



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Departamento de Ingeniería Civil

FORMULACION DE UN PROYECTO DE SEGUIMIENTO PARA
CARPETAS DE RODADURAS DE MICROAGLOMERADOS
DISCONTINUOS EN CALIENTE

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

CARLOS FELIPE FERNANDEZ OLIVARES

PROFESOR GUIA
FEDERICO DELFIN ARIZTIA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
DAVID CAMPUSANO BROWN
GUSTAVO GONZALEZ REVECO

SANTIAGO DE CHILE
2007

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
POR: CARLOS FERNANDEZ O.
FECHA: 23/10/2007
PROF. GUIA: Sr. FEDERICO DELFIN A.

“FORMULACION DE UN PROYECTO DE SEGUIMIENTO PARA CARPETAS DE RODADURAS DE MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE”

La importancia de contar con pavimentos en buen estado, siempre ha estado presente en la mantención de caminos. Esto se refleja en el porcentaje que se considera en la inversión en manutención de carreteras, el cual llega hasta aun 5% del patrimonio. El alto estándar que se exige actualmente a las carreteras ha impulsado el desarrollo de nuevos tratamientos y técnicas de mantención. Una de las técnicas que presentan mejores índices de desempeño y de amplio uso en Europa, son las denominadas mezclas finas de bajo espesor.

Los microaglomerados discontinuos en caliente, corresponde una de estas mezclas finas, para la cual se cuenta con una especificación en el Manual de Carreteras en Chile. Sin embargo, se han realizado escasas experiencias que puedan validar su efectividad para las condiciones imperantes en Chile.

Así, el objetivo de esta memoria consiste en la formulación de un proyecto de investigación para evaluar la solución de mantención con microaglomerados discontinuos en caliente, como carpeta de rodadura de alto desempeño. En él se entregan las consideraciones generales, especificaciones y costos de realización de una experiencia a escala real, utilizando distintos tipos de mezclas.

El proyecto consiste básicamente, en realizar una experiencia en un período de 3 años, en el que se construirían 12 tramos de 200 metros cada uno, en donde se utilizarían 3 tipos de ligantes asfálticos (asfalto convencional, asfalto con fibras y asfalto modificado con polímeros). Además, se considerarán variaciones granulométricas para los distintos microaglomerados considerados en el estudio. El costo contemplado para realizar este proyecto es de 185 millones, el que se financiaría con fondos del CORFO, IDIEM, LNV y empresa concesionaria de carreteras.

El mayor objetivo de este proyecto es impulsar el uso de esta solución como mantención de pavimentos, debido a la gran cantidad de ventajas económicas y de calidad que posee.

Agradecimientos

La realización de esta investigación no hubiese sido posible sin el apoyo de muchas personas que a lo largo de estos meses confiaron en la realización del proyecto.

Quisiera agradecer al profesor Federico Delfín por su inmensa dedicación, paciencia y tiempo entregado hacia la memoria.

Además, quisiera agradecer a todas aquellos profesores, secretarias, compañeros y colegas, quienes desinteresadamente me han facilitado la obtención de información de vital importancia para la formulación del proyecto.

Finalmente, agradecer a mi familia, amigos, y a quienes con su constante apoyo contribuyeron a la consecución de este trabajo.

Carlos Felipe Fernández Olivares

INDICE

Capítulo 1: Introducción.....	6
1.1 Introducción	6
1.2 Presentación del Problema	7
1.3 Justificación del Proyecto.....	7
1.4 Problema de Investigación	8
1.5 Objetivos	8
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos Específicos.....	9
1.6 Metodología	9
Capítulo 2: Antecedentes.....	10
2.1 Antecedentes Generales.....	10
2.1.1 Mantenimiento Vial	10
2.2 Microaglomerados discontinuos en caliente	13
2.2.1 Introducción	13
2.2.2 Estado del Arte	16
Capítulo 3: Diseño del Proyecto.....	18
3.1 Descripción	18
3.2 Ubicación	19
3.3 Objetivos Específicos del Proyecto.....	20
3.4 Estrategia Institucional.....	21
3.5 Organización y administración del proyecto.....	21
3.5.1 Definición de Cargos.....	23
3.6 Resultados e Impactos del Proyecto.....	23
3.7 Metodología	24
3.7.1 Revisión Bibliográfica y Estudios Preliminares	24
3.7.2 Investigación de Laboratorio.....	26
3.7.3 Diseño de Mezcla asfáltica	32
3.7.4 Construcción de tramos de prueba	36
3.7.5 Programa de seguimiento	39

3.8 Carta Gantt	43
Capítulo 4: Presupuesto.....	46
Capítulo 5: Comentarios y Conclusiones.....	49
5.1 Comentarios.....	49
5.2 Conclusiones	50
Glosario.....	52
Bibliografía.....	54
Anexos	56
Anexo 1: Actualización a Manual de Carreteras	57
Anexo 2: Bandas Granulométricas	58
Anexo 3: Detalle de Precios.....	61
Anexo 4: Tiempo de Compactación.....	64
Anexo 5: Sistema PAVER.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Etapa 1: Revisión Bibliográfica y Estudios Preliminares.....	26
Tabla 3.2 Categorías de Tráfico Pesado	27
Tabla 3.3 Requisitos de los áridos para proporción de finos arcillosos	27
Tabla 3.4 Requisitos para el árido gruesos	28
Tabla 3.5 Requisitos para el árido fino	29
Tabla 3.6 Proporciones mínimas de filler de aportación.....	29
Tabla 3.7 Requisitos para el relleno mineral	29
Tabla 3.8 Bandas Granulométricas	30
Tabla 3.9 Especificación para cementos asfáltico modificado con polímeros	30
Tabla 3.10 Especificación para cementos asfálticos convencionales	31
Tabla 3.11 Etapa 2: Investigación de Laboratorio	31
Tabla 3.12 Exigencias para Mezclas F.....	33
Tabla 3.13 Exigencias para Mezclas M.....	34
Tabla 3.14 Máximo velocidad de deformación en el intervalo de 105-120 minutos	34
Tabla 3.15 Composición y dotación de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente.....	35
Tabla 3.16 Etapa 3: Diseño Mezcla Asfáltica	36
Tabla 3.17: Construcción de tramos de Prueba	39
Tabla 3.18 Frecuencias de mediciones	43
Tabla 3.19 Etapa 5	43
Tabla 4.1 Presupuesto	46
Tabla 4.2 Financiamiento	46
Tabla 4.3 Honorarios.....	47
Tabla 4.4 Contratos.....	47
Tabla 4.5 Equipos	48
Tabla 4.6 Infraestructura	48
Tabla 4.7 Fungibles.....	48
Tabla 4.8 Gastos Generales e Imprevistos	48
Tabla A.1 Actualización a Volumen N°5 del Manual de Carreteras, versión 2003	57
Tabla A2.1 Granulometrías Europeas para mezclas discontinuas en caliente.....	58
Tabla A3.1 Precio Materiales	61

Tabla A3.2 Precios de Ensayos I	62
Tabla A3.3 Precio de Ensayos II	63

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Índice de Serviciabilidad.....	11
Figura 3.1 Sector Angostura.....	19
Figura 3.2 Sector Acceso Sur Chillan.....	20
Figura 3.3 Organización General	22
Figura 3.4 Estructura de Trabajo.....	22
Figura 3.5 Metodología	24
Figura 3.6 Tipos de Asfaltos y granulometrías	32
Figura 3.7 Carta Gantt.....	45
Figura A2.1 Banda Granulométrica M8 y BBTM 0/10	59
Figura A2.2 Banda Granulométrica M10 y BBTM 0/10	59
Figura A2.3 Banda Granulométrica F8 y BBTM 0/10	60
Figura A2.4 Banda Granulométrica F10 y BBTM 0/10	60
Figura A4.1 Tiempo de compactación vs Espesor de capa	64

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

El uso del asfalto y sus derivados (materiales bituminosos) ha tenido un importante desarrollo en nuestro país en las últimas dos décadas. Debido a esto, se ha ido incrementando el conocimiento y uso de estos materiales, convirtiéndose en el tipo de pavimento más utilizado. Actualmente corresponde a un 85% de la Red Vial Nacional de los caminos pavimentados¹.

Con el sistema actual de concesiones que existe en nuestro país, ha ido también en aumento la innovación tecnológica en la construcción de carreteras, como así el ingreso de nuevas maquinarias y materiales, permitiendo un acercamiento a los niveles de los países desarrollados.

Sin embargo, paralelamente en los últimos años Chile ha experimentado un crecimiento en su parque automotriz, tanto en variedad y cantidad, lo que obliga a desarrollar investigación sobre nuevos materiales, diseños, normativas y procesos constructivos, para garantizar el buen desempeño de los pavimentos.

El desempeño de un pavimento depende de su condición estructural, que es la capacidad de soporte del pavimento desde el punto de vista de las sollicitaciones de carga, y también depende de su condición funcional, que es la percepción del usuario con respecto a la seguridad y confort. Por esto el mantenimiento preventivo y técnicas de rehabilitación de superficies han adquirido gran importancia, las cuales deben ser investigadas en nuestro país, para asegurar un desempeño óptimo de los pavimentos durante sus años de servicio. Es en esta línea de investigación se orienta esta memoria.

¹ Departamento de Gestión Vial, “Valor del Patrimonio Vial de la Red Vial Nacional – Año 2005”.

1.2 Presentación del Problema

Los pavimentos durante su vida de servicio, debido a las solicitaciones del tráfico y clima, están expuestas sus diversas capas a distintas fallas: agrietamientos, envejecimiento, desprendimientos y deformaciones, entre otros, que son los tipos de fallas más comunes en los pavimentos asfálticos.

Las fallas pueden ser causadas por altas o bajas de temperaturas o por efecto de la humedad, por el tráfico, o por asentamientos en el suelo subyacente o adyacente.

Dentro de los objetivos de conservación, la detección y reparación sistemática de los deterioros incipientes y síntomas de falla es sin lugar a dudas el trabajo más importante, porque se necesita una mantención activa y eficiente, la que debe llevarse a cabo con el mínimo gasto e interrupción del tráfico.

1.3 Justificación del Proyecto

La restauración de carreteras deterioradas cuesta entre tres y cinco veces más de lo que habría costado el mantenimiento oportuno², e incluso hay ocasiones en que la reparación pasa a ser equivalente a una reconstrucción, por lo que se han intensificado esfuerzos por contar con técnicas de mantención efectivas que permitan asegurar un buen funcionamiento.

El desarrollo de experiencias por introducir mejoras en los métodos de conservación de pavimentos se ha venido realizando en países desarrollados, con la intención de determinar los efectos de las cargas de tráfico, medio ambiente, propiedades de los materiales y su variabilidad, calidad de construcción, niveles de mantención y desempeño, entre otros, para así obtener información que permita bajar los costos de mantención y asegurar un eficiente desempeño durante el tiempo de vida útil de los pavimentos.

Entre las soluciones de conservación que más se están utilizando en países tales como Francia, España, Alemania, etc., son las que utilizan mezclas finas en carpetas delgadas superficiales, las cuales se caracterizan por restituir el nivel de serviciabilidad de carreteras, especialmente en los aspectos de rugosidad (IRI), fricción, proyección de agua, ruido, etc.

² El Deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo. Causas y Soluciones. Estudio de Políticas del Banco Mundial. 1988.

Esta tendencia de reducir los espesores de las capas de rodadura se refleja en las especificaciones vigentes a nivel internacional. Francia es un ejemplo, en donde se ha empleado las mezclas finas (BBTM³), como la técnica de referencia para capa de rodadura; eso se debe a su buen comportamiento en general. Además se estima que Francia ahorra 60 millones de euros anuales⁴ en gastos de mantenimiento de la red nacional, gracias al uso de las mezclas finas frente a las técnicas convencionales.

Uno de los tipos de mezclas finas, denominado microaglomerado discontinuo en caliente, se caracteriza por un tamaño máximo de partículas no mayor de 12mm, una distribución granulométrica discontinuas, donde se eliminan tamaños intermedios, manteniendo un fuerte esqueleto mineral de partículas cúbicas en contacto entre sí. La mezcla logra una alta resistencia frente a las deformaciones plásticas, una gran textura y una buena durabilidad.

Actualmente nuestro país cuenta con una especificación técnica de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, que se basa en las Especificaciones Españolas. Sin embargo, la utilización de esta solución no ha sido aún significativa en nuestro país, debido a que no han existido incentivos para ocuparla, porque hay un bajo conocimiento sobre su desempeño y además, el costo de construcción sería que el de mezclas convencionales utilizadas en recarpeteos.

1.4 Problema de Investigación

Esta memoria tiene por objeto formular un proyecto de investigación, para el estudio de la evolución del nivel de desempeño de las mezclas asfálticas del tipo microaglomerados discontinuos en caliente como carpeta de rodadura en autopistas. Es decir, se presentarán los fundamentos del diseño, las especificaciones, costos y consideraciones generales, para llevar a efecto una investigación a escala de tramos de prueba, en una autopista concesionada.

1.5 Objetivos

³ BBTM : Béton Bitumineus Très Mince.

⁴ Lesueur, Didier, 2005, "Panorámica Francesa de las Mezclas Bituminosas. Desarrollos Recientes", 1° Jornada Técnica de ASEFMA.

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar un proyecto de seguimiento en el tiempo, para estudiar la evolución de carpetas delgadas en base a microaglomerados discontinuos en caliente, en donde se recoja información experimental, sobre comportamiento en servicio y mediante la cual se verifiquen los criterios de diseño y su real efectividad técnica y económica.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Plantear una estrategia institucional, con el Concesionario de la Autopista, Laboratorio Nacional de Vialidad e IDIEM, para investigar las técnicas de preservación.
- Planificar las etapas y actividades del programa de seguimiento.
- Cuantificar costos involucrados en las distintas etapas contempladas en el proyecto.

1.6 Metodología

- Recopilación y análisis de los tipos de soluciones para mantención y tratamientos de pavimentos asfálticos, buscando información de experiencias realizadas en Chile y en el extranjero.
- A partir de la recopilación de datos, clasificar y seleccionar las mezclas finas de bajo espesor que se utilizan como solución de mantención en el presente proyecto.
- Hacer un sondeo de la factibilidad técnica de la solución de microaglomerados discontinuos en caliente para la conservación de las autopistas nacionales.
- El diseño del programa experimental, tendrá como referencia las experiencias realizadas en el extranjero, adaptándolas a los objetivos del presente proyecto.

Capítulo 2: Antecedentes

2.1 Antecedentes Generales

2.1.1 Mantenimiento Vial

La importancia de contar con caminos adecuados, genera la necesidad de administrar un sistema de mantenimiento vial, que permite preservar su condición original en forma eficiente, considerando todos los elementos que conforman un camino.

Cuando una red vial no es conservada eficientemente, esta se ve afectada en los siguientes factores de desempeño:

- Comodidad y seguridad del viaje.
- Costos de operación.
- Tiempos de viaje de los vehículos.
- Inversión en los procesos de restauración.

Lo anterior obliga a plantearse la interrogante de cuándo y cuanto intervenir y cómo medir la eficiencia de la solución adoptada.

El criterio más usado es la serviciabilidad, concepto establecido por AASHTO⁵, que se define como la capacidad de un pavimento para servir al tránsito para el cual fue diseñado. La serviciabilidad comprende la capacidad funcional y estructural. En la Figura 2.1 se muestra el índice de serviciabilidad, el cual refleja como se va deteriorando un pavimento en el tiempo.

⁵ AASHTO: American Association of State Highways and Transportation Officials

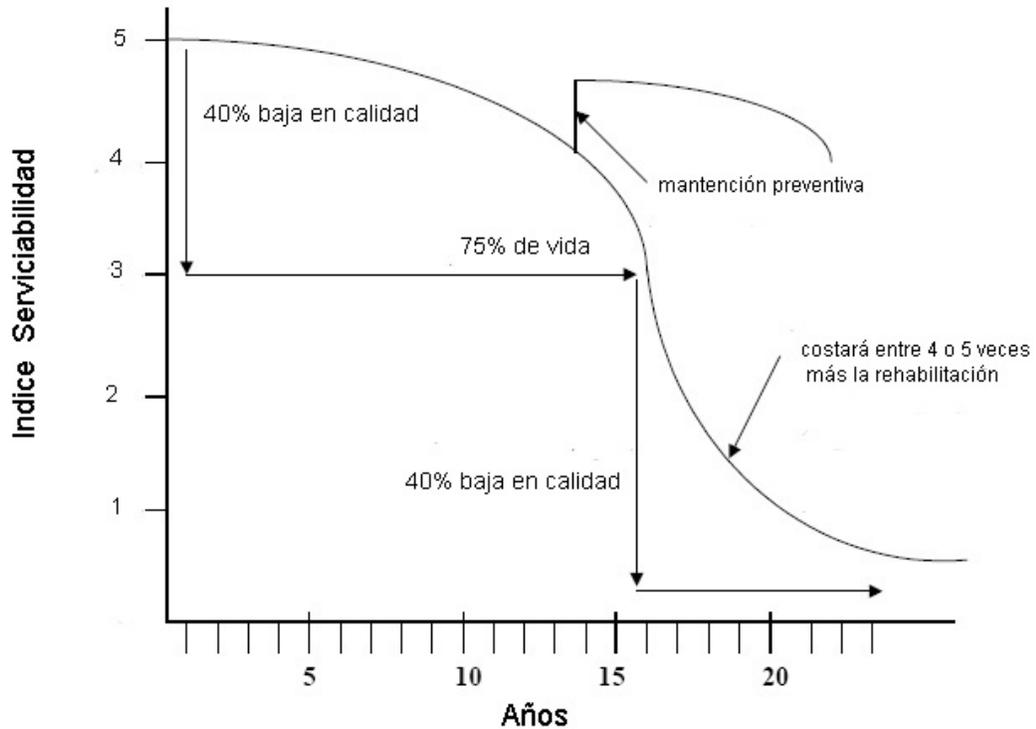


Figura 2.1 Índice de Serviabilidad

2.1.1.1 Serviabilidad Funcional

La serviabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario. Por lo tanto, se relaciona fundamentalmente con la rugosidad o, más exactamente, con la regularidad que presenta la superficie y que, en una carretera bien diseñada, es el principal factor que define el nivel de la serviabilidad funcional que presta.

Son muchos los tipos de degradaciones superficiales que pueden darse en una capa de rodadura, estos se pueden agrupar en tres tipos:

- Fisuraciones
- Deformaciones
- Degradaciones Superficiales(textura)

Fisuraciones

Las fisuras aparecen de muchas formas. En algunos casos el tratamiento correcto puede ser el llenado o sellado de las fisuras simples; en otros puede ser necesaria la remoción completa del área afectada y ejecución del drenaje, reconstrucción de bases antes de efectuar las reparaciones efectivas. Para realizar las mejoras adecuadas, se deben determinar las causas del agrietamiento.

