



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

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MICROAGLOMERADOS  
ASFÁLTICOS DISCONTINUOS EN CALIENTE APLICADOS EN CHILE Y  
REVISIÓN DE SU NORMATIVA ACTUAL

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

LUIS FELIPE JIL REYES

PROFESOR GUÍA  
JULIO TORREJÓN OLMOS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN  
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ  
GABRIELA MUÑOZ ROJAS

SANTIAGO  
MARZO 2009

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: LUIS JIL R.  
FECHA: 16/03/2009  
PROF. GUIA: Sr. JULIO TORREJÓN OLMOS

## “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS MICROAGLOMERADOS ASFÁLTICOS DISCONTINUOS EN CALIENTE APLICADOS EN CHILE Y REVISIÓN DE SU NORMATIVA ACTUAL”

El objetivo general del presente trabajo de título es estudiar los microaglomerados discontinuos en caliente, considerando el comportamiento observado en aquellos caminos en que se han aplicado en Chile y su normativa tanto nacional como internacional, para así evaluar el estado de los microaglomerados aplicados en Chile, proponer cambios a la normativa chilena actual y definir la posibilidad de extender el uso de esta tecnología a otras zonas del país teniendo en cuenta tanto los materiales utilizados para su fabricación como el efecto de las variables climáticas en la fabricación y colocación de este tipo de mezcla asfáltica.

Los microaglomerados discontinuos en caliente son mezclas asfálticas que utilizan cemento asfáltico modificado y áridos de gran calidad cuya granulometría es discontinua. Esta mezcla ofrece al usuario mejoras en las condiciones de seguridad, así como una mayor sensación de confort al transitar por caminos pavimentados con esta mezcla debido a su gran regularidad. En Chile se han aplicado principalmente en la zona central y en la Región del Bío-Bío, siendo justamente los caminos aplicados en estas zonas los estudiados en este trabajo de título. La normativa vigente nacional corresponde al Manual de Carreteras e internacionalmente se destaca la normativa española, la cual corresponde al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales (PG-3), las cuales fueron analizadas y comparadas punto por punto.

Una vez finalizado el estudio fue necesario realizar varias sugerencias para mejorar la normativa chilena, ya que existían varios puntos en los cuales no se tenía una exigencia específica para este tipo de mezcla asfáltica, y además la mayor experiencia española en el uso de los microaglomerados sugiere realizar actualizaciones de algunos valores exigidos en ciertos puntos del Manual de Carreteras. Además fue posible concluir que esta tecnología no presenta mayores impedimentos para extender su uso al resto del país, con excepción de las regiones del extremo sur de Chile, ya que por sus bajas temperaturas y condiciones de viento intenso, no es recomendable su aplicación en estas regiones.

Se concluye finalmente que el comportamiento de los microaglomerados aplicados en Chile ha sido bueno, entregando las características funcionales esperadas para este tipo de mezclas asfálticas. Sin embargo se sugiere realizar un seguimiento más extenso a los caminos considerados en este estudio, de manera tal de observar de mejor manera su comportamiento a largo plazo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Deseo expresar mis agradecimientos a todas las personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo, comenzando por mi profesor guía, don Julio Torrejón, y el resto de la comisión examinadora, el Sr. Carlos Aguilera y la Sra. Gabriela Muñoz, quienes colaboraron con su experiencia para desarrollar de la mejor forma este trabajo.

También quisiera agradecer a todos los amigos que me han acompañado durante todo mi paso por la Universidad, ya que sin ellos todos estos años hubieran sido mucho mas complicados. Nombrarlos a todos es difícil, pues todos fueron importantes y no me gustaría que alguno se me quedara en el tintero, pero les doy mis más sinceros agradecimientos a aquellos amigos y compañeros que me acompañan desde el primer año en esta Universidad, incluso desde el primer día. Tampoco puedo dejar de mencionar a aquellos valiosos amigos que conocí en los últimos años de mi carrera en el departamento de Ingeniería Civil, con los cuales compartí muchas experiencias, largas horas de trabajo, congresos, paseos, asados, etc., sin lugar a dudas han sido un gran apoyo, sin el cual no podría haber logrado terminar este trabajo.

He querido dejar para el final a mi familia, quienes confiaron en mí desde un principio, y me apoyaron incondicionalmente en todo momento. Quisiera destacar principalmente a mis padres, Luis y Patricia, a los cuales no solo los quiero mucho, sino que también admiro, y que sin el cariño, apoyo y educación que me dieron, nada de lo que he logrado podría haberse realizado. También quisiera agradecer a mis hermanas Patricia y Carla, las cuales siempre depositaron su confianza y apoyo durante la duración de mi carrera, en especial Patricia, la cual tuvo que aguantarme durante todos estos años y fue mi soporte durante los primeros años en la Universidad. Al igual quisiera agradecer al resto de mi familia, a mis abuelos, tíos y primos que también me ayudaron mucho durante todo este período.

Quisiera terminar estos agradecimientos dándole las gracias (valga la redundancia) a todos aquellos que no han sido nombrados anteriormente pero que en verdad han sido un gran apoyo en estos años de carrera, diciéndoles que en verdad sin ellos esta meta no habría sido cumplida.

## INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Introducción .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivos Generales .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 Metodología .....	3
CAPÍTULO 2: NORMATIVA ACTUAL .....	4
2.1 Normativa Chilena Vigente .....	4
2.1.1 Categorías de tráfico .....	4
2.1.2 Materiales .....	5
2.1.2.1 Áridos .....	5
2.1.2.1.1 Árido grueso .....	5
2.1.2.1.2 Árido fino .....	6
2.1.2.1.3 Polvo mineral (filler).....	6
2.1.2.1.4 Caracterización de los áridos.....	7
2.1.2.2 Asfalto .....	11
2.1.2.3 Aditivos.....	11
2.1.2.4 Propiedades de las mezclas asfálticas.....	12
2.1.3 Procedimiento de Trabajo.....	13
2.1.3.1 Requisitos generales de transporte y colocación .....	13
2.1.3.2 Compactación .....	13
2.1.3.3 Macrotextura Superficial.....	14
2.1.3.5 Control de Regularidad Superficial(IRI).....	15
2.2 Normativa Extranjera .....	16
2.2.1 Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, PG-3 .....	16
2.2.1.1 Categorías de tráfico .....	16
2.2.1.2 Materiales.....	17
2.2.1.2.1 Áridos.....	17
2.2.1.2.2 Asfalto.....	20
2.2.1.2.3 Aditivos .....	21
2.2.1.2.4 Propiedades de las mezclas asfálticas .....	21
2.2.1.3 Procedimiento de Trabajo .....	23
2.2.1.3.1 Requisitos generales de transporte y colocación .....	23
2.2.1.3.2 Compactación.....	23
2.2.1.4 Macrotextura Superficial.....	24
2.2.1.5 Coeficiente de Fricción .....	24
2.2.1.6 Control de Regularidad Superficial (IRI).....	25

2.2.2.	Norma 6.1-IC: "Secciones de firme" .....	26
2.2.2.1	Espesor de la capa de rodadura .....	26
2.2.2.2	Categoría de tránsito .....	26
CAPÍTULO 3: ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE Y LA MEZCLA TRADICIONAL .....		27
3.1	Calidad de los áridos .....	27
3.2	Producción de la mezcla y procedimiento de trabajo .....	27
3.3	Espesor de la capa de la mezcla asfáltica .....	28
3.4	Características funcionales de los pavimentos .....	28
3.5	Costos .....	29
CAPÍTULO 4: COMPORTAMIENTO DE LOS MICROAGLOMERADOS EN LAS VÍAS EN QUE SE HAN APLICADO EN CHILE .....		31
4.1	Ruta E-85, sector San Felipe - Los Andes .....	31
4.1.1	Dosificación de las mezclas .....	32
4.1.2	Textura Superficial .....	32
4.1.3	Coeficiente de Fricción .....	34
4.1.4	IRI .....	35
4.1.5	Inspección Visual .....	37
4.1.5.1	Tránsito .....	37
4.1.5.2	Estado actual del tramo construido con mezcla tipo F-10 .....	38
4.1.5.3	Estado actual del tramo construido con mezcla tipo M-10 .....	43
4.2	Calle Gertrudis Echeñique, Comuna de Las Condes .....	47
4.2.1	Inspección visual .....	47
4.3	Autopista del Itata .....	51
4.3.1	Inspección visual .....	51
4.4	Ruta 160, Sector Lota .....	55
4.4.1	Inspección visual .....	55
CAPÍTULO 5: EXTENSIÓN DEL USO DE LOS MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE A OTRAS ZONAS DE CHILE .....		59
5.1	Materiales .....	59
5.1.1	Áridos .....	59
5.1.2	Asfalto .....	60
5.1.3	Aditivos .....	61
5.2	Procedimiento de trabajo .....	61

5.3	Variables climáticas .....	62
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		74
ANEXO A: FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL .....		76
ANEXO B: ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA EN SAN FELIPE.....		80
ANEXO C: ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO DE FRICCIÓN EN SAN FELIPE ....		84
ANEXO D: MEDICIÓN DE IRI EN SAN FELIPE .....		88
ANEXO E: ENSAYOS Y HERRAMIENTAS DE AUSCULTACION DE PAVIMENTOS..		92

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías de tráfico pesado .....	4
Tabla 2: Especificaciones para árido grueso.....	5
Tabla 3: Especificaciones para árido fino .....	6
Tabla 4: Requisitos para el polvo mineral .....	7
Tabla 5: Bandas granulométricas para microaglomerados discontinuos en caliente .....	7
Tabla 6: Granulometría semi-densa para mezcla tradicional .....	9
Tabla 7: Exigencia para el Cemento Asfáltico Modificado con polímero.....	11
Tabla 8: Exigencia para las fibras añadidas a la mezcla asfáltica.....	11
Tabla 9: Dotaciones para el diseño de la mezcla .....	12
Tabla 10: Exigencias para el diseño de la mezcla <sup>1</sup> .....	12
Tabla 11: Macrotextura Superficial.....	14
Tabla 12: Coeficiente de Fricción.....	14
Tabla 13: Coeficiente de Fricción con Péndulo TRRL.....	15
Tabla 14: IRI.....	15
Tabla 15: Categorías de tráfico pesado .....	16
Tabla 16: Especificaciones para árido grueso.....	17
Tabla 17: Requisitos para el polvo mineral .....	18
Tabla 18: Bandas granulométricas para microaglomerados .....	19
Tabla 19: Tipo de Cemento asfáltico a utilizar.....	20
Tabla 20: Exigencia para el Cemento Asfáltico .....	20
Tabla 21: Dotaciones para el diseño de la mezcla .....	21
Tabla 22: Exigencias para el diseño de la mezcla tipo F.....	22
Tabla 23: Exigencias para el diseño de la mezcla tipo M.....	22
Tabla 24: Macrotextura Superficial.....	24
Tabla 25: Coeficiente de Fricción con el equipo SCRIM .....	24
Tabla 26: IRI para pavimentos de nueva construcción según el PG-3.....	25
Tabla 27: IRI para pavimentos rehabilitados con recapado según el PG-3.....	25
Tabla 28: IRI según el Manual de Carreteras.....	25
Tabla 29: IRI según el Manual de Carreteras.....	26
Tabla 30: Análisis de Precios Unitarios para un m <sup>3</sup> de mezcla asfáltica tradicional. ....	29
Tabla 31: Análisis de Precios Unitarios para un m <sup>3</sup> de microaglomerados discontinuos en caliente.....	30

Tabla 32: Dosificación del tramo construido con Mezcla F-10 .....	32
Tabla 33: Dosificación del tramo construido con Mezcla M-10.....	32
Tabla 34: Textura Superficial con el círculo de arena. ....	33
Tabla 35: Coeficiente de fricción con el péndulo británico, año 2008.....	34
Tabla 36: IRI San Felipe.....	35
Tabla 37: Temperaturas Zona Norte .....	63
Tabla 38: Temperaturas Zona Centro .....	64
Tabla 39: Temperaturas Zona Sur .....	66
Tabla 40: Velocidad de viento en distintas estaciones de Chile .....	68

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bandas Granulométricas tipo M .....	8
Figura 2: Bandas Granulométricas tipo F .....	8
Figura 3: Bandas Granulométricas tipo M y IV-12(2) .....	10
Figura 4: Bandas Granulométricas tipo F y IV-12(2) .....	10
Figura 5: Deterioro del círculo de arena, San Felipe .....	34
Figura 6: IRI pista Nº 1 tramo F-10, San Felipe, V Región.....	35
Figura 7: IRI pista Nº 2 tramo F-10, San Felipe, V Región.....	36
Figura 8: IRI pista Nº 1 tramo M-10, San Felipe, V Región. ....	36
Figura 9: IRI pista Nº 2 tramo M-10, San Felipe, V Región. ....	37
Figura 10: Grietas transversales en el tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	38
Figura 11: Grietas entrelazadas en el tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	39
Figura 12: Desprendimiento de áridos en el tramo F-10, San Felipe, V Región.....	39
Figura 13: Comparación estado de las pistas del tramo F-10, San Felipe, V Región. ...	40
Figura 14: Homogeneidad de la textura pista nº 1 del tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	40
Figura 15: Terminación en el borde de la calzada en el tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	41
Figura 16: Monografía esquemática de las fallas encontradas en el tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	42
Figura 17: Grieta transversal en el tramo M-10, San Felipe, V Región. ....	43
Figura 18: Desprendimiento de áridos en el tramo M-10, San Felipe, V Región.....	44
Figura 19: Daño Provocado por material quemado en el tramo M-10, San Felipe, V Región. ....	44
Figura 20: Grieta longitudinal en el eje de la calzada, San Felipe, V Región. ....	45
Figura 21: Monografía esquemática de las fallas encontradas en el tramo F-10, San Felipe, V Región. ....	46
Figura 22: Vista general de calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana. ....	47
Figura 23: Falla en la intersección de las calles Gertrudis Echeñique y Renato Sánchez, Región Metropolitana.....	48

Figura 24: Bache en la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana. ....	48
Figura 25: Grietas angostas en calzada poniente de la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.....	49
Figura 26: Falla en la zona de estacionamiento en la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.....	49
Figura 27: Pérdida de árido en la calzada oriente de la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.....	50
Figura 28: Vista general Autopista del Itata, VIII Región. ....	52
Figura 29: Zona con mezcla asfáltica tradicional y grietas correctamente selladas. Autopista del Itata, VIII Región. ....	52
Figura 30: Textura de los tramos construidos con mezcla M-8 en la Autopista del Itata, VIII Región.....	53
Figura 31: Efecto de “cierre” de la superficie en la Autopista del Itata, VIII Región.....	54
Figura 32: Contacto entre microaglomerado y mezcla tradicional, en la Autopista del Itata, VIII Región. ....	54
Figura 33: Vista general Ruta 160, sector entrada a Lota, VIII Región. ....	56
Figura 34: Regularidad de los tramos construidos con mezcla M-10 en la Ruta 160 (Dm. 33700), Sector Lota, VIII Región.....	56
Figura 35: Empalme en la zona de curvas al termino del tramo en la Ruta 160, Sector Lota, VIII Región. ....	57
Figura 36: Zona de salida de vehículos en la Ruta 160, Sector Lota, VIII Región.....	58
Figura 37: Comportamiento de asfalto modificado con polímero (AMP) y asfalto tradicional. ....	60
Figura 38: Diagrama de Heukelom de asfalto modificado con polímero (AMP) y asfalto tradicional. ....	61
Figura 39: Comparación del efecto de zona de sombra (izquierda) y radiación solar directa (derecha) en un tramo de microaglomerados .....	69

# **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Introducción**

En la actualidad, los pavimentos asfálticos constituyen un gran porcentaje de los pavimentos en Chile (alrededor del 70% de los caminos pavimentados). La construcción, rehabilitación y mantenimiento de este tipo de pavimento ha tenido un gran desarrollo en nuestro país en el último tiempo, razón por la cual continuamente se busca la forma de mejorarlos, ya sea desde su desempeño estructural, como en su desempeño funcional durante la vida en servicio de estos.

Los microaglomerados son aplicados como carpetas de rodadura en capas más delgadas que las carpetas asfálticas comunes, ya que se utilizan en capas menores o iguales a 3,5 cm., en cambio las mezclas tradicionales se utilizan en espesores mayores o iguales a 5 cm.

El presente trabajo de título pretende estudiar la aplicación de microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente como soluciones viales para proporcionar o restituir las características superficiales que el pavimento requiere.

Los microaglomerados discontinuos en caliente, se basan en el uso de mezclas de cemento asfáltico modificado y áridos de elevada calidad y granulometrías discontinuas. Estas mezclas se diseñan por el método Marshall y/o de Cántabro. Su particularidad radica en que sus áridos tienen granulometrías discontinuas con tamaño máximo 12 mm., y tienen un elevado contenido de árido grueso, entre 70% y 80%, lo cual asegura un muy buen rozamiento interno, y un contenido máximo de árido fino del orden de 10%. Por otra parte, los requisitos exigidos para los áridos para este tipo de mezclas son más restrictivos que para las mezclas asfálticas tradicionales.

Los microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente se destacan por las siguientes características que la diferencian de las mezclas asfálticas tradicionales:

- Mejoras en las condiciones de seguridad debido a su alta macro-rugosidad, la cual ofrece una superficie segura al desplazamiento del usuario. De igual manera, la capacidad de drenaje de su superficie aminora el deslizamiento en condiciones de lluvia.
- Mayor sensación de confort, que resulta de una mejor regularidad en su textura, así como una disminución del ruido en hasta 2 decibeles en pavimento seco y hasta 4 decibeles en pavimento mojado.

- Mayor resistencia al envejecimiento, así como una mayor durabilidad y resistencia, tanto a la deformación y a la fisuración, todo esto por el uso de asfaltos modificados.

En la actualidad existen dos tipos de mezclas discontinuas normalizadas, las mezclas tipo F y las Tipo M. Las de tipo F, denominadas así por capas finas, se utilizan en espesores entre los 2 y 3,5 cm., en cambio las tipo M, denominadas así por ser monogranulares, se ocupan en capas más finas de entre 1 y 2 cm. Para ambos tipos de mezclas se utilizan áridos con tamaños máximos de 8 mm. (para mezclas F8 y M8) y 10 mm.(para F10 y M10).

## **1.2 Objetivos**

A continuación se presentan los objetivos, tanto generales como específicos, planteados para el presente trabajo de título.

### **1.2.1 Objetivos Generales**

- Estudiar el comportamiento de los microaglomerados discontinuos en caliente en aquellos caminos de Chile en que ya han sido aplicados.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Revisar y analizar los diseños de estas mezclas.
- Verificar el comportamiento de los microaglomerados y establecer si cumplen o no con las características esperadas a este tipo de pavimento.
- Determinar la factibilidad de la extensión de su uso a otros caminos y zonas de Chile.
- Proponer cambios o ratificación de las especificaciones nacionales relativas a los microaglomerados discontinuos en caliente, a la luz de un análisis comparativo con las normas extranjeras (España) y del resultado de los estudios de comportamiento de los pavimentos de este tipo actualmente en servicio.

### 1.3 Metodología

De acuerdo a los objetivos mencionados en el punto anterior, fue necesario utilizar la siguiente metodología:

- Estudio de los antecedentes del tema, investigando experiencias similares en otros países.
- Estudio de sus características de diseño, constructivas, de conservación y funcionales de los microaglomerados discontinuos en caliente, comparando esta tecnología con las mezclas asfálticas tradicionales.
- Estudio del comportamiento esperado de los microaglomerados, sobretodo en el aspecto funcional. Para ello se realizaron visitas a terreno con el objetivo de realizar inspecciones visuales de los caminos en que se ha aplicado esta tecnología.

Para ello, se realizaron ensayos mediante el uso de equipos y personal especializado del Laboratorio Nacional de Vialidad. Para este trabajo de título se efectuaron mediciones de:

- Textura superficial: Mediante Péndulo de Fricción (BPN) y Círculo de Arena.
- Índice de Regularidad Internacional (IRI).

También se efectuaron inspecciones visuales a los pavimentos de este tipo actualmente en servicio

- Analizar la normativa extranjera sobre los microaglomerados discontinuos en caliente, y compararlas con la normativa nacional vigente en el tema, poniendo un mayor énfasis en aquellas exigencias que podrían conllevar a especificaciones más restrictivas.
- Estudiar las posibles limitaciones existentes para los microaglomerados discontinuos en caliente, que restrinjan su aplicación en otras zonas u otro tipo de vías del país

## CAPÍTULO 2: NORMATIVA ACTUAL

En el presente capítulo se estudiará la normativa actual, tanto nacional como extranjera (especialmente la normativa española), que rigen para los microaglomerados discontinuos en caliente.

### 2.1 Normativa Chilena Vigente

La normativa vigente en Chile corresponde al Manual de Carreteras, específicamente el Volumen 5: Especificaciones Técnicas Generales de Construcción, donde destacan las siguientes secciones:

- Sección 5.408: Mezclas asfálticas en caliente.
- Sección 5.416: Microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente.

Además se considera al Volumen 8 del Manual de Carreteras, en el cual se especifican las normas de ensayos referentes a este tema.

A continuación se realizará una comparación entre las mezclas asfálticas tradicionales y los microaglomerados discontinuos, para visualizar la mayor exigencia de estos últimos, así como para entender conceptualmente sus características.

#### 2.1.1 Categorías de tráfico

Para los microaglomerados es necesario definir las siguientes categorías de tráfico pesado, ya que el Manual de Carreteras tiene requisitos diferenciados según estas categorías.

**Tabla 1: Categorías de tráfico pesado**

<b>Categoría de tráfico</b>	<b>Tránsito Medio Diario, TMDA</b>
T0	$TMDA \geq 2000$
T1	$2000 > TMDA \geq 800$
T2	$800 > TMDA \geq 200$
T3	$200 > TMDA$

Cabe mencionar que para establecer las categorías de tráfico pesado se considera el TMDA, el cual considera todo tipo de vehículos, sin separar a los vehículos livianos de los pesados. Por lo anterior se sugiere que para próximas ediciones del Manual de Carreteras se considere y estudie el tipo de vehículo considerado para la clasificación de tráfico.

## 2.1.2 Materiales

### 2.1.2.1 Áridos

Para la comparación de los áridos de ambos tipos de mezclas, se tomará en cuenta la especificación de áridos para mezclas asfálticas tradicionales para capas de rodadura, según la sección 5.408 del Manual de Carreteras.

#### 2.1.2.1.1 Árido grueso

Corresponde a la fracción retenida en el tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8), la cual deberá estar constituida por partículas chancadas, tenaces y limpias, esto es que se encuentren libres de materia orgánica, arcillas o materias extrañas. Estos áridos deben cumplir además con los requisitos indicados en la Tabla 2, según el tipo de mezcla en la cual sean utilizados.

**Tabla 2: Especificaciones para árido grueso**

Ensayo /Características	Método	Mezcla Asfáltica Tradicional	Microaglomerados Discontinuos en caliente
<b>Equivalente de arena</b>	8.202.9 (LNV 71)	No se especifica	Mínimo 50%
<b>Azul de Metileno</b>	NLT-171/90	No se especifica	Máximo 1
<b>Partículas Chancadas</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.6(LNV 3)	Mínimo 90 %	100%
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.6(LNV 3)		Mínimo 75%
Contenido de impurezas	NLT-172/86		<0,5%
<b>Índice de Lajas</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.7(LNV 3)	Máximo 10 %	Máximo 25% (Tipo F)
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.7(LNV 3)		Máximo 20% (Tipo M)
			Máximo 30% (Tipo M y F)
<b>Desgaste de Los Ángeles</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.11 (LNV 75)	Máximo 25 %	Máximo 20% (Tipo F)
			Máximo 15% (Tipo M)
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.11 (LNV 75)		Máximo 25% (Tipo M y F)
<b>Pulimento Acelerado</b>			
Categorías T0, T1 y T2	NLT-174/93	No se especifica	Mínimo 0,50
Categorías T3, T4 y Bermas	NLT-174/93	No se especifica	Mínimo 0,45
<b>Adhesividad ligante-árido en agua</b>	8.302.29 (LNV 9)	≥ 95%	≥ 95%
<b>Desintegración en Sulfato de Sodio</b>	8.202.17 (LNV 74)	Máximo 12 %	No se especifica
<b>Adherencia Método Dinámico</b>	8.302.31 (LNV 44)	Mínimo 95 %	No se especifica

### 2.1.2.1.2 Árido fino

Corresponde a la fracción que pasa bajo el tamiz 2,5 mm (ASTM N° 8) y queda retenida en el tamiz 0,08 mm (ASTM N° 200), la cual deberá estar constituida por agregados provenientes de la trituración de rocas o gravas. Las partículas deben ser duras, tenaces y libres de arcillas o sustancias perjudiciales. Estos áridos deben cumplir además con los requisitos indicados en la Tabla 3, según el tipo de mezcla en la cual sean utilizados.

Los áridos finos no pueden exceder al 10% del peso total de la mezcla.

**Tabla 3: Especificaciones para árido fino**

<b>Ensayo / Características</b>	<b>Método</b>	<b>Mezcla Asfáltica Tradicional</b>	<b>Microaglomerados Discontinuos en caliente</b>
Equivalente de arena	8.202.9(LNV 71)	No se especifica	Mínimo 50%
Azul de Metileno	NLT-171/90	No se especifica	Máximo 1
Adhesividad ligante-árido en agua	8.302.29(LNV 9)	Mínimo 0%-5%	>4%
Índice de Plasticidad	8.102.4(LNV 90)	NP	No se especifica
Desintegración en Sulfato de Sodio	8.202.17(LNV 74)	Máximo 15 %	No se especifica

### 2.1.2.1.3 Polvo mineral (filler)

El manual de carreteras define al polvo mineral o filler a la fracción que pasa en el tamiz 0,16 mm (ASTM N° 100) y queda retenida en el tamiz 0,08 mm (ASTM N° 200). Esta definición no es correcta, ya que la literatura especializada define al filler como el árido que pasa por el tamiz ASTM N° 200. Es por esto que se recomienda corregir este error producido en la definición del polvo mineral en la sección 5.416 del Manual de Carreteras.

Este polvo mineral podrá provenir de los áridos seleccionados o de cualquier producto comercial, y deberán cumplir además con los requisitos indicados en la Tabla 4. El polvo mineral que quede adherido a los áridos tras su paso por el secador, en ningún caso podrá ser superior al 2% del peso de la mezcla.

**Tabla 4: Requisitos para el polvo mineral**

Ensayo / Características	Método	Mezcla Asfáltica Tradicional	Microaglomerados Discontinuos en caliente
Densidad aparente	8.202.19(LNV 67)	No se especifica	0,5-0,8 gr./cm <sup>3</sup>
Coefficiente de Emulsibilidad	NLT-180	No se especifica	<0,6
<b>Proporciones mínimas de filler de aportación(*)</b>			
Tráfico T0, T1 y T2		No se especifica	100
Tráfico T3, T4		No se especifica	50

(\*) % en masa del resto del polvo mineral

#### **2.1.2.1.4 Caracterización de los áridos**

Existen dos tipos de mezclas para los microaglomerados discontinuos en caliente:

- Tipo M, denominadas así por monogranulares, que se utilizan en capas de espesor entre 1 y 2 cm.
- Tipo F, denominadas así por ser capas finas, las cuales se utilizan en capas de espesor entre 2 y 3,5 cm.

