	2	15	15	15	15	15	2.3
3,000	2	15	15	15	15	15	2.3
2,000	2	16	15.5	15.5	15.5	16	2.0
1,000	2	14	13.5	14	14	13.5	2.6
* Dm: Distancia en metros.						MTD Promedio = 2.3	

Tabla 28: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector El Jilguero

Nombre:	Construcción Variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama.							
Rol:	C-569	Fecha:	17-04-2008					
Operador:	Gabriel Riquelme							
Mediciones								
Dm*	Pista	1	2	3	4	Promedio	T [°C]	CRD
600	1	59	58	61	62	60.0	26	0.61
1,500	1	53	55	54	54	54.0	26.9	0.55
2,500	1	70	70	69	70	69.8	27	0.71
3,500	1	69	68	69	69	68.8	28.2	0.70
4,500	1	57	57	57	58	57.3	28.5	0.59
5,500	1	56	56	56	57	56.3	28.7	0.58
5,000	2	55	55	56	55	55.3	27.8	0.57
3,000	2	66	66	65	64	65.3	27.1	0.67
2,000	2	55	55	56	56	55.5	27.1	0.57
1,000	2	59	59	60	60	59.5	25.5	0.61
* Dm: Distancia en metros.						CRD Promedio = 0.62		

Los resultados obtenidos para el ensayo del péndulo británico arrojan valores por sobre lo exigido para sectores sin singularidades (en promedio CRD=0.62).

Es posible observar pérdida del material más fino de la capa superficial, lo que determina una carpeta con una gran microtextura, los áridos que afloran de la carpeta presentan superficie pulida.

Cabe destacar que en este camino se tomaron algunas medidas de resistencia al deslizamiento en un ángulo de aproximadamente 27° con respecto a dirección de desplazamiento de los vehículos, obteniendo un gran aumento de esta propiedad. Diferencia atribuible al desgaste de los áridos producto del tránsito en la dirección de circulación.

El promedio de los valores de macrotextura (MTD= 2.3) obtenidos supera ampliamente el mínimo exigido para pavimentos asfálticos.

No existen mayores variaciones entre las mediciones realizadas en la pista 1 con respecto a las recogidas en la pista 2.

6.3 Proyecto: Mejoramiento Ruta C-411, sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama (Nantoco)

La granulometría utilizada en la construcción del camino y aprobada a través de la visación, se compara a continuación con las bandas granulométricas especificadas tanto para el tratamiento superficial como para la lechada asfáltica:

Tabla 29: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Nantoco

Tamiz[mm]	Límite Inferior	Nantoco	Límite Superior
25	100	100	100
20	90	100	100
12.5	20	29	55
10	0	5	15
5	0	1	5
2.5	0	0	0.5
0.08	0	0	0.5

Gráfico 7: Granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Nantoco

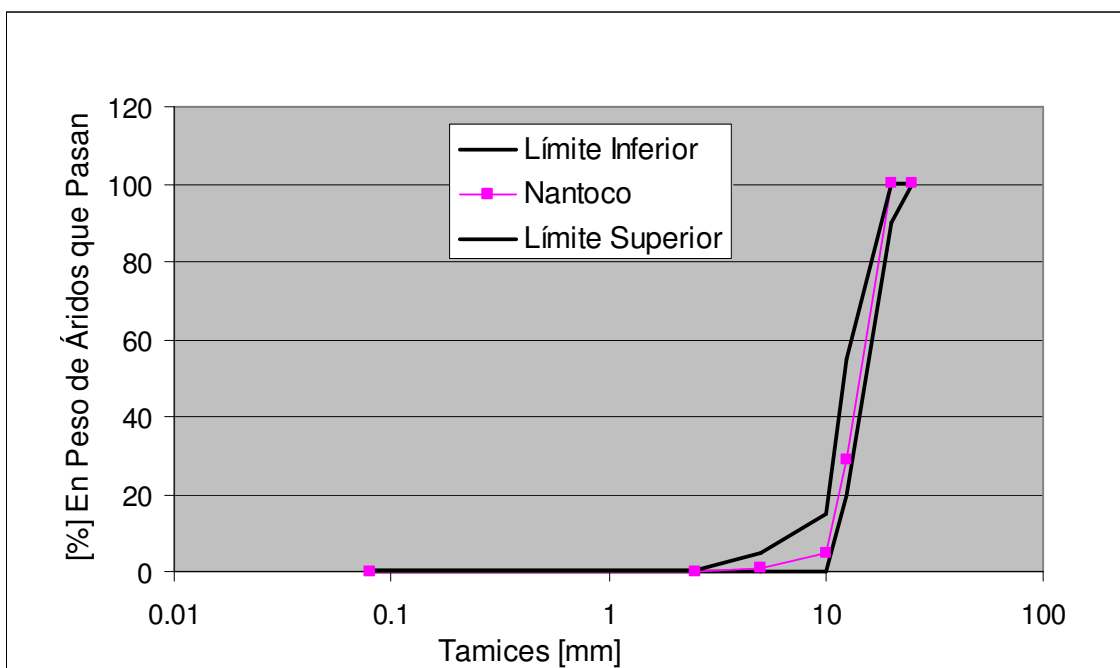
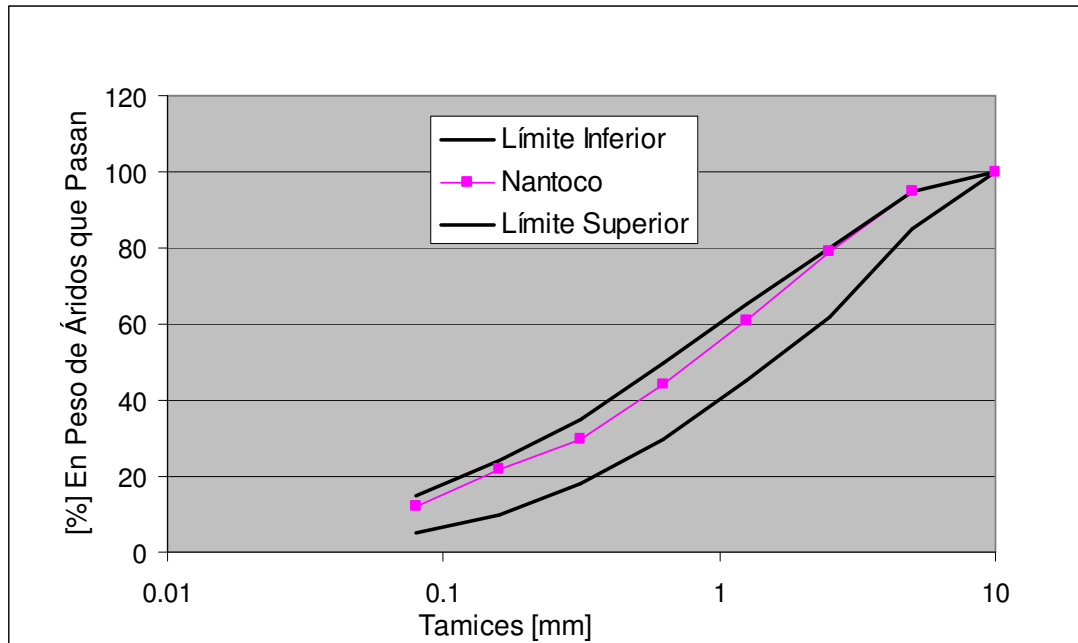


Tabla 30: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Nantoco

Tamiz[mm]	Inferior	Nantoco	Superior
10	100	100	100
5	85	95	95
2.5	62	79	80
1.25	45	61	65
0.63	30	44	50
0.315	18	30	35
0.16	10	22	24
0.08	5	12	15

Gráfico 8: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Nantoco



No se tiene información acerca de la dosificación del proyecto.

Tabla 31: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Nantoco

Lechada Asfáltica		Tratamiento Superficial		
Tipo Ligante	% Ligante (con respecto al peso seco de agregado)	Tipo Ligante	Dosificación Ligante [lt/m ²]	Dosificación Árido [Kg./m ²]
CSS-1h	-	CRS-2	-	-

Tabla 32: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector Nantoco

Nombre:	Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama.						
Rol:	C-411	Fecha:	15-04-2008				
Operador:	Gabriel Belmar						
Mediciones							
Dm*	Pista	1	2	3	4	5	MTD[mm]
5,000	1	15	14.8	14.5	15	14.5	2.3
9,000	1	16	15.8	16	15.5	16	2.0
13,000	1	15.5	15	15.5	15	15.5	2.3
14,720	1	13.5	13	13	13	13	3.0
19,050	1	16.5	16	16	16.5	16	2.0
2,200	2	13	15	13	14	14	2.7
7,000	2	14	14	13	13	14	2.8
11,000	2	15	15.5	15	15	15.5	2.3
22,640	2	15	14.5	14.5	15	15	2.3
17,020	2	15.5	16	16	15	15.5	2.1
* Dm: Distancia en metros.							MTD Promedio = 2.4

Tabla 33: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Nantoco

Nombre:	Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama.							
Rol:	C-411	Fecha:	15-04-2008					
Operador:	Gabriel Riquelme							
Mediciones								
Dm*	Pista	1	2	3	4	Promedio	T [°C]	CRD
5,000	1	70	69	69	69	69.3	22	0.70
9,000	1	79	78	79	78	78.5	22.5	0.79
13,000	1	80	80	80	80	80.0	22.5	0.81
14,720	1	79	78	78	78	78.3	23	0.79
19,050	1	77	75	75	75	75.5	23	0.76
2,200	1	80	80	81	80	80.3	14	0.79
7,000	2	83	84	83	84	83.5	14.1	0.82
11,000	2	79	78	78	80	78.8	16.1	0.78
22,640	2	86	86	87	86	86.3	16.3	0.85
17,020	2	74	75	76	74	74.8	17.2	0.74
* Dm: Distancia en metros.							CRD Promedio = 0.78	

Se observa el cumplimiento de los requisitos mínimos de macrotextura y coeficiente de fricción.

El camino ubicado en el sector de Nantoco presenta problemas de pérdida de áridos superficiales, esto ha determinado que la macrotextura de la carpeta sea una de la mas altas. La calidad de árido utilizado en este pavimento es ideal, se trata de árido chancado de granulometría bastante uniforme que constituye una superficie áspera y porosa con una textura que otorga bastante seguridad y serviciabilidad. Sin embargo la pérdida de áridos muestra indicios de fallas principalmente longitudinales, grietas delgadas de alrededor de un milímetro de espesor en algunos sectores.

En las zonas donde la pérdida de material es mayor, es posible apreciar el afloramiento de los áridos de la capa del primer sello, sin presentar aún problemas. Se recomienda pronta intervención, rejuvenecimiento de la carpeta. Por el momento entrega fricción y resistencia al deslizamiento similares a la de un camino recién entregado.

No se observan variaciones importantes entre las mediciones realizadas en la pista 1 con respecto a las recogidas en la pista 2.