El objetivo primordial a la hora de combatir las fisuras es evitar la entrada de agua a las capas inferiores del pavimento, ya que se presentarían problemas como: el deterioro en los bordes de la grieta, degradación de la capa de rodadura, degradación del núcleo y disminución de la vida útil.

Las fisuras más comunes se clasifican en:

- Fisuras longitudinales y transversales
- Fisuras en juntas de construcción
- Fisuras de reflexión
- Fisuras de borde
- Fisuras en bloque
- Piel de cocodrilo

Deformaciones

La deformación de la carpeta es el resultado de la debilidad estructural del pavimento o del movimiento del suelo de la subrasante, donde ha tenido lugar la compactación o donde se ha compactado la base. Puede o no estar acompañada de grietas, pero en cualquier circunstancia, produce un riesgo para el tráfico. Las deformaciones más comunes son:

- Ahuellamiento
- Corrugación
- Desplazamiento
- Depresiones

Degradaciones Superficiales

Es el tipo de falla que menos se denuncia, debido a que no son defectos estructurales, sin embargo, influye de manera negativa en la seguridad y confort. Estas causan un efecto significativo en la serviciabilidad del pavimento y su resistencia al deslizamiento. Los tipos más comunes son:

- Desgaste superficial
- Pérdida de agregado
- Exudación de asfalto
- Pulimento (Polishing)
- Envejecimiento

2.1.1.2 Serviciabilidad Estructural

Representa la condición física en que se encuentra el pavimento; depende de las grietas y otras fallas presentes que afectan adversamente la capacidad para soportar el tránsito que debe servir. Es decir, se refiere a las fallas de fondo, que alteran o reducen la capacidad estructural del pavimento. Su rehabilitación debe restaurar la capacidad inicial para el cual el diseño fue realizado. Los tipos más comunes son:

- Descascaramiento
- Baches

2.2 Microaglomerados discontinuos en caliente

2.2.1 Introducción

La técnica de los microaglomerados discontinuos en caliente es antigua, siendo usada en los años 40 en trabajos de conservación de vías urbanas. Se trataba de mezclas muy finas, compuestas por polvo mineral y arenas naturales, en las que se utilizaban como ligantes asfaltos blandos diluidos en solvente. Con estas mezclas se pretendía una mejor trabajabilidad y flexibilidad que las que poseen las mezclas normales.

Dentro de estas mezclas asfálticas de textura fina que alcanzaron cierto desarrollo están: los Sand Asphalt y Sheet Asphalt estadounidense, los Fine Cold Asphalt ingleses y los morteros activados (Tapisable y Composable)⁶.

Sand Asphalt correspondía a un microaglomerado de macrotextura fina, compuesto por una arena total o parcialmente chancada, con un porcentaje de material que pasa por el tamiz de 8 mm entre un 50% y 60%, polvo mineral entre un 3% y 12% y un asfalto blando, de penetración 100/200 para tráfico medio bajo y 60/70 para tráfico pesado. El contenido de ligante en la mezcla era de alrededor de un 8%.

Los Fine Cold Asphalt ingleses utilizaban áridos provenientes de escoria de alto horno y asfaltos blandos o cut backs. Eran mezclas muy finas con contenido de polvo mineral de alrededor del 15%, con muy baja macrotextura cerrada obtenida a través de partículas pre-envueltas.

En España y Francia fueron muy usados en los años 60' los morteros activados. Sus componentes eran áridos duros chancados y una proporción muy elevada de arenas naturales (60%-65%). Poseían una granulometría continua, elevado contenido de polvo mineral (8%-12%) y alto contenido de ligante (6%-8%).

Con posterioridad al desarrollo de las mezclas finas, se introdujeron granulometrías discontinuas, las que fueron denominadas como "mezclas discontinuas en caliente", desarrolladas en Alemania (SMA), buscando mezclas de alto desempeño con contenidos elevados de betún. En Francia se modificó el diseño reduciendo el contenido de betún para conseguir mezclas con mayor textura. Estas se utilizaron por primera vez en España en 1985, las cuales se normalizaron finalmente en 1996.

Se definen como mezclas asfálticas discontinuas en caliente, aquellas mezclas confeccionadas con árido de tamaño máximo absoluto de 12,5 mm, que se colocan en una capa de espesor promedio menor o igual a 2,5 veces el tamaño máximo señalado (entre 1,5 y 3 cm). La utilización de estas mezclas en las carpetas de rodadura está encaminada fundamentalmente a proporcionar o restituir las características superficiales del firme, sin pretender conseguir un aumento de su capacidad estructural. No obstante, la aplicación de una capa fina contribuye de alguna manera a mejorar esta capacidad estructural, no sólo debido a su espesor, sino porque proporciona una impermeabilización al soporte que, en muchos casos, mejorará notablemente el comportamiento de la sección estructural.

La discontinuidad que se nombra es entre 2 y 6 mm, manteniendo un fuerte esqueleto de áridos gruesos y un contenido suficiente de mortero que rellena los huecos entre áridos gruesos. Esta dosificación permite una buena resistencia, gran textura y mantiene la durabilidad de la mezcla al tener un contenido elevado de betún y

⁶ Gordillo, J. " Pavimentos urbanos con mezclas bituminosas especiales ". 1990

mortero; debido a todo lo anterior facilita la compactación en capas de pequeño espesor.

Se especifican dos tipos de mezclas discontinuas en caliente, las mezclas tipo F (capas finas), con espesores entre los 2,0 y 3,8 cm; y tipo M (monogranulares), más finas y extendidas en capas entre 1,0 y 2,5 cm de espesor. Estas se caracterizan por tener un elevado contenido de árido grueso (70%-80%), que asegura un buen rozamiento interno. Otra característica importante es que el filler o polvo mineral es elevado, necesitando comúnmente filler de aportación. Estas mezclas se diseñan por el método Marshall y Cantabro según sea el tipo.

La mezcla Tipo M necesita un contenido de asfalto mayor a 5% y para las Tipo F un 5,5%. Pero el empleo de un alto contenido de asfalto podría hacer peligrar la estabilidad de la mezcla y provocar exudación. Para evitar este problema se ha recurrido al empleo de asfaltos modificados por polímeros o a la incorporación de fibras, consiguiendo al mismo tiempo mejorar la cohesión de la mezcla.

Estas mezclas necesitan riegos de liga espesos, tantos para poder asegurar un buen agarre, ya que la interfase entre las capas está sometida a esfuerzos importantes, como para conseguir impermeabilizar el firme, ya que generalmente no se consigue con la rodadura. Las capas tipo M son las que presentan características más extremas y por lo tanto son las más necesitadas de un riego de liga espeso.

Las principales formas de falla de estas carpetas son las exudaciones o pérdida de textura por exceso de riego de liga, exceso de betún en la mezcla o ambos, ligeras deformaciones plásticas en algún caso en que se dosifican con contenidos de mortero elevados, pérdidas de gravillas relacionadas generalmente con la calidad de las arenas o falta de discontinuidad en la granulometría (la falta de discontinuidad en la granulometría, muy frecuente y especialmente grave en las mezclas tipo F, puede producir también pérdida de textura).

Las principales características de estas mezclas⁷, que las destacan respecto de las mezclas asfálticas tradicionales son:

- Mejores condiciones de seguridad, dadas por su macro-rugosidad, que ofrecen al usuario del camino una superficie muy segura tanto a altas como bajas velocidades; buena drenabilidad superficial en tiempo de lluvia, que impide la formación de una película de agua continua cuando las precipitaciones no son muy altas, y excelente comportamiento frente al deslizamiento.
- Excelente sensación de confort, debido a su baja sonoridad y mejora de la regularidad de la textura. La sonoridad es una característica que ha adquirido

⁷ Ruiz, Aurelio. "Panorámica Española de las Mezclas Bituminosas. Desarrollos Recientes. Consideraciones de Futuro", Centro de Estudios del Transporte del CEDEX.

cada vez más importancia, ya que se traduce en confort para los usuarios y comunidad. Al utilizar estas mezclas se reduce el ruido de rodadura en 1,5 a 2,0 dB para pavimento seco y de 2,0 a 4,0 dB para pavimento mojado respecto de las tradicionales carpetas de rodadura.

- Mayor durabilidad por presentar una muy buena resistencia al envejecimiento y excelente comportamiento a la deformación y a la fisuración, debido a su elevado contenido en ligante, traduciéndose esto en la conservación de sus características mecánicas en un intervalo de temperatura amplio y en duraciones superiores a los ocho años sin tratamiento alguno.

2.2.2 Estado del Arte

En Chile las experiencias de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente han sido escasas, algunas de ellas son:

- En la V región de Valparaíso, provincia de Los Andes, Sector Tocornal, Ruta E – 85. Se realizaron 2 tramos de 500 metros, una tipo F10 y la otra M10.
- En la VIII región del Biobío, provincia de Concepción, Ruta Cabrero Concepción (Ruta Q-50). Se realizó 1 tramo de 300 metros, del tipo F10.
- En la Autopista del Aconcagua, han realizado varios sectores con la solución a estudiar. Se han construido mezclas del tipo M8 y M10 respectivamente.

También se encuentra el Trabajo de Título realizado por Sergio Vargas en año 2000, el cual tiene como título “Introducción a la tecnología de los microaglomerados asfálticos en frío y discontinuos en caliente”.

En Europa la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, es de uso habitual, por lo que no se encuentra en una etapa de estudio como solución de mantención.

En cambio en nuestro continente se han desarrollado varias investigaciones, las cuales han logrado buenos resultados:

- Loría, Guillermo. 2006. “Investigación: Microaglomerados en caliente para capas de rodadura”, Revista Infraestructura Vial del LANAMME de Costa Rica N°15: 4-10. En esta investigación se analizaron los desempeños de las granulometrías F8, F10 y M10, para microaglomerados en caliente, en los ensayos Wheel Tracking Test, ensayo de resistencia retenida a la compresión uniaxial y a la tensión diametral. Los resultados concluyeron que los

microaglomerados presentan una alta resistencia ante la deformación permanente y además se demostró la influencia de los agregados cúbicos sobre la resistencia a las deformaciones.

- Nunes, Patrícia. 2006. “Estudo da utilização de revestimentos asfálticos delgados a quente para pavimentos tipo BBTM no Brasil”, Tese de Doctor em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. En esta Tesis se estudia las carpetas de rodadura BBTM, para su futura ejecución en Brasil. El análisis de la carpeta BBTM se realizó bajo el diseño francés, el cual se basó en los ensayos Prensa Giratoria (PCG), Inmersión-Compresión y Wheel Tracking Test, además de considerar el ensayo Cantabro como suplementario. Los resultados fueron satisfactorios ya que se obtuvo buena resistencia a la deformación permanente y poca alteración de macrotextura.
- Nougués, Felipe. 2006. “La experiencia Argentina en la construcción de pavimentos asfálticos con mezclas no convencionales”, 3° Simposio Venezolano del Asfalto. En este trabajo se presenta una síntesis de distintos tipos de mezclas asfálticas no convencionales, aplicadas en distintas autopistas y arterias principales de la Ciudad de Buenos Aires. Una de las mezclas asfálticas no convencionales es la mezcla de microaglomerado, la cual tuvo un buen comportamiento frente al ruido generado por los neumáticos, esto se debió a su elevada macrotextura que actúa como disipadoras de energía.

Capítulo 3: Diseño del Proyecto

3.1 Descripción

El proyecto consiste en desarrollar una experiencia a escala de tramos de prueba en una autopista de alto tráfico, para estudiar el comportamiento de la solución de mantención que utiliza microaglomerados discontinuos en caliente. Se contempla la construcción de 12 tramos de prueba en total con diferentes mezclas, los cuales se subdividen en 2 sectores, sobre los que se realizaría un seguimiento en un período de tres años.

Las mezclas de microaglomerados discontinuos a estudiar comprenden los dos tipos, Finas (F) y Monogranulares (M), que establece la práctica y especificaciones españolas en cuanto a durabilidad y funcionalidad.

El segundo aspecto a estudiar es el tipo de asfalto, a utilizar en estas mezclas. Este proyecto se considerará la utilización del asfalto convencional, debido a la experiencia francesa⁸ para tráfico pesado, junto con los asfaltos modificados con polímeros.

Entre los organismos o instituciones que intervendrán este proyecto son el Laboratorio Nacional de Vialidad, una Empresa Concesionaria de Autopistas y el IDIEM de la Universidad de Chile.

Cintra Chile Ltda. sería la empresa concesionaria de autopista, la cual es concesionaria de 4 concesiones en el centro y sur de país, las que en total suman 745 kilómetros. Estas son:

- Autopista del Maipo, sector Santiago – Talca, con un 99,9% de propiedad
- Ruta 5, sector Talca – Chillán, con un 67,6% de participación
- Ruta de la Araucanía, sector Collipulli, con un 99,9% de participación
- Ruta de Los Ríos, sector Temuco – Río Bueno, con un 75,0% de participación

⁸ Y. Brosseau, R. Abadie y R. Legonin, « Couches de roulement très minces et ultra-minces en matériaux bitumineux a chaud – Bilan d'emploi et de comportement », Bulletin des Laboratoires des Points et Chaussées 207, 1997.

Para el financiamiento de este proyecto se espera contar con fondos provenientes de INNOVA⁹ Chile. Este es un fondo de fomento perteneciente a CORFO, el cual promueve el desarrollo de iniciativas que contribuyan en innovación y transferencia tecnológica, a través de un cofinanciamiento. El proyecto está enfocado en la línea de apoyo a la innovación en infraestructura pública.

3.2 Ubicación

Se considera dos lugares para la construcción de los tramos de prueba, los que deben estar en distintas ubicaciones geográficas para incluir la variable clima en el proyecto. Estos son:

- Autopista del Maipo, sector Angostura. Posee un clima templado cálido con lluvias invernales, con precipitaciones promedio 200 mm.
- Autopista Talca – Chillan, sector Acceso Sur de Chillan. Posee un clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea, con precipitaciones promedio 1000 mm.

En la figura 3.1 y 3.2 se ilustran los sectores mencionados.



Figura 3.1 Sector Angostura

⁹ INNOVA: Comité perteneciente a CORFO, el cual promueve la innovación y transferencia tecnológica.

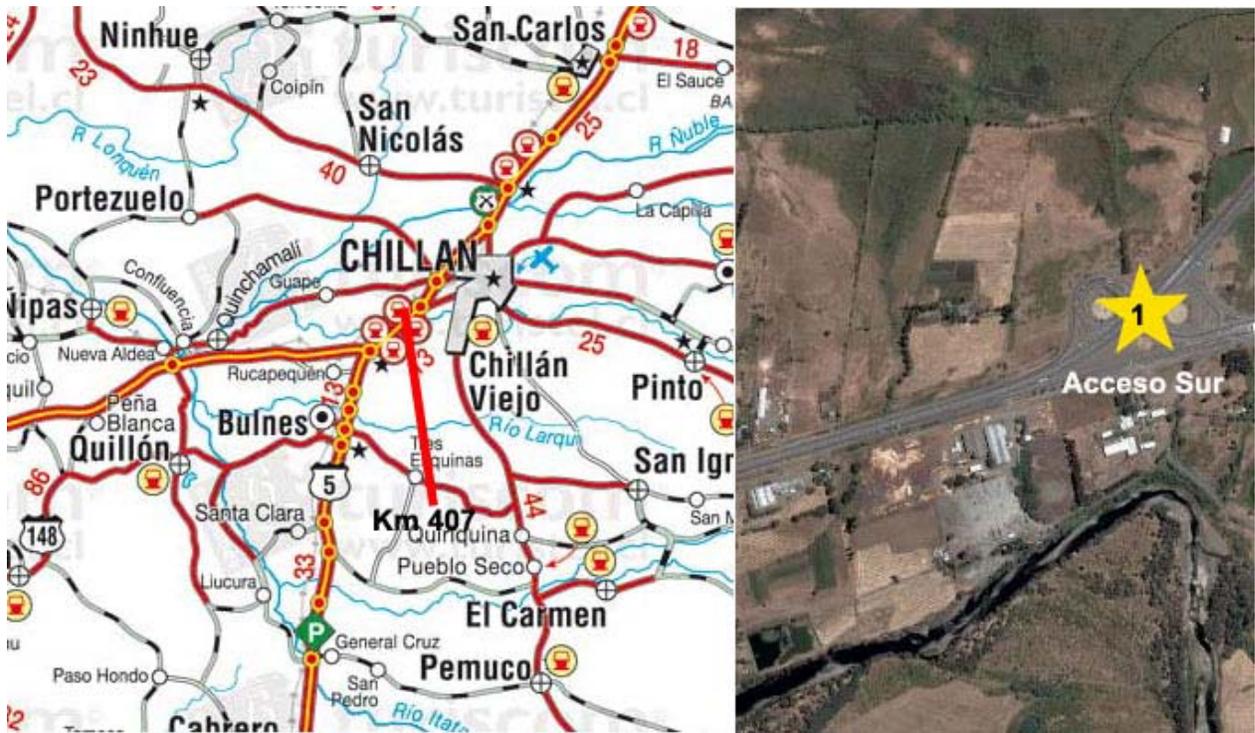


Figura 3.2 Sector Acceso Sur Chillan

3.3 Objetivos Específicos del Proyecto

Los objetivos que se proponen alcanzar con la realización del proyecto serían:

- Introducir la técnica de los microaglomerados discontinuos en caliente como solución de mantención de carreteras.
- Determinar los efectos de las solicitaciones clima y tráfico en el desempeño de la solución de mantención con microaglomerados discontinuos en caliente.
- Estudio del comportamiento a las distintas variaciones dentro de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, con miras a su optimización.
- Realizar una base de datos como soporte para futuras decisiones.

3.4 Estrategia Institucional

Para la realización del proyecto se necesita la participación de las siguientes entidades, las cuales contribuirían de diferentes formas a la materialización del proyecto:

- Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV), departamento de la Dirección de Vialidad del MOP, responsable del control de la calidad de las obras civiles ejecutadas en el país. Esta institución estaría encargada de realizar los ensayos a los materiales, y de las auscultaciones periódicas a los tramos de prueba.
- Empresa Concesionaria Cintra Chile Ltda., la que facilitaría la carretera para poder intervenirla y realizar los tramos de pruebas.
- IDIEM, Centro de Desarrollo e Innovación en Estructuras y Materiales de la Universidad de Chile, la que lideraría el proyecto y seguiría el desarrollo total de éste; además aportaría personal calificado para trabajar en la experiencia.

El proyecto como se comento anteriormente se deberá cofinanciar a través de las entidades participantes e INNOVA CHILE. Por parte de las entidades beneficiarias deberán, financiar en una proporción equivalente, a lo menos, de un 20% de presupuesto total del proyecto, por lo tanto INNOVA CHILE aportará un máximo de 80%. Los aportes podrán consistir en bienes materiales, servicios o aporte pecuniario.