Para cada una de estas dos tipos de mezclas existen dos bandas granulométricas en las que se basa el diseño de los microaglomerados, las cuales difieren en el tamaño máximo de los áridos, los cuales pueden ser 8 mm, para las capas del tipo M8 y F8, y 10 mm, para las capas del tipo M10 y F10. Estas bandas se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5: Bandas granulométricas para microaglomerados discontinuos en caliente**

Denominación		Bandas			
Tamices		M8	M10	F8	F10
mm.	ASTM	%que pasa en peso			
12,5	1/2"		100		100
10	3/8"	100	75-97	100	75-97
8	5/16"	75-97	---	75-97	---
5	Nº4	15-28	15-28	25-40	25-40
2,5	Nº8	12-25	12-25	20-35	20-35
0,63	Nº30	9-18	9-18	12-25	12-25
0,08	Nº200	5-8	5-8	7-10	7-10

La fracción de árido que pasa por el tamiz Nº4 y es retenida en el tamiz Nº8 deberá ser inferior al 8%

A continuación se muestran en las bandas granulométricas del tipo M y F.

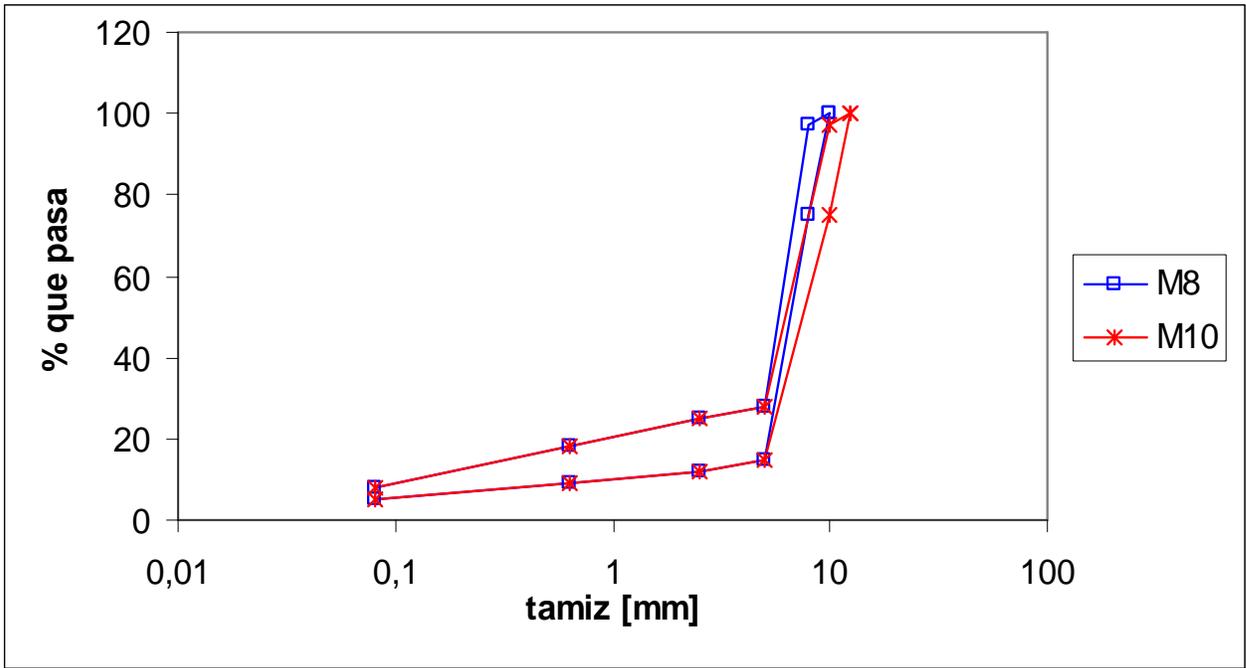


Figura 1: Bandas Granulométricas tipo M

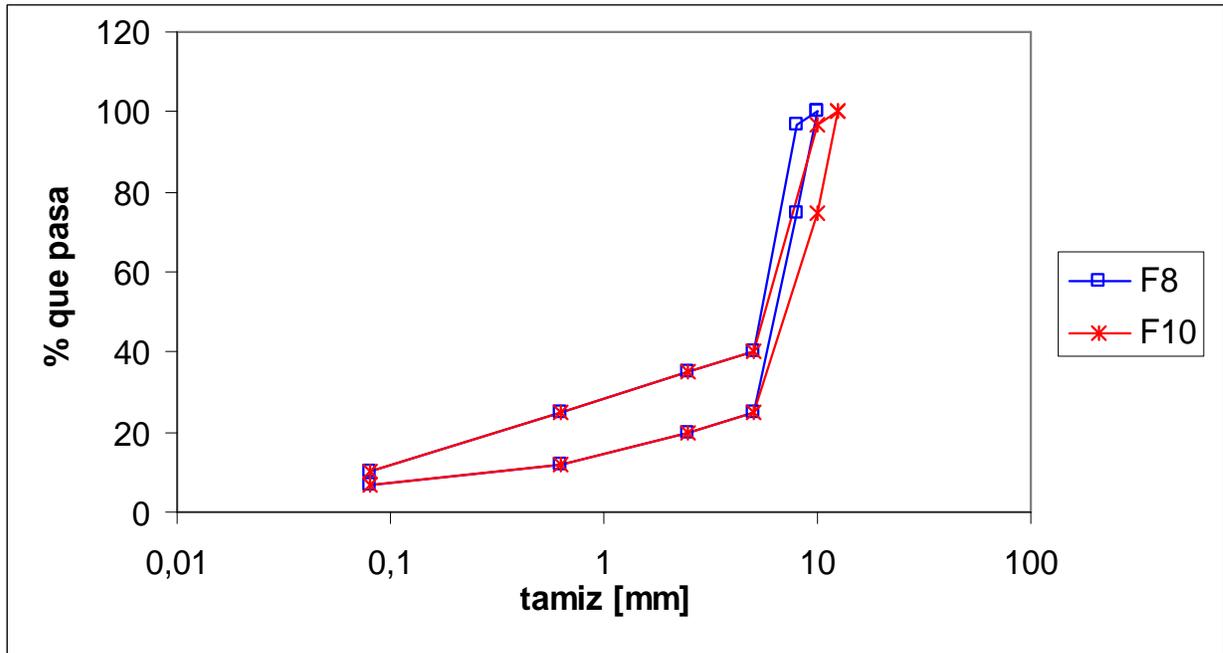


Figura 2: Bandas Granulométricas tipo F

En cambio para los áridos de las carpetas asfálticas tradicionales existen otras bandas granulométricas, las cuales se muestran en la Tabla 6.

**Tabla 6: Granulometría semi-densa para mezcla tradicional**

Denominación		Bandas	
Tamices		IV-A-12	IV-A-20
mm.	ASTM	%que pasa en peso	
25	1"		100
20	3/4"	100	80-95
12,5	1/2"	80-95	65-80
10	3/8"	70-85	57-73
5	Nº 4	43-58	40-55
2,5	Nº 8	28-42	28-42
0,63	Nº 30	13-24	13-24
0,315	Nº 50	8-17	8-17
0,16	Nº 100	6-12	6-12
0,08	Nº 200	4-8	4-8

Como se puede observar en la Tabla anterior, las granulometrías de áridos para las mezclas asfálticas tradicionales, aceptan tamaños máximos mayores que los que presentan las granulometrías para los microaglomerados discontinuos en caliente, además que su distribución es continua, es decir, posee una distribución más pareja en los diversos tamices, sin saltos bruscos de un tamiz al otro. Esto implica un mayor relleno de huecos entre partículas.

A continuación y a modo de ejemplo para la comparación realizada en el párrafo anterior se muestra en forma gráfica las bandas granulométricas M8, M10, F8 y F10, en conjunto con la banda de granulometría densa IV-A-12.

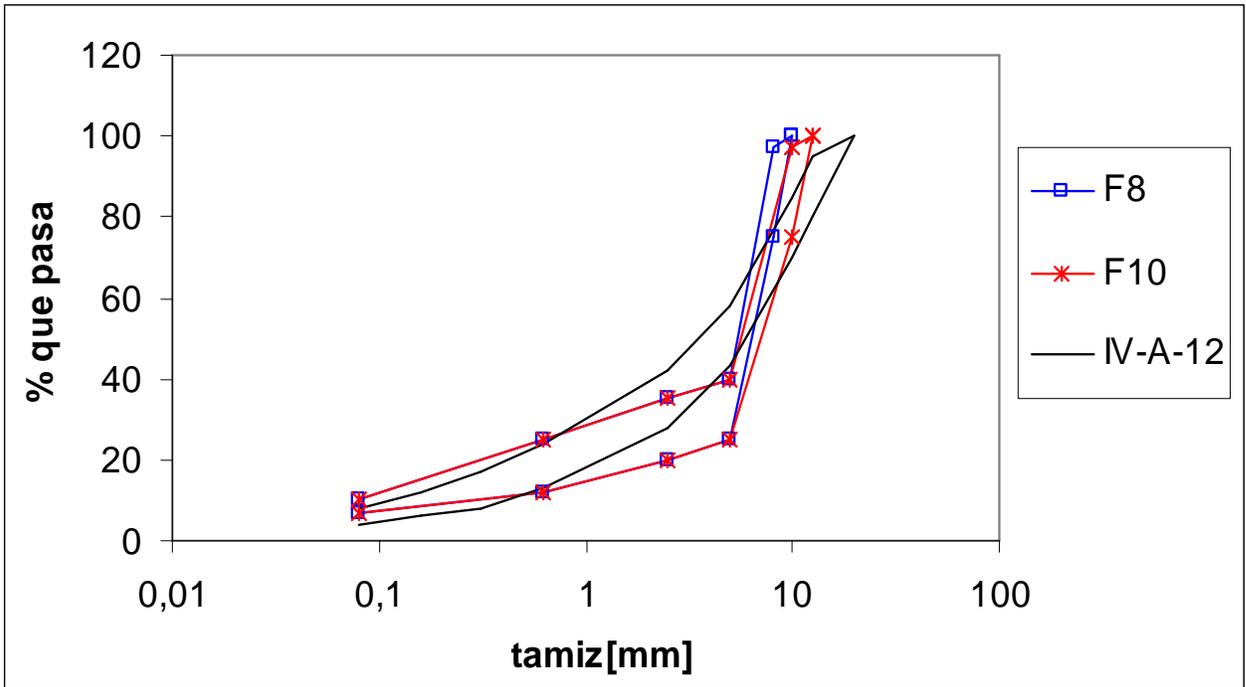


Figura 3: Bandas Granulométricas tipo M y IV-12(2)

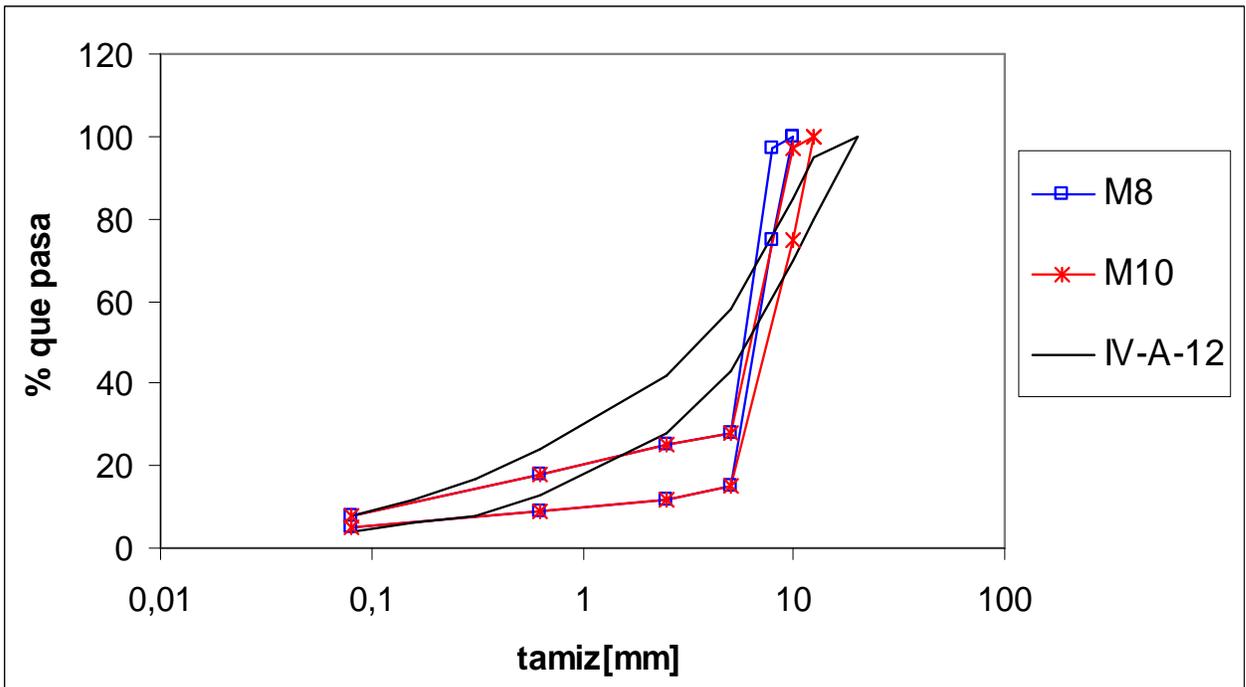


Figura 4: Bandas Granulométricas tipo F y IV-12(2)

### 2.1.2.2 Asfalto

Para los microaglomerados discontinuos en caliente se utilizarán cementos asfálticos del tipo 60/80 modificados con polímeros, los cuales deberán cumplir las exigencias indicadas en la sección 5.414 del Manual de Carreteras. La comparación con un cemento asfáltico del tipo 60/80 modificado con polímeros para una mezcla tradicional, se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7: Exigencia para el Cemento Asfáltico Modificado con polímero.**

Ensayo	Método	Mezcla Asfáltica Tradicional	Microaglomerados Discontinuos en caliente
Penetración, 25°C, 100g, 5 s, 0,1 mm.	8.302.3(LNV 34)	60-80	60-80
Punto de Ablandamiento, °C	8.302.16(LNV 48)	Informar	Mín. 65
Ductilidad, 5°C, 5 cm./min.,cm.	8.302.8(LNV 35)	Mín. 50	Mín. 50
Ductilidad, 25°C, 5 cm./min., cm.	8.302.8(LNV 35)	Mín. 80	Mín. 80
Recuperación Elástica, 13 °C, 20 cm., 1 h, %	DIN 52013	Mín. 50	Mín. 60
Recuperación Elástica, por torsión, 25°, %	NLT 329	Informar	No se especifica
Índice de Penetración	8.302.21	Mín. +2	Mín. +4
Índice de Fragilidad Fraas, °C	8.302.17(LNV 182)	Máx. -17	Máx. -18
Punto de Inflamación	8.302.9(LNV 36)	Mín. 235	Mín. 235

### 2.1.2.3 Aditivos

En el caso de las mezclas de microaglomerados, eventualmente pueden ser incorporadas a ellas, distintos tipos de fibras, tales como fibras minerales (lana de vidrio), orgánicas (celulosa), y sintéticas (polipropileno, poliésteres y acrílicas). Estas fibras permiten fijar un mayor contenido de ligante, lo que genera una capa de mayor grosor, sin el peligro de que este escurra. Estas fibras deben ser empleadas en pequeñas proporciones del peso del árido, según lo indicado en la Tabla 8, sin embargo debido a la baja densidad de estas fibras, la proporción en volumen puede ser importante.

**Tabla 8: Exigencia para las fibras añadidas a la mezcla asfáltica**

Tipo de Fibra	Proporción, %
Celulosa	0,3-0,5
Poliéster o Fibra de vidrio	0,5-0,6

En el caso de las mezclas asfálticas tradicionales, no se especifica el uso de las fibras nombradas anteriormente.

### 2.1.2.4 Propiedades de las mezclas asfálticas

En esta sección se muestran los distintos requisitos para el diseño de las mezclas asfálticas, tanto para mezclas tradicionales como para los microaglomerados discontinuos en caliente.

**Tabla 9: Dotaciones para el diseño de la mezcla<sup>1</sup>**

Característica	Mezcla Asfáltica Tradicional	Microaglomerados Discontinuos en caliente
<b>Dotación Media</b>		
Tipo M8, Kg./m <sup>2</sup>	No se especifica	25-40
Tipo M10, Kg./ m <sup>2</sup>	No se especifica	35-50
Tipo F8, Kg./ m <sup>2</sup>	No se especifica	40-75
Tipo F10, Kg./ m <sup>2</sup>	No se especifica	50-100
<b>Asfalto</b>		
Tipo M8 y M10, %	No se especifica	≥ 5,0
Tipo F8 y F10, %	No se especifica	≥ 5,5
<b>Relación Filler/Ligante</b>		
Tipo M8 y M10	No se especifica	1,2-1,4
Tipo F8 y F10	No se especifica	1,4-1,8

Para el diseño de las mezclas se utilizan distintos métodos: para una mezcla tradicional, se utiliza el procedimiento Marshall con 75 golpes, en cambio para los Microaglomerados, se tiene que para las mezclas tipo F se utiliza el procedimiento Marshall con 50 golpes, y para las tipo M el procedimiento Cántabro. A continuación se muestran las exigencias para el diseño de estas mezclas.

**Tabla 10: Exigencias para el diseño de la mezcla<sup>1</sup>**

	Mezcla Asfáltica Tradicional	Microaglomerados	
		Tipo F	Tipo M
Procedimiento	Marshall <sup>2</sup>	Marshall	Cantabro <sup>3</sup>
Golpes	75	50	50
Tipo de Probeta	Marshall	Marshall	Marshall
Huecos en la Mezcla, %	4-6	6-9	10-15
Estabilidad, KN	Mín. 9	Mín. 7,5	---
Velocidad de deformación en el intervalo de 105-120min, $\mu$ m/min.	---	Máx. 12 <sup>4</sup> Máx. 15 <sup>5</sup>	---
Perdida de resistencia, % (ensayo de inmersión compresión)	---	≤ 25	---
Perdida por abrasión en seco(25°C), %	---	---	<15
Fluencia (0,25 mm.)	8-16	---	---

<sup>1</sup> Adaptada de la Tabla 5.416.204A del Manual de Carreteras, Volumen 5.

<sup>2</sup> Método 8.302.40 (LNV 24)

<sup>3</sup> Método 8.302.54 (NLT-352/83)

<sup>4</sup> Esta exigencia se aplica en zonas cálidas.

<sup>5</sup> Esta exigencia se aplica en zonas templadas a frías

### **2.1.3 Procedimiento de Trabajo**

El Manual de carreteras indica que para el procedimiento de trabajo, se debe considerar las especificaciones para las mezclas asfálticas tradicionales, excepto en aquellas exigencias donde se indique algo diferente, las cuales se muestran en los puntos 2.1.3.1 y 2.1.3.2.

#### **2.1.3.1 Requisitos generales de transporte y colocación**

Debido a que existe un mayor riesgo de que el ligante escurra y a la menor inercia térmica de los microaglomerados discontinuos en caliente en relación a una mezcla tradicional, se establecen las siguientes exigencias adicionales:

- El tiempo de transporte debe ser menor a 2 horas.
- Los camiones deben estar cubiertos con lonas u otro material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con el medio ambiente.

#### **2.1.3.2 Compactación**

Para la compactación de los microaglomerados discontinuos en caliente se deberá utilizar 2 rodillos lisos de pesos entre 8 y 12 toneladas, los cuales se utilizarán sin vibración, a diferencia que para las mezclas tradicionales, para evitar variaciones en la granulometría de los áridos. Estos deberán disponerse muy cercanos a la extendedora, y el número de pasada de éstos debe ser superior a 6, las cuales se realizarán a la mayor temperatura posible.

La vibración sólo podría ser recomendable en las zonas de juntas, donde se utilizarán rodillos manuales metálicos vibradores.

Los tiempos disponibles para la compactación para los microaglomerados son menores que para una mezcla tradicional. La temperatura mínima de compactación dependerá del ligante utilizado, y su compactación no es recomendable para obras en tiempo frío, especialmente con viento fuerte, debido a la rapidez con que se enfrían las mezclas asfálticas con polímeros.

No se deberá ocupar compactadores neumáticos, debido a que se adhieren con facilidad a la mezcla asfáltica y provocan desprendimiento de gravilla.

Con respecto a la temperatura de compactación, ésta deberá estar comprendida entre los 110 °C y los 140 °C, pero para capas menores a 5 cm. de espesor o mezclas del tipo microaglomerados discontinuos en caliente, se permite la compactación a temperaturas menores a 110 °C. En cualquier caso, el Laboratorio indicará la temperatura adecuada de acuerdo a la viscosidad del cemento asfáltico modificado utilizado.

### 2.1.3.3 Macrotextura Superficial

La superficie de la capa de rodadura deberá presentar una textura homogénea, uniforme y toda la capa estará exenta de segregaciones. Esto se debe cumplir para cualquier tipo de mezcla asfáltica en caliente.

Esta Macrotextura superficial se medirá con el método de la mancha o círculo de arena, descrito en la sección 8.602.25 del Manual de Carreteras, Volumen 8. Este ensayo consiste en determinar un espesor equivalente mediante la aplicación de un volumen conocido de arena, y la medición del área total cubierta por este volumen, obteniéndose un valor para la macrotextura superficial promedio (ver un ejemplo de esto en el Anexo B).

No existe una exigencia específica en este punto para los microaglomerados discontinuos en caliente, a pesar de que una de sus principales propiedades es una mayor macrotextura superficial, es por esto que se debe regir por la exigencia para mezcla asfáltica tradicional, que se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 11: Macrotextura Superficial**

Ensayo	Método	Exigencia
Macrotextura a través del Círculo de arena	8.602.25	Mínimo 0,6 mm.

### 2.1.3.4 Coeficiente de Fricción

El Manual de Carreteras indica que 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. El equipo de medición de recepción es el SCRIM (Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine), y los valores se obtienen en unidades SFC (Sideway Friction Coefficient), medidos a  $50 \pm 5$  Km/h e informados cada 200 metros o fracción. La exigencia de éste parámetro se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 12: Coeficiente de Fricción**

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

Excepcionalmente se podrá controlar el coeficiente de fricción a través del péndulo de fricción TRRL, según lo indicado en la sección 8.602.24 del Manual de Carreteras, volumen 8. Este péndulo TRRL, o británico, es un equipo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando una cara de un patín de goma se desliza sobre una superficie. Para controlar el coeficiente de fricción a través del péndulo británico se realizarán 20 mediciones por kilómetro y por pista para proyectos urbanos y 10 por kilómetro y por pista para otros proyectos. La exigencia de éste parámetro se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 13: Coeficiente de Fricción con Péndulo TRRL**

Descripción del Sector		Exigencia(BPN)
Sectores con Singularidades	Curvas de radio inferior a 100 m Pendiente $\geq 10\%$ Aproximación a intersecciones Intersecciones Aproximación a Semáforos Aproximación a Señalización de Prioridad Ramales	Mín.65
Sector sin singularidades		Mín. 55

Una deficiencia en la especificación del Manual de Carreteras para la medición del coeficiente de fricción es el hecho de que no se establece la zona del camino en la cual se realiza la medición de este coeficiente.

### **2.1.3.5 Control de Regularidad Superficial(IRI)**

La medición del IRI se realizará de acuerdo a lo especificado en la sección 8.502.8 del Manual de Carreteras, volumen 8. Estas mediciones se realizarán con las medias fijas considerando los valores de 5 tramos consecutivos de 200 m. Se entenderá que la superficie del pavimento tiene una rugosidad aceptable si cumple con los valores mostrados en la Tabla 14.

**Tabla 14: IRI**

Medición	IRI
Promedio de 5 tramos consecutivos	Máx. 2,0 m/Km.
Valor Individual	Máx. 2,8 m/Km.

Estos valores se especifican para mezclas asfálticas en caliente, y no se exigirá en las bermas pavimentadas con cemento asfáltico, ni en zonas donde existan singularidades, tales como accesos, puentes, cámaras y otros. Tampoco se exigirá el cumplimiento de estos valores en recarpeteos asfálticos sobre pavimentos existentes.

## 2.2 Normativa Extranjera

La normativa extranjera más destacada para los microaglomerados discontinuos en caliente es la normativa española, debido a su vasta experiencia en la utilización de este tipo de mezcla asfáltica, la cual ha sido aplicada en España desde el año 1987. La normativa española corresponde al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales Para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), la cual fue modificada por la orden FOM 891 del Ministerio de Fomento de España en el año 2004, donde se destacan los siguientes artículos:

- Artículo 543: Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura
- Artículo 211: Betunes asfálticos
- Artículo 215: Betunes asfálticos modificados con polímeros

Además se estudiará la Norma 6.1-IC: "Secciones de firme" la cual fue modificada por la orden FOM 3460, del año 2003. En esta norma se establecen ciertas regulaciones a la utilización de los microaglomerados discontinuos en caliente.

### 2.2.1 Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, PG-3

La revisión a esta normativa española, se realizará siguiendo el mismo esquema de la sección anterior, poniendo énfasis en las diferencias que existen entre la normativa chilena y la española. Luego de este análisis se propondrán cambios a la normativa chilena actual

#### 2.2.1.1 Categorías de tráfico

El PG-3 establece cinco categorías de tráfico pesado, las cuales se establecen en función de la intensidad media diaria de vehículos pesados (IMDp), la que se considera en el carril de proyecto y en el año de la puesta en servicio. Estas categorías se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15: Categorías de tráfico pesado**

Categoría de tráfico pesado	IMDp
T0	$IMDp \geq 2000$
T1	$2000 > IMDp \geq 800$
T2	$800 > IMDp \geq 200$
T3	$200 > IMDp > 50$
T4	$50 > IMDp$

Se consideran vehículos pesados a los camiones cuya capacidad de carga sea mayor a 3 toneladas, de más de 4 ruedas y sin remolque, a los camiones con uno o más remolques, a los vehículos articulados y los vehículos especiales, y los vehículos dedicados al transporte de personas con 9 asientos o más.

Se debe observar que las categorías de tráfico pesado son similares entre las normativa chilena y española, con la salvedad que en el PG-3 se introduce una categoría T4, la cual es de muy bajo tránsito de vehículos pesados, por lo que no introduce mayores restricciones esta nueva categoría. Además, se observa que los límites de tráfico para cada categoría son iguales en ambas normativas, a excepción de la nombrada categoría T4.

Adicionalmente, se debe destacar que el Manual de carreteras no establece los tipos de vehículos considerados para el tráfico pesado, ni en que pista o carril, se consideran los niveles de tráfico pesado, por lo que se recomienda realizar cambios al Manual de Carreteras, considerando lo establecido en el PG-3 para las categorías de tráfico pesado.

