



Universidad Austral de Chile

---

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Obras Civiles

**“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UN PAVIMENTO  
RÍGIDO Y UN PAVIMENTO FLEXIBLE PARA LA RUTA  
S/R: SANTA ELVIRA – EL ARENAL, EN LA COMUNA DE  
VALDIVIA”**

Trabajo de Titulación para optar al Título de:

Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesora Patrocinante:

Dra. Ing. Diana Movilla Quesada

Profesor Co-patrocinante:

Dr. Ing. Aitor Raposeiras Ramos

**BRUNO MILTON BURGOS VASQUÉZ**

**VALDIVIA - CHILE**

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mis Padres Edith y Elías por la guía y el amor entregado, mis hermanos y toda mi Familia por la contención y apoyo incondicional en todo momento. También agradezco a mis amigos, compañeros de carrera y de Universidad por dejarme ser parte de nuestro Centro de Alumnos y Federación de Estudiantes de mi querida casa de estudios, donde compartí grandes experiencias y aprendí a relacionarme.

Creo profundamente que en todos estos años conocí a grandes personas y pasé momentos inolvidables que marcaran por siempre mi vida profesional y personal.

**GRACIAS TOTALES!!!**

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1.	Planteamiento del Problema .....	4
2.	OBJETIVOS .....	5
2.1.	Objetivo General .....	5
2.2.	Objetivos Específicos.....	5
3.	ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1.	Antecedentes de la Red Vial Nacional .....	7
3.2.	Características de la Red Vial de la Regiones.....	11
3.3.	Calculo del Patrimonio de la Red Vial Nacional.....	12
3.4.	Mercado del Pavimento en Chile .....	15
3.5.	Estado de la Red Vial evaluada para caminos pavimentados red nacional. ....	17
3.6.	Antecedentes de la Región de los Ríos.....	18
3.6.1.	Geografía Natural de la Región de Los Ríos.....	20
3.6.2.	Clima en la Región de Los Ríos.....	21
3.6.3.	Producción, Explotación y Mercado de Áridos en la Región. ....	24
4.	MARCO TEÓRICO.....	26
4.1.	Pavimentos Flexibles .....	26
4.1.1.	Asfaltos Utilizados en la Pavimentación .....	26
4.1.2.	Tipos de Asfalto Según su Utilización.....	31
4.1.3.	Clasificación de capas de un Firme Flexible. ....	33
4.1.4.	Sub base de un Firme Flexible.....	35
4.1.5.	Base de Firme Flexible .....	35
4.1.6.	Superficie de rodadura de un Firme Flexible .....	36
4.1.7.	Método Simplificado de diseño de un Pavimento Flexible. ....	37
4.1.8.	Etapas de Diseño de un Pavimento Flexible.....	38
4.1.9.	Diseño Estructura del Pavimento Flexible .....	41
4.1.10.	Procedimiento de Diseño de un Pavimento Flexible.....	45
4.2.	Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido.....	49
4.2.1.	Clasificación de Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido. ....	50
4.2.2.	Tipos de Pavimentos Rígidos .....	53

4.2.3.	Clasificación de capas de un Firme Rígido. ....	55
4.2.4.	Diseño de un Pavimento Rígido.....	55
4.2.5.	Desarrollo del Método Simplificado. ....	58
4.2.6.	Resistencia de Diseño a la Flexotracción ( $\delta d$ ).....	58
4.3.	Proceso Constructivo de un Pavimento Flexible.....	62
4.3.1.	Preparación de la Superficie a Pavimentar.....	62
4.3.2.	Compactación del Suelo.....	63
4.3.3.	Preparación de la Sub-Rasante para un Pavimento Flexible.....	64
4.3.4.	Preparación de la Sub-Base para un Pavimento Flexible.....	65
4.4.	Proceso Constructivo de una Pavimento Rígido. ....	74
4.4.1.	Preparación de la Sub-Rasante.....	74
4.4.2.	Preparación de la Sub-Base.....	75
4.4.3.	Losa de Hormigón.....	76
4.4.4.	Colocación de los Moldes.....	78
4.4.5.	Colocación del Hormigón.....	79
4.4.6.	Terminación Superficial.....	80
4.5.	Análisis comparativo - económico entre pavimento flexible y rígido.....	83
5.	METODOLOGÍA.....	84
5.1.	Recopilación de Antecedentes y Elección de Software.....	84
5.1.1.	Antecedentes de la Mecánica de Suelos.....	85
5.1.2.	Antecedentes del Programa de Diseño de Pavimentos PAVIVIAL y HDM-III.....	87
6.	RESULTADOS.....	91
6.1.	Número de ejes equivalentes.....	91
6.2.	Diseño del Pavimento Asfáltico.....	93
6.3.	Diseño Pavimento Rígido (Hormigón).....	98
6.4.	Análisis Comparativo de Costos de Ambas Alternativas.....	102
6.4.1.	Conservación de Ambas Alternativas y su Proyección de Costos.....	106
7.	RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO A PARTIR DEL ESTUDIO REALIZADO.....	108
7.1.	Recomendaciones en base a la capa de rodadura.....	108
8.	CONCLUSIONES.....	110
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución de la Red Vial Nacional según tipo de carpeta de rodadura.....	8
Figura 2: Distribución de la Red Pavimentada, Solución Básica y No Pavimentada .....	9
Figura 3: Evolución Red Vial Pavimentada V/S No Pavimentada y Total.....	11
Figura 4: Distribucion Porcentual del Estado de la Red Vial Nacional. ....	17
Figura 5: Distribución porcentual, por tipo de carpeta.....	18
Figura 6: Red Vial de Contratos Globales de Conservación Región de Los Ríos. ....	19
Figura 7: Datos de precipitaciones y temperaturas extremas. Estación Valdivia-Pichoy.....	23
Figura 8: Horas de Sol Mensuales. Estación Valdivia-Pichoy .....	23
Figura 9: Extracción desde el fondo del rio Calle Calle.....	24
Figura 10: Extractora de áridos Valdicor.....	25
Figura 11: Sección donde se pueden apreciar las capas del pavimento flexible. ....	34
Figura 12: Etapas para la preparación de la base.....	36
Figura 13: Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas .....	48
Figura 14: Sección donde se pueden apreciar las capas del firme rígido.....	54
Figura 15: Evolución de costos y ciclo de vida de un pavimento. ....	83
Figura 16: Ruta S/R Santa Elvira – El Arenal. Valdivia .....	84
Figura 17: Esquema Calzada Ruta S/R Santa Elvira – El Arenal .....	85
Figura 18: Portada PAVIVIAL Versión 1.0 Junio 2002 .....	87
Figura 19: Valores de precipitación critica por región. ....	89
Figura 20: Portada Inicial Modelo HDM-III.....	90
Figura 21: Factores Empleados para el cálculo de ejes equivalentes .....	91
Figura 22: Resultado de Ejes Equivalentes.....	92
Figura 23: Datos General Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos .....	96
Figura 24: Resultados del Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos.....	97
Figura 25: Reportes de Resultados Pavimento Flexible .....	97
Figura 26: Datos General Diseño Estructural de Pavimento de Hormigón.....	100
Figura 27: Verificación de la Tensión de Borde.....	101
Figura 28: Reporte de Resultados del Diseño del Pavimento en Hormigón. ....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Longitud de Caminos Red Vial Nacional, Dic 2012, según Región y tipo de Carpeta .....	8
Tabla 2: Longitud de Dobles Calzadas según Región y Tipo de Carpeta de Rodadura .....	9
Tabla 3: Evolución de caminos pavimentados v/s caminos no pavimentados-.....	10
Tabla 4: Longitud de Evaluación para Estado Red Vial Pavimentación según Región.....	11
Tabla 5: Longitud de Evaluación para Estado Red Vial No pavimentada según Región.....	12
Tabla 6: Valor en Dólares (US\$) del Patrimonio Vial Actual Año 2009, según Región. ....	13
Tabla 7: Distribución Regional de los Despachos de Hormigón Premezclado año 2013.....	16
Tabla 8: Longitud de Caminos Red Vial Nacional, Dic 2012, según Región y tipo de Carpeta .....	20
Tabla 9: Distribución por tipo de carpeta del estado de la red vial pavimentada .....	20
Tabla 10: Datos de precipitaciones y temperaturas medias anuales. ....	22
Tabla 11: Características de Asfalto que son fácil de emulsionar. ....	29
Tabla 12: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión .....	51
Tabla 13: Grado del Hormigón / Elemento .....	51
Tabla 14: Grado de Resistencia a la Flexotracción.....	52
Tabla 15: Cuadro de Valor de Soporte .....	56
Tabla 16: Cuadro de Estratigrafía Tipo. ....	60
Tabla 17: Cuadro Coeficiente Estructural.....	61
Tabla 18: Cuadro de Factor Regional.....	61
Tabla 19: Requisitos de Graduación para Agregados de Sub-Bases, Bases y Carpeta de Rodado .....	67
Tabla 20: Requisitos Granulométricos Establecidos. ....	68
Tabla 21: Tamices Requeridos. ....	71
Tabla 22: Límites de Tolerancia Para un Pavimento Flexible.....	71
Tabla 23: Cono Según la NCh 170.....	77
Tabla 24: Detalle de la exploración de las calicatas.....	86
Tabla 25: Ensayos de densidad in situ .....	86
Tabla 26: Ensayos CBR.....	86
Tabla 27: TMDA por categorías de vehículos.....	88
Tabla 28: Tasa de Crecimiento de los Vehículos. ....	88
Tabla 29: Índice de Serviciabilidad para Pavimentos Flexible .....	93

Tabla 30: Nivel de confianza y valor del So .....	93
Tabla 31: Índice de Serviciabilidad para Pavimentos Rígido.....	98
Tabla 32: Nivel de confianza y valor del So .....	98
Tabla 33: Resistencia a la Flexotracción y Modulo de Elasticidad del Hormigón y la Base.....	99
Tabla 34: Precios Unitarios de los Principales Aspectos en un Proyecto de Pavimentación.....	102
Tabla 35: Precios unitarios de mano de obra y equipos involucrados. ....	104
Tabla 36: Presupuesto para pavimento asfáltico.....	105
Tabla 37: Presupuesto para Pavimento de Hormigón en Pesos Chilenos .....	106
Tabla 38: Proyección de Costos para Ambas Alternativas .....	107

## **RESUMEN**

El presente proyecto de titulación pretende dar a conocer un análisis comparativo entre un pavimento rígido y uno flexible utilizado como alternativa en la pavimentación la ruta Santa Elvira – El Arenal en la comuna de Valdivia, basándose en el comportamiento que tienen cada uno de estos, partiendo de la base de que las dos alternativas, son soluciones satisfactorias para el proyecto de pavimentación, y centrando el análisis en dos factores preponderantes; Por un lado, el factor económico, en el cual está involucrado el valor inicial de cada alternativa, junto con el de conservación y rehabilitación de éstos durante un ciclo de vida determinado. Por otro lado, se expone el factor el funcional, mediante el cual se verificará cuál de los dos pavimentos es el más apropiado.

El proyecto se basa en una investigación descriptiva, presentando las características de los pavimentos rígidos y flexibles, así como sus análisis de costo, sus ventajas y desventajas, siendo el principal método de trabajo, la recolección de datos, consultando diferentes tipos de documentos, libros y tesis, tanto en medios físicos como digitales.

## **ABSTRACT**

This paper deals with the comparative analysis between rigid and flexible pavements used in the Región de los Ríos, based on the behavior with each of them, on the basis that the two alternatives are satisfactory solutions for projects paving, and analysis focusing on two major factors; On the one hand, the economic factor, which is involved the initial value of each alternative, along with the conservation and rehabilitation of these for a certain life cycle. Furthermore, the exposed functional factor by which is checked which of the two pavements is most appropriate.

The project is based on a descriptive research, showing the characteristics of rigid and flexible pavements, as well as cost analysis, advantages and disadvantages, the main method of work, data collection, at different types of documents, books and papers.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos son elementos estructurales que intervienen en la construcción de la red vial de cada país; Dentro de los mismos podemos encontrar los pavimentos flexibles, los cuales están compuestos por las capas de sub-rasante, sub-base, base y carpeta asfáltica; cada capa una cumple con una función específica. Al llevarse a cabo un proyecto de pavimento flexible, se tiene como punto de partida el proceso de diseño del mismo, el cual se auxilia de dos normativas muy reconocidos dentro de ésta área, como lo son el método AASHTO y el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile. Posterior al diseño, se realiza la ejecución del mismo, etapa dentro de la cual se muestran las distintas aplicaciones que tienen los pavimentos flexibles.

La Mezcla Asfáltica sin lugar a duda, es uno de los materiales más versátiles y universales para la construcción de pavimentos en el mundo, debido a la gran variedad de propiedades y características que este material posee. Puede utilizarse como ligante con agregados, tanto en caliente como en frío, y también se puede usar para producir mezclas sin estructura de agregado pétreo.

La Mezcla Asfáltica puede dar como resultado mezclas muy estables, rígidas, flexibles, duras o frágiles, lo que permite dar solución a gran cantidad de problemas de construcción de pavimentos, y también soluciones de impermeabilizaciones y protección de superficies. Desde que se descubrió la mezcla asfáltica se han producido logros importantes en el ámbito de la construcción, por ejemplo las plantas asfálticas, lugar donde se elaboran las mezclas bituminosas que cubren longitudes de terreno transformadas en carpetas de rodadura. De igual importancia, es el mantenimiento de la red vial pavimentada, realizándose obras como la recuperación y estabilización con emulsión asfáltica y haciéndose mención de los diferentes tipos de fallas que afectan a este tipo de pavimentos.

Por otro lado, se encuentran los pavimentos rígidos, los cuales pueden estructurarse por la capa de sub-rasante, base y losa de hormigón. Para el pavimento rígido, se trabajaron las mismas tres etapas mencionadas para el pavimento flexible. Inicialmente se tiene la etapa de diseño, que incluye el método AASHTO, procediendo a su ejecución, donde se mencionan todos los aspectos que intervienen en el proceso de construcción. Además, se debe tomar en cuenta la preparación de la rasante, la construcción de la base y sub-base, llegándose así a los trabajos de preparación previos a la pavimentación con

hormigón rígido. Seguidamente, se entra en detalle sobre la mezcla de hormigón y todo lo que conlleva su fabricación; finalizando con la colocación, terminación, texturizado y curado del hormigón.

En la actualidad, por uno u otro motivo los caminos (principalmente los más transitados), se ven deteriorados por muchos factores, como la accidentada topografía del terreno y el desgaste propio producido por la circulación vehicular. Por este motivo, el análisis comparativo que se realizará, tiene como principal objetivo demostrar la calidad que tienen las mezclas asfálticas y el hormigón, como material utilizado en la construcción de pavimentos, demostrando como el costo de su producción es preponderante al momento de optar por alguno de los dos, y conociendo sus principales características. Por otro lado, se conocerán sus virtudes y sus defectos, tratando de enfocarse en la Ruta Santa Elvira – El Arenal y contextualizando las dificultades que aquí se presentan.

## **1.1. Planteamiento del Problema**

Los caminos pavimentados se ven sometidos desde su puesta en servicio y a lo largo de toda su vida útil, a diversos procesos de deterioro y fallas tales como ahuellamiento, grietas e incluso baches. Es por esto, y dada la necesidad de optimizar los recursos que se emplean en el diseño, ejecución y conservación de los mismos, por parte de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, se pretende realizar un análisis comparativo entre el pavimento flexible y el rígido, con el objetivo de definir criterios que permitan saber cuál de los dos tiene un mejor comportamiento funcional y económico, para las diferentes rutas interurbanas de nuestra región, esperando incrementar su servicio y reduciendo los costes de rehabilitación en un futuro.

Se debe considerar que una carretera o ruta es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos livianos y pesados. La importancia de las carreteras radica en que son la columna vertebral del transporte, y su construcción y mantenimiento se pueden volverse estratégicos. Sin embargo, a pesar de su gran importancia, el diseño y la construcción de carreteras requiere de grandes inversiones, por lo que, para su construcción, son obras que deben ser analizadas cuidadosamente a fin de lograr estructuras que sean técnicamente realizables, funcionales y económicamente factibles.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Analizar comparativamente el diseño y los costos económicos asociados entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta s/r: Santa Elvira – El Arenal, en la comuna de Valdivia.

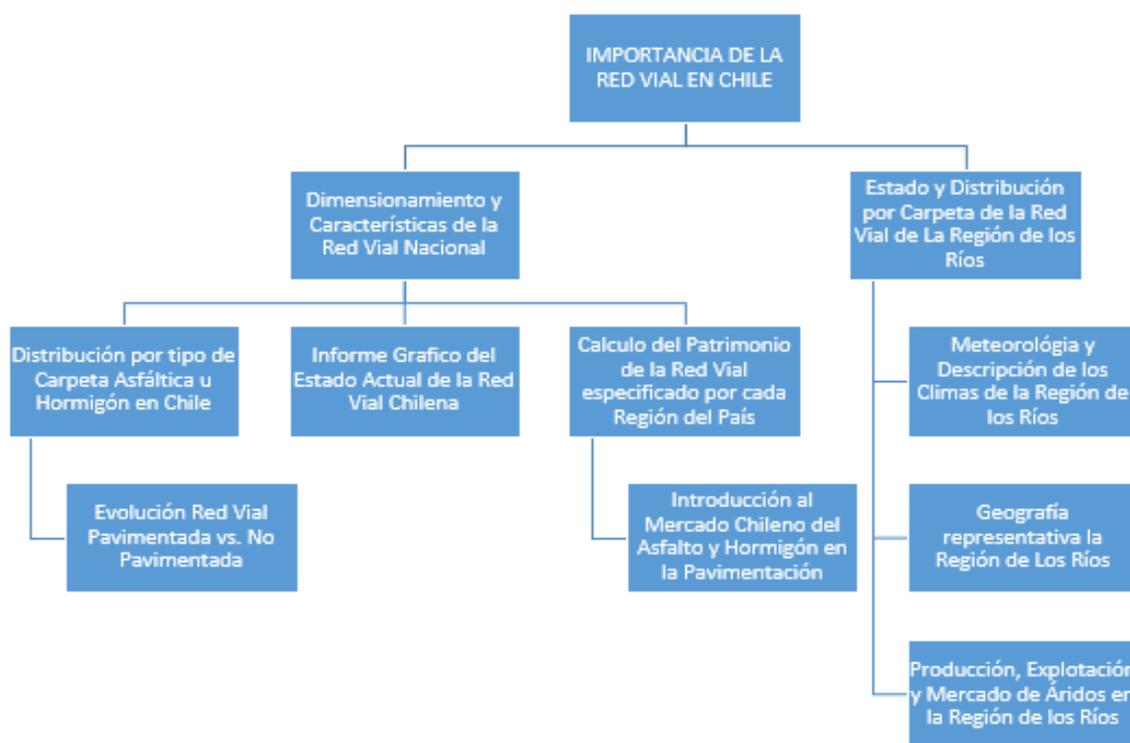
### **2.2. Objetivos Específicos**

- Definir recomendaciones que permitan inclinarse por una de los dos pavimentos al momento de iniciar el proyecto de pavimentación.
- Identificar las características más importantes tanto en los pavimentos rígidos como de los pavimentos flexibles.
- Establecer un análisis de costo tanto como para el pavimento rígido como para el flexible en la ruta s/r Sta. Elvira – El Arenal.
- Determinar las ventajas y desventajas de ambos pavimentos, para identificar cuál es el más apto para las rutas en cuestión.

### 3. ESTADO DEL ARTE

Las carreteras y caminos constituyen una importante fracción del patrimonio público y privado del país, que posibilita la ocupación y explotación del territorio, además de permitir la comunicación de sus habitantes. La insuficiencia de recursos, sumado a la ausencia de conservación eficiente y eficaz, pueden provocar con el tiempo pérdidas sustantivas del patrimonio vial.

A continuación, se presenta un esquema dónde se resume y entrelazan los principales tópicos que se desarrollan en el estado del arte para generar claridad al momento de la exposición de las materias:



Los autores Schliessler y Bull (1992), presentan en su publicación *“Caminos, un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales”* que a partir de las últimas décadas del siglo pasado los gobiernos de los países de América Latina y el Caribe invirtieron una porción importante de los recursos estatales en la construcción de grandes redes viales. Estos recursos provenían en su mayor parte de los impuestos recaudados, pero también de préstamos nacionales e internacionales. Señalan que el objetivo de este gigantesco esfuerzo consistía en crear una base sólida para el desarrollo económico y social de aquellos países. El resultado observado, a principio de los años noventa, es que por falta de conservación adecuada, el estado de la mayoría de los caminos era regular o deficiente, con una tendencia que

apuntaba hacia un deterioro acelerado, llegando incluso al fin de su vida de diseño mucho antes de lo previsto.

Basados en esta realidad, proponen un reenfoque en la gestión de conservación de las redes viales, sobre todo en materias de organización y financiamiento. Entre otros, proponen adoptar métodos y herramientas similares a los que se emplean en las empresas privadas; una de esas herramientas es la evaluación periódica de los activos de la empresa, o en este caso, del patrimonio nacional de caminos.

Definieron el patrimonio vial *como el conjunto de caminos públicos existentes en el país, cuyo valor puede ser calculado en términos monetarios, dependiendo de la magnitud de las obras ejecutadas y de su estado de conservación.*

Posteriormente en el año 1999, Almonte realizó una adopción de la propuesta metodológica, en realidad de nuestro país, en función de las características de los caminos y por sobre todo a los recursos de información que dispone la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile, organismo encargado de la administración y conservación de la red nacional. Dentro de este organismo, el encargado de la ejecución y conservación de la red vial, es la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, siendo esta red de gran importancia en desarrollo social y económico de nuestro país.

En la década del 2000, Fernández (2002) logró establecer una metodología consolidada para la evaluación del valor patrimonial vial, a través de un programa computacional que automatiza el procedimiento de cálculo del valor patrimonial.

### **3.1. Antecedentes de la Red Vial Nacional**

En este punto se entregará información relacionada con la longitud de la red vial nacional que administra la Dirección de Vialidad perteneciente al Ministerio de Obras Públicas de Chile. Los datos extraídos "*Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características*", edición diciembre 2012.

Es importante conocer (en mayor o menor escala), datos relacionados con la pavimentación en el sector donde se pretende realizar esta propuesta. Es por ello, que en la Tabla 1, se informa la longitud de la red vial nacional, según Región y tipo de la carpeta de rodadura. Además, se entrega la distribución porcentual de la red a nivel nacional según tipo de carpeta.

Tabla 1: Longitud de Caminos Red Vial Nacional, Dic 2012, según Región y tipo de Carpeta (en Km.)

Región	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Capa de Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	Total
I	1.046,49	0,09	0,00	181,11	285,03	385,89	1.598,97	3.497,58
II	1.758,97	2,65	0,00	109,62	643,23	493,15	2.617,21	5.624,83
III	1.035,21	4,54	0,00	193,74	2.219,99	726,83	2.696,17	6.876,48
IV	1.299,10	42,35	10,28	63,78	819,17	1.943,66	813,02	4.991,36
V	1.131,69	211,32	22,58	1.1014,91	0,00	513,68	282,37	3.176,55
VI	1.171,20	71,18	48,67	646,39	0,00	847,68	754,72	3.539,84
VII	1.478,02	153,03	74,67	160,68	411,52	2.986,11	1.656,70	6.920,73
VIII	2.035,44	154,43	30,41	268,49	112,71	4.770,34	1.706,17	9.077,99
IX	1.444,10	100,98	99,97	275,51	379,81	7.212,92	2.492,00	12.005,29
X	1.362,51	145,86	49,60	322,14	0,70	5.098,98	434,33	7.414,12
XI	227,32	151,06	0,00	19,83	139,95	2.157,08	203,24	2.898,48
XII	26,85	548,68	0,00	116,12	192,88	2.264,79	308,50	3.458,82
R.M.	1.178,00	193,46	86,83	702,81	0,54	409,30	198,21	2.769,15
XIV	649,81	61,04	99,29	171,99	0,00	1.839,00	299,70	3.120,83
XV	433,32	0,20	0,00	115,27	268,99	141,20	1.240,25	2.199,23
<b>Total</b>	<b>16.278,03</b>	<b>1.841,17</b>	<b>522,30</b>	<b>4.362,39</b>	<b>5.474,52</b>	<b>31.790,61</b>	<b>17.301,56</b>	<b>77.571,28</b>

Fuente: Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

Cabe destacar que en la Región de Los Ríos predomina el tipo de carpeta de asfalto con 649,81 Km. construidos por sobre la carpeta de hormigón que apenas alcanza 61,04 Km. de extensión.

En la Figura 1, se observa que la red vial en Chile, comprende **77.571,28 Km.**, de los cuales 16.278,03 km. corresponden a pavimento flexible y 1.841,17 km a pavimento rígido, cabe destacar que 63,29 % de la red vial de nuestro país no está pavimentada, siendo la carpeta de ripio la más preponderante.

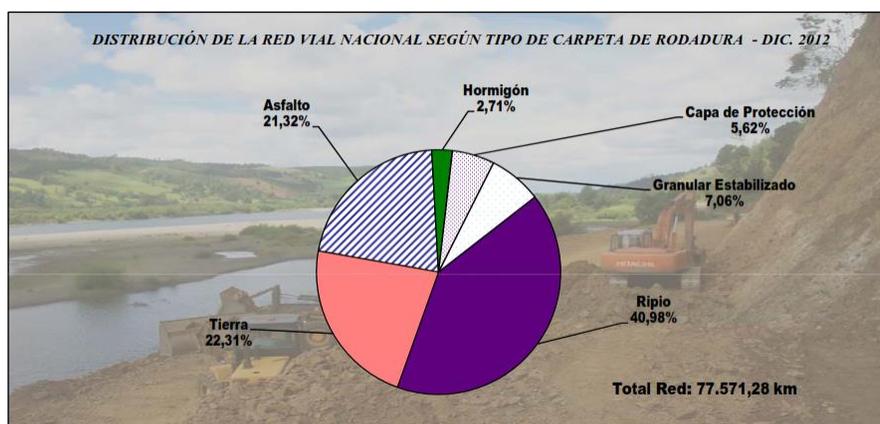
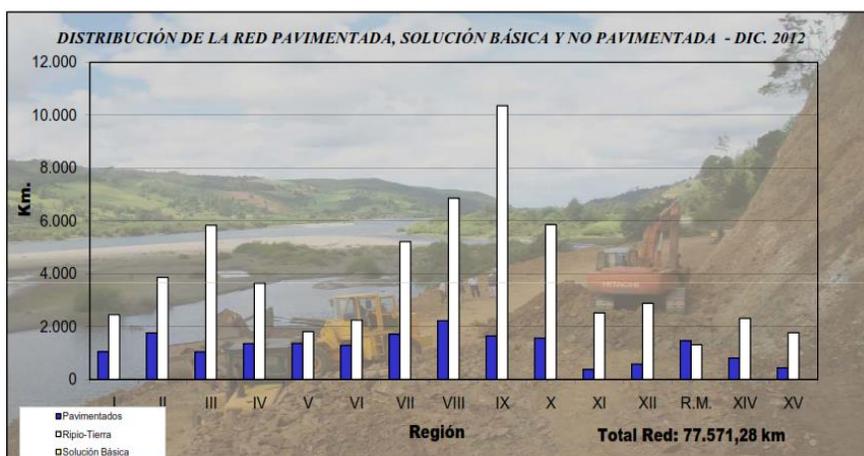


Figura 1: Distribución de la Red Vial Nacional según tipo de carpeta de rodadura.

Fuente: Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

Por otro lado, en la Figura 2 se puede apreciar claramente que en todas las regiones de Chile, la solución básica supera ampliamente la red pavimentada. De forma específica, se puede decir que en la **Región de Los Ríos** (dónde se va a aplicar esta propuesta), **es una de las regiones de Chile donde los caminos pavimentados son menos de la mitad que los no pavimentados.**



**Figura 2:** Distribución de la Red Pavimentada, Solución Básica y No Pavimentada

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

Otro aspecto importante a considerar, son los caminos que presentan doble calzada, que en caso de la Región de Los Ríos, son únicamente los que se encuentran concesionados.