Al final del proyecto se elaborará un informe con los resultados sobre el comportamiento observado de las distintas carpetas de rodadura, durante el tiempo de estudio. Esto se realizaría mediante una publicación en donde se describa en detalle las soluciones analizadas de microaglomerados discontinuos en caliente, y sus resultados para cada uno de los tramos de prueba.

El beneficio de las Empresa Concesionaria, sería de participar en un proyecto de desarrollo tecnológico, en donde tendrá libre acceso a todos los datos adquiridos para este tipo de carpeta., información que le permitirá introducir las soluciones de mantención más adecuadas.

3.5 Organización y administración del proyecto

En la figura 3.3 se presenta la relación entre las distintas entidades, las cuales integrarían el Comité Directivo del proyecto. También del Comité directivo serían partícipes un Director del Proyecto y un Coordinador.

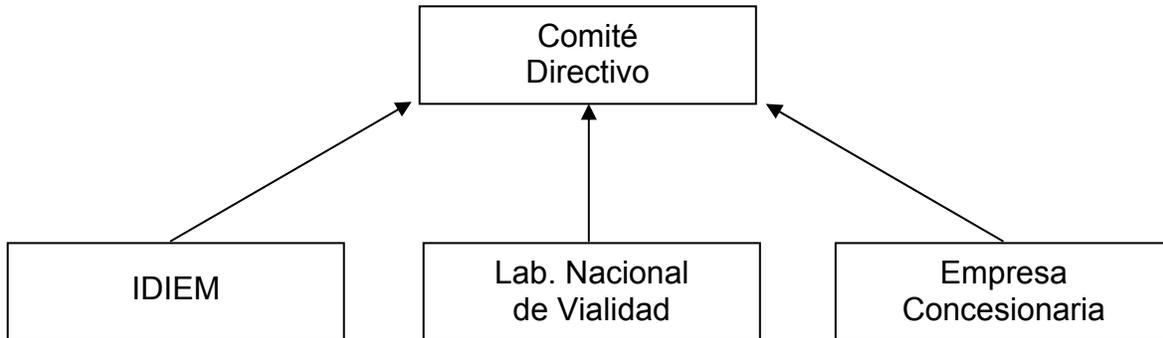


Figura 3.3 Organización General

En el organigrama de la figura 3.4 se presenta la estructura que se adoptara para la realización del proyecto.

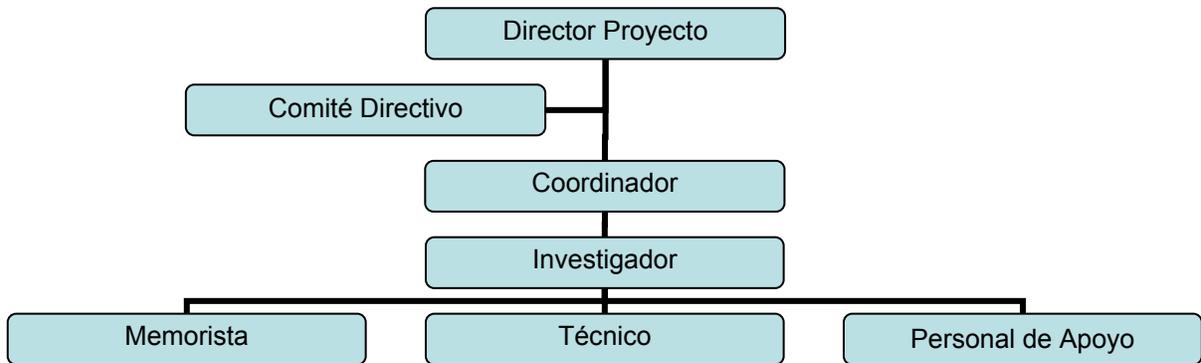


Figura 3.4 Estructura de Trabajo

IDIEM tendrá una constante interacción con LNV y Empresa Concesionaria, quienes prestarán tanto apoyo logístico como técnico, en todas las etapas del proyecto. En las etapas de investigación la relación de trabajo será constante entre IDIEM y el LNV, para poder lograr los objetivos del proyecto. La relación con la empresa concesionaria será fundamental en la etapa de construcción de los tramos y durante los levantamientos de información propios del seguimiento.

3.5.1 Definición de Cargos

El personal vinculado a este proyecto son los presentados a continuación. Sólo se consideraron los cargos de mayor relevancia, es por eso que se deja al personal de apoyo en un posible cargo.

- **Director de Proyecto:** función de dirigir y supervisar las etapas del proyecto, además de coordinar con el Comité Directivo las actividades conjuntas. El aporte que entregaría al proyecto sería en la elaboración de documentos y supervisión de actividades. Cantidad de horas dedicadas 9 hrs/semana
- **Coordinador:** tendría la responsabilidad de planificar y coordinar todas las etapas, y de administrar los recursos. Tendría que participar en las reuniones de coordinación con las entidades participantes, además de coordinar las actividades con el Director de Proyecto. Cantidad de horas dedicadas 45 hrs/semana.
- **Investigador:** función de llevar a cabo las actividades de investigación programadas en todas las etapas del proyecto, para lograr los objetivos específicos. Su participación se encuentra en todas las etapas. Cantidad de horas dedicadas 45 hrs/semana.
- **Memorista:** función de apoyo al investigador en todas las etapas del proyecto. Considerando que cada memorista trabajaría aproximadamente 6 meses, estos cambiarían cada semestre. Cantidad de horas dedicadas 45 hrs/semana.
- **Técnico:** Su misión sería de colaborar con las tareas de laboratorio. Cantidad de horas dedicadas 45 hrs/semana.
- **Personal de Apoyo:** se considerará sólo si fuera necesario en alguna tarea, en donde los integrantes mencionados anteriormente no pudieran realizarlas.

3.6 Resultados e Impactos del Proyecto

Los principales resultados que se espera conseguir con la realización de este proyecto son:

- Conocer el comportamiento de las soluciones de mantenimiento de pavimentos con mezclas del tipo microaglomerados discontinuos en caliente, y observar la influencia de las variables consideradas.

- Impulsar el uso de soluciones de conservación de pavimentos más eficientes, para que a mediano plazo se pueda mejorar el gasto operacional de las redes viales.
- Disponer de una metodología de seguimiento adecuada para la evaluación de soluciones de mantenimiento para pavimentos y su comportamiento en el tiempo, así confeccionar una base de datos que pueda ser utilizada como referencia para cualquier experiencia futura y que sirva de ayuda para la toma de decisiones.

3.7 Metodología

La metodología deberá seguir las siguientes etapas presentadas en la Figura 3.5, las que siguen un orden lógico, para así lograr los objetivos propuestos en este proyecto.

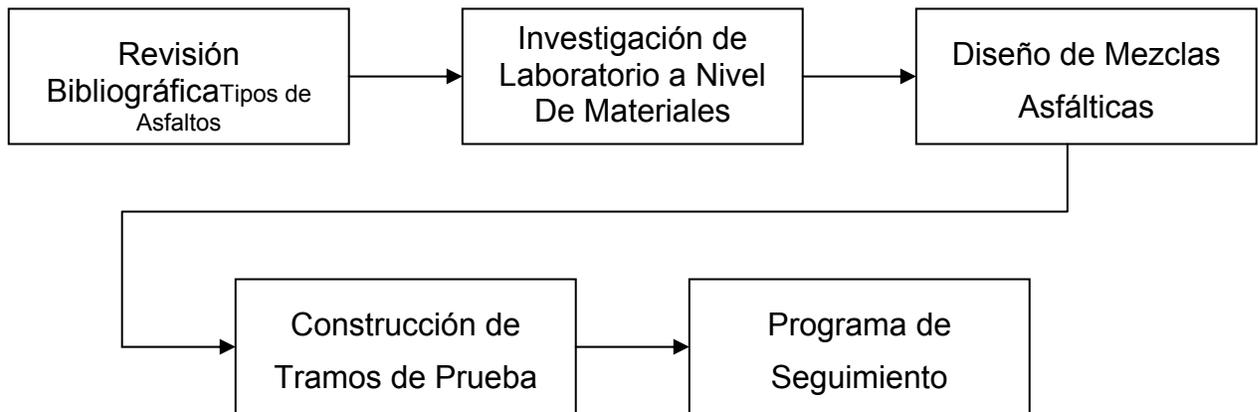


Figura 3.5 Metodología

3.7.1 Revisión Bibliográfica y Estudios Preliminares

La revisión bibliográfica debe lograr ser una ayuda para capacitar y profundizar sobre las mezclas asfálticas finas con granulometría discontinua y de obtener información de los lugares a construir los tramos de prueba.

Durante esta etapa se deberán investigar bibliografías relacionadas a los siguientes contenidos:

- Materiales a utilizar en la experiencia.
- Mezclas asfálticas finas y con granulometría discontinuas, en especial la mezcla de microaglomerado discontinuos en caliente.
- Experiencias realizadas con microaglomerados discontinuos en caliente y de seguimientos de tramos de prueba. Ubicación y descripción de los tramos donde se implementó la solución.
- Recopilación de antecedentes de los sectores donde se realizará el proyecto.

En la recopilación de antecedentes los puntos de mayor relevancia son:

- Características del clima: en donde se necesitará registros de la temperatura ambiente, precipitación, humedad ambiental, viento, horas de sol, humedad del terreno, condiciones del cielo y radiación solar del sector.
- Características topográficas, hidrográficas y geológicas del lugar de emplazamiento de los tramos
- Volúmenes de tránsito y estratigrafía de pesos por eje, considerando las variaciones estacionales.
- Registros de pesajes y cálculos de ejes equivalentes

Estos antecedentes se le solicitarán a la Empresa Concesionaria, además se deberán de realizar los siguientes estudios preliminares:

- Reconocimiento general de la Autopista. Actividad conveniente para la planificación de los trabajos en terreno.
- Monografías de reconocimiento (condición del camino, geometría, drenaje)
- Estado del sector a construir, a través del Deflectómetro Dinámico de Impacto (FWD) se realizará para estimar estado de la estructura.

3.7.1.1 Planificación

Esta etapa se planifica que tendrá una duración de 3 meses. En la Tabla 3.1, se aprecia las actividades consideradas con su inicio y término, además de los resultados de la etapa.

Tabla 3.1 Etapa 1: Revisión Bibliográfica y Estudios Preliminares

N° Etapa: 1

Duración: 3 meses

Nombre de la Actividad	Inicio Día	Termino Día
Revisión bibliográfica materiales	1	20
Revisión bibliográfica mezclas asfálticas	21	40
Revisión bibliográfica de experiencias de tramos de prueba	41	60
Estudios Preliminares	61	80
Informe Final Etapa 1	81	90

Producto / Resultado	Descripción	Fecha Obtención Mes
Bibliografía	Catálogo de las publicaciones relacionadas con los Microaglomerados discontinuos en caliente.	3
Antecedentes del sector	Información que caracteriza el sector para la construcción de los tramos	3

3.7.2 Investigación de Laboratorio

Para poder tener una uniformidad en los datos, es necesario conocer los materiales, sus procedencias y características, por lo que es de suma importancia que se contemplen todos los ensayos de caracterización necesarios.

Las especificaciones técnicas que se deben considerar en Chile, para la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, son las detalladas en el Manual de Carreteras¹⁰ (M.C), las cuales están basadas en la normativa española. Pero las especificaciones del M.C. no han sido actualizadas, por lo que se considerara en este proyecto las últimas actualizaciones del pliego de especificaciones españolas para este tipo de mezclas asfálticas con granulometría discontinua. En el Anexo 1 se podrá ver las actualizaciones que se deben realizarse en el M.C.

¹⁰ Manual de Carreteras, Volumen N° 5 “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción”

Para verificar los requisitos se deberá usar M.C.8¹¹ y algunas normas NLT, ya que para ciertos métodos no se encuentra la norma equivalente en Chile.

3.7.2.1 Materiales

A. Áridos

Las exigencias de los áridos dependerán de la categoría del tráfico definida en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Categorías de Tráfico Pesado

Categorías de Tráfico	TMDA ¹²
T0	TMDA ≥ 2000
T1	2000 > TMDA ≥ 800
T2	800 > TMDA ≥ 200
T3	200 > TMDA

En las especificaciones españolas se considera una categoría más, la que es T00, la cual tiene un TMDA mayor o igual a 4000.

Todos los áridos deben cumplir con un mínimo de proporción de finos plásticos o arcillosos, a través del ensayo de equivalente de arena se debe verificar. Si no cumple se debe utilizar el ensayo de azul de metileno, que se basa en la absorción del colorante. En la Tabla 3.3 se presenta las dos condiciones a cumplir en cuanto a contenido de finos arcillosos en los áridos.

Tabla 3.3 Requisitos de los áridos para proporción de finos arcillosos

	Ensayo	Exigencia	Norma
(1)	Equivalente de Arena	Mínimo 50%	M.C.8.202.9
(2)	Equivalente de Arena	Mínimo 40%	M.C.8.202.9
	Ensayo Azul de Metileno	Máximo 10	NLT-171/90

En las Tablas siguientes se presentan los requisitos para áridos gruesos y finos según las especificaciones españolas actualizadas¹³.

¹¹ M.C.8, Manual de Carreteras, Volumen N° 8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”

¹² TMDA : Tráfico medio diario anual equivalente, corresponde a la cantidad de vehículos diarios promedio que pasan en un año ponderado

¹³ BOE, N° 83. Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura,

A.1 Fracción Gruesa

La fracción gruesa corresponde al árido retenido en el tamiz 2,5 mm (ASTM N°8), y esta fracción debe estar libre de terrones de arcilla, material vegetal u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la carpeta de rodados. El contenido de impureza debe ser inferior al 0,5%, a través de la norma NLT-172/86 se detalla el método.

Se deberá verificar la proporción de Partículas Chancadas, Índice de Lajas, coeficiente de Los Ángeles y coeficiente de Pulimento Acelerado. En la Tabla 3.4 se presentan los valores a cumplir.

Tabla 3.4 Requisitos para el árido gruesos

Ensaye	Exigencia	Método
Partículas Chancadas (1)		
- Para categoría de tráfico T0, T1 y T2	100%	M.C.8.202.6
- Para categoría de tráfico T3, T4 y bermas	Mínimo 75%	M.C.8.202.6
Índice de Lajas		
- Para categoría de tráfico T0, T1 y T2	Máximo 25%	M.C.8.202.7
- Para categoría de tráfico T3, T4 y bermas	Máximo 25%	M.C.8.202.7
Desgaste Los Ángeles		
- Para categoría de tráfico T0, T1 y T2	Máximo 20%(Mezclas Tipo F)	M.C.8.202.11
	Máximo 15%(Mezclas Tipo M)	
- Para categoría de tráfico T3, T4 y bermas	Máximo 25%(Mezclas Tipo M y F)	M.C.8.202.11
Pulimento Acelerado		
- Para categoría de tráfico T0, T1 y T2	Mínimo 0,50	NLT-174/93
- Para categoría de tráfico T3, T4 y bermas	Mínimo 0,45	NLT-174/93
- Adhesividad ligante-árido en agua	≥ 95%	M.C.8.302.29

(1) Con tres o más caras fracturadas

A.2 Fracción Fina

Corresponde a la fracción que pasa por el tamiz 2,5 mm y queda retenida en el tamiz 0,8 mm. Los áridos finos deben estar libres de terrenos de arcillas y material vegetal. Se debe cumplir con el requisito de la Tabla 3.5

Tabla 3.5 Requisitos para el árido fino

Ensaye	Exigencia	Método
Adhesividad ligante-árido	> 4%	M.C.8.302.30

A.3 Relleno Mineral (Filler)

Se entiende por filler a la fracción de árido que pasa por el tamiz 0,15 mm (ASTM N°100) y queda retenida en el tamiz 0,075 mm (ASTM N°200). El filler de aportación, para los diferentes tipos de tráfico se señala en la Tabla 3.6, además deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 3.7.

Tabla 3.6 Proporciones mínimas de filler de aportación

Categoría de tráfico	Valores mínimos % peso
T0, T1 y T2	100
T3 y T4	50

Tabla 3.7 Requisitos para el relleno mineral

Ensaye	Exigencia	Método
Densidad aparente	0,5 – 0,8 g/cm ³	M.C.8.202.19
Coefficiente de emulsibilidad ¹⁴	< 0,6	NLT-180/93

A.4 Granulometría

Existen dos bandas granulométricas para cada tipo de mezcla (M o F). Estas difieren por su tamaño máximo específico. En la Tabla 3.8 se señalan las bandas granulométricas recomendadas por M.C. En Anexo 2 se puede observar las bandas granulométricas de las especificaciones españolas y la banda granulométrica de la mezcla francesa BBTM 0/10.

¹⁴ Coeficiente de emulsibilidad, determina la máxima cantidad de ligante que se puede dispersar en forma de emulsión directa (ligante en agua) en un gramo de polvo mineral, sin que se produzca la inversión de la emulsión (agua en ligante). Este ensayo ya no se exige en las especificaciones españolas, por lo que no se medirá en este proyecto.

Tabla 3.8 Bandas Granulométricas

Tamices mm	Bandas				Tolerancia %
	M8	M10	F8	F10	
	% que pasa en peso				
12,5		100		100	± 4
10,0	100	75 – 97	100	75 – 97	± 4
8,0	75 – 97	---	75 – 97	---	± 4
5,0	15 – 28	15 – 28	25 – 40	25 – 40	± 4
2,5	12 – 25	12 – 25	20 – 35	20 – 35	± 3
0,63	9 – 18	9 – 18	12 – 25	12 – 25	± 3
0,08	5 – 8	5 – 8	7 – 10	7 – 10	± 1

B. Asfalto

Según Manual de Carreteras se debe utilizar cementos asfálticos del tipo 60/80 modificados con polímeros, los cuales deben cumplir con los requisitos de la Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Especificación para cementos asfáltico modificado con polímeros

Ensaye	Exigencia		Método
	Mín.	Máx	
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg., 0,1 mm	60	80	M.C.8.302.3
Punto de Ablandamiento	65		M.C.8.302.16
Ductilidad a 5°C, 5 cm/min, cm	50		M.C.8.302.8
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	80		M.C.8.302.8
Índice de Penetración	+4		M.C. 8.302.21
Punto de Fragilidad Fraass, °C	-18	-18	M.C.8.302.17
Intervalo de Plasticidad, °C	83		---
Recuperación Elástico, %	60		M.C. 8.302.19
Punto de Inflamación, °C	235		M.C.8.302.9

Pero se comento en la descripción del proyecto, que se utilizaran cementos asfálticos convencionales del tipo 60/80. En la Tabla 3.10 se presentan los requisitos.