### 2.2.1.2 Materiales

Para la comparación entre la normativa española (PG-3) y la chilena (Manual de Carreteras), se mostrarán en las siguientes Tablas lo indicado por el PG-3 y una observación según lo indicado en el Manual de Carreteras.

#### 2.2.1.2.1 Áridos

##### 2.2.1.2.1.1 Árido grueso

En la siguiente Tabla se muestran las especificaciones de distintos ensayos para el árido grueso.

**Tabla 16: Especificaciones para árido grueso**

Ensayo /Características	Método	PG-3	Manual de Carreteras
<b>Equivalente de arena</b>	8.202.9(LNV 71)	≥ 50%	≥ 50%
<b>Azul de Metileno</b>	NLT-171/90	≤ 1	≤ 1
<b>Partículas Chancadas</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.6(LNV 3)	100%	100%
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.6(LNV 3)	≥ 75%	≥ 75%
<b>Contenido de impurezas</b>	NLT-172/86	<0,5%	<0,5%
<b>Índice de Lajas</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.7(LNV 3)	≤ 20%	≤ 25% (Tipo F)
			≤ 20(Tipo M)
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.7(LNV 3)	≤ 25%	≤ 30(Tipo M y F)
<b>Desgaste de Los Ángeles</b>			
Categorías T0, T1 y T2	8.202.11(LNV 75)	≤ 20% (Tipo F)	≤ 20% (Tipo F)
		≤ 5% (Tipo M)	≤ 5% (Tipo M)
Categorías T3, T4 y Bermas	8.202.11(LNV 75)	≤ 5% (Tipo M y F)	≤ 5% (Tipo M y F)
<b>Pulimento Acelerado</b>			
Categorías T0, T1 y T2	NLT-174/93	≥ 0,50	≥ 0,50
Categorías T3, T4 y Bermas	NLT-174/93	≥ 0,45	≥ 0,45
<b>Adhesividad ligante-árido en agua</b>	8.302.29(LNV 9)	No se especifica	≥ 95%

Como se puede observar en la tabla anterior el PG-3 tiene una especificación más exigente para el índice de lajas (el cual indica la forma del árido utilizado), es por esto que se recomienda adoptar esta especificación para los microaglomerados discontinuos en caliente. Además el PG-3 no considera la adhesividad ligante-árido en agua, por lo que se recomienda utilizar lo indicado por el Manual de Carreteras.

#### **2.2.1.2.1.2 Árido fino**

La principal diferencia entre el PG-3 y el Manual de Carreteras en este punto es que el PG-3 permite la utilización de arena natural (no triturada), como una fracción del total del árido fino en las mezclas tipo F que pertenezcan a las categorías T3, T4 y bermas, en cuyo caso esta fracción no podrá ser superior al 10% del árido total empleado, sin que se supere el porcentaje de árido fino triturado utilizado en la mezcla.

En el caso en que el árido fino provenga de la trituración de un material de igual naturaleza que el árido grueso, deberá cumplir las condiciones sobre el desgaste de Los Ángeles indicados en la Tabla 16. Se podrá utilizar árido fino de otra naturaleza, que mejore alguna característica, pero en ningún caso su desgaste de Los Ángeles podrá ser mayor a 25%.

#### **2.2.1.2.1.3 Polvo mineral (filler)**

El PG-3 define al polvo mineral como la parte del árido total que es cernida por el tamiz 0,063 mm de la norma UNE-EN 933-2. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de distintos ensayos para el polvo mineral.

**Tabla 17: Requisitos para el polvo mineral**

<b>Ensayo / Características</b>	<b>Método</b>	<b>PG-3</b>	<b>Manual de Carreteras</b>
<b>Densidad aparente</b>	8.202.19(LNV 67)	0,5-0,8 gr./cm <sup>3</sup>	0,5-0,8 gr./cm <sup>3</sup>
<b>Coefficiente de Emulsibilidad</b>	NLT-180	No se especifica	<0,6
<b>Proporciones mínimas de filler de aportación (*)</b>			
Categorías T0, T1 y T2		100	100
Categorías T3, T4		50	50

(\*) % en masa del resto del polvo mineral, excluido el inevitablemente adherido a los áridos

Como se observa en la Tabla anterior los requisitos para el polvo mineral del Manual de Carreteras son iguales que los del PG-3, teniendo incluso el Manual de Carreteras una especificación sobre el coeficiente de emulsibilidad que no es considerado por el PG-3, por lo que en este punto no se sugiere hacer cambios al Manual de Carreteras, con la excepción de adoptar la definición correcta del polvo mineral.

#### 2.2.1.2.1.4 Caracterización de los áridos.

Al igual que en el Manual de Carreteras, el PG-3 define dos tipos de mezclas para los microaglomerados discontinuos en caliente, las tipo M y las tipo F, las que son similares en ambas normativas.

Para cada una de estas dos tipos de mezclas se definen de igual manera dos bandas granulométricas en las que se basa el diseño de los microaglomerados, las cuales son denominadas, al igual que en el Manual de Carreteras según el tamaño máximo de los áridos, el que puede ser 8 mm, para las capas del tipo M8 y F8, y 10 mm, para las capas del tipo M10 y F10. Estas bandas se muestran en la Tabla 18

**Tabla 18: Bandas granulométricas para microaglomerados**

Denominación Tamices mm.	Bandas			
	M8	M10	F8	F10
	%que pasa en peso			
12,500		100		100
10,000	100	75-97	100	75-97
8,000	75-97	---	75-97	---
4,000	14-27	14-27	23-38	23-38
2,000	11-22	11-22	18-32	18-32
0,500	8-16	8-16	11-23	11-23
0,063	5-7	5-7	7-9	7-9

La fracción de árido que pasa por el tamiz 4 mm. y es retenida en el tamiz 2 mm. deberá ser inferior al 8%.

Las bandas granulométricas definidas en la Tabla 18 difieren con respecto a las definidas por el Manual de Carreteras, las cuales se muestran en la Tabla 5 del presente capítulo. Estas diferencias, son muy pequeñas, y se deben a que los 4 tamices más pequeños del PG-3 corresponden a tamices normalizados por la norma UNE-EN 933-2, que corresponde a una normativa europea, en cambio el Manual de Carreteras considera tamices ASTM, que es una normativa norteamericana. Esto conlleva a que estos tamices de menor tamaño tengan pequeñas diferencias en las aberturas, lo que hace variar en un margen cercano al 2% las bandas granulométricas consideradas en ambas normativas.

Por lo anterior, y debido a que en Chile se utilizan tamices normalizados según las normas ASTM, se debería conservar la normativa de granulometría establecida en el Manual de Carreteras.

### 2.2.1.2.2 Asfalto

El Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, establece los cementos asfálticos a utilizar en función de la categoría de tráfico pesado asignado a la vía en que se aplicará el microaglomerado. Estos cementos asfálticos son los siguientes:

**Tabla 19: Tipo de Cemento asfáltico a utilizar**

Categoría de tráfico	Cemento Asfáltico
T0	BM-3c
T1	BM-3c o BM-3b
T2a T4 y bermas	B60/70 o B80/100

Los cementos asfálticos BM-3b y BM-3c corresponde a cementos asfálticos modificados con polímeros, los cuales son utilizados para categorías de tráfico pesado elevado, en cambio los B60/70 y B80/100, son cementos asfálticos tradicionales los cuales son utilizados para categorías de tráfico pesado moderado. En la siguiente Tabla se realiza una comparación entre éstos y el definido en el Manual de Carreteras, que corresponde a un cemento asfáltico modificado con polímero CA60/80.

**Tabla 20: Exigencia para el Cemento Asfáltico**

Ensayo	PG-3				Manual de Carreteras
	BM-3b	BM-3c	B60/70	B80/100	
Penetración, 25°C, 100g, 5 s, 0,1 mm.	55-70	55-70	60-70	80-100	60-80
Punto de Ablandamiento, °C	Mín. 60	Mín. 65	48-57	45-53	Mín. 65
Ductilidad, 5°C, 5 cm./min.,cm.	Mín. 25	Mín. 30	--	--	Mín. 50
Ductilidad, 25°C, 5 cm./min., cm.	--	--	Mín. 90	Mín. 100	Mín. 80
Recuperación Elástica, 13 °C, 20 cm., 1 h, %	--	--	--	--	Mín. 60
Recuperación Elástica, 25°C, %	Mín. 40	Mín. 70	--	--	--
Índice de Penetración	--	--	Mín. -1, Máx. +1	Mín. -1, Máx. +1	Mín. +4
Índice de Fragilidad Fraas, °C	Máx. -12	Máx. -15	Máx. -8	Máx. -10	Máx. -18
Punto de Inflamación	Mín. 235	Mín. 235	Mín. 235	Mín. 235	Mín. 235
<b>Estabilidad al Almacenamiento</b>					
Diferencia Punto Reblandecimiento, °C	5	5	--	--	--
Diferencia Penetración(25°C), 0,1 mm.	10	10	--	--	--
Consistencia (flotador a 60°C), s	1200	2000	--	--	--

Como se puede observar en la Tabla anterior, existen varias diferencias entre los distintos cementos asfálticos, pero aquellos utilizados para categorías de tráfico pesado elevado tienen menos diferencias con el cemento asfáltico indicado en el Manual de Carreteras, por lo cual se recomienda mantener esta especificación.

### 2.2.1.2.3 Aditivos

A diferencia del Manual de Carreteras, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, no establece ni el tipo de fibras ni las proporciones en que pueden ser utilizadas, sólo indica que el director de obras tendrá la atribución de fijar los aditivos que pueden utilizarse, estableciendo las especificaciones que tendrán que cumplir tanto el aditivo como la mezcla asfáltica resultante. El método de incorporación deberá asegurar una dosificación y dispersión homogénea del aditivo.

### 2.2.1.2.4 Propiedades de las mezclas asfálticas

En la Tabla 21 se recomiendan rangos y valores mínimos de las dotaciones para establecer el diseño de una mezcla de microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente.

**Tabla 21: Dotaciones para el diseño de la mezcla**

<b>Característica</b>	<b>PG-3</b>	<b>Manual de Carreteras</b>
<b>Dotación Media</b>		
Tipo M8, Kg./m <sup>2</sup>	35-50	25-40
Tipo M10, Kg./ m <sup>2</sup>	55-70	35-50
Tipo F8, Kg./ m <sup>2</sup>	40-55	40-75
Tipo F10, Kg./ m <sup>2</sup>	65-80	50-100
<b>Asfalto</b>		
Tipo M8 y M10, %	≥ 5,0	≥ 5,0
Tipo F8 y F10, %	≥ 5,5	≥ 5,5
<b>Relación Filler/Ligante</b>		
Tipo M8 y M10	1,1-1,3	1,2-1,4
Tipo F8 y F10	1,3-1,7	1,4-1,8
<b>Ligante residual en riego de adherencia</b>		
Camino Nuevo, Tipo M, Kg./ m <sup>2</sup>	>0,30	-
Camino Nuevo, Tipo F, Kg./ m <sup>2</sup>	>0,25	-
Camino Viejo, Tipo M, Kg./ m <sup>2</sup>	>0,40	-
Camino Viejo, Tipo F, Kg./ m <sup>2</sup>	>0,35	-

Como se observa en la Tabla anterior, el PG-3 establece dotaciones medias para todos los tipos de mezclas de microaglomerados discontinuos en caliente en rangos distintos que los establecidos en el Manual de Carreteras, ocurriendo lo mismo con la relación entre el polvo mineral (filler) y el ligante. De igual manera el PG-3 establece una cantidad de ligante residual en riego de adherencia, que no se especifica en el Manual de Carreteras.

Dada la mayor experiencia en España con el uso de los microaglomerados discontinuos en caliente, se recomienda utilizar en este apartado las especificaciones indicadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales.

Al igual que en el Manual de Carreteras, el diseño de las mezclas para los microaglomerados discontinuos en caliente, según el PG-3, se realizan a través del método Marshall en el caso de las mezclas tipo F, y el procedimiento Cántabro, para las tipo M. En las siguientes tablas se presentan las exigencias para cada uno de los tipos de mezclas nombradas anteriormente.

**Tabla 22: Exigencias para el diseño de la mezcla tipo F**

	<b>PG-3</b>	<b>Manual de Carreteras</b>
Procedimiento (Método 8.302.40 LNV 24)	Marshall	Marshall
Golpes	50	50
Tipo de Probeta	Marshall	Marshall
Huecos en la Mezcla, %	>4	6-9
Estabilidad, KN	Mín. 7,5	Mín. 7,5
Velocidad de deformación en el intervalo de 105-120min, $\mu$ m/min.	Máx. 12 <sup>6</sup> Máx. 15 <sup>7</sup>	Máx. 12 <sup>6</sup> Máx. 15 <sup>7</sup>
Perdida de resistencia, % (ensayo de inmersión compresión)	$\leq 25$	$\leq 25$

**Tabla 23: Exigencias para el diseño de la mezcla tipo M**

	<b>PG-3</b>	<b>Manual de Carreteras</b>
Procedimiento (Método 8.302.54)	Cántabro	Cántabro
Golpes	50	50
Tipo de Probeta	Marshall	Marshall
Huecos en la Mezcla, %	$\geq 12$	10-15
Velocidad de deformación en el intervalo de 105-120min, $\mu$ m/min.	Máx. 15 <sup>6</sup>	Máx. 12 <sup>6</sup> Máx. 15 <sup>7</sup>
Perdida de resistencia, % (ensayo de inmersión compresión)	$\leq 25$	$\leq 25$
Perdida por abrasión en seco (25°C), %)	$\leq 15$	<15

Como se puede observar en las tablas anteriores, las diferencias entre ambas normativas son mínimas, pero debido a la mayor experiencia en el uso de este tipo de mezclas asfálticas en España, se sugiere adoptar las especificaciones establecidas por el PG-3 para el diseño de las mezclas con una modificación, la cual corresponde en establecer un porcentaje de huecos en la mezcla tipo F mayor a un 6%, valor mínimo exigido por el Manual de Carreteras.

<sup>6</sup> Esta exigencia se aplica en zonas cálidas

<sup>7</sup> Esta exigencia se aplica en zonas templadas a frías

### **2.2.1.3 Procedimiento de Trabajo**

A continuación se presentan las exigencias para el procedimiento de trabajo indicadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales.

#### **2.2.1.3.1 Requisitos generales de transporte y colocación**

Al igual que el Manual de Carreteras, el PG-3 considera las siguientes exigencias para el transporte de los microaglomerados, debido al mayor riesgo de que el ligante escurra y a la menor inercia térmica de estas mezclas:

- El tiempo de transporte debe ser menor a 2 horas.
- Los camiones deben estar cubiertos con lonas u otro material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con respecto al medio ambiente.

Para el caso de la colocación, está deberá hacerse por franjas longitudinales, cuyo ancho se determinará de tal manera que se resulte la menor cantidad de juntas posibles, y se consiga la mayor continuidad de su extensión.

Otra diferencia que se presenta entre el PG-3 y el Manual de Carreteras, es que este último establece que la temperatura ambiente mínima de pavimentación de cualquier mezcla asfáltica en caliente será de 5°C, y cuando la temperatura descienda de los 10°C, deberá tomarse medidas especiales para controlar la temperatura de compactación. En cambio, el PG-3 establece como temperatura mínima de ejecución de los microaglomerados 8°C a la sombra. Esta temperatura mínima puede ser mayor en condiciones de viento intenso y/o después de heladas.

Debido a que el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales establece una exigencia específica para los microaglomerados, y esta es más restrictiva que para el resto de las mezclas asfálticas en caliente, se recomienda adoptar esta exigencia en lo que se refiere a temperatura mínima de colocación de la mezcla.

#### **2.2.1.3.2 Compactación**

Al igual que en el Manual de Carreteras, el PG-3 considera que para la compactación de los microaglomerados se deberá utilizar solamente rodillos lisos, los cuales se deben pasar sin vibración. Estos rodillos deberán ir muy cercanos a la extendidora, y el número de pasada de éstos debe ser igual o superior a 6, las cuales se realizarán a la mayor temperatura posible.

### 2.2.1.4 Macrotextura Superficial

Los microaglomerados discontinuos en caliente poseen una mayor macrotextura superficial, es por esto que el PG-3, a diferencia del Manual de Carreteras, establece una exigencia para la macrotextura superficial de los microaglomerados, la cual se muestra en la siguiente Tabla:

**Tabla 24: Macrotextura Superficial**

Ensayo	Método	PG-3	Manual de Carreteras
Macrotextura Superficial a través del círculo de arena (mm.)	8.602.25 (NLT-335)	Mín.1,5 (Tipo M) Mín.1,1 (Tipo F)	Mínimo 0,6

Como se observa en la Tabla anterior la normativa del PG-3 sobre la macrotextura superficial es más exigente que la establecida por el Manual de Carreteras, es por esta razón sumado a los resultados obtenidos en los tramos en que fue posible obtener los resultados para este parámetro y a la mayor experiencia que se tiene en España para este tipo de pavimentos, como el hecho de tener una especificación específica para los microaglomerados, que se recomienda adoptar lo establecido para la macrotextura superficial en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales.

### 2.2.1.5 Coeficiente de Fricción

El PG-3 establece que la medición de este parámetro se debe efectuar una vez transcurridos 2 meses desde la puesta en servicio de la calzada, a diferencia del Manual de Carreteras, el cual establece que debe realizarse dentro de un plazo de 4 meses después de dado el tránsito.

A diferencia del Manual de Carreteras, el PG-3 considera solo como método de medición del coeficiente de fricción al equipo SCRIM, del cual se obtienen valores en unidades SFC o CRT (Coeficiente de Rozamiento Transversal). En la siguiente Tabla se muestran los valores especificado para el coeficiente de fricción, obtenidas con el equipo SCRIM.

**Tabla 25: Coeficiente de Fricción con el equipo SCRIM**

Ensayo	PG-3	Manual de Carreteras
Coeficiente de Fricción, SFC (Método NLT-336)	Mín. 0,60 (Tipo M) Mín. 0,65 (Tipo F)	Mín. 0,55 Sectores con Singularidades Mín. 0,40 Sectores sin Singularidades

Como se puede observar, el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales considera un mayor valor para el coeficiente de fricción que el Manual de Carreteras, estableciendo a la vez exigencias distintas para cada tipo de mezcla (Tipo M y Tipo F). Al igual que en el caso de la macrotextura superficial, el hecho de tener una exigencia específica para los microaglomerados y al mayor experiencia en el uso de esta mezcla asfáltica por parte de España, sugieren adoptar la exigencia del PG-3 para el coeficiente de fricción.

### 2.2.1.6 Control de Regularidad Superficial (IRI)

El Pliego de Prescripciones Técnica Generales, establece las exigencias para el IRI diferenciando si el pavimento es de nueva construcción o para aquellos que han sido rehabilitados estructuralmente, así como una diferenciación entre los diversos tipos de vías. Además, se debe destacar el hecho de que el PG-3 establece las exigencias según el porcentaje del tramo medido. A continuación se muestran las diferentes exigencias establecidas para el IRI.

**Tabla 26: IRI para pavimentos de nueva construcción según el PG-3**

Porcentaje de Km.	Tipos de vía	
	Autopistas y autovías	Resto de Vías
50	<1,5 m/Km.	<1,5 m/Km.
80	<1,8 m/Km.	<2,0 m/Km.
100	<2,0 m/Km.	<2,5 m/Km.

**Tabla 27: IRI para pavimentos rehabilitados con recapado según el PG-3**

Porcentaje de Km.	Tipos de vía			
	Autopistas y autovías		Resto de Vías	
	Espesor del recapado (cm)			
	>10	≤ 10	>10	≤ 10
50	<1,5 m/Km.	<1,5 m/Km.	<1,5 m/Km.	<2,0 m/Km.
80	<1,8 m/Km.	<2,0 m/Km.	<2,0 m/Km.	<2,5 m/Km.
100	<2,0 m/Km.	<2,5 m/Km.	<2,5 m/Km.	<3,0 m/Km.

**Tabla 28: IRI según el Manual de Carreteras.**

Medición	IRI
Promedio de 5 tramos consecutivos	Máx. 2,0 m/Km.
Valor Individual	Máx. 2,8 m/Km.

Como se puede observar en las Tablas anteriores, las diferencias en las exigencias para el IRI son variadas, esto se debe principalmente a que cada país tiene una forma particular de exigencia para el IRI, por ejemplo en Chile no se exige IRI para pavimentos rehabilitados estructuralmente, sólo para los pavimentos nuevos, en cambio en España se establece una exigencia para ambos casos. Es por esta razón que se recomienda mantener la normativa actual para el IRI, destacando que en términos globales para pavimentos nuevos tanto el PG-3 como el Manual de Carreteras establecen una exigencia similar para el IRI, con un valor máximo de 2,0 m/Km.

## 2.2.2. Norma 6.1-IC: "Secciones de firme<sup>8</sup>"

Esta norma establece diversos aspectos a considerar para proyectar, y posteriormente construir un pavimento con los distintos tipos de mezclas asfálticas, es por esto que aquí se estudiará lo que se indica para los microaglomerados discontinuos en caliente.

### 2.2.2.1 *Espesor de la capa de rodadura*

El espesor mínimo de la capa de rodadura se determinará según lo indicado en la Tabla siguiente:

**Tabla 29: IRI según el Manual de Carreteras**

Tipo de Mezcla	Categoría de Trafico	
	T0 a T1	T2 a T4
M	3 cm. de espesor	2-3 cm. de espesor
F	-	2-3 cm. de espesor

A pesar de lo indicado en la Tabla anterior, donde se establece un espesor mínimo de 3 cm. para las capas de rodadura en caminos de alto tránsito, el uso de los microaglomerados en distintas zonas del país, muchas de ellas con categorías de tráfico alto, sugieren la utilización de capas de rodadura de espesor mínimo de 2 cm.

### 2.2.2.2 *Categoría de tránsito*

Como se puede observar en la Tabla 34 para categorías de alto tráfico, es decir categorías T0 y T1, esta norma considera el uso de mezclas del tipo M solamente, y no las mezclas del tipo F.

---

<sup>8</sup> Este término es utilizado en España para referirse a los pavimentos.

## **CAPÍTULO 3: ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LOS MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE Y LA MEZCLA TRADICIONAL.**

En el presente capítulo se presenta un pequeño análisis de las distintas características tanto de los microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente y como de una mezcla asfáltica tradicional.

### **3.1 Calidad de los áridos**

Tal como se mencionó en el capítulo anterior los microaglomerados discontinuos en caliente deben poseer un 100% de partículas chancadas para el árido grueso, para caminos de más alto tránsito, lo cual es muy alto comparados con el 70 % exigidos para la mezcla tradicional.

Este alto porcentaje es muy difícil de conseguir, ya que tal como lo indicó personal de empresas productoras de este tipo de mezcla, es posible conseguir hasta un 98% de partículas chancadas, lo cual genera el consecuente problema de no cumplir la norma.

Otra característica que muestra la mejor calidad de los áridos utilizados para la fabricación de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, es un menor Desgaste de Los Ángeles para estos áridos, en comparación a los utilizados en las mezclas asfálticas tradicionales.

### **3.2 Producción de la mezcla y procedimiento de trabajo**

Las mezclas asfálticas tradicionales poseen una temperatura de salida de la planta mezcladora de entre 150°C y 160 ° C, de modo de cumplir con la temperatura límite con que debe ser compactada esta mezcla, en cambio los microaglomerados deben tener una temperatura de salida mayor, alcanzando los 175 °C. Esto se debe tanto al uso de cemento asfáltico modificado con polímero, como el hecho de que los microaglomerados posean una menor inercia térmica que las mezclas tradicionales, es decir, una menor capacidad de retener el calor, por lo que esta mezcla debe ser calentada a mayor temperatura para así cumplir con las especificaciones de temperatura de compactación.

La extensión de los microaglomerados es más rápida si se compara con una mezcla tradicional, y debido a la menor inercia térmica es posible habilitar el tránsito en menor tiempo, ya que la mezcla se enfría de forma rápida, lo que provoca menores distorsiones en las condiciones de operación del camino.

La compactación de los microaglomerados se realiza solamente con rodillos lisos, los cuales se utilizan sin vibración para evitar la variación en la granulometría de los áridos, en cambio las mezclas tradicionales deben ser compactadas mediante rodillos lisos vibratorios o no y con rodillos neumáticos, los cuales no se utilizan en los microaglomerados debido a que este tipo de mezcla asfáltica se adhiere con facilidad a las gomas y esto puede provocar desprendimiento de los áridos de la mezcla.

### **3.3 Espesor de la capa de la mezcla asfáltica**

Los microaglomerados discontinuos en caliente son utilizados en capas de espesores menores a los 3,5 cm. lo cual comparado a los 5 cm. como mínimo que se utilizan en las mezclas tradicionales, le da una característica de capa delgada.

Al ser más delgados, es posible utilizar estos microaglomerados en soluciones de recapado en zonas donde las condiciones de servicio requieran que no se suba en demasía la cota superficial del pavimento, como por ejemplo en las áreas cercanas e interiores de los túneles, vías urbanas, etc.

### **3.4 Características funcionales de los pavimentos**

Tal como se indicó en los capítulos anteriores, los microaglomerados en caliente proveen mejoras funcionales como mayor coeficiente de roce y una superficie con mayor macrotextura superficial que las mezclas asfálticas tradicionales. Estas características elevan las condiciones de seguridad al usuario, al igual que la capacidad de drenar superficialmente el agua caída y así no generar una película de agua en la superficie del pavimento, aminorando tanto el deslizamiento en condiciones de lluvia, como el efecto de neblina producido por los vehículos que circulan en la vía.

Otro aspecto que se ve mejorado con los microaglomerados es la regularidad de la textura, ya que éstos pueden mejorar el IRI de mezclas asfálticas tradicionales, lo que se traduce en una mayor sensación de confort y un menor costo de operación para el usuario que transita por el camino construido con microaglomerados. Otra característica que genera una mayor sensación de confort es la menor generación de ruido, bajando incluso entre 2 y 4 decibeles en el nivel de ruido, lo cual genera un impacto ambiental positivo.

Finalmente el uso de asfaltos modificados en lo microaglomerados genera una mayor resistencia al envejecimiento, así como una mayor durabilidad y resistencia a las fisuraciones y deformaciones, en comparación a las mezclas tradicionales.

### 3.5 Costos

La utilización de asfaltos modificados con polímeros, los cuales son aproximadamente un 25% más costosos que los asfaltos tradicionales, en conjunto con el mayor precio de los áridos, producto de su mayor calidad y de su granulometría discontinua, encarece el costo de producción de los microaglomerados. El metro cúbico puesto en obra de microaglomerados discontinuos en caliente puede llegar a costar en el mercado un 30 % más que la misma cantidad de un pavimento de mezcla asfáltica tradicional. En las Tablas 30 y 31 se muestra el análisis de precios unitarios desarrollado tanto para los microaglomerados como para la mezcla asfáltica tradicional.