**Tabla 2:** Longitud de Dobles Calzadas según Región y Tipo de Carpeta de Rodadura Dic 2012 (en Km.)

Región	Asfalto	Hormigón	Total
I	17,89	0,00	17,89
II	49,50	1,82	51,32
III	24,39	0,00	24,39
IV	277,59	11,40	288,99
V	291,29	33,16	324,44
VI	98,18	36,57	134,75
VII	155,94	45,00	200,93
VIII	308,41	86,90	395,30
IX	191,16	54,44	245,59
X	107,95	26,98	134,93
XI	0,9	2,33	3,23
XII	0,00	8,14	8,14
R.M.	453,51	110,50	564,00
XIV	76,03	57,55	133,57
XV	17,35	0,00	17,35
<b>Total</b>	<b>2.070,06</b>	<b>474,76</b>	<b>2.544,82</b>

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

El avance en la pavimentación de los caminos que forman parte de la red vial de nuestro país, es muestra de una política de estado que ya desde años, considera fundamental la inversión pública en el mejoramiento de los caminos, en la Tabla y Figura 3 se contrasta la evolución de los caminos pavimentados y los no pavimentados en los últimos años.

Tabla 3: Evolución de caminos pavimentados v/s caminos no pavimentados- 1990-2012 (en Km.)

Año	Pavimentados	No Pavimentados	Total
1990	10.758,86	68.834,51	79.593,37
1991	11.000,96	68.592,41	79.593,37
1993	12.350,90	66.941,68	79.292,58
1995	12,379,26	66.653,48	79.032,73
1996	13.049,23	66.019,01	79.068,23
1997	13.415,24	65.662,56	79.077,79
1998	14.389,56	64.809,91	79.199,47
1999	14.972,23	64.381,15	79.353,37
2000	15.463,97	64.056,04	79.520,01
2001	16.056,34	63.548,39	79.604,73
2002	16.463,05	63.658,84	80.121,89
2003	16.551,06	63.953,93	80.504,99
2004	16.785,85	63.886,62	80.672,33
2005	16.967,49	63.683,62	80.651,11
2006	17.205,02	63.489,64	80.694,66
2007	17.256,57	63.271,77	80.528,34
2008	17.557,71	62.885,53	80.443,24
2009	17.609,01	60.815,87	78.242,88
2010	18.147,42	59.616,32	77.763,74
2011	18.436,74	59.166,43	77.603,17
2012	18.642,20	58.929,08	77.571,28

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

En la Figura 3, se observa que en el periodo de tiempo comprendido en la muestra, la brecha entre la red pavimentada y la no pavimentada se va acortando, pero lo hace una forma no muy significativa, por lo que aun en el año 2012 la longitud de los caminos no pavimentados supera ampliamente a los caminos pavimentados, esto deja entrever que pese a la fuerte inversión económica impulsada por los gobiernos en las últimas décadas aún resta una gran tarea por desarrollar.

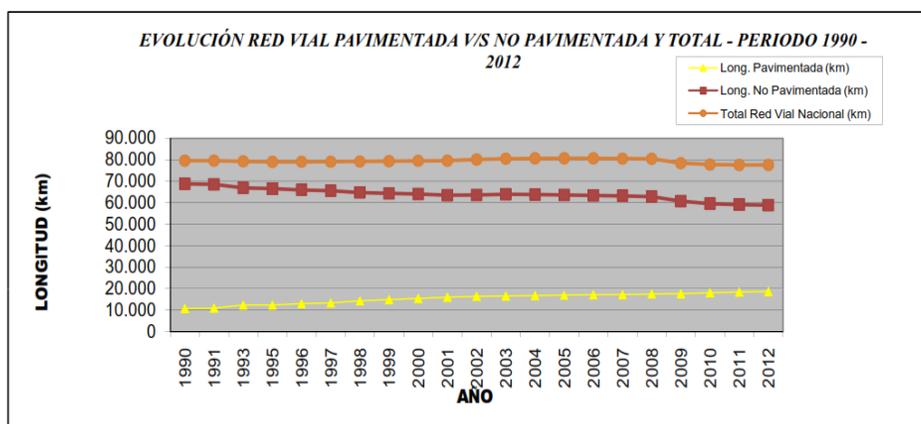


Figura 3: Evolución Red Vial Pavimentada V/S No Pavimentada y Total – Pedido 1990-2012

Fuente: Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

### 3.2. Características de la Red Vial de la Regiones

En cualquier proyecto de pavimentación, es importante conocer las características de la Red Vial del País donde se va a ejecutar la obra, en este caso acorde al trabajo realizado por el departamento de Gestión Vial, de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP), Este informe considera una cierta cantidad de kilómetros en la evaluación, los cuales se detallan en la Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Longitud de Evaluación para Estado Red Vial Pavimentación según Región.

Región	Long. Red Pavimentada (Km.)	Long. Red Pavimentada No Evaluada (Km.)	Long Red Pavimentada Evaluable (Km.)	Long. Red Pavimenta Procesada (Km.)	% Procesado	Long. Red Pavimentada Evaluada (Km.)	% Evaluado
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
XV	448,64	0,00	448,64	448,64	100	214,36	48
I	1002,34	63,84	938,50	938,50	100	620,20	66
II	1833,51	44,12	1789,39	1789,39	100	1723,55	96
III	1016,96	277,32	739,64	739,64	100	726,61	98
IV	1518,45	971,63	546,82	546,82	100	345,43	63
V	1586,15	784,00	802,15	802,15	100	471,06	59
R.M.	1947,41	1159,25	788,16	788,16	100	555,44	70
VI	1357,49	329,75	1027,74	904,54	97	864,75	84
VII	1733,21	427,33	1305,88	1305,88	100	918,93	70
VIII	2517,82	959,52	1568,30	1502,88	96	1339,66	85
IX	1752,03	474,51	1277,52	1277,52	100	880,38	69
XIV	840,28	263,99	576,29	573,15	99	566,64	98
X	1543,78	313,65	1230,13	1230,13	100	1153,60	94
XI	329,40	7,86	321,54	313,10	97	304,26	95
XII	722,73	0,00	722,73	722,73	100	637,08	88
<b>TOTAL</b>	<b>20.160,20</b>	<b>6.076,77</b>	<b>14.083,43</b>	<b>13.973,23</b>	<b>99</b>	<b>11.321,95</b>	<b>80</b>

Fuente: Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

Donde:

(1): Longitud total de calzadas de caminos pavimentados a diciembre de 2008. En los tramos con doble calzada, se consideran las longitudes de la calzada derecha e izquierda en forma independiente.

(2): Longitud que se considera los tramos de menos de 1 km., tramos en construcción, en conservación o caminos concesionados.

(3): Longitud de calzadas de caminos pavimentados posibles de evaluar.

(4): Longitud de calzadas pavimentadas a las cuales se le realizó la Inspección Visual.

(6): Longitud de calzadas pavimentadas que se evaluaron, ya que se contaba con datos de inspección visual e IRI.

Tabla 5: Longitud de Evaluación para Estado Red Vial No pavimentada según Región

Región	Longitud No Pavimentada (Km.)	Longitud Pavimentada (Km.)	Porcentaje Evaluado (%)
XV	1.585,56	1.112,00	70
I	2.343,35	2.130,00	91
II	3.862,52	3.237,00	84
III	6.046,69	2.937,00	49
IV	3.372,86	2.584,00	69
V	1.786,00	506,00	28
R.M.	1.553,53	473,00	30
VI	2.340,73	2.103,00	90
VII	5.845,58	5.545,00	95
VIII	7.137,78	4.933,00	69
IX	10.462,76	10.100,00	97
XIV	2.385,92	860,01	36
X	6.025,84	4.675,00	78
XI	2.794,74	839,00	30
XII	2.912,01	2.668,00	92
<b>TOTAL</b>	<b>60.815,87</b>	<b>44.702,01</b>	<b>74</b>

Fuente: Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

### 3.3. Calculo del Patrimonio de la Red Vial Nacional

Para realizar el cálculo del patrimonio, el Departamento de Gestión utiliza el programa computacional PATVIAL, para procesar la información perteneciente a la red vial de cada región de Chile. Este software requiere el ingreso de toda la información contenida en el inventario de la red pavimentada, estado de

la red pavimentada, características y estado de la red no pavimentada, puentes, túneles, concesiones, nuevos precios y cantidades de obra para mejoramiento de caminos y construcción nueva.

Luego, actualiza y clasifica la información ingresada y modificada en la fase previa. Una vez definidos los precios que se usaran en la evaluación, se procede a clasificar las redes viales pavimentadas y no pavimentadas por separado. En esta fase se obtienen los valores patrimoniales de todos los componentes del patrimonio vial.

Una vez determinado el valor del patrimonio vial para la red evaluada, el programa permite extrapolar dichos resultados al total de la red vial existente. Además es posible calcular el patrimonio de la red concesionada, los puentes y túneles considerando para ello el costo de reposición nuevo.

A continuación se detallan los resultados obtenidos por el Departamento de Gestión, de acuerdo a la información correspondiente a la red vial de cada región. Los valores aquí expuestos fueron exportados desde el programa PATVIAL, y luego ingresados a una planilla de Microsoft Excel, cuyo resultado se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Valor en Dólares (US\$) del Patrimonio Vial Actual Año 2009, según Región.

Región	Pavimentados (US\$)	No Pavimentados (US\$)	Concesiones (US\$)	Puentes (US\$)	Túneles (US\$)	TOTAL (US\$)
XV	181.524.181	301.405.383	0	7.339.239	0	490.268.803
I	419.079.108	454.890.069	0	3.218.628	0	877.187.805
II	961.803.628	727.803.737	0	6.627.070	17.364.447	1.713.598.882
III	455.297.998	1.068714.631	0	11.039.130	0	1.535.051.759
IV	544.007.469	655.516.948	369.278.679	76.616.646	44.254.158	1.689.673.899
V	520.925.780	361.270.363	785.773.728	112.119.398	296.356.145	2.076.445.413
R.M.	370.056.924	332.064.940	3.318.670.785	68.328.819	337.062.962	4.226.184.431
VI	320.310.556	499.925.844	324.380.400	145.739.440	3.722.517	1.294.078.757
VII	670.932.285	1.312.963.803	371.990.695	193.680.566	0	2.549.467.349
VIII	896.070.145	1.378.698.122	585.730.031	332.331.751	0	3.192.830.049
IX	631.225.042	2.375.049.237	405.160.019	218.416.261	99.150.334	3.729.000.893
XIV	267.266.961	555.077.815	181.520.133	92.737.449	0	1.096.602.358
X	657.342.744	1.456.543.903	261.089.622	151.879.021	0	2.526.855.289
XI	204.605.249	862.022.468	0	61.464.113	5.255.318	1.133.347.148
XII	512.396.464	810.101.763	0	18.461.639	0	1.340.959.866
<b>TOTAL</b>	<b>7.612.844.534</b>	<b>13.151.949.026</b>	<b>6.403.594.090</b>	<b>1.499.999.169</b>	<b>803.165.880</b>	<b>29.471.552.699</b>

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

El valor actual del Patrimonio Vial Nacional, incluyendo redes pavimentadas, no pavimentadas, concesionadas, puentes y túneles, es de **US\$ 29.472 millones de dólares**. Los valores fueron determinados por región y por tipo de red, y de los resultados se destaca que el valor actual que presentan las redes viales pavimentadas está por debajo del valor recomendado por la metodología empleada, correspondiente al punto medio. Esto significa que se están ocasionando costos adicionales a los usuarios por concepto de operación tiempos de viaje de los vehículos... El hecho de que el valor del patrimonio vial se situó por debajo del punto medio recomendado, puede **implicar a futuro costos mayores para los usuarios de las vías y mayor inversión en obras de rehabilitación**.

La evaluación precisa de las grandes estructuras y redes concesionadas merece un cálculo específico. La principal dificultad para determinar con precisión un valor patrimonial de una estructura, radica en la gran diversidad del tipo de estructuras y características, así como también de su mecanismo de desvaloración respecto a su valor original.

El Valor del patrimonio vial de la red pavimentada del año 2009 asciende a la suma de US\$ 7.612,9 millones de dólares, situándose en un 6.3% por debajo del valor del punto medio, estimado en US\$ 8.128,3 millones de dólares lo cual se traduce en mayores costos de usuarios en aquellos tramos que están por debajo del mínimo aceptable para cada región evaluada, el valor mínimo aceptable nacional se estimó en US\$ 6.416,6 millones de dólares.

**Por esta razón surge claramente la importancia de incrementar el presupuesto de caminos, para mantener el buen estado de éstos, en defensa de la economía general del país y del bienestar de la población.**

Uno de los motivos importantes para efectuar el cálculo del patrimonio vial es determinar la magnitud de la inversión realizada. Además, destaca la evolución experimentada por el valor del patrimonio vial, ya que la comparación entre el último cálculo y el realizado el 2009, arroja un incremento en el valor del patrimonio vial de un 5.2%, provocado principalmente, por la inversión en nuevas pavimentaciones y vías concesionadas. En este punto se debe dejar en claro, que el fuerte aumento experimentado en años anteriores se debió en gran parte al aporte de las concesiones viales, las cuales parecerían haber convergido a un valor que no debería diferenciarse de años posteriores, por lo tanto el incremento del patrimonio debe enfocarse en aumentar las pavimentaciones y en mantener y mejorar el estado de las

calzadas pavimentadas principalmente (Dimensionamiento y Características Red Vial. Departamento de Gestión Vial. 2010).

### **3.4. Mercado del Pavimento en Chile**

El mercado del pavimento en Chile está dividido en las rutas interurbanas y urbanas, siendo estas muy parecidos entre sí. Las rutas interurbanas son controladas por la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas (MOP), y las urbanas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). En la guía de diseño elaborada por el MINVU (2007) destacan dentro los aspectos fundamentales, los insumos básicos para este mercado, dentro de los cuales se encuentran los áridos, cementos y asfaltos; mientras que los servicios transados son los correspondientes al mezclado de áridos (ya sea hormigón o mezcla asfáltica), la preparación de los suelos y la instalación de mezclas, junto con el de transporte de materias primas a la obra (Investigación bases y sub-bases de pavimentación, MINVU 2007).

Dentro de los actores que participan en este mercado se encuentra el Estado, quien es el organismo mandante, encargado a través del MOP de planificar y financiar todos los proyectos de pavimentación en las rutas de nuestro país. Por otro lado, otro actor preponderante, son las empresas consultoras y constructoras, las cuales son las encargadas de ejecutar los diferentes proyectos de pavimentación encargados por el MOP, y finalmente los usuarios de las vías, constituyéndose como los clientes finales y fiscalizadores al mismo tiempo (Investigación bases y sub-bases de pavimentación, MINVU 2007).

A continuación se presenta la Tabla 7, donde se muestra la distribución regional de los despachos de hormigón premezclados en Chile, lo que demuestra que es una las materias primas más utilizadas en ejecución de pavimentos:

Tabla 7: Distribución Regional de los Despachos de Hormigón Premezclado año 2013

<b>Hormigón Despachado</b>	
<b>Región</b>	<b>Cantidad (m<sup>3</sup>)</b>
XV	41.579
I	136.707
II	707.935
III	251.592
IV	240.713
V	783.750
R.M.	2.989.151
VI	448.637
VII	248.153
VIII	826.770
IX	318.952
XIV	63.300
X	306.649
XI	0
XII	0
<b>Total</b>	<b>7.363.887</b>

**Fuente:** Instituto del Cemento y Hormigón de Chile. 2013

Se observa que claramente que el consumo de las materias primas en nuestro país va en aumento de forma sostenida, y esto radica en que el desarrollo económico, no solo necesita de las industrias, sino una red vial fuerte y consolidada que genera una mayor conectividad y un mejor transporte.

En relación costo el mezcla asfáltica este depende del precio del petróleo crudo que se encuentra en los 101,45 USD por barril y del Brent en 107,76 USD por barril.

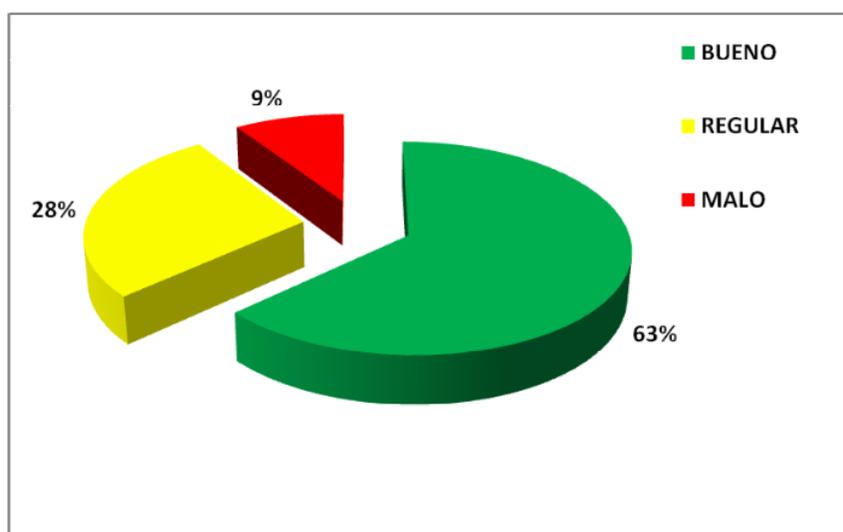
El precio del cemento asfáltico en la Costa del Golfo se sitúa en los 545 USD por tonelada corta para el mes de Marzo del 2014, lo que equivale a 599,5 USD por tonelada métrica. Manteniéndose el precio respecto del mes anterior. Por lo que el cambio del dólar es preponderante en el precio final, este último se sitúa en los 556,52 pesos por dólar, 30 pesos más que a comienzos del mes anterior. Lo que mantiene la tendencia al alza del precio del cemento asfáltico. Al observar las cantidades y los valores tanto del hormigón, como del asfalto, podemos darnos cuenta de costo que le involucra al Estado la creación y la ejecución de nuevos proyectos viales en nuestro país (Instituto del Chileno del Asfalto, 2014).

### 3.5. Estado de la Red Vial evaluada para caminos pavimentados red nacional.

A continuación, se muestra un resumen del proceso de evaluación de estados según lo informado por el Departamento de Gestión Vial, de acuerdo al metodología de Índice de Condición del Pavimento (ICP), la que considera cinco estados para caminos pavimentados correspondientes a: Muy Buenos, Bueno, Regular, Malo y Muy Malo. Para calcular el patrimonio vial, el programa requiere de tres estados:

- Estado Muy Bueno y Bueno = Estado Bueno
- Estado Regular = Regular
- Estado Malo y Muy Malo = Estado Malo

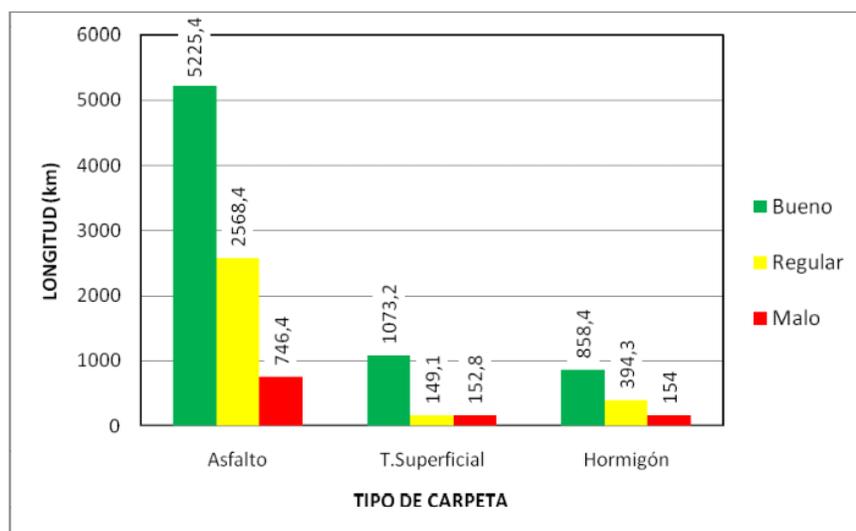
Agrupados de esta manera se muestra a continuación la Figura 4, que muestra la distribución porcentual de los tres estados de la calzada de la red vial evaluada nacional.



**Figura 4:** Distribución Porcentual del Estado de la Red Vial Nacional.

**Fuente:** Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad. 2013

Por otro lado, la Figura 5 muestra la distribución del estado de red vial nacional, por tipo de carpeta.



**Figura 5:** Distribución porcentual, por tipo de carpeta, del estado de la Red vial Nacional Pavimentada.

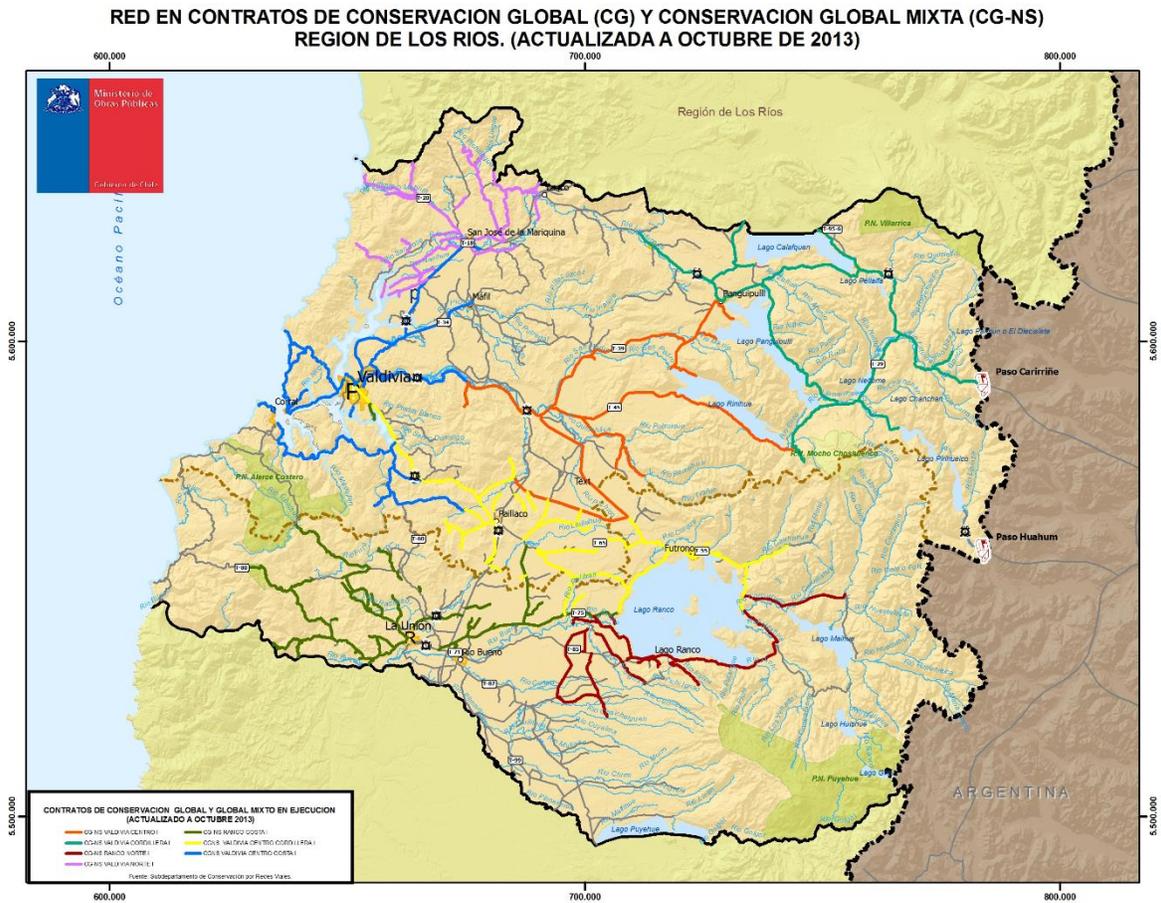
**Fuente:** Departamento de Gestión Vial, Dirección de Vialidad. 2013

### 3.6. Antecedentes de la Región de los Ríos

La XIV Región de Los Ríos, o Región de Los Ríos, es una de las quince regiones en las que se encuentra dividido Chile. Limita al norte con la Región de la Araucanía, al sur con la Región de Los Lagos, al este con la República Argentina y al oeste con el océano Pacífico.

Cuenta con una superficie de 18.429,5 km<sup>2</sup> y una población estimada al año 2011 de 380 707 habitantes. La región está compuesta por las provincias de Valdivia y del Ranco y la capital regional es la ciudad de Valdivia. La Región de Los Ríos surgió tras ser segregada de la antigua Región de Los Lagos el 2 de octubre de 2007, al entrar en vigor la ley N° 20174 (Biblioteca Nacional, 2014).

En la Figura 6, se observa la Red en Contratos de Conservación Global y Conservación Mixta de la Región de Los Ríos, esta red comprende la totalidad de las rutas interurbanas que forman parte de nuestra región, están separada de acuerdo a las comunas que pertenecen.



**Figura 6:** Red Vial de Contratos Globales de Conservación Región de Los Ríos.

**Fuente:** Dirección de Vialidad, MOP. 2013

En la Región de Los Ríos existen múltiples rutas que necesitan ser construidas o reparadas, para lo cual es necesario la selección oportuna de un sistema de pavimentación que se adecúe a las condiciones del entorno correspondiente. Para elegir un sistema de pavimentación eficiente es necesario contar con información oportuna respecto al tema con la cual se pueda determinar, para las condiciones existentes, que método es más adecuado. En las tablas 8 y 9, se detalla la cantidad de kilómetros que existe en los caminos de la región y el estado de ellos.

Tabla 8: Longitud de Caminos Red Vial Nacional, Dic 2012, según Región y tipo de Carpeta (en Km)

Región	Asfalto	Hormigón	Asf./Horm.	Capa de Protección	Granular Estabilizado	Ripio	Tierra	Total
XIV	649,81	61,04	99,29	171,99	0,00	1.839,00	299,70	3.120,83

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

A continuación, en la Tabla 9 se muestran los tipos de pavimentación utilizados en la Región y el estado en el que se encuentran cada uno de ellos.

Tabla 9: Distribución por tipo de carpeta del estado de la red vial pavimentada de la Región de los Ríos.

Tipo de Carpeta	Región de los Ríos						
	Bueno		Regular		Malo		Total
	Km	%	Km	%	Km	%	
Asfalto	375,2	7,2	39,3	1,5	20,0	2,7	434,4
Tratamiento Asfáltico	53,8	5,0	0,0	0,0	15,0	9,8	68,8
Hormigón	17,6	2,1	19,9	5,1	20,4	13,2	160,5

**Fuente:** Red Vial Nacional, Dimensionamiento y Características. Departamento de Gestión Vial. 2012

### 3.6.1. Geografía Natural de la Región de Los Ríos

La Geografía presente en la Región de Los Ríos, se caracteriza por estar dividida en tres partes bastante particulares e identificables, la primera de ellas es la Cordillera de los Andes que presenta grandes alturas, con pendientes suaves esto debido a su formación de origen volcánico, las mayores alturas que encontramos corresponden a los volcanes Choshuenco 2.415 msnm. La Precordillera también forma parte de la Cordillera, está tiene su origen en la acumulación de sedimentos Glacio-Fluvio-Volcánicos, enviados por la Cordillera de Los Andes, su altura es entre los 600 y 1.000 m. En segundo lugar se encuentra la Depresión Intermedia, es en esta región donde recobra su característica de valle longitudinal, luego de haber sido interrumpido al norte de Valdivia por el cordón transversal que le quita a los valles su continuidad, sus suelos están formados por el acarreo glacial y fluvial con depositación de gran cantidad de sedimentos. Una de sus mayores características es que se encuentra cortada por numerosos lagos de una belleza paisajística enorme y de gran interés para los visitantes. Y por último encontramos la Cordillera de la Costa que se presenta baja y ondulada en la parte norte, recibiendo el

nombre de Cordillera de Mahuidanche, descendiendo en altura hacia el sur hasta ser interrumpida por el río Valdivia. Desde aquí al sur, hasta el río Maullín, la cordillera recibe las denominaciones de Pelada y de Zrao, presentándose un poco más robusta, lo cual va a ejercer un importante efecto de biombo climático sobre las localidades de la depresión intermedia, particularmente La Unión (Instituto Geográfico Militar, 2013).