6.4 Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama (Carrera Pinto)

La granulometría utilizada en la construcción del camino y aprobada a través de la visación, se compara a continuación con las bandas granulométricas especificadas tanto para el tratamiento superficial como para la lechada asfáltica:

Tabla 34: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Carrera Pinto

Tamiz[mm]	Límite Inferior	Carrera Pinto	Límite Superior
25	100	100	100
20	90	98	100
12.5	20	45	55
10	0	14	15
5	0	1	5
2.5	0	0	0.5
0.08	0	0	0.5

Gráfico 9: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Carrera Pinto

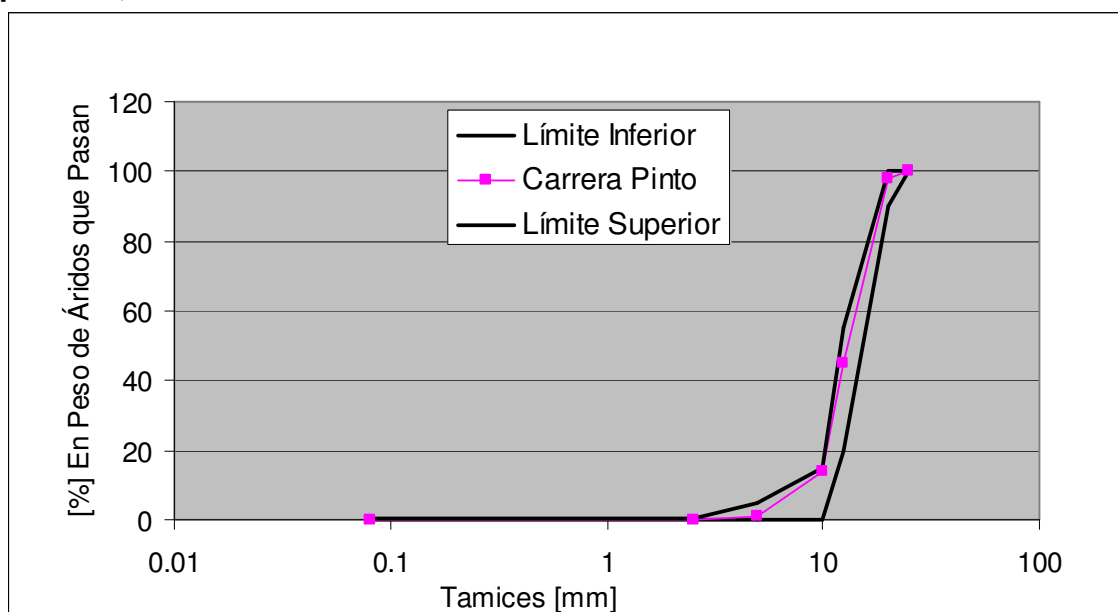
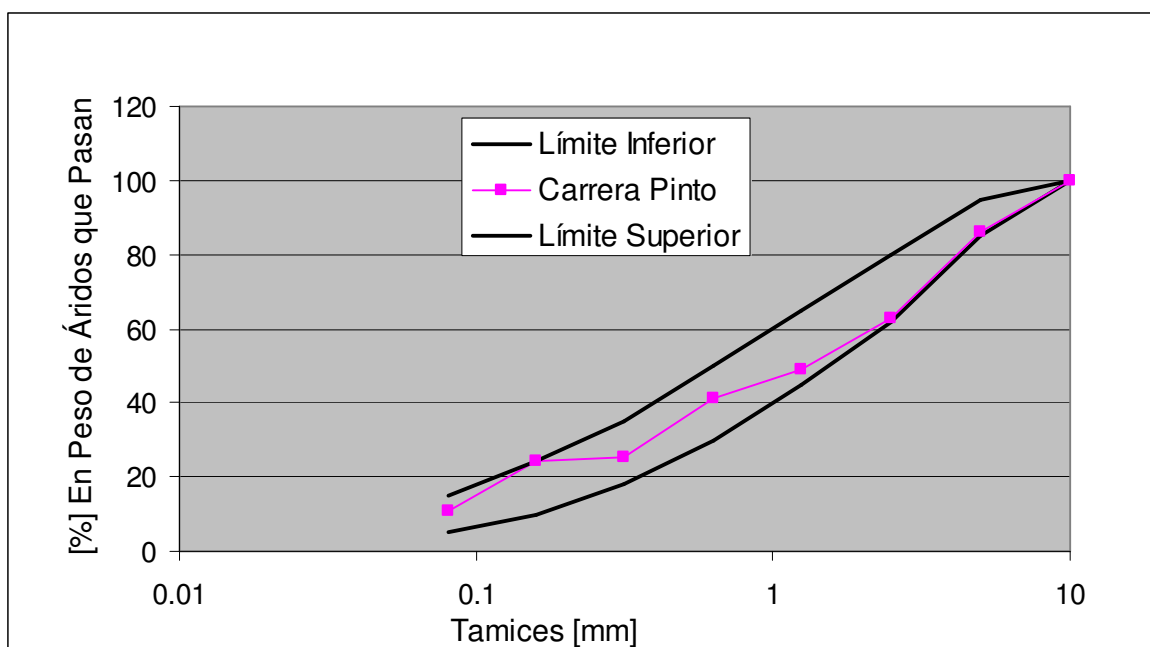


Tabla 35: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Carrera Pinto

Tamiz[mm]	Inferior	Carrera Pinto	Superior
10	100	100	100
5	85	86	95
2.5	62	63	80
1.25	45	49	65
0.63	30	41	50
0.315	18	25	35
0.16	10	24	24
0.08	5	11	15

Gráfico 10: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Carrera Pinto



La dosificación del proyecto es la siguiente:

Tabla 36: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Carrera Pinto

Lechada Asfáltica		Tratamiento Superficial		
Tipo Ligante	% Ligante (con respecto al peso seco de agregado)	Tipo Ligante	Dosificación Ligante [lt/m ²]	Dosificación Árido [Kg./m ²]
CSS-1h	13.7	CRS-2	1,91 lt	18.1

Gráfico 11: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector Carrera Pinto

Nombre:	Conservación de Red Básica y Recapados (Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama).						
Rol:	C-17	Fecha:	16-04-2008				
Operador:	Gabriel Belmar						
Mediciones							
Dm*	Pista	1	2	3	4	5	MTD[mm]
31,000	1	15.5	15	15	15	15.5	2.3
32,000	1	17	17	17	16.5	17	1.8
33,000	1	17	16.5	17	16.5	17	1.8
34,000	1	16	16	15.8	16	16	2.0
35,000	1	16	16	16	16	16	2.0
35,500	2	14	14	14.5	14	14	2.6
34,500	2	15	14.5	15	15	14.5	2.3
33,500	2	16	16.5	16	16.5	16	2.0
32,500	2	16	16	16	16	16	2.0
31,500	2	16.5	17	16.5	16	16.5	1.9
* Dm: Distancia en metros.					MTD Promedio = 2.1		

Tabla 37: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Carrera Pinto

Nombre:	Conservación de Red Básica y Recapados (Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama).							
Rol:	C-17	Fecha:	16-04-2008					
Operador:	Gabriel Riquelme							
Mediciones								
Dm*	Pista	1	2	3	4	Promedio	T [°C]	CRD
31,000	1	83	84	86	86	84.8	23.5	0.86
32,000	1	89	87	88	88	88.0	24	0.89
33,000	1	76	76	77	76	76.3	23.2	0.77
34,000	1	83	84	84	85	84.0	23.2	0.85
35,000	1	82	85	83	84	83.5	23.2	0.84
35,500	1	77	78	78	77	77.5	23.3	0.78
34,500	2	75	75	75	76	75.3	23.4	0.76
33,500	2	84	83	83	84	83.5	23.3	0.84
32,500	2	78	79	78	79	78.5	22.5	0.79
31,500	2	75	75	75	75	75.0	23.2	0.76
* Dm: Distancia en metros.							CRD Promedio = 0.81	

Se observa el cumplimiento de los requisitos mínimos de macrotextura y coeficiente de fricción.

Se trata de un camino con meses de servicio que aún no es entregado en su totalidad (a la fecha, un 20% en funcionamiento). Posee una macrotextura importante debido al afloramiento de áridos de la aplicación de la lechada, éstos son chancados y de contornos angulosos. La textura de los áridos chancados proporciona una adecuada resistencia al deslizamiento. Se observa presencia de exudación en algunas zonas y en general hay bastante material asfáltico en la superficie; esto se aprecia claramente en el color oscuro de la carpeta. Se intuye que con el paso del tiempo este aspecto cambiará y dará paso a cierto desprendimiento de áridos cambiando la configuración actual. Se observan sectores donde la aplicación y compactación de la lechada no fue correctamente llevado a cabo y deberá ser corregido antes de la recepción final del camino.

Presentó los más altos valores para el ensayo BPN, eventualmente podría desarrollarse un excesivo desgaste de neumáticos. Pero se asume que esta propiedad tiende a disminuir debido las sollicitaciones tránsito a las que será sometido el camino.

La variación entre las mediciones realizadas en la pista 1 con respecto a las recogidas en la pista 2 no muestra diferencias significativas en la microtextura.

6.5 Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama(Los Loros)

La granulometría utilizada en la construcción del camino y aprobada a través de la visación, se compara a continuación con las bandas granulométricas especificadas tanto para el tratamiento superficial como para la lechada asfáltica:

Tabla 38: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Los Loros

Tamiz[mm]	Límite Inferior	Los Loros	Límite Superior
25	100	100	100
20	90	98	100
12.5	20	31	55
10	0	4	15
5	0	0	5
2.5	0	0	0.5
0.08	0	0	0.5

Gráfico 12: Comparación de granulometría de los áridos para Tratamiento Superficial, camino sector Los Loros