**Tabla 30: Análisis de Precios Unitarios para un m<sup>3</sup> de mezcla asfáltica tradicional.**

	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	\$/m <sup>3</sup>
<b>Materiales</b>				
Árido	m <sup>3</sup>	1,3	5500	7150
Cemento Asfáltico	kg	105	520	54600
			<b>Subtotal</b>	61750
<b>Mano de Obra</b>				
Jornal	HD	0,1	8500	850
Capataz	HD	0,04	22000	880
Maestro de 2da	HD	0,04	10000	400
Operador	HD	0,04	22000	880
Jefe de Planta	HD	0,04	24000	960
			<b>Subtotal</b>	3970
<b>Maquinaria y transporte</b>				
Grupo electrógeno	H/m <sup>3</sup>	0,04	6000	240
Cargador	H/m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
Rodillo liso	H/m <sup>3</sup>	0,04	14000	560
Rodillo neumático	H/m <sup>3</sup>	0,04	16000	640
Terminadora asfáltica	H/m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
Transporte de áridos en planta	m <sup>3</sup>	1,1	80	88
Transporte de mezcla	m <sup>3</sup> /km	20	140	2800
Planta de asfalto	H/ m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
			<b>Subtotal</b>	7328
<b>Otros</b>				
Petróleo diesel	litro	5	400	2000
Fuel Oil	litro	30	400	12000
				14000
			<b>Total</b>	87048

**Tabla 31: Análisis de Precios Unitarios para un m<sup>3</sup> de microaglomerados discontinuos en caliente.**

	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	\$/m <sup>3</sup>
<b>Materiales</b>				
Árido	m <sup>3</sup>	1,3	5500	11050
Cemento Asfáltico modificado	kg	105	700	73500
Polvo mineral	kg	26	100	2600
			<b>Subtotal</b>	87150
<b>Mano de Obra</b>				
Jornal	HD	0,1	8500	850
Capataz	HD	0,04	22000	880
Maestro de 2da	HD	0,04	10000	400
Operador	HD	0,04	22000	880
Jefe de Planta	HD	0,04	24000	960
			<b>Subtotal</b>	3970
<b>Maquinaria y transporte</b>				
Grupo electrógeno	H/m <sup>3</sup>	0,04	6000	240
Cargador	H/m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
Rodillo liso	H/m <sup>3</sup>	0,04	14000	560
Terminadora asfáltica	H/m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
Transporte de áridos en planta	m <sup>3</sup>	1,1	80	88
Transporte de mezcla	m <sup>3</sup> /km	20	140	2800
Planta de asfalto	H/m <sup>3</sup>	0,04	25000	1000
			<b>Subtotal</b>	6688
<b>Otros</b>				
Petróleo diesel	litro	5	400	2000
Fuel Oil	litro	30	400	12000
			<b>Subtotal</b>	14000
			<b>Total</b>	111808

Tal como se dijo anteriormente la diferencia de precio entre los microaglomerados discontinuos en caliente y una mezcla asfáltica tradicional bordea el 30%, pero esta diferencia puede verse aumentada si es que a los microaglomerados en caliente se les agregan fibras, de manera tal que el ligante en esta mezcla asfáltica no escurra.

## **CAPÍTULO 4: COMPORTAMIENTO DE LOS MICROAGLOMERADOS EN LAS VÍAS EN QUE SE HAN APLICADO EN CHILE**

En el presente capítulo se estudiará el comportamiento a diversas vías en las cuales se ha aplicado los microaglomerados discontinuos en caliente, para lo cual se consideran los siguientes tramos a estudiar:

- Ruta E-85, sector San Felipe - Los Andes, V región. Vía rural-semiurbana.
- Calle Gertrudis Echenique, Comuna de Las Condes, región Metropolitana. Vía urbana.
- Autopista del Itata, VIII región. Vía rural.
- Ruta 160, Sector Lota, VIII región. Vía rural.

Cabe destacar que de los tramos nombrados anteriormente, los dos primeros son tramos construidos hace un par de años atrás, en cambio los últimos, ubicados en la VIII región, fueron construidos a principios del año 2008. La diferencia en los años de servicio de las distintas vías permite observar el comportamiento tanto en los primeros meses después de la construcción de éstos, como luego de varios años desde la puesta en servicio, a pesar de las distintas condiciones y solicitaciones que es posible encontrar en los distintos tramos.

A continuación se analizará cada una de las aplicaciones mencionadas anteriormente.

### **4.1 Ruta E-85, sector San Felipe - Los Andes**

En este camino ubicado en el sector entre San Felipe y los Andes se realizó durante el mes de Octubre del año 2002 la construcción de dos tramos de prueba, los cuales consisten en tramos de 540 m cada uno con 2 pistas en una calzada única. El primer tramo se ubica en el sector comprendido entre los kilómetros 5,680 y 6,220, el cual corresponde a una mezcla del tipo F-10. El segundo se encuentra entre los kilómetros 9,080 y 9,620, correspondiendo a una mezcla del tipo M-10.

La elección de este sector como zona de prueba radica en que está ubicado en una zona precordillerana, donde existen cambios significativos entre invierno y verano, donde las temperaturas mínimas en invierno son cercanas a los -5 °C y las máximas de verano superan los 35 °C. Además se tienen amplitudes térmicas diarias de unos 20°C y se tienen niveles de precipitaciones que superan los 230 mm. de agua caída<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

#### 4.1.1 Dosificación de las mezclas

A continuación se muestran las dosificaciones utilizadas en la confección de las mezclas de ambos tramos mencionados anteriormente.

**Tabla 32: Dosificación del tramo construido con Mezcla F-10**

Característica	Valor	Límite PG-3	Límite Manual de Carreteras
Árido Grueso (en peso)	84%	-	-
Árido Fino (en peso)	16%	-	-
% de asfalto	5,6 ± 0,3%	≥ 5,5%	≥ 5,5%
% de huecos	6,5%	>4%	6-9%
Espesor Capa	3,5 cm.	-	-

**Tabla 33: Dosificación del tramo construido con Mezcla M-10**

Característica	Valor	Límite PG-3	Límite Manual de Carreteras
Árido Grueso (en peso)	92%	-	-
Árido Fino (en peso)	8%	-	-
% de asfalto	5,0 ± 0,3%	≥ 5,0%	≥ 5,0 %
% de huecos	17,4%	≥ 12%	10-15%
Pérdida Cántabro seco	6,1%	≤ 15%	<15%
Espesor Capa	2,5 cm.	-	-

Cabe destacar que ambas dosificaciones cumplen lo establecido tanto por el PG-3, como en el Manual de Carreteras. El único punto en donde no se cumple con lo exigido por el Manual de Carreteras, es en el contenido de huecos en la mezcla M-10. Justamente en este punto es donde existen diferencias en ambas normativas, siendo las exigencias del PG-3 las que han prevalecido en el diseño de la mezcla de microaglomerados.

#### 4.1.2 Textura Superficial

Durante la recepción de estos tramos de prueba (año 2002) se realizó la medición de la textura superficial a través del círculo de arena (método 8.602.25) en cada una de las pistas del tramo, y a modo de referencia en las 2 pistas de los tramos en donde se utilizó una mezcla asfáltica tradicional. Por otra parte durante el desarrollo de este trabajo (año 2008) fue posible realizar una nueva medición de este parámetro, la cual fue llevada a cabo por personal del Laboratorio Nacional de Vialidad. El detalle de esta medición es posible observarlo en el apéndice B.

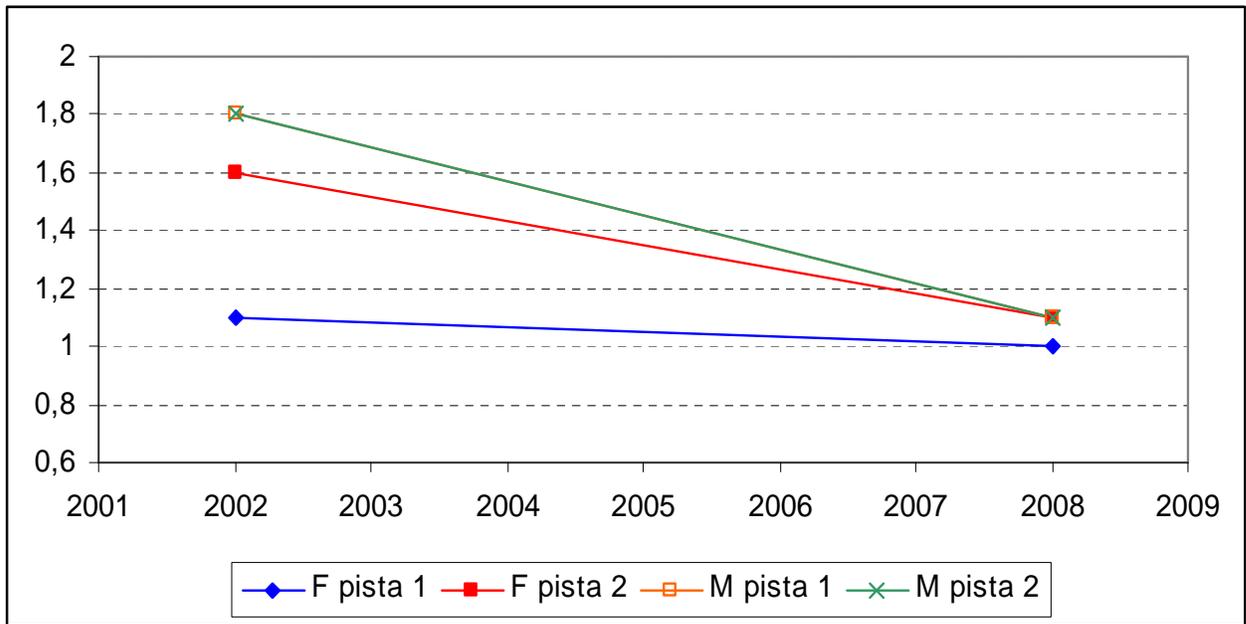
Los resultados promedios obtenidos en ambas oportunidades puede ser observado en la tabla 34.

**Tabla 34: Textura Superficial con el círculo de arena.**

Tipo de Pavimento	Pista 1	Pista 2	Valor Mínimo	
			M. de Carreteras	(PG-3)
Mezcla Tradicional, año 2002, mm.	0,5	0,7	0,6	-
Mezcla Tipo F-10, año 2002, mm.	1,1	1,6	0,6	1,1
Mezcla Tipo M-10, año 2002, mm.	1,8	1,8	0,6	1,5
Mezcla Tipo F-10, año 2008, mm.	1,0	1,1	0,6	1,1
Mezcla Tipo M-10, año 2008, mm.	1,1	1,1	0,6	1,5

En primer lugar se debe destacar sobre los resultados obtenidos en el año 2002, que existe una mayor textura superficial en ambos tramos construidos con microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente, en comparación con los tramos construidos con una mezcla asfáltica tradicional. Además es posible observar que los valores obtenidos en las distintas pistas de los 2 tramos construidos en esta zona cumplen claramente la normativa española (PG-3) y nacional (Manual de Carreteras), por lo que se puede decir entonces que ambos tramos cumplen con el comportamiento esperado para la macrotextura superficial para un pavimento nuevo.

Los valores para el círculo de arena medidos el año 2008 son un poco menores a los valores obtenidos en el momento de la recepción de la obra, debido al deterioro natural que tiene el pavimento con el paso de los años, pero aún de esta forma, los valores de este parámetro son altos, incluso mayores a lo exigido para un pavimento nuevo construido con mezcla asfáltica tradicional, cuyo valor mínimo exigido es de 0,6 mm. Además cabe destacar que el Manual de Carreteras exigía en versiones anteriores al 2003 un valor mínimo de este parámetro de 0,35 mm. para la etapa de explotación del camino, por lo que los resultados obtenidos son muy superiores a este valor, lo cual demuestra la mayor macrotextura superficial. En la Figura 5 se muestra el deterioro que ha tenido la textura superficial en estos tramos, de acuerdo a los datos recabados para el círculo de arena.



**Figura 5: Deterioro del círculo de arena, San Felipe**

#### 4.1.3 Coeficiente de Fricción

Al igual que para el círculo de arena, durante el desarrollo de este trabajo, fue posible realizar mediciones de este parámetro a través del método del péndulo de fricción (método 8.602.24), medición realizada por personal del Laboratorio Nacional de Vialidad, cuyos resultados se muestran en la siguiente Tabla y el detalle se puede observar en el apéndice C. Además se debe destacar que no se realizó medición de este parámetro durante el año 2002, año en que fue puesta en servicio esta vía.

**Tabla 35: Coeficiente de fricción con el péndulo británico, año 2008**

Tipo de Pavimento	Pista 1	Pista 2
Mezcla Tipo F-10, BPN	0,45	0,46
Mezcla Tipo M-10, BPN	0,49	0,49

Al analizar los valores obtenidos, es posible observar que estos son menores que el valor exigido por el manual de carreteras para un asfalto tradicional (0,55 para una zona sin singularidades), pero este valor es exigido luego de 4 meses de la apertura al tránsito, en cambio esta medición fue realizada 6 años después de que se construyeron estos tramos de prueba, por lo que estos valores deben ser comparados con valores para el BPN en pavimentos que ya han sido utilizados por años. Estos valores suelen encontrarse entre 0,40 y 0,60 para el BPN en pavimentos con 5 o más años<sup>10</sup>, valores entre los que se encuentra el pavimento estudiado, por lo que se puede decir que este pavimento cumple con su comportamiento esperado para esta característica.

<sup>10</sup> Revista BIT , Noviembre 2003

#### 4.1.4 IRI

En los dos tramos microaglomerados discontinuos en caliente existentes en este camino se efectuó la medición del parámetro IRI en tres distintas oportunidades:

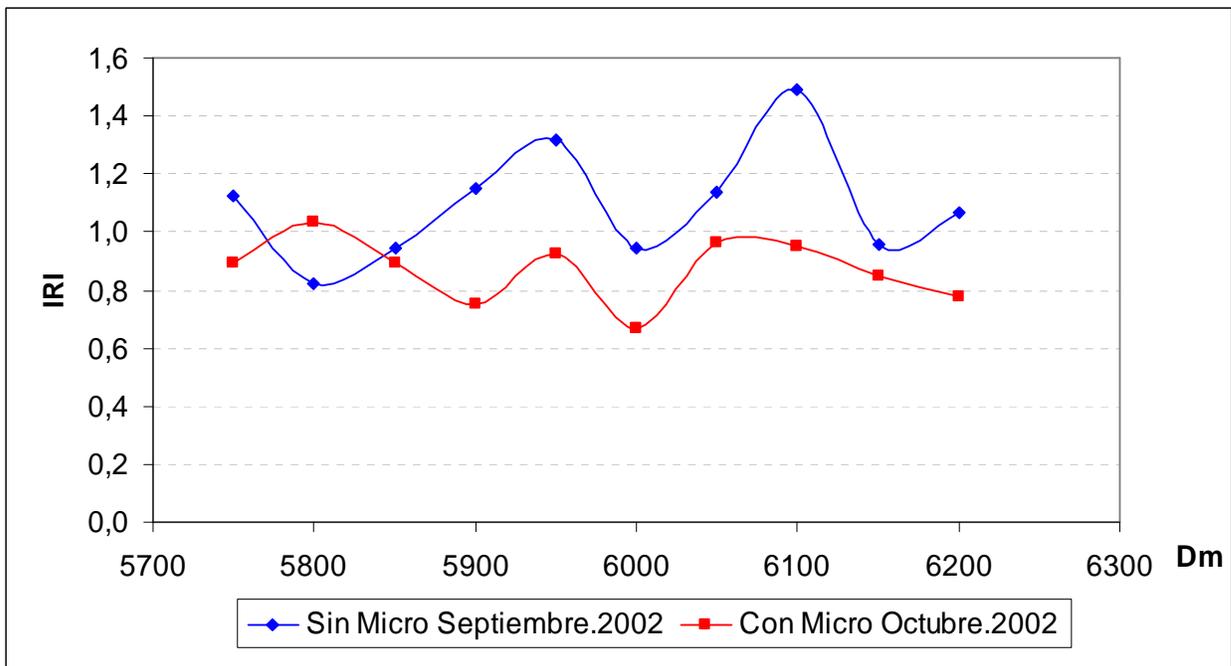
- Septiembre 2002: Antes de la construcción de los microaglomerados.
- Octubre 2002: Al momento de la puesta en servicio de los tramos.
- Agosto 2005: Luego de unos años desde la puesta en servicio de ambos tramos.

En la siguiente tabla se presenta modo de resumen los resultados promedios obtenidos por personal Laboratorio Nacional de Vialidad para el IRI en los distintos tramos y años en que fueron realizadas estas mediciones:

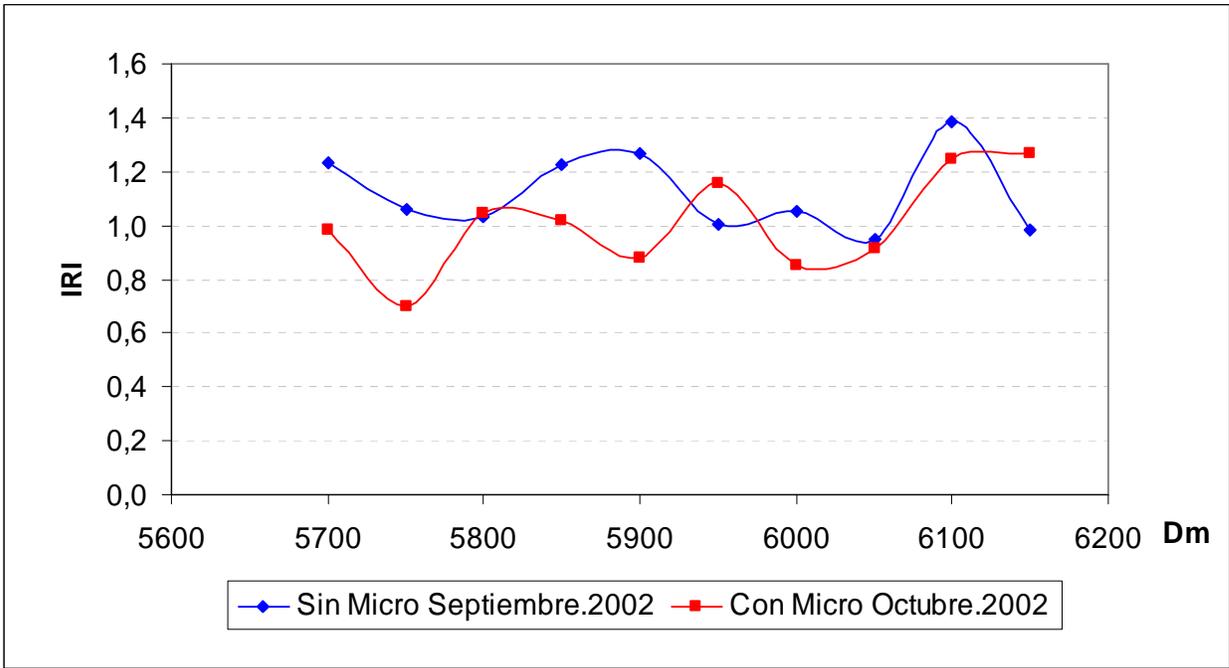
**Tabla 36: IRI San Felipe**

Tipo de Mezcla	Pista Nº	Septiembre 2002	Octubre 2002	Agosto 2005
Mezcla Tipo F-10	1	1,1	0,9	0,9
Mezcla Tipo F-10	2	1,1	1,0	0,9
Mezcla Tipo M-10	1	1,2	1,1	1,1
Mezcla Tipo M-10	2	1,2	1,0	1,0

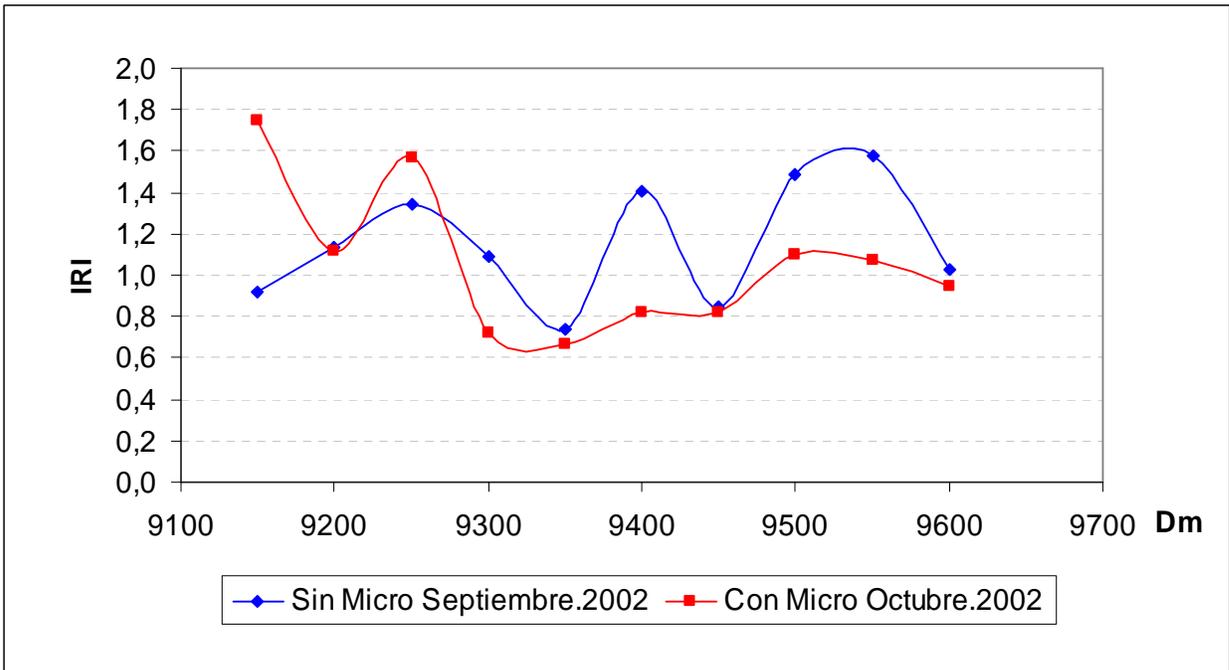
Para apreciar de mejor manera el comportamiento de este parámetro en los distintos tramos y fechas, se presentan los siguientes gráficos con el detalle por Dm.



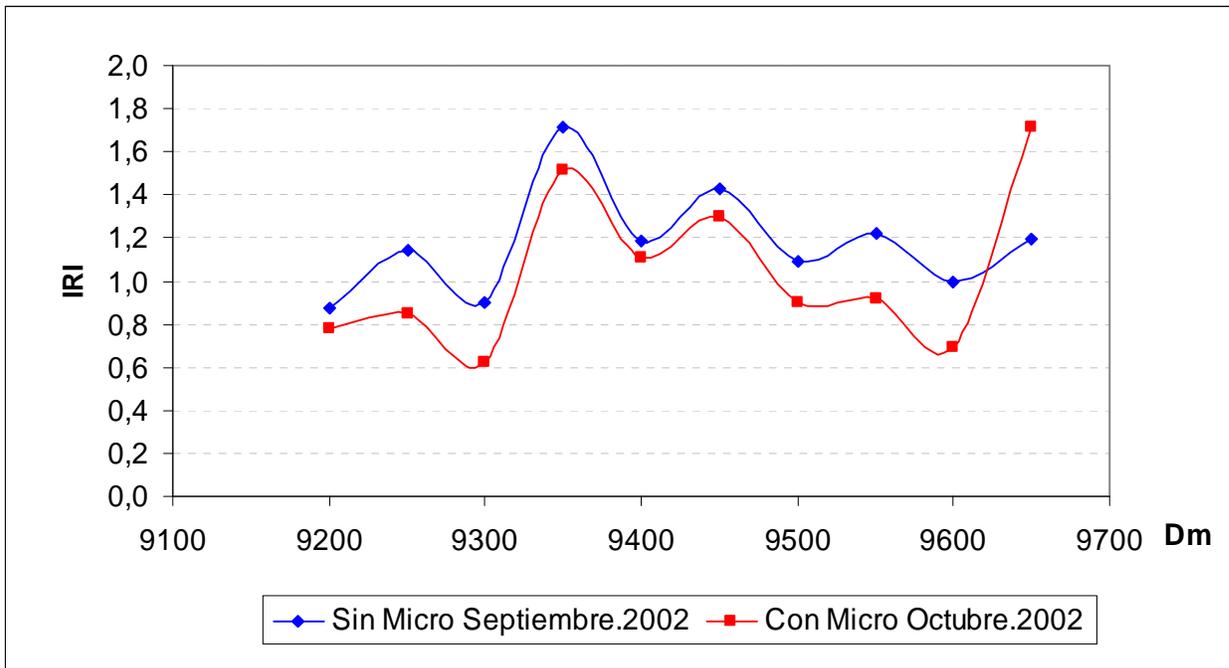
**Figura 6: IRI pista Nº 1 tramo F-10, San Felipe, V Región.**



**Figura 7: IRI pista Nº 2 tramo F-10, San Felipe, V Región.**



**Figura 8: IRI pista Nº 1 tramo M-10, San Felipe, V Región.**



**Figura 9: IRI pista Nº 2 tramo M-10, San Felipe, V Región.**

Como es posible observar en los gráficos y tablas anteriores, el uso de microaglomerados discontinuos en caliente mejora el IRI obtenido en ambas pistas de cada uno de los tramos estudiados, en relación al IRI de la mezcla asfáltica tradicional, lo cual concuerda con el resultado esperado para este parámetro en lo microaglomerados. A pesar de esto existen algunos sectores, como los inicios y finales de los tramos, en donde se tiene un menor IRI con mezcla tradicional que con microaglomerados, y esto se debe a que no se tiene un empalme adecuado entre las ambas mezclas asfálticas, generando una singularidad.

Un mayor detalle de las mediciones del IRI obtenido a lo largo de los tramos se puede observar en el apéndice D.

#### **4.1.5 Inspección Visual**

Durante el mes de Octubre del año 2008 se realizó una visita a los tramos de prueba ubicados en el sector, para visualizar el comportamiento de estos pavimentos luego de 6 años desde su construcción.