### **3.6.2. Clima en la Región de Los Ríos**

La principal característica climática de la Región es el aumento de las precipitaciones, las cuáles definen un clima lluvioso sin presencia de estación seca, es decir, ningún mes presenta totales mensuales de precipitaciones inferiores a 40 mm. Las precipitaciones anuales superan los 1.000 mm., con zonas que sobrepasan los 2.000 mm. Pese a que el período más lluvioso es entre mayo y agosto, el total de la precipitación en este periodo supera levemente el 50% del total anual. Esto indica, que el resto del año el agua caída supera los 1.000 mm en gran parte de la Región (Dirección Meteorológica de Chile (DMC)).

Por otro lado, las temperaturas continúan disminuyendo con la Latitud, y sus valores medios se mantienen sobre los 10 °C, lo que aún caracteriza el clima como templado.

Por consiguiente, se puede decir que los tipos de climas que se presentan en la Región de Los Ríos son:

- **Clima templado lluvioso con influencia mediterránea**
- **Clima templado frío de costa occidental con máximo invernal de lluvias**

Los climas mencionados presentan las siguientes características según la Dirección Meteorológica de Chile en el año 2013:

#### *1. Clima templado lluvioso con influencia mediterránea*

Este clima se caracteriza por temperaturas medias que superan levemente los 10 °C. La homogeneidad del relieve, produce bajas amplitudes térmicas y similitud en las características térmicas generales de la Región. Por ejemplo, la amplitud térmica anual en Valdivia es de 8,8 °C. Las variaciones del relieve sí producen variaciones en la distribución de las precipitaciones, las que además se ven influenciadas por la altura y la Latitud. Por ejemplo, en Corral superan los 2.000 mm, bajan de los 1.900 mm en Valdivia.

La humedad media de la región es bastante alta, superior al 80%, la cual no desciende del 75% durante todo el año.

## 2. *Clima templado frío de costa occidental con máximo invernal de lluvias*

Este clima se caracteriza por un descenso de las temperaturas, las cuales no llegan a los 10° C como media anual. Las precipitaciones son intensas, pero lo que precipita en los meses más lluviosos sólo equivale al 50% del total anual (Dirección Meteorológica de Chile (DMC)).

En la Tabla 10 se presentan los valores de temperatura medias anuales y de precipitaciones de las tres comunas más representativas de la Región de Los Ríos, de acuerdo a su disposición geográfica.

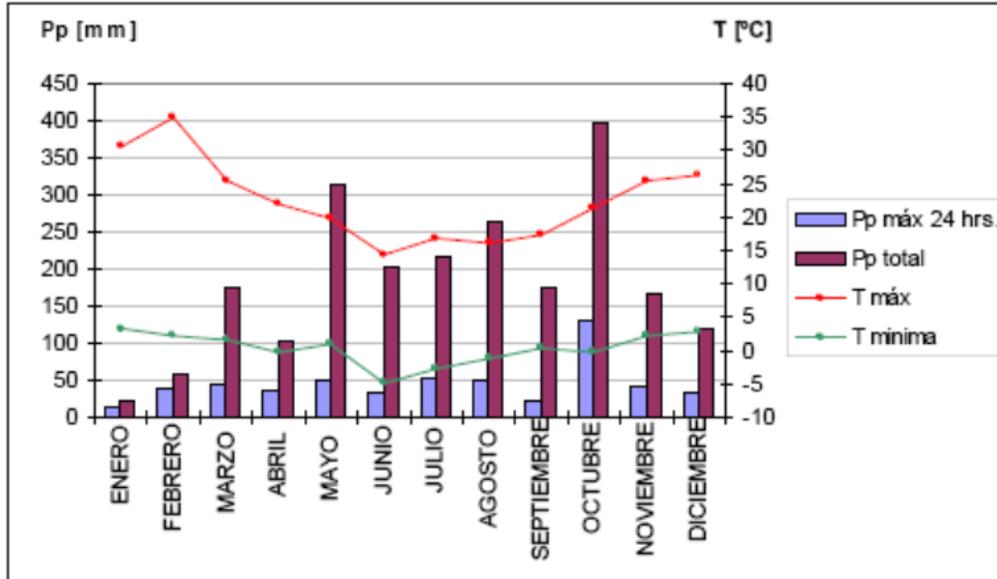
Tabla 10: Datos de precipitaciones y temperaturas medias anuales.

<b>Estación</b>	<b>Comuna</b>	<b>T° [°C]</b>	<b>Pp [mm]</b>
<b>Valdivia (19 m)</b>	Valdivia	11,0	1871,0
<b>Del Ranco (79 m)</b>	Lago Ranco	10,5	1976,0
<b>Panguipulli (140 m)</b>	Panguipulli	10,1	1802,5

**Fuente:** Dirección Meteorológica de Chile (DMC).

Cabe mencionar un caso particular que es la ciudad de Valdivia, en la X Región, que corresponde a una de las ciudades del país que presenta mayor registro de precipitaciones. Los datos registrados a través de los años han manifestado que la distribución de las precipitaciones es bastante variable durante los meses de verano.

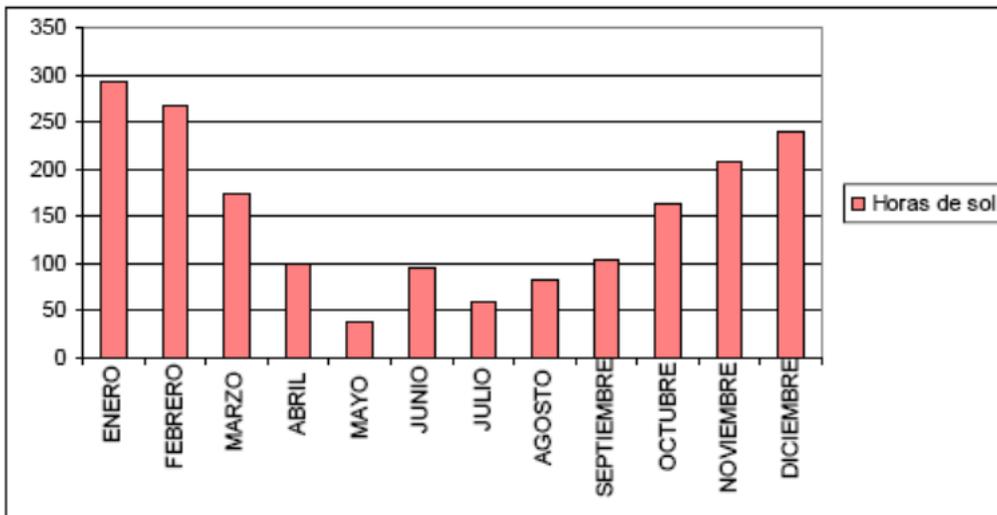
Sin embargo, como se puede apreciar en la figura 7, los máximos siempre se manifiestan en invierno y las precipitaciones totales se mantienen en general dentro de los mismos órdenes.



**Figura 7:** Datos de precipitaciones y temperaturas extremas. Estación Valdivia-Pichoy.

**Fuente:** Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

Un dato muy importante que se considera al momento de dar inicio a un proyecto de pavimentación es la cantidad de horas de Sol que se disponen, como se observa en la Figura 8 está claro que en la Región de Los Ríos la mejor época para ejecutar un proyecto de pavimentación es durante los meses de Octubre y Marzo.



**Figura 8:** Horas de Sol Mensuales. Estación Valdivia-Pichoy Ubicación: 39°37'S / 73°05' W/h= 19 m

**Fuente:** Dirección Meteorológica de Chile (DMC)

### 3.6.3. Producción, Explotación y Mercado de Áridos en la Región.

Esta región presenta una serie de particularidades en lo que respecta a la reglamentación de la industria de los áridos, debido a las distintas metodologías aplicadas en la región para la obtención de áridos. En torno a los grandes centros poblados de la región, los cuales son La Unión y Valdivia, es posible observar tres escenarios distintos para la regulación, los cuales se muestran a continuación.

En Valdivia, la particularidad de la metodología de extracción en torno a esta ciudad, hace que la reglamentación para esta actividad sea muy distinta a lo observado en el resto de la región y del país. La metodología utilizada corresponde a la extracción de áridos utilizados para pavimentos de hormigón, desde el fondo del río Calle Calle mediante dragas flotantes que se instalan en embarcaciones que recorren el río y transportan el material extraído en botes remolcados denominados localmente como “faluchos” (Figura 9). La extracción se realiza aguas arriba de Valdivia hasta que las condiciones de navegación del Calle Calle lo permitan. Como la extracción se hace directamente desde el fondo del cauce, la municipalidad correspondiente no tiene jurisdicción sobre esta actividad, ya que esta sólo considera las actividades realizadas en la superficie, por lo que la regulación pasa a manos de la Gobernación Marítima de la zona, debido a las características navegables del río. Los permisos correspondientes para la extracción de áridos se manejan mediante Concesiones Marítimas, otorgadas por la Gobernación Marítima, que maneja toda la normativa al respecto.



**Figura 9:** Extracción desde el fondo del río Calle Calle.

**Fuente:** Ilustre Municipalidad de Valdivia.

Fuera de las cercanías de estos centros poblados, la actividad extractiva es menor, por lo que sólo la Dirección de Obras Hidráulicas lleva un control de la obras de extracción desde los cauces, para casos específicos de volúmenes considerables, y esta actividad no ingresa a ningún tipo de regulación municipal.

Los principales extractores, según la Investigación bases y sub-bases de pavimentación del MINVU el año 2007, son:

- Áridos Las Animas: Esta planta produce un volumen de 4.000 m<sup>3</sup>/mes aprox., el cual es destinado a abastecer la producción de hormigón de la misma empresa (equivale al 2/3 de su producción) y a la demanda domiciliaria de áridos). La extracción es posible, aguas arriba de Valdivia hasta donde las dragas puedan navegar, esto es, a unos 20 a 25 Km.
- Valdikor: Esta planta está ubicada en el sector Collico, tiene un volumen aproximado de producción de 4.000 m<sup>3</sup>/mes, destinado a abastecer a la planta de hormigones Ready Mix y otros particulares.
- Áridos Cuesta de Soto: Está ubicada en Camino a Antilhue.



**Figura 10:** Extractora de áridos Valdikor.

**Fuente:** Valdikor, Valdivia 2010

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Pavimentos Flexibles**

Los Firmes Flexibles están formados por cemento asfáltico, que es un material cementante de color café oscuro o negro, de consistencia sólida o semisólida en que sus principales constituyentes son betunes o mezclas de hidrocarburos, que se presentan en la naturaleza como tales o se obtienen en la refinación del petróleo. Se dice que el asfalto es un material bituminoso ya que contiene bitumen, es decir, un hidrocarburo soluble en disulfuro de carbono (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

Cuando se están efectuando las operaciones constructivas es necesario licuar temporalmente el cemento asfáltico, pero luego que ha sido colocado, retorna a sus condiciones naturales de cementante y agente impermeable que hacen estable y durable un pavimento. Cuando el asfalto se aplica en el pavimento se requiere que este en forma líquida al momento de ser mezclado, este proceso se realiza mediante tres métodos:

- Mediante Temperatura.
- Por disolución del Asfalto en solventes derivados del Petróleo.
- Por Emulsificación del Asfalto con Agua.

#### **4.1.1. Asfaltos Utilizados en la Pavimentación**

Los asfaltos se utilizan generalmente para la construcción de pavimentos, y como este proyecto se refiere a las pavimentaciones, a continuación se darán a conocer las clases de asfaltos que se utilizan en la pavimentación:

- a) Cementos Asfálticos
- b) Emulsiones Asfálticas:
  - Emulsiones asfálticas aniónicas
  - Emulsiones asfálticas catiónicas

c) Asfaltos Cortados:

- Asfaltos cortados de curado lento (SC).
- Asfaltos cortados de curado medio (MC).
- Asfaltos cortados de curado rápido (RC).

Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos se designan por las letras CA, y su elaboración es a partir de una combinación de asfaltos refinados de consistencia apropiada. Es un material preparado especialmente para ser usado en trabajos de pavimentación, debido a sus propiedades aglomerantes e impermeabilizantes y además posee características de flexibilidad, durabilidad, y alta resistencia a la mayoría de los ácidos, sales y álcalis.

Es un material termoplástico, reológico, ideal para aplicaciones en trabajos de pavimentación, y su aplicación debe estar libres de agua y homogéneos en sus características. El cemento asfáltico es el ingrediente básico de la emulsión asfáltica, en la mayoría de los casos conforma alrededor de un 55 a un 70 % de esta.

La dureza del cemento asfáltico puede ser variada tanto como se desee, la mayoría de las emulsiones están desarrolladas con asfaltos con un rango de penetración de 100 – 250. En ocasiones las condiciones climáticas pueden dictar que se utilice un cemento asfáltico más duro o más blando. En cualquiera de los dos casos, la compatibilidad del agente emulsificante con el cemento asfáltico es esencial para la producción de una emulsión estable.

Los cementos asfálticos se han clasificado en varios rangos normalizados de consistencia. Hasta hace poco tiempo, estos rangos se basaban solamente en el ensaye de penetración. Así se disponía de cinco grados normalizados: C.A. 40-50; C.A. 60-70; C.A. 85-100; C.A. 120-150; y C.A. 200-300; donde los primeros números indican el rango de penetración para cada grado.

Una recomendación importante dentro de los cementos asfálticos es de no ser calentados sobre los 170°C, siendo la temperatura ideal la obtenida por la relación que se forma entre temperatura y

viscosidad. Tampoco se deben aplicar con tiempo amenazante de lluvia, con temperaturas inferior a 10°C y en superficies húmedas y por último se debe evitar el recalentamiento del producto y calentamientos locales.

Si se llegan a producir calentamientos prolongados de altas temperaturas, alterara sensiblemente la constitución del asfalto, y esto va producir la modificación de la estructura del asfalto. Por esta razón se recomienda mantener los estanques de almacenamiento a temperaturas no superiores a 160 ° C, para así evitar los daños ya mencionados. El calentamiento no se debe efectuar nunca a través de llama directa, se debe utilizar, preferentemente, calentamiento a través de serpentines al interior de los estanques (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

### Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas son la dispersión de pequeñas micro-partículas de asfalto dentro de una fase acuosa. Las emulsiones contienen entre un 40 % a 70 % de asfalto, el tamaño de la partícula está en un rango de 0,5 a 30 micrones de diámetro.

La utilización de emulsiones asfálticas para pavimentos tiene ventajas sobre otras formas de manejar asfalto, como la habilidad de poder ser empleada a temperatura ambiente, el utilizar agregados húmedos y la no-emisión de contaminantes o vapores tóxicos a la atmósfera.

Las emulsiones, dependiendo del agente emulsificante puede ser: catiónicas, tiene glóbulos de asfalto cargados electropositivamente; aniónicas, que tienen glóbulos de asfalto cargados electronegativamente y no aniónica, que tienen glóbulos de asfaltos neutros (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

Las emulsiones asfálticas están compuestas principalmente por tres ingredientes que son: asfalto, agua y un agente emulsificante. Los asfaltos fáciles de emulsificar deben tener las características siguientes que se indican en la Tabla 11:

Tabla 11: Características de Asfalto que son fácil de emulsionar.

Índice de Acidez	+ 5.0
Contenido de Azufre	Bajo
PH	-7.0
Asfáltenos	19-26%
Resinas	30-42%
Aceites	44-50%

**Fuente:** THE ASPHALT INSTITUTE, Manual del Asfalto, Madrid, España. 2000

- Curado: Para el uso en pavimentos, las emulsiones aniónicas y catiónicas van a depender de la evaporación del agua para el desarrollo del curado y sus propiedades adhesivas. El desplazamiento puede ser medianamente rápido, bajo condiciones climáticas favorables, pero una alta humedad, bajas temperaturas o lluvias que se produzcan inmediatamente después de la aplicación puede llegar a retrasar el curado. Se dice que las emulsiones aniónicas se comportan mejor con agregados que tienen carga superficial positiva como la caliza y dolomita. En cambio, las emulsiones catiónicas se van a comportar mejor con agregados que tienen carga superficial negativa como los granitos y silicios (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).
- Fabricación: Para la fabricación de estos emulsionantes se necesitan maquinarias o equipos, que es muy sencillo y fácil de encontrar en el mercado. Pero lo que es un verdadero problema, es la formulación de las emulsiones que deben adaptarse a los materiales pétreos y no a las emulsiones. Estas fábricas pueden desarrollarse en locales rústicos, conformados solamente para la producción, no tomando en cuenta tanto la parte estética, o sea la parte arquitectónica (THE ASPHALT INSTITUTE. 2000).
- Almacenamiento: Para el almacenamiento de las emulsiones esta se puede hacer de varias maneras como:
  - En fosas.
  - Tanques enterrados.
  - Tanques a nivel.

Para el almacenamiento de las emulsiones hay que tener algunas precauciones para un buen funcionamiento de estas:

- Los depósitos deben estar libres de netas.
- Se deben determinar el tipo.

### Asfaltos Cortados o Cutbacks

El asfalto Cortado o Cutback, se emplea debido a las características termoplásticas que tiene el asfalto desde el punto de vista práctico, en la etapa de colocación requiere ser calentado para poder hacer posible su utilización.

El asfalto Cortado o Cutback son productos obtenidos por incorporación a los betunes asfálticos de disolventes hidrocarbonados. Los disolventes incorporados deben ser de naturaleza compatible con la del betún asfáltico para que no se produzca precipitación de Asfáltenos. Frecuentemente se utilizan disolventes que nacen del mismo crudo asfáltico. Los Cutbacks son líquidos más o menos viscosos, dependiendo su viscosidad de la proporción de disolvente incorporado (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

- Clasificación: Son productos que se utilizan casi exclusivamente en la construcción de carreteras. Luego de ser aplicados, los disolventes se eliminan por evaporación en un tiempo más o menos largo que va a depender de su naturaleza. Según esto se van a clasificar en tres grupos:
  - Curado Rápido (RP)
  - Curado Medio (MC)
  - Curado Lento (SC)
- Velocidad de Curado: Se llama curado de un Asfalto Cortado o Cutbacks al proceso de evaporación de los disolventes que contiene. El curado va a comenzar cuando el Cutbacks se expone a los agentes atmosféricos, y se termina cuando ha evaporado el máximo posible de disolvente. Cuando se dice el máximo posible de disolvente es porque una pequeña proporción de este queda incorporada al asfalto de modo permanente y para eliminarlo debe ser por el método de destilación. A este fenómeno se debe que el producto resultante del curado de un Cutbacks sea siempre un asfalto de penetración más elevada que la del betún empleado en su fabricación (THE ASPHALT INSTITUTE, Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S. A., Madrid, España. 2000).

#### **4.1.2. Tipos de Asfalto Según su Utilización**

El tipo de asfalto a utilizar en una obra depende de varias características y situaciones tales como: el clima imperante, el tipo de pavimento a confeccionar, agregados pétreos y la intensidad del tránsito. En este caso nos vamos a referir a fondo en dos tipos, que son los más utilizados en la pavimentación que son:

- Riego de Imprimación
- Riego de Liga

##### **4.1.2.1. Riego de Imprimación para Pavimentos Flexibles**

El Riego de Imprimación es una aplicación de riego de asfalto que contiene baja viscosidad sobre una base granular, en preparación para la colocación de una mezcla masfáltica. Cuando se va aplicar a una superficie una mezcla de materiales bituminosos y áridos, se aplica antes una pequeña cantidad de material bituminoso líquido para poder unir las partículas superficiales y facilitar la adherencia entre la capa bituminosa aplicada y la superficie de la cimentación.

Cuando este tratamiento se aplica a una superficie relativamente porosa y granular, como grava o piedra machacada, en la que es deseable obtener una considerable penetración del material bituminoso, esta aplicación se denomina capa de imprimación. Como se va a necesitar una profundidad de penetración considerable, se puede deducir que se va a utilizar un producto de curado en cierto modo lento y de baja viscosidad.

Se ha demostrado que los Cutbacks de curado lento van a tender a separarse en fracciones cuando se van a utilizar como imprimación, especialmente si la superficie tratada es cerrada o tiene una granulometría densa, ósea las fracciones ligeras van a penetrar en los áridos superficiales, mientras que las fracciones más pesadas tienden a mantenerse formando una película sobre la superficie que es tratada. Por esta razón se utilizan generalmente en imprimación de bases los Cutbacks de curado medio.

La velocidad a que las emulsiones asfálticas rompen depende en gran manera de las operaciones de mezclado, y como la imprimación y otros tratamientos de penetración no exigen esta manipulación, lo más satisfactorio es utilizar emulsión de rotura rápida.

La cantidad de material bituminoso a usar puede variar desde, aproximadamente, 0,9 a 1,80 l/m<sup>2</sup> de superficie, dependiendo de la granulometría y la densidad de los áridos o del suelo que se va a imprimir. Un riego de imprimación dentro de la construcción de pavimentos cumple una serie de funciones que tiene una gran relevancia:

- Recubre y liga las partículas minerales sueltas en la superficie de la base.
- Endurece o refuerza la superficie de la base.
- Provee adhesión entre la base y la mezcla asfáltica.
- Impermeabiliza la superficie de la base obturando los vacíos capilares o que se encuentran interconectados.

Para que el riego de imprimación cumpla con estas funciones, debe existir una cantidad de asfalto que penetre en la base.

Los riegos de imprimación, en general, son cada vez usados con menos frecuencia, en particular cuando el espesor total de la capa asfáltica es de 100 mm (4 pulgadas) o también mayor. Con espesores de asfalto mayores, es menor la probabilidad de que penetre agua en la base y de que se produzca deslizamiento del pavimento. Sin embargo, un riego de imprimación debiera ser considerado cuando una base granular se mantendrá abierta por un periodo prolongado, como ser en los meses de invierno o cuando será expuesta a algún daño por abrasión del tráfico (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

#### **4.1.2.2. Riego de Liga para Pavimentos Flexibles**

El Riego de Liga es una ligera aplicación de riego de emulsión asfáltica diluida. Este se usa para adherir la superficie del pavimento ya existente y la capa de asfalto que tendrá que ser colocada posteriormente efectuada esta operación. Sirve para mejorar la adherencia entre el revestimiento asfáltico y la capa subyacente, la emulsión se diluye agregando una cantidad igual de agua. Para estar completamente seguros de que el agua a utilizar en la dilución es compatible con la emulsión, se recomienda hacer una

dilución de prueba. Para poder evitar que se produzcan roturas prematuras, siempre se agrega el agua a la emulsión y no la emulsión al agua.

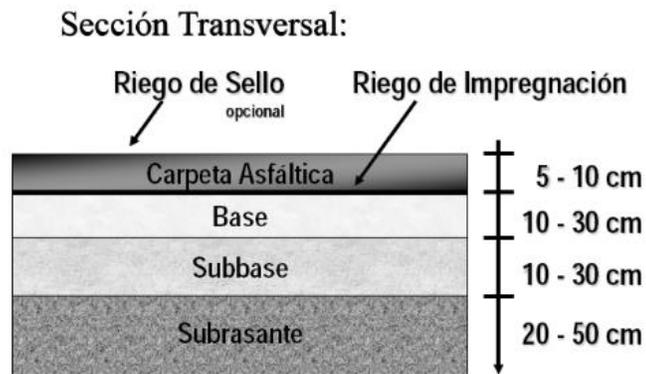
El riego de liga debería ser aplicado solo en áreas que pueden ser pavimentadas en el mismo día. Los mejores resultados se logran cuando el riego de liga se aplica sobre una superficie seca y la temperatura de éstas supera los 25°C. Para lograr una buena adherencia, la superficie que será tratada con el riego de liga debe estar limpia y libre de todo material suelto. Al aplicar una excesiva cantidad de riego de liga puede producir un plano resbaladizo entre dos capas de pavimento, la razón es que el asfalto trabaja como lubricante en vez de trabajar como adhesivo. El equipo necesario para su ejecución son barredoras comunes, barredoras mecánicas y un camión distribuidor.

Al finalizar la aplicación del riego de liga y antes de colocar el recapado, se debe dar tiempo para que se produzca la completa rotura de la emulsión diluida, es decir el cambio del color marrón al color negro. Por eso el tráfico se desvía de la zona tratada porque el pavimento se encuentra fresco y en general demasiado resbaladizo para realizar una conducción segura, también se puede solucionar con emulsiones termoadherentes para que los neumáticos de los vehículos no se adhieran al asfalto.

Un riego de liga es también esencial en una buena operación de bacheo. El área que va a ser bacheada debe ser limpiada completamente y todo el material que se encuentre suelto debe ser removido. Un riego de liga de emulsión asfáltica se aplica sobre la totalidad del área a ser bacheada, incluyendo los lados verticales. El riego de liga ayuda a contener el bache y provee un sellado impermeable entre el bache y el pavimento que lo rodea (THE ASPHALT INSTITUTE, 2000).

#### **4.1.3. Clasificación de capas de un Firme Flexible.**

El Firme flexible o asfáltico está formado por varias capas, como se observa en la Figura 11, dentro de las cuales se encuentra la sub-rasante, la sub-base, la base, estas dos últimas son elementos estructurales, que al estar ligados con la superficie, tienen por objetivo distribuir las cargas del tránsito a las sub-rasante, y por último encontramos la carpeta asfáltica, aquí se presentan las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, que están constituidas por gravas, arena y ligante, se pueden encontrar cementos asfálticos, emulsiones o asfaltos cortados (Cámara Nacional del Cemento. México, 2008).



**Figura 11:** Sección donde se pueden apreciar las capas del pavimento flexible.

**Fuente:** Cámara Nacional del Cemento. México, 2008.

Dentro de las principales funciones en conjunto de las capas del Firme flexible tenemos:

- Tener la impermeabilidad necesaria para que impida la filtración del agua, afectando principalmente la capacidad de soporte del suelo.
- Resistir de la mejor manera las cargas generadas por el tránsito, sin que estén produzcan deformaciones de ningún tipo en la estructura, considerando el espesor como factor fundamental.
- Soportar los diferentes agentes atmosféricos, esperando que no se generen problemas como la meteorización y alteración de los materiales que forman el pavimento, por lo que se debe poner atención en los materiales para que resistan lo agentes físicos y químicos.
- Debe contar con una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y confort durante el tránsito de vehículos, siendo esta de aspecto agradable y entregarles seguridad a los usuarios.
- Poseer flexibilidad para adaptarse a las posibles fallas que se pueden presentar durante su vida de servicio (Torres Rafael, 2007).

Así mismo el pavimento debe ofrecer una superficie buena y resistente, con una rugosidad mínima para poder garantizar la fricción con las llantas de los vehículos, como también debe contar con un color adecuado para evitar deslumbramientos y/o reflejos.

#### **4.1.4. Sub base de un Firme Flexible**

Esta capa juega un rol meramente económico en los pavimentos flexibles, buscando obtener el espesor necesario utilizando el material más barato posible, lo que trae un aumento en el espesor total del pavimento. La sub-base también aporta sirviendo de transición entre la base y la sub-rasante; siendo ocupada como un tipo de filtro para evitar que el material de la base se incruste en la sub-rasante, a su vez apoya en la absorción de las deformaciones que provienen de la sub-rasante (Torres Rafael, 2007).

En general los espesores de las sub-base, son muy variables y dependen de cada proyecto específico, pero suelen de 10 a 15 cm como dimensión mínima.

#### **4.1.5. Base de Firme Flexible**

La función principal de esta capa, es proporcionar un elemento resistente que pueda transmitir los esfuerzos producidos por el tránsito, hacia la sub-base y la sub-rasante, con una intensidad adecuada, sirviendo así a reducir el espesor de la carpeta de rodado, que es la más costosa. Un factor fundamental en la base, es el material que la constituye, éste debe ser friccionante y provisto de vacíos, para poder garantizar la resistencia correcta y la permanencia de esta en el tiempo, bajo condiciones externas, como puede ser el contenido del agua (Torres Rafael, 2007).

Los espesores de las bases dependen del proyecto que se trate, pero suele considerarse que entre 10 a 15 cm, es el espesor mínimo para poder construir.

Por ende de forma global en todo proyecto la base es la capa encargada de proporcionar una superficie de rodadura adecuada, con textura y color conveniente, además de resistir los efectos abrasivos del tránsito (Torres Rafael, 2007).