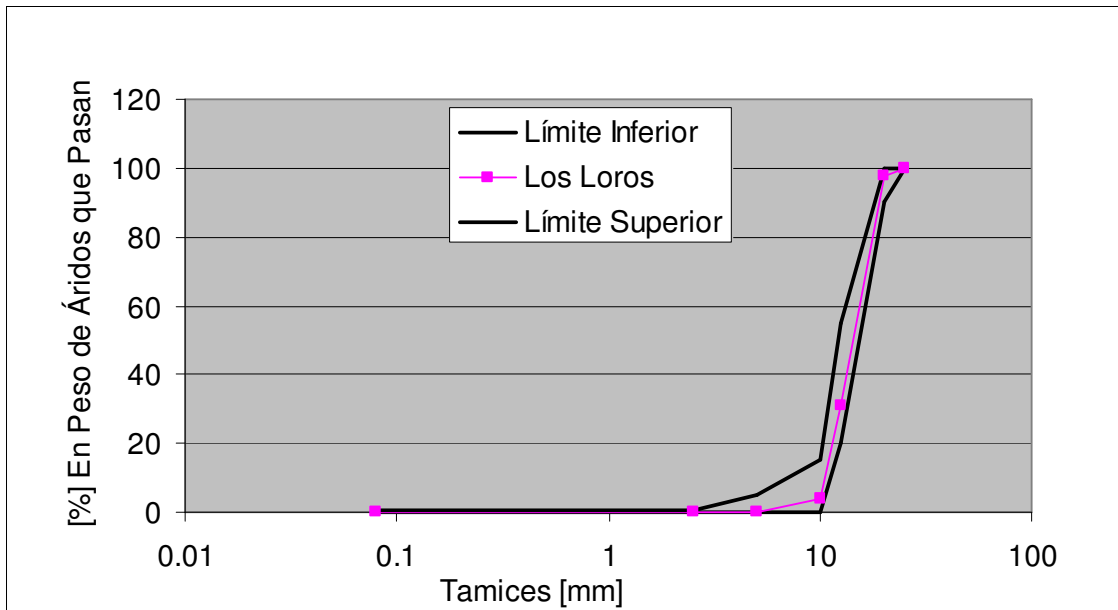
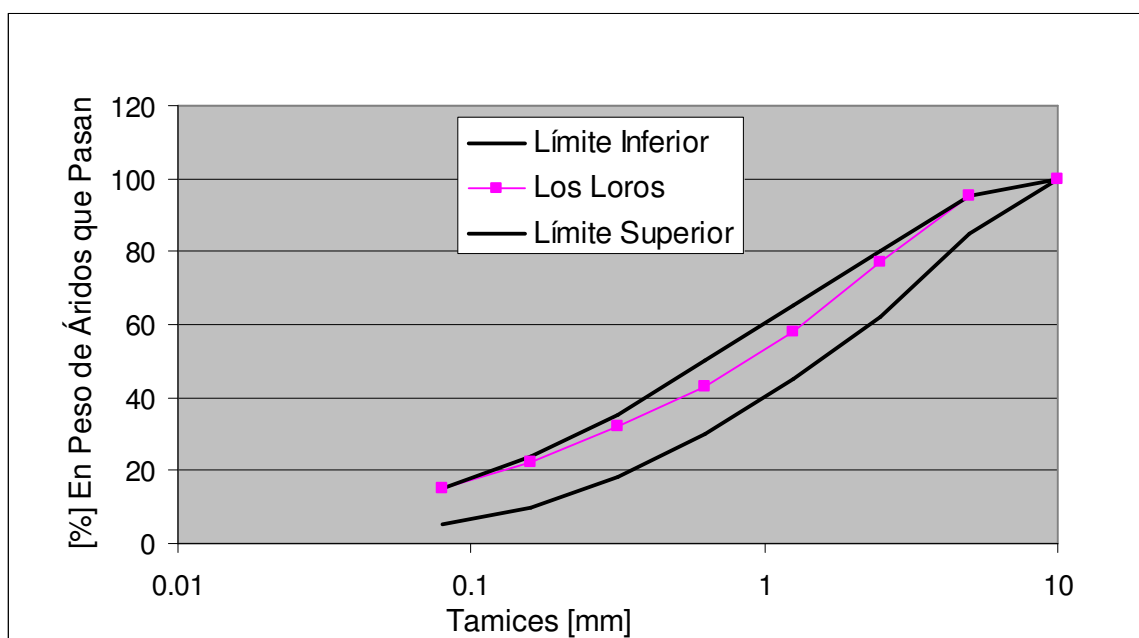


Tabla 39: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Los Loros

Tamiz[mm]	Límite Inferior	Los Loros	Límite Superior
10	100	100	100
5	85	95	95
2.5	62	77	80
1.25	45	58	65
0.63	30	43	50
0.315	18	32	35
0.16	10	22	24
0.08	5	15	15

Gráfico 13: Comparación de granulometría de los áridos para Lechada Asfáltica, camino sector Los Loros



La dosificación del proyecto es la siguiente:

Tabla 40: Dosificación de árido y ligante para Lechada Asfáltica Y Tratamiento Superficial, camino sector Los Loros

Lechada Asfáltica		Tratamiento Superficial		
Tipo Ligante	% Ligante (Con respecto al peso seco de agregado)	Tipo Ligante	Dosificación Ligante [lt/m ²]	Dosificación Árido [Kg./m ²]
CSS-1h	11 a 12	CRS-2	1,4 (máx.) lt	17-19

Tabla 41: Registro de mediciones ensayo Círculo de Arena, camino sector Los Loros

Nombre:	Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.						
Rol:	C-35	Fecha:	16-04-2008				
Operador:	Gabriel Riquelme						
Mediciones							
Dm*	Pista	1	2	3	4	5	MTD[mm]
10,100	1	17	17	17	17	17	1.8
26,000	1	17.5	17	16.5	17	17	1.8
31,400	1	18.5	18	18	18	18.5	1.6
37,700	1	19	18.5	19	19	19	1.4
43,600	1	19	19	19	19	19	1.4
49,780	1	19	19.5	19	19	19.5	1.4
47,380	2	18.5	19	19	19	18.5	1.4
42,000	2	17	17.5	17	17	17.5	1.8
35,920	2	17	17.5	17	17	17	1.8
30,000	2	16	16	16	16	16	2.0
24,000	2	20	19.5	20	20	20	1.3
							MTD Promedio = 1.61

* Dm: Distancia en metros.

Tabla 42: Registro de mediciones ensayo Péndulo Británico (TRRL), camino sector Los Loros

Nombre:	Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.							
Rol:	C-35	Fecha:	16-04-2008					
Operador:	Gabriel Riquelme							
Mediciones								
Dm*	Pista	1	2	3	4	Promedio	T [°C]	CRD
10,100	1	66	66	67	67	66.5	18.8	0.66
26,000	1	74	75	75	75	74.8	18.7	0.74
31,400	1	75	75	76	76	75.5	19.3	0.75
37,700	1	79	80	79	79	79.3	20.3	0.79
43,600	1	84	84	84	85	84.3	21.3	0.85
49,780	1	80	80	80	80	80.0	20.1	0.80
47,380	2	85	84	84	83	84.0	22.4	0.85
42,000	2	79	78	79	78	78.5	22.2	0.79
35,920	2	78	79	79	80	79.0	25.6	0.80
30,000	2	68	68	70	69	68.8	25.3	0.70
24,000	2	70	71	70	71	70.5	25	0.72
							CRD Promedio = 0.77	

* Dm: Distancia en metros.

Se observa el cumplimiento de los requisitos mínimos de macrotextura y coeficiente de fricción.

Camino de corta edad que presenta buena resistencia al deslizamiento otorgada por la superficie de los áridos chancados de la carpeta. Una macrotextura media dentro del rango del muestro realizado (el universo de los 5 caminos). En concordancia con la superficie observada en terreno donde una lechada bastante compacta está en contacto con los neumáticos.

Se observa bastante material asfáltico en contacto con los neumáticos. Presenta zonas con pérdida de áridos. En el agregado pétreo de la lechada se observa pocas partículas del mayor diámetro, quizás embebidas aún en el ligante asfáltico.

No se registran variaciones importantes entre las mediciones realizadas en la pista 1 con respecto a las recogidas en la pista 2.

6.6 Resumen y comparación de los resultados obtenidos

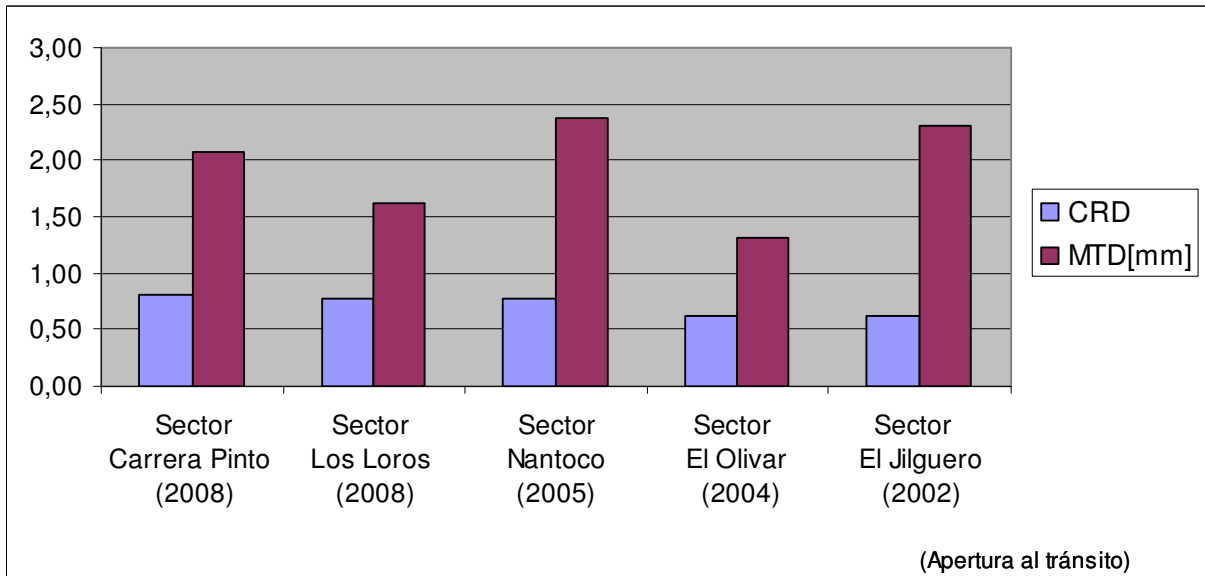
A continuación, en la Tabla 43, se muestran los valores promedio para el coeficiente de fricción y la macrotextura obtenidos de los datos registrados en terreno.

Tabla 43: Resumen del resultado de las mediciones en terreno

Contrato	MTD[mm]	CRD
Construcción de Infraestructura vial de Enlace con Ruta 5 - El Olivar, Huasco Región de Atacama.	1,32	0,63
Construcción Variante El Jilguero, Km. 0,000 al Km. 6,120 Huasco Región de Atacama.	2,30	0,62
Mejoramiento Ruta C-411, Sector Ruta 5 Nantoco, Provincia de Copiapó, III Región de Atacama.	2,38	0,78
Conservación Periódica Ruta C-17, Sector Carrera Pinto - Chimberos, Km. 30,000 al Km. 60,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.	2,07	0,81
Reposición Ruta C-35, Cruce 31 CH Paipote-Juntas, Sector Cerrillos - Los Loros, Km. 20,000 al 53,000, Provincia de Copiapó, Región de Atacama.	1,61	0,77

Considerando la reciente construcción del camino del sector Carrera-Pinto y tomando como referencia los valores obtenidos para los ensayos en esta superficie, se observa que la microtextura corresponde a la mayor registrada entre los contratos estudiados. Ordenando los resultados en orden cronológico a partir de sus fechas de apertura se aprecia la disminución de la microtextura al aumentar la edad del pavimento (ver Gráfico 14). Para los valores de profundidad promedio de la macrotextura, donde el Sector Carrera Pinto está en un rango intermedio, no se observa ninguna tendencia relacionada con la edad del pavimento.