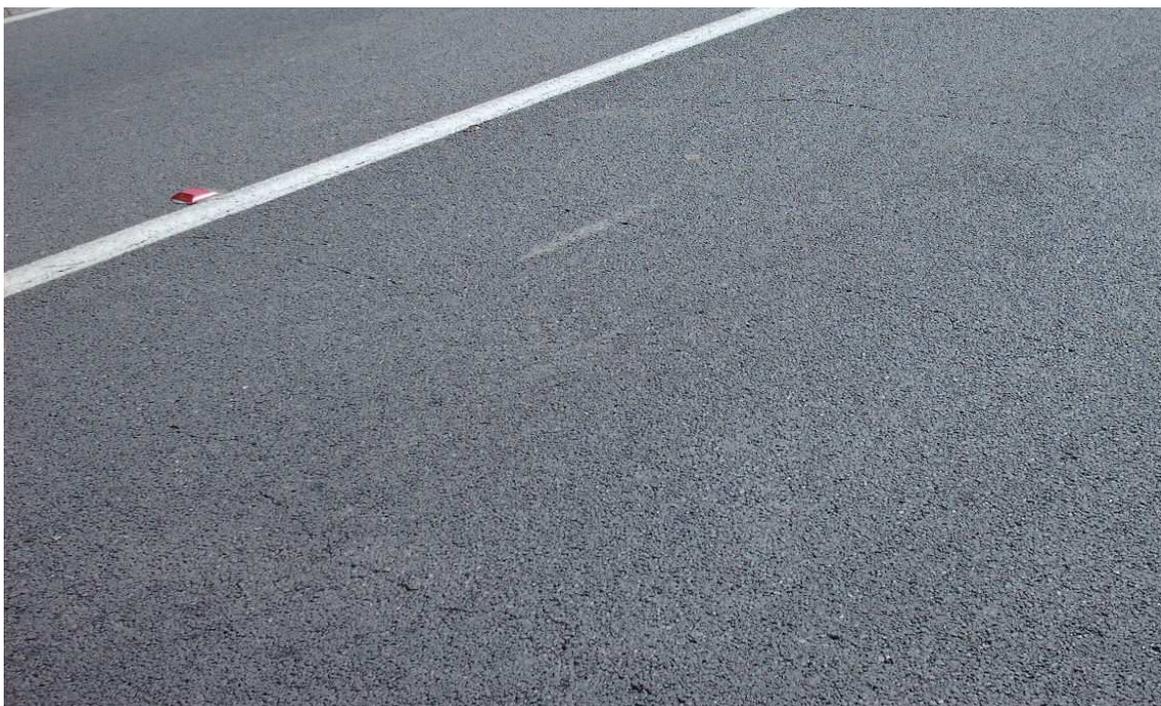
##### **4.1.5.1 Tránsito**

En general es posible indicar que el tránsito observado durante la visita a terreno puede ser calificado como tráfico mayormente liviano, con una presencia algo menor de buses y camiones. Además se presencié el paso de algunos tractores, debido a la presencia de industria agrícola en el sector.

#### **4.1.5.2 Estado actual del tramo construido con mezcla tipo F-10**

Este tramo en general no se encuentra en buenas condiciones, la pista nº 2 denota una gran cantidad de fallas estructurales, por el contrario la pista nº 1 presenta muy pocas fallas. A continuación se detallan las fallas detectadas.

El recorrido comienza en el Dm. 5680, lugar en el cual no se observan grietas ni fallas estructurales. Al llegar al Dm. 5800 en la pista nº 1 aparece sólo una grieta transversal aislada, y en el Dm. 5920 vuelven a aparecer grietas transversales, esta vez en la pista nº 2, las cuales son cada vez mas frecuentes, tal como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10: Grietas transversales en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

Al continuar el recorrido desde el Dm. 5980 se observa en la pista nº 2 la presencia de grietas transversales abundantes, las cuales se ven unidas y entrelazadas por otras grietas, formando cuadriláteros. Este tipo de falla se vuelve a apreciar al final del tramo, entre los Dm. 6120 y 6220, lo que se ve claramente en la Figura 11.



**Figura 11: Grietas entrelazadas en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

Además de las grietas, tanto transversales como longitudinales, existe un claro desprendimiento de áridos en diversas zonas del recorrido, esto es más evidente en 2 zonas en particular: en la zona cercana al Dm. 6060 y luego alrededor del Dm. 6120. Este tipo de falla se muestra en la Figura 12.



**Figura 12: Desprendimiento de áridos en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

Tal como se explicó anteriormente la mayoría de estas fallas se ubicaron en la pista nº 2, por lo que cabe destacar la gran regularidad y buen estado de la pista nº 1, lugar donde no se aprecian fallas estructurales que considerar. En la Figura 13 es posible apreciar el buen estado de la pista nº 1 (en la zona superior izquierda de la imagen) en comparación a la agrietada pista nº 2 (sector central de la imagen) y en la Figura 14 (acercamiento) es posible apreciar la homogeneidad de la textura que existe en la pista nº 1.



**Figura 13: Comparación estado de las pistas del tramo F-10, San Felipe, V Región.**



**Figura 14: Homogeneidad de la textura pista nº 1 del tramo F-10, San Felipe, V Región.**

A lo largo de todo este tramo se pudo apreciar que la gran mayoría de las grietas coincide con el corte realizado a las cunetas de hormigón que se encuentran a un costado de la calzada, tal como se puede observar en la Figura 15.

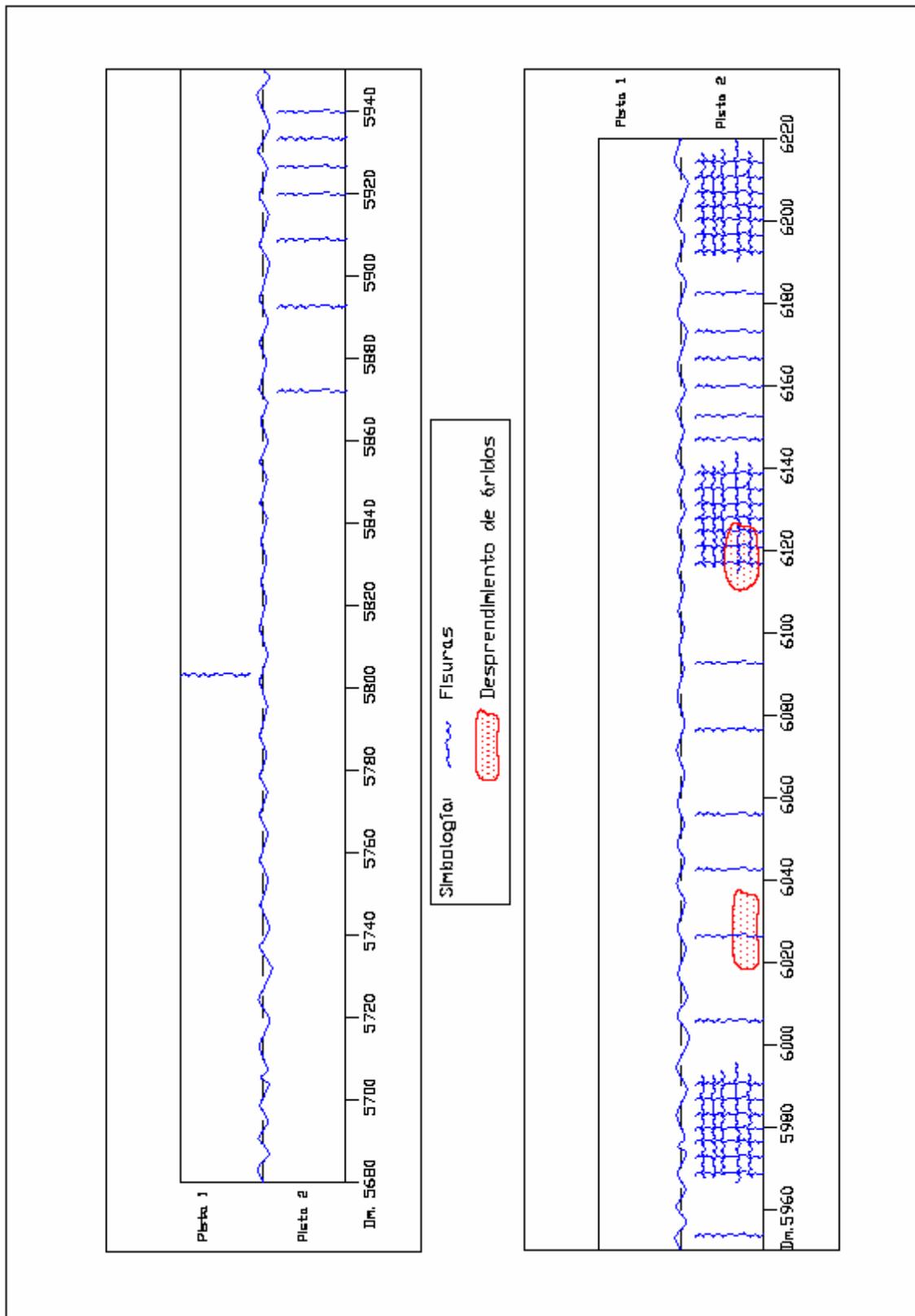


**Figura 15: Terminación en el borde de la calzada en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

La mayoría de las grietas detalladas anteriormente se presentan en la pista n°2 debido a que el tránsito es mayor en esa pista, donde la dirección del tránsito es desde Los Andes a San Felipe.

Siguiendo el procedimiento indicado en el manual de inspección visual de pavimentos (sólo con modificaciones en la unidad de medida), se escoge la pista 2 para realizar el llenado de las fichas de inspección visual, las cuales se detallan en el Apéndice A.

En la figura 16 se muestra una monografía esquemática de las fallas observadas durante la inspección visual realizada a este tramo.



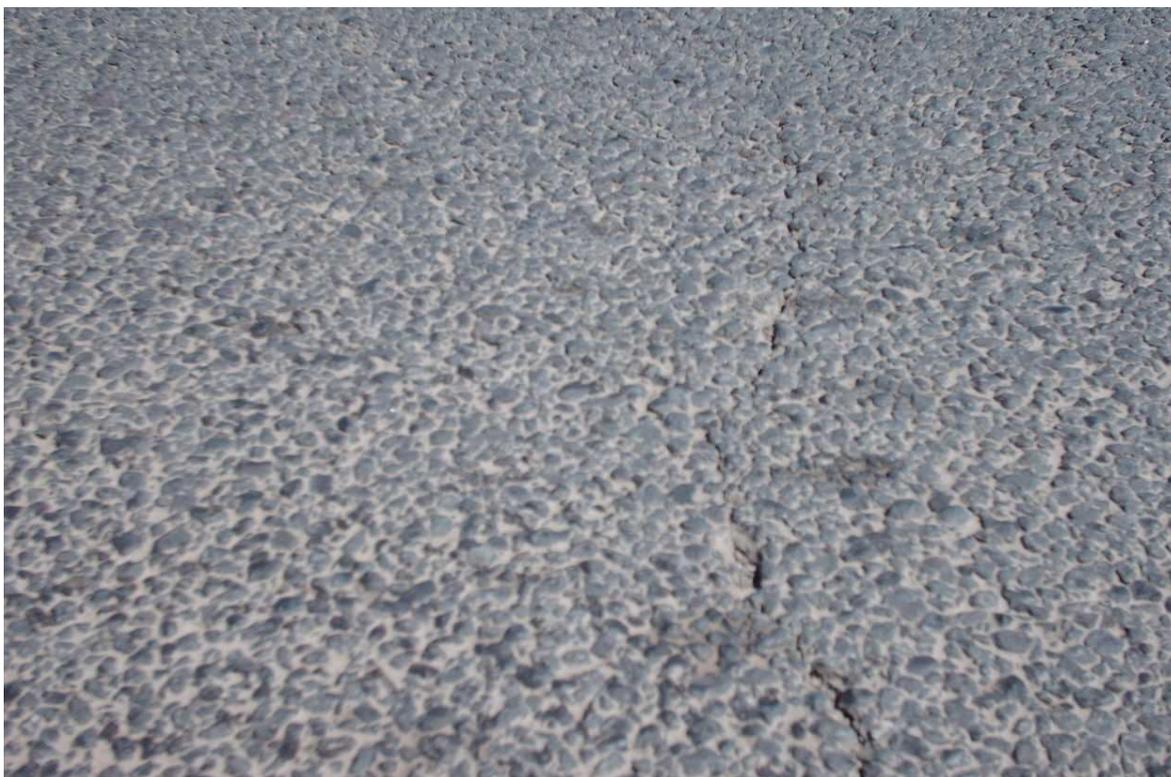
**Figura 16: Monografía esquemática de las fallas encontradas en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

#### **4.1.5.3 Estado actual del tramo construido con mezcla tipo M-10**

Este tramo, a diferencia del tramo construido con mezcla tipo F-10, en general se encuentra en mejores condiciones, destacándose lo siguiente:

- Una buena homogeneidad de la textura en ambas pistas del tramo
- La pista nº1 no presenta fallas.
- La pista nº2 presenta algunas fallas las cuales son de carácter menor.

El análisis de las fallas encontradas permite destacar que las grietas detectadas son muy pocas y aisladas las cuales se ubicaron en los Dm. 9180, 9370 y 9600, además se observaron un par de grietas incipientes, las que se ubican en los Dm. 9320 y 9420. La Figura 17 muestra las fisuras que fueron localizadas, así como la regularidad observada en el tramo en estudio.



**Figura 17: Grieta transversal en el tramo M-10, San Felipe, V Región.**

El desprendimiento de áridos en este tramo es mucho menor que en el tramo construido con la mezcla tipo F-10, y este efecto se presenta casi únicamente en el comienzo y el final del tramo estudiado. En la Figura 18 es posible observar el comportamiento descrito anteriormente.



**Figura 18: Desprendimiento de áridos en el tramo M-10, San Felipe, V Región.**

También es posible observar zonas donde el pavimento no está en buen estado, pero no puede atribuirse a un falla del pavimento, sino que por la forma se presume la quema de algún elemento para formar una barricada, como un neumático, por lo que el calor generado al ser quemado produjo daños al pavimento. Esto puede ser apreciado en la Figura 19.



**Figura 19: Daño Provocado por material quemado en el tramo M-10, San Felipe, V Región.**

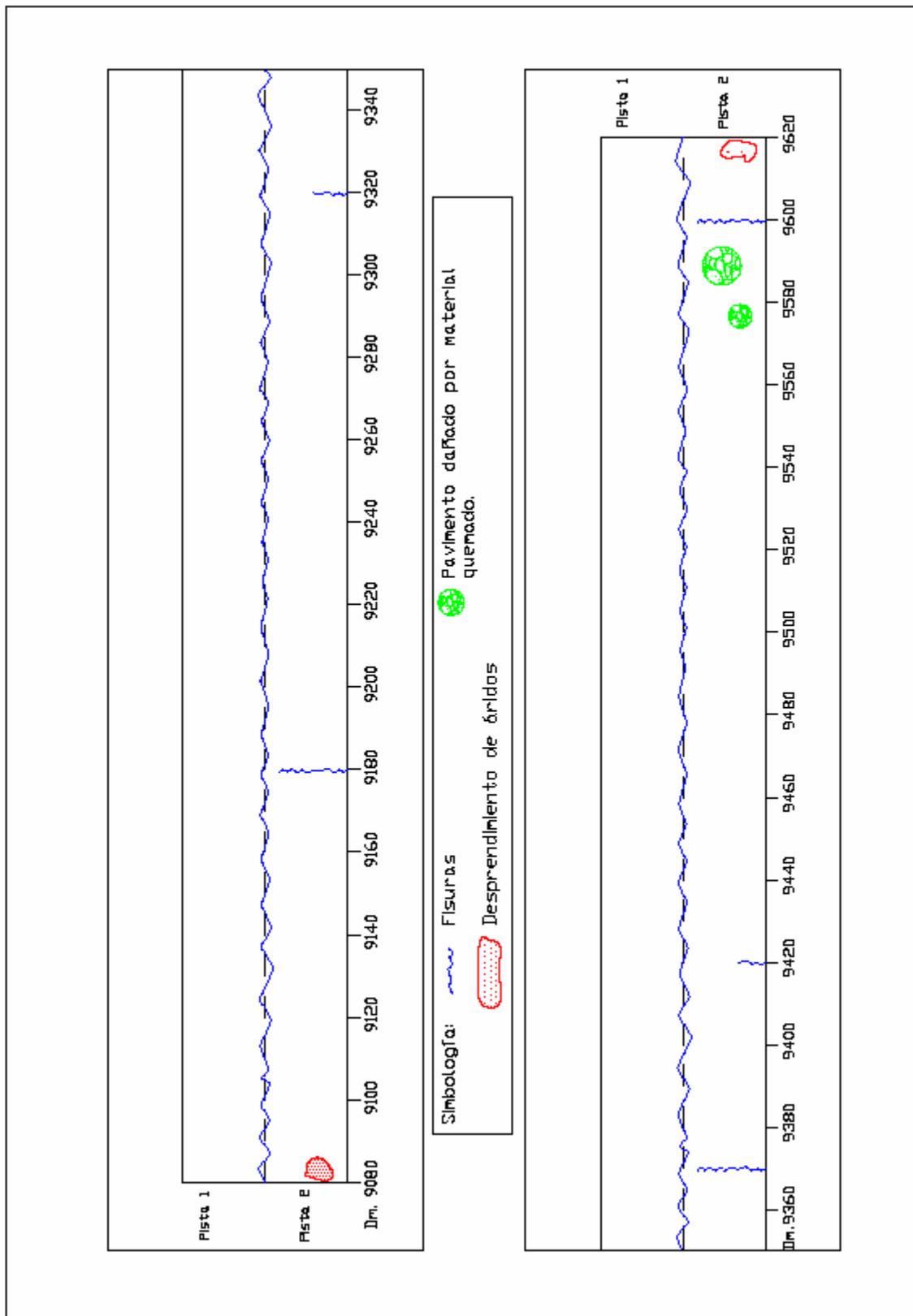
Un aspecto importante a destacar es la presencia a lo largo de todo el eje en ambos tramos (F-10 y M-10), así como en la zona con asfalto tradicional de una grieta longitudinal. Esta grieta no puede ser atribuida a los microaglomerados, debido a que se detectó en los tres tipos de mezclas (F-10, M-10 y convencional). Esta grieta que se produjo justo en el eje de la calzada puede generarse por problemas en la construcción. En la Figura 20 se puede visualizar la falla indicada anteriormente.



**Figura 20: Grieta longitudinal en el eje de la calzada, San Felipe, V Región.**

A partir de lo detallado anteriormente, y siguiendo el procedimiento indicado en el manual de inspección visual de pavimentos (sólo con modificaciones en la unidad de medida), se escoge la pista 2 para realizar el llenado de las fichas de inspección visual, las cuales se detallan en el Apéndice A.

En la figura 21 se muestra una monografía esquemática de las fallas observadas durante la inspección visual realizada a este tramo.



**Figura 21: Monografía esquemática de las fallas encontradas en el tramo F-10, San Felipe, V Región.**

## 4.2 Calle Gertrudis Echeñique, Comuna de Las Condes

Esta calle se ubica en el barrio El Golf de la comuna de Las Condes. El año 2003 se construyó en ella un tramo de microaglomerado discontinuo en caliente, entre las calles Apoquindo y Presidente Errázuriz, abarcando una extensión de 530 metros, aproximadamente, la cual se aplicó en una doble calzada con 2 pistas por calzada, aunque en algunos sectores existe una tercera pista, la cual es utilizada mayormente como área de estacionamiento.

El clima de esta zona está condicionado por el nivel de precipitaciones, las cuales bordean los 260 mm. anuales. La amplitud térmica es de casi 13 °C entre el mes más calido, correspondiente a Enero, y el más frío, que corresponde a Julio.<sup>11</sup>

### 4.2.1 Inspección visual

Durante el mes de Noviembre del año 2008 se realizó una visita técnica al tramo de microaglomerado discontinuo en caliente ubicado en esta calle, para evaluar el comportamiento de este pavimento luego de 5 años desde su construcción.

En general es posible indicar que en el sector existe un elevado nivel de tránsito, pero éste es del tipo liviano, ya que no se observó el paso de microbuses ni camiones. En la Figura 22 se visualiza un tramo de la calle con área de estacionamiento pavimentado con mezcla tradicional.



**Figura 22: Vista general de calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.**

<sup>11</sup> Fuente: Dirección Meteorológica de Chile

Este tramo en ambas calzadas se encuentra en buenas condiciones, aunque es posible observar fallas del tipo grietas y pérdida de áridos en casi todas las intersecciones que se generan en esta calle, esto aparentemente debido a la zona de transición que se genera entre las mezclas asfáltica tradicional y de microaglomerado, tal como se muestra en la Figura 23.



**Figura 23: Falla en la intersección de las calles Gertrudis Echeñique y Renato Sánchez, Región Metropolitana.**

En la calzada poniente es posible encontrar pérdida de áridos aislados, así como un bache aislado, tal como se aprecia en la imagen siguiente.



**Figura 24: Bache en la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.**

La falla más recurrente en la calzada poniente es la presencia de grietas transversales, la mayoría de estas son grietas angostas, y una grieta longitudinal de gran extensión, la cual recorre prácticamente todo el tramo estudiado. Estas grietas se podrían producir en su mayoría por una mala terminación en la franja utilizada para estacionamientos, debido a que no existe un confinamiento adecuado. En la Figura 25 se muestra un ejemplo de estas grietas, y en la Figura 26 se observa una falla por flujo plástico en la zona de estacionamiento, producido por la elección de una mezcla asfáltica inadecuada para esa franja.



**Figura 25: Grietas angostas en calzada poniente de la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.**



**Figura 26: Falla en la zona de estacionamiento en la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.**

A diferencia de lo observado en la calzada poniente, la calzada oriente presenta una mejor terminación en la zona de estacionamientos, lo cual influiría en la menor presencia de grietas. En esta calzada es posible observar un aumento en la pérdida de áridos, en comparación a la calzada poniente. Esto podría ser causado principalmente por la radiación solar que en esta calzada llega de forma directa (en la calzada poniente se genera mucha sombra debido a los árboles y edificios que existen en ese sector), lo que causaría una degradación del asfalto original, por el endurecimiento y pérdida de adhesividad con árido, que termina con el desprendimiento de las partículas. Esto se puede observar en la Figura 27.



**Figura 27: Pérdida de árido en la calzada oriente de la calle Gertrudis Echeñique, Región Metropolitana.**

### 4.3 Autopista del Itata

En esta carretera que une la Ruta 5 con la ciudad de Concepción se realizó durante el mes de Abril del año 2008 la construcción de 3 tramos como una acción de mantenimiento de la calzada. La vía consiste en una carretera de doble calzada con un alto tránsito, tanto de vehículos livianos como comerciales, destacándose entre estos últimos los camiones de transporte de la industria forestal, la cual tiene una gran presencia en la zona. Estos 3 tramos fueron construidos con mezcla asfáltica del tipo M-8, con un espesor de 2 cm., y un porcentaje de asfalto de 5.4%, lo cual cumple con lo establecido tanto en el PG-3 como en el Manual de Carreteras.

Los 3 tramos construidos en esta zona se encuentran en los siguientes sectores:

- Tramo 1: desde Dm 5760 al 6180, calzada sur. Extensión: 360 m.
- Tramo 2: desde Dm 5920 al 6220, calzada norte. Extensión: 300 m.
- Tramo 3: desde Dm 7660 al 8095, calzada norte. Extensión: 435 m.

La zona en donde fueron construidos estos tramos se caracteriza por ser una zona de niveles medios de precipitación, llegando a los 1100 mm. de agua al año, además de ser una zona de temperaturas mas bien bajas, considerando una temperatura media anual de 9,1 °C<sup>12</sup>. Es necesario destacar que esta autopista cruza la Cordillera de Nahuebulta, la cual posee un suelo altamente erosionable y de mala calidad, lo que genera constantes rodados hacia la calzada.

#### 4.3.1 Inspección visual

Durante el mes de Noviembre del año 2008 se realizó una visita a los tres tramos construidos con microaglomerados en caliente ubicado en el sector, para observar el comportamiento de este pavimento luego desde 7 meses de su construcción. Además, se inspeccionaron tramos adyacentes realizados con mezcla asfáltica tradicional.

Tal como se mencionó anteriormente, el tránsito del sector puede considerarse de nivel medio a alto, con un T.M.D.A estimado como mayor a 5000 vehículos, con lo cual este camino puede clasificarse como tipo T0, según el Manual de Carreteras. El mayor volumen del tráfico pesado consiste en camiones que transportan productos tanto de la industria forestal y celulosas, como de otros productos industriales e insumos de la región (acero, cemento, etc).

En la Figura 28 se aprecia una vista panorámica de la autopista, donde en la calzada sur (izquierda) ha sido aplicado un microaglomerado discontinuo en caliente, y en la pista norte (derecha), se observa el pavimento construido con mezcla tradicional.

---

<sup>12</sup> Fuente: Dirección Meteorológica de Chile



**Figura 28: Vista general Autopista del Itata, VIII Región.**

Un aspecto a destacar es la presencia de numerosos parches y grietas previamente selladas en la zona donde transitan los vehículos pesados (pista lenta) en el sector donde existe pavimento con mezcla tradicional, por lo que la aplicación de los microaglomerados en este sector se hizo necesaria para mejorar las condiciones de servicio, mejoras que al momento de recorrer el sector fue posible comprobar.



**Figura 29: Zona con mezcla asfáltica tradicional y grietas correctamente selladas. Autopista del Itata, VIII Región.**

El buen estado de los tramos estudiados es destacable, sobretodo por la gran regularidad observada y por la óptima macrotextura superficial, lo cual se habría conseguido por la exigencia de huecos en las mezclas tipo M. La Figura 30 muestra en forma nítida la excelente textura superficial.



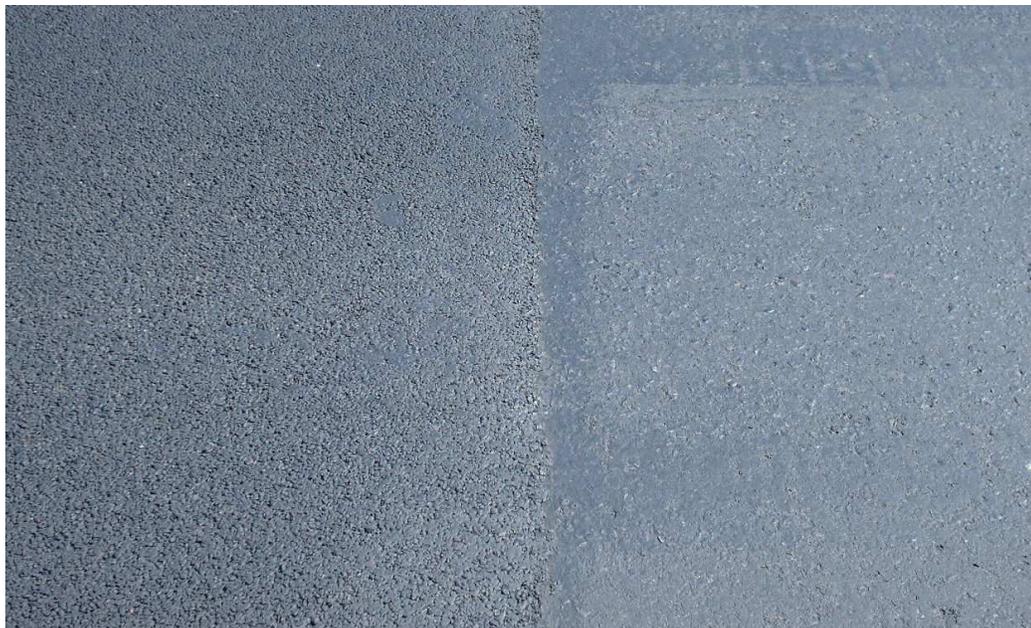
**Figura 30: Textura de los tramos construidos con mezcla M-8 en la Autopista del Itata, VIII Región.**

En relación a la textura superficial de las pistas de la derecha de cada calzada (pista por la cual transitan los vehículos pesados), se observa que se ha ido cerrando, aunque de forma muy leve, lo que genera un superficie algo más lisa. En cambio esto no es apreciable en la otra pista de la calzada, la cual es utilizada mayormente por vehículos livianos, o como pista para adelantamiento, por lo que no tiene un tráfico tan desfavorable como el de la pista contigua. Este efecto es posible observarlo en la siguiente figura.