**Figura 12:** Etapas para la preparación de la base.

**Fuente:** Deterioro en pavimentos flexibles y rígidos. Miranda Javier, 2010

#### 4.1.6. Superficie de rodadura de un Firme Flexible

Esta capa se coloca sobre la base. Siendo su objetivo principal proteger la estructura del pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar las filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores, evitando que afecte directamente a las otras capas del pavimento. Esta capa también contribuye en la capacidad de soporte del pavimento, absorbiendo cargas, esto considerando un espesor mayor a 4 centímetros

#### 4.1.7. Método Simplificado de diseño de un Pavimento Flexible.

Actualmente, el diseño estructural se basa en la aplicación de principios que están comprobados mediante estudios teóricos y en una amplia investigación sobre su comportamiento, observando en ensayos realizados en los laboratorios. Estos ensayos se realizan luego que se toman las muestras necesarias en el terreno donde se va a producir la pavimentación, se toman testigos y luego son llevados al laboratorio que luego de unas horas o días si se produce alguna complicación y entregara el informe correspondiente donde se verá si el terreno es apto o no para efectuar los trabajos.

Los pavimentos flexibles se caracterizan por tener una baja resistencia al esfuerzo de corte, que va a depender, por cierto, del espesor de sus capas componentes del diseño para transformar las cargas recibidas por la superficie de rodado a las cargas que puede soportar el suelo de fundación. Además, existe un Riego de Liga entre las capas asfálticas (Carpeta, Binder y Base) y un riego de imprimación entre la base granular y la base asfáltica. El pavimento flexible no solo está formado por la capa de rodado sino por todas las que conforman la estructura. También es importante decir que de acuerdo al tipo de tránsito y al tipo de suelo natural se pueden eliminar algunas de las siguientes capas, intermedia, base asfáltica y sub-base granular.

Se entiende por un Diseño de un Firme Flexible la determinación de espesores de:

- Sub-base.
- Base.
- Carpeta de Rodado. (Que se colocara sobre el suelo de Fundación a nivel de Sub-Rasante).

La finalidad principal del diseño es la selección de los materiales disponibles más adecuados, para así se puedan combinar de la mejor manera y puedan soportar sin ningún problema las solicitaciones del tránsito en la forma más adecuada.

Al diseñar un Pavimento Flexible hay que tener siempre presente que la carga que se aplica a la superficie es distribuida sucesivamente sobre áreas mayores a medida que es transmitida por cada capa a la subyacente, la solicitación que se produce por la carga inicial disminuye con la profundidad.

Esto permite ordenar la solicitación así adecuarla a la magnitud de la capacidad de soporte del suelo de fundación. Al revés, la capacidad de soporte de la fundación puede ser incrementada mediante la superposición de capas de materiales de mejor calidad, en resumen la calidad de los materiales es creciente hacia arriba (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

#### **4.1.8. Etapas de Diseño de un Pavimento Flexible**

Como ya fue mencionado anteriormente la Dirección de Vialidad, dependiente del Ministerio de Obras Públicas de Chile, es el ente encargado de velar por el desarrollo de la infraestructura vial del país. Su función es fijar procedimientos y límites normativos que cubren los aspectos relacionados con los estudios de carreteras y caminos en áreas rurales y urbanas que se encuentran bajo su tuición a través de un documento oficial llamado Manual de Carreteras, el cual se compone actualmente de nueve volúmenes. La metodología vigente en Chile en cuanto al diseño estructural para pavimentos flexibles se describe en el Volumen N°3 “Instrucciones y Criterios de Diseño” y corresponde a un procedimiento basado en el método propuesto en Estados Unidos en la guía de diseño AASHTO, versión 1993, adecuado a nuestra realidad y afecto a algunas variaciones.

Se presentan a continuación en forma detallada los datos de entrada requeridos por el método y su relación con el proceso para llevar a cabo el diseño estructural.

##### Información general:

- Tipo de pavimento: flexible, rígido o tratamiento superficial
- Vida de diseño

##### Factor del Tránsito:

Para caracterizar este importante parámetro el Manual de Carreteras considera lo expuesto en el método AASHTO 93, referente al uso de los Ejes Equivalentes de diseño. Esto consiste en transformar todo eje que circula por la carretera a una medida patrón, correspondiente a un eje simple de rueda doble de 80 KN de peso. Se aplica un factor de equivalencia que representa el número de ejes de ese tipo que generará una pérdida de serviciabilidad en el pavimento igual a la del eje patrón considerado. El parámetro de

diseño ocupado entonces para caracterizar el tráfico es el número de Ejes Equivalentes acumulados que circularán por la pista de diseño a través del período de diseño seleccionado.

En este procedimiento se consideran tres tipos de ejes: ejes simples de rueda doble, ejes dobles (tándem) de rueda doble y ejes triples (trídem) de rueda doble.

Los factores de los Ejes Equivalentes son dependientes de las características de la estructura. Debido a esto su valor está relacionado, en el caso de pavimentos flexibles, con el Número Estructural y con los valores de serviciabilidad inicial y final adoptados, por lo que los factores a usar debiesen ser aquellos encontrados a través de un proceso iterativo correspondientes al Número Estructural definitivo.

El método fue simplificado calculando los factores para un Número Estructural determinado, pues de este modo se genera un proceso más expedito. Además, como otra manera de simplificar los cálculos, se determinan factores de equivalencia para rangos de peso, agrupando los valores en grupos representativos, evitando así el cálculo de un factor individual para cada caso (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

Existen datos de plazas de pesajes fijas que dispone la Dirección de Vialidad para ser ocupados en casos en que no se cuente con datos reales de pesaje ni de tránsito. En caso de existir aquellos datos, se realiza una proyección de la demanda generalmente en base al Tráfico Medio Diario Anual (TMDA), considerando tasas de variación anuales del volumen de tránsito basadas en variables de tipo macroeconómica (evolución en las actividades económicas desarrolladas, por ejemplo) o tasas de motorización en la zona del proyecto. El valor de partida del TMDA considerado debe estar respaldado por estudios de demanda realizados especialmente para el caso en cuestión.

Esta proyección del tránsito esperado está relacionada con la categoría de la vía que se está diseñando. De acuerdo a esto se determina la vida de diseño, con lo cual se tiene la cantidad de años a la cual se debe proyectar el tránsito solicitante, fluctuando estos valores generalmente entre 5 y 30 años.

Se considera también un factor de pista de diseño, dependiente del TMDA por dirección de circulación, para representar la fracción real del tránsito pesado que circula por ella (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

### Factor Climático

Temperatura media anual ponderada del aire: Corresponde a un parámetro obtenido a partir de datos de Temperatura Media Mensual del Aire (TMMA) disponibles para el sitio donde se construirá la obra, provistos por la estación meteorológica más cercana al lugar. Para ser considerada como representativa, la TMMA de un mes cualquiera debe obtenerse a partir de una estadística no menor a 10 años de datos recopilados.

Usando un factor de ponderación asociado a cada mes del año se determina la TMMA a través de una relación matemática expresada en el Manual de Carreteras, la cual se muestra en la siguiente ecuación:

$$TMMA = 20.348 + 17.5683 \times \text{Log} (W_i)$$

Donde:

- TMMA: Temperatura Media Mensual del Aire (°C)
- $W_i$  : Factor de Ponderación

Luego, a través de la misma relación, se calcula la Temperatura Media Anual Ponderada del Aire (TMAPA), usando esta vez como factor de ponderación en la ecuación el valor promedio de los factores mensuales usados anteriormente (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012)..

Coeficiente de drenaje: La presencia de agua en un pavimento es sin duda una de los factores que más incide en el deterioro de éste a lo largo de su vida de diseño, ante lo cual existe la necesidad de dotar al sistema de pavimento de sistemas de evacuación de aguas, tanto superficiales como internos. Existe una porción del agua absorbida por el pavimento que permanece bajo éste por efectos de capilaridad, por lo que la idea del drenaje es evacuar la mayor cantidad de agua lo más rápido posible para que de esta manera la estructura esté el menor lapso de tiempo bajo la acción conjunta de las cargas solicitantes y los efectos de la humedad.

El método AASHTO, y por consiguiente el método ocupado en nuestro país, caracterizan la capacidad de evacuar el agua presente en las capas granulares del pavimento (base y sub-base) a través de coeficientes de drenaje (mi) que modifican el aporte estructural de la capa calculado inicialmente. Los valores de estos coeficientes están basados en la capacidad del material para drenar el 50 % del agua presente en

condición de saturación como función del tiempo que demora en llevar a cabo este proceso y al período en que el material está sujeto a la acción de la humedad del agua atrapada por capilaridad. Los valores de este coeficiente fluctúan entre 0,6 y 1,35 dependiendo de cada situación, mientras que para el caso de pavimentos diseñados para la zona norte del país se adopta un coeficiente de drenaje recomendado de 1,4. La calidad del drenaje depende de factores como la permeabilidad de las capas granulares, la implementación adecuada de sistemas drenantes, la pendiente transversal, entre otros.

#### **4.1.9. Diseño Estructura del Pavimento Flexible**

##### *Coefficiente estructural*

Corresponde a un factor que caracteriza el aporte estructural de una determinada capa en base a propiedades acordes al material que la conforma. Se determina en todos los casos a partir del valor del módulo elástico, es decir tanto para capas granulares como asfálticas. La complejidad para determinar el módulo elástico permite obtener su valor en forma indirecta según sea el caso. Se establece una relación entre el módulo elástico y el valor de estabilidad Marshall para las capas asfálticas, con el valor del CBR en capas granulares no tratadas y con la resistencia a compresión en probetas cilíndricas en el caso de tener bases tratadas, ya sea con cemento o asfalto (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

##### *Diseño de Sub-rasante*

El método expuesto por el Manual de Carreteras considera, al igual que el método AASHTO, el valor del módulo elástico denominado en estos casos Módulo Resiliente efectivo ( $M_r$ ) del suelo de fundación como su parámetro de caracterización. Este mide propiedades elásticas del suelo luego de aplicársele cargas cíclicas, asemejando el comportamiento al cual estará sometida la estructura producto de la repetición de sollicitaciones generadas por el constante paso de las cargas de rueda.

La definición de “Módulo Resiliente efectivo” implica determinar un valor medio considerando el efecto de las variaciones estacionales producto de condiciones medioambientales. En general y para evitar mayores complicaciones se adopta un valor único con la salvedad de situaciones en que intervienen condiciones extremas de frío, en donde la acción de la helada pasa a jugar un papel importante en el comportamiento de la sub-rasante. A pesar que los suelos tienen en ciertas ocasiones comportamientos no del todo elásticos, es necesario determinar su Módulo Resiliente teniendo en cuenta los requerimientos de los sistemas de análisis basados en sistemas multicapas. El Módulo Resiliente se determina a través de un ensayo triaxial consistente en someter una probeta a una carga cíclica durante

un tiempo definido. Su resultado es altamente sensible al estado de esfuerzos en que se encuentra el suelo (grado de confinamiento), a su contenido de humedad y al espesor de la capa analizada.

La especialización del equipo y del operario para realizar el ensayo que determina el Módulo Resiliente, así como el tiempo que demanda su ejecución, llevaron a permitir el uso de relaciones para obtenerlo en forma indirecta, siendo la más común aquella que utiliza el valor del ensayo CBR, por lo tanto debe tenerse presente que el parámetro obtenido es sólo una aproximación.

El método expuesto en el Manual de Carreteras ocupa las ecuaciones de correlación que dependen de los valores obtenidos del ensayo de CBR, determinadas en 1987 por el "Transport and Road Research Laboratory" (TRRL). Estas ecuaciones se aplican sólo para determinar el Módulo Resiliente del suelo de soporte.

El módulo elástico de las capas no ligadas es dependiente de las propiedades de la capa subyacente (en particular de su módulo), además de estar relacionada obviamente con el espesor, propiedades del material y grado de confinamiento de la capa bajo análisis. Por esta razón, se recomienda no ocupar capas contiguas con módulos muy diferentes, debido a lo cual se incluyen dos procedimientos que se deben utilizar en casos en que el CBR de la sub-rasante no supere el 10 %, con el fin de minimizar en cierta medida las diferencias entre las características resistentes entre capas sucesivas. Ellos son, el uso de una tela geotextil bajo la sub-base, la cual tiene la propiedad de desarrollar resistencia a la tracción, atenuando las sollicitaciones de este tipo desarrolladas en el pavimento o, alternativamente, incluir capas de mejoramiento en la sub-rasante. Este último procedimiento consiste en incluir una capa de tipo granular de espesor mínimo 30 cm, que produce una mejora en el Módulo Resiliente, representado a través de un factor de aumento aplicado al valor inicial. En cuanto a la prospección de suelos para determinar las características típicas de la sub-rasante, éstas deben ejecutarse en lugares apropiados y representativos, de modo de caracterizar el suelo de fundación de la mejor manera. A partir de esos datos se definen tramos con características homogéneas, definiendo un valor promedio de acuerdo a los valores con que se cuenta, sin embargo, no se consideran datos extremos (outliers) para el cálculo. En el caso de valores muy bajos, se deberán usar técnicas de mejoramiento como las expuestas anteriormente. El Módulo Resiliente adoptado para el diseño corresponde al valor promedio entre la serie de muestras realizadas. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

### Índice de serviciabilidad

Corresponde a un parámetro cuya finalidad es medir la calidad funcional de un pavimento. La suavidad, la resistencia al deslizamiento, el agrietamiento, el ahuellamiento e incluso la estética de la vía son factores de calificación importantes para los usuarios. Existe, por otro lado, un tópico muy importante a la hora de evaluar el desempeño de una carretera y corresponde a la capacidad estructural. Ambos aspectos están relacionados en alguna medida pero no intrínsecamente, ya que no necesariamente un pavimento con mala calidad funcional presenta problemas estructurales y viceversa.

La determinación de la serviciabilidad de un pavimento para un instante dado se representa por el Índice de serviciabilidad presente ( $P_a$ ). Este indicador se obtuvo originalmente de relaciones matemáticas basadas en apreciaciones realizadas por un panel de usuarios, luego de lo cual se quiso buscar una alternativa como parámetro de caracterización del nivel de servicio. Esta alternativa corresponde a un indicador muy utilizado actualmente, denominado “International Roughness Index” (IRI), que resume de cierto modo la condición del pavimento que se busca representar, y cuya obtención es más objetiva pues no considera apreciaciones de los usuarios. Para efectos de diseño, en donde se requiere conocer el dato correspondiente a la serviciabilidad y no al IRI, existen correlaciones dadas por el Manual de Carreteras que llevan a la determinación del parámetro de serviciabilidad presente buscado a partir del valor del índice determinado.

El método de diseño nacional considera el factor de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) propuesto por AASHTO, correspondiente a 4,2 en el caso de pavimentos flexibles y al cual le corresponde un IRI de construcción de 1,41 m/km, según las relaciones expuestas en el Manual de Carreteras. Las ecuaciones de correlación estipuladas son aplicables a casos en que el IRI inicial sea menor a 1,5 m/km; en estos casos el valor de serviciabilidad correspondiente a ese IRI podría ser usado perfectamente como valor de serviciabilidad inicial, quedando esto a criterio del diseñador. El valor de la serviciabilidad inicial depende exclusivamente de la calidad de la construcción.

Para el caso de la serviciabilidad final ( $P_f$ ) se recomienda un valor de 2, el cual representa un límite establecido asociado a un nivel de deterioro tal en el pavimento que no permite transitar con comodidad, llegando así al término de su vida útil y requiriendo una posterior rehabilitación.

### Índice de Confiabilidad

En el diseño de pavimentos existe una alta incertidumbre en cuanto a la determinación y comportamiento de los factores involucrados en él. Es por esto que dentro del modelo que busca dar solución al problema de determinar los espesores, es necesario incluir un parámetro que considere tal incerteza.

La idea del uso de factores de seguridad basados en la experiencia del diseñador no es muy convincente pues no refleja fielmente la variabilidad de los datos al no contar con un fundamento teórico que lo respalde, ante lo cual surgió la idea de representar este fenómeno mediante el uso de la confiabilidad de diseño.

El término confiabilidad representa la probabilidad de que el diseño proyectado no falle o dicho de otra forma, cumpla con el desempeño esperado, reflejando la variabilidad estadística. La variabilidad asociada a cada uno de los factores involucrados en el desempeño de una estructura de pavimento es representada por cuatro indicadores estadísticos, que corresponden al promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el rango.

La determinación del nivel de confiabilidad requerido depende del riesgo que se pretende tomar en el diseño de un determinado pavimento, siendo generalmente bajo para vías de mayor importancia o más transitadas. Por ello se relaciona la confiabilidad deseada con la desviación normal del error combinado ( $S_o$ ), el cual involucra la ya citada variabilidad a través de la varianza en la predicción de todos los factores involucrados, principalmente en las solicitaciones de tránsito y el valor de los suelos de soporte.

Debido a esto mismo los valores del parámetro  $S_o$  dependen de estas dos características implícitas en el diseño: Ejes Equivalentes solicitantes y el coeficiente de variación (desviación estándar dividida por el promedio) de los datos referentes al suelo de soporte.

Para el caso de sub-rasantes con bajo nivel de soporte se debe usar la mayor confiabilidad del rango propuesto, pues en estas situaciones se tiene una mayor incerteza en la determinación del Número Estructural.

Una vez determinado el nivel de confiabilidad esperado, se define un factor estadístico ( $Z_r$ ) asociado al valor escogido, el cual es parte de la ecuación de diseño y se refiere a la probabilidad que la serviciabilidad real del pavimento sea igual o mayor que la esperada. Este factor  $Z_r$  está basado en una supuesta distribución normal de los datos.

En casos especiales, como vías de alto tránsito, túneles, viaductos u otros, se puede usar un valor de confiabilidad mayor al especificado en el Manual de Carreteras, siempre que esté justificado adecuadamente y aprobado por la autoridad pertinente (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

#### 4.1.10. Procedimiento de Diseño de un Pavimento Flexible

Una vez que se cuenta con la totalidad de los datos necesarios para el diseño, se procede en primer lugar a calcular el Número Estructural requerido sobre la sub-rasante del pavimento a través de la expresión presentada en la siguiente ecuación. Esta ecuación incluye un factor beta que igualmente se detalla a continuación:

$$EE = (NE + 25.4)^{9.36} \times 10^{-(16.4 + Z_R \times S_o)} \times MR^{2.32} \times \left[ \frac{(p_i - p_f)}{(p_i - 1.5)} \right]^{1/\beta}$$

$$\text{Con } \beta = 0.4 + \left[ \frac{97.81}{NE + 25.4} \right]^{5.19}$$

Donde:

- EE: Ejes equivalentes de 80 KN acumulados durante la vida de diseño.
- NE: Número Estructural en mm.
- $Z_R$ : Coeficiente estadístico relativo al nivel de confiabilidad adoptado.
- $S_o$ : Desviación estándar del error combinado de todas las variables del modelo.
- MR: Módulo Resiliente del suelo de la sub-rasante en MPa.
- $p_i$ : Índice de serviciabilidad inicial.
- $p_f$ : Índice de serviciabilidad final.

Los espesores se determinan de manera que la suma de los aportes estructurales de las capas correspondientes cumpla tanto con el Número Estructural necesitado sobre la sub-rasante así como sobre la base granular. El aporte estructural de cada capa se obtiene mediante el producto del espesor correspondiente con el coeficiente estructural asociado al tipo de material. En el caso de las capas

granulares (base y sub-base) se considera también el factor referido al coeficiente de drenaje para establecer la capacidad de evacuar el agua acumulada en la estructura.

La expresión que refleja el aporte estructural total considerando todas las capas de pavimento, el cual debe compararse con el Número Estructural total requerido, se presenta en la siguiente ecuación:

$$NE = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_3 + a_2 \times h_2 + \times m_3$$

Donde:

- NE: Número Estructural en mm.
- $a_i$ : Coeficiente estructural de cada una de las capas.
- $h_i$ : Espesor de cada una de las capas en mm.
- $m_i$ : Coeficiente de drenaje de las capas no tratadas.

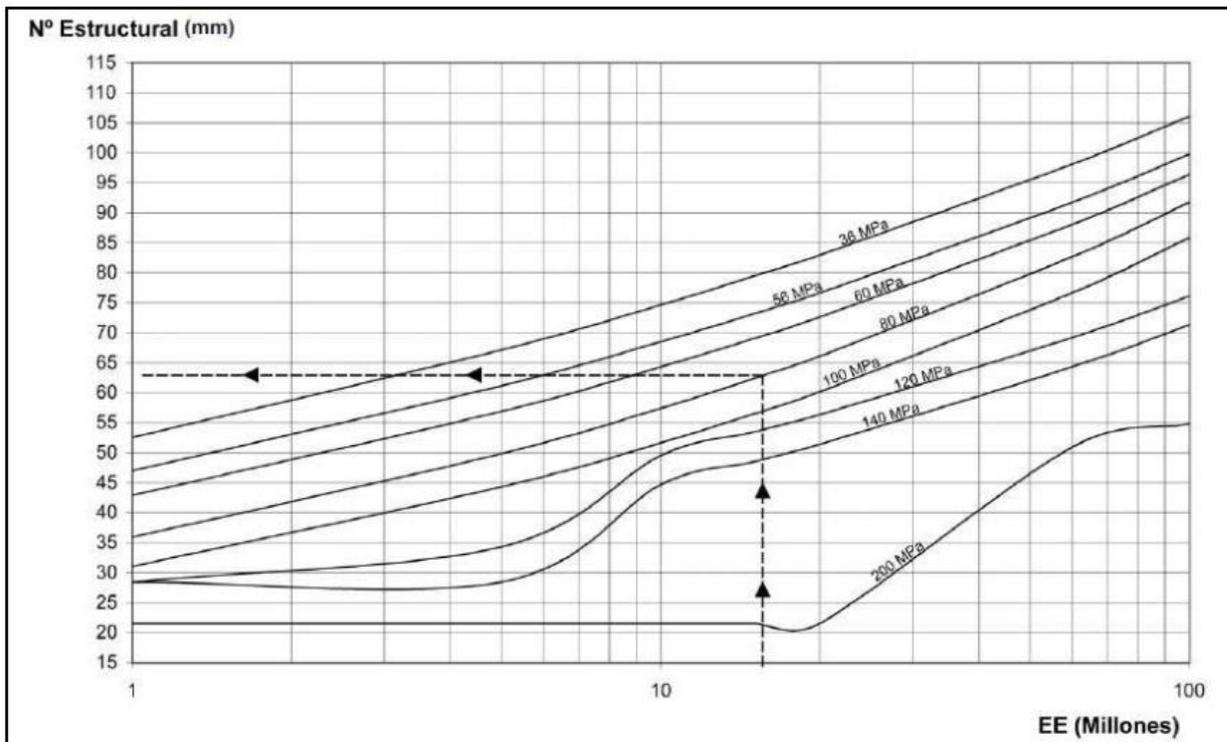
Al existir más de una variable desconocida implícita en esta ecuación (el espesor de cada una de las capas), no existe una única combinación que satisfaga el Número Estructural pedido y dé por solucionado el problema. Debido a esto, con el propósito de compatibilizar los espesores con los aspectos constructivos y de estabilidad de una determinada capa, se limitan los espesores a través de valores mínimos correspondientes a 50 mm para cada capa asfáltica (no se considera esta regla para mezclas especiales) y 150 mm para cada capa granular. Además, para acotar de algún modo el número de posibles soluciones se discretizan los espesores a colocar, redondeando a los 5 mm los correspondientes a capas de la carpeta asfáltica y a los 10 mm los de las capas granulares. Otra recomendación es que para las capas granulares se debe hacer una consideración con respecto a sus módulos elásticos: dos capas granulares sucesivas no deben tener una relación mayor a 4 entre sus módulos. Una mala estructuración en el pavimento puede generar deformaciones y esfuerzos que superen las capacidades de soporte estimadas. Es por ello que dentro de las disposiciones para asegurar una buena distribución de los espesores, se procede a separar el Número Estructural total requerido en dos partes: una aportada por las capas granulares y otra por las capas asfálticas. Se establece por consiguiente, a través de un procedimiento de carácter teórico-empírico basado en experiencias nacionales, el Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular, es decir, el aporte estructural necesario por parte de la carpeta asfáltica que se pretende colocar, a través del uso de tablas y gráficos que involucran el tránsito, el suelo de soporte y el

factor climático TMAPA. A partir de ambos valores de Número Estructural calculados anteriormente (el total y el aportado por la carpeta asfáltica), se puede obtener por diferencia el Número Estructural mínimo requerido por las capas granulares de la estructura.

El método para determinar el Número Estructural mínimo que deben aportar las capas asfálticas parte con la determinación del parámetro climático TMAPA para el sitio donde se construirá la obra, a partir de datos disponibles de TMMA. En esta parte del método está inmersa la citada relación con el método de diseño propuesto por Shell en 1978. Habiendo calculado el valor de la TMAPA se necesita conocer la cantidad de Ejes Equivalente solicitantes previstos para el período de diseño considerado, calculados para un nivel de confianza del 50 % cuyo factor de confiabilidad,  $F_r$ , tiene un valor de 1. En caso de usar otro nivel de confianza se debe realizar el cálculo respectivo de  $F_r$  y multiplicarlo por el número de ejes solicitantes para encontrar el parámetro de tránsito a usar en este procedimiento.

El Número Estructural mínimo requerido sobre la base granular se encuentra a través de gráficos dados para tres valores de TMAPA: 6°C, 14°C y 19°C, los cuales contienen curvas para distintos valores del Módulo Resiliente de la sub-rasante. La siguiente figura muestra el gráfico correspondiente a una TMAPA de 19°C y contiene curvas para valores de Modulo Resiliente de la sub-rasante que van en un rango de 36 MPa a 200 MPa. El eje de las abscisas corresponde a la sollicitación de tránsito, considerándose desde 1 hasta 100 millones de Ejes Equivalentes. (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

Una vez escogido el gráfico que se presenta en la Figura 13 correspondiente a la TMAPA del lugar del proyecto se ingresa a él por el eje de las abscisas con el valor del parámetro de ejes solicitantes (o el valor modificado en el caso que se haya calculado de esa manera), se busca la curva para el valor del Módulo Resiliente de la sub-rasante que se tenga y finalmente se encuentra en el gráfico el Número Estructural necesario sobre la base.



**Figura 13:** Gráfico para determinar Número Estructural requerido por capas asfálticas

**Fuente:** Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012

Probablemente, el valor calculado de TMAPA de la localidad respectiva no coincida con ninguno de los tres valores usados como patrones en los gráficos. Para encontrar el Número Estructural buscado se debe interpolar con los valores del Número Estructural obtenidos con las dos temperaturas más cercanas. El mismo criterio de interpolación debe ser usado en caso que el Modulo Resiliente de la sub-rasante no corresponda a alguno de las curvas dadas en los gráficos. En caso que la TMAPA o el Modulo Resiliente queden bajo o sobre los extremos de los valores de los gráficos, se deberá extrapolar usando los valores más cercanos (Manual de Carreteras Vol. 3, MOP. 2012).

## 4.2. Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido.

El hormigón es un material conformado fundamentalmente por una pasta de cemento y por los áridos, ocasionalmente contiene además una pequeña cantidad de aire y aditivos utilizados para modificar algunas de sus propiedades. La pasta de cemento está formada por la mezcla de cemento hidráulico y agua, y constituye el aglomerante activo del hormigón.

Los áridos utilizados son materiales granulares compuestos por partícula de origen pétreo de distintos tamaños y formas, duras y estables, cuyo objeto básico es constituir un esqueleto inerte para el hormigón. Generalmente se integra mediante dos o más fracciones, cada una de las cuales contiene una gama diferente de tamaños y partícula. Estos materiales se mezclan homogéneamente en cantidades adecuadas para constituir una masa plástica y trabajable, a la cual se le pueden conferir propiedades apropiadas para ser moldeada en la forma deseada.