Tabla 3.10 Especificación para cementos asfálticos convencionales

Características	Grado de penetración		Método
	60	80	
	Mín.	Máx.	
Penetración 25°C, 100g, 5seg., 0,1 mm	60	80	M.C.8.302.2
Punto de inflamación, °C	232		M.C.8.302.9
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	100		M.C.8.302.8
Solubilidad en tricloroetileno, %	Mín. 99,0		M.C.8.302.11
Índice de Penetración, IP	± 1		M.C.302.18
Película delgada rotatoria:			M.C.8.302.33
- Pérdida por calentamiento		0,8	
- Penetración del residuo, % del original	54		
- Ductilidad del residuo 25°C, 5 cm/min	Mín. 100		
- Índice de durabilidad, ID: Valor individual		3,50	

C. Aditivos

Si se incorpora fibras tales como fibras minerales (fibra de vidrio), orgánicas (celulosa) y sintéticas (polipropileno, poliésteres y acrílicas). Las fibras se emplearán en pequeñas proporciones del árido y será de 0,3% a 0,5% para celulosa y de 0,5% a 0,6% para poliéster o fibra de vidrio.

3.7.2.2 Planificación

La etapa de investigación de laboratorio se planifica en una duración de 3 meses. En la Tabla 3.11 se presentan las actividades.

Tabla 3.11 Etapa 2: Investigación de Laboratorio

N° Etapa: 2

Nombre de la Etapa: Investigación de Laboratorio

Duración: 3 meses

Nombre de la Actividad	Inicio Día	Termino Día
Estudio de los Materiales	1	70
Informe final Etapa 2	71	90

Producto / Resultado	Descripción	Fecha Obtención Mes
Requerimientos Materiales	Cumplir con todas las especificaciones de diseño en los materiales	6

3.7.3 Diseño de Mezcla asfáltica

3.7.3.1 Generalidades

Como se describió anteriormente, la variación que se realizará en la mezcla es en el tipo de asfalto y en la granulometría. En la figura 3.6 se presentan los tipos de asfaltos a utilizar.

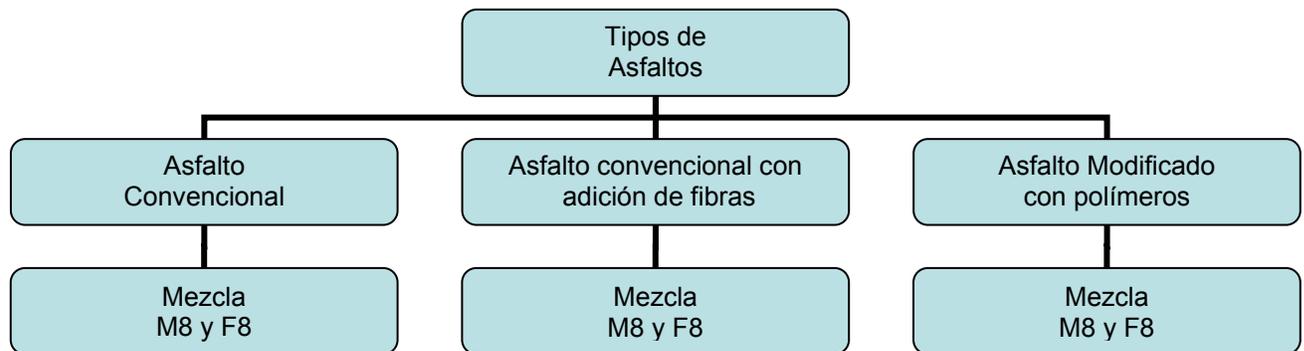


Figura 3.6 Tipos de Asfaltos y granulometrías

Además en la figura 3.6 se presentan los dos tipos de mezclas que se estudiarán con los distintos tipos de asfaltos considerados. Se elige ocupar el tamaño máximo de 8 mm debido a que se quiere comparar carpetas de rodadura de igual espesor.

El deseo de investigar el comportamiento de los dos tipos de mezclas (F y M), se debe a que en las especificaciones españolas¹⁵ se exige para categorías de tráfico pesado emplear mezcla tipo M, en cambio la mezcla que es la equivalente en Francia (BBUM) se sugiere a que se utilice en tráficos menores a T2¹⁶. Además la mezcla BBTM 0/10 es muy similar a la mezcla tipo F, la cual se sugiere utilizar para categorías tráfico altos.

La intención de usar alternativas al asfalto que establece el Manual de Carreteras para la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, se debe a los buenos resultados en el extranjero con asfaltos convencionales y al costo con respecto a un asfalto modificado, que es mucho más bajo.

¹⁵ BOE, N° 83. Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura, pág. 14487.

¹⁶ Observatoire des Techniques de Chaussées, "Betons Bitumineux Tres Minces et Ultra- Mince", Note D'Information, 1997.

Por ejemplo experiencias en Francia, en condiciones de tráfico pesado, recomiendan el uso del asfalto convencional con la incorporación de fibras e incluso el uso de las mezclas finas con asfalto convencional llegan a un 40%¹⁷, y también el costo de éste con respecto a un asfalto modificado es mucho más bajo. Adicionalmente, hay que mencionar que para este tipo de mezclas se necesita un alto contenido de ligante entre un 5%–7%, por lo que podría peligrar la estabilidad de la mezcla y provocar exudación; es por eso que se recomienda el uso de asfalto modificado.

Para determinar la composición de las mezclas asfálticas que se incluirán en el proyecto, se efectuará un estudio a escala de laboratorio, para garantizar una adecuada durabilidad, elevada resistencia a la abrasión y a la fisuración.

3.7.3.2 Etapa de Estudio de Propiedades de la Mezcla

Para el estudio de las propiedades de mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente se someterán a los siguientes ensayos:

- A. Ensayo Marshall, este ensayo se utiliza para el criterio de dosificación de mezclas tipo F. Se debe cumplir con los valores mínimos de la Tabla 3.12

Tabla 3.12 Exigencias para Mezclas F

Características	Valor
N° de golpes por cara	50
Estabilidad (kN)	> 7,5
Huecos en mezcla (%)	> 4

Es importante mencionar que las mezclas tipo F, tienen problemas en su dosificación mediante ensayos mecánicos, debido al contacto directo entre partículas gruesas, el ensayo Marshall no da variaciones de estabilidad hasta que el exceso de asfalto empieza a separa las partículas, lo que suele suceder con porcentajes muy elevados. Por lo tanto, en este ensayo se debería obtener curvas planas y estabilidades que dependerán más de la dureza del árido que del contenido de ligante.

- B. Ensayo Cantabro, este ensayo se utiliza para el criterio de dosificación de mezclas tipo M. En la Tabla 3.13 se indican los valores a cumplir.

¹⁷ Lesueur, Didier, 2005, "Panorámica Francesa de las Mezclas Bituminosas. Desarrollos Recientes", 1° Jornada Técnica de ASEFMA.

Tabla 3.13 Exigencias para Mezclas M

Características	Valor
N° de golpes por cara	50
Pérdida por abrasión en seco (%)	≤ 15
Huecos en mezcla (%)	≥ 12

Además se debe realizar la pérdida de abrasión, tras ser sometida la probeta a un proceso de inmersión en agua durante un día a 60 °C, el cual el no deber ser mayor al 25%.

- C.** Wheel Tracking Test, es un de ensayo que determina las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas sometidas a cargas cíclicas a una rueda que actúa a velocidad y temperatura controlada. El método debe ser realizado bajo la norma NLT 173/84.

En la Tabla 3.14 se presentan los valores máximos. Las probetas para este ensayo tendrán un espesor aproximadamente igual al cuádruple del tamaño máximo nominal del árido.

Tabla 3.14 Máximo velocidad de deformación en el intervalo de 105-120 minutos

Zona térmica	Exigencia
	[μ/min]
Cálida	12
Media	12
Templada	15

- D.** Ensayo de Inmersión-Compresión (NLT 162), es procedimiento para determinar la pérdida de cohesión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas. Este ensayo se utilizará para al calcular el porcentaje de pérdida de resistencia en las mezclas tipo F, el cual no deber ser mayor a un 25%.

Los ensayos mencionados son los exigidos por las especificaciones españolas y chilenas, además es conveniente complementar la composición de las mezclas asfálticas con un ensayo de escurrimiento, dado el elevado contenido de ligante utilizado, y un ensayo de tracción indirecta, ya que este tipo de mezclas van a ser colocadas, principalmente, en capas delgadas sobres pavimentos fisurados, por lo que deberán se resistentes a la fisuración con el fin de retardar al máximo la propagación de las fisuras hacia la superficie.

Con el ensayo de escurrimiento (NLT-365/93) nos permitiría valorar el efecto de emplear fibras de celulosa y de asfaltos modificados en la reducción del escurrimiento,

sobre todo cuando existe vibración, como cuando ocurre normalmente durante el transporte de la mezcla.

Para determinar la resistencia a la fisuración que tendrán las mezclas asfálticas se deberá realizar en ensayo de tracción indirecta (NLT-346), para valorar la resistencia a la fisuración.

Las especificaciones española fijan los rangos de composición y de dotación de la mezcla, los cuales serán los considerados para realizar los ensayos mencionados. En la Tabla 3.15 se indican las especificaciones.

Tabla 3.15 Composición y dotación de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente

Características		Tipo de mezcla			
		M8	M10	F8	F10
Dotación media de mezcla (kg/m ²)		35-50	55-70	40-55	65-80
Dotación mínima de asfalto (% en peso sobre el total del árido seco)		5		5,5	
Betún residual en riego de liga (kg/m ²)	Pavimento nuevo	> 0,3		> 0,25	
	Pavimento antiguo	> 0,4		> 0,35	
Relación Filler/ligante		1,1-1,3		1,3-1,7	

3.7.3.3 Planificación

La planificación de esta etapa se estima de una duración de 6 meses, en la Tabla 3.16 se presentan las actividades.

Tabla 3.16 Etapa 3: Diseño Mezcla Asfáltica

N° Etapa: 3

Nombre de la Etapa: Diseño Mezcla Asfáltica

Duración: 6 meses

Nombre de la Actividad	Inicio Día	Termino Día
Act.1:Ensayo Marshall	0	20
Informe Act.1	20	25
Act.2:Ensayo Cantabro	25	45
Informe Act.2	45	50
Act.3:Ensayo Wheel Tracking Test	50	70
Informe Act.3	70	75
Act.4:Ensayo Inmersión-Compresión	75	95
Informe Act.4	95	100
Act.5:Ensayo de Escurrimiento	100	120
Informe Act.5	120	125
Act.6:Ensayo Tracción Indirecta	125	145
Informe Act.6	145	150
Informe Final Etapa 3	150	180

Producto / Resultado	Descripción	Fecha Obtención Mes
Mezcla Microaglomerados discontinuos en caliente	Combinación según las especificaciones indicadas para este proyecto.	12

3.7.4 Construcción de tramos de prueba

En esta etapa se contempla la construcción de 12 tramos de 200 metros, los que estarán espaciados entre si, por transiciones de 50 metros. El ancho total de los tramos es de 8,5 metros, en donde se considera las dos pistas (3,5 metros cada una), y las dos bermas (0,75 metros cada una). El espesor de la carpeta de rodadura deberá ser de 2,5 cm ya que es la media entre los rangos especificados. El volumen de cada uno de los tramos es de 43 m³.

6 tramos se construirían en el Sector Angostura y los otros 6 tramos en Sector Acceso Sur Chillan. La ubicación definitiva de para cada uno de los tramos será decidida por los participantes del comité directivo.

Para la construcción de los tramos se deberá contar con un contratista, el cual posea experiencia en la elaboración y extensión de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente. La empresa ASFALCURA es un posible candidato, debido a que fue la encargada de realizar los trabajos para este tipo de mezclas en la Autopista del Aconcagua.

Los equipos necesarios para la fabricación de los tramos de pruebas son los convencionales para otras pavimentaciones, entre las cuales se destacan los siguientes:

Los recursos que se requieren para la etapa de construcción

I. Planta Asfáltica

La planta debe ser de preferencia de mezclado discontinuo, debido a su capacidad de manejar cantidades predeterminadas y también que las plantas de mezcla continua solo son comparables cuando se disponen de áridos cuya granulometría es uniforme, que para el caso de mezclas discontinuas no cumple. Además las cantidades que se utilizarán en cada tramo será del orden 65 metros cúbicos.

II. Elementos de transporte

Deben ser camiones de caja lisa y estanca. La forma y altura de la caja debe ser tal, que durante el vertido en la entendedora, el camión sólo toque a ésta mediante los rodillos provistos para ese efecto.

Se recomienda usar camiones tipo Flow Boy (Live Bottom), debido a que estos camiones tienen una cinta transportadora que permite que el material se vierta a un ritmo controlado, de modo que el material pueda ser descargado en un flujo parejo. A diferencia de los otros camiones que tienen que empujar los materiales y sostenerlos gravitacionalmente en la compuerta restringiendo el paso. Además en los camiones Flow Boy las pérdidas de temperaturas, durante el transporte son menores.

Este tipo de camiones se debe a que tienen un centro de gravedad más bajo, lo que significa que el transporte del material sea más suave y produzca menos segregación.

III. Extendedora

Se recomienda usar una extendedora que deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Proveer un mínimo de 85% precompactación, para evitar la segregación.
- Debe estar dotada de un dispositivo automático de nivelación.
- Tener un elemento calefactor para la ejecución de la junta longitudinal.

- El enrasador y la maestra deben estar dentro de las tolerancias. Por que estos no deben haber sido afectados por desgaste de construcciones.

IV. Equipo de compactación

Se utilizará de preferencia rodillos metálicos lisos, los cuales estén dotados de dispositivos de limpieza de sus llantas durante la compactación.

Un posible equipo que puede ser considerado en la construcción es el Alimentador (Transfer), debido a que se evita el riesgo de segregaciones granulométricas o térmicas, fundamentalmente cuando las condiciones son más desfavorables (largos tiempos de transporte, mezclas con tamaños de áridos grandes, clima frío, etc.).

Para la construcción de los tramos se deberán tomar los cuidados generales que se realizan en pavimentaciones, pero también se deberá considerar los siguientes puntos:

- El riego de liga cumple una función fundamental en este tipo de carpetas de rodaduras, debido a la necesidad de obtener una total adherencia de la carpeta delgada al pavimento existente, es por eso que su dotación mínima debe ser 0,4 kilos por metro cuadrado.
- Evitar el arrastre de riego liga mediante emulsiones termo-adherentes o usando extendedora con rampa de riego incorporada.
- La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no será superior a 180 °C para mezclas del tipo F y para mezclas del tipo M no deberá ser superior a 170 °C.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga desde los elementos de transporte y a la salida de la extendedora, no debe ser inferior a 135 °C.
- Los tiempos disponibles para la compactación son menores que en una tradicional. Se deberá utilizar el gráfico desarrollado por *Corlew and Dickson*, en donde se indica máximo tiempo para compactar. Ver Anexo 4.
- El tiempo de transporte de la mezcla debe ser menor a 2 horas.
- La compactación debe ser realizado con dos rodillos liso de peso comprendido entre 8 y 12 toneladas, sin vibración, para evitar variaciones en la granulometría de los áridos.

- Se deben realizar como mínimo 6 pasadas con los rodillos a la más alta temperatura.
- No debe emplear compactadote neumáticos porque se adhieren con facilidad a la mezcla y provocan desprendimiento de gravilla.
- Solo las juntas se deberá usar un rodillo manual metálico con vibración

3.7.4.4 Planificación de la construcción de tramos de prueba.

Para coordinar la actividad de construcción de tramos de prueba, se estima una duración de 3 meses, tiempo suficiente para construir 12 tramos de 200 metros.

Tabla 3.17: Construcción de tramos de Prueba

N° Etapa: 4

Nombre de la Etapa: Construcción de tramos de Prueba

Duración: 3 meses

Nombre de la Actividad	Inicio día	Término día
Construcción Tramos Sector Angostura	1	40
Construcción Tramos Sector Chillán	41	80
Informe final Etapa 4	81	90

Producto / Resultado	Descripción	Fecha Obtención Mes
Tramos de Prueba	Confección de Tramos	15

3.7.5 Programa de seguimiento

Esta es la etapa de mayor duración del proyecto, ya que en ella se realizaran las mediciones para registrar la evolución de los distintos tramos de prueba.

El seguimiento comenzaría desde que se le da apertura al tráfico, a partir de este momento se deberá realizar controles periódicos, para así llevar un registro de los parámetros que caracterizan el desempeño. Los parámetros a controlar son:

- Fricción
- Rugosidad
- Sonoridad del pavimento
- Drenabilidad
- Deformaciones

Fricción

La textura superficial es un parámetro fundamental para la seguridad de las carreteras, el cual nos debe asegurar una buena adherencia entre el pavimento y el neumático.

La adherencia se puede determinar a través del coeficiente de fricción, el cual puede cuantificar la relación entre la fuerza de fricción desarrollada en la interfase de un neumático impedido de rodar con el pavimento y el peso sobre el neumático.

El estudio está enfocado al comportamiento de las carpetas de rodadura en autopistas, por lo que necesitamos observar el comportamiento frente a altas velocidades, entonces se determinará los coeficiente de fricción longitudinal, coeficiente de fricción transversal y la macrotextura debido a que este último parámetro influirá en la adherencia superficial.

Para la determinación de coeficiente de fricción longitudinal debería utilizarse el Grip Tester, el cual desliza una rueda sobre el pavimento en el sentido longitudinal, pero a una velocidad de rotación menor que la de rodadura, lo cual genera una fuerza de fricción. El LNV no dispone del equipo, pero podría ser facilitado por las empresas concesionarias, las cuales han adquirido el equipo.

El coeficiente de fricción transversal, es un coeficiente similar al de fricción longitudinal, salvo que la medición se hace con una rueda desviada con respecto al eje de desplazamiento. Su determinación se realizará a través del equipo SCRIM¹⁸, el cual dispone el LNV.

La macrotextura se controlará mediante el ensayo del círculo de arena y por el perfilómetro láser. Los dos métodos determinan la macrotextura de la superficie, pero sus precisiones son distintas.

¹⁸ SCRIM: Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machina

Rugosidad

Son las alteraciones del perfil longitudinal del camino que provocan vibraciones en los vehículos dentro de un cierto rango de frecuencias. Las variaciones en el perfil del camino, implican irregularidades entre 20 cm y 60 m de longitud. La rugosidad se mide a través del Índice Internacional de Rugosidad (IRI).

EL IRI se obtiene mediante la simulación del paso de un vehículo sobre el pavimento, que mediante la vibración relativa del vehículo, en términos de la distancia recorrida se determina el índice.

La medición del perfil se basa en usar un acelerómetro para obtener el movimiento vertical del vehículo, y sensores láser, los cuales son usados para medir el desplazamiento relativos entre el vehículo y la superficie del pavimento. El equipo para realizar estas mediciones será el perfilómetro láser, el cual dispone el LNV.

Sonoridad del pavimento

La contribución más importante a la contaminación acústica en zonas urbana e incluso en zonas rurales procede del tráfico de vehículos. Esta fuente es la generadora de ruido producido por la interacción neumático-pavimento.