**Figura 31: Efecto de “cierre” de la superficie en la Autopista del Itata, VIII Región.**

Por ultimo se debe destacar la buena terminación en el contacto y transición entre la mezcla tradicional y la de microaglomerados, sin existir un traslape discontinuo entre ambas mezclas. Esto se debe, según informó personal de la empresa que construyó los tramos estudiados, por la utilización de cuñas de empalme con un largo aproximado de 5 metros. Las cuñas de empalme se utilizan para que la cota del pavimento recapado coincida con el pavimento existente que no se recapa. Esta interacción se observa en la Figura 32.



**Figura 32: Contacto entre microaglomerado y mezcla tradicional, en la Autopista del Itata, VIII Región.**

#### **4.4 Ruta 160, Sector Lota**

En esta vía que une las ciudades de Concepción y Lota se realizó durante el mes de Febrero del año 2008 la construcción de un tramo de microaglomerado discontinuo en caliente a modo de conservación de la calzada. Esta ruta puede dividirse en dos tramos, el primero consiste en una carretera de doble calzada con dos pistas por sentido y el segundo en una calzada única con tres pistas, dos en un sentido y una en el otro. Este camino posee un alto tránsito tanto de vehículos livianos como pesados, destacándose al igual que en el caso de la Autopista del Itata, camiones de transporte de la industria forestal. Este tramo fue construido con mezcla asfáltica de microaglomerados discontinuos en caliente del tipo M-10, con un espesor de 2,5 cm., y un porcentaje de asfalto de 5.4%, lo cual cumple con lo establecido tanto en el PG-3 como en el Manual de carreteras.

La extensión de este tramo de microaglomerados, es de 5 Km., desde el Dm. 27900 hasta el Dm. 32930, siendo el tramo con mayor extensión de los estudiados en el presente trabajo.

Las condiciones climáticas de este sector no son muy distintas a las descritas para los tramos ubicados en la Autopista del Itata, con la diferencia que la influencia costera genera temperaturas un poco mas bajas y niveles de precipitación un poco mayores.

El tipo de suelo observado en el lugar es de mejor calidad que el que se puede encontrar en la Cordillera de Nahuelbuta, es decir, no tan erosionado y de mayor cohesión, lo cual hace posible realizar taludes de gran pendiente en el sector, tal como se puede apreciar en las figuras siguientes.

##### ***4.4.1 Inspección visual***

Durante el mes de Noviembre del año 2008 se realizó una visita técnica al tramo construido con microaglomerados en caliente ubicado en el sector, para evaluar visualmente el comportamiento de este pavimento luego de 9 meses desde su construcción.

El tramo de microaglomerados construido en este camino se caracteriza por tener un elevado nivel de tránsito.

En la Figura 33 se presenta una vista general de este tramo en la entrada a Lota, donde se puede observar la principal característica de este camino, la cual es poseer una gran cantidad de zonas de curvas.



**Figura 33: Vista general Ruta 160, sector entrada a Lota, VIII Región.**

El buen estado de los tramos estudiados es destacable, sobretodo por la gran regularidad observada y por la muy adecuada macrotextura superficial, esto debido al índice de huecos exigido para las mezclas del tipo M. Al igual que en los tramos estudiados en la Autopista del Itata, es posible observar un efecto de “cierre” en las denominadas pistas lentas. La gran macrotextura superficial de este camino es posible observarla en la siguiente figura.



**Figura 34: Regularidad de los tramos construidos con mezcla M-10 en la Ruta 160 (Dm. 33700), Sector Lota, VIII Región.**

Cabe destacar también las buenas condiciones en que se encontraban los distintos empalmes, tanto en los comienzos y finales de los tramos, así como en las zonas de curvas. Además es necesario destacar que el sector posee muchas zonas de entradas y salidas de vehículos, lo que genera un constante tráfico lento y con maniobras de aceleración, desaceleración y virajes en esos empalmes, por lo que esas son las áreas más propensas a tener fallas. El estado de estos empalmes y de las zonas de entrada de vehículos, es posible observarlos en las figuras 35 y 36, respectivamente.



**Figura 35: Empalme en la zona de curvas al termino del tramo en la Ruta 160, Sector Lota, VIII Región.**



**Figura 36: Zona de salida de vehículos en la Ruta 160, Sector Lota, VIII Región.**

#### ***4.4.2 Características de la construcción***

La visita técnica de Noviembre del año 2008 fue realizada en conjunto con personal de la empresa que construyó este tramo, por lo que durante el recorrido fue posible obtener cierta información sobre la construcción de este tramo.

En primer lugar se debe destacar la forma en que fue construido este camino. La pavimentación se realizó por fajas (una franja longitudinal en construcción y las restantes en servicio), ya que debido al alto tránsito no era posible realizar un corte total del flujo vehicular. Se utilizaron dos rodillos metálicos sin vibración, para realizar una compactación más rápida y así evitar el enfriamiento de la mezcla.

Otro aspecto a destacar fue que hubo zonas en que debido al alto tráfico vehicular se debió abrir el camino al tránsito de manera muy rápida, lo cual en un comienzo supone problemas para el pavimento recién compactado, pero según lo indicado por personal de la constructora, y por lo observado en el pavimento, esto no fue así, ya que el asfalto modificado con su menor inercia térmica y la mezcla con su alto contenido de huecos generan un enfriamiento rápido que permite la pronta apertura al tránsito.

## **CAPÍTULO 5: EXTENSIÓN DEL USO DE LOS MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE A OTRAS ZONAS DE CHILE**

En el presente capítulo se realizará un estudio de las diversas variables, tales como materiales y procedimientos de trabajo, que influyen en la aplicación de este tipo de carpeta asfáltica, a modo de establecer la posibilidad de extender el uso de esta tecnología al resto de las zonas del país.

### **5.1 Materiales**

A continuación se realiza un análisis de los distintos materiales utilizados para la construcción de una carpeta de microaglomerados discontinuos en caliente.

#### **5.1.1 Áridos**

Tal como se puede observar en el Capítulo 2: Normativa actual del presente trabajo de título, los áridos exigidos tanto para las mezclas asfálticas tradicionales como para los microaglomerados discontinuos en caliente, se diferencian principalmente en la calidad de éstos y en la granulometría de áridos utilizada. Los microaglomerados utilizan exigen la utilización de áridos con un porcentaje de partículas chancadas elevado y un menor Desgaste de Los Ángeles, lo que se traduce en áridos de mejor calidad que los utilizados para la fabricación de las mezclas asfálticas tradicionales.

La utilización de áridos de granulometría discontinua genera un aumento del costo de la producción de esta mezcla asfáltica, en comparación al uso de áridos con granulometrías continuas utilizados en las mezclas asfálticas tradicionales, debido al hecho de generar la discontinuidad en estos áridos. Para poder cumplir con la exigencia de las granulometrías de la mejor forma, se compra el árido y luego se realiza por parte de la empresa fabricante de la mezcla un nuevo proceso de tamizado, todo esto para tener una discontinuidad lo más perfecta posible.

A pesar de estas razones, los áridos no generan una limitante para extender el uso de esta tecnología al resto del país debido a que de igual manera es posible producir estos áridos en las distintas regiones del país tal como ocurre con los áridos de granulometría continua y con exigencias menores que los utilizados para los microaglomerados.

### 5.1.2 Asfalto

El tipo de asfalto utilizado para los microaglomerados discontinuos en caliente, es un asfalto modificado con polímero, con una penetración CA60/80. Este tipo de asfalto, posee un mayor costo (aproximadamente un 25 % más) que los asfaltos utilizados en la fabricación de mezclas tradicionales, en ambos casos estos son producidos por empresas especializadas en el rubro, las que venden el ligante a las empresas constructoras que fabrican la mezcla asfáltica en diversos lugares del país. El transporte a las distintas zonas del país se efectúa en contenedores o estanques térmicos especiales.

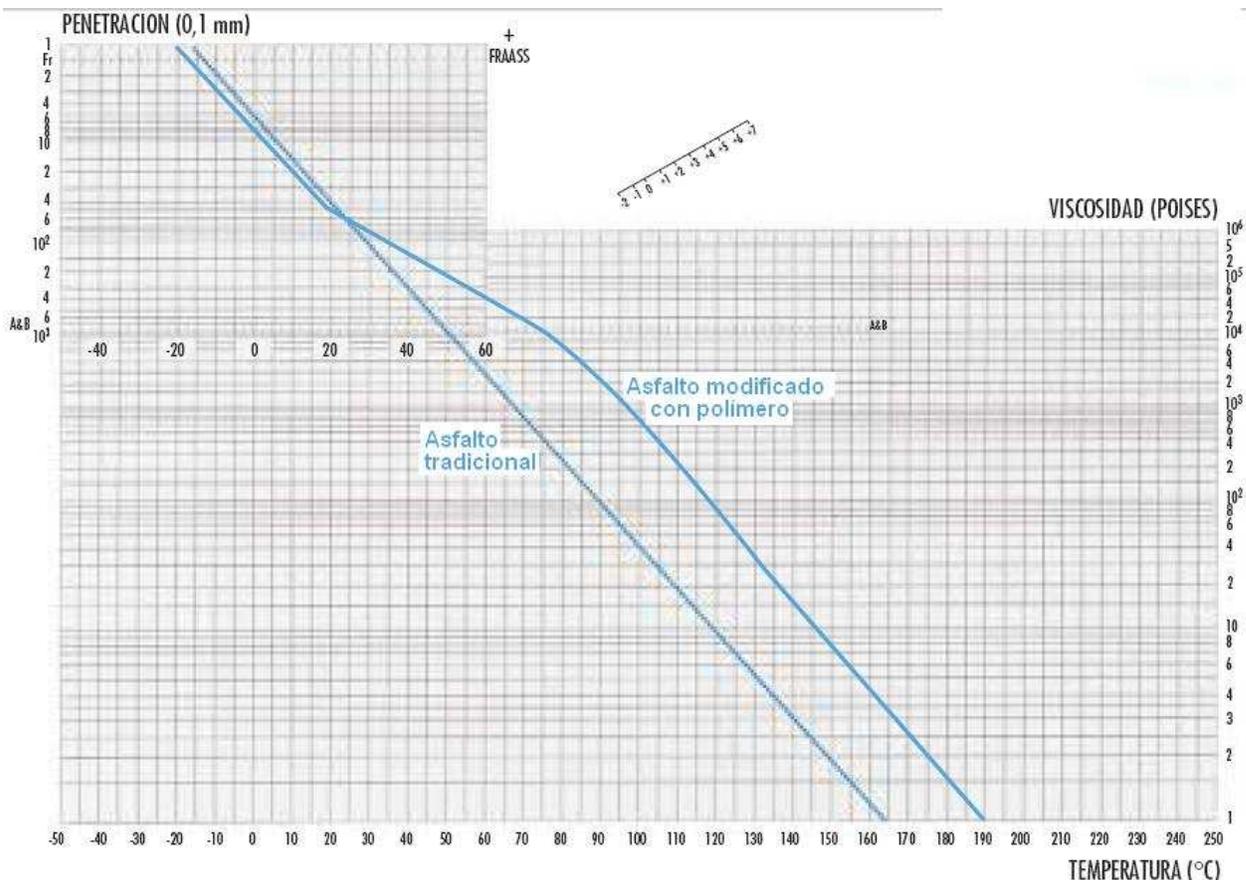
Los asfaltos se ven afectados por las temperaturas de servicio muy altas, las cuales pueden generar reblandecimientos facilitando las deformaciones de las mezclas, sobre todo en pavimentos sometidos a circulación de vehículos lentos y/o pesados. En cambio para las temperaturas de servicio muy bajas el asfalto se vuelve rígido, favoreciendo la aparición de fisuras debido a una mayor fragilidad producto de esta mayor rigidez de la mezcla. Es por esta razón que se utilizan asfaltos modificados con polímeros, los cuales mejoran el comportamiento a diferentes temperaturas, por lo que es posible su utilización en zonas muy frías o muy calidas, zonas presentes en Chile. En la Figura 37 es posible observar la susceptibilidad térmica de la viscosidad del asfalto modificado con polímero y del asfalto tradicional.



**Figura 37: Comportamiento de asfalto modificado con polímero (AMP) y asfalto tradicional.<sup>13</sup>**

En la Figura 38 muestra el diagrama de Heukelom del asfalto tradicional, en conjunto con el del asfalto modificado con polímero, en el cual se muestran 3 parámetros de forma simultánea, la viscosidad, la penetración y el índice de plasticidad, parámetros que mejoran con la utilización de asfaltos modificados.

<sup>13</sup> Carswell, J.;Cruz, F.



**Figura 38: Diagrama de Heukelom de asfalto modificado con polímero (AMP) y asfalto tradicional.**

Un mayor análisis sobre el efecto de la temperatura se realiza más adelante al analizar en su conjunto las variables climáticas.

### 5.1.3 Aditivos

Los distintos tipos de fibras que se pueden incorporar a los microaglomerados (fibras minerales, orgánicas y sintéticas) se utilizan para fijar un mayor contenido de ligante, a modo de evitar que la mezcla escurra. Para estas fibras no existen limitantes de su uso, por lo que no existe impedimento para la utilización de estas fibras en las diferentes zonas del país.

## 5.2 Procedimiento de trabajo

Dadas las características de los microaglomerados discontinuos en caliente, la única diferencia entre la producción de esta mezcla y la fabricación de las mezclas asfálticas tradicionales, es la mayor temperatura de mezclado de los microaglomerados, por lo que no es necesaria la utilización de una planta asfáltica especial para este tipo de carpeta asfáltica.

El transporte de la mezcla de microaglomerados se debe realizar con especial cuidado, ya que existe el riesgo de escurrimiento de la mezcla asfáltica, por lo que debe realizarse en menor tiempo y cubriendo la mezcla con lonas especiales.

La compactación se realiza sólo con rodillos lisos sin compactación, lo cual incluso puede abaratar los costos al no tener que utilizar un rodillo neumático. Otra diferencia es la temperatura en que se debe compactar la mezcla de microaglomerados, la cual puede ser menor en el caso de esta mezcla.

Todas lo anterior establece que no existe impedimento, por parte del procedimiento de trabajo, para extender el uso de los microaglomerados al resto del país, debido a que las diferencias son mínimas, por lo que en cualquier zona donde se posea la maquinaria necesaria para producir y construir un pavimento asfáltico, es posible construir un pavimento con microaglomerados discontinuos en caliente.

### **5.3 Variables climáticas**

Como se dijo anteriormente las variables climáticas son muy importantes para establecer las zonas en las cuales pueden ser utilizados los microaglomerados discontinuos en caliente.

Como se dijo en el apartado del asfalto, la temperatura afecta directamente en el comportamiento del asfalto, ya que un asfalto tradicional actúa con un buen desempeño para temperaturas entre los 10°C y 40 °C, en cambio un asfalto modificado con polímeros aumenta el rango de buen desempeño a temperaturas comprendidas entre los -10°C y 60°C, además la normativa española (PG-3) establece que los microaglomerados discontinuos en caliente no se construirán cuando la temperatura ambiente sea inferior a los 8 °C a la sombra o con tendencia a disminuir, y en zonas con viento intenso o después de heladas, en especial sobre tableros de puentes y estructuras, esta temperatura mínima podrá elevarse.

Por estas razones se estudiarán a continuación las temperaturas máximas y mínimas que se producen en el país a modo de establecer las zonas en las cuales la temperatura puede ser un impedimento para la extensión del uso de los microaglomerados discontinuos en caliente.

**Tabla 37: Temperaturas Zona Norte<sup>14</sup>**

<b>Arica</b>													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
T. Media (°C)	22,0	22,3	21,4	19,5	17,6	16,4	15,6	15,7	16,3	17,5	19,1	20,6	<b>18,7</b>
T. Mínima (°C)	18,9	19,1	18,4	16,5	14,9	14,2	13,7	13,9	14,4	15,3	16,3	17,5	<b>13,7</b>
T. Máxima (°C)	26,3	26,9	26,0	24,0	21,6	19,7	18,6	18,6	19,4	20,8	22,7	24,7	<b>26,9</b>
<b>Iquique</b>													
T. Media (°C)	21,0	21,1	20,1	18,3	16,9	15,9	15,2	15,3	15,9	16,9	18,4	20,0	<b>17,9</b>
T. Mínima (°C)	17,6	17,6	16,8	15,1	14,1	13,5	13,1	13,3	13,8	14,5	15,3	16,5	<b>15,1</b>
T. Máxima (°C)	24,9	25,2	24,1	22,3	20,3	19,0	18,0	18,1	18,8	20,0	21,7	23,6	<b>21,3</b>
<b>Calama</b>													
T. Media (°C)	15,1	14,9	13,9	12,1	10,3	8,7	8,6	9,4	11,2	12,7	14,1	14,8	<b>12,2</b>
T. Mínima (°C)	5,1	5,5	4,4	2,2	0,7	-0,5	-0,9	-0,9	0,4	1,7	2,8	3,6	<b>2,0</b>
T. Máxima (°C)	24,1	24,1	23,6	23,0	22,1	20,6	20,9	21,5	22,6	23,7	24,2	24,4	<b>22,9</b>
<b>Antofagasta</b>													
T. Media (°C)	20	19,9	18,7	16,8	15,2	14	13,4	13,7	14,3	15,5	16,9	18,7	<b>16,4</b>
T. Mínima (°C)	23,9	24	22,8	21,0	19,0	17,6	16,9	17,1	17,7	18,9	20,4	22,3	<b>20,1</b>
T. Máxima (°C)	16,7	16,6	15,6	13,9	12,6	11,4	10,6	11,4	12,2	13,3	14,4	15,7	<b>13,7</b>
<b>Isla de Pascua</b>													
T. Media (°C)	23,3	23,6	23,1	21,8	20,2	18,8	18,2	18,0	18,3	19,1	20,4	21,8	<b>20,6</b>
T. Mínima (°C)	19,8	20,2	19,9	18,9	17,7	16,5	15,7	15,4	15,5	16,0	17,3	18,4	<b>17,6</b>
T. Máxima (°C)	27,0	27,3	26,9	25,4	23,4	22,0	21,3	21,2	21,7	22,5	23,9	25,4	<b>24</b>
<b>Copiapó</b>													
T. Media (°C)	19,6	19,4	17,9	15,4	13,2	11,4	11,3	12,0	13,2	14,8	16,4	18,3	<b>15,2</b>
T. Mínima (°C)	13,3	13,1	12,0	9,8	7,6	5,9	5,5	6,2	7,2	8,6	10,3	12,1	<b>9,3</b>
T. Máxima (°C)	28,1	28,1	26,6	24,0	21,5	20,0	19,7	20,9	22,2	23,8	25,3	26,9	<b>23,9</b>
<b>Vallenar</b>													
T. Media (°C)	18,6	18,6	17,1	14,9	13,1	11,7	11,4	12,2	13,0	14,5	15,6	17,5	<b>14,9</b>
T. Mínima (°C)	13,1	13,1	12,0	10,1	8,6	7,1	6,8	7,3	7,9	9,0	10,1	11,8	<b>9,7</b>
T. Máxima (°C)	26,6	26,7	25,3	22,7	20,6	18,9	18,8	19,8	21,0	22,7	24,1	25,5	<b>22,7</b>
<b>La Serena</b>													
T. Media (°C)	17,1	16,9	15,6	13,7	12,3	10,9	10,7	10,9	11,6	12,9	14,3	16,1	<b>13,6</b>
T. Mínima (°C)	13,6	13,4	12,4	10,7	9,2	7,6	7,5	7,8	8,7	9,5	10,7	0,0	<b>9,3</b>
T. Máxima (°C)	21,6	21,6	20,2	18,2	17,0	15,9	15,4	15,7	16,3	17,5	18,9	20,4	<b>18,2</b>

<sup>14</sup> www.atmosfera.cl

**Tabla 38: Temperaturas Zona Centro<sup>15</sup>**

<b>Quintero</b>													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
T. Media (°C)	16,0	15,6	14,3	12,7	11,6	10,3	10,0	10,4	11,0	12,3	13,8	15,1	<b>12,8</b>
T. Mínima (°C)	11,3	11,2	10,1	8,5	7,7	6,5	6,5	6,7	7,1	8,1	9,4	10,5	<b>8,6</b>
T. Máxima (°C)	20,3	20,3	19,0	17,4	16,2	14,9	14,4	14,8	15,4	16,5	17,9	19,4	<b>17,2</b>
<b>Valparaíso</b>													
T. Media (°C)	17,0	16,8	15,6	14,2	13,3	12,0	11,4	11,7	12,1	13,2	14,7	16,2	<b>14</b>
T. Mínima (°C)	13,5	13,5	12,7	11,4	10,8	9,6	9,2	9,3	9,5	10,4	11,5	12,8	<b>11,2</b>
T. Máxima (°C)	0,4	0,0	3,7	13,3	54,5	83,1	111,2	60,0	26,7	10,4	7,9	1,3	<b>372,5</b>
<b>Santiago</b>													
T. Media (°C)	20,9	19,9	17,6	14,2	11,1	8,5	8,1	9,5	11,5	14,5	17,3	19,9	<b>14,4</b>
T. Mínima (°C)	13,0	12,4	10,7	8,0	6,3	4,3	3,9	4,8	6,1	8,2	10,1	12,0	<b>8,3</b>
T. Máxima (°C)	29,7	29,7	26,9	23,3	18,7	15,2	14,9	16,7	19,0	22,3	25,4	28,4	<b>22,5</b>
<b>Isla Juan Fernández</b>													
T. Media (°C)	18,5	18,7	17,9	16,6	15,3	13,7	12,7	12,3	12,4	13,4	14,9	17,0	<b>15,3</b>
T. Mínima (°C)	16,0	16,4	15,7	14,3	13,1	11,6	10,7	10,3	10,2	11,1	12,5	14,4	<b>13</b>
T. Máxima (°C)	16,7	16,6	15,6	13,9	12,6	11,4	10,6	11,4	12,2	13,3	14,4	15,7	<b>13,7</b>
<b>Curico</b>													
T. Media (°C)	19,9	18,9	15,9	12,1	9,5	7,4	7,2	8,2	10,1	13,0	15,9	18,7	<b>13,1</b>
T. Mínima (°C)	10,8	10,0	8,0	5,5	4,9	3,8	3,4	3,8	4,5	6,5	8,2	10,1	<b>6,6</b>
T. Máxima (°C)	29,5	28,8	25,7	20,8	15,8	12,4	12,3	14,2	17,1	20,6	24,2	27,7	<b>20,8</b>
<b>Constitución</b>													
T. Media (°C)	17,6	16,8	15,5	13,5	12,1	10,6	9,9	10,2	11,2	12,9	14,7	16,6	<b>13,5</b>
T. Mínima (°C)	11,4	11,5	10,3	8,7	8,1	6,9	6,1	6,2	7,1	8,2	9,9	11,1	<b>8,8</b>
T. Máxima (°C)	22,9	22,2	21,1	18,9	16,4	14,7	14,4	14,9	16,3	17,7	19,9	21,3	<b>18,4</b>
<b>Talca</b>													
T. Media (°C)	22,0	19,8	18,2	14,1	10,8	8,7	8,2	9,5	11,6	14,6	17,4	20,5	<b>14,6</b>
T. Mínima (°C)	13,1	12,0	10,4	7,9	6,6	5,8	4,4	4,2	6,6	8,5	10,9	13,1	<b>8,6</b>
T. Máxima (°C)	31,3	30,7	27,1	22,1	17,5	12,9	13,5	15,1	18,3	22,1	24,6	29,2	<b>22</b>
<b>Punta Carranza</b>													
T. Media (°C)	15,0	15,0	14,2	12,7	11,7	10,6	10,1	10,2	10,8	11,8	13,1	14,2	<b>12,5</b>
T. Mínima (°C)	11,2	11,3	10,6	9,3	8,3	7,4	6,8	6,6	7,1	8,9	9,3	10,3	<b>8,9</b>
T. Máxima (°C)	17,2	18,6	17,6	15,7	14,7	13,4	13,1	13,2	13,6	14,9	16,2	17,6	<b>15,5</b>
<b>Armerillo</b>													
T. Media (°C)	21,0	19,6	17,3	14,1	11,2	8,1	7,9	8,8	10,5	13,2	16,8	19,1	<b>14,0</b>
T. Mínima (°C)	13,8	13,0	11,1	9,0	7,5	4,9	4,4	5,6	6,3	7,7	10,3	12,8	<b>8,9</b>
T. Máxima (°C)	28,2	26,8	23,7	20,7	16,5	12,4	12,6	14,7	16,2	18,6	23,2	26,4	<b>20,0</b>
<b>Panimavida</b>													
T. Media (°C)	19,6	17,8	15,7	12,2	10,3	7,9	7,8	8,5	10,5	12,8	16,0	18,8	<b>13,2</b>
T. Mínima (°C)	10,6	9,4	8,1	5,9	6,1	4,5	4,0	3,8	4,8	6,2	7,9	9,9	<b>6,8</b>
T. Máxima (°C)	28,2	27,2	24,9	20,2	15,6	12,3	12,6	14,0	17,3	20,0	23,2	27,0	<b>20,2</b>