El hormigón fresco puede ser fácilmente transportado y depositado en el lugar en donde pasara a formar parte constituyente, recibiendo a continuación un tratamiento adecuado de consolidación o compactación por medio de maquinaria vibratoria, para conferirle su máxima densidad. El cemento y el agua se combinan, generando un proceso fisicoquímico en cuya etapa inicial se produce la hidratación de los componentes del cemento, es por esta razón que el cemento es llamado “Aglomerante Hidráulico”, del cual resulta como primera etapa el fraguado que se refiere al comienzo del endurecimiento del hormigón, luego su endurecimiento es gradual, que en condiciones adecuadas de humedad y temperatura prosigue indefinidamente en el tiempo, resultado de este proceso es un incremento en la capacidad resistente del hormigón.

El hormigón requiere de un estricto control si queremos que el elemento a construir sea de calidad, es necesario que una vez que comience a fraguar el hormigón se debe comenzar con los procedimientos de curado del hormigón, que permite que el hormigón no pierda agua en exceso por efecto del “Calor de Hidratación” que ocurre cuando el cemento y el agua se mezclan, los procesos de curado serán detallados más adelante.

Esta cualidad de resistencia y/o soporte de cargas es fundamental para el diseño y la construcción de obras de ingeniería y puede ser aproximadamente prevista en función de las características y

proporciones de los materiales que conforman el hormigón. El hormigón es uno de los materiales más utilizado en las construcciones de todo tipo y las razones las podemos resumir en las siguientes:

- Excelente durabilidad y resistencia a la corrosión y a medios agresivos, y resistencia al fuego.
- Posibilidad de construcción utilizando recursos simples o complejos según los requerimientos de la obra.
- Gracias a su propiedad plástica es posible otorgarle un sin número de formas.
- Posibilidad de prever y adaptar sus características a cualquier tipo de obra.
- Su producción es posible de efectuar en cualquier país del mundo, ya que sus materiales son de amplia difusión.

Estas son algunas de las características que han hecho del hormigón un material de construcción ampliamente utilizado en obras de diferente índole, como dato estadístico el consumo de cemento a nivel mundial alcanza a 1550 millones de toneladas, sin embargo, su empleo requiere de un profundo conocimiento de las propiedades del hormigón (Pavimentos de Hormigón, Una Alternativa Inteligente. European Concrete Paving Association. 2010).

#### **4.2.1. Clasificación de Hormigón Utilizado en el Pavimento Rígido.**

##### **4.2.1.1. Según Resistencia a la Compresión a los 28 días.**

El hormigón se clasifica principalmente por su resistencia a la compresión medida en probetas cúbicas normalizadas de 20 cm. De arista, de acuerdo con la normalización vigente, NCh 1017 y NCh 1037, ensayadas a los 28 días. La clasificación por resistencias citada en la Tabla 12 es la indicada en la NCh 170.

Tabla 12: Grado del Hormigón Según Resistencia a la Compresión

Grado del Hormigón	Resistencia Especifica fe	
	MPa	Kg/cm2
H5	5	50
H10	10	100
H15	15	150
H20	20	200
H25	25	250
H30	30	300
H35	35	350
H40	40	400
H45	45	450
H50	50	500

Fuente: Norma Chilena NCh 170

La resistencia a la compresión puede ser un factor decisivo al momento de diseñar y elegir un hormigón, ya que de él depende la cantidad de cemento utilizado, cantidad de agua agregada a la masada y calidad de los materiales pétreos. La elección del grado del hormigón depende del tipo de elemento y las cargas a los que va a estar solicitado. La Tabla 13 muestra los tipos de elementos más usados en construcción y la elección del grado del hormigón.

Tabla 13: Grado del Hormigón / Elemento

Grado del Hormigón	Elemento
H5	Cimientos
H10	Sobrecimientos
H15	Radieres
H20	Pilares, Vigas, Losas
H25	Pilarejos. Aceras
H30	Pavimentos

Fuente: Norma Chilena Nch 170 (1985)

#### 4.2.1.2. Según Resistencia a la Flexotracción.

En el caso de los hormigones utilizados en pavimentación, la medida de su resistencia se hace a través del ensayo normalizado según NCh1017, de resistencia a la flexotracción. Se usa este ensayo puesto que la sollicitación a que está sometido el hormigón es distinta a la que generalmente se especifica en edificación, en donde el hormigón trabaja a compresión. La norma NCh 170 entrega la siguiente clasificación en la Tabla 14:

Tabla 14: Grado de Resistencia a la Flexotracción.

Grado del Hormigón	Resistencia Especifica $f_e$	
	MPa	Kg/cm <sup>2</sup>
HF 3	3	30
HF 3.5	3.5	35
HF 4	4	40
HF 4.5	4.5	45
HF 5	5	50
H 5.5	5.5	55
H 6	6.	60

Fuente: Norma Chilena NCh 170. (1985)

#### 4.2.1.3. Según Densidad Aparente.

Las distintas sollicitaciones según la Norma Chilena 170 a las que puede estar expuesto un elemento de hormigón y la naturaleza de las construcciones dio como resultado la posibilidad de variar la densidad del hormigón, por lo que la siguiente clasificación se basa en la densidad aparente.

- Hormigón Liviano: Estos hormigones pueden ser de relleno o aislante, o bien estructurales. Sus densidades aparentes varían entre 300 y 1.800 kg/m, se consigue mediante el empleo de áridos livianos, provocando la formación de burbujas en la pasta, añadiendo espumas o suprimiendo los finos o agregando polietileno expandido.
- Hormigón Celular: Hormigón ligero con multitud de burbujas o celdillas incorporadas a la masa, esta propiedad se logra gracias a la incorporación de espumas o por medio de una reacción de un aireante o expansivo. Se llama también hormigón aireado.

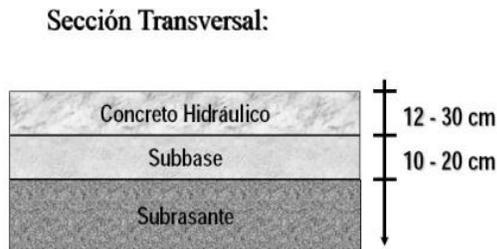
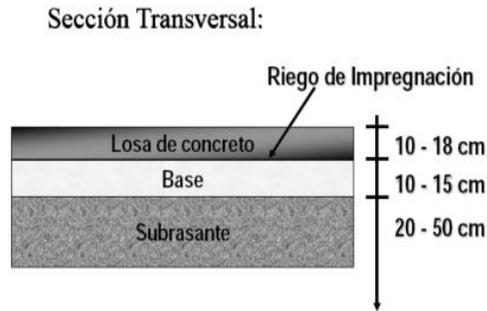
- Hormigón Corriente o Normal: Es el más utilizado ya que no requiere de materiales especiales para su fabricación, se densidad aparente varía entre 2.000 y 2.800 kg/m siendo lo habitual aproximadamente 2.490 kg/m.
- Hormigón Pesado: Su densidad aparente varía entre 3.000 y 4.500 kg/m. Su resistencia a la compresión se puede asimilar a la del hormigón corriente. Se logra mediante la incorporación de áridos de gran peso.

#### **4.2.2. Tipos de Pavimentos Rígidos**

Existen varios tipos de pavimentos rígidos (MINVU, 2008):

- Pavimentos de hormigón simple con juntas espaciadas, con y sin elementos de traspaso de carga.
- Pavimentos de hormigón con malla de refuerzo, elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón armado en una o dos direcciones.
- Pavimentos de hormigón armado postensado.

Destacando que en todos ellos, que de la losa de concreto depende la resistencia estructural del pavimento rígido o también conocido como pavimento hidráulico, esta losa también puede ser reforzada con una armadura de acero, dependiendo del uso del pavimento, el periodo de vida de estos pavimentos fluctúa entre 20 a 40 años, siendo su costo inicial una de sus principales desventajas (Cámara Nacional del Cemento. México, 2008). En la Figura 14 se pueden apreciar las capas del firme rígido.



**Figura 14:** Sección donde se pueden apreciar las capas del firme rígido.

**Fuente:** Cámara Nacional del Cemento. México, 2008.

Los firmes rígidos poseen una gran resistencia a la flexión, pero están sujetos a una cantidad importante de esfuerzos, como los abrasivos causados por las llantas de los vehículos, los de compresión y tensión que son causados por la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas o por la contracción misma del concreto, por nombrar algunos. Siendo el esfuerzo por flexión el más relevante en las losas, debido a que el punto crítico de una losa de espesor uniforme, es el correspondiente a la esquina de la misma, es decir el ángulo formado por un borde exterior y una junta transversal (Cámara Nacional del Cemento. México, 2008).

Algunos de los factores que se deben considerar en el diseño para que los pavimentos rígidos puedan cumplir para lograr su vida útil diseñada son:

- El volumen, tipo y peso de tránsito sean previsible
- Valor relativo de soporte y caracterización de la sub-rasante.
- El clima de la región.
- Resistencia y calidad del concreto a emplear.

### **4.2.3. Clasificación de capas de un Firme Rígido.**

#### **Sub-base de un Firme Rígido**

Esta capa básicamente se requiere por la existencia de la sub-rasante, dentro de las principales funciones se destacan, la eliminación de la acción de bombeo, proporcionar más uniformidad a la losa de concreto

#### **Base de un Firme Rígido**

Esta capa se encuentra bajo la losa de concreto y arriba de la sub-rasante, es compuesta principalmente de materiales granulares como piedras o grava triturada, de arena, de mezcla y agregados, dentro de sus principales funciones destaca, prevenir el bombeo, ayudar a controlar los cambios de volumen, proporcionar una superficie para el soporte de las losas y aumentar la capacidad estructural del pavimento.

#### **Capa de rodadura de un Firme Rígido**

Es la capa de concreto Portland, ósea la losa en sí, donde sus funciones fundamentales son, proveer un valor de soporte elevado, para que resista las cargas concentradas que provienen de la ruedas de los vehículos, entregarle una textura superficial poco resbaladiza para un mejor agarre de los automóviles, prevenir a la superficie la penetración de agua, también son importantes en la capa de rodadura una gran resistencia al desgaste, una buena visibilidad para una mayor seguridad al tráfico (Dirección de Inversión Publica Ministerio de Economía Argentino, 2007).

### **4.2.4. Diseño de un Pavimento Rígido**

#### **4.2.4.1. Factores de diseño.**

Los factores de diseño que se presentan a continuación, son los que intervienen en el método de diseño expuesto en el Manual de Carreteras Volumen 3 del MOP, que se encuentra basado en la AASHTO.

#### **Tránsito:**

Este factor depende de la cantidad de vehículos al igual que la frecuencia y composición de las cargas a las que va estar solicitado el pavimento. Podemos definir tránsito como una sucesión de cargas en el tiempo, de diferente intensidad y frecuencia. Para cuantificar el tránsito se debe realizar con la

proporción, número y estratigrafía de las cargas, todos estos datos recopilados gracias a los censos, los cuales no pueden entregar cifras del número de vehículos de eje simple, y número de vehículos de eje tandem.

Capacidad de soporte del suelo de fundación.

Este es un factor muy importante, ya que del reconocimiento del terreno y de los ensayos ejecutados es posible determinar el tipo de suelo y su capacidad de soporte CBR que se expresa en porcentaje, ya que la ejecución del ensayo del módulo de reacción de la sub-rasante es cada vez menos habitual, es posible obtener un valor aproximado (K), gracias a los datos de la Tabla 15.

Tabla 15: Cuadro de Valor de Soporte

<b>Relación de Valor de Soporte</b>	
<b>CBR (%)</b>	<b>Módulo de reacción de la Sub-rasante "K" (kg/cm)</b>
2	-
3	2.7
4	3.4
5	3.9
6	4.3
7	4.7
8	5.0
9	5.2
10	5.5
11	5.6
12	5.8
13	5.9
14	6.0
15	6.2
16	6.4
17	6.6
18	6.8
19	7.0
20	7.3
30	9.3
40	11.5
50	13.6
60	16
70	17.9
80	19.5
90	21
100	22

**Fuente:** Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

### Resistencia a la Flexotracción

Una de las propiedades más significativas del hormigón en un pavimento es su resistencia a la flexotracción, la cual está íntimamente relacionada con la resistencia a la compresión, ya que un sin número de estudios ha llegado a establecer que la resistencia a la flexotracción equivale a un valor entre 1/6 a 1/8 de la resistencia a la compresión.

### Vida de Diseño

Generalmente la vida de un pavimento está determinada por la calidad de servicio entregado, el pavimento ha dejado de ser útil, cuando su serviciabilidad es mala. Debido al desconocimiento de la magnitud y tipo de tráfico futuro, la vida útil de un pavimento en cuanto a diseño es menor a la real, normalmente se considera una vida de diseño del orden de 20 a 30 años.

### Clima

Esta determinado con comportamiento climático de cada región. Debido a que no es posible determinar matemáticamente un factor regional, se ha realizado una estimación mediante el análisis de duración de las condiciones climáticas reinantes durante un año típico.

### Tanteo de la Base

En este método es posible tantear el espesor de la base considerando sus condiciones de soporte óptimas, lo que significa una base con un C.B.R. mínimo de 80%. Esto permite determinar un módulo de reacción combinado entre la sub-rasante y la sub-base "Kc".

### Tasa de Crecimiento

Es importante conocer este factor, ya que puede dar algunas predicciones en cuanto a número de vehículos y frecuencia de cargas. Este factor se determina mediante censos.

#### 4.2.5. Desarrollo del Método Simplificado.

Como se ha mencionado anteriormente el método que se utiliza en nuestro país, está basado en la AASHTO, y esta largamente explicado en el Manual de Carreteras del MOP. A continuación se presenta el método simplificado, donde para un buen desarrollo de este método es importante conocer la formula, la cual tiene por objetivo acusar un espesor de la losa de hormigón para diferentes características de suelo, hormigón, clima y tráfico. Los datos necesarios para el desarrollo son:

- CBR (cada 50 m).
- Tránsito por día.
- Tasa de crecimiento.
- Localidad.
- Resistencia del hormigón a la compresión.
- Años de proyección.
- Tanteo de espesor de la base.

➤ Formula Principal:

$$h = \frac{1400 \times CE}{\delta d \times K_c^{1/3}}$$

Donde:

- h: Espesor de la losa de hormigón
- CE: Coeficiente estructural o factor resistente
- $\delta d$ : Resistencia de diseño a la flexotracción
- $K_c$ : Modulo de reacción combinado

#### 4.2.6. Resistencia de Diseño a la Flexotraccion ( $\delta d$ ).

Con el dato de resistencia a la compresión, calculamos la resistencia a la flexotraccion, ya que este último equivale entre 1/7 a un 1/9 de la resistencia a la compresión.

Módulo de Reacción Combinado ( $K_c$ ).

El módulo de reacción combinado está determinado por la sumatoria entre  $K$  más  $K'$ , la fórmula es la siguiente:

$$K_c = K + K'$$

Para determinar  $K$ , que es el módulo de reacción de la sub-rasante, se utilizan los datos del CBR promediando sus resultados, o dejando el más significativo, luego volvemos a la Tabla 15 y seleccionamos el valor de  $K$ .

En el valor de  $K'$ , se tantea un espesor de la base, mínimo 10 cm y reemplazamos en la siguiente formula

$$K' = 0.0204 \times \left( 1.2 \times \text{espesor} + \left( \frac{\text{espesor}^2}{12} \right) \right)$$

Coficiente Estructural ( $CE$ ).

Este coeficiente depende de varios factores, siendo el primero el cálculo de Ejes Equivalentes (FT), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$(\text{Tránsito por día}) \times (\% \text{ vehículos pesados}) \times (365 \text{ días}) \times (\text{años de vida}).$$

El tránsito por día se multiplica x  $C_{30}$ , que equivale a la siguiente expresión:

$$C_{30} = \frac{(1 + i)^n - 1}{n \times i}$$

Donde:

- $i$ : Tasa de crecimiento (Expresado en decimal)
- $n$ : Años de vida de diseño del pavimento

El porcentaje de vehículos pesados lo proporciona la Tabla 16, de estratigrafía tipo, en la cual se selecciona entre tipo general, minero/industrial y agrícola, con el valor calculado anteriormente

Tabla 16: Cuadro de Estratigrafía Tipo.

TPD/Pista	Estratigrafía Tipo		
	General	Industria/ Minero	Agrícola
≤150	70	80	60
200	65	75	55
250	63	70	54
300	61	65	53
350	59	63	52
400	57	61	51
450	55	59	50
500	53	57	49
550	51	55	48
600	49	53	47
650	47	51	46
700	46	50	45
750	45	49	44
800	44	48	43
850	43	47	42
900	42	46	41
950	41	45	40
1000	40	44	38
1100	39	43	36
1200	38	42	34
1300	37	41	32
1400	36	40	30
1500	35	39	28

**Fuente:** Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

Con los valores anteriormente determinados, podemos calcular los Ejes Equivalentes, Luego estos Ejes Equivalentes se multiplica por el factor regional proporcionado por la Tabla 18, Con este valor ya conocido se determina el coeficiente estructural en la Tabla 17, y reemplazamos los valores a la formula principal.

Tabla 17: Cuadro Coeficiente Estructural

<b>Coeficiente Estructural</b>	
<b>N°18</b>	<b>CE</b>
10000	0.35
20000	0.4
30000	0.43
40000	0.45
50000	0.47
60000	0.51
70000	0.52
80000	0.53
90000	0.55
100000	0.6
200000	0.65
300000	0.7
400000	0.73
500000	0.75
600000	0.8
700000	0.81
800000	0.83
900000	0.85
1000000	0.9
2000000	0.96
3000000	1.02
4000000	1.06
5000000	1.1
6000000	1.14
7000000	1.16
8000000	1.18
9000000	1.2
10000000	1.24

**Fuente:** Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

Tabla 18: Cuadro de Factor Regional

<b>Factor Regional</b>	
<b>Zonas</b>	<b>Factor Regional</b>
Arica - Domeyco	0.5
La Serena - Calera	1.0
Llay Llay – Chillan	1.4
Los Angeles – Puerto Montt	2.2
Chiloé – Evangelista	4.0
Punta Arenas	2.6

**Fuente:** Manual de Carreteras, Volumen 3 MOP. 2012

### 4.3. Proceso Constructivo de un Pavimento Flexible

A continuación se entregan los conceptos y puntos clave, para llevar a cabo un correcto proceso constructivo del diseño ya realizado, basado en la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en Chile (2002), en la AASTHO y el Manual de Carreteras Volumen 5 (2012).

El primer paso que se debe realizar para la construcción de un pavimento flexible (antes de diseño de la estructura) es realizar el estudio del suelo que será pavimentado. Para esto, se sacan muestras considerables y se llevan a los laboratorios correspondientes, donde serán analizados considerando si son aptos o no. En el caso de que sean aptos, se comenzará con la preparación de la superficie, y si no se debe estudiar el caso y realizar una fundación más adecuada y/o tomar otras medidas si fuese necesario.

Posteriormente, se realizan una serie de ensayos, los cuales son explicados brevemente a continuación:

- *Ensayo de Proctor Standard*: Se realiza con el objeto de determinar las variaciones de un suelo, referente a una humedad óptima y su densidad correspondiente, cuando se somete a un determinado esfuerzo compactador. Este ensayo consiste básicamente en depositar el material en capas en un cilindro que se encuentre normalizado, el cual es apisonado por un pisón de peso determinado, que cae a una altura que también se encuentra normalizada.
- *Ensayo CBR* (California Bearing Ratio o Índice de Soporte de California): Este ensayo se fundamenta en la resistencia que opone el suelo a la penetración. Consiste en determinar una relación entre la carga y la penetración de un pistón cilíndrico de sección circular que equivale a 3 pulgadas cuadradas.

#### 4.3.1. Preparación de la Superficie a Pavimentar

Después de realizar los estudios de suelos, se procede a la preparación del terreno a pavimentar. Para esto, se requiere de una fundación adecuada, convenientemente preparada, incluyendo un drenaje superficial adecuado y subterráneo, así como una compactación apropiada durante la construcción. Todo esto, asegurará una larga vida a la estructura del pavimento a construir.

Un punto importante en esta parte de la preparación de la superficie, es que se debe efectuar un drenaje extremadamente importante para así no tener problemas constructivos con el paso del tiempo. La necesidad es hacer que descienda la capa freática por debajo de la profundidad de la penetración de la helada, o por debajo del nivel de la sub-rasante mejorada, mediante un drenaje lateral subterráneo.

También cabe destacar otra cosa importante que es la compactación apropiada por cada de terraplén, sub-rasante, sub-rasante mejorada y base.

La compactación aumenta considerablemente el valor de soporte de la sub-rasante. Cuando la sub-rasante no se encuentra bien compactada, se puede llegar a producir una consolidación adicional bajo tráfico, con asentamientos y fallas.

#### **4.3.2. Compactación del Suelo**

Se entiende por compactación al proceso mecánico que disminuye la cantidad de huecos en una masa considerable de suelo, lo que hace que sus partículas lleguen a un contacto más interno entre sí. Los pequeños orificios que dejan las partículas al estar una al lado de otra, son ocupados por aire atrapado y por agua cuando se le agregue cierta humedad.

Al iniciar la pavimentación del camino, hay que tener presente que el causal de muchas fallas en los pavimentos (en este caso flexibles) es un mala compactación. Por eso, se exige entre otras cosas, que las diferentes capas de un pavimento como: Sub-rasante, Sub-base, Base, y capa de rodadura, deben estar perfectamente compactadas. Si la sub-rasante no se encuentra bien compactada, es conveniente escarificar primero unos 30 cm. del material, mezclarlo y posteriormente compactarlo mediante el uso de rodillos Pata de Cabra hasta obtener la densidad requerida.

Una vez colocada las capas en forma horizontal, se deberá compactar cada una de ellas mediante el uso de rodillos Pata de Cabra y Rodillos lisos. Los rodillos pata de cabra que serán utilizados en la compactación deben tener un peso mínimo de 3.650 kg., y la presión sobre cada pata, no debe ser menor de 10,5 kg / cm<sup>2</sup>. La compactación se debe realizar capa por capa, porque así el terreno se va

endureciendo y no se producirán fallas en el camino, por eso una buena compactación es un punto importantísimo dentro de la pavimentación.

Por otro lado, cuando se realicen las obras de compactación el material deberá tener una humedad tal que permita alcanzar en el terreno la mayor densidad posible. Esta humedad, que se determina en un laboratorio de suelos, se llama Humedad Óptima, y la densidad obtenida se conoce con el nombre de densidad Máxima. Una compactación perfecta es la que debe eliminar todo el aire que contiene el suelo y producir la saturación. Esta saturación del suelo se produce además cuando la humedad es excesiva y separa a todos los elementos granulares que contiene el suelo.

#### **4.3.3. Preparación de la Sub-Rasante para un Pavimento Flexible**

La sub-rasante se puede definir como terreno o suelo natural que se encuentra debidamente escarificado, perfilado, humedecido y compactado, en el cual se construirán sucesivamente las capas estructurales que se encontraran indicadas en los planos correspondientes.

Antes de la colocación de los materiales para sub-base, base o carpeta de rodado, la sub-rasante debe estar perfilada a las cotas y a las pendientes indicadas, donde no se deben aceptar diferencias mayores a los 10 mm. Luego de que la sub-rasante es perfilada y compactada, se debe verificar que se cumplan a la perfección las cotas en todos los puntos, nivelando el eje y bordes de esta superficie cada 20 metros, y deberá agregarse o quitarse el material que sea necesario para llevar la rasante a los niveles especificados.

La sub-rasante debe presentar características aceptables en cuanto a la homogeneidad, estabilidad y capacidad de soporte. Si en el terreno se encuentran puntos blandos, con poca capacidad de soporte, o donde sea necesario extraer fango, se debe remover el material hasta la profundidad que indique la inspección, que es 30 cm. como mínimo.

En caso de que el suelo natural de fundación este en contacto directo con fuentes de aguas subterráneas que no pueden ser drenadas en forma perfecta, será necesario colocar una capa de material granular, que debe tener las mejores características posibles, para así obtener una plataforma de operación que pueda soportar adecuadamente el equipo de construcción.

La compactación de la sub-rasante se realizara con los medios mecánicos correspondientes y en un ancho superior a la faja de pavimento de a lo menos 20 cm. por cada lado. La sub-rasante deberá alcanzar una densidad uniforme del 95 % de la densidad máxima seca que otorga el ensayo Proctor Modificado para suelos correspondientes a la clasificación A – 1 y A – 3 del H.R.B y de un 90 % .

Previo a la compactación, la sub-rasante debe ser humedecida con equipo de riego de lluvia a presión que asegure una distribución uniforme y controlada del agua. Si se produce un exceso de humedad, la compactación debe detenerse hasta que el contenido de humedad haya bajado a valores aceptados. Cualquier suelo que sea inadecuado o tenga un CBR menor que 3 %, medido al 95 % de la DMS, se deberá reemplazar por uno de CBR mayor a 15 %. Se reemplazara, así mismo, cualquier tipo de suelo que tenga un índice de plasticidad mayor que un 6 %.

La calidad de rodamiento de la superficie del pavimento depende en gran medida de la construcción y preparación apropiada del material de la fundación. El camino debe ser conformado y rodillado de manera tal que el equipo de pavimentación no tenga dificultad en la colocación del material en un espesor uniforme sobre una pendiente. Las condiciones climáticas deben ser adecuadas y la superficie del camino debe estar firme, libre polvo y seca, o un poco húmeda cuando comienzan las operaciones de pavimentación. Una vez terminada la compactación y antes de proseguir con la construcción de las capas superiores del pavimento, la sub-rasante deberá ser recibida por la inspección técnica de la obra.

No se debe aceptar una sub-rasante que contenga material orgánico, basuras, raíces o cualquier otra materia vegetal. La sub-rasante deberá presentar una superficie lisa y uniforme.

#### **4.3.4. Preparación de la Sub-Base para un Pavimento Flexible.**

La sub-base es la capa de material seleccionado que va ubicado encima de la sub-rasante. La sub-base tiene como objetivo principal lo siguiente:

- Servir de capa de drenaje al pavimento flexible.
- Controlar o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub-rasante.

- Controlar la subida capilar del agua que proviene de las napas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en época de helada. Este hinchamiento se produce por el congelamiento del agua capilar.

El material de la sub-base debe tener las características de un suelo A1 o A2, aproximadamente. Su Límite Líquido debe ser inferior a 35 % y su Índice Plástico no mayor de 6. El CBR, no debe bajar de 15 %.

Si la función principal de la sub-base es servir de capa de drenaje, el material a utilizar debe ser granular, y la cantidad de material como arcilla y limo, que pase el tamiz N ° 200 no debe ser mayor del 8 %. El material puede mezclarse en dos tipos de modalidades:

- Mezcla en Planta
- Mezcla en Sitio (In Situ)

El material de la sub-base se deberá ajustar a las cotas de los perfiles longitudinales y transversales del proyecto, cubriendo un ancho mayor al de la calzada de a lo menos 10 cm. a ambos costados.

El control se efectuara mediante estacas de nivel colocadas a nivel a más o menos 10 metros de distancia entre ellas y en forma paralela al eje del camino, de modo que se puedan colocar lienzas entre las estacas. La sub-base se deberá construir por capas no inferiores a 10 cm. ni superiores a 20 cm. de espesor.

El material que se utilice debe tener una granulometría uniforme, sin presentar nidos de material fino o grueso. No se podrá colocar el material sobre nieve, escarcha o barro. Para poder proteger la sub-rasante y asegurar su drenaje, el material de sub-base se esparcirá comenzando a lo largo del eje de la calzada. La colocación de la sub-base se realizara extendiendo el material en una capa uniforme por medio de motoniveladoras y se compactara por medio de rodillos, agregando agua, si fuere necesario.

La compactación se deberá continuar hasta que el material se haya asentado y estabilizado para poder alcanzar a lo menos un 95 % de la densidad máxima seca dada por el ensayo de Proctor Modificado (AASHTO T – 180) o el 80 % de la densidad obtenida mediante el ensaye ASTM D – 2049 cuando los materiales sean granulares. No se deberá compactar cuando la capa subyacente se encuentre blanda, saturada o cuando el rodillo cause ondulaciones. Si el espesor compactado resulte menor, se deberá escarificar la superficie, agregar material adecuado, perfilar y recompactar dando el perfil deseado.