El ruido de rodadura depende de dos factores principalmente, contenido de huecos y del tamaño máximo de árido. El porcentaje de huecos mientras mayor sea la emisión del ruido será menor, y en cuanto sea menor el tamaño máximo también es menor la emisión.

Las carpetas de rodadura de microaglomerados discontinuos en caliente, se dice que tienen un macrotextura elevada y se obtiene superficies muy lisa, lo cual hace que los mecanismos de generación de ruidos se ven amortiguados.

Para poder conseguir un estudio acústico lo más completo posible se deberían emplear los siguientes métodos:

- Método CPX¹⁹, que consiste en medir el ruido en continuo, emitido por el neumático en menos de un metro de la rueda.
- Ensayo pass- by, que consiste en medir el ruido de rodadura a una distancia especificada.

¹⁹ CPX: Close Proximity Method

Drenabilidad

La presencia de agua sobre los pavimentos dificulta el contacto del neumático con la superficie, dando que se produzca con mayor facilidad el deslizamiento y vuelco de vehículos que circulan a altas velocidades.

Se desea observar la drenabilidad en este tipo de carpetas de rodadura, y su variación en el tiempo.

Para el registro se utilizará el permeámetro LCS, el cual mide el tiempo que tarda en descender el nivel de agua entre dos marcas. Pero se sugiere utilizar el permeámetro de Zarauz, ya que es un ensayo que representa mejor las lluvias sobre el pavimento.

Deformaciones

Las deformaciones es uno de los tipos de deterioro que más preocupa dentro del estudio del comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente, por lo que se controlaran las deformaciones plásticas que se produzcan por la circulación de los vehículos.

Las deformaciones de controlarán a través del perfilómetro láser, toma de perfiles con reglas graduadas, Hi - Lo, apreciaciones visuales y caracterización de los tramos.

Para la apreciación visual y caracterización del estado de los tramos, se deberán realizar bajo un proceso estandarizado. Se propone el sistema PAVER, el cual desarrolla un procedimiento para la evaluación de fallas.

Los controles se efectuarán en distintos períodos, según cual sea la variable. En la Tabla 3.18 se entrega las frecuencias de medición y la entidad quien lo efectuaría.

Tabla 3.18 Frecuencias de mediciones

Variable	Ensayo	Frecuencia [meses]	Ejecuta	Referencia
Coef. fricción longitudinal	Grip-Tester	6	E.Cs (1)	ASTM E271-97
Coef. fricción transversal	SCRIM	6	LNV	M.C.8.602.26
Macrotextura	Perf. Láser	6	LNV	M.C.8.602.27
Macrotextura	Círculo de Arena	3	IDIEM	M.C.8.602.25
IRI	Perf. Láser	6	LNV	M.C.8.502.8
Ruido de rodadura	CPX	6	IDIEM	--
Ruido de rodadura	Pass-by	6	IDIEM	--
Permeabilidad	Permeámetro LCS	6	IDIEM	M.C.8.302.44
Deformaciones	Perf. Láser	6	LNV	--
Deformaciones	Perf. regla grad.	6	IDIEM	--
Deformaciones	Hi-Lo	6	IDIEM	M.C.8.502.4
Insp. Visual	PAVER	3	IDIEM	--

(1) E.Cs: Empresa Concesionaria

La toma de medidas comenzara una vez transcurrido tres meses de la puesta en servicio del primer tramo de prueba, salvo los ensayos de círculo de arena y permeámetro LCS que se medirán antes de la apertura al tráfico.

Tabla 3.19 Etapa 5

N° Etapa: 5

Nombre de la Etapa: Programa de Seguimiento

Duración: 16 meses

Nombre de la Actividad	Inicio Día	Termino Día
Seguimiento Tramos de Prueba	0	450
Informe Final Etapa 5	451	480

Producto / Resultado	Descripción	Fecha Obtención Mes
Análisis de Datos	Análisis de todos los datos que serían obtenidos en el proyecto	29

3.8 Carta Gantt

Con la Carta Gantt que se presenta a continuación, se muestra los tiempos de dedicación previstos para cada etapa y sus actividades, los cuales se estimaron dependiendo de su importancia.

Figura 3.7 Carta Gantt

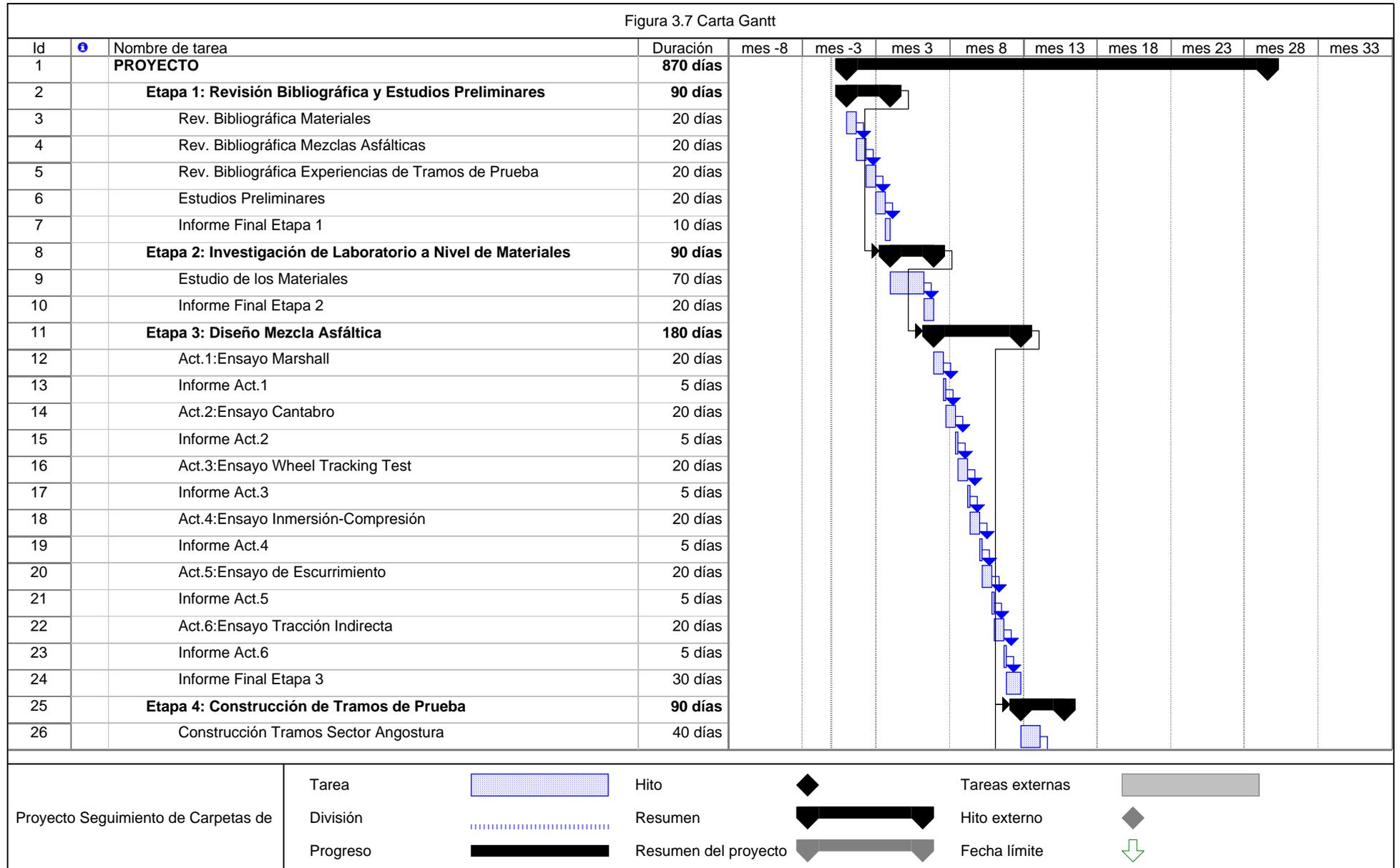
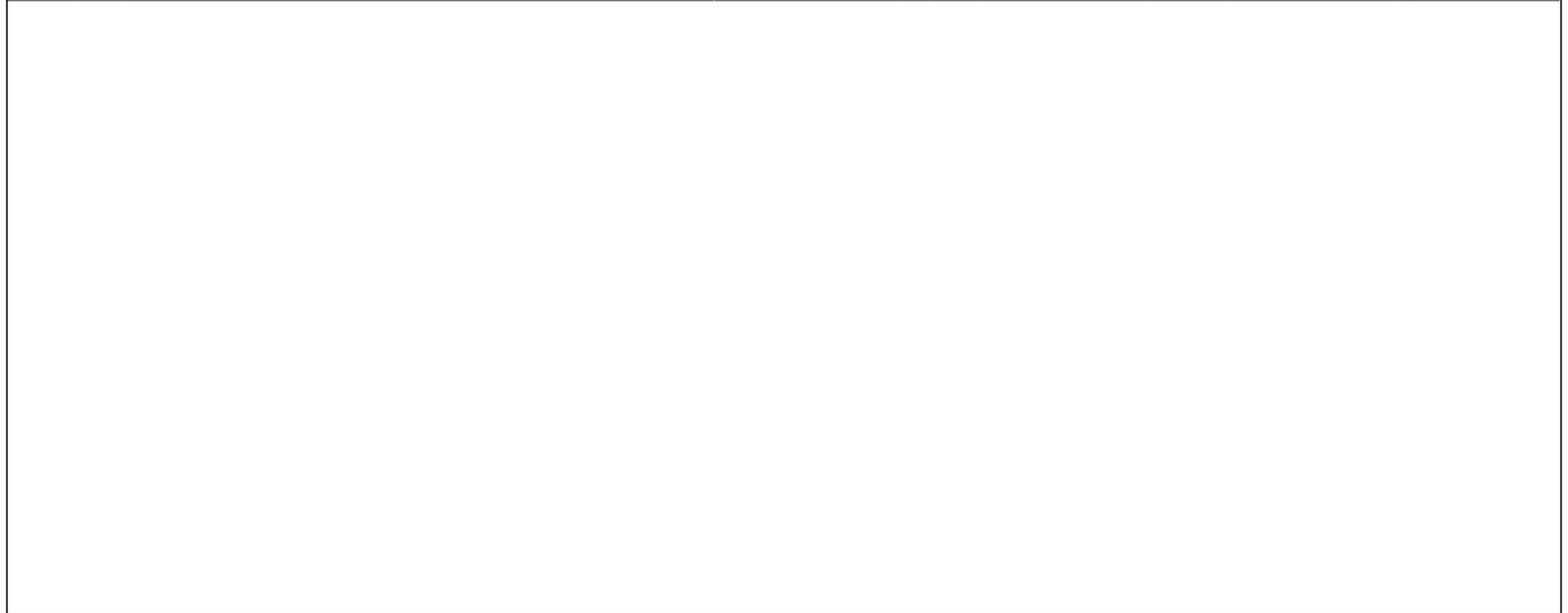


Figura 3.7 Carta Gantt

Id	Nombre de tarea	Duración	mes -8	mes -3	mes 3	mes 8	mes 13	mes 18	mes 23	mes 28	mes 33
27	Construcción Tramos Sector Chillán	40 días									
28	Informe final Etapa 4	10 días									
29	Etapa 5: Programa de Seguimiento	480 días									
30	Seguimiento Tramos de Prueba	450 días									
31	Informe Final Etapa 5	30 días									
32	Informe Final Proyecto	30 días									



Proyecto Seguimiento de Carpetas de	Tarea		Hito		Tareas externas	
	División		Resumen		Hito externo	
	Progreso		Resumen del proyecto		Fecha límite	

Capítulo 4: Presupuesto

Para poder estimar el costo del proyecto se consultaron los precios al Laboratorio Nacional de Vialidad, IDIEM, y a empresas privadas.

Para cuantificar el costo del proyecto se consideró que la ejecución se realizaría en la región Metropolitana (Autopista del Maipo) y en la región del Bío-Bío (Autopista Talca-Chillán).

En la Tabla 4.1 se presenta el presupuesto estimado para realizar el proyecto, el cual se detalla en cada punto.

Tabla 4.1 Presupuesto

Ítem	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Etapa 5	Costo Total
	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$	M\$
Remuneraciones	7.950	7.950	15.900	7.950	37.100	76.850
Subcontratos	0	2.363	15.300	45.000	4.920	67.583
Equipos	2.250	1.500	3.000	1.500	7.000	15.250
Infraestructura	1.500	1.500	3.000	1.500	7.000	14.500
Fungibles	450	450	900	450	2.100	4.350
Gastos Generales e Imprevistos	450	450	900	450	2.100	4.350
Total	12.600	14.213	39.000	56.850	60.220	182.883
TOTAL	\$ 182.883.400					

El financiamiento de este proyecto deberá ser compartido por las entidades participantes y por el fondo de innovación vial. En la Tabla 4.2 se encuentra los porcentajes propuestos que deberían entregar cada una de las entidades participantes.

Tabla 4.2 Financiamiento

Ítems	Financiamiento			
	IDIEM	LNV	E.Cons.	CORFO
Remuneraciones	6380	0	0	70470
Subcontratos	4590	7283,4	18000	37710
Equipos	0	0	0	15250
Infraestructura	0	0	0	14500
Fungibles	0	0	0	4350
Gastos Generales e Imprevistos	0	0	0	4350
TOTAL	10970	7283,4	18000	146630
Porcentaje	6,0%	4,0%	9,8%	80,2%

En la estimación de los honorarios, se consideró la mínima cantidad de dinero a considerar, por lo que dependiendo de la competencia y experiencia del profesional, su remuneración podría aumentar. Además la dedicación al proyecto será de un 100% por parte de los profesionales que integrarían el proyecto, salvo el Director del Proyecto que dedicará un 20% de su jornada laboral. En la Tabla 4.3 se presentan honorarios del personal del proyecto.

Tabla 4.3 Honorarios

Item	Honorarios J.Completa M\$/MES	Dedicación al proyecto % Jornada	Meses a Contratar N°	Total Proyecto M\$	Financiamiento			
					IDIEM M\$	LNV M\$	E.Cons M\$	CORFO M\$
Director proyecto	2000	20%	29	11600	1160			10440
Coordinador	1000	100%	29	29000	2900			26100
Investigador	800	100%	29	23200	2320			20880
Memorista	100	100%	29	2900				2900
Técnico	350	100%	29	10150				10150
Subtotal				76850	6380	0	0	70470

Los subcontratos de Ensayos de Materiales, Diseño de Mezcla y Seguimiento a los tramos deberían realizarse con IDIEM y Laboratorio Nacional de Vialidad, en cambio para la construcción de los tramos de prueba, sería a través de una empresa privada la que realizará la fabricación de las mezclas e instalación. Las empresas contempladas son Asfalcura para el sector Angostura y BitumixCVV para el sector acceso sur Chillán. La Tabla 4.4 se presenta los costos de los contratos. En el Anexo se puede observar el detalle de cada uno de los contratos.

Tabla 4.4 Contratos

Item	Costo M\$	Financiamiento			
		IDIEM M\$	LNV M\$	E.Cons. M\$	CORFO M\$
Ensayos a los materiales	2363,4		2363		
Diseño de Mezcla	15300	4590			3450
Construcción de tramos	45000			18000	27000
Seguimiento	4920		4920		
Subtotal	67583,4	4590	7283	18000	37710

Las cantidades presupuestadas en los ítems como Fungibles, Equipos, Infraestructura y Gastos Generales cubren las necesidades básicas en la ejecución del

proyecto. Por lo que se deberá consultar internamente, si deben aumentar más recursos, o agregar otros ítems como Incentivos, Capacitación, Software, etc. En las Tablas 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se presentan los costos de los ítems señalados.

Tabla 4.5 Equipos

Nombre del equipo	Costo Unitario		Cantidad Unidades o meses	Costo Total M\$	Financiamiento			
	Caso Adquisiciones M\$/mes	Caso Arriendo M\$/mes			IDIEM M\$	LNV M\$	E.Cons. M\$	CORFO M\$
Computador	300		2	600				600
Cámara fotográfica	100		1	100				100
Camioneta		300	29	8700				14500
Impresora	50		1	50				50
Subtotal				9450	0	0	0	15250

Tabla 4.6 Infraestructura

Nombre de la infraestructura	costo unitario caso arriendo o uso unidades existentes (M\$/MES)	cantidad unidades o meses	costo total M\$	Financiamiento			
				IDIEM M\$	LNV M\$	E.Cons. M\$	CORFO M\$
Oficina	500	29	14500				14500
Subtotal			14500	0	0	0	14500

Tabla 4.7 Fungibles

Descripción	Costo unitarios M\$/unidad	Cantidad	Costo total M\$	Financiamiento			
				IDIEM M\$	LNV M\$	E.Cons. M\$	CORFO M\$
Artículos de oficinas	50	29	1450				1450
Insumos computacionales	100	29	2900				2900
Subtotal			4350	0	0	0	4350

Tabla 4.8 Gastos Generales e Imprevistos

Descripción	Costo unitario M\$/unidad	Cantidad	costo total M\$	Financiamiento			
				IDIEM	LNV	Concesionarias	CORFO
Combustible	50	29	1450				1450
Imprevistos	100	29	2900				2900
Subtotal			4350	0	0	0	4350

Capítulo 5: Comentarios y Conclusiones

5.1 Comentarios

- La participación mínima que se exige en los fondos concursables, es de un 20% de financiamiento, el cual deber ser distribuido dentro de las instituciones y la empresa que son participantes del proyecto. En esta memoria se entrega una propuesta para los porcentajes de participación, debido a que es un primer acercamiento al proyecto, ya que en futuro se debería hacer los compromisos pertinentes.
- Una forma de financiar el proyecto por parte de las entidades participantes, es el aporte no incremental, que es un recurso actualmente disponible en la organización y que seguirá estando disponible aunque no haya proyecto. Este medio de financiamiento sería el más recomendado para el caso de las Instituciones dependientes de organismos públicos.
- Para cuantificar este proyecto se consultaron precios a empresas de rubro de la construcción de pavimentos, pero para cuantificar algunas partidas de obra se tuvo que estimar algunos precios y rendimientos, debido a que ciertos precios se consideraban como información confidencial, por lo que pueden estar sobreestimado algunos.
- Una nueva tecnología ha sido desarrollada en Europa la cual se caracteriza por ser mezclas ultra finas, se parece bastante a la mezcla M10 de microaglomerados discontinuos en caliente, con la particularidad de utilizar un riego liga (bitumen – latex) de alto desempeño; es por eso que se deja propuesto continuar el estudio incluyendo este tipo de mezclas ya que con ella se pueden lograr carpetas ultra delgadas de espesores de 1 a 1,5 cm para tráfico pesados.