Gráfico 14: Resultado general de las mediciones



Si bien no se trata de magnitudes comparables, en el caso del BPN el resultado es un adimensional y el Círculo de Arena arroja una longitud; los resultados de ambos ensayos realizados, al ser ordenados como se observa en el Gráfico 14, permiten visualizar de manera sencilla las características de la textura superficial de cada camino.

Posteriormente, en la Figura 28, se presentan imágenes que permiten apreciar la textura superficial representativa de cada contrato.

Finalmente, el Gráfico 15 muestra la granulometría y los límites para las bandas de los áridos para el tratamiento superficial y la lechada asfáltica. En cada contrato, las granulometrías de ambas aplicaciones están dentro de los límites establecidos y las curvas son bastante similares, a excepción de la granulometría del sector Carrera Pinto. Estas diferencias indican un leve aumento de material de menor tamaño en los áridos del tratamiento superficial

Figura 28: Comparación de texturas

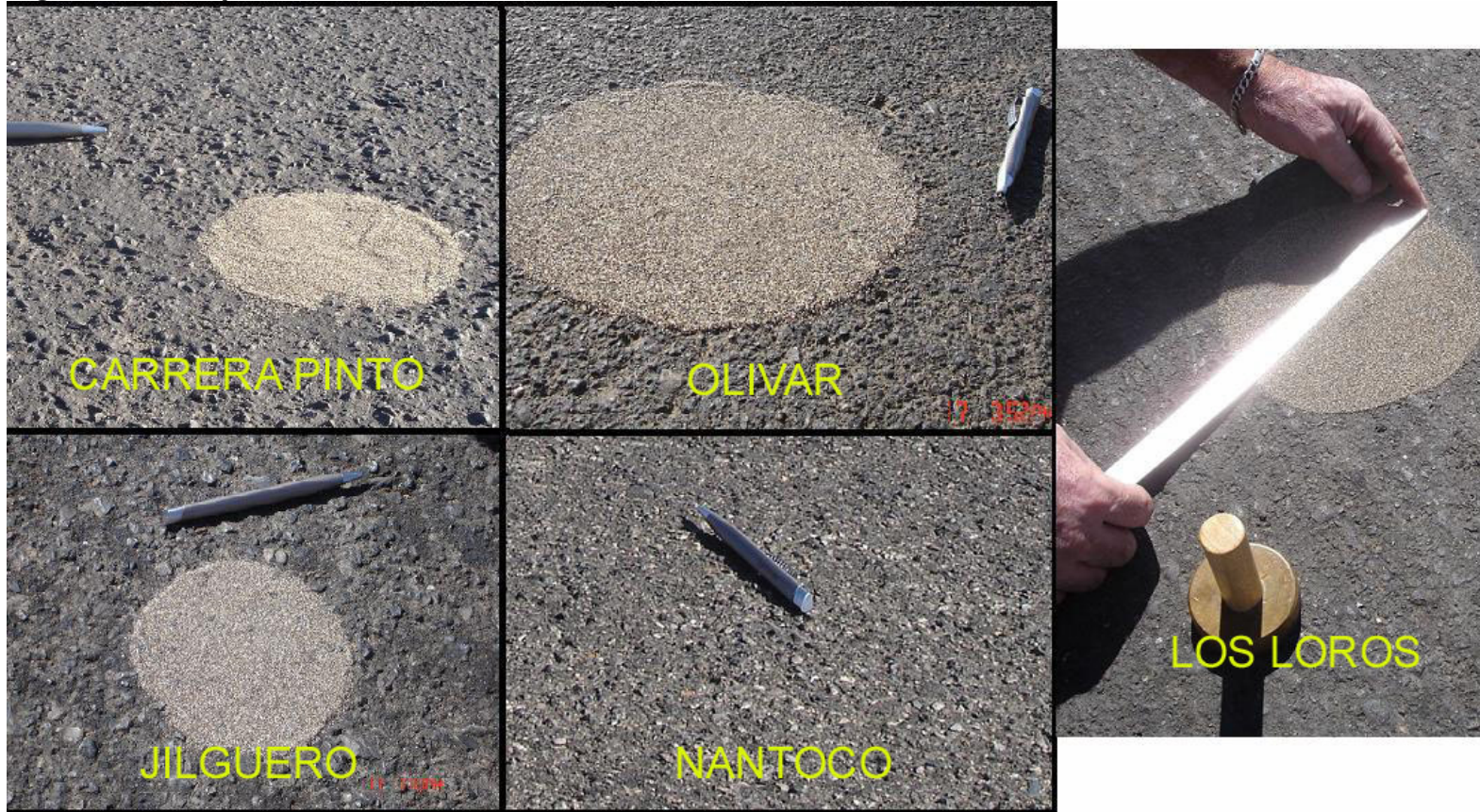
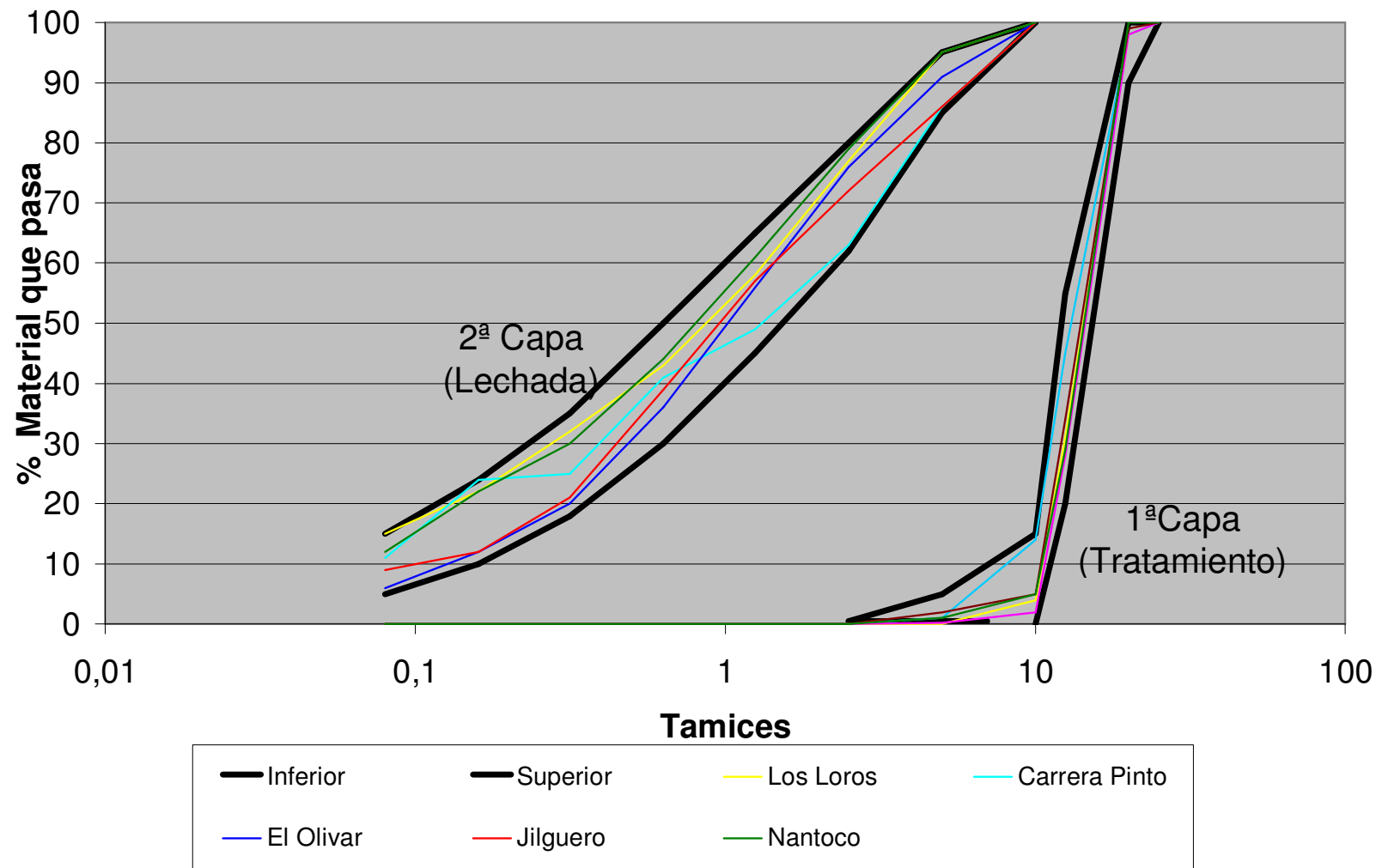


Gráfico 15: Bandas granulométricas de los áridos utilizados para los caminos en estudio



CAPITULO 7 CONCLUSIONES

7.1 Aspectos Generales

Las características de la superficie de los caminos evidencian un total recubrimiento de la primera aplicación por parte de la lechada asfáltica, la situación mas representativa de los pavimentos estudiados corresponde al caso 2 de la Figura 1

Revisando las dosificaciones de diseño junto a las observaciones hechas durante el proceso constructivo del Cape Seal, se determina que difícilmente se pueden establecer relaciones directas entre las dosificaciones oficiales de cada proyecto (de áridos y ligante) y las características de la textura resultantes de las carpetas de rodadura y por lo tanto de la fricción entregada al usuario. Si bien el ajuste de una dosificación oficial para el proyecto permite establecer un rango en torno al valor establecido, la dosificación responde básicamente a las características del enlace íntimo entre los materiales involucrados en la mezcla asfáltica y no guarda necesariamente relación directa con las características de la textura final medidas con los ensayos de Péndulo Británico (TRRL) y Circulo de Arena.

Los volúmenes de tránsito no se recopilaron para estos caminos por lo que no es posible estudiar su incidencia en el desgaste. Sin embargo, las mediciones de microtextura y macrotextura en un sentido y en otro para todos los caminos no arrojan mayor diferencia. En general los caminos de la zona poseen una pista marcadamente más solicitada que otra por las características de su uso según las actividades comerciales de la zona (datos aportados por el personal regional) pero esto no se vio reflejado en los ensayos. Se concluye que las solicitudes producto de las características del tránsito a la fecha no son un factor crítico en el desgaste y comportamiento de la carpeta de rodadura para los caminos estudiados. Sin embargo se observó que la microtextura tiende a disminuir en cuanto más antiguo el pavimento (con respecto a su apertura al tránsito). Esto último, atribuible a la pulimentación y adherencia de partículas sobre la superficie de los áridos a lo largo del tiempo; determinando esta variación de la microtextura.