El material granular para será ocupado en la sub-base debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Piedras Trituradas, escorias de alto horno trituradas, o gravas trituradas según requisitos de calidad de AASHTO M – 147.
- Limite Líquido < 35 %.
- Índice de Plasticidad  $4 < IP < 9$ .

En la Tabla 19, se dan a conocer los requisitos de graduación para agregados de sub-base, bases y carpeta de rodadura, destacando la tolerancia máxima y mínima.

Tabla 19: Requisitos de Graduación para Agregados de Sub-Bases, Bases y Carpeta de Rodado (Granulares).

Designación Tamiz	Tolerancia Max. +/-	C.G. (2) T.M. 3”(3)	C.G. T.M. 2	C.G. T.M.1/2”	C.G. T.M.1”	C.G. T.M. 3/4”
3”	0	100	-	-	-	-
2”	0	-	100	-	-	-
1 ½”	15	74	87	100	-	-
1”	16	62	73	84	100	-
¾”	16	51	64	73	88	100
3/8”	16	40	47	53	64	73
N°4	16	29	34	39	47	54
N°8	15	21	25	28	34	39
N°30	10	12	14	15	18	21
N°40	8	10	11	13	15	8
N°200	6	4	5	6	7	8

**Fuente:** Manual de Carreteras de Chile, Volumen 5 (2012)

NOTAS:

- Las tolerancias no se aplicaran a los requisitos de 100 % de pasada.
- C.G. Carpetas Granulares.
- T.M. Tamaño Máximo.

El material a utilizar en la base estabilizadora debe estar constituido por un suelo granular, homogéneamente revuelto, libre de grumos o terrones de arcilla, materiales vegetales o bien la base

puede estar formada por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro tipo de material ligante.

La composición de la base estará formada por rocas, escorias o gravas trituradas o una combinación de ambas. Las rocas trituradas estarán formadas por trozos o fragmentos duros y resistentes.

Las gravas trituradas y las rocas trituradas para las base deben cumplir con los requisitos granulométricos establecidos en la tabla AASHTO T – 27, que debe cumplir con los siguientes requisitos presentados en la Tabla 20.

Tabla 20: Requisitos Granulométricos Establecidos.

Ensayo	Norma	Requisito
Desgaste de los Ángeles	AASHTO T-96	10 máx.
Durabilidad	AASHTO T-104	12 med. p. máx.
Limite Liquido	AASHTO T-89	25 máx.
Índice de Plasticidad	AASHTO T-90	6 máx.
C.B.R Pav. Asphaltico		80% min.
Equivalente Arena	AASHTO T-176	50% máx.

**Fuente:** AASHTO (2002).

El material que se utilice en la base estabilizada, debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Debe ser resistente a los cambios de humedad y temperatura que se puedan efectuar.
- No debe presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
- El porcentaje de desgaste, según el ensayo “Los Ángeles “, debe ser inferior a 50.
- La fracción del material que pase por el tamiz N ° 40, debe tener un Limite Liquido menor del 25 %, y un Índice de Plasticidad inferior a 6.
- La fracción del material que pase por el tamiz N ° 200, no debe exceder de 1/2, y en ningún caso de los 2/3 de la fracción que pase por el tamiz N ° 40.
- La graduación del material de la base, debe hallarse dentro de los límites que estén establecidos con anterioridad en el proyecto.
- El CBR, debe ser superior a 50 %.

El depósito se realizara por cordones en una capa uniforme. No se debe transitar por la base que se encuentra esparcida sin antes compactar. La base deberá tener el espesor que se encontrara especificado en el proyecto.

No se permitirá que las áreas que se encuentren compactadas tengan un espesor inferior que exceda de 1 cm. cuando sea verificado por un listón de 3,5 metros. La superficie de la base terminada no deberá tener en ningún punto cotas que registren una variación de más de 1,5 cm, bajo o sobre el nivel de las cotas del proyecto.

Preparación de la Capa de Rodamiento para un Pavimento Flexible.

La capa de rodamiento es la capa formada por una mezcla bituminosa, o de concreto que va colocada encima de la Base. Como la capa está formada por cemento asfáltico, su función principal será proteger la Base impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la Base debido al tránsito de los vehículos. La capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de soporte del Pavimento, especialmente si su espesor es de carácter apreciable, ósea, mayor de 3 “.

La existencia de mezclas asfálticas en planta involucra la existencia de una gran variedad de plantas mezcladoras que, por lo general, son distintas combinaciones de los mismos elementos que se integran de manera de producir el mejor rendimiento para la confección de la mezcla que es deseada.

Método constructivo utilizado en la confección de la carpeta asfáltica, deber el de Mezcla en Caliente, esta mezcla en caliente consiste en mezclar un agregado pétreo bien graduado, de alta calidad, con cemento asfáltico. El asfalto y el árido son calentados separadamente entre 135 y 165 ° C, medidos y proporcionados, y luego son mezclados hasta que las partículas del agregado son recubiertas con asfalto, este tipo de mezcla es la de mayor estabilidad de todas las mezclas asfálticas.

La mezcla caliente, conservada así durante su transporte, es llevada al lugar de construcción, donde se la distribuye en la calzada mediante una maquina denominada terminadora de asfalto.

La capa lisa es compactada por rodillos hasta lograr la densidad apropiada, antes que se produzca el enfriamiento del asfalto.

El Agregado Grueso (retenido por el tamiz N ° 8) deberá ser de piedras trituradas, escorias de alto horno trituradas, o de gravas trituradas o naturales. Deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Desgaste de Los Ángeles = 35 % máx.
- Desintegración Sulfato de Sodio = 12 % máx.
- Chancado = 70 % min.
- Lajas = 15 % máx.
- Dos caras fracturadas = 50 % min.
- Partículas recubiertas con Asfalto = 95 %.

El Agregado Fino (pasa por el tamiz N ° 8 y queda retenido en el tamiz N ° 200), consistirá en una arena natural o arena proveniente de la trituración de roca, gravas o escoria de alto horno. Sus partículas serán duras, tenaces y libre de arcillas o sustancias perjudiciales.

Deben cumplir con los requisitos de AASHTO M – 29 y ser bien graduados y además cumplir con los siguientes requisitos:

- Índice de Plasticidad = N. P.
- Adherencia Riedel – Weber = 0 – 5 min.
- Desintegración Sulfato de Sodio = 15 % Max.

El Relleno estará constituido por polvo mineral fino, que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro tipo de material inerte, que se encuentre libre de materia orgánica y partículas de arcilla. Debe cumplir con los siguientes requisitos indicados en la Tabla 21:

Tabla 21: Tamices Requeridos.

Tamices	% Que Pasan
N°30	100
N°80	95-100
N°100	90-100
N°200	65-100

**Fuente:** Manual de Carreteras Volumen 5. 2012.

La temperatura de aplicación de pavimentaciones para pavimentos flexibles no deben ser menores de 140 ° C ni mayores de 190 ° C para una mezcla en caliente. La inspección fijara una fórmula de mezcla para la obra en relación con:

- El porcentaje de agregado que deberá pasar por cada tamiz especificado.
- El % de material bituminoso que se tenga que añadir con tales agregados
- La temperatura de la mezcla al salir de la planta.
- La temperatura de la mezcla al entregarse en el camino.
- La calidad del material bituminoso.

La mezcla que se va a utilizar para el pavimento flexible debe estar de acuerdo con la correspondiente formula de mezclado para la obra, dentro de los siguientes límites de tolerancia expuestos en la Tabla 22.

Tabla 22: Límites de Tolerancia Para un Pavimento Flexible.

Especificación	Carpeta Intermedia (%)	Carpeta de Rodado (%)
Agregado #N°4 y mayores	5	5
Agregado # N°10 o mayor	4	4
Agregado # N°50 o mayor	3	3
Agregado # N°200 o mayor	1.5	1.5
Material Bituminoso	0.3	0.3
Temperatura al salir del Mezclador	10	5
Temperatura	10	5

**Fuente:** Manual de Carreteras Volumen 5. 2012

Los materiales deberán ser mezclados hasta que se haya obtenido un recubrimiento completo y uniforme de las partículas. En este caso se mezcla en caliente, el mezclado deberá realizarse a la temperatura mínima con la cual se puede producir una mezcla uniforme, bien cubierta y sobre manuable dentro de los límites de temperaturas especificadas.

El material asfáltico que se mezcla en la planta se deberá colocar sobre una superficie seca o ligeramente húmeda, cuando la temperatura atmosférica sea superior a 5 ° C y el tiempo no sea brumoso o lluvioso. Cuando la temperatura ambiente baje a 10° C se deberán tomar precauciones especiales para controlar la temperatura de la compactación de la mezcla.

La maquinaria o equipo que se utiliza es una planta mezcladora, que contiene dos unidades de alimentación en frío, secador, dosificador en caliente y mezclador. También se utiliza camiones de transporte, camiones tolva, una terminadora de asfalto (Finisher), y rodillos neumáticos y de acero.

La mezcla se transportara a la obra en camiones tolva con fondos metálicos cerrados herméticamente, limpios y lisos, ligeramente pintados con aceite para así evitar que la mezcla se adhiera. Se coloca al techo del camión una lona impermeable con el fin de conservar la temperatura constante, durante el transporte de la mezcla asfáltica. Se va a colocar la mezcla sobre una superficie aprobada, y enrasada según la pendiente y el espesor establecido. La terminadora de asfalto va a distribuir la mezcla, ya sea sobre todo el ancho o donde sea factible su utilización. El espesor de cualquier capa no debe exceder de 7,5 cm.

Un punto importante es saber que se debe usar una línea de guía que se debe encontrar paralela al eje del camino y ubicarse a lo largo del borde o cerca de la junta longitudinal del carril de construcción. Esta línea de guía actúa como línea de nivel que el sensor percibe para controlar la poncha de enrase. El ancho de distribución se controla mediante la localización de la junta longitudinal. Cuando se coloca más de una capa de pavimento, dicha junta debe ser desplazada como mínimo 15 cm. de la junta longitudinal de la capa inferior.

A medida que la terminadora de asfalto distribuye su primera carga de mezcla asfáltica, la capa debe ser controlada para medir su espesor. Después de 6 o 9 metros de operación se debe detener la máquina y

así revisar la nueva superficie, si se está trabajando correctamente la capa del pavimento asfáltico. No se debe permitir la segregación de los materiales, si esto ocurre la operación de distribución se debe para inmediatamente y no se debe recomenzar hasta que sea corregido el problema.

La compactación se realiza luego de haber terminado la etapa de distribución de la mezcla, se deberá compactar en forma uniforme por medio de rodillos compactadores hasta alcanzar, por lo menos, el 98 % de la densidad Marshall que se obtuvo en el laboratorio.

Una mezcla que es relativamente estable a la temperatura alta, como sale de la terminadora, es compactada por el movimiento vertical de las partículas del agregado bajo el rodillo compactador. La rueda del rodillo se debe asentar en la mezcla hasta que el área de contacto entre la rueda y la mezcla multiplicado por la resistencia de la mezcla sea igual al peso del rodillo.

Si la mezcla caliente es bastante firme, el rodillo no causara ningún desplazamiento horizontal de la misma mezcla. Los desplazamientos horizontales, que nacen de un arrastre aparente de la mezcla delante del rodillo y de la formación de pequeñas ondas a cada lado de la trayectoria del mismo, producen una superficie rugosa e irregular.

Los rodillos que se van a utilizar en la compactación de la mezcla que se utilizó en la pavimentación asfáltica, deberán ser, como mínimo, dos. El primero de ruedas de acero y el segundo de ruedas neumáticas, y se deben desplazar a velocidades lentas como para reducir al mínimo el desplazamiento de la mezcla bituminosa.

La velocidad de compactación de los rodillos no debe exceder los 5 kilómetros para los rodillos de acero, y los 8 kilómetros para los rodillos neumáticos. El mejor momento para rodillar es cuando su resistencia a la compactación es mínima, mientras que es capaz al mismo tiempo de soportar el rodillo sin demasiado movimiento.

La compactación se deberá comenzar por los bordes y luego continuar longitudinalmente en sentido paralelo con el eje del camino, traslapando en cada recorrido una mitad del ancho del ancho del rodillo y así avanzar hacia parte superior del camino.

La compactación se realiza de este modo porque las mezclas asfálticas cuando se encuentran calientes, tienden a desplazarse hacia el lado bajo de la distribución por la acción del rodillo. La compactación de las mezclas asfálticas se va a desarrollar del siguiente orden:

1. Juntas Transversales.
2. Juntas Longitudinales.
3. Rodillado Inicial.
4. Rodillado Intermedio.
5. Rodillado Final.

#### **4.4. Proceso Constructivo de una Pavimento Rígido.**

Para el desarrollo de esta parte se consultó el Manual del Constructor, Grupo de Empresas Polpaico en su versión del 2011 y la Norma Chilena NCh 1508, donde se precisa que antes de la construcción de la losa de hormigón se requiere de una superficie de apoyo previamente tratada, este factor del tipo de suelo existente en el lugar, los procedimientos de tratado para cada tipo de suelo existente en la sub-rasante son diferentes, considerando que las densidades especificadas en la mayoría de los casos son igual al 95% del Proctor modificado en suelos no cohesivos, y 90% del Proctor modificado en suelos cohesivos. La compactación se realizara por medios mecánicos, y las densidades las comprobara un laboratorio certificado. La sub-base será del material y espesor indicada en el proyecto, el material podrá ser grava, grava arenosa, arena y suelo similares.

##### **4.4.1. Preparación de la Sub-Rasante.**

Los procedimientos de excavación y escarpe deben realizarse hasta la profundidad indicada en las especificaciones. El escarpe es la extracción del terreno con alto contenido vegetal de un espesor aproximado entre 10 a 30 cm. Es importante señalar que en las excavaciones realizadas con maquinaria no debe realizarse hasta su profundidad indicada, ya que debilitan demasiado el sello de fundación, es recomendable que la excavación se termine manualmente.

Las sobreexcavaciones deberán ser rellenadas con material de buena calidad, generalmente se emplean materiales granulares colocados por capas compactadas. Se empleara preferentemente un estabilizado del mismo tipo usado en la sub-base.

La compactación del terreno natural se realizara con equipos mecánicos, considerando una humedad óptima para una densidad máxima, la cual lo determina un laboratorio certificado, la compactación se realizara hasta alcanzar una densidad especificada. Cuando se cuenta con un suelo muy arcilloso, se recomienda efectuar un mejoramiento mezclando el suelo natural con materiales granulares, para permitir la compactación con equipos convencionales.

Cuando no se producen resultados satisfactorios luego de completado el numero indicado de pasadas con el equipo compactador, se debe verificar el contenido de humedad de la sub-rasante y/o aumentar el peso del rodillo.

#### **4.4.2. Preparación de la Sub-Base.**

La capa de sub-base será del espesor que se indique en el proyecto y del material especificado, al igual que la sub-rasante, la sub-base se compactara con equipos mecánicos preferentemente con la humedad indicada por el laboratorio, hasta obtener una densidad no menor al 95% del Proctor modificado. La sub-base debe ser perfilada con una tolerancia de  $\pm 10$  mm. Ocasionalmente se aplica sobre la sub-base una capa de arena de nivelación de aproximadamente 2 cm.

El tamaño máximo del agregado será el que se especifique en cada caso, el tamaño varía entre 1" a 2", lo que depende fundamentalmente del tamaño y espesor de la capa. Los requisitos son los siguientes:

- Limite Líquido (LL) : 25 máximos
- Índice de Plasticidad (IP) : 6 máximos
- Capacidad de Soporte CBR : 40 %

Para la mezcla los materiales se esparcen en las proporciones relativas requeridas, primero el agregado grueso y luego los materiales complementarios, hasta lograr la granulometría adecuada, luego se mezclan

por medio de la motoniveladora hasta lograr una composición homogénea. En cuanto al esparcido se realiza con motoniveladora, el material esparcido debe presentar una granulometría uniforme y sin bolsones de material fino o grueso. El material de base debe tener un contenido de humedad especificado.

Durante la colocación se debe evitar la incorporación de material procedente de la sub-rasante, o materias extrañas. Después de esparcido el material se compacta con el rodillo vibratorio, hasta lograr una densidad adecuada y obtener una base lisa, pareja y uniformemente compactada. La base se compactara hasta lograr a lo menos, un 95% de la densidad máxima seca obtenida en el ensaye de consolidación.

#### **4.4.3. Losa de Hormigón.**

El hormigón utilizado para la construcción de la losa se lo que expone en el Manual de Carreteras Volumen 5, puede ser elaborado en obra o puede ser elaborado en plantas de premezclados, siendo esta ultima la más frecuente ya que ha experimentado un gran auge, debido a la comodidad y altos estándares de calidad a los que están sometidos además debido a la cercanía del proyecto con la ciudad de valdivia es el más conveniente. Es necesario tener algunas consideraciones en cuenta al momento de solicitar a la empresa de premezclados sus productos, los cuales son:

Especificación del Hormigón: Para hacer más fácil y estandarizado el pedido de hormigón premezclados es necesario especificarlo correctamente, ejemplo:

- H25 (10) 40/5. En donde:
- H25 = Resistencia especificada según NCh 170, en Mpa/cm<sup>2</sup>.
- (10) = Fracción defectuosa aceptada en %.
- 40 = Tamaño máximo nominal del árido grueso en mm.
- 5 = Docilidad requerida, según cono de Abrams.

El principal factor a considerar cuando se trabaja con hormigón confeccionado en planta, es elegir una empresa confiable y de calidad certificada. Los controles y recomendaciones principales son:

Control de Docilidad: Al momento de llegada del hormigón a la obra, debe realizarse una medición de su docilidad según el cono de Abrams. Las empresas generalmente aseguran la docilidad pactada antes

de 30 minutos contados desde que el camión mixer llega a la obra. Existen tolerancias en el control de asentamiento del cono según la NCh 170, estas son las expuestas en la Tabla 23:

Tabla 23: Cono Según la NCh 170

Asentamiento del cono en cm	Tolerancia en cm
< 2	± 1
3 a 9	± 2
> 10	± 3

Fuente: Norma Chilena NCh 170 (1985)

Tiempo de Transporte y Descarga:

El tiempo de transporte y entrega, contado desde la hora de salida de planta y hasta la hora del fin de la descarga, no debe exceder de dos horas, salvo que las partes pacten otros tiempos y se adopten las medidas técnicas para asegurar las propiedades del hormigón. El plazo de transporte de 30 minutos establecido en NCh 170 se refiere al que media entre la descarga del camión mixer y el lugar de colocación definitiva del hormigón.

Tolerancia de Volumen:

Para los efectos de cumplimiento de la unidad de compra, se establece una tolerancia de + o - 3% del volumen nominal de la amasada de entrega.

Los hormigones premezclados (en estado fresco) dadas sus características, se definen como un producto perecible a través del tiempo. De este modo, Las empresas deben garantizar la calidad de sus productos por un lapso de 2 horas, transcurrido desde la hora de salida de planta, según lo establecido en la Norma Chilena NCh 1934 of 1992, del mismo modo garantiza el asentamiento de cono por 30 minutos desde el momento que el móvil llega a obra (cuidado con la sobreestadía). Los hormigones vaciados en forma posterior a este tiempo observan pérdidas substanciales de propiedades del hormigón en estado endurecido.

#### 4.4.4. Colocación de los Moldes.

Los moldes deben ser preferentemente de metal, formando ángulos rectos y de altura igual al espesor de la losa. La cantidad de moldes debe ser la adecuada para permitir un avance diario y no desmoldando antes de 10 horas. Su coronamiento debe controlarse a regla para comprobar que cumple con las exigencias de las especificaciones. Las trabas, cerrojos y cuñas deben estar en orden y las soldaduras o remaches que aseguran las trabas deben estar ajustados. Los moldes torcidos, vencidos o con cualquier otro defecto deben eliminarse prohibiéndose su uso hasta que se reparen, se inspeccionen y determine que se encuentran en buenas condiciones. La superficie de la sub-base, una vez compactada, debe encontrarse ligeramente elevada sobre el nivel establecido, de manera que sea necesario desbastar para llegar al nivel definitivo. Esto ayudará a obtener una sólida fundación para los moldes.

Después de preparar la superficie de apoyo de los moldes se la compactará por medio de un rodillo pesado (generalmente es parte de la perfiladora mecánica) o por apisonado. En ambos casos esta parte de la sub-rasante debe humedecerse con suficiente agua como para permitir su compactación a la misma densidad que las partes no perturbadas de la misma.

Luego, se colocarán los moldes en su lugar. Si el apoyo es bajo, debe sacarse el molde, agregar material y compactarlo. Bajo ninguna circunstancia se apoyarán los moldes sobre montículos de tierra. A continuación se colocarán los clavos de sujeción de los moldes, los que serán de suficiente longitud como para mantener con seguridad los moldes en posición durante las operaciones de terminado. La longitud adecuada sólo puede determinarse observando cuánto se mueven los moldes a medida que el equipo de perfilado, distribución y terminación pasa sobre ellos. Estos se colocarán correctamente en línea y las cuñas y cerrojos serán interpuestos con justeza. A los moldes se les debe aplicar un desmoldante o aceite sobre su superficie, para evitar que el hormigón se adhiera, se apisonarán luego a mano o por procedimientos mecánicos. Para que el apisonado resulte efectivo, será necesario colocar un pequeño caballete de material a compactar bajo los moldes, a lo largo de los lados exterior e interior de la base.

Se deberá controlar luego el alineamiento horizontal y vertical de los moldes. Ambos pueden controlarse a ojo y el alineamiento vertical con una regla rodante. Los moldes cuyo apartamiento de la regla supere la tolerancia deben quitarse y colocarse una vez que la sub-rasante se haya corregido. El perfilado final debe efectuarse con una perfiladora mecánica o regla alisadora de sub-rasante. Las cuchillas de estas

máquinas deben ajustarse de modo que dejen suficiente material para la terminación de la sub-rasante o sub-base a su nivel correcto.

Una vez llevada la sub-rasante o la sub-base a su nivel correcto, se la recompactará con un rodillo semipesado o un pisón vibratorio para volver a unir la parte de superficie perturbada durante las operaciones de perfilado. Es necesario, generalmente, agregar humedad para alcanzar el grado de compactación deseada.

No se necesita moldes cuando el hormigón se coloca contra línea de soleras y/o contra una faja de hormigón existente, siempre que este último tenga una calidad superficial tal, que cumpla con las especificaciones del proyecto. En estos casos es conveniente emplear pletinas colocadas longitudinalmente, que permitan un deslizamiento suave de la Cercha (Manual del Constructor, Grupo de Empresas Polpaico. 2011).

#### **4.4.5. Colocación del Hormigón.**

En el momento que se coloca el hormigón la sub-rasante debe estar húmeda. Esto es indispensable para evitar pérdida de humedad del hormigón hacia la sub-rasante. La pérdida excesiva de humedad puede producir el agrietamiento de la losa debido a tensiones de contracción que excedan la resistencia del hormigón a edad temprana. Puede también provocar el hinchamiento de sub-base sobre compactadas y secas que conducirán a un agrietamiento prematuro del pavimento. El riego debe realizarse con suficiente antelación a la ejecución del pavimento, a fin de permitir la absorción del agua. El hormigón no debe colocarse sobre una sub-rasante fangosa o donde existan charcos de agua.

Las operaciones de compactación y alisado si se tienen los equipos necesarios es posible realizarlos en forma simultánea. Es recomendable que las losas de espesor menor a 15 cm se compacten con vibradores de superficie, entre 15 y 22 cm con vibrador de superficie y/o vibradores internos, para espesores superiores a 22 cm se utilicen vibradores internos.

El empleo de vibradores de inmersión se recomienda para complementar la acción de la Cercha especialmente en los bordes, donde la acción de la Cercha suele ser menor, al aplicar inmersión en forma manual, la cabeza de estos debe quedar completamente sumergido y en lo posible en posición vertical, introduciéndolo a una distancia regular de 50 a 75 cm o cerca de 1½ veces su radio de acción

La velocidad de avance de la Cercha debe regularse de modo de asegurar una compactación adecuada y uniforme.

#### **4.4.6. Terminación Superficial.**

La finalidad del alisado es otorgar al pavimento los niveles y pendientes predeterminados, además obtener una regularidad superficial, necesaria para una marcha confortable y segura. En la terminación se pueden utilizar herramientas manuales o equipos mecánicos, la elección de estos depende de la envergadura de la obra y de los medios económicos que se cuente.

##### *Terminación Manual*

En obras pequeñas es habitual el uso de este tipo de terminación, la cual utiliza principalmente herramientas simples y de fácil utilización, siendo comúnmente empleadas las reglas manuales, la cual pasa sobre la superficie nivelada, corrigiendo pequeñas ondulaciones o arrugas. Después de pasar la regla se utilizan los platachos, que son de mayor tamaño que los utilizados normalmente, cada pasada de platacho se debe traslapar unos 5 cm con respecto a la pasada previa. Luego de obtenida la regularidad superficial, se da una terminación o textura mediante escobillones y/o arpilleras, las operaciones de terminación deben realizarse antes que aparezca en la superficie un exceso de agua de exudación. Las herramientas necesarias deben tenerse a mano y controlarse antes de comenzar la construcción. Las reglas deben tener la longitud necesaria y ser lo suficientemente rígidas como para no deformarse por el uso. La herramienta para terminar los bordes debe tener el radio establecido. El equipo necesario para obtener la textura superficial especificada – ya sea con cepillo, correa o rastra de arpillera – debe estar en obra. Es de importancia que las correas y arpilleras sean las suficientemente largas a fin de cubrir el ancho total de pavimento.

Curado: Se denomina curado a las labores de protección que debe darse al hormigón después de su terminación. Su objetivo es dar al hormigón las condiciones necesarias para favorecer la hidratación del cemento y reducir las contracciones excesivas debido a las condiciones ambientales como temperatura, viento y humedad, las cuales favorecen la aparición de fisuras.

Es recomendable que antes de comenzar con las labores de curado se compruebe la regularidad superficial en distintos sectores del pavimento, lo cual podemos comprobar con una regla generalmente de aluminio de unos 3 metros de longitud. También es necesario corregir irregularidades y eliminar las

grietas ocurridas por retracción plástica. Existen diversos tipos de curado siendo los principales, el curado húmedo, curado con compuestos y curado con láminas impermeables. Para nuestro proyecto de pavimentación se recomienda el Curado Húmedo que consiste fundamentalmente en riegos o neblinas a base de agua pulverizada, al igual que cubiertas húmedas y diques. Si se utilizan estos últimos hay que tener especial cuidado en que siempre permanezcan con agua. Principalmente el método de curado húmedo es muy utilizado ya que no requiere maquinaria para su utilización y su costo es insignificativo con respecto a las demás soluciones. Es importante recordar que este tipo de curado debe ser aplicado al más breve plazo y mantenerse húmedos o inundados por un plazo no inferior a los 7 días.

Uno de los defectos del hormigón es que es susceptible a sufrir cambios dimensionales debido al paso de hormigón fresco ha endurecido, las variaciones de temperatura y de estado de humedad.

Cuando se restringen los movimientos ocasionados por los cambios dimensionales, se generan tensiones que pueden superar la resistencia a la tracción del hormigón, dando como resultado la aparición de grietas. El objetivo de la confección de juntas es aliviar las tensiones en los pavimentos, las cuales deben realizarse antes que las deformaciones superen la capacidad de deformación del hormigón. Las juntas se pueden realizar en el hormigón fresco y/o en el hormigón endurecido.

#### *Juntas en el Hormigón Fresco*

Se realiza en el hormigón fresco, inmediatamente después de acabado las labores de terminación del pavimento, los principales métodos son con tablilla inductora de corte y corte con pletina.

- Corte con Pletina: Este método es utilizado en obras pequeñas como es nuestro caso, o donde la calidad de la lisura superficial no es muy alta. Este método no es recomendable, pero si las condiciones de exigencia lo permiten se puede utilizar. Se realiza introduciendo una pletina o perfil de acero en el hormigón fresco inmediatamente después o junto con el acabado. Luego cuando el hormigón ha adquirido consistencia la pletina se debe retirar. Es necesario rectificar la superficie y redondear los bordes.