5.2 Conclusiones

- La mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente en Europa es la técnica más utilizada como carpeta de rodadura, ejemplos son España y Francia. En este último país, el 40% de las autopistas concesionadas utilizan la mezcla. Esto se debe a su buen comportamiento en general, en términos de ruido, adherencia y drenaje, y de una durabilidad muy buena. Además la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, como solución de mantención, es una buena alternativa de restauración superficial, debido a que restablece su serviciabilidad, reduce el envejecimiento y aumenta la resistencia al pavimento.
- La tendencia mundial en la construcción de pavimentos asfálticos es de disminuir los espesores para reducir los costos, debido a la economía actual de los altos precios del petróleo. Un ejemplo es Francia, el cual se estima que ahorra 60 millones de euros anuales en gastos de mantenimiento de la red nacional, debido al

uso de microaglomerados discontinuos en caliente (BBTM, Béton Bitumineux Très Mince) frente a las técnicas convencionales.

- El diseño y la confección de los microaglomerados discontinuos en caliente es similar a las mezclas tradicionales, salvo que los materiales necesarios son de mayor calidad, tales como el cemento asfáltico modificado, árido con mayor porcentaje de chancado, granulometría discontinua, y que poseen un textura superficial más rugosa. Debido a lo anterior pocos han aplicado la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, ya que el costo es un 20% a 30% mayor a la mezcla tradicional. Pero si se pudiese comprobar que su durabilidad fuese mayor en un 30%, se podría reducir los costos en un 10% fácilmente.
- El árido es el material al cual se le debe exigir un mayor desempeño para las mezclas de microaglomerados discontinuos en caliente. Para las exigencias como son el Pulimento Acelerado, Partículas Chancadas y desgaste Los Ángeles son mayores a si las comparamos con las especificaciones nacionales, pero a nivel de Europa son las mismas exigencias como para una lechada asfáltica, salvo la exigencia en el desgaste Los Ángeles para la mezcla del tipo M, a la que se le exige un 15% como máximo para categorías de tráfico T0, T1, T2, debido a que son capas de muy bajo espesor. El Índice de Lajas es el más exigente en comparación a otras mezclas, ya sea a nivel nacional o europeo, esto se debe a que se buscan formas cuboides, evitando así las formas planas, alargadas y en forma de lajas, ya que esas formas son muy susceptibles a quebrarse debido a la condición del tráfico pesado que estará expuesto. Esta característica es trascendental si se desea que las carpetas de rodadura tengan una buena resistencia a las deformaciones permanentes.
- La temperatura va ser un parámetro esencial al momento del transportar la mezcla y al realizar la compactación, porque como se exige espesores pequeños para este tipos de mezclas son mucho más sensible ante variaciones de temperatura.
- La mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente esta comprobado que mejoran notablemente las características superficiales de los pavimentos, pero no que da claro aún si este tipo de mezclas tiene un aporte estructural, ya que por tener un bajo espesor se consideran que no entrega ningún aporte, pero hay estudios que avalan que tiene un coeficiente estructural igual o superior a 0,23. En Chile se considera que el coeficiente estructural es 0,4(M.C.3.604.107).
- Se hace evidente la necesidad de realizar una experiencia a escala real de la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, para poder observar el comportamiento y así incentivar el uso, porque el escepticismo que hay en el medio es grande, ya que este tipo de mezcla asfáltica todavía esta en estudio.
- El ingreso a nuestro país de nuevas técnicas para pavimentos asfálticos es muy difícil, ya que se necesita estudiar en su totalidad el comportamiento frente a las distintas situaciones. Además, el empleo de nuevas técnicas o materiales en carreteras en servicio lleva un riesgo, dado el costo económico y el perjuicio a los

usuarios a un fallo prematuro. Este es el gran impedimento al desarrollo tecnológico en Chile al cual produce un desfase con los países desarrollados, es por eso que se necesita analizar el costo de construir una pista de ensayo acelerado, la cual ayudaría a determinar la evolución del firme en corto plazo.

- El costo de realizar este proyecto es del orden 185 millones de pesos y el 20% de participación es de 36 millones; si se analiza el costo que deberían incurrir los beneficiarios es mínimo, ya que si se logran los objetivos principales, los costos de mantención podrían reducirse fácilmente entre 10% a 20%.

Glosario

Ahuellamiento. El Ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos.

Baches. Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito.

Descascaramiento. Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

Exudación. Este tipo daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Fisuras de juntas de construcción. Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación.

Fisuras de borde. Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.

Fisuras de bloque. Cuando se presenta este tipo daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular.

Fisuras longitudinales y transversales. Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, los cuales han superado la resistencia del material afectado.

Mantenimiento rutinario. Reparación localizada de la calzada y del pavimento; nivelación de superficies sin pavimentar y bermas; mantenimiento regular del drenaje, taludes laterales, bordes, dispositivos para control del tránsito y accesorios; limpieza de las fajas de derecho de vía, control del polvo y la vegetación, limpieza de la nieve o la arena y mantenimiento de zonas de descanso y aditamentos de seguridad. Típicamente el costo fluctúa entre menos de US\$300 y más de US\$5000 por kilómetro.

Pérdida de agregado. Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie más rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos.

Piel de cocodrilo. Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas.

Pulimento. Este daño se evidencia por la presencia agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.

Renovación de superficie. Reaplicación de grava en un camino sin pavimentar o renovación de la superficie de un camino pavimentado (con un revestimiento de asfalto delgado, un tratamiento superficial o una capa de resellado) para preservar su integridad estructural y calidad de rodadura. Los caminos pavimentados normalmente necesitan renovación de la superficie en el momento en que pasan del buen estado al estado regular, a condición de que el volumen del tráfico justifique el mantenimiento del camino de que se trate en buen estado. La renovación de superficie tiene a veces el nombre de “mantenimiento periódico”, aunque todas las actividades de mantenimiento son periódicas. El costo puede variar entre menos de US\$8000 y más de US\$40000 por kilómetro.

Rehabilitación. Reparación selectiva, refuerzo y reperfilado del pavimento o calzada (incluidos pequeños mejoramiento del drenaje), a fin de restablecer la solidez estructural y la calidad de rodadura. El término “refuerzo” se usa a veces para designar una categoría específica de rehabilitación del pavimento que consiste en la aplicación de revestimientos. El costo de la rehabilitación puede variar entre de US\$30000 por kilómetro en el caso de los caminos sin pavimentar y más de US\$200000 por kilómetro en el de los caminos pavimentados. El costo, en el caso de estos últimos, aumenta rápida y acentuadamente cuando el pavimento pasa de regular estado a mal estado.

Reconstrucción. Renovación de la estructura del camino generalmente usando la explanación y alineamiento existentes de los caminos, para remediar las consecuencias del descuido prolongado, o en los casos en que la rehabilitación ya no es posible. El costo puede variar considerablemente, entre alrededor de US\$45000 y más de US\$300000 por kilómetro.

Bibliografía

1. American Association Of State Highway and Transportation Officials, AASHTO, 1987, "*Maintenance Manual*", Washington, D.C.
2. Asphalt Institut, 1985, "*Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción: Guía para instructores*", Traducido por la comisión permanente del asfalto de la República Argentina.
3. Banco Mundial, 1988, "El Deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo. Causas y Soluciones. Estudio de Políticas del Banco Mundial".
4. Boletín Oficial del Estado, 2004, "Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes. Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura", España.
5. Departamento de Gestión Vial, 2005, "Valor del Patrimonio de la Red Vial Nacional – Año 2005".
6. Gordillo, J., 1990, "Pavimentos urbanos con mezclas bituminosas especiales", II Jornadas sobre Pavimentación Urbana.
7. Güell, Adolfo, 2006, "*Mejora de la seguridad vial mediante una mezcla discontinua y la técnica de Microfresado*", Revista Carreteras, Julio-Agosto 06, N° 147, pág. 79- 88.
8. Harrel, Clell G, 1988, "*El Deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo: Causas y Soluciones*", Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento.
9. Herrera T., Y., M. 2005, "*Aplicación de mezclas asfálticas modificadas con caucho, programa de seguimiento en ruta X-65 y 60-CH*". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
10. Hicks, Gary, Stephen Seeds y David Peshkin, 2000, "*Selecting a Preventive Maintenance Treatment for Flexible Pavements*", Foundation for Pavement Preservation.
11. Laboratorio Nacional de Vialidad, MOP, 2000, "*Curso Laboratorista Vial*", Volumen II.
12. Lesueur, Didier, 2005, "*Panorámica Francesa de las Mezclas Bituminosas. Desarrollos Recientes*". Madrid, España. 1° Jornada Técnica de ASEFMA. <<http://www.asefma.com.es/doc/20050608/CONF%205-%20Panoramica%20francesa%20MB.pdf>>.

13. Loría, Guillermo. 2006. "Investigación: Microaglomerados en caliente para capas de rodadura", Revista Infraestructura Vial del LANAMME de Costa Rica N°15: 4-10.
14. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, 2003, "Manual de Carreteras".
15. Miro, Rodrigo, 2006, "Nuevas Mezclas para capas de Rodadura y su Influencia en el Confort (ruido) y la Seguridad", Universidad Politécnica de Cataluña.
16. Nunes, Patrícia. 2006. "Estudo da utilização de revestimentos asfálticos delgados a quente para pavimentos tipo BBTM no Brasil", Tese de Doctor em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
17. Observatoire des Techniques de Chaussées, 1997, "Betons Bitumineux Tres Minces et Ultra-Mince", Note D'Information du SETRA Chaussées et Dépendances.
18. Ruiz, Aurelio, 2005 "Panorámica Española de las Mezclas Bituminosas. Desarrollos Recientes. Consideraciones de Futuro", Centro de Estudios del Transporte del CEDEX.
19. Soto, Jose, 2006, "Vida Útil. Necesidad de Rehabilitación con Soluciones Innovadoras". Universidad Politécnica de Cataluña.
20. Vargas B., S., R., 2000, "*Introducción a la tecnología de los microaglomerados asfálticos en frío y discontinuos en caliente*" Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Anexos

Anexo 1: Actualización a Manual de Carreteras

En este anexo se desea entregar las actualizaciones que deben ser consideradas en las especificaciones de las mezclas de microaglomerados discontinuos, las cuales están basadas al Pliego Prescripciones Técnica Generales para Obras de Carreteras y Puentes de España.

Tabla A.1 Actualización a Volumen N°5 del Manual de Carreteras, versión 2003

Descripción	Modificación
<p>5.416.1 Descripciones y Alcances 3° párrafo</p> <p>Se especifican...las mezclas tipo F, con espesores entre 2,0 y 3,8 cm; y tipo M entre 1,0 y 2,5 cm</p>	<p>Los dos tipos de mezclas (F y M) podrán fabricarse mezclas, para capas de rodadura de 2 y 3 cm respectivamente</p>
<p>Tabla 5.416.201.B y Tabla 5.416.201.C</p> <p>Equivalente de arena Mínimo 50% Azul de metileno Máximo 1</p>	<p>(1) Equivalente de arena Mínimo 50% o (2) Equivalente de arena Mínimo 40% y Azul de metileno Máximo 10</p>
<p>Tabla 5.416.201.B Índice de Lajas</p> <p>Categoría Tráfico T0 a T2: Máximo 25% (Tipo F) Máximo 20% (Tipo M) Categoría Tráfico T3, T4 y bermas: Máximo 30% (Tipo M y F)</p>	<p>Categoría Tráfico T0 a T2: Máximo 20% (Tipo F y M) Categoría Tráfico T3, T4 y bermas: Máximo 25% (Tipo M y F)</p>
<p>Tabla 5.416.204.A Dotación media</p> <p>Tipo M8, kg/m² 25-40 Tipo M10 kg/m² 35-50 Tipo F8, kg/m² 40-75 Tipo F10 kg/m² 50-100</p>	<p>Tipo M8, kg/m² 35-50 Tipo M10 kg/m² 55-70 Tipo F8, kg/m² 40-55 Tipo F10 kg/m² 65-80</p>
<p>Tabla 5.416.204.A Relación Filler/ligante</p> <p>Tipo M 1,2-1,4 Tipo F 1,4-1,8</p>	<p>Tipo M 1,1-1,3 Tipo F 1,3-1,7</p>

Anexo 2: Bandas Granulométricas

Las granulometrías exigidas en España y Francia, se asemejan por una discontinuidad en su banda, lo cual crea un esqueleto fuerte de áridos gruesos.

De todas las granulometrías española para la mezcla de microaglomerados discontinuos en caliente, la del tipo F10 es la más similar a la BBTM. Estas se pueden ver en la Tabla y los gráficos a continuación.

Tabla A2.1 Granulometrías Europeas para mezclas discontinuas en caliente

Tamices		Granulometría Española				Granulometría Francesa
		M8	M10	F8	F10	BBTM0/10
mm	ASTM					
12,5	1/2"		100		100	100
10		100	75-97	100	75-97	
9,5	3/8"					90-100
8	5/16"	75-97		75-97		
6,3	1/4"					25-45
4	N°5	14-27	14-27	23-38	23-38	
2	N°10	11-22	11-22	18-32	18-32	15-35
0,5	N°35	8-16	8-16	11-23	11-23	
0,425	N°40					11-22
0,18	N°80					9-16
0,075	N°200					7-10
0,063	N°230	5-7	5-7	7-9	7-9	