No es posible homogeneizar los resultados de los ensayos Péndulo Británico (TRRL) para obtener una curva que represente el desgaste de los áridos a través del tiempo. Pues si bien existen caminos con diferentes datas de apertura al tránsito no es posible ignorar que hay diferencias tanto en el volumen de tráfico involucrado, en las características constructivas y en las materias primas. Asimismo ocurre con el Ensayo de Circulo de Arena y el estudio de su variación en el tiempo considerando la posible pérdida de áridos y su influencia en los resultados. Por lo tanto se recomienda realizar, en un plazo adecuado, nuevamente los ensayos descritos en el presente estudio, de preferencia en los mismos sectores indicados a través del kilometraje y pista respectiva. Con estos datos si sería posible conocer la evolución tanto del desgaste de las

partículas, las pérdidas de material, los resultados de los ensayos y los paulatinos cambios de la carpeta de rodadura producto de los agentes externos involucrados; para esto es muy importante el registro de fotografías.

Fue posible a través de la auscultación en terreno, basada en los resultados de los ensayos y las observaciones realizadas, establecer relaciones entre los valores experimentales de los ensayos y las características observadas en cada pavimento, siendo éstas coherentes. Sin embargo no es posible establecer relación directa entre el comportamiento de cada uno de los tramos considerados en el estudio a pesar de estar contruidos con una misma técnica ya que se observaron diferencias en las carpetas de rodadura, principalmente en los áridos de la lechada y se estima que no son comparables directamente.

7.2 Características de los Áridos

En cuanto a la granulometría, si bien se encuentra debidamente definida una banda granulométrica en las especificaciones para el Cape Seal en el Manual de Carreteras Volumen 8 "Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control" para cada una de las aplicaciones (sello y lechada) se observaron diferencias en la carpeta de rodadura (árido de la lechada). Si bien la calidad de los productos obtenidos en general en la región, por las condiciones geológicas, es bastante bueno según las observaciones de los profesionales tanto del Laboratorio Regional como del Laboratorio Nacional de Vialidad y el Profesor Guía; queda decir que se recomienda vigilar y exigir que éste árido (árido de la lechada) tenga además de las propiedades definidas en el Manual de Carreteras, preferentemente mayor porcentaje de partículas chancadas.

No es posible determinar si los áridos desgastados observados en las carpetas de menor resistencia al deslizamiento según los resultados de los ensayos BPN son producto de las solicitaciones o de una mejorable selección de materiales.

7.3 Evaluación

Finalmente se evalúa positivamente el desempeño de las carpetas de rodadura en términos de textura y deterioros. La microtextura de todos los tramos estudiados está en un rango de buena calidad (por sobre lo exigido) y los requerimientos de macrotextura son superados de manera aún mas holgada por todos los caminos estudiados. Los deterioros en los caminos son mínimos y no constituyen compromiso alguno para la serviciabilidad de éstos.

El ensayo de Péndulo Británico (TRRL) es indicativo de la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades (< 50 Km./hr) (Roco et al, 2002) y las características de macrotextura medidas con el ensayo de Círculo de Arena se consideran incidentes en la fricción resultante y además en la evacuación del agua sobre la carpeta evitando que los neumáticos patinen. Si bien en la región de Atacama es poco frecuente que se presenten escurrimientos de agua sobre el pavimento a causa de precipitaciones, algunas zonas podrían eventualmente verse afectadas por condensación de rocío o

presencia de agua u otro líquido. Ante estas situaciones, los caminos presentan un estándar de seguridad apropiado.

Se concluye observando que cada uno de los caminos cumple los requisitos de granulometrías, textura y especificaciones de diseño incluidas en el Manual de Carreteras de la Dirección de Vialidad. Son entonces referentes válidos que muestran los buenos resultados de ésta técnica aplicada en la III región.

BIBLIOGRAFIA

MOCKRIDGE E., E. M. 2004. Tipos de soluciones aplicadas a caminos no pavimentados para el mejoramiento de la carpeta de rodadura. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 359h.

DIRECCION DE VIALIDAD-MOP-CHILE 2003. Manual de Carreteras Volumen N° 8: Especificaciones y métodos de muestreo, ensaye y control. Versión Diciembre 2003. Santiago, Chile. Departamento Manual de Carreteras Dirección de Vialidad – MOP – Chile.

DIRECCION DE VIALIDAD-MOP-CHILE 2006. Manual de Carreteras Volumen N° 5: Especificaciones técnicas generales de construcción. Versión Junio 2006. Santiago, Chile. Departamento Manual de Carreteras Dirección de Vialidad – MOP – Chile.

MERY G., J. P. 2003. Péndulo Británico y Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos: Lo Tradicional no pasa de Moda. [en línea] Revista BIT N° 33, Noviembre 2003. <http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID_articulo=1009> [consulta: Noviembre 2007].

DEPARTAMENTO DE GESTION VIAL-MOP-CHILE 2007. Red vial nacional dimensionamiento y características. Versión Mayo 2007. Santiago, Chile. Departamento de gestión vial -MOP-Chile. < <http://www.vialidad.gov.cl/RedVialNacional2006.pdf>> Enero 2008.

LOPEZ V., D. B. Y GARNICA A., P. 2002. Consideraciones para la aplicación del índice internacional de fricción en carreteras de México. Sanfandila, Qro. 2002. Secretaría de comunicaciones y transportes de México e Instituto mexicano del transporte

ANEXOS

A. Especificaciones para el ensayo del Péndulo Británico según del Manual de Carreteras Volumen 8, “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”

8.602.24 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO EN EL PAVIMENTO CON PENDULO BRITANICO (TRRL)

1.- Alcance.

1.1 Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

1.2 El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

1.3 El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

1.4 El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es el propósito de este método la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos.

2.- Referencias.

- ASTM E 303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

- AASHTO T 278-90, Standard Test Method for Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

- NLT-175/98, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL.

3.- Terminología y Uso.

3.1 Resistencia al Deslizamiento: es la fuerza que se desarrolla a lo largo de la superficie de un pavimento, cuando una rueda está frenada o impedida de girar. Comúnmente la resistencia al deslizamiento es entendida como la propiedad de una superficie que impide el deslizamiento de un cuerpo sobre ella.

3.2 Coeficiente de Fricción Dinámico: corresponde a la razón entre la resistencia al deslizamiento y la fuerza normal a la superficie donde el cuerpo desliza.

3.3 Los resultados son usados principalmente para los siguientes propósitos:

- Muestreo de la red vial para la gestión de pavimentos.

- Especificaciones para la restauración de la superficie de rodado.

- Especificaciones para nuevas construcciones.

- Investigación de accidentes.

- Medición para mantenencias de invierno en carreteras.

4.- Equipo de Medición y Material Necesario.

4.1 Péndulo del TRRL. Se emplea el aparato representado en la Lámina 8.602.24 A, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son:

El péndulo propiamente tal, Lámina 8.602.24 B, con zapata y su placa soporte debe tener una masa de 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de $24,52 \pm 0,98$ N sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m.

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, Lámina 8.602.24 C, que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

4.2 Características de la Zapata de Goma. Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán, Lámina 8.602.24 D, de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor. La masa de conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de 36 ± 7 g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses.

4.3 Dispositivo de Nivelación. El dispositivo de nivelación será del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical, Lámina 8.602.24 A.

4.4 Dispositivo de Desplazamiento Vertical. Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, Lámina 8.602.24 E, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B'), Lámina 8.602.24 E. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

4.5 Dispositivo de Disparo del Brazo del Péndulo. Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), Lámina 8.602.24 A, de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

4.6 Dispositivo de Medida. Un dispositivo consistente en una aguja, Lámina 8.602.24 A, de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E'), Lámina 8.602.24 F, de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación, punto cero de la escala de medida.

5.- Material Auxiliar.

5.1 Regla Graduada. Una regla graduada, Lámina 8.602.24 G, cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,5 mm.

5.2 Termómetro. Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de - 10 a + 60 °C.

5.3 Recipientes para Agua. Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 litros y el otro con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

5.4 Cepillo. Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor de 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.

5.5 Cinta Métrica. Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.

5.6 Caja de Herramientas. Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

5.7 Caja de Transporte. Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

5.8 Banqueta. Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.

6.- Montaje del Aparato.

6.1 Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciendo girar sobre el tornillo (J), Lámina 8.602.24 A, y sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante la tuerca de fijación (G).

6.2 En el brazo del péndulo y sobre el eje (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una golilla y un pasador. Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben efectuarse preparando el ensayo tal como se indica en el punto 8. Deberá cambiarse la zapata de goma con la que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior de 1,6 mm de alto, Lámina 8.602.24 D.

6.3 Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, Lámina 8.602.24 A.

6.4 A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N), Lámina 8.602.24 A. Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, presionando el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia adelante⁴. Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo⁵. La corrección de la lectura cero se realiza

⁴ Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base.

⁵ Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el

mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E'), Láminas 8.602.24 A y 8.602.24 F. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción⁶.

7.- Seguridad.

7.1 En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad y control de tránsito asociados con su uso, los cuales deberán cumplir con la normativa vigente. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y condiciones de operación adecuadas para satisfacer la normativa vigente antes de comenzar a realizar las mediciones.

8.- Procedimiento a Desarrollar en Terreno y Lugares de Muestreo.

8.1 Se debe seleccionar el lugar a auscultar. Luego se procede a posicionar el equipo en forma longitudinal al camino, nivelándolo gracias a los tornillos que posee en sus tres apoyos guiándose por la burbuja que el equipo tiene.

8.2 Posteriormente se debe limpiar la superficie sobre la cual pasará la zapata, asegurándose de que no queden partículas sueltas. En este instante se debe colocar la galga bajo la palanca de elevación, para mover el brazo en forma vertical de modo que roce ligeramente la superficie a auscultar. De este modo se retira la galga con lo que el brazo quedará presionando la superficie con cierta fuerza. Ahora se debe colocar la regla a modo de corroborar que al mover ligeramente hacia un lado y otro de la posición vertical del brazo, de tal forma que la zapata tome contacto por un borde y el otro a cada lado de las marcas de la regla graduada.

8.3 Una vez realizados los procedimientos anteriores se debe llevar el brazo a la posición horizontal y listo para obturarlo. Luego se moja la superficie que barrerá la zapata con abundante agua. Luego se obtura el botón de accionamiento y se suelta el brazo libremente.

8.4 Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene con agua nuevamente.

8.5 La aguja indicará el valor obtenido en el ensayo la que debe ser registrada.

8.6 En caso de que sea la primera medición del día se debe calentar previamente la zapata realizando el ensayo como mínimo 5 veces y sin mojar la superficie, antes de la realización de las mediciones.

8.7 Se realizarán 5 mediciones en cada punto, esto podrá extenderse si no se observa que los valores obtenidos fluctúan en un rango que no difiera en más de 5 puntos, de una determinación a otra, de lo contrario se debe proceder a recalibrar el equipo, chequeando la calibración del "0", hasta lograr que esto ocurra procediéndose a efectuar la medición nuevamente; de lo contrario deben detenerse las mediciones y llevar el equipo a un mantenimiento mayor.

8.8 Debe tenerse en cuenta que no se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia debido a que es posible que los tornillos de calibración del "0" se mojen, imposibilitando al equipo poder calibrarlo y obteniéndose lecturas erróneas al realizar mediciones en estas condiciones.