<sup>15</sup> www.atmosfera.cl

**Tabla 38, Continuación: Temperaturas Zona Centro**

<b>Linares</b>													
T. Media (°C)	20,8	19,6	16,6	13,2	10,8	8,3	7,6	8,7	10,8	13,6	16,3	19,7	<b>13,8</b>
T. Mínima (°C)	11,9	11,4	8,7	6,4	6,5	4,9	3,6	4,0	5,3	7,5	9,0	11,6	<b>7,6</b>
T. Máxima (°C)	29,8	28,5	25,1	20,7	15,6	12,3	12,2	14,0	17,2	20,3	23,5	23,8	<b>20,3</b>
<b>Cauquenes</b>													
T. Media (°C)	22,0	20,2	21,6	14,6	13,9	9,8	8,7	9,8	11,6	13,6	18,1	19,9	<b>15,3</b>
T. Mínima (°C)	12,8	11,6	9,9	7,7	6,3	5,2	4,0	3,8	5	6,4	8,8	11,2	<b>7,7</b>
T. Máxima (°C)	29,2	28,3	26,6	22,3	17,8	13,8	13,5	14,7	17,5	19,5	23,6	26,3	<b>21,1</b>
<b>Chillán</b>													
T. Media (°C)	19,1	18,3	15,8	12,3	9,6	7,7	7,3	8,2	9,7	11,9	14,9	17,7	<b>12,7</b>
T. Mínima (°C)	10,6	9,9	8,0	6,0	5,4	4,3	3,8	4,1	4,5	6,1	7,9	9,6	<b>6,7</b>
T. Máxima (°C)	28,4	28	25,4	20,6	16,1	11,9	12,2	14,5	16,6	19,3	22	26,4	<b>20,1</b>
<b>Concepción</b>													
T. Media (°C)	16,3	15,7	13,9	12,0	10,8	9,2	8,8	9,1	9,7	11,5	13,5	15,5	<b>12,2</b>
T. Mínima (°C)	10,5	10,2	8,9	7,5	7,4	6,2	5,7	5,6	5,6	6,8	8,3	9,9	<b>7,7</b>
T. Máxima (°C)	22,8	22,4	20,9	18,4	15,6	13,4	13,0	13,8	15,1	16,8	19,2	21,5	<b>17,7</b>
<b>Temuco</b>													
T. Media (°C)	15,8	15,4	13,5	11,0	9,4	7,5	7,2	7,7	8,8	10,6	12,7	14,7	<b>11,2</b>
T. Mínima (°C)	9,0	8,8	7,4	5,9	5,9	4,5	4,2	3,9	4,2	5,5	7,1	8,6	<b>6,3</b>
T. Máxima (°C)	23,8	24	21,7	18,1	14,4	11,7	11,6	12,9	15,1	17,2	19,5	22,0	<b>17,7</b>
<b>Valdivia</b>													
T. Media (°C)	15,8	15,2	13,2	10,5	9,3	7,4	7,0	7,4	8,6	10,4	12,7	14,9	<b>11,0</b>
T. Mínima (°C)	8,8	8,5	7,3	5,8	6,1	4,6	4,2	3,9	4,1	5,2	6,8	8,2	<b>6,1</b>
T. Máxima (°C)	22,9	22,9	20,7	17,0	13,6	11,2	10,8	12,2	14,5	16,6	19	21,4	<b>16,9</b>
<b>Osorno</b>													
T. Media (°C)	15,2	15,2	13,2	10,5	9,3	7,4	7,0	7,4	8,6	10,4	12,7	14,9	<b>11,0</b>
T. Mínima (°C)	8,0	7,5	6,4	5,1	5,1	3,4	3,4	3,4	3,8	4,8	6,4	7,6	<b>5,4</b>
T. Máxima (°C)	22,5	22,3	20,2	16,7	13,4	11,0	10,6	11,9	14,1	16,3	18,7	20,9	<b>16,6</b>
<b>Puerto Montt</b>													
T. Media (°C)	14,3	13,6	12,1	10,1	8,8	6,7	6,6	6,8	7,8	9,6	11,6	13,4	<b>10,1</b>
T. Mínima (°C)	9,4	9,1	8,0	6,7	6,0	4,1	3,9	4,0	4,2	5,5	7,2	8,6	<b>6,4</b>
T. Máxima (°C)	19,6	19,2	17,8	15,2	12,7	10,7	10,3	11,1	12,8	14,4	16,6	18,5	<b>14,9</b>

**Tabla 39: Temperaturas Zona Sur<sup>16</sup>**

<b>Futaleufú</b>													
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
T. Media (°C)	15,1	13,7	11,6	9,3	6,8	3,9	3,5	4,5	6,2	8,4	11,4	13,8	<b>9,0</b>
T. Mínima (°C)	9,6	8,2	6,8	5,0	3,3	1,9	1,4	1,6	2,5	4,1	6,5	8,5	<b>5,0</b>
T. Máxima (°C)	21,2	19,5	17,6	15,0	11,2	6,7	6,4	8,7	11,5	14,0	17,2	19,8	<b>14,1</b>
<b>Isla Guafo</b>													
T. Media (°C)	12,5	12,6	12,0	10,8	9,4	8,2	7,5	7,3	7,4	8,3	9,5	11,0	<b>9,7</b>
T. Mínima (°C)	9,6	9,4	8,8	7,3	6,3	5,4	4,7	4,6	4,5	5,4	6,6	8,0	<b>6,7</b>
T. Máxima (°C)	15,1	15,3	14,9	13,4	12,1	10,8	10,3	10,2	10,3	10,7	11,8	13,1	<b>12,3</b>
<b>Alto Palena</b>													
T. Media (°C)	14,3	13,7	12,5	9,6	6,7	4,3	3,0	4,1	6,2	8,6	11,0	12,9	<b>8,9</b>
T. Mínima (°C)	9,1	8,3	7,5	5,7	4,0	1,7	0,8	1,1	2,1	3,8	6,3	8,0	<b>4,9</b>
T. Máxima (°C)	19,3	19,4	18,3	14,7	10,4	7,6	6,3	8,1	11,3	14,1	16,6	18,3	<b>13,7</b>
<b>Río Cisnes</b>													
T. Media (°C)	11,8	10,4	8,6	6,2	3,2	0,6	0,3	0,9	3,2	6,3	8,8	10,9	<b>5,9</b>
T. Mínima (°C)	5,0	4,2	3,0	1,6	-0,2	-2,4	-2,9	-2,5	-1,2	0,3	2,8	4,3	<b>1,0</b>
T. Máxima (°C)	18,4	17,4	15,2	11,9	8,1	5,1	4,3	6,1	9,2	13	15,6	17,6	<b>11,8</b>
<b>Puerto Aysén</b>													
T. Media (°C)	13,6	13,2	11,5	9,2	6,7	4,3	3,9	5,1	6,9	9,1	11,4	12,9	<b>9,0</b>
T. Mínima (°C)	10,0	9,6	8,3	6,5	4,7	2,4	1,8	2,8	3,8	5,6	7,7	9,1	<b>6,0</b>
T. Máxima (°C)	17,9	17,8	16,0	12,9	9,7	7,2	6,9	8,6	11,0	13,5	15,4	17,2	<b>12,8</b>
<b>Coyhayque</b>													
T. Media (°C)	13,6	13,2	11,2	8,2	5,2	2,6	2,0	3,8	5,9	8,4	11,0	12,6	<b>8,1</b>
T. Mínima (°C)	8,8	8,2	6,6	4,8	2,6	0,1	-0,4	1,2	2,2	4,1	6,4	7,8	<b>4,4</b>
T. Máxima (°C)	18,6	19,2	17,1	13,3	8,9	6,0	5,4	8,0	10,9	13,9	16,2	17,9	<b>13,0</b>
<b>Balmaceda</b>													
T. Media (°C)	11,9	11,4	9,3	6,5	3,4	0,8	0,2	1,9	4,1	6,7	9,2	10,9	<b>6,4</b>
T. Mínima (°C)	6,7	6,0	4,5	2,6	0,6	-2,0	-2,7	-1,0	0,1	2,1	4,3	5,8	<b>2,3</b>
T. Máxima (°C)	17,5	17,7	15,7	11,9	7,8	4,3	3,6	6,1	9,4	12,3	14,7	16,4	<b>11,5</b>
<b>Cabo Raper</b>													
T. Media (°C)	11,5	11,4	11,0	10,1	8,9	7,3	6,7	6,6	7,2	8,0	9,3	10,3	<b>9,0</b>
T. Mínima (°C)	8,7	8,5	7,9	7,0	6,0	4,6	4,3	4,1	4,7	5,3	6,6	7,6	<b>6,3</b>
T. Máxima (°C)	14,3	14,0	13,6	12,5	11,1	10,0	9,4	8,9	9,6	10,5	11,5	12,9	<b>11,5</b>
<b>Cochrane</b>													
T. Media (°C)	13,6	13,2	10,5	7,4	4,0	1,1	0,9	3,0	5,8	8,5	11,1	12,7	<b>7,7</b>
T. Mínima (°C)	8,0	7,6	5,6	3,4	0,8	-1,0	-1,7	-0,4	1,4	3,4	5,3	6,8	<b>3,3</b>
T. Máxima (°C)	19,7	19,8	17,1	13,1	8,0	4,8	4,5	7,5	11,6	14,4	16,8	18,8	<b>13,0</b>
<b>San Pedro</b>													
T. Media (°C)	11,2	11,5	10,5	9,0	7,6	6,0	5,3	5,5	6,6	7,6	9,0	10,3	<b>8,3</b>
T. Mínima (°C)	8,0	8,3	7,1	6,0	4,6	3,3	2,9	3,1	3,9	4,8	6,0	6,9	<b>5,4</b>
T. Máxima (°C)	14,6	14,9	13,8	11,8	9,9	8,5	7,9	8,2	9,6	10,9	12,2	13,4	<b>11,3</b>

<sup>16</sup> www.atmosfera.cl

**Tabla 39, Continuación: Temperaturas Zona Sur**

<b>Puerto Edén</b>													
T. Media (°C)	11,6	10,8	9,7	7,4	4,8	3,3	3,0	3,9	5,0	6,5	8,9	10,8	<b>7,1</b>
T. Mínima (°C)	8,4	7,9	6,8	5,0	3,0	1,5	0,8	1,6	2,7	4,3	6,0	7,3	<b>4,6</b>
T. Máxima (°C)	14,7	13,9	12,4	10,3	7,5	5,7	5,5	6,7	8,1	10,3	12,3	13,9	<b>10,1</b>
<b>Punta Arenas</b>													
T. Media (°C)	10,5	10,1	8,2	6,0	3,4	1,5	1,1	2,0	4,0	6,4	8,2	9,7	<b>5,9</b>
T. Mínima (°C)	6,5	6,2	5,0	3,2	1,0	-0,7	-1,1	-1,0	1,0	2,6	4,4	5,7	<b>2,7</b>
T. Máxima (°C)	14,7	14,4	12,8	9,8	6,4	4,2	3,7	5,3	7,9	10,6	12,5	14,1	<b>9,7</b>
<b>Isla Diego Ramírez</b>													
T. Media (°C)	7,2	7,5	6,6	5,6	4,5	3,7	3,2	3,2	3,6	4,7	5,5	6,5	<b>5,2</b>
T. Mínima (°C)	6,5	6,2	5,0	3,2	1,0	-0,7	-1,1	-1,0	1,0	2,6	4,4	5,7	<b>2,7</b>
T. Máxima (°C)	14,7	14,4	12,8	9,8	6,4	4,2	3,7	5,3	7,9	10,6	12,5	14,1	<b>9,7</b>
<b>Centro meteorológico antártico Presidente E. Frei</b>													
T. Media (°C)	1,5	1,6	0,5	-2,0	-4,0	-5,7	-5,6	-6,7	-4,4	-2,5	-1,0	0,6	<b>-2,3</b>
T. Mínima (°C)	0,0	0,2	-1,0	-3,2	-6,2	-8,0	-9,2	-8,7	-7,0	-4,2	-2,4	-0,7	<b>-4,2</b>
T. Máxima (°C)	3,2	3,3	2,0	-1,0	-1,9	-3,1	-4,0	-3,9	-1,9	-0,6	0,5	2,1	<b>-0,4</b>

Como puede observarse en las tablas anteriores, en Chile no se logran obtener las temperaturas extremas que impidan la utilización de asfaltos modificados debido a su comportamiento a temperaturas extremas. Sin embargo las bajas temperaturas que se observan desde Puerto Montt hacia el sur, limitan en primera instancia la colocación de los microaglomerados solo en la época estival, donde se tienen temperaturas sobre los 10 °C, pero en el extremo sur de Chile la temperatura incluso en la época estival es muy baja, por lo que no sería recomendable utilizar este tipo de carpeta asfáltica en estas zonas.

Debido a que el viento intenso es una de las condiciones por las cuales la temperatura mínima exigida para la puesta en obra de esta mezcla asfáltica puede ser aumentada, es necesario analizar las condiciones de viento en distintas zonas donde se tienen registro. Estas velocidades de viento promedio normalizadas se muestran en la Tabla 40.

**Tabla 40: Velocidad de viento en distintas estaciones de Chile<sup>17</sup>**

Estación	V (m/s)
Arica	23,0
Iquique	25,8
Calama	36,8
Antofagasta	24,3
La Serena	32,1
Pichidanguí	29,2
Pudahuel	30,3
Putú	29,0
Concepción	40,0
ENAP-Bío Bío	43,5
Temuco	35,2
Puerto Montt	33,9
Chaitén	49,2
Quellón	49,7
Palena	38,2
Coyhaique	44,8
Balmaceda	47,6
Chile Chico	41,5
Cochrane	38,1
Punta Arenas	53,5

Al analizar estas velocidades del viento en las distintas estaciones es posible observar que en las mayores velocidades de viento observadas se encuentran en las regiones del extremo sur del país, lo que sumado a las bajas temperaturas de estas zonas, limitarían en primera instancia el uso de los microaglomerados discontinuos en caliente en el extremo sur de Chile.

El uso de túneles carpas durante la construcción del pavimento en zonas con temperaturas bajas y velocidades de viento elevadas, podrían permitir el uso de los microaglomerados en estas zonas. Estos túneles protegen al pavimento tanto de las bajas temperaturas como del fuerte viento mientras en su interior se extiende y compacta la mezcla asfáltica.

Un aspecto que se debe destacar es lo observado durante las visitas a terreno, tanto en los tramos de San Felipe como en la calle Gertrudis Echeñique ubicada en la comuna de Las Condes, donde el efecto de la temperatura y la radiación solar sobre el pavimento, especialmente en las zonas donde llega radiación solar directa, se observa una pérdida superficial del asfalto, a diferencia de las zonas que se encuentran bajo la sombra de árboles, donde el asfalto se encuentra en perfectas condiciones. Esto se observa de mejor manera en la siguiente figura.

---

<sup>17</sup> Fuente: Dirección Meteorológica de Chile



**Figura 39: Comparación del efecto de zona de sombra (izquierda) y radiación solar directa (derecha) en un tramo de microaglomerados**

Esta pérdida del asfalto superficial puede influir en un desprendimiento de áridos posterior, ya que al no poseer este asfalto, los áridos no estarían ligados de la mejor forma. Es por esto que se debe tener cuidado con este aspecto para pavimentos en zonas de mucha radiación solar, como por ejemplo la zona norte de nuestro país, y se sugiere estudiar en mayor profundidad este efecto sobre los microaglomerados discontinuos en caliente.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las distintas conclusiones a las que se ha podido llegar luego de realizar el desarrollo de este trabajo de título.

En primer lugar se hace necesario realizar un cambio en la normativa actual chilena, ya que se necesita tener exigencias más específicas, para ciertos puntos de la normativa actual, tales como coeficiente de fricción o textura superficial. Además es necesario ajustar los valores de algunos parámetros exigidos para los microaglomerados discontinuos en caliente, basándose en lo especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, dada la mayor experiencia española en la utilización de este tipo de mezcla asfáltica. Estos cambios y ajustes se detallan a continuación:

- **Índice de Lajas del Árido grueso:** Se recomienda utilizar los siguientes valores para este índice:
  - o Menor o igual a 20% para categorías de tráfico pesado T0, T1 y T2.
  - o Menor o igual a 25% para categorías de tráfico pesado T3, T4 y bermas.
  
- **Dotación media:** Se sugiere las siguientes dotaciones medias de asfalto para los distintos tipos de mezclas:
  - o Tipo M8: Dotación media entre 35 y 50 Kg./m<sup>2</sup>.
  - o Tipo M10: Dotación media entre 55 y 70 Kg./m<sup>2</sup>.
  - o Tipo F8: Dotación media entre 40 y 55 Kg./m<sup>2</sup>.
  - o Tipo F10: Dotación media entre 65 y 80 Kg./m<sup>2</sup>.
  
- **Relación filler/ligante:** Para este parámetro se sugieren los siguientes valores para las distintas mezclas:
  - o Tipo M: Relación filler/ligante entre 1,1 y 1,3.
  - o Tipo M: Relación filler/ligante entre 1,1 y 1,3.
  
- **Ligante residual en riego de adherencia:** Se recomienda agregar este índice, el cual no se menciona en el Manual de Carreteras, considerando los siguientes valores:
  - o Mezcla tipo M en camino nuevo: Mayor a 0,30 Kg./ m<sup>2</sup>
  - o Mezcla tipo F en camino nuevo: Mayor a 0,25 Kg./ m<sup>2</sup>
  - o Mezcla tipo M en camino viejo: Mayor a 0,40 Kg./ m<sup>2</sup>
  - o Mezcla tipo F en camino viejo: Mayor a 0,35 Kg./ m<sup>2</sup>
  
- **Porcentaje de huecos en la mezcla:** Se sugiere los siguientes valores límites para este parámetro:
  - o Mezcla Tipo F: Mayor a un 4%
  - o Mezcla Tipo M: Mayor a un 12%

- **Temperatura mínima de pavimentación:** Se sugiere adoptar como temperatura ambiente mínima para realizar la pavimentación los 8°C a la sombra, la cual podrá aumentarse en condiciones de viento intenso y/o luego de heladas.
- **Macrotextura superficial:** Se recomienda adoptar los siguientes valores mínimos para la macrotextura superficial medida a través del círculo de arena.
  - o Mezcla Tipo F: 1,1 mm.
  - o Mezcla Tipo M: 1,5 mm.
- **Coefficiente de fricción:** se sugiere adoptar los siguientes valores mínimos para el coeficiente de fricción medido con el equipo SCRIM.
  - o Mezcla Tipo F: 0,65 unidades CRT(coeficiente de rozamiento transversal)
  - o Mezcla Tipo M: 0,60 unidades CRT(coeficiente de rozamiento transversal)

Además se sugiere estudiar en mayor profundidad las categorías de tráfico pesado, especialmente la definición del TMDA. La normativa española considera solamente a los vehículos pesados para el cálculo del TMDA, en cambio el Manual de carreteras considera a todo tipo de vehículos para este cálculo. Es por esta razón que se debe realizar un estudio más detallado para así realizar un ajuste apropiado a la normativa chilena actual.

Durante el desarrollo de este trabajo se pudo estudiar el comportamiento de distintos tramos construidos con microaglomerados discontinuos en caliente, de los cuales se puede concluir lo siguiente:

En los tramos construidos en el sector comprendido entre San Felipe y Los Andes, fue posible observar una gran cantidad de fisuras y pérdidas de áridos, especialmente en el tramo realizado con mezcla tipo F. Sin embargo los valores obtenidos tanto como para la textura superficial medida a través del círculo de arena, como para el coeficiente de fricción, cuya medición fue realizada con el Péndulo Británico, se enmarcan en lo exigido por la normativa extranjera actual, lo que valida los cambios sugeridos anteriormente para estos parámetros.

Se debe destacar que el tramo construido en la calle Gertrudis Echeñique fue utilizado sólo a modo de referencia para este estudio, considerando solo los aspectos que se pudieron observar en una inspección visual, ya que la poca información que se pudo obtener de éste por parte de la empresa constructora y del mandante de la obra, impidió un estudio más detallado del sector. A pesar de esto fue posible observar que las fallas más importantes se ubicaron en los cruces, lugares donde existían zonas de transición entre los microaglomerados discontinuos en caliente y la mezcla asfáltica tradicional, mezcla con la cual fueron construidas las calles perpendiculares a ésta. Estas fallas se deben principalmente por que no se realiza una adecuada cuña de empalme en esta zona de transición, por lo que se debe tener en consideración el diseño de esta cuña de empalme para tener un óptimo comportamiento en estas zonas.

De acuerdo a lo observado tanto en los tramos construidos en la zona de San Felipe son en la calle Gertrudis Echeñique, se puede concluir que se debe tener un cuidado especial en la etapa de diseño y construcción de la carpeta asfáltica, ya que una berma y/o sobre ancho inadecuado o inexistente, puede incidir en la generación de grietas en la calzada.

Sobre los tramos ubicados en la octava región, es decir los ubicados en la Autopista del Itata y la Ruta 160, sector Lota, es posible decir que a pesar de que al momento de realizar este estudio el tiempo de servicio de éstos era menor a un año, fue posible observar una gran regularidad superficial y que tanto la macrotextura superficial del pavimento, como las zonas de empalmes se encontraban en excelentes condiciones, lo que sugiere que estos tramos poseerán un comportamiento a largo plazo muy bueno, cumpliendo con las características de seguridad que se esperan para este tipo de carpetas asfálticas.

Para verificar este comportamiento se recomienda realizar un plan de seguimiento constante a estos tramos, considerando estudios tanto de círculo de arena, coeficiente de fricción e IRI, así como inspecciones visuales, realizando estas mediciones idealmente cada 6 meses, y en el caso de que esto no fuera posible se sugiere realizar estos ensayos a lo menos anualmente.

Durante el desarrollo de este trabajo fue posible observar que la radiación solar que llega en forma directa a la superficie de los pavimentos construidos con microaglomerados discontinuos en caliente podría influir en la pérdida de áridos en la calzada, lo cual fue observado en los tramos del sector San Felipe - Los Andes y Gertrudis Echeñique. Este resultado fue inesperado, pero no por esto menos interesante, ya que no se tenían antecedentes sobre este tema durante la realización de este trabajo de título, y por lo mismo esto se escapa un poco del alcance de este trabajo, por lo que se recomienda realizar un estudio más detallado en el tema para así llegar a conclusiones más acabadas sobre el efecto de la radiación sobre los microaglomerados discontinuos en caliente.

Por otra parte los distintos materiales y procesos utilizados para la fabricación y colocación de este tipo de mezcla asfáltica, no presentan impedimento para utilizar los microaglomerados discontinuos en caliente en otras zonas del país además de la zona central y la octava región. Sin embargo las condiciones climáticas adversas como bajas temperaturas ambientales y viento intenso, condicionarían la aplicación de este tipo de mezcla, ya que producto a la baja inercia térmica de esta mezcla asfáltica, ésta se enfría rápidamente limitando la colocación de los microaglomerados bajo estas condiciones climáticas. Es por esta razón que se recomienda no utilizar los microaglomerados en las regiones del extremo sur de nuestro país, es decir las regiones undécima y duodécima, ya que estas regiones presentan temperaturas muy bajas y zonas de mucho viento.

El costo de la construcción de pavimentos con microaglomerados discontinuos en caliente se ve encarecido tanto por el uso de asfaltos modificados con polímeros, como por la utilización de áridos de elevada calidad y granulometría discontinua. Sin embargo las características de este tipo de mezcla, entre las que se destacan las mejoras en las condiciones de seguridad, una mayor sensación de confort y una mayor resistencia al envejecimiento, sugieren una mayor utilización de estos pavimentos en Chile. De manera de que este mayor costo se vea justificado, se recomienda el uso de los microaglomerados en carreteras de alto tránsito, ya que en este tipo de caminos la relación costos/beneficios disminuye, justificándose así la construcción del pavimento con microaglomerados discontinuos en caliente.

Se debe destacar que debido a la poca información obtenida en algunos de los tramos considerados en este trabajo, así como el poco tiempo de servicio de éstos, no fue posible realizar un estudio más detallado sobre el comportamiento de los microaglomerados discontinuos en caliente aplicados en Chile, por lo que se sugiere continuar con un seguimiento más detallado para los diversos tramos de microaglomerados.

Finalmente se puede concluir por lo observado durante el desarrollo de este trabajo, que el comportamiento de los microaglomerados discontinuos en caliente ha sido bueno, ya que han cumplido con entregar las distintas características funcionales esperadas para este tipo de pavimentos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bitumen España, Página web: <http://www.bp.com>
- Carswell, J.; Cruz, F.: “Misión y ventajas de los Betunes Modificados con Polímeros”.
- Dirección General de Aeronáutica Civil, Dirección Meteorológica de Chile, Página web: <http://www.meteochile.cl>
- Fonseca R., Carlos; Martínez B., Claudia: “Empleo de Fibras en la elaboración de mezclas asfálticas para pavimentos de graduación abierta”, México, año 1999.
- Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Publicas, Dirección de Vialidad: “Manual de carreteras Volúmenes 5 y 8”, Diciembre 2003.
- Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Publicas, Dirección de Vialidad, Departamento de Gestión Vial: “Instructivo de Inspección visual de caminos pavimentados”, Mayo 2007.
- [http://www.atmosfera.cl/HTML/datos/datos\\_02.html](http://www.atmosfera.cl/HTML/datos/datos_02.html)
- Mery G., José Pedro: “Péndulo Británico y resistencia al deslizamiento en pavimentos: Lo tradicional no pasa de moda”, Revista BIT, noviembre de 2003.
- Ministerio de Fomento Español, Dirección General de Carreteras: “Orden FOM/891/2004, por la cual se actualizan determinados artículos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales Para Obras de Carreteras y Puentes, relativos a firmes y pavimentos”, Marzo 2004.
- Ministerio de Fomento Español, Dirección General de Carreteras: “Orden FOM/3460/2003, por la que se aprueba la norma 6.1-IC: “Secciones de Firme”, de la Instrucción de Carreteras”, Noviembre 2003.
- Miró R., Rodrigo: “Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort (ruido) y la seguridad”, Universidad Politécnica de Cataluña, Diciembre de 2006.

- Muñoz R., Gabriela: Trabajo de investigación N°11: "Introducción a la tecnología de los microaglomerados asfálticos discontinuos en caliente", Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas.
- Sánchez G, Ángel: "Asfaltos Modificados: Conceptualización, aplicación, control y pruebas", Secretaría de la Contraloría, Gobierno del estado de Quintana Roo, México.
- Vargas B., Sergio: "Introducción a la tecnología de los microaglomerados asfálticos en frío y discontinuos en caliente", Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Civil, año 2000.

## ANEXO A: FICHAS DE INSPECCIÓN VISUAL

En este anexo se presentan las fichas de inspección visual que fueron llenadas durante la visita realizada durante el mes de Octubre del año 2008, siguiendo las indicaciones del Instructivo de Inspección Visual de Caminos Pavimentados de la Dirección de Vialidad del MOP, solo cambiando el espaciamiento considerado entre cada unidad de muestreo, el que se considera 120 metros y no 240 como lo indica el instructivo.

Para el llenado de las fichas se considera como pista número 1, a aquella pista en que el vehículo se desplaza en la misma dirección que avanza el kilometraje. Además se considera la siguiente simbología para el llenado:

- **Carpeta:** Tipo de pavimento asfáltico, utilizando las siguientes abreviaciones
  - **A:** Mezcla Asfáltica.
  - **R:** Recapado Asfáltico.
  - **T:** Tratamiento Superficial.
  
- **Calzada:** Tipo de calzada, utilizado la siguiente nomenclatura:
  - **U:** Calzada Única.
  - **D:** Calzada Derecha.
  - **I:** Calzada Izquierda.
  
- **Sentido:** Sentido en que se efectúa la inspección.
  - **A:** Ascendente.
  - **D:** Descendente.
  
- **Odómetro Digital:** Se completa para saber si la inspección se realizó con odómetro digital o no.
  - **S:** Si se efectuó la medición con odómetro digital.
  - **N:** No se empleó odómetro digital en la medición.
  
- **Tº Aire:** Temperatura del Aire en °C al momento de la medición, se debe indicar si la temperatura fue medida (M) o estimada (E).
  
- **Condición climática:** Se indica la condición climática al momento de la medición, con la siguiente nomenclatura:
  - **P:** Parcialmente nublado.
  - **D:** Despejado.
  - **N:** Nublado.
  
- **Envejecimiento:** Para registrar el envejecimiento se utiliza la siguiente nomenclatura:
  - **S:** Se observa aspecto envejecido.
  - **N:** No se observa aspecto envejecido.