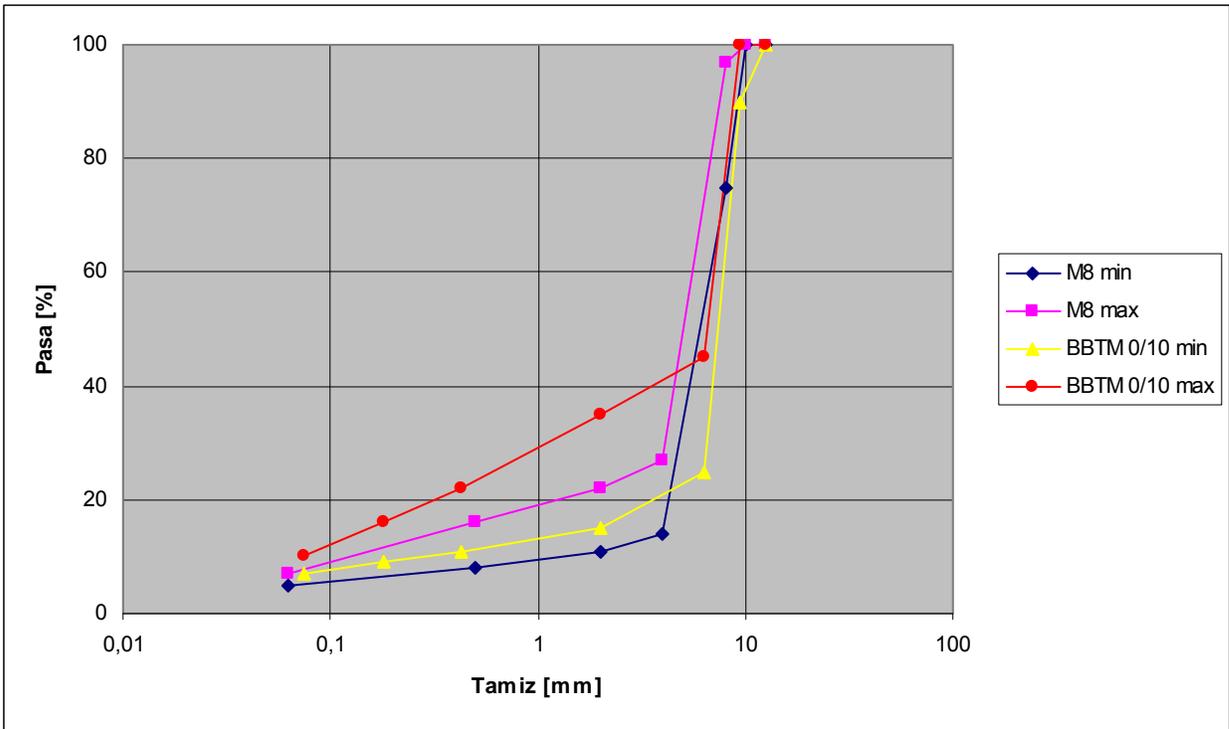


Figura A2.1 Banda Granulométrica M8 y BBTM 0/10

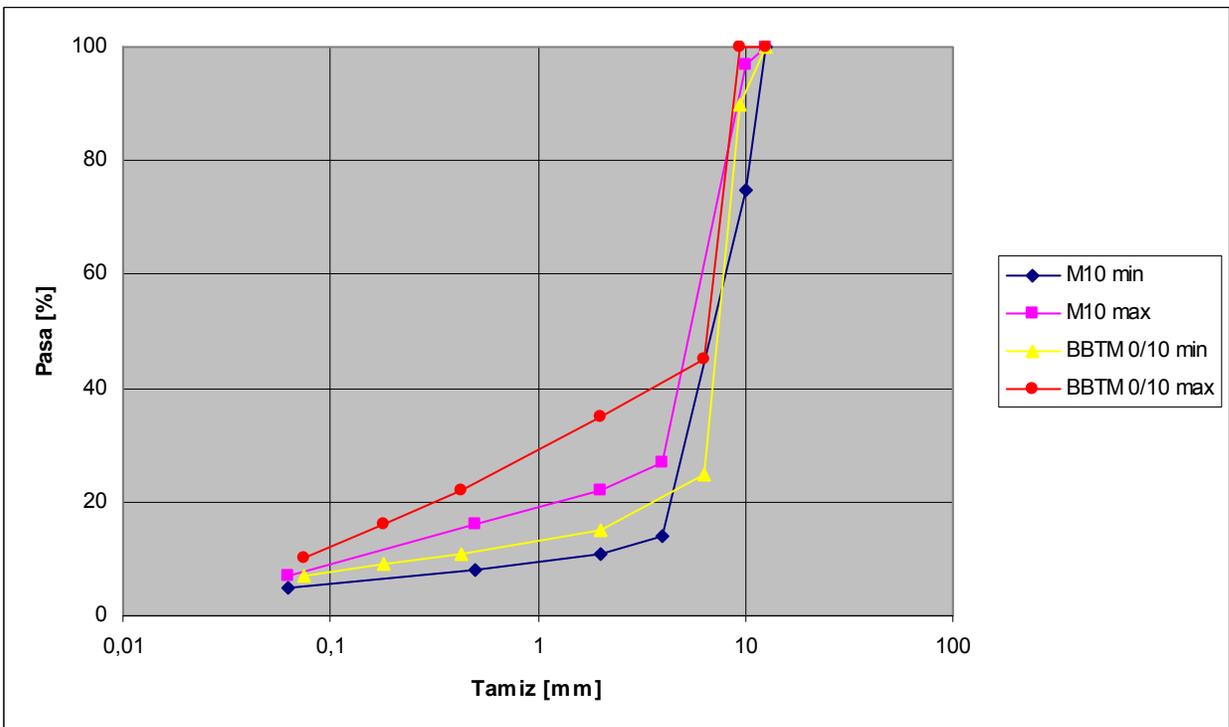


Figura A2.2 Banda Granulométrica M10 y BBTM 0/10

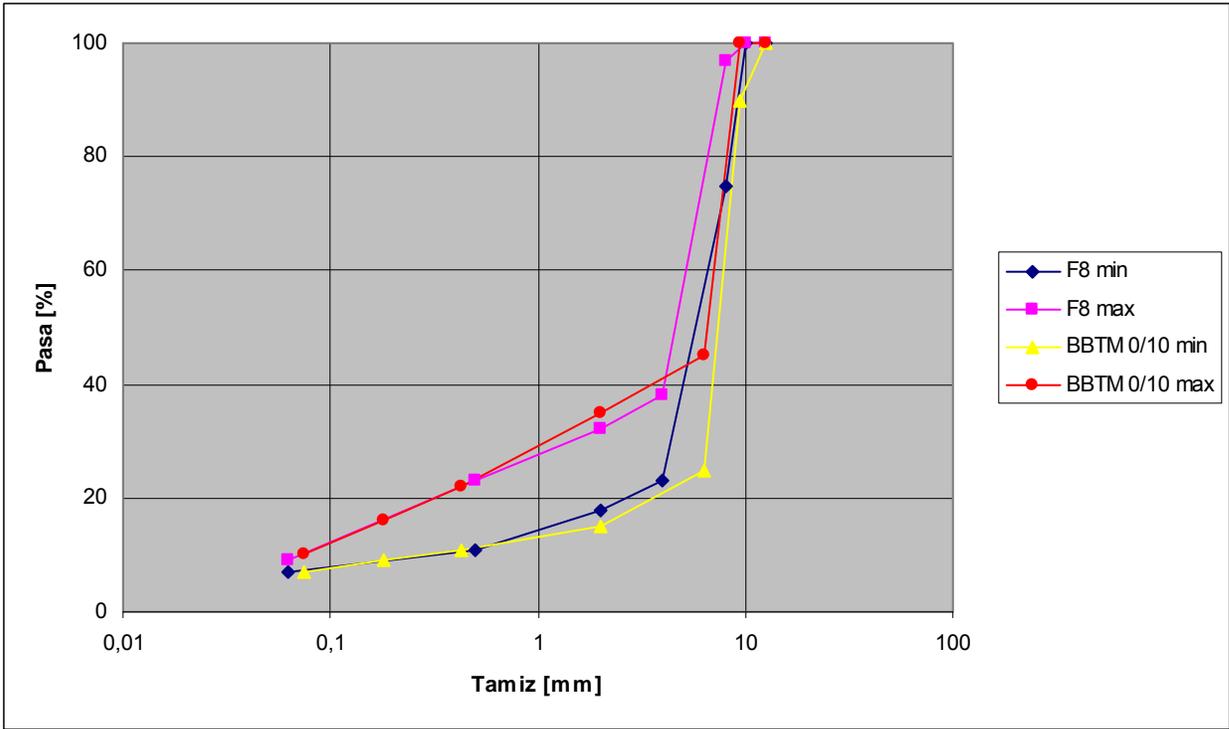


Figura A2.3 Banda Granulométrica F8 y BBTM 0/10

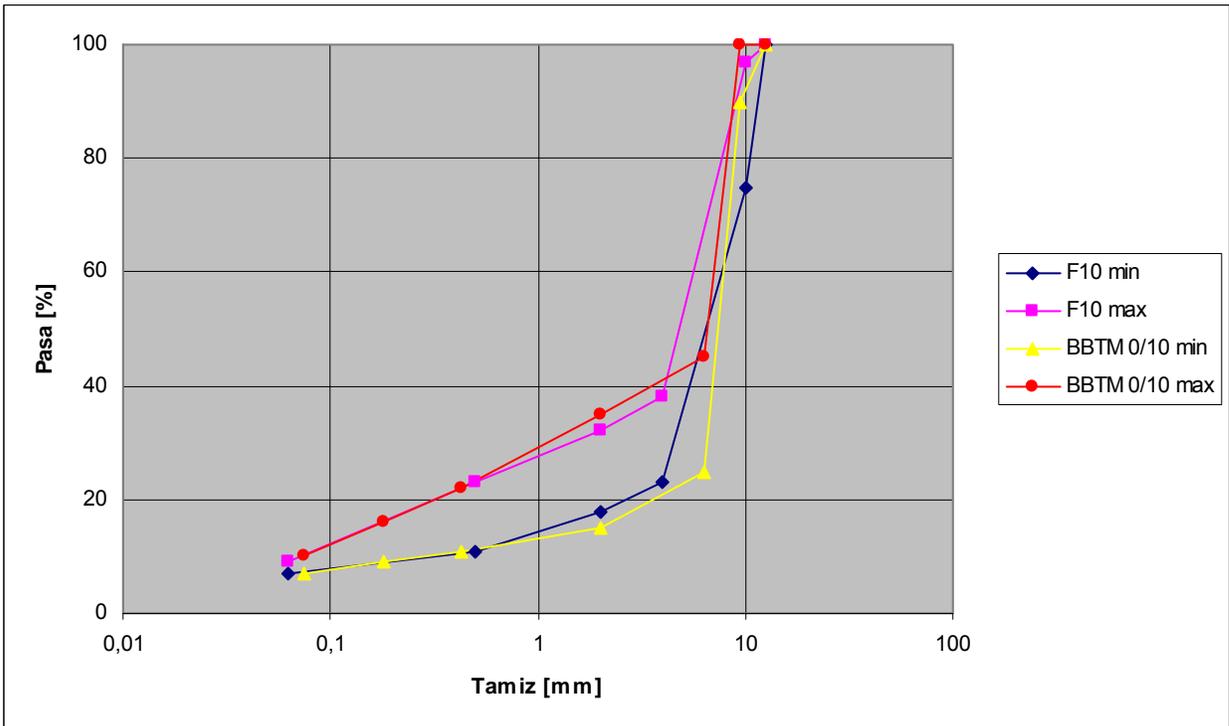


Figura A2.4 Banda Granulométrica F10 y BBTM 0/10

Anexo 3: Detalle de Precios

Tabla A3.1 Precio Materiales

ITEMS	unidad	cantidad	precio	mezcla	mezcla	mezcla asfáltica
			unitario	asfáltica	asfáltica	convencional con celulosa
			[\$]	[\$]	[\$]	[\$]
Materiales						
Árido	m ³	1,3	8500	11050	11050	11050
Cemento asfáltico	litro	120	265		31800	31800
Cemento asfáltico modificado	litro	120	430	51600		0
Polvo mineral	kg	25	90	2250	2250	2250
Pellet (celulosa)	ton	0,01	350000			3500
SUBTOTAL				64900	45100	48600
Mano de obra						
Jornal	hd	0,1	9000	900	900	900
Capataz	hd	0,01	22500	225	225	225
Maestro de 2a	hd	0,04	10500	420	420	420
Operador	hd	0,04	22500	900	900	900
Jefe planta	hd	0,001	25500	25,5	25,5	25,5
SUBTOTAL				2470,5	2470,5	2470,5
Maquinaria y transporte						
Grupo electrógeno	h	0,02	7500	150	150	150
Cargador	h	0,04	30	1,2	1,2	1,2
Rodillo liso	h	0,06	18750	1125	1125	1125
Barredora mecánica	h	0,02	16500	330	330	330
Terminadora asfáltica	h	0,05	31500	1575	1575	1575
Transporte de áridos en planta	m ³	1,1	105	115,5	115,5	115,5
Transporte de mezcla	m ³ /km	20	225	4500	4500	4500
Planta de asfalto	ton	1,8	975	1755	1755	1755
SUBTOTAL				9551,7	9551,7	9551,7
OTROS						
Petróleo diesel	litro	5	600	3000	3000	3000
Fuel oil	litro	30	600	18000	18000	18000
SUBTOTAL				21000	21000	21000
		TOTAL	[\$/m3]	97922,2	78122,2	81622,2

Tabla A3.2 Precios de Ensayos I

Áridos	
áridos gruesos	precio
Ensaye	[\$]
Equivalente de arena	30400
Azul de metileno	30000
Partículas chancadas	52700
contenido de impurezas	23400
Índice de lajas	24600
desgaste los ángeles	66200
pulimento acelerado	350000
adhesividad ligante-árido en agua	17800
áridos finos	precio
ensaye	[\$]
equivalente de arena	30400
azul de metileno	30000
adhesividad ligante-árido	17800
Filler	precio
ensaye	[\$]
densidad aparente	62200
Asfaltos	precio
Ensaye	[\$]
Penetración, 25°C, 100g, 5s, 0,1mm	10600
Punto de Ablandamiento	16900
Ductibilidad a 5°C, 5 cm/min, cm	22600
Ductibilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	22600
Índice de Penetración	21500
Punto de Fragilidad Fraass, °C	68400
Intervalo de Plasticidad, °C	
Recuperación Elastica, %	40300
Punto de inflamación, °C	20200

Tabla A3.3 Precio de Ensayos II

Ensayo	Valor [\$]
Monografías	20000
Círculo de Arena	15000
CPX	50000
Pass-by	50000
Permeámetro LCS	15000
Hi-Lo	55000
Grip Tester	50000
SCRIM	60000
IRI	40000
Macrotextura con perfilómetro láser	80000
Marshall	150000
Cantabro	200000
Wheel Tracking Test	500000
Inmersión-Compresión	150000
Escurrimiento	50000
Tracción Indirecta	100000

Anexo 4: Tiempo de Compactación

El tiempo de compactación es menor para mezclas asfálticas finas, debido a sus bajos espesores, por lo que es necesario considerar estudio realizado por *Corlew and Dickson*²⁰, el cual considera la influencia del viento, la radiación solar, el espesor a compactar, la temperatura de la base, la temperatura de la mezcla y la temperatura mínima de compactación.

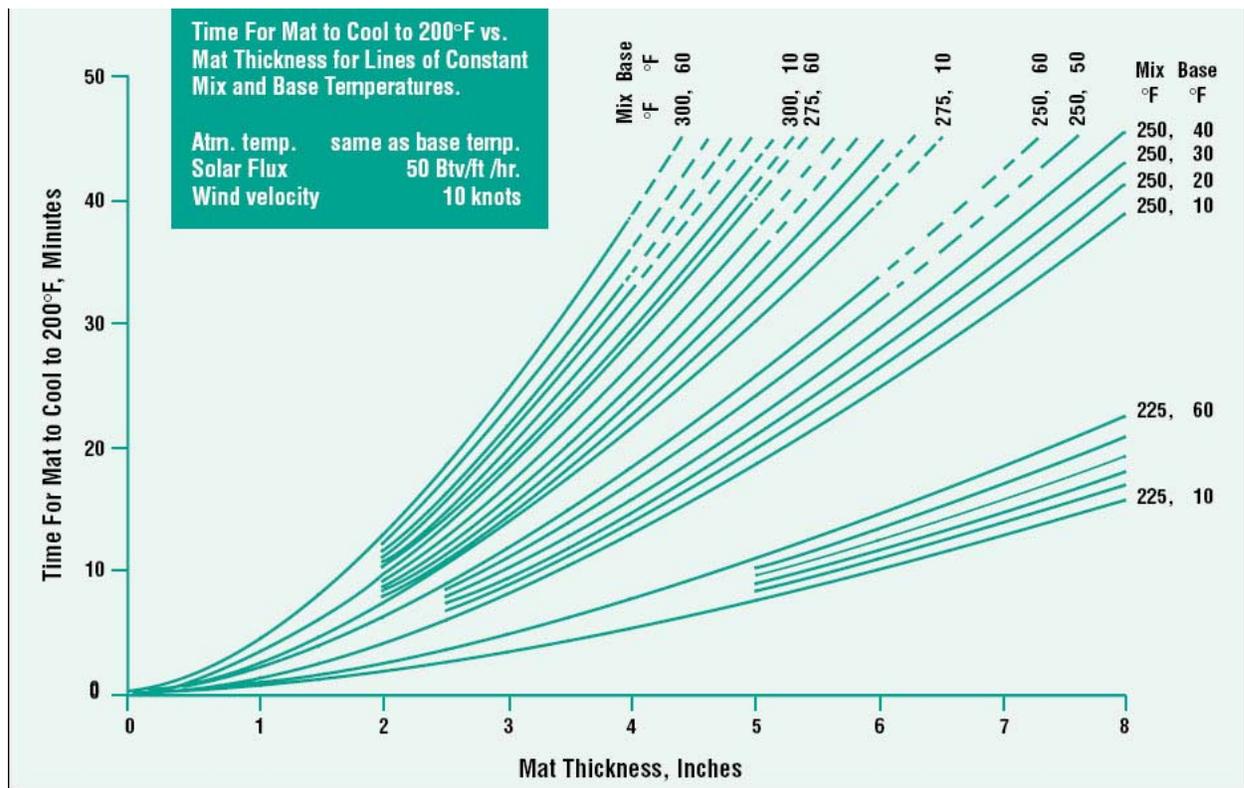


Figura A4.1 Tiempo de compactación vs Espesor de capa

²⁰ Dickson, P. F., and J. S. Corlew. Cooling of Hot-Mix Asphalt Laid on Frozen Subgrade. *Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists*, Vol. 41, 1972.

Anexo 5: Sistema PAVER

CHAPTER 3

PAVEMENT CONDITION SURVEY AND RATING PROCEDURES

3-1. Introduction

An important component of PAVER is the pavement condition survey and rating procedures. Data obtained from these procedures are the primary basis for determining M&R requirements and priorities. This chapter explains how to conduct a condition survey inspection and how to determine the pavement condition index (PCI). It is essential to have a thorough working knowledge of the PCI and condition survey inspection techniques.

3-2. Pavement condition rating

Pavement condition is related to several factors, including structural integrity, structural capacity, roughness, skid resistance/hydroplaning potential, and rate of deterioration. Direct measurement of all of these factors requires expensive equipment and highly trained personnel. However, these factors can be assessed by observing and measuring distress in the pavement.

a. *PCI.* The pavement condition rating is based on the PCI, which is a numerical indicator based on a scale of 0 to 100. The PCI measures the pavement's structural integrity and surface operational condition. Its scale and associated ratings are shown in figure 3-1.

b. *Determination of PCI.* The PCI is determined by measuring pavement distress. The method has been field tested and has proven to be a useful device for determining M&R needs and priorities.

3-3. Pavement inspection.

a. *General.* Before a pavement network is inspected, it must be divided into branches, sections, and sample units as described in chapter 2. Once this division is complete, survey data can be obtained and the PCI of each section determined.

b. *Inspection procedures for jointed concrete pavement sections.* There are two methods which may be used to inspect a pavement. Both methods require that the pavement section be divided into sample units. The first method-entire section inspection-requires that all sample units of an entire pavement section be inspected. The second method-inspection by sampling-requires that only a portion of the sample units in a section be inspected. For both methods, the sample units must be assigned sample unit numbers.

PCI	RATING
100	EXCELLENT
85	VERY GOOD
70	GOOD
55	FAIR
40	POOR
25	VERY POOR
10	FAILED
0	

Figure 3-1. PCI scale and condition rating.

(1) For entire section inspections, the inspector walks over each slab in each sample unit and records the distress(es) observed on DA Form 5145-R (Concrete Pavement Inspection Sheet) (fig E-1). One form is used for each sample unit. The inspector sketches the sample unit using the preprinted dots as joint intersections (imaginary joints should be labeled). The appropriate number code for each distress found in the slab is entered in the square representing the slab. The letter *L* (low), *M* (medium), or *H* (high) is included along with the distress number code to indicate the severity level of the distress. Distresses and severity level definitions are listed in appendix B. Since the PCI was based on these definitions, it is imperative that the inspector follow appendix B closely when performing an inspection.

(2) The equipment needed to perform a survey is a hand odometer for measuring slab size, a 10-foot straightedge and rule for measuring faulting and land/shoulder drop off, and the PCI distress guide (app B).

(3) The Inspection Sheet has space for a summary of each distress and severity level(s) of distress contained in the sample unit. These data are used to compute the PCI for the sample unit as outlined in paragraph 3-5. Figure 3-2 is an example of DA Form 5145-R showing the summary of distresses for the sample unit.

c. Inspection procedures for asphalt, tar-surfaced, and/or asphalt over concrete pavement. As with jointed concrete pavements, the pavement section must first be divided into sample units. During either the entire section inspection or inspection by sampling, the inspector walks over each sample unit, measures each distress type and severity, and records the data on the DA Form 5146-R, Asphalt Pavement Inspection Sheet (fig E-2).

(1) The equipment needed is a hand odometer used to measure distress lengths and areas, a 10-foot straightedge, and a ruler to measure the depth of ruts or depressions.

(2) One form is used for each sample unit. One column on the form is used to represent each identified distress type. The number of that distress type is indicated at the top of the column. Amount and severity of each distress identified is listed in the appropriate column. An example of a completed DA Form 5146-R Asphalt Pavement Inspection Sheet is shown at figure 3-3. Distress No. 6 (depression) is recorded as *6x4L*, which indicates that the depression is a 6-foot by 4-foot area and of low severity. Distress No. 10 (longitudinal and transverse cracking) is measured in linear feet; 3-2 thus, *10L* indicates 10 linear feet of light cracking, etc. The total distress data are used to

compute the PCI for the sample unit. That computation is explained later in paragraph 3-5. An example of the summary of the distress types densities and severities for an asphalt tar-surfaced sample unit is shown in figure 3-3.

d. Remarks.

(1) For both jointed concrete and asphalt or tar-surfaced pavement, it is important that each sample unit be identified concisely so it can be located for additional inspections, comparison with future inspections, maintenance requirements, and random sampling purposes. One way to do this is to keep a file of previous inspection data, including a sketch of the section which shows the location of each sample unit. (See fig 2-5 as an example.)

(2) It is imperative that the distress definitions listed in appendix B be used when performing pavement inspections. If these definitions are not followed, an accurate PCI cannot be determined.

3-4. Inspection by sampling

a. General. Inspection of every sample unit in a pavement section may be necessary if exact quantities are needed for contracting; however, such inspections require considerable effort, especially if the section is large. Because of the time and effort involved, frequent surveys of an entire section subjected to heavy traffic volume may be beyond available manpower, funds, and time. Therefore, sampling plans have been developed to allow adequate determination of the PCI and M&R requirements by inspecting only a portion of the sample units in a pavement section. The sampling plans can reduce inspection time considerably and still provide the accuracy required. The number and location of sample units to be inspected is dependent on the purpose of inspection. If the purpose is to determine the overall condition of the pavement in the network (e.g., initial inspection to identify projects, budget needs, etc.), then a survey of one or two sample units per section may suffice. The units should be selected to be representative of the overall condition of the section. If the purpose, however, is to analyze various M&R alternatives for a given pavement section (e.g., project design, etc.), then more sampling should be performed. The following paragraphs present the sampling procedure for this purpose.