8.9 Otro factor climático sobre el cual se deben tomar las medidas correspondientes es el viento ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación, más bien trabaja libremente y debido al viento esta altera su recorrido llevando a lecturas erróneas para

roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo, ayudándose de la palanca de elevación (P).

⁶ En la comprobación del cero del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura cero.

la medición. En este caso se debiera considerar la posibilidad de usar algún elemento que impida que el viento llegue directamente sobre el equipo.

8.10 Para efectos de estudios el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección ya sea transversal o en algún ángulo determinado según sea el sentido del tránsito.

8.11 Es así como, en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° respecto del desplazamiento de los vehículos.

8.12 Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, éste debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizarse la medición.

8.13 Ahora bien, las condiciones de temperatura de la superficie del pavimento deben encontrarse en un rango de 5°C a 40°C, ya que este efecto altera las mediciones. Esto inhabilita la opción de la determinación de este indicador en pavimentos con escarcha o nieve en su superficie, excepto que se trate de algún estudio en particular.

9.- Procedimiento de Ensayo.

9.1 El péndulo una vez montado, como se indica en el punto 6 se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación⁷ tal como se especifica 6.3.

Comprobando el cero del aparato como se indica en el punto 6.4, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical accionando la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato. Se hace oscilar en forma manual el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', Lámina 8.602.24 B, en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta se comprueba usando la regla graduada, Lámina 8.602.24 G, descrita en el punto 5.1. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

9.2 Una vez montado el aparato, comprobada la medida del cero y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

9.3 La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo que se indica en 5.4 asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

9.4 Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

9.5 Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja,

⁷ Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho horas anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier serie de medidas se realizarán cinco disparos sobre una zona de pavimento sometida al tránsito.

anotándose la lectura marcada por ésta, en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo. La medida se repite cuatro veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cuatro medidas no difieren en más de tres unidades, se anotan los valores medidos como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las 4 lecturas es mayor de 3 unidades BPN (British Pendulum Number), se continua realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última secuencia como valor efectivo de las lecturas en el punto ensayado.

9.6 Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando el termómetro próximo sobre el pavimento y a la sombra. Asimismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.

9.7 Después de un determinado número de mediciones efectuadas con el péndulo, 5 a 6 puntos de ensayo, se debe realizar una nueva comprobación del cero.

Registro de Mediciones con Péndulo Británico							
Proyecto:			Fecha:		Operador:		
			Registros (BPN)				
Km	Pista	T (°C)	1	2	3	4	Observaciones

10.- Procedimiento de Evaluación. Deben distinguirse los controles de tipo receptivos y los de estudio, esto debido a que en ambos existen consideraciones especiales.

Con respecto a la cantidad de puntos a auscultar, ésta dependerá de la longitud del tramo, de los sectores homogéneos y del estudio que se quiera efectuar.

Este indicador deberá cumplir con los mínimos exigidos en todo el ancho de la pista aunque, para efectos de recepción, se determinará como espacio muestral prioritario el sector de las huellas, principalmente la huella externa o derecha según el desplazamiento de los vehículos.

Para el caso de la realización de estudios se aconseja la siguiente metodología para la obtención de la fricción del sector experimental. Se debe realizar una inspección visual del lugar con el fin de determinar los sectores uniformes. Si el tramo experimental es mayor a 5 Km. se recomienda realizar 4 mediciones por Km./pista, si es menor que 5 Km. se recomienda un punto cada 100 m; cabe señalar que éstas son sólo recomendaciones y para efectos de estudio puede variar la densidad de puntos a auscultar.

Para los controles de tipos receptivo, en contratos tradicionales y concesionados en vías interurbanas, se deberán tomar 10 puntos por Km./pista posicionando el péndulo en la huella derecha de la pista. Por su parte, en proyectos urbanos, deberá tomarse 20 puntos por Km./pista.

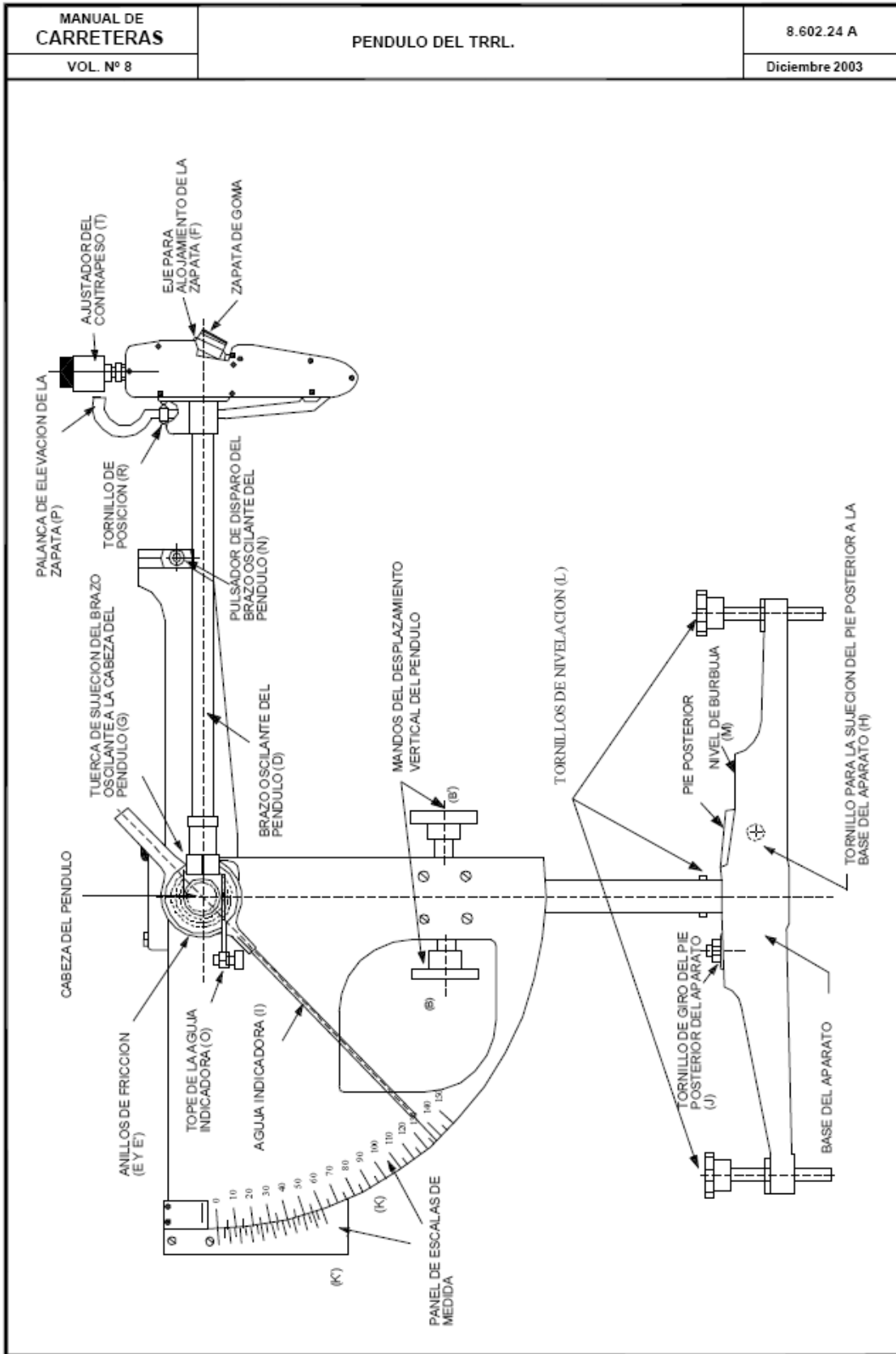
Así se determina el valor de la fricción en este punto. Se hace hincapié que este parámetro es adimensional, por lo que se adopta en este caso como unidad la característica del equipo con que se controla, en este caso es BPN, "British Pendulum Number", cuya traducción al castellano es Número de Péndulo Británico y con que se identificará el valor de la fricción obtenido con este equipo.

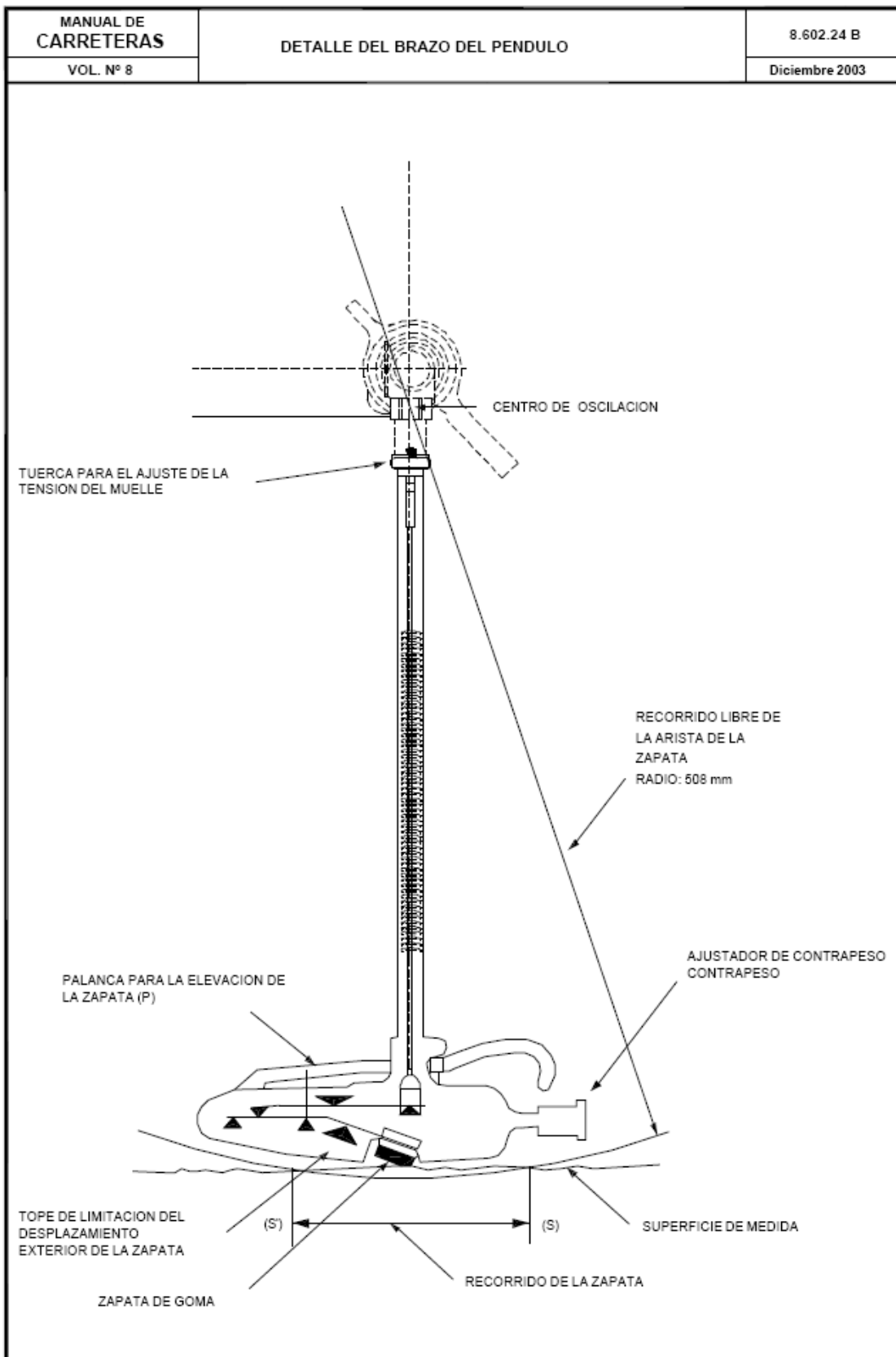
11.- Resultados del Ensayo.