#### *Juntas en el Hormigón Endurecido*

Esta labor se realiza cuando el hormigón ha endurecido y previo al comienzo de la contracción. Se efectúa un aserrado inicial con sierra diamantada de una ranura angosta de aproximadamente 3 mm y con una

profundidad de  $1/4$  a  $1/5$  el espesor de la losa. Después se debe ensanchar la parte superior de la ranura con un nuevo aserrado dando las dimensiones necesarias para recibir el material de sellado.

Al utilizar este método hay que tomar en cuenta algunos factores para evitar la formación de grietas por efecto de atraso de corte:

- Cortar el hormigón en el momento oportuno que generalmente está comprendido entre las 8 a 20 horas, con el fin de que no se desgranen los bordes y no se produzcan juntas incontroladas. El corte debe llegar hasta el borde del pavimento.
- Cuando las condiciones de temperatura aceleren la retracción del hormigón, se deben hacer los cortes en 1 de cada 3 juntas y volver enseguida a aserrar las juntas pendientes. Es necesario determinar el tiempo de aserrado de acuerdo a las condiciones climáticas existentes. Inmediatamente después de aserrada la ranura se debe reponer la protección de curado.

### Sellado de Juntas

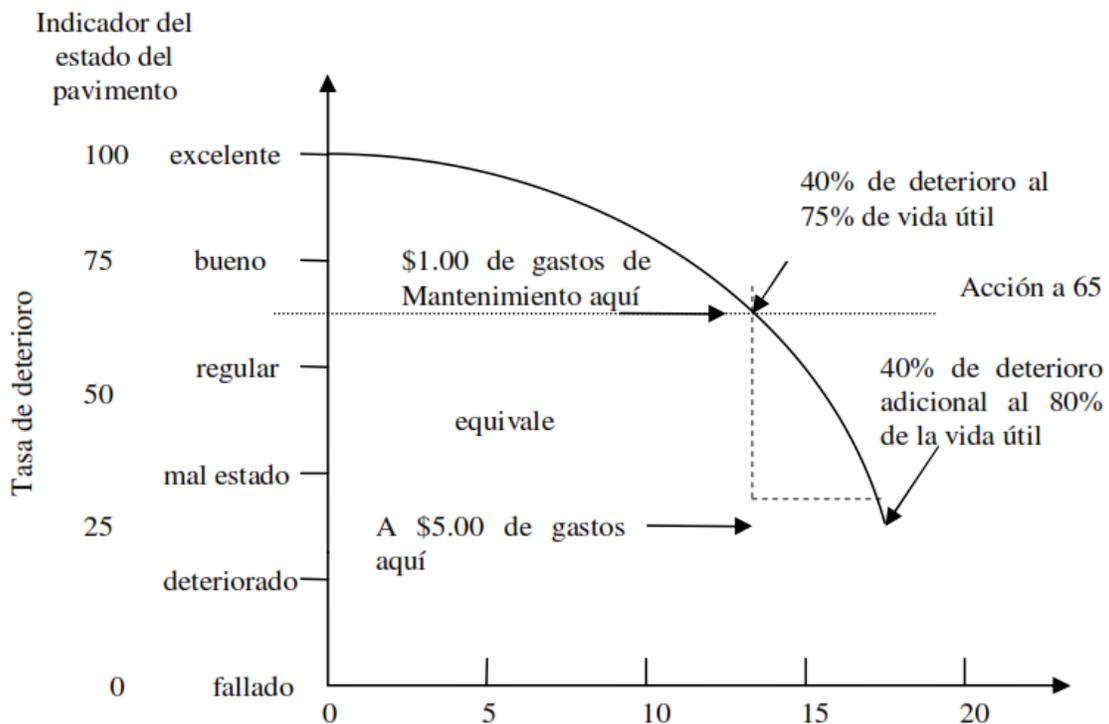
En obras que son necesario el sellado, se realizara antes de la entrega al tránsito, usando un material especificado en el proyecto y de calidad certificada. Antes de sellarlas, se limpian con aire comprimido, y si fuera necesario, pasando una hoja de sierra usada. Se evitará sobrecalentar el material de sellado. Para prevenir el incendio del material goma – asfalto es indispensable una caldera con baño de aceite.

Deben respetarse las indicaciones del proyectista o del proveedor en cuanto al tamaño y forma de la junta y condiciones de colocación según el tipo de material. Se recomienda que el material de sellado solo se coloque dentro de la caja de la junta y no sobresalir de la superficie. En el caso del mastic asfáltico, los equipos usados deberán permitir un calentamiento uniforme y no más allá de la temperatura especificada.

#### 4.5. Análisis comparativo - económico entre pavimento flexible y rígido

En general los costos involucrados en un proyecto de pavimentación, abarcan la mano de obra requerida, la maquinaria, el combustible, la cantidad y precios unitarios de los materiales, montaje e instalación de la obra, además de los impuestos, dirección e inspección.

Otro aspecto para el estudio económico, es el constante monitoreo del estado de los pavimentos. Hoy en día existen diferentes procedimientos para determinar un indicador del estado de un pavimento, donde lo clasifican de acuerdo al grado y niveles de severidad de los distintos tipos de daños presentes. En la Figura 15 se observa que el 40% de deterioro ocurre al 75% de vida útil del pavimento, por lo que se sugiere que este es el punto adecuado donde se deben tomar las acciones preventivas para mantenerse en la línea de acción de un estado regular a bueno, ya que de no realizar esta acción, dará como resultado que un dólar no invertido en mantenimiento se transforme en un par de años en 5 dólares de rehabilitar o reconstruir el pavimento, generando valor mucho más elevado (Torres Rafael, 2007).



**Figura 15:** Evolución de costos y ciclo de vida de un pavimento.

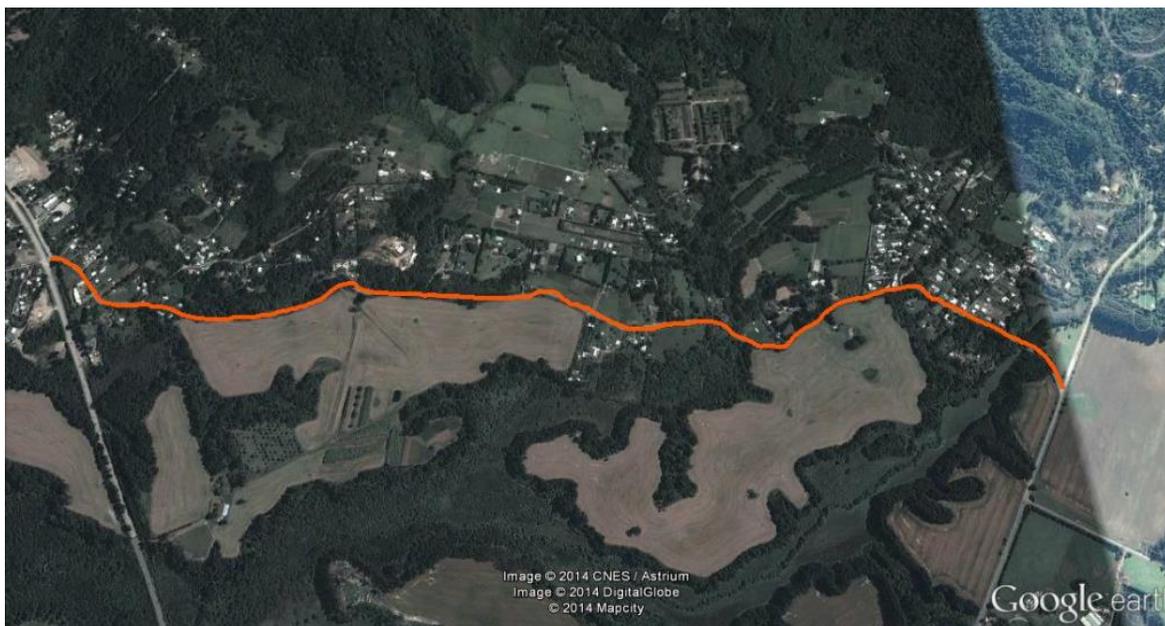
**Fuente:** Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento Rígido. 2007.

## 5. METODOLOGÍA

Además de la recopilación de antecedentes sobre análisis y mediciones de pavimentos rígidos y flexibles preexistentes en la región y el país, para cumplir con los objetivos antes mencionados, se procederá a comparar la serviciabilidad teórica de un camino interurbano seleccionado, diseñando ambas alternativas para el mismo proyecto. Además, se entregará un lineamiento en cuanto al proceso constructivo para posteriormente, realizar un análisis de costos para determinar si el pavimento asfáltico o el pavimento rígido es más económico, y por ende más convenientes para su ejecución de nuestro proyecto de pavimentación.

### 5.1. Recopilación de Antecedentes y Elección de Software

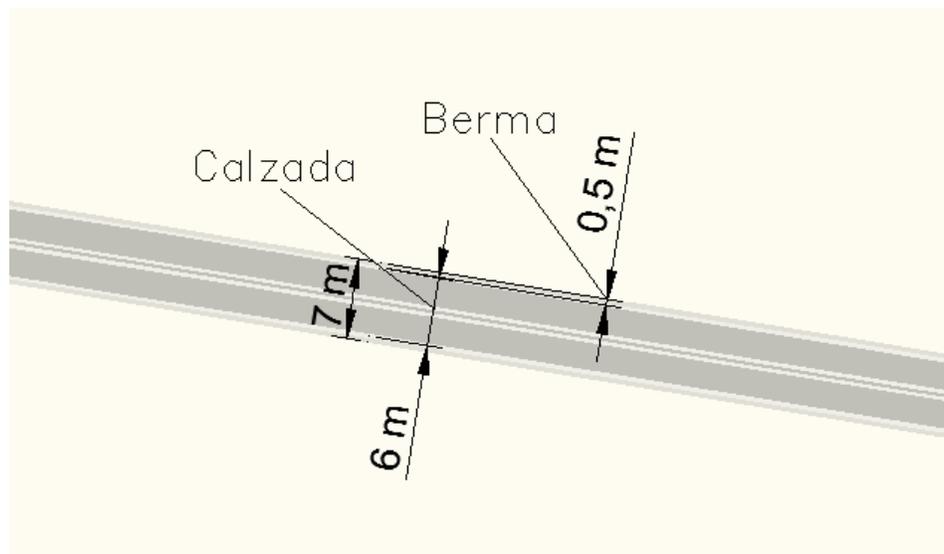
En primer lugar, se analizará una ruta interurbana diseñada con una carpeta de ripio y cuya pavimentación se encuentra en estudio por parte de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile. La ruta seleccionada es el camino S/R que une Santa Elvira con el sector de El Arenal, en la comuna de Valdivia, esta elección se debe a la cercanía con la ciudad de Valdivia y las características accesibles que presenta esta ruta. En la Figura 16 se observa la extensión y localización del camino seleccionado.



**Figura 16:** Ruta S/R Santa Elvira – El Arenal. Valdivia

**Fuente:** Google.Earth 2014

En cuanto a la sección transversal proyectada, ésta tiene una longitud de 2,781 Km., y está compuesta por una calzada que tiene un ancho fijo de 6 m. Además., las bermas tienen a ambos lados de la calzada un ancho de 0,5 m., como se muestra en la Figura 17.



**Figura 17:** Esquema Calzada Ruta S/R Santa Elvira – El Arenal

### 5.1.1. Antecedentes de la Mecánica de Suelos

Una vez determinadas las dimensiones, se continuará con el diseño, donde se debe conocer el estado del suelo donde se encuentra ubicada la ruta. Para ello, se obtuvieron los resultados de un informe de mecánica de suelos realizado por la empresa Eecolab Ltda. en el mes de Julio del año 2013 mandatada por le Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas. En dicho informe se indica que las calicatas fueron ubicadas de modo que se distribuyeran equitativamente en la extensión del proyecto y se ejecutaron de profundidades variables que alcanzaron los 1.50 m de profundidad, desde donde se efectuaron los ensayos “in situ” y se obtuvieron las muestras para los análisis correspondientes. Tanto los ensayos de densidades naturales o pesos unitarios, como los ensayos de resistencia tienen por finalidad realizar una comparación entre el comportamiento que tendrá el suelo en su estado natural como en su estado perturbado (suelos de relleno). A continuación, en la Tabla 24 se muestran el detalle de las exploraciones. (Esto es lo recomendado en la normativa NCh 1508 “Geotecnia – Estudio de mecánica de Suelos” (1985))

Tabla 24: Detalle de la exploración de las calicatas

Calicata	Faja	Dist al Eje (m)	Dm (km)	Prof. (m)	Napa	Presencia de Bloques o Roca
1	Izquierda	3,3	0,45	1,5	0,8	No se detecta
2	Izquierda	3,5	1,5	1,5	0,6	No se detecta
3	Derecha	3,5	2,58	1,5	No se detecta	No se detecta

Fuente: Ecolab 2013

A continuación en las tablas 25 y 26 se presentan las propiedades y resultados de los ensayos a las muestras extraídas en la Ruta Sta Elvira – El Arenal

Tabla 25: Ensayos de densidad in situ

Calicata	Tipo de Suelo Clasificación AASTHO	Tipo de Suelo Clasificación USCS	Espesor Control (m)	Densidad Humedad (gr/cm <sup>3</sup> )	Humedad Natural (%)	Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
1	ML	A-5	0,15	1,122	59,4	0,704
2	ML	A-4	0,15	1,081	101,0	0,538
3	ML	A-4	0,15	1,151	70,3	0,676

Fuente: Ecolab. 2013

Tabla 26: Ensayos CBR

Calicata	Tipo de Suelo Clasificación AASTHO	Tipo de Suelo Clasificación USCS	Cota (m)	CBR al 95 % D.M.C.S	CBR al 90% D.M.C.S	CBR Densidad Natural
1	ML	A-5	0,70	9,1	4,8	2,3
2	ML	A-4	0,70	2,6	1,9	1,0
3	ML	A-4	0,70	3,4	2,2	1,3

Fuente: Ecolab. 2013

El informe además agrega que se define un único tramo debido a que la información estratigráfica, muestra que el terreno detectado en el sector es homogéneo, y corresponde a limo (ML), color café claro a café grisáceo, consistencia blanda, estructura homogénea, graduación fina, humedad alta a saturada con valores que van desde 60% a 120 % aprox, plasticidad baja a nula, en donde las muestras obtenidas de calicatas 1 y 2 tienen un valor de IP promedio de 8, porcentaje de finos bajo la malla N°200 alrededor del 80% y cementación débil.

### 5.1.2. Antecedentes del Programa de Diseño de Pavimentos PAVIVIAL y HDM-III

Una vez conocido el estado del suelo se continúa con el diseño de las capas del firme, siendo necesario obtener el número de ejes equivalentes a partir del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) medido en terreno. Para ello, se distinguen los distintos tipos de vehículos censados en la ruta seleccionada, siendo los vehículos pesados los que inciden de forma directa en los resultados. Además, es necesario tener en cuenta la climatología de la zona, así como el valor del índice de Capacidad Portante (CBR) del suelo. Una vez obtenidos estos factores, el diseño se llevará a cabo mediante el software de pavimentos PAVIVIAL basado en el Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile (Figura 18).



**Figura 18:** Portada PAVIVIAL Versión 1.0 Junio 2002

**Fuente:** PAVIVIAL (2002)

Como se mencionó anteriormente, el factor del tránsito es fundamental al momento de la concepción de un proyecto de pavimentación, por ello, se deben conocer los valores medidos del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) pertenecientes a la ruta seleccionada, donde se ejecutará el proyecto de pavimentación (Tabla 27).

Tabla 27: TMDA por categorías de vehículos.

TMDA							
Auto Station	Camionetas	Camiones Simples 2 ejes	Camión de más de 2 ejes	Semi Remolques	Remolques	Buses Taxibuses	Total
478	144	27	5	0	1	83	738

**Fuente:** Plan Nacional de Censos, Dirección de Tránsito. Ministerio de Transport. 2012

Una vez calculado este valor, se hace uso del programa PAVIVIAL, en el cual se introduce en primer lugar el valor del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) por sentido, el periodo de diseño (20 años), así como las tasas de crecimiento, en concordancia con lo establecido en el informe de tránsito, para cada tipo de vehículo y los factores que se emplean para el cálculo de los ejes equivalentes, como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28: Tasa de Crecimiento de los Vehículos.

Tasa de Crecimiento	Auto Station	Camionetas	Camiones Simple 2 ejes	Camión de más de 2 ejes	Buses Taxibuses
	4,34 %	3,5%	2,8 %	4,96 %	5,06%

**Fuente:** Plan Nacional de Censos, Dirección de Tránsito. Ministerio de Transporte. 2012

Para el diseño completo del pavimento, será necesario considerar tanto la temperatura de la zona como las precipitaciones registradas en la misma. La Región de Los Ríos, presenta un nivel de precipitaciones superior a los 2.000 mm. de lluvia, de promedio. En la Figura 19, se observa el cuadro 9 de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en Chile (2002), donde se clasifica este clima como condición saturada.

**Cuadro 9: Valores de Precipitación “Crítica” por Región**

Condiciones del Pavimento				Regiones					
Calidad Subrasante	Base (cm)	i (%)	¿Existe Terraplén?	IV	V a VI	VII a IX	X	XI	XII
BUENA	< 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
		< 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
	> 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
		< 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	1000	800	SAT	600
MALA	< 600	> 2,0	SI	-	-	(1)	(2)	(3)	(4)
			NO	-	-	1100	950	SAT	750
		< 2,0	SI	-	-	1200	950	SAT	750
			NO	-	-	900	750	SAT	600
	> 600	> 2,0	SI	-	-	1100	950	SAT	750
			NO	-	-	900	SAT	SAT	600
		< 2,0	SI	-	-	900	750	SAT	600
			NO	-	-	600	SAT	SAT	400

**Figura 19:** Valores de precipitación crítica por región.

**Fuente:** Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en Chile. 2002

Una vez contemplados todos los factores que intervienen en el diseño, se debe obtener la información para el análisis comparativo de los costos que interviene en la ejecución de las dos alternativas. En este punto se hace necesario la implementación del modelo computacional de simulación HDM-III-CH. Este modelo HDM-III-CH (ver portada inicial Figura 20) fue desarrollado por el Banco Mundial y calibrado a la realidad nacional, en el contexto del estudio "Validación y Complementación de Costos Operacionales en Caminos de Chile", realizado por la Universidad de Chile por mandato de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas.

**Modelo de Evaluación  
Económica de Caminos (RED)  
Módulo de Costos Operativos de Vehículo HDM-III  
Versión 3.2, 04/04/04**

**Road Management Initiative  
Sub-Saharan Africa Transport Policy  
Program**

**Figura 20:** Portada Inicial Modelo HDM-III.

**Fuente:** HDM-III Versión 3.2 (2004)

Este modelo computacional permite evaluar económicamente políticas de construcción y mantención de caminos, a través del comportamiento de los vehículos y el deterioro de la estructura del mismo. El modelo simula las condiciones de la ruta en función de las políticas de construcción y mantención y del nivel de tránsito. Mediante la aplicación de relaciones matemáticas, se calculan los costos de construcción y mantención del camino, así como los costos de operación de los vehículos (para diferentes alternativas), entregando los indicadores económicos respectivos.

Por otro lado, se deben proporcionar las características físicas del proyecto, los costos y políticas de construcción y mantenimiento de cada alternativa, el nivel y proyecciones del tránsito, los precios de los insumos, las características de los vehículos, el valor unitario del tiempo, y en forma opcional los beneficios y costos económicos exógenos.

Una vez conocidos los antecedentes e información necesaria del proyecto de pavimentación, y sabiendo además el software utilizado para el diseño y comparación de costos de pavimentos, se procederá a realizar el análisis propuesto, obteniendo los resultados requeridos para alcanzar los objetivos iniciales.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Número de ejes equivalentes

El número de ejes equivalentes se obtiene a partir del Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) que se presentaron en el punto 5.1.2, utilizando las mediciones en los puntos próximos del Plan Nacional de Censos (2012). Es importante destacar, que los factores empleados para el cálculo de los ejes equivalentes en esta etapa, son los indicados en el Volumen 3 de Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile (2012).

Para el cálculo de los ejes equivalentes, el Manual de Carreteras del MOP en su Volumen 3 indica que los valores incluidos en la Figura 21, representan de forma óptima las características del tránsito en caminos importantes, pero no resultan tan confiables para caminos secundarios. Además, existen evidencias de que los pesos son mayores que los medidos en sectores de la red alejados de los puntos de control.

Es por este motivo, y debido a que en las Bases se recomienda el uso de la Guía de diseño estructural de pavimentos para caminos de bajo volumen de tránsito, por lo que se emplean los siguientes factores:

**PARA CALCULAR EJES EQUIVALENTES: INGRESE FACTORES Y LUEGO SELECCIONE CALCULAR**

	Livianos	C. Simple	C. Múltiple	Bus Interurbano	Bus Urbano
EE/Veh		1,42	4,01	1,37	1,37

**Figura 21:** Factores Empleados para el cálculo de ejes equivalentes

**Fuente:** PAVIVIAL, a partir de la Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito en Chile (2002)

En base a estos datos entregados al Software PAVIVIAL, éste nos entrega como resultado **1.050.000 de Ejes Equivalentes**, como lo podemos apreciar en le Figura 22:

## DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

PROYECTO SELECCIONADO		SALIR PROGRAMA	VOLVER	VOLVER INICIO
CODIGO	EJ01	CAMINO	EJEMPLO	
TRAMO	1	DE Dm	A Dm	

EJES EQUIVALENTES [MILES]  FACTOR DE PISTA:

SELECCIONAR TIPO SOLUCION

ASFALTO	HORMIGON	TRATAMIENTO SUPERFICIAL
---------	----------	-------------------------

**Figura 22:** Resultado de Ejes Equivalentes

## 6.2. Diseño del Pavimento Asfáltico

Es importante señalar, que para el diseño del pavimento flexible, se seguirán los pasos indicados en el Volumen 3 del Manual de Carreteras del MOP (2012), donde primero se deben considerar los valores de los índices de serviciabilidad, que para el caso de los pavimentos flexibles son los que se observan en la tabla 29

Tabla 29: Índice de Serviciabilidad para Pavimentos Flexible

Índice de Serviciabilidad Inicial (pi)	4,2
Índice de Serviciabilidad Final (pf)	2,0

**Fuente:** Volumen 3 Manual de Carreteras MOP (2012)

Es importante tener en claro que la vida de diseño de nuestro proyecto es de 20 años, esto considerando el tráfico proyectado sobre la ruta. Otro aspecto a tener en cuenta es el grado de confiabilidad que se controla por el factor de confiabilidad (Fr) que es un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Zr) y de la desviación normal del error combinado (So), estos valores están expresados en la tabla 30

Tabla 30: Nivel de confianza y valor del So

EE Solicitantes	Confiabilidad	Zr	So
(Millones)	(%)		
< 5	60	0,253	0,45

**Fuente:** Volumen 3 Manual de Carreteras MOP (2012)

Ya conocidos estos parámetros, ahora es fundamental para el diseño el valor del Módulo Resiliente, que está directamente ligado con el valor de la Capacidad Portante (CBR) natural del suelo de fundación, en el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2012) se presentan las siguientes expresiones utilizadas para el cálculo del Módulo Resiliente:

$$M_r(\text{MPa}) = 17,6(\text{CBR})^{0,64} \text{ para } \text{CBR} < 12\%$$

$$M_r(\text{MPa}) = 22,1 (\text{CBR})^{0,55} \text{ para } 12 \leq \text{CBR} < 80\%$$

Donde:

- Mr: Modulo Resiliente
- CBR: Ensayo de Relación de Soporte de California

De esta forma, el CBR con el que trabajamos es del 9,1% de la calicata 1 que se obtuvo en los ensayos mencionados anteriormente en el punto 5.1.1. Este es el valor más representativo en la cota de la sub-rasante de nuestra ruta en cuestión. De acuerdo a esto último el Módulo Resiliente final que se obtiene es el siguiente:

$$M_r(\text{MPa}) = 17,6 * 9,1^{0,64} = \mathbf{72,327 \text{ MPa}}$$

Según lo indica el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2012) en su apartado de Análisis de la información de la Prospección de Suelos, si el Mr < 77 MPa, se debe considerar una capa de mejoramiento de 300 mm de espesor y CBR= 20 % que eleva el modulo general, por los que se aplica la siguiente ecuación:

$$M_{rd} = F \cdot M_{r0}$$

$$\text{con } \frac{1}{F} = \frac{0,125}{\left[0,0156 + h^2 \cdot \left(\frac{M_{r1}}{M_{r0}}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(1 - \frac{M_{r0}}{M_{r1}}\right) + \frac{M_{r0}}{M_{r1}}$$

Donde:

- Mrd: Módulo Resiliente de diseño (MPa.)
- F : Factor de simplificación
- Mr0: Módulo Resiliente de la sub-rasante de orden 0 (MPa.)
- Mr1: Módulo Resiliente de la capa de orden 1 (MPa.)
- h : Espesor de la capa de orden 1 (m.)

Como ya conocemos que el Modulo Resiliente de la Sub-rasante es de 72,327 MPa, ahora debemos obtener el valor del Módulo Resiliente de la capa de orden 1 de 300 mm de espesor:

$$M_{r1}(MPa) = 22,1 (20)^{0,55} = 91,43 MPa$$

Ahora procedemos a calcular el valor de F:

$$\frac{1}{F} = \frac{0,125}{\left[0,0156 + 0,3^2 \cdot \left(\frac{91,43}{72,33}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{2}}} \cdot \left(1 - \frac{72,33}{91,43}\right) + \frac{72,33}{91,43} = 0,866$$

$$Asi F = \frac{1}{0,866} = 1,1544$$

Con el valor de F conocido, procedemos a obtener el valor del Módulo Resiliente de Diseño:

$$M_{rd} = F \cdot M_{r0} = 1,1544 * 72,33 = \mathbf{83,497 MPa}$$

Con el valor de los Ejes Equivalentes, el Modulo Resiliente de Diseño y todos los parámetros antes mencionados introducidos en el Software PAVIVAL (como se muestra en la Figura 23) procedemos a dar inicio al diseño.

## DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

**DATOS GENERALES**

EE EN PISTA DISEÑO (miles):	1.050
FACTOR PISTA DISEÑO :	1,00
NIVEL DE CONFIANZA (%) :	60
ERROR STD COMBINADO (So):	0,450
DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDAR (Z) :	0,253
FACTOR DE CONFIABILIDAD :	1,300
IND.SERV. INICIAL :	4,2
IND.SERV. FINAL :	2,0
MODULO RESIL SUBRASANTE (MPa) :	83,5

¿COMO ESTRUCTURARA?

Con Base y/o Subbase Granular

Rehabilitación con Mezclas Asfálticas

VOLVER

VOLVER INICIO

VER TABLA NIVEL DE CONFIANZA

INGRESE DATOS BASICOS LUEGO ELIJA TIPO DE ESTRUCTURACION PARA CONTINUAR

SALIR PROGRAMA

**Figura 23:** Datos General Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos

Para este caso, la estructura está conformada por una Base y una Sub-base granular, destacando dentro de los datos el módulo Resiliente de Diseño de 83,497 MPa, ya una vez ingresados los datos requeridos y conocida la conformación de la estructura, el Software PAVIVAL entrega los resultados obtenidos que se muestran en la Figura 24. En este punto, se debe verificar el numero estructural sobre la base y el total de las capas, ya que el programa separa la carpeta asfáltica, a la capa intermedia y a la base asfáltica en el nivel de base, siendo estas capas susceptibles a modificación para cumplir con la verificación, teniendo como mínimo 50 mm de espesor. Las dos capas restantes, la Base y Sub-base granular también están sujetas a cambios, pero tienen una restricción de 150 mm como mínimo.