- **Tipo de Berma:** Se debe registrar el tipo de berma de acuerdo a la siguiente clasificación:
 

- <b>A:</b> Asfáltica	- <b>C:</b> Cuneta	- <b>T:</b> Tratamiento Asfáltico
- <b>H:</b> Hormigón.	- <b>I:</b> Imprimación	- <b>N:</b> Sin Berma
- <b>G:</b> Granular.	- <b>S:</b> Solera	- <b>Z:</b> Zarpa
  
- **Estado de la Berma:** Se debe registrar el estado de la berma de acuerdo al siguiente criterio:
  - **B:** Estado bueno, es decir no se observa ningún tipo de falla en la berma.
  - **R:** Estado regular, se visualizan algunas fallas más bien locales o descensos pequeños
  - **M:** Estado malo, se observan todo tipo de fallas generalizadas, con descensos mayores a los 3 cm y separaciones mayores a 1 cm.
  
- **Descenso de Berma:** Se indica (S) SI o (N) NO este descenso es mayor a 3 cm.

Además se registran las distintas fallas entre las que se encuentran grietas, pérdidas de áridos, exudación, ahuellamiento, envejecimiento y baches. Estas fallas se deben indicar según su extensión tanto en m. o m<sup>2</sup>, según corresponda.

Considerando todo lo indicado anteriormente se presentan a continuación las fichas de inspección visual realizadas a los tramos realizados en la Ruta E-85, en el sector San Felipe- Los Andes.





## ANEXO B: ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA EN SAN FELIPE

### TEXTURA SUPERFICIAL (Ensaye de La Mancha de Arena)

**REGION** Quinta

**CAMINO** San Felipe - Los Andes; Ruta E-85

**SECTOR** Km. 5,680 - Km. 6,220

**FECHA** 27 al 29 de Octubre de 2008

CLIMA : DESPEJADO

#### Tramo Km 5,700 al Km 6,200

KM	PISTA	HUELLA	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Diámetro	Promedio	H eq	Observaciones	Textura
			1	2	3	4	[cm]				
5,700	1	He	18,0	18,5	19,0	18,5	18,5	18,5	0,9	mezcla tipo F-10	profunda
5,750	1	He	18,5	19,0	19,0	18,5	18,5	18,8	0,9	mezcla tipo F-10	profunda
5,800	1	He	16,0	16,0	16,5	16,0	16,0	16,1	1,2	mezcla tipo F-10	muy profunda
5,850	1	He	18,0	18,5	18,5	18,0	18,0	18,3	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,900	1	He	16,5	16,5	16,0	16,5	16,4	16,4	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
5,950	1	He	18,5	18,5	18,5	19,0	18,6	18,6	0,9	mezcla tipo F-10	profunda
6,000	1	He	18,0	17,5	17,5	18,0	17,8	17,8	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
6,050	1	He	18,0	18,0	18,5	18,0	18,1	18,1	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
6,100	1	He	16,0	16,5	16,5	16,5	16,4	16,4	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
6,150	1	He	17,0	17,5	17,5	17,5	17,4	17,4	1,1	mezcla tipo F-10	profunda
6,200	1	He	16,5	16,0	16,5	16,5	16,4	16,4	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
5,875	2	He	18,0	17,5	17,5	17,5	17,6	17,6	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,925	2	He	17,5	17,0	17,5	18,0	17,5	17,5	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,975	2	He	17,0	17,0	16,5	17,0	16,9	16,9	1,1	mezcla tipo F-10	profunda
6,025	2	He	18,0	18,0	18,5	18,5	18,3	18,3	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
6,075	2	He	17,0	17,0	17,5	16,5	17,0	17,0	1,1	mezcla tipo F-10	profunda
6,125	2	He	16,5	16,0	16,5	16,5	16,4	16,4	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
6,175	2	He	17,0	17,0	17,5	17,0	17,1	17,1	1,1	mezcla tipo F-10	profunda

**Nota:**

Se utilizó 25 cc de arena malla 100.

La textura se aprecia similar en todo el tramo según las huellas.

La abreviación utilizada es la siguiente:

H eq: Altura Equivalente referida al ensaye.

**TEXTURA SUPERFICIAL (Ensaye de La Mancha de Arena)**

**REGION** Quinta  
**CAMINO** San Felipe - Los Andes; Ruta E-85  
**SECTOR** Km. 5,680 - Km. 6,220  
**FECHA** 27 al 29 de Octubre de 2008

CLIMA : DESPEJADO

**Tramo Km 5,725 al Km 6,175**

KM	PISTA	HUELLA	Diámetro 1 [cm]	Diámetro 2 [cm]	Diámetro 3 [cm]	Diámetro 4 [cm]	Promedio [cm]	H eq [mm]	Observaciones	Textura
5,775	2	He	18,0	18,0	17,5	18,0	17,9	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,825	2	He	17,0	16,5	16,5	16,0	16,5	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
5,875	2	He	18,0	17,5	17,5	17,5	17,6	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,925	2	He	17,5	17,0	17,5	18,0	17,5	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
5,975	2	He	17,0	17,0	16,5	17,0	16,9	1,1	mezcla tipo F-10	profunda
6,025	2	He	18,0	18,0	18,5	18,5	18,3	1,0	mezcla tipo F-10	profunda
6,075	2	He	17,0	17,0	17,5	16,5	17,0	1,1	mezcla tipo F-10	profunda
6,125	2	He	16,5	16,0	16,5	16,5	16,4	1,2	mezcla tipo F-10	profunda
6,175	2	He	17,0	17,0	17,5	17,0	17,1	1,1	mezcla tipo F-10	profunda

**Nota:** Se utilizó 25 cc de arena malla 100.  
 La textura se aprecia similar en todo el tramo según las huellas.  
 La abreviación utilizada es la siguiente:  
 H eq: Altura Equivalente referida al ensaye.

**TEXTURA SUPERFICIAL (Ensaye de La Mancha de Arena)**

**REGION** Quinta  
**CAMINO** San Felipe - Los Andes; Ruta E-85  
**SECTOR** Km. 9,080 - Km. 9,620  
**FECHA** 27 al 29 de Octubre de 2008

CLIMA : DESPEJADO

**Tramo Km 9,100 al Km 9,600**

KM	PISTA	HUELLA	Diámetro				Diámetro 4	Promedio	H eq [mm]	Observaciones	Textura
			1	2	3						
9,100	1	He	16,5	17,0	16,5	16,5	16,6	1,2	mezcla tipo M-10	profunda	
9,150	1	He	15,5	15,0	15,5	15,0	15,3	1,4	mezcla tipo M-10	muy profunda	
9,200	1	He	18,0	18,0	17,5	18,0	17,9	1,0	mezcla tipo M-10	profunda	
9,250	1	He	16,5	17,0	17,0	17,0	16,9	1,1	mezcla tipo M-10	profunda	
9,300	1	He	19,5	19,0	19,5	19,0	19,3	0,9	mezcla tipo M-10	profunda	
9,350	1	He	21,0	21,0	21,0	20,5	20,9	0,7	mezcla tipo M-10	media	
9,400	1	He	17,5	17,5	18,0	17,5	17,6	1,0	mezcla tipo M-10	profunda	
9,450	1	He	16,0	16,0	16,5	16,0	16,1	1,2	mezcla tipo M-10	muy profunda	
9,500	1	He	16,0	16,0	16,5	16,5	16,3	1,2	mezcla tipo M-10	muy profunda	
9,550	1	He	16,5	17,0	17,0	16,5	16,8	1,1	mezcla tipo M-10	profunda	
9,600	1	He	17,5	17,0	17,0	17,5	17,3	1,1	mezcla tipo M-10	profunda	

**Nota:**

Se utilizó 25 cc de arena malla 100.

La textura se aprecia similar en todo el tramo según las huellas.

La abreviación utilizada es la siguiente:

H eq: Altura Equivalente referida al ensaye.

**TEXTURA SUPERFICIAL (Ensaye de La Mancha de Arena)**

**REGION** Quinta

**CAMINO** San Felipe - Los Andes; Ruta E-85

**SECTOR** Km. 9,080 - Km. 9,620

**FECHA** 27 al 29 de Octubre de 2008

CLIMA : DESPEJADO

**Tramo Km 9,125 al Km 9,575**

KM	PISTA	HUELLA	Diámetro				Promedio	H eq	Observaciones	Textura
			1	2	3	4				
9,125	2	He	17,0	17,5	17,5	17,5	17,4	1,1	mezcla tipo M-10	profunda
9,175	2	He	17,5	18,0	18,0	18,0	17,9	1,0	mezcla tipo M-10	profunda
9,225	2	He	18,0	17,5	17,5	18,0	17,8	1,0	mezcla tipo M-10	profunda
9,275	2	He	16,5	17,0	17,0	16,5	16,8	1,1	mezcla tipo M-10	profunda
9,325	2	He	18,0	18,0	18,5	18,0	18,1	1,0	mezcla tipo M-10	profunda
9,375	2	He	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	1,2	mezcla tipo M-10	muy profunda
9,425	2	He	17,0	16,5	16,5	17,0	16,8	1,1	mezcla tipo M-10	profunda
9,475	2	He	16,0	16,5	16,5	16,0	16,3	1,2	mezcla tipo M-10	muy profunda
9,525	2	He	16,5	17,0	17,0	17,0	16,9	1,1	mezcla tipo M-10	profunda
9,575	2	He	16,0	16,5	16,5	16,5	16,4	1,2	mezcla tipo M-10	profunda

**Nota:**

Se utilizó 25 cc de arena malla 100.

La textura se aprecia similar en todo el tramo según las huellas.

La abreviación utilizada es la siguiente:

H eq: Altura Equivalente referida al ensaye.

## ANEXO C: ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO DE FRICCIÓN EN SAN FELIPE

### ENSAYE CON EL PENDULO DE FRICCIÓN

**Camino** : San Felipe - Los Andes; Ruta E-85  
**Región** : Quinta  
**Sector** : Km. 5,680 - Km. 6,220  
**Fecha** : 27 al 29 de Octubre de 2008  
**Referencia** : Método 8,602,24 del Volumen 8 del MC

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento  
 Unidades: BPN

#### Tramo Km. 5,700 - Km. 6,200

KM	Pista	TEMPERATURA °C	Med.1	Med.2	Med.3	Med.4	Promedio		Valor	Observaciones
							Medición	Corregido		
5,700	1	23°	44	45	44	45	0,45	0,46	mezcla tipo F-10	
5,750	1	23°	43	43	43	42	0,43	0,44	mezcla tipo F-10	
5,800	1	23°	42	42	42	42	0,42	0,43	mezcla tipo F-10	
5,850	1	23°	42	43	43	42	0,43	0,44	mezcla tipo F-10	
5,900	1	23°	45	44	45	44	0,45	0,46	mezcla tipo F-10	
5,950	1	23°	42	43	43	42	0,43	0,44	mezcla tipo F-10	
6,000	1	23°	44	45	44	45	0,45	0,46	mezcla tipo F-10	
6,050	1	24°	43	43	42	42	0,43	0,44	mezcla tipo F-10	
6,100	1	24°	44	45	45	44	0,45	0,46	mezcla tipo F-10	
6,150	1	24°	45	44	44	45	0,45	0,46	mezcla tipo F-10	
6,200	1	24°	44	43	43	44	0,44	0,45	mezcla tipo F-10	

**ENSAYE CON EL PENDULO DE FRICCION**

Camino : San Felipe - Los Andes; Ruta E-85  
 Región : Quinta  
 Sector : Km. 5,680 - Km. 6,220  
 Fecha : 27 al 29 de Octubre de 2008  
 Referencia : Método 8,602,24 del Volumen 8 del MC

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento  
 Unidades: BPN

**Tramo Km. 5,725 - Km. 6,175**

KM	Pista	TEMPERATURA °C	Med.1	Med.2	Med.3	Med.4		Valor Corregido	Observaciones
						Promedio	Medición		
5,725	2	24°	46	45	45	46	0,46	0,47	mezcla tipo F-10
5,775	2	24°	45	45	46	46	0,46	0,47	mezcla tipo F-10
5,825	2	25°	44	44	44	44	0,44	0,45	mezcla tipo F-10
5,875	2	25°	42	42	43	43	0,43	0,44	mezcla tipo F-10
5,925	2	25°	44	44	43	43	0,44	0,45	mezcla tipo F-10
5,975	2	25°	44	45	45	44	0,45	0,46	mezcla tipo F-10
6,025	2	25°	49	50	49	50	0,50	0,51	mezcla tipo F-10
6,075	2	25°	43	43	44	44	0,44	0,45	mezcla tipo F-10
6,125	2	25°	43	43	44	44	0,44	0,45	mezcla tipo F-10
6,175	2	25°	44	43	44	44	0,44	0,45	mezcla tipo F-10

**ENSAYE CON EL PENDULO DE FRICCION**

**Camino : San Felipe - Los Andes; Ruta E-85**  
**Región : Quinta**  
**Sector : Km. 9,080 - Km. 9,620**  
**Fecha : 27 al 29 de Octubre de 2008**  
**Referencia : Método 8,602,24 del Volumen 8 del MC**

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento  
 Unidades: BPN

**Tramo Km. 9,100 - Km. 9,600**

KM	Pista	TEMPERATURA °C	Med.1	Med.2	Med.3	Med.4	Promedio		Valor Corregido	Observaciones
							Medición	Medición		
		Agua								
9,100	1	21°	48	47	47	48	0,48	0,48	0,48	mezcla tipo M-10
9,150	1	21°	52	52	53	52	0,52	0,52	0,52	mezcla tipo M-10
9,200	1	21°	51	51	51	51	0,51	0,51	0,51	mezcla tipo M-10
9,250	1	21°	50	51	51	51	0,51	0,51	0,51	mezcla tipo M-10
9,300	1	21°	49	49	50	50	0,50	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,350	1	21°	50	50	50	50	0,50	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,400	1	21°	54	55	55	55	0,55	0,55	0,55	mezcla tipo M-10
9,450	1	21°	42	42	43	43	0,43	0,43	0,43	mezcla tipo M-10
9,500	1	21°	43	45	44	44	0,44	0,44	0,44	mezcla tipo M-10
9,550	1	21°	45	45	44	45	0,45	0,45	0,45	mezcla tipo M-10
9,600	1	21°	45	44	44	45	0,45	0,45	0,45	mezcla tipo M-10

### ENSAYE CON EL PENDULO DE FRICCION

**Camino** : San Felipe - Los Andes; Ruta E-85  
**Región** : Quinta  
**Sector** : Km. 9,080 - Km. 9,620  
**Fecha** : 27 al 29 de Octubre de 2008  
**Referencia** : Método 8,602,24 del Volumen 8 del MC

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento  
 Unidades: BPN

#### Tramo Km. 9,125 - Km. 9,575

KM	Pista	TEMPERATURA °C	Med.1	Med.2	Med.3	Med.4		Promedio Medición	Valor Corregido	Observaciones
9,125	2	21°	49	49	49	49	49	0,49	0,49	mezcla tipo M-10
9,175	2	21°	49	50	50	50	50	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,225	2	21°	45	45	46	46	46	0,46	0,46	mezcla tipo M-10
9,275	2	21°	45	46	46	45	46	0,46	0,46	mezcla tipo M-10
9,325	2	21°	49	50	50	50	50	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,375	2	21°	45	45	44	45	45	0,45	0,45	mezcla tipo M-10
9,425	2	21°	49	49	50	50	50	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,475	2	21°	46	47	47	47	47	0,47	0,47	mezcla tipo M-10
9,525	2	21°	49	50	51	49	49	0,50	0,50	mezcla tipo M-10
9,575	2	21°	52	52	53	53	53	0,53	0,53	mezcla tipo M-10

## ANEXO D: MEDICIÓN DE IRI EN SAN FELIPE

Region:	V Region
Camino:	Mejoramiento Ruta E-85
Tramo:	Km 5.700 al Km 6.200
Pavimento:	Asfalto

Topónimo	Kilometro		IRI (m/Km)	IRI (m/Km)	IRI (m/Km)
	Desde	Hasta	Pista N° 1	Pista N° 1	Pista N° 1
			Sin Micro	Con Micro	
			Septiembre.2002	Octubre.2002	Agosto.2005
	5680	5690			1,4
	5690	5700			2,6
	5700	5710	0,7	0,8	1,1
	5710	5720	0,6	1,1	0,6
	5720	5730	1,0	1,1	1,4
	5730	5740	1,0	0,6	1,1
	5740	5750	2,3	0,8	0,9
	5750	5760	1,3	1,8	1,0
	5760	5770	0,8	1,4	1,0
	5770	5780	0,5	0,7	1,0
	5780	5790	0,6	0,6	0,4
	5790	5800	1,0	0,7	0,6
	5800	5810	0,8	0,7	0,6
	5810	5820	0,7	0,8	0,8
	5820	5830	0,5	1,1	0,6
	5830	5840	1,0	0,9	0,6
	5840	5850	1,7	1,0	0,9
	5850	5860	1,9	0,7	0,8
	5860	5870	1,1	0,9	1,2
	5870	5880	0,7	0,8	0,9
	5880	5890	0,9	0,7	1,2
	5890	5900	1,2	0,7	1,0
	5900	5910	0,9	0,9	1,1
	5910	5920	1,1	1,0	0,9
	5920	5930	1,5	1,0	0,9
	5930	5940	1,1	1,1	1,0
	5940	5950	1,9	0,7	0,6
	5950	5960	0,8	0,5	0,8
	5960	5970	0,7	0,6	0,7
	5970	5980	1,1	0,6	0,7
	5980	5990	0,9	0,7	0,5
	5990	6000	1,2	0,9	0,6
	6000	6010	0,9	0,9	0,8
	6010	6020	0,8	0,9	0,9
	6020	6030	1,0	0,8	0,5
	6030	6040	1,6	1,1	0,5
	6040	6050	1,3	1,2	0,7
	6050	6060	1,0	0,6	0,8
	6060	6070	1,2	0,9	0,7
	6070	6080	2,2	1,0	0,8
	6080	6090	1,9	0,8	0,8
	6090	6100	1,2	1,4	0,7
	6100	6110	0,8	1,0	1,3
	6110	6120	0,7	0,7	0,8
	6120	6130	1,7	0,7	0,7
	6130	6140	0,9	0,8	0,7
	6140	6150	0,7	1,1	0,9
	6150	6160	0,8	0,6	0,6
	6160	6170	1,5	0,6	0,5
	6170	6180	1,5	0,5	1,0
	6180	6190	0,8	1,4	1,1
	6190	6200	0,8		0,9

Region:	V Region
Camino:	Mejoramiento Ruta E-85
Tramo	Km 5.700 al Km 6.200
Pavimento:	Asfalto

Topónimo	Kilometro		IRI (m/Km)	IRI (m/Km)	IRI (m/Km)
	Desde	Hasta	Pista N°2	Pista N°2	Pista N°2
			Sin Micro	Con Micro	
			Septiembre.2002	Octubre.2002	Agosto.2005
	6200	6190	1,0	0,7	0,8
	6190	6180	0,6	1,6	0,9
	6180	6170	1,7	2,0	2,9
	6170	6160	1,0	1,2	1,5
	6160	6150	0,7	0,8	0,7
	6150	6140	0,7	1,4	0,8
	6140	6130	1,0	1,4	0,4
	6130	6120	2,7	1,5	0,6
	6120	6110	1,6	1,2	1,2
	6110	6100	0,9	0,7	1,2
	6100	6090	0,6	0,6	1,1
	6090	6080	0,8	0,9	1,5
	6080	6070	1,5	1,0	1,8
	6070	6060	1,1	0,9	0,7
	6060	6050	0,7	1,2	1,0
	6050	6040	1,0	1,2	0,6
	6040	6030	1,6	0,9	0,6
	6030	6020	1,4	0,7	0,7
	6020	6010	0,7	0,6	0,9
	6010	6000	0,7	0,8	1,4
	6000	5990	0,7	0,8	1,9
	5990	5980	0,9	0,9	0,7
	5980	5970	0,5	0,9	0,8
	5970	5960	1,2	1,9	0,7
	5960	5950	1,7	1,3	0,7
	5950	5940	1,0	1,0	0,7
	5940	5930	2,9	0,6	0,8
	5930	5920	0,9	0,8	0,7
	5920	5910	0,6	0,7	1,2
	5910	5900	1,0	1,2	0,7
	5900	5890	1,4	1,0	0,7
	5890	5880	0,7	1,5	0,8
	5880	5870	1,3	1,1	0,5
	5870	5860	0,9	0,8	0,7
	5860	5850	1,9	0,7	0,8
	5850	5840	0,8	0,9	0,8
	5840	5830	1,1	1,0	1,2
	5830	5820	0,8	0,7	0,9
	5820	5810	0,7	1,3	0,9
	5810	5800	1,7	1,4	0,7
	5800	5790	0,9	0,8	0,5
	5790	5780	0,5	0,9	0,3
	5780	5770	1,0	0,6	0,5
	5770	5760	1,5	0,6	0,8
	5760	5750	1,4	0,6	1,4
	5750	5740	0,8	0,9	0,8
	5740	5730	0,7	0,7	0,7
	5730	5720	1,1	1,2	1,2
	5720	5710	2,1	1,0	2,1
	5710	5700	1,5	1,2	
	5700	5690			1,4
	5690	5680			0,8

Region:	V Region
Camino:	Mejoramiento Ruta E-85
Tramo	Km 9.600 al Km 9.100
Pavimento:	Asfalto

Topónimo	Kilometro		IRI (m/Km)	IRI (m/Km)	IRI (m/Km)
	Desde	Hasta	Pista N° 1	Pista N° 1	Pista N° 1
			Sin Micro	Con Micro	
			Septiembre.2002	Octubre.2002	Agosto.2005

	9100	9110	1,3	2,1	1,0
	9110	9120	0,8	1,6	1,1
	9120	9130	0,7	1,5	0,9
	9130	9140	0,8	1,6	0,9
	9140	9150	1,0	1,9	1,6
	9150	9160	2,0	1,2	0,9
	9160	9170	1,1	1,1	1,2
	9170	9180	1,0	1,2	1,5
	9180	9190	1,0	1,2	0,6
	9190	9200	0,6	0,9	1,5
	9200	9210	1,5	2,1	1,7
	9210	9220	1,4	2,5	1,8
	9220	9230	1,4	1,6	1,0
	9230	9240	1,2	1,1	0,9
	9240	9250	1,2	0,6	0,5
	9250	9260	0,8	0,7	0,7
	9260	9270	1,2	0,7	0,6
	9270	9280	1,8	1,2	0,7
	9280	9290	0,9	0,6	0,8
	9290	9300	0,7	0,4	0,7
	9300	9310	1,1	0,7	1,4
	9310	9320	0,8	0,7	1,6
	9320	9330	0,6	0,9	1,3
	9330	9340	0,7	0,5	0,5
	9340	9350	0,6	0,6	0,6
	9350	9360	1,7	0,7	0,5
	9360	9370	0,8	0,7	0,5
	9370	9380	0,7	0,6	1,0
	9380	9390	1,7	0,9	1,2
	9390	9400	2,2	1,2	1,1
	9400	9410	0,7	0,6	0,9
	9410	9420	1,1	0,6	0,6
	9420	9430	0,7	0,7	2,1
	9430	9440	0,7	1,2	1,1
	9440	9450	1,1	1,0	1,4
	9450	9460	1,8	1,1	1,0
	9460	9470	1,4	1,3	0,6
	9470	9480	1,7	1,0	0,9
	9480	9490	1,0	1,0	1,2
	9490	9500	1,5	1,2	1,4
	9500	9510	2,0	0,8	1,2
	9510	9520	1,3	1,0	0,9
	9520	9530	1,3	0,7	0,9
	9530	9540	1,6	1,4	2,9
	9540	9550	1,8	1,5	2,0
	9550	9560	1,4	1,3	2,3
	9560	9570	0,9	1,2	0,8
	9570	9580	0,6	0,7	1,2
	9580	9590	0,9	0,8	1,3
	9590	9600	1,3	0,8	0,9

Region:	V Region
Camino:	Mejoramiento Ruta E-85
Tramo	Km 9.600 al Km 9.100
Pavimento:	Asfalto

Topónimo	Kilometro		IRI (m/Km)	IRI (m/Km)	IRI (m/Km)
	Desde	Hasta	Pista N°2	Pista N°2	Pista N°2
			Sin Micro	Con Micro	
			Septiembre.2002	Octubre.2002	Agosto.2005

	9600	9590	0,5	1,4	1,2
	9590	9580	1,0	2,3	0,8
	9580	9570	2,4	2,2	1,2
	9570	9560	1,1	1,2	0,8
	9560	9550	1,0	1,5	0,8
	9550	9540	0,9	0,9	0,9
	9540	9530	1,0	0,7	0,6
	9530	9520	1,1	0,6	0,8
	9520	9510	0,8	0,7	0,6
	9510	9500	1,0	0,7	1,2
	9500	9490	0,9	1,3	0,9
	9490	9480	2,5	1,0	1,0
	9480	9470	0,8	0,8	0,8
	9470	9460	0,8	0,6	1,0
	9460	9450	1,0	0,9	1,2
	9450	9440	0,9	1,1	0,9
	9440	9430	1,0	0,6	0,8
	9430	9420	0,7	0,8	0,8
	9420	9410	0,9	0,8	0,9
	9410	9400	2,0	1,2	0,7
	9400	9390	1,9	1,1	0,9
	9390	9380	0,9	0,9	0,9
	9380	9370	0,8	1,4	1,2
	9370	9360	0,7	1,9	0,9
	9360	9350	2,9	1,3	0,9
	9350	9340	1,4	0,9	1,0
	9340	9330	0,7	0,9	0,7
	9330	9320	0,8	1,0	1,0
	9320	9310	1,2	1,4	1,8
	9310	9300	1,8	1,4	1,8
	9300	9290	1,2	1,4	1,2
	9290	9280	1,5	2,1	0,9
	9280	9270	2,5	1,5	0,7
	9270	9260	2,3	1,3	0,7
	9260	9250	1,1	1,3	0,7
	9250	9240	0,7	0,8	1,2
	9240	9230	1,1	0,6	1,2
	9230	9220	0,8	0,5	1,0
	9220	9210	0,8	0,5	1,1
	9210	9200	1,1	0,8	1,6
	9200	9190	1,2	1,0	0,9
	9190	9180	1,4	1,1	0,7
	9180	9170	1,3	0,7	1,0
	9170	9160	0,8	0,6	0,9
	9160	9150	1,0	0,7	0,9
	9150	9140	0,7	1,4	0,8
	9140	9130	1,1	0,7	0,5
	9130	9120	0,9	0,5	0,7
	9120	9110	0,8	0,7	0,9
	9110	9100	0,9	0,7	1,5

## ANEXO E: ENSAYOS Y HERRAMIENTAS DE AUSCULTACION DE PAVIMENTOS



Figura E.1: Péndulo TRRL



Figura E.2: Maquina SCRIM



Figura E.3: Ensayo del círculo de Arena