11.1 BPN, son las siglas correspondientes a British Pendulum Number (Número de Péndulo Británico). Esta es la unidad en que se mide el coeficiente de roce del pavimento, cuyo rango va desde 0 a 100. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresa en tanto por uno, en forma de:

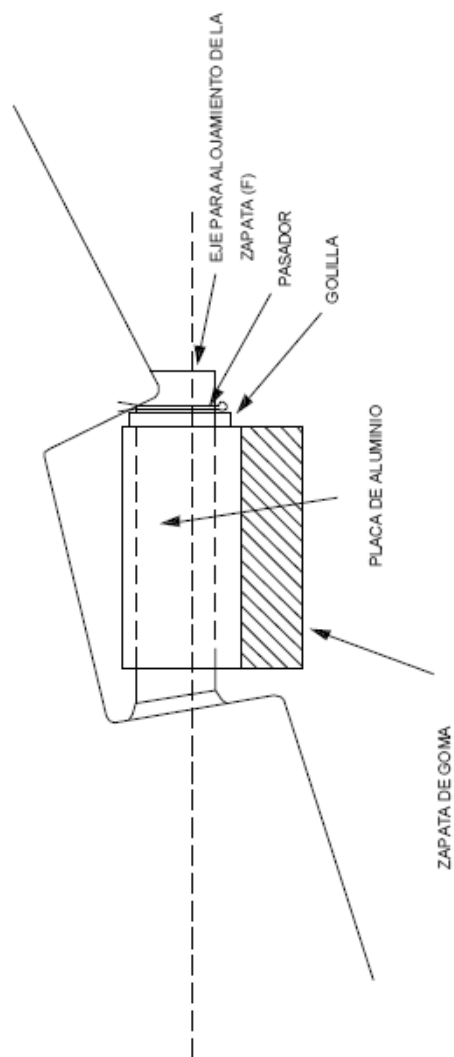
Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) = Lectura efectiva de BPN/ 100

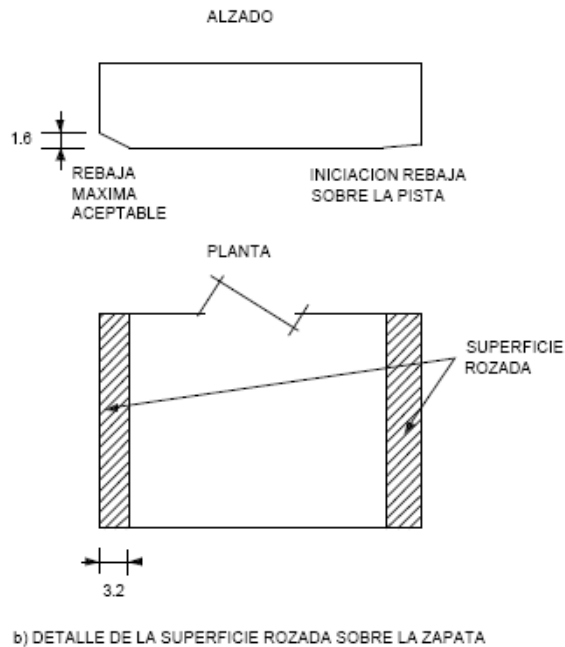
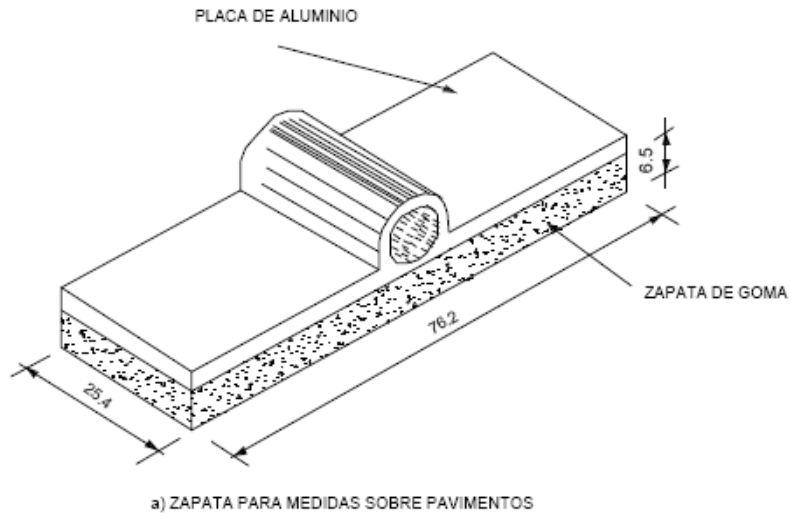
11.2 Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la Lámina 8.602.24 H, para expresar los resultados a 20 °C. Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