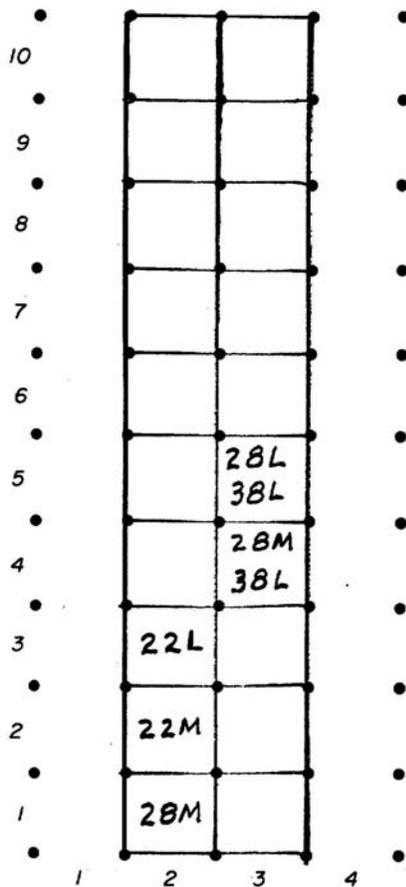
b. Determining the number of samples.

(1) The first step in performing inspection by sampling is to determine the minimum number of sample units (*n*) that must be surveyed. This is done by using figure 3-4.

CONCRETE PAVEMENT INSPECTION SHEET

For use of is form, see TM 5-623; the proponent agency is USACE.

BRANCH MARSHALL AVE SECTION 1
 DATE 10 / 3 / 79 SAMPLE UNIT 1
 SURVEYED BY SK SLAB SIZE 15' x 20'



Distress Types				
21. Blow-Up	31. Polished			
Buckling/Shattering	Aggregate			
22. Corner Break	32. Popouts			
23. Divided Slab	33. Pumping			
24. Durability ("D")	34. Punchout			
Cracking	35. Railroad			
25. Faulting	Crossing			
26. Joint Seal Damage	36. Scaling/Map			
27. Lane/Shldr Drop Off	Cracking/Crazing			
28. Linear Cracking	37. Shrinkage Cracks			
29. Patching, Large & Util Cuts	38. Spalling, Corner			
30. Patching, Small	39. Spalling, U Joint			

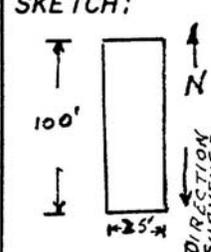
DIST. TYPE	SEV.	NO. SLABS	% SLABS	DEDUCT VALUE
26*	M			4
22	L	1	5	4
22	M	1	5	8
28	L	1	5	3
28	M	2	10	9
38	L	2	10	1
q=2 TOTAL DEDUCT VALUE				29
CORRECTED DEDUCT VALUE (CDV)				24
PCI = 100 - CDV =				76
RATING =				<u>VERY GOOD</u>

* All Distresses Are Counted On A Slab-By-Slab Basis Except Distress 26, Which Is Rated For The Entire Sample Unit.
 DA FORM 5145-R, NOV 82

Figure 3-2. An example of a completed DA Form 5145-R, Concrete Pavement Inspection Sheet.

ASPHALT PAVEMENT INSPECTION SHEET
 For use of this form, see TM 5-623; the proponent agency is USACE.

BRANCH MOTORPOOL RD. SECTION 1
 DATE 10/21/79 SAMPLE UNIT 1
 SURVEYED BY SK AREA OF SAMPLE 2500

Distress Types					SKETCH: 
1. Alligator Cracking	*10. Long & Trans Cracking				
2. Bleeding	11. Patching & Util Cut Patching				
3. Block Cracking	12. Polished Aggregate				
*4. Bumps and Sags	*13. Potholes				
5. Corrugation	14. Railroad Crossing				
6. Depression	15. Rutting				
*7. Edge Cracking	16. Shoving				
*8. Jt Reflection Cracking	17. Slippage Cracking				
*9. Lane/Shldr Drop Off	18. Swell				
	19. Weathering and Raveling				

EXISTING DISTRESS TYPE QUANTITY & SEVERITY						
TYPE	10	1	15	6		
QUANTITY & SEVERITY	10 L	1 X 6 L	2 X 25 L	6 X 4 L		
	5 L	2 X 8 M				
	15 L					
	5 M					
	10 L					
	5 M					
TOTAL SEVERITY	L	40	6	50	24	
	M	10	16			
	H					

PCI CALCULATION				
DISTRESS TYPE	DENSITY	SEVERITY	DEDUCT VALUE	
1	0.24	L	4	PCI = 100 - CDV = 67
1	0.64	M	17	
6	0.96	L	4	
10	1.60	L	4	
10	0.4	M	3	
15	2.0	L	13	
q=2	TOTAL DEDUCT VALUE		45	RATING = GOOD
	CORRECTED DEDUCT VALUE (CDV)		33	

* All Distresses Are Measured In Square Feet Except Distresses 4,7,8,9 and 10 Which Are Measured In Linear Ft; Distress 13 Is Measured In Number of Potholes.

DA FORM 5146-R, NOV 82

Figure 3-3. An example of a completed DA Form 5146-R, Asphalt Pavement Inspection Sheet.

(2) The curves shown in figure 3-4 are used to select the minimum number of sample units that must be inspected. This will provide a reasonable estimate of the true mean PCI of the section. The estimate is within plus or minus 5 points of the true mean PCI about 95 percent of the time. When performing the initial inspection, the PCI range for a pavement section (i.e., lowest sample unit PCI subtracted from the highest sample unit PCI) is assumed to be 25 for asphalt concrete (AC) surfaced pavements and 35 for Portland cement concrete (PCC) surfaced pavements. For subsequent inspections, the actual PCI range (determined from the previous inspection) is used to determine the minimum number of sample units to be surveyed. As illustrated in figure 3-4, when the total number of samples within the section is less than five, every sample unit should be surveyed. If N is greater than five, at least five sample units should be surveyed.

(3) Examples of first assumption for number of sample units to be surveyed *n* follow:

(a) **Given:** Asphalt concrete pavement section with total number of sample units, N=20.
Find: *n*.

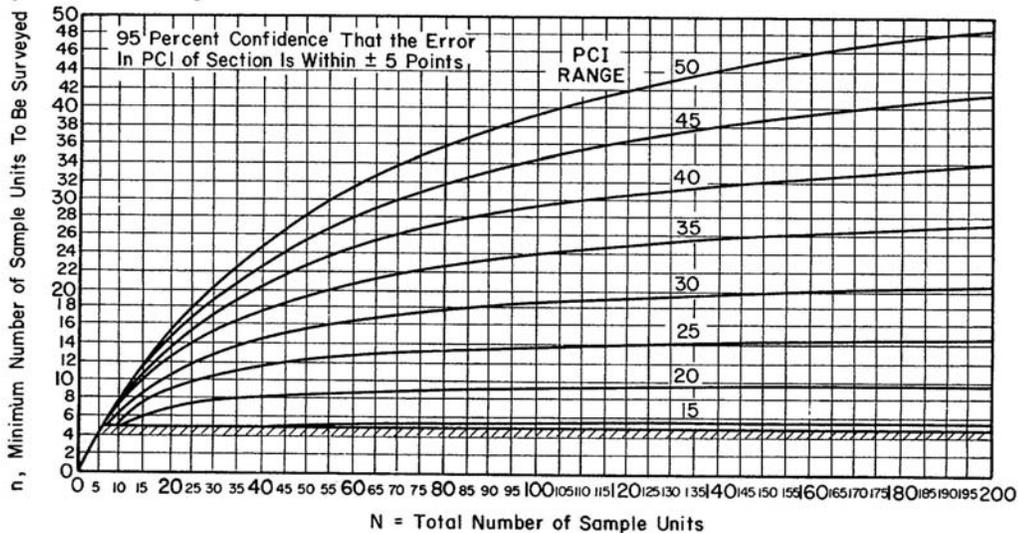
Answer: Start at 20 on the N scale (fig 3-4), proceed vertically to the appropriate curve (PCI range= 25) and read 9 on the *n* scale. Nine sample units should be surveyed. If the PCI range is found to be within 25 the

sampling is complete. However, if the PCI range of the samples taken was found to be 40, it would be necessary to go back to figure 34. Start at 20 on the N scale again, proceed vertically to the curve PCI range=40, and read 13 on the *n* scale. In this unusual case it would be necessary to survey the additional 4 samples (9+4 = 13).

(b) **Given:** Portland cement concrete pavement section with N=30. **Find:** *n*.
Answer: Start at 30 on the N scale, proceed vertical to appropriate curve (PCI range=35) and read 15 on the *n* scale.

(c) **Given:** An AC or PCC pavement section with N<5. **Find:** *n*.
Answer: Survey all sample units.

c. *Selection of samples.* Determining specific sample units to inspect is as important as determining the minimum number of samples (*n*) to be surveyed. The recommended method for selecting the samples is to choose samples that are equally spaced; however, the first sample should be selected at random. This technique, known as systematic sampling, is illustrated in figure 3-5 and is briefly described below.



PCI = Pavement Condition Index
 PCI RANGE = Highest Sample Unit PCI - Lowest Sample Unit PCI
 Assumed PCI Range for asphalt Concrete = 25
 Assumed PCI Range for Portland Cement Concrete = 35

Figure 3-4. Determination of minimum number of sample units to be surveyed.

Total Number of Sample Units In Section (N) = 47
 Minimum Number of Units To Be Surveyed (n) = 13
 Interval (i) = $\frac{N}{n} = \frac{47}{13} = 3.6$ = 3
 Random Start (S) = 3

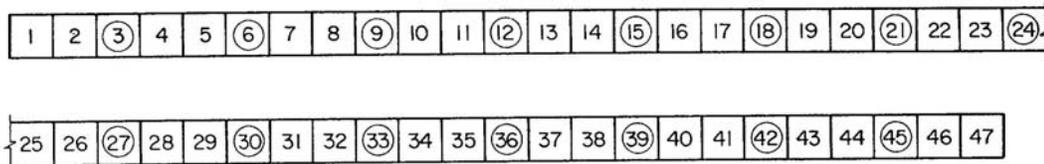


Figure 3-5. Example selection of sample units to be surveyed.

(1) The "sampling interval" (i) is determined by $i=N/n$, where N=total number of available sample units, n=minimum number of sample units to be surveyed, and i is rounded off to the smaller whole number (e.g., 3.6 is rounded to 3).

(2) The random start (s) is selected at random between 1 and the sampling interval (i). For example, if $i=3$, the random start would be a number from 1 to 3.

(3) The sample units to be surveyed are identified as s, s+i, s+2i, s+3i, etc. If the selected start is 3, then the samples to be surveyed are 3, 6, 9, 12, etc. (See fig 3-5.) This technique is simple to apply and also gives the information necessary to establish a PCI profile along the pavement section.

d. Selection of additional sample units. One of the major objections to sampling is the problem of not including very "poor" or "excellent" sample units which may exist in a section. Another problem is the selection of a random sample which contains nontypical distresses such as a railroad crossings, potholes, etc.

(1) To overcome these problems, the inspector should label unusual sample units as additional sample units. An additional unit implies that the sample

was not selected at random and/or contains distress(es) which are not representative of the section.

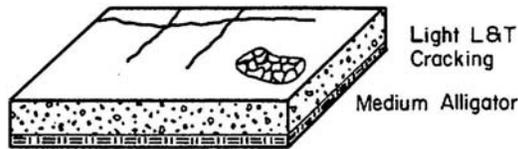
(2) The calculation of the PCI when additional sample units are included is slightly altered and its described in paragraph 3-5.

3-5. Calculating the PCI from inspection results

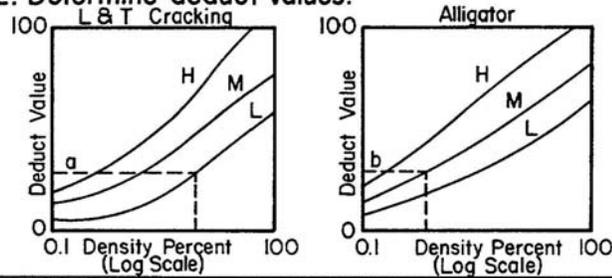
a. General. Paragraph 3-4 described two ways of inspecting a pavement section; i.e., inspecting every unit in the section or inspecting by sampling. Data collected during either method of inspection are used to calculate the PCI. This paragraph explains how to calculate the PCI for a particular sample unit, and how to calculate the PCI for the entire pavement section. An important item in the calculation of the PCI is the "deduct value." A deduct value is a number from 0 to 100, with 0 indicating the distress has no impact on pavement condition, and 100 indicating an extremely serious distress which causes the pavement to fail.

b. Calculating sample unit PCI. Calculating the PCI for a sample unit is a simple procedure which involves five steps (see fig 3-6):

Step 1. Inspect sample units: Determine distress types and severity levels and measure density.

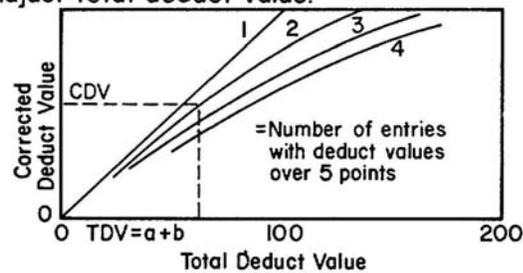


Step 2. Determine deduct values.



Step 3. Compute total deduct value (TDV) a+b.

Step 4. Adjust total deduct value.



Step 5. Compute pavement condition index (PCI) = 100 - CDV for each sample unit inspected

Figure 3-6. Steps for calculating PCI for a sample unit.

(1) Step 1. Each sample unit is inspected and distress data recorded on DA Form 5145-R for concrete or DA Form 5146-R for bituminous pavements as described in paragraph 3-3. (See figs 3-2 and 3-3.)

(2) Step 2. The deduct values are determined from the deduct value curves for each distress type and severity. (See app C.)

(3) Step 3. A total deduct value (TDV) is computed by summing all individual deduct values.

(4) Step 4. Once the TDV is computed, the corrected deduct value (CDV) can be determined from the correction curves (fig C-20 or fig C-40). When determining the CDV, if any individual deduct value is higher than the CDV, the CDV is set equal to the highest

individual deduct value. For example, assume that two distresses were found in an asphalt pavement, one with a deduct value of 50, and the other with a deduct value of 10. Using figure C-20, the CDV for $q=2$ (q = number of individual deducts whose value is greater than 5) is 44. Since 44 is lower than 50, the CDV is set equal to 50.

(5) Step 5. The PCI is computed using the relation $PCI = 100 - CDV$.

c. Calculating the PCI for a pavement section. If all sample units in a section are surveyed, the PCI of the section is computed by averaging the PCIs

of all its sample units. Inspection by sampling, however, requires a different approach. If all surveyed sample units are selected randomly, the PCI of the pavement section is determined by averaging the PCI of its sample units. If any additional sample units are inspected, a weighted average must be used. The weighted average is computed by using the following equation:

$$PCI_s = \frac{(N-A)(PCI_1) + A(PCO_1) + A(PCO_2)}{N} \quad \text{(Equation 3-1)}$$

where PCI_s = PCI of pavement section, PCI_1 = average PCI of random samples, PCI_2 = average PCI of additional samples, N = total number of samples in the section, and A = number of additional samples inspected.

d. *Example calculation of the PCI for a sample unit.* The field data sheets described in paragraph 3-3 are always used when calculating the PCI of a sample unit.

(1) *Asphalt pavement inspection sheet (fig 3-3).*

(a) The difference between calculating a PCI for an asphalt sample unit and calculating a PCI for a concrete sample unit is in the way the distress density is determined.

1. Density for distresses measured by the square foot is calculated as follows:

$$\text{Density} = \frac{\text{distress amount in square feet}}{\text{sample unit area in square feet}} \times 100$$

2. Density for distresses measured by the linear foot (bumps, edge cracking, joint reflection cracking, lane/shoulder drop off, and longitudinal and transverse cracking) is calculated as follows (see appendix B for distress definitions):

$$\text{Density} = \frac{\text{distress amount in linear feet}}{\text{sample unit area in square feet}} \times 100$$

3. Density for distress measured by number (potholes) is calculated as follows:

$$\text{Density} = \frac{\text{number of potholes}}{\text{sample unit area in square feet}} \times 100$$

(b) After the distress density for each distress type/severity combination is calculated, the deduct values are determined from the distress deduct value curves in figures C-1 through C-19 of appendix C. The corrected deduct value (CDV) is determined from figure C-20 and is calculated as shown in figure 3-3.

(2) *Concrete pavement inspection sheet (fig 3-2).* After inspection, calculate the density of distress

as follows:

$$\text{Density} = \frac{\text{number of slabs containing a particular type}}{\text{distress number of slabs in sample unit}} \times 100$$

For example, two slabs in the pavement sample unit shown in figure 3-2 contained linear cracking (distress 28) at medium severity, so the density is calculated as $2 \text{ } 20 \times 100$, or 10 percent. The deduct values are then determined for each distress combination from the distress deduct value curves given in figures C-21 through C-39. The CDV is determined from figure C-40, and the PCI is calculated as shown in figure 3-2.

e. *Determination of distress quantities for a pavement section.* When a pavement has been inspected by sampling, it is necessary to extrapolate the quantities and densities of distress over the entire pavement section to determine total quantities for the section.

(1) If all sample units surveyed were selected at random, the extrapolated quantity of a given distress of a given severity level would be determined as illustrated in the following example for medium-severity alligator cracking:

Section Information

Surface type: Asphalt concrete

Area: 24,500 square feet

Total number of sample units in the section: 10

Five sample units were surveyed at random, and the amount of medium-severity alligator cracking was determined as follows:

Sample Unit ID	Sample Unit Area, Square Feet	Medium-Severity Alligator Cracking, Square Feet
02	2500	100
04	2500	200
06	2500	150
08	2500	50
10	2000	100
<i>Total Random</i>	12,000	600

The average density for medium-severity alligator cracking is, therefore, $600/12,000 = .05$. The extrapolated quantity is determined by multiplying the density by the section area, i.e., $.05 \times 24,500 = 1225$ square feet.

(2) If additional sample units were included in the survey, the extrapolation process would be slightly different. In the example given in (1) above, assume that sample unit number 01 was surveyed as additional and that the amount of medium-severity alligator cracking

was measured as follows:

<i>Additional Sample Unit ID Cracking,</i>	<i>Sample Unit Area, Square Feet</i>	<i>Medium-Severity Alligator Square Feet</i>
<u>01</u>	<u>2500</u>	<u>1000</u>
<i>Total Additional</i>	2500	1000

Since 2500 square feet were surveyed as additional, the section's randomly surveyed area is, therefore, 24,500-2500=22,000 square feet. The extrapolated distress quantity is obtained by multiplying the distress density by the section's randomly surveyed area and then adding the amount of additional distress. In this example:

$$\begin{aligned} \text{Extrapolated Distress Quantity} &= .05 \times 22,000 + 1000 \\ &= 2100 \text{ square feet} \end{aligned}$$