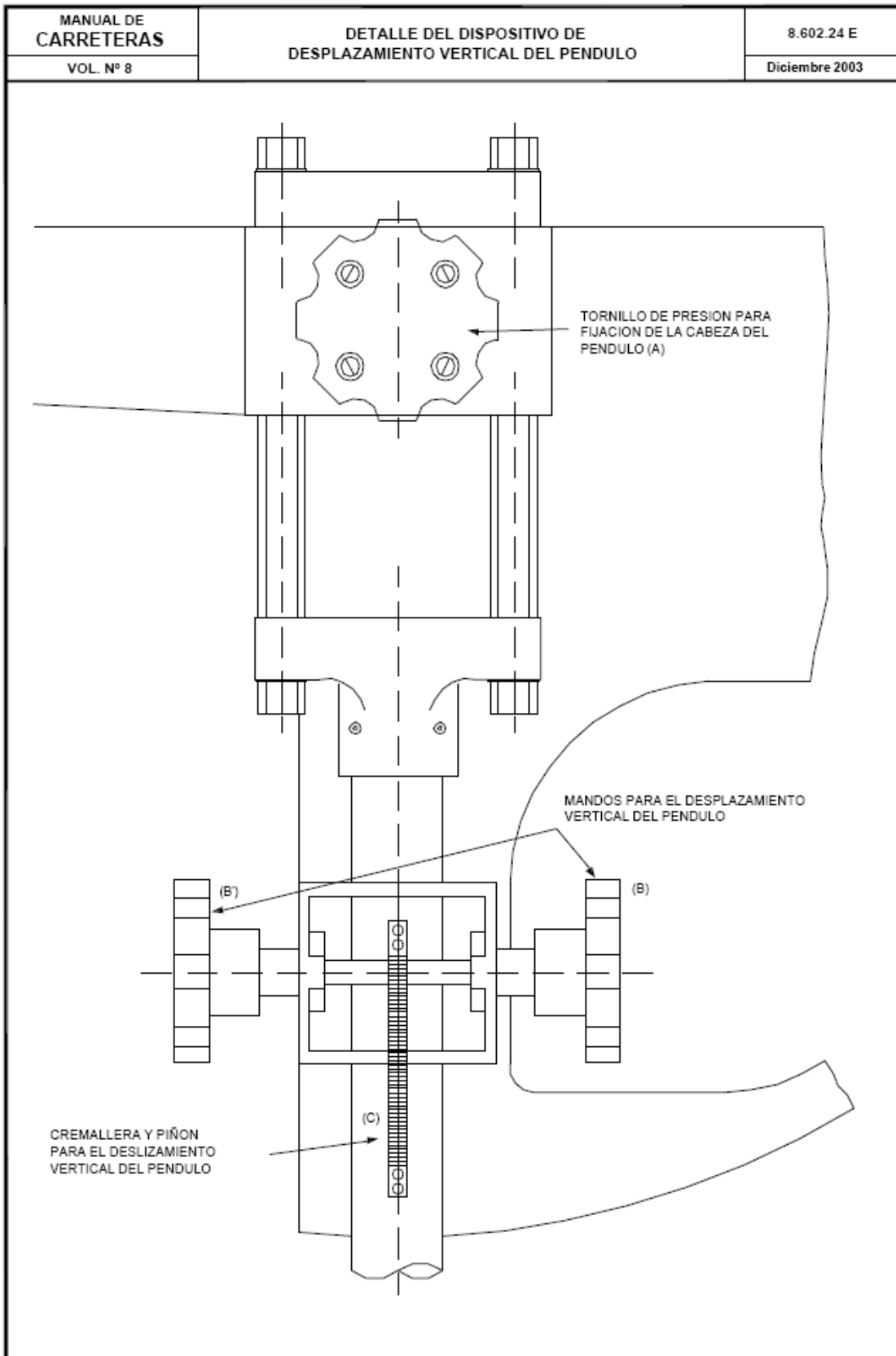




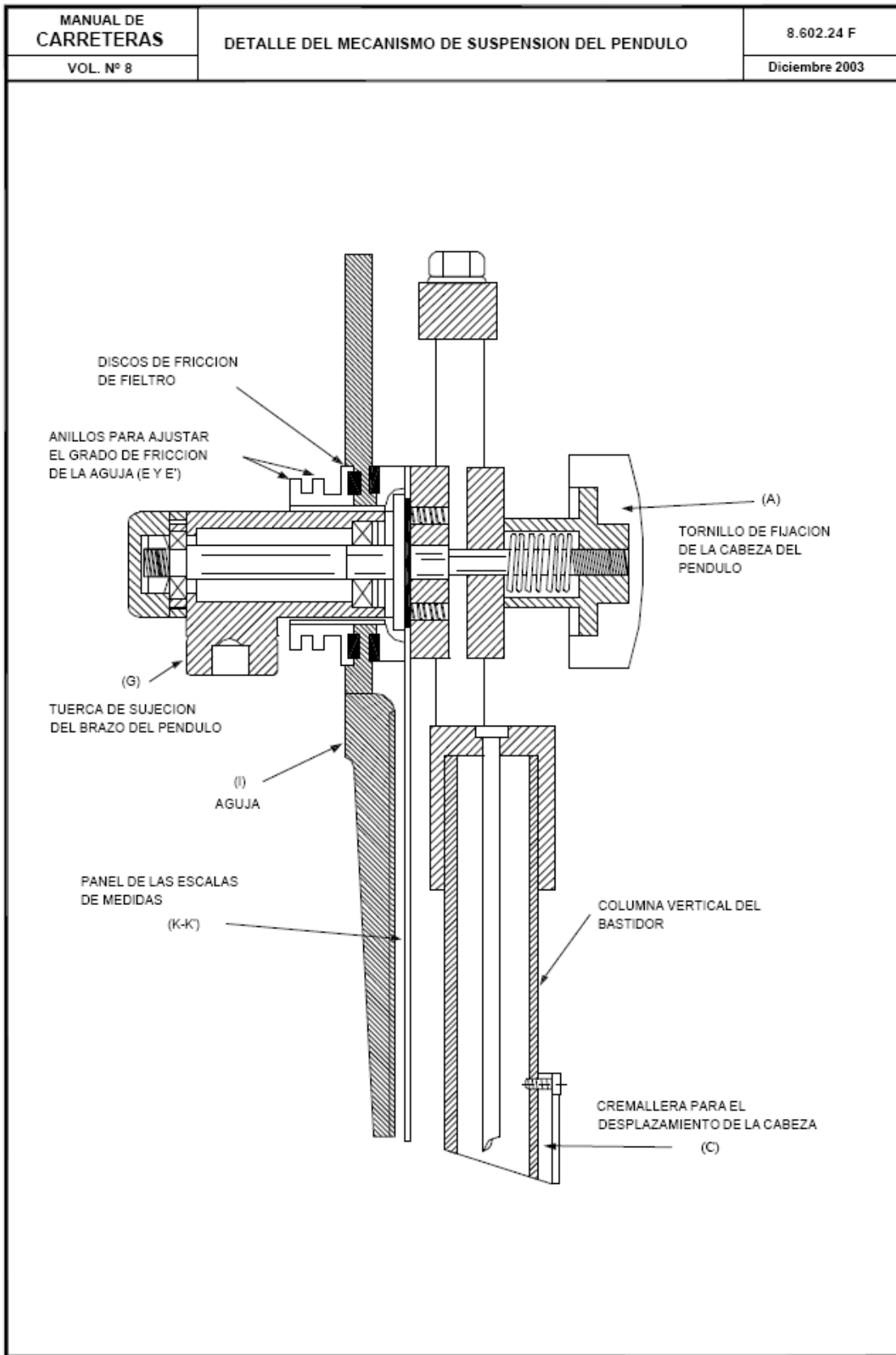
MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE





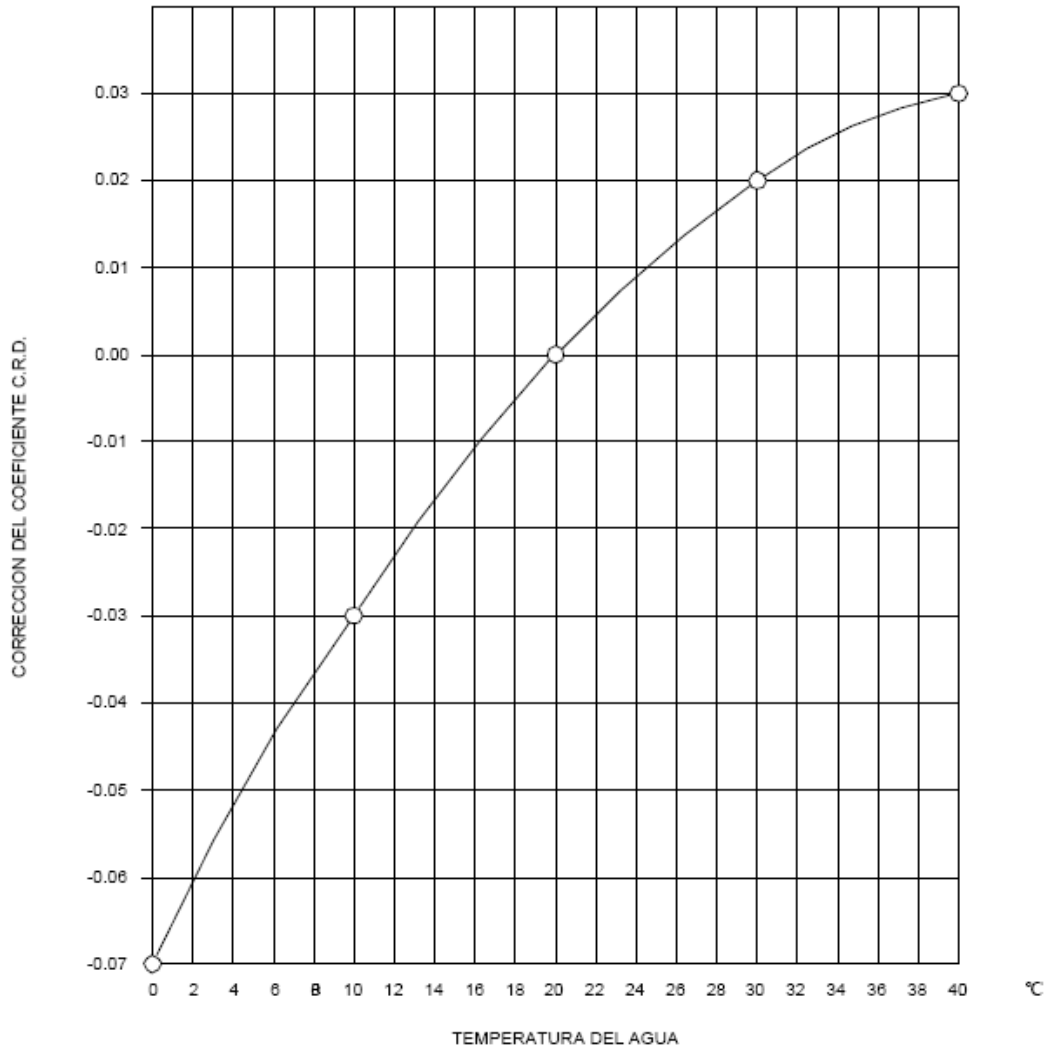


MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE



MOP - DGOP - DIRECCION DE VIALIDAD - CHILE

MANUAL DE CARRETERAS	REGLA GRADUADA PARA AJUSTAR LA LONGITUD DE MEDIDA SOBRE LA SUPERFICIE DE ENSAYO	8.602.24 G
VOL. N° 8		Diciembre 2003
<div style="text-align: center;"> <p>Technical drawing of a graduated rule. The overall length is 177 mm. The width is 25.5 mm. The central measuring length is 122 mm. There are 25 mm sections at each end. The distance from the end to the start of the 122 mm section is 2.5 mm.</p> </div> <p style="text-align: right;">Dimensiones en mm.</p>		



B. Especificaciones para el ensayo del Círculo de Arena según del Manual de Carreteras Volumen 8, “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”

8.602.25 SEGURIDAD VIAL: METODO PARA DETERMINAR LA TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA

1.- Alcance.

1.1 Este método, llamado también ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. El 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.

1.2 Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento.

2.- Referencias.

- ASTM E965-96, Estándar Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.

- NLT-335/87, “Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena”.

3.- Seguridad.

3.1 En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiadas de acuerdo a la normativa vigente antes de la puesta en práctica del ensayo.

3.2 El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante lo anterior se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizarán los ensayos.

4.- Terminología.

4.1 Macrotextura del Pavimento: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda y amplitud desde 0,5 mm hasta aquellas que no afecten la interacción entre el neumático y el pavimento.

4.2 Megatextura del Pavimento: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 50 mm a 500 mm y amplitud de 0,1 mm a 50 mm.

4.3 Microtextura del Pavimento: Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana con las dimensiones características de longitud de onda de 0,0 mm a 0,5 mm y amplitud de 0,001 mm a 0,5 mm.

5.- Resumen del Método de Ensayo.

5.1 Los materiales estándares y los aparatos de muestreo consisten en: un material uniforme, un recipiente de volumen conocido, caja protectora de viento, escobillas para limpiar la superficie, un disco plano para esparcir el material en la superficie, y una regla u otro dispositivo de medición que permita determinar el área cubierta por el material. Una balanza de laboratorio también es recomendable para asegurar cantidades consistentes de material para cada muestra de medición.

5.2 El procedimiento de ensayo involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta y, posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento.

5.3 Al esparcir el material especificado en este método de ensayo, los huecos de superficie son rellenados completamente. Este método de ensayo no es considerado adecuado para ser usado en superficies de pavimentos que presenten huecos de superficie superiores a 25 mm en profundidad.

6.- Significado y Uso.

6.1 Este método es adecuado en ensayos in situ para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando es utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizadas. Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos son aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método pueden resultar mejoramientos a las prácticas de acabado y programas de mantención.

6.2 Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

6.3 La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

7.- Materiales y Aparato. Los elementos esenciales para la realización del ensayo que se muestran en la lámina 8.602.25 A, consisten en los siguientes materiales y equipos:

7.1 Se debe contar con arenas normalizadas obtenidas mediante la preparación de éstas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado se obtiene la arena tipo 80/100 que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100, y la arena tipo 100/200 cuya arena pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.

7.2 Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25.000 mm³, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.

7.3 Disco para esparcir, plano y rígido, de 25 mm de espesor y 60 a 75 mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe ser cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.

7.4 Escobillas, una de cerdas duras y otra de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.

7.5 Caja protectora de viento, pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.

7.6 Regla, de al menos 300 mm de longitud con subdivisiones al milímetro.

7.7 Balanza, se recomienda con sensibilidad a 0,1 gramos para asegurarse que el material utilizado en el ensayo es igual en masa y volumen.

8.- Calibración. En este equipo se requiere principal cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos a fin de no alterar las mediciones obtenidas. Por lo tanto la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones tanto de arena y de recipientes como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

9.- Procedimiento.

9.1 Area de Muestra. Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

9.2 Material de Muestra. Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de éste mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

9.3 Medida del ensayo. Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material tomando cinco medidas igualmente espaciadas sobre el círculo. Calcule y registre el promedio de las cinco medidas.

9.4 Para superficies muy lisas donde el diámetro del parche de material esparcido es mayor a 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

10.- Cálculos.

10.1 Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4}$$

donde:

V : Volumen interno del cilindro, mm³
d : Diámetro interno del cilindro, mm
h : Altura del cilindro, mm

10.2 Promedio de profundidad de macrotextura del pavimento, calcule el promedio de profundidad de macrotextura usando la siguiente ecuación.

$$MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$$

donde:

MTD : Profundidad media de macrotextura, mm.
V : Volumen de arena utilizada, mm³
D : Diámetro promedio del área cubierta por la arena, mm.

11.- Informe. El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

11.1 Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.

11.2 Fecha.

11.3 Volumen de material utilizado en cada ensayo realizado, mm³.

11.4 Número de mediciones realizadas en el sector.

11.5 Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensayo.

11.6 Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensayo.

11.7 Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.