TEMP MEDIA ANUAL PONDERADA DEL AIRE [°C] (En la zona de proyecto)	11,7	[TMAPA]	CALCULAR TMAPA
--	------	---------	----------------

NUMERO ESTRUCTURAL: SOBRE LA BASE (mm) :	36	CALCULAR N E BASE
TOTAL (mm) :	61	CALCULAR N E TOTAL

ESPESORES DE LAS CAPAS				
CAPAS LIGADAS	ESPESOR (mm)	COEFICIENTE ESTRUCT	DRENAJE	N. ESTRUCTURAL PARCIAL [mm]
CARPETA ASFALTICA	80	0,43	=	34,4
CAPA INTERMEDIA		0,41	=	
BASE ASFALTICA	50	0,33	=	16,5
			=	
			=	
CAPAS NO LIGADAS				A NIVEL DE BASE [mm] : 51
BASE GRANULAR	150	0,13	1,15	= 22,4
SUBBASE GRANULAR	300	0,12	1,15	= 41,4
				TOTAL [mm] : 115

VERIFICACIÓN DE NUMERO ESTRUCTURAL	
A NIVEL DE BASE:	>= QUE LO REQUERIDO
TOTAL:	>= QUE LO REQUERIDO

Figura 24: Resultados del Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos

En la Figura 24, se observan los espesores que dan solución a las restricciones impuestas. No obstante, en la Figura 25 se detallan los resultados destacando la carpeta de rodadura de 130 mm y una Base granular de 150 mm con un CBR del 80% como indica el Vol 3 del Manual de Carreteras 2012.

#### RESULTADOS

EE EN PISTA DISEÑO (miles):	1,050
FACTOR PISTA DISEÑO :	1,00
NIVEL DE CONFIANZA (%) :	60
ERROR STD COMBINADO (So):	0,450
DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDAR (Z) =	0,253
FACTOR DE CONFIABILIDAD :	1,300
IND.SERV. INICIAL :	4,2
IND.SERV. FINAL :	2,0
MODULO RESIL SUBRASANTE (MPa) :	83,5

TMAPA [°C]:	11,7
-------------	------

NUMERO ESTRUCTURAL: SOBRE LA BASE (mm) :	36
TOTAL (mm) :	61

ESPESORES DE LAS CAPAS				
CAPAS LIGADAS	ESPESOR (mm)	COEFICIENTE ESTRUCT	DRENAJE	N. ESTRUCTURAL PARCIAL
CARPETA ASFALTICA	80	0,43	=	34,40
BASE ASFALTICA	50	0,33	=	16,50
CAPAS NO LIGADAS				A NIVEL DE BASE : 51
BASE GRANULAR	150	0,13	1,15	= 22,43
SUBBASE GRANULAR	300	0,12	1,15	= 41,40
				TOTAL : 115

Figura 25: Reportes de Resultados Pavimento Flexible

### 6.3. Diseño Pavimento Rígido (Hormigón)

Para el diseño del pavimento rígido, se seguirán los pasos indicados en el Volumen 3 del Manual de Carreteras del MOP (2012), donde primero se deben considerar los valores de los índices de serviciabilidad, que para el caso de los pavimentos flexibles son los que se observan en la tabla 31

Tabla 31: Índice de Serviciabilidad para Pavimentos Rígido

Índice de Serviciabilidad Inicial (pi)	4,5
Índice de Serviciabilidad Final (pf)	2,0

**Fuente:** Volumen 3 Manual de Carreteras MOP (2012)

Es importante tener en claro que la vida de diseño de nuestro proyecto es de 20 años, esto considerando el tráfico proyectado sobre la ruta. Otro aspecto a tener en cuenta es el grado de confiabilidad que se controla por el factor de confiabilidad (Fr) que es un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Zr) y de la desviación normal del error combinado (So), estos valores están expresados en la tabla 32

Tabla 32: Nivel de confianza y valor del So

EE Solicitantes (Millones)	Confiabilidad (%)	Zr	So
< 5	60	0,253	0,40

**Fuente:** Volumen 3 Manual de Carreteras MOP (2012)

En el caso del diseño del pavimento rígido, para comenzar el diseño se debe considerar el Modulo de Reaccion de la Sub-rasante de diseño “k” (MPa/m), que se utiliza para caracterizar la capacidad de soporte de la sub-rasante, para el caso de la Ruta Sta Elvira – El Arenal el suelo que compone esta sub-rasante es clasificado como un suelo fino A-5 (según clasificación AASHTO) por lo que la capacidad de soporte del suelo esta muy influenciada por el nivel de saturación (Sr). Para este caso la AASHTO ha determinado una función lineal que relaciona el valor de k (MPa/m) con Sr, la cual se describe a continuación:

$$k \left( \frac{MPa}{m} \right) = A * Sr + B$$

Los valores de A y B son constantes y están definidos en el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2012), donde  $A = -0,59$  y  $B = -70,07$  para suelos finos. Primero debemos obtener el valor de  $Sr$ , para esto ocuparemos los valores de la tabla 25.

$$Sr = \frac{\omega}{\frac{1000}{\gamma d} - \frac{16}{G}} = \frac{59,4}{\frac{1000}{704} - \frac{16}{1098,72}} = 41,86$$

Ya conocido el grado de saturación  $Sr$  del suelo de la sub-rasante, podemos calcular el valor del módulo de reacción de la sub-rasante de diseño “k”:

$$k = A * Sr + B = -0,59 * 41,86 + 70,07 = 45,371 \left( \frac{MPa}{m} \right)$$

Ahora es necesario conocer el valor de la resistencia a la Flexotracción del hormigón a los 28 días y el módulo de elasticidad del hormigón, estos se indican en la tabla 33, de acuerdo a la clasificación de vial colectora que le entrega la Dirección de Vialidad del MOP a la ruta proyectada. Además se debe considerar el módulo de elasticidad y coeficiente de reacción de la base que también se expresan en la misma tabla.

Tabla 33: Resistencia a la Flexotracción y Modulo de Elasticidad del Hormigón y la Base

Tipo de Vía	Resistencia a la Flexotracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa) del hormigón	Material Base	Módulo de Elasticidad (MPa) de la Base	Coficiente de Fricción
Colectora	5,0	29.000	Granular	301,1	1,4

Fuente: Volumen 3 Manual de Carreteras MOP (2012)

Antes de comenzar la ejecución del Software PAVIVIAL, se debe tomar en consideración ciertas recomendaciones que nos hace el Volumen 3 del Manual de Carreteras (2012) en su apartado de Estructuración de pavimentos rígidos, en ellas señala que para el camino seleccionado en nuestro trabajo de titulación, se debe diseñar con una base granular de 150 mm de espesor compactado, que las juntas de contracción deben distanciarse entre 3 a 5 metros y que el valor del espesor de la losa debe encontrarse entre 200 y 300 mm. Ya tomados estos resguardos, con los Ejes Equivalentes calculados, y con los parámetros que intervienen en nuestro diseño ya conocidos, introducimos estos valores en el Software PAVIVIAL para diseñar el pavimento en hormigón. La Figura 26 muestra los datos que se deben ingresar al Software, destacando la longitud de la losa de 5 metros, la resistencia a la flexotracción de 5,0 MPa, el valor de  $k=45,37$  MPa/m de la sub-rasante y el espesor de la Sub-base de 200 mm.

Índice de Serviciabilidad Inicial, P1:	4,5	--	Longitud de la Losa	5	m			
Índice de Serviciabilidad Final, P2:	2,0	--		<b>TIPO DE BERMA</b> <input checked="" type="radio"/> Berma Granular ó Asfáltica <input type="radio"/> Berma de Hormigón Amarrada <input type="radio"/> Sobrecancho 0,6 m + Berma Granular ó Asfáltica				
Resistencia a la Flexotracción a 28 días, S <sub>c</sub> :	5,0	MPa						
Módulo Elástico del Hormigón, E <sub>c</sub> :	29.000	MPa						
Razón de Poisson del Hormigón, μ:	0,15	--	Factor de Ajuste para Tipo de Berma: 1,00					
Módulo Elástico de la Sub-base, E <sub>b</sub> :	310	MPa						
Espesor de Diseño de Sub-base, H <sub>b</sub> :	200	mm						
Factor de Fricción Sub-base/Losa, f:	1,4	--	Ejes Equivalentes de Diseño					
Nivel de Confiabilidad (R):	60,0	%				1.050		
Desviación Estándar Total, S <sub>0</sub> :	0,40	--						
Velocidad Media Anual del Viento	5,0	Nudos						
Temperatura Media Anual del Aire	11,0	°C	1.050					
Precipitación Media Anual	1874,1	mm						
Valor k de la subrasante	45	MPa/m						
Nº de Días con Precipitación > a 5 mm, N5	111	Días	Tipo de Base					
Presencia de DREN Lateral de Calzada	SI	▼				GRANULAR ▼		
Presencia de Barras de Traspaso de Carga	NO	▼						

**Figura 26:** Datos General Diseño Estructural de Pavimento de Hormigón.

Antes de entregar los resultados, el software PAVIVIAL verifica la tensión máxima de borde. La Figura 27 muestra la tensión máxima de esquina correspondiente a 1,33 MPa., y la tensión máxima de borde de 2,65 MPa., siendo el resultado de esta verificación positivo para los parámetros que se impusieron al inicio del diseño. Una vez comprobado este punto, el Software procede a terminar el diseño.

Velocidad Media Anual del Viento:	5,0	Nudos	<p>TENSION MAXIMA DE BORDE <b>2,65</b> MPa</p> <p>RESULTADO DE LA VERIFICACION : <b>CUMPLE</b></p> <p>MODIFICAR EL DISEÑO      TERMINAR EL DISEÑO</p>
Temperatura Media Anual del Aire:	11,0	°C	
Precipitación Media Anual:	1874,1	mm	
Diferencial de Temperatura Negativo	-5,0	°C	
Factor de Fricción Sub-base/Losa, f :	1,40	--	
Espesor de Losa:	200	mm	
Módulo Elástico de la Sub-base:	310	MPa	
Valor k de la subrasante:	45	MPa/m	
TENSION MAXIMA DE ESQUINA	1,33	MPa	

Figura 27: Verificación de la Tensión de Borde.

Una vez finalizado el diseño, el software PAVIVIAL, entrega un reporte con los parámetros e información del diseño. A continuación, en la Figura 28 se muestra un los resultados obtenidos con un **espesor de la losa de 200 mm**, cabe destacar, que el espesor obtenido es bastante conservador y es lo recomendado por el Manual de Carreteras de Chile (Volumen 3) (2012). También es importante señalar que la subrasante queda con espesor de 200 mm y la Base con espesor de 150 mm con un CBR del 80%, estos valores son los mínimos solicitados en el Volumen 3 del Manual de Carreteras 2012.

PARAMETROS E INFORMACION DEL DISEÑO	
Ejes Equivalentes de Diseño	1.050 miles
Índice de Serviciabilidad Inicial	4,5 --
Índice de Serviciabilidad Final	2 --
Resistencia a la Flexotracción	5 MPa
Módulo Elástico del Hormigón	29.000 MPa
Razón de Poisson del Hormigón	0,15 --
Módulo Elástico de la Sub-base	310 MPa
Espesor de Diseño de Sub-base	200 mm
Factor de Fricción Sub-base/Losa	1,4 --
Nivel de Confiabilidad	60 %
Desviación Estándar Total	0,4 --

Velocidad Media Anual del Viento	5,0 Nudos
Temperatura Media Anual del Aire	11,0 °C
Precipitación Media Anual	1874 mm
Nº días con Precipitación > 5 mm	111 días
Valor k de la subrasante	45,37 MPa/m
Longitud de la Losa	5,0 m
Tipo de Berma	Granular o Asfáltica
Tipo de Base	Granular 150 mm
Presencia de DREN lateral de calzada :	SI
Presencia Barras de Traspaso de Carga :	NO

RESULTADOS DEL DISEÑO	
ESPESOR DE LOSA CALCULADO	200 mm
VERIFICACION POR ESCALONAMIENTO :	CUMPLE
Escalonamiento :	0,8 mm

Figura 28: Reporte de Resultados del Diseño del Pavimento en Hormigón.

## 6.4. Análisis Comparativo de Costos de Ambas Alternativas

Una vez realizado el diseño del pavimento y con el proceso constructivo recomendado, se realiza un análisis comparativo entre el costo de **implementación y ejecución**, al llevar a cabo tanto la alternativa de pavimento flexible como la de pavimento rígido.

En primer lugar, se contemplan los gastos generales que se muestran en la Tabla 34. Estos gastos son los correspondientes a la preparación del terreno, el movimiento de tierras, drenaje y protección de la plataforma y elementos de control y seguridad. Este costo es el mismo para ambas alternativas debido a que la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas de Chile exige de igual manera ya sea para pavimentos flexibles o rígidos la implementación de estos aspectos generales, por ende no tienen mayor influencia en la diferencia de costos entre una alternativa u otra.

Tabla 34: Precios Unitarios de los Principales Aspectos en un Proyecto de Pavimentación

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	P.UNITARIO
<b>PREPARACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO</b>		
Remoción de Estructuras	m <sup>3</sup>	23.867
Remoción de Ductos	m	9.615
Remoción de Barreras de Contención Laterales	m	8.980
Remoción de Señalización Vertical Lateral	Nº	13.623
Remoción de Cercos	m	1.910
Remoción de Portones	Nº	21.330
Remoción de Caseta de Paraderos para Locomoción Colectiva	Nº	336.705
Instalación de Faenas y Campamentos	gl	4.000.000
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>		
Excavación de Escarpe	m <sup>3</sup>	3.732
Excavación de Corte en Terreno de Cualquier Naturaleza	m <sup>3</sup>	3.175
Excavación de Corte en Roca	m <sup>3</sup>	14.264
Excavación en Terreno de Cualquier Naturaleza para Obras de Drenaje	m <sup>3</sup>	6.742
Formación y Compactación de Terraplenes	m <sup>3</sup>	6.288
Relleno Estructural	m <sup>3</sup>	15.623
Obras de Encauzamiento Menores	m <sup>2</sup>	5.910
Preparación de la Sub-rasante	m <sup>2</sup>	484
Apertura, Explotación y Abandono de Emprestitos	gl	3.500.000
<b>DRENAJE Y PROTECCIÓN DE LA PLATAFORMA</b>		
Tubos de Base Plana de Alta Resistencia de Hormigón Simple D=1,00 m	m	110.398

Tubos Circulares de Metal Corrugado	m	160.057
Construcción de Sub-drenes de Grava	m	32.992
Embudos para Descarga de Agua	N°	165.846
Descarga de Agua en Tubos Corrugados de Media Caña	m	89.262
Soleras Tipo "C"	m	12.793
Cunetas de Hormigón	m	18.079
Cunetas de Hormigón, Tipo Badén	m	45.303
Construcción de Canales, Fosos y Contrafosos sin revestir	m	2.069
Construcción de Canales, Fosos y Contrafosos a revestir con Hormigón	m	4.933
Revestimiento de Canales, Fosos y Contrafosos	m <sup>3</sup>	232.803
Tubos de Polietileno de Alta Densidad Estructurados	m	130.011
<b>ELEMENTOS DE CONTROL Y SEGURIDAD</b>		
Cerco de Alambre de Púas	m	4.481
Portones de Una Hoja	N°	131.469
Señales Verticales Laterales Tipo 2, $Sp \leq 1 \text{ m}^2$	N°	112.202
Señales Verticales Laterales Tipo 3, $1 \text{ m}^2 < Sp \leq 2 \text{ m}^2$	N°	165.947
Señales Verticales Laterales Tipo 4, $2 \text{ m}^2 < Sp \leq 3 \text{ m}^2$	N°	233.542
Señales Verticales Laterales Tipo 5, $3 \text{ m}^2 < Sp \leq 7 \text{ m}^2$	N°	326.901
Delineadores Verticales	N°	81.281
Demarcación del Pavimento, Línea de Eje Continua	km	475.650
Demarcación del Pavimento, Línea de Eje Segmentada	km	321.089
Demarcación del Pavimento, Línea Lateral Segmentada	km	321.089
Demarcación del Pavimento, Línea Lateral Continua	km	394.131
Demarcación del Pavimento, Líneas, Achurados, Símbolos y Leyendas	m <sup>2</sup>	4.298
Tachas Reflectantes	N°	2.827
Tachones Reflectantes	N°	8.783
Casetas para Paraderos de Locomoción Colectiva	N°	2.383.110
Barreras Metálicas de Contención Laterales, de Doble Onda	m	70.000
Demarcación de Símbolos con Material Preformado	m <sup>2</sup>	121.130
Conos	N°	22.504
Baliza Luminosa de Acercamiento con Encendido Remoto	N°	2.364.978

**Fuente:** Departamento de Proyectos Viales, Dirección de Vialidad Región de Los Ríos.

Al momento de hablar de costos directamente involucrados en la pavimentación, se deben tener claro las dimensiones del proyecto. A continuación, se muestran las dimensiones principales del mismo:

- Ancho de la Calzada: 6 metros
- Ancho de la berma: 0,5 metros
- Longitud a considerar: 100 metros

En la Tabla 35 se muestran los valores de las maquinarias y trabajadores que están involucrados en la ejecución del relleno, la base y sub-base del firme.

Tabla 35: Precios unitarios de mano de obra y equipos involucrados.

<b>MANO DE OBRA</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR HD</b>
2 Jornaleros	Hd.	24.000
2 Operador Maquinaria Pesada	hh.	4.700
Operador Rodillo Compactador	hh	2.350

<b>HERRAMIENTA, EQUIPO, TRANSPORTE Y SUBCONTRATO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR (\$)</b>
Bulldozer	h.	35.000
Motoniveladora	h.	35.000
Rodillo Compactador	h.	20.000
Camión Algibe	h.	30.000
Camión Tolva	h.	15.000

**Fuente:** Departamento de Proyectos Viales, Dirección de Vialidad Región de Los Ríos.

La primera alternativa se desarrolla a partir de un pavimento flexible. A continuación, la Tabla 36 muestra los principales costos que presenta esta alternativa, señalando que para poder generar un valor a comparar, se considerarán las dimensiones del proyecto y espesores obtenidos del diseño previo.

Tabla 36: Presupuesto para pavimento asfáltico

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
<b>CAPAS GRANULARES</b>				
Sub-base Granular				
Provisión Sub-base Granular	m <sup>3</sup>	210	8.902	1.869.420
Colocación Sub-base Granular	m <sup>3</sup>	210	7.797	1.637.370
Base				
Provisión base Granular	m <sup>3</sup>	105	31.870	3.346.350
Colocación base Granular	m <sup>3</sup>	105	6.654	698.670
<b>PAVIMENTO FLEXIBLE</b>				
Imprimación				
Provisión Material Bituminoso	gl	1	550.000	550.000
Colocación de Imprimación	m <sup>2</sup>	700	356	249.200
Pavimentación Bituminoso Tipo Mezcla en Planta				
Provisión Cemento Asfáltico y Áridos	gl	1	2.645.000	2.645.000
Colocación Carpeta Asfáltica	m <sup>3</sup>	91	47.960	4.364.360
			<b>TOTAL</b>	<b>15.360.370</b>

**Fuente:** Departamento de Proyectos Viales, Dirección de Vialidad Región de Los Ríos.

Para el caso del Pavimento Rígido, se consideran los mismos parámetros adoptados en el caso del Pavimento Flexible, los costos obtenidos para esta alternativa se presentan en la Tabla 37.

Tabla 37: Presupuesto para Pavimento de Hormigón en Pesos Chilenos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
<b>CAPAS GRANULARES</b>				
Sub-base Granular				
Provisión Sub-base Granular	m <sup>3</sup>	140	8.902	623140
Colocación Sub-base Granular	m <sup>3</sup>	140	7.797	545790
Base				
Provisión base Granular	m <sup>3</sup>	105	31.870	3346350
Colocación base Granular	m <sup>3</sup>	105	6.654	698670
<b>PAVIMENTO</b>				
Provisión Cemento y Áridos	gl	1	7.820.000	7.820.000
Colocación de Hormigón	m <sup>3</sup>	140	49.512	6.931.680
Suministro de Materiales y Colocación de Sellos	ml	94,4	9.050	854.320
Cortes para Juntas	ml	94,4	2.850	269.040
			<b>TOTAL</b>	<b>21.088.990</b>

**Fuente:** Departamento de Proyectos Viales, Dirección de Vialidad Región de Los Ríos.

Una vez conocido el costo total de la implementación de ambas alternativas, se puede asegurar que el pavimento rígido presenta un costo de \$21.088.990 aproximadamente, superando ampliamente al pavimento flexible, el cual alcanza una suma de \$15.360.370 En términos porcentuales, la alternativa con hormigón cuesta alrededor de un 40% más que la alternativa con pavimento asfáltico, eso en cuanto a la puesta en marcha.

#### 6.4.1. Conservación de Ambas Alternativas y su Proyección de Costos.

La conservación que se propone, depende del tipo del pavimento. En el caso de pavimentos asfálticos se considera que lo más apropiado sería realizar intervenciones programadas, basadas en la curva de vida de estos pavimentos, pues las características de daño estructural y funcional de este tipo de infraestructura se ven muy bien reflejadas en el tipo de deterioros y nivel de severidad que presentan a lo largo de su vida útil.

Para el caso de los pavimentos asfálticos, se recomienda una conservación rutinaria la cual consiste en realizar trabajos año a año. Es importante considerar el sello de grietas y bacheos a profundidad parcial, junto con una conservación periódica donde se suman bacheos a profundidad total de poca extensión cada 3 años, y la aplicación de una lechada asfáltica a todo el pavimento cada 6 años.

En cambio, para los pavimentos rígidos se considera solo una conservación rutinaria, dado que la cantidad de Ejes Equivalentes a los que se encuentra expuesto este pavimento, solo consideran realizar trabajos de conservación de sello y resello de juntas y grietas, con el fin de aminorar al máximo el efecto del clima al que se están expuestos los pavimentos de esta Región.

Para este proyecto el costo de conservación de la alternativa de pavimento flexible es de alrededor de \$35.945.250 en los primeros 10 años para el total del camino de 2,7 km. como se observa en la Tabla 38. Por el contrario, el pavimento rígido requiere solo de \$16.831.040 para el mismo periodo.

Tabla 38: Proyección de Costos para Ambas Alternativas

<b>AÑO</b>	<b>Pav. Flexible</b>	<b>Pav. Rígido</b>
2015	2.495.000	1.044.500
2016	2.647.500	1.095.800
2017	2.800.000	1.155.000
2018	2.897.500	1.120.800
2019	3.110.000	1.342.000
2020	3.397.500	1.430.540
2021	3.595.500	1.521.000
2022	3.699.100	1.585.600
2023	3.702.600	1.854.200
2024	3.750.100	2.115.000
2025	3.850.450	2.548.600
<b>Total</b>	<b>35.945.250</b>	<b>16.813.040</b>

**Fuente:** HDM-III-CH Versión 2004

Para realizar una correcta comparación de costos entre ambas alternativas, consideraremos un tramo de 100 metros de la ruta que une Santa Elvira con El Arenal, donde se obtiene que para el pavimento flexible

que el costo de puesta en marcha es de **\$15.360.370** y el costo de conservación es de **\$1.331.305** mientras que para el Pavimento Rígido el costo de puesta en marcha es de **\$21.088.990** y el costo de conservación es de **\$622.705**. Por lo tanto, el resultado indica que para el **pavimento asfáltico se gastaran \$16.961.675 aproximadamente**, mientras que para el **pavimento de hormigón \$21.631.695**, por lo que resulta claro que la opción del Pavimento Flexible es la más conveniente.

## **7. RECOMENDACIONES GENERALES DE DISEÑO A PARTIR DEL ESTUDIO REALIZADO**

### **7.1. Recomendaciones en base a la capa de rodadura**

A partir del estudio realizado y en base a los resultados obtenidos, se presentan una serie de recomendaciones para un buen diseño y construcción, tanto de un pavimento flexible como rígido.

- Buscar la economía en las inversiones, para facilitar el aumento de este tipo de obras que benefician a la comunidad, esperando un rápido retorno, tanto proyectado en presente como a futuro.
- El resultado del pavimento siempre será proporcionar una adecuada superficie a los usuarios, excelente comodidad y seguridad para los conductores.
- Se requieren de una impermeabilidad, gran durabilidad a la exposición. Además, de estar bien protegido en contra de la acción perjudicial del medio ambiente y los agentes climáticos.
- Excelente transmisión y resistencia frente a las cargas, sobrecargas, propio peso del pavimento, que asegure una prolongada vida útil.
- Preocuparse de efectuar una evaluación social del sector comprometido, estimando el bien que se otorgará a los usuarios y habitantes del lugar.
- Construir drenajes adecuados para aguas superficiales y subterráneas de forma que no produzcan alteraciones, anegamientos y perjuicios a la comunidad.

- El trazado de caminos sea proyectado para suelos de calidad, resistentes, evitando las arcillas fangos, turbas o cualquier terreno inestable que presente problemas para la ejecución y vida útil del pavimento.

## **7.2. Recomendaciones en relación a Bases y Sub – Bases.**

- Si la sub-rasante es pésima, debe reemplazarse el material que lo compone, siempre que sea factible, y colocar suelos de mejor calidad, debidamente tratados y compactados.
- Si la sub-rasante es regular, o buena, puede prescindir de la sub-base y ejecutar una base adecuada.
- Si la sub-rasante es excelente, podría eventualmente prescindir de la sub-base e inclusive de la base.

## 8. CONCLUSIONES

La construcción de pavimentos, ya sea vía principal, colectora, troncal o de servicio es de gran importancia para la comunidad, debido al impulso económico que genera, tanto a nivel regional como nacional. Cabe destacar, que en caso de la Región de Los Ríos, los pavimentos aportan a la conectividad ya que beneficia a las principales actividades comerciales como los son la actividad forestal y agropecuaria. En este trabajo de titulación se expone el proceso constructivo del pavimento flexible y del rígido, el cual comprende varias etapas, como lo son: diseño, ejecución y mantenimiento de los mismos; así como las diferentes aplicaciones que poseen, en base a las normas y especificaciones vigentes para su construcción.

El análisis y posterior estudio sobre el pavimento rígido y el flexible realizado en el presente trabajo de titulación, está enfocado en dos aspectos principales, el funcional, en el cual tiene gran preponderancia el diseño, y por otro lado el económico, donde interviene el costo inicial de cada alternativa y el costo de conservación durante su vida de servicio. Para el camino que une el sector Santa Elvira y El Arenal, el primer aspecto nos entrega como resultado un diseño del pavimento de hormigón con una base de 200 mm de espesor que es lo mínimo exigido por el Ministerio de Obras Públicas en su Manual de Carreteras 3° Volumen, este pavimento se caracteriza como un gran distribuidor de cargas, ya que la capacidad de soporte de cargas verticales provenientes de los vehículos está dada por la losa de hormigón, cumpliendo cabalmente las exigencias de la ruta y con una bajo grado de deterioro, por otro lado el pavimento flexible resulta con una capa de rodadura de 130 mm de espesor que cumple funciones de impermeabilizado y transmisión de cargas, estando constituida por una emulsión asfáltica E-PRIME (recomendada por la empresa ASFALCHILE), y diseñada especialmente para imprimaciones de bases granulares. Con todo ello, se logra afirmar que ambas alternativas cumplen con todos los requisitos para brindar un buen servicio a través de su vida útil; tomando en consideración que la ejecución de ambos conlleva un estricto control de calidad que garantiza durabilidad y buen funcionamiento. En cuanto al segundo aspecto, se logra establecer un análisis de costo del pavimento rígido y del flexible del tramo de 100 metros, perteneciente a la ruta que une Santa Elvira con El Arenal, donde se concluye que para el pavimento asfáltico se gastaran aproximadamente \$16.96.675, mientras que para el pavimento de hormigón tendrá un costo de \$21.631.695, por ende el pavimento flexible es casi un 40% más rentable que el pavimento de hormigón. Es importante señalar que este menor costo de ejecución se ve directamente influenciado por el bajo valor del material principal (emulsión asfáltica E-PRIME) y el bajo nivel de tránsito en el tramo estudiado.

Cabe destacar que el análisis del diseño de ambas alternativas se realizó mediante el software PAVIVAL, que nos entregó los valores de las capas necesarios para determinar el costo de cada una de las alternativas. Posteriormente, con la aplicación del modelo HDM-III que proyecta el costo de conservación en período de 10 años para la ruta en la que se trabaja.

En el caso de las ventajas y desventajas de ambas alternativas, es importante conocer los parámetros a los que está sujeta la ruta seleccionada, como son el clima, la mecánica de suelos donde tiene gran preponderancia el tipo de suelo en que se va a trabajar como también la conformación de la sub-rasante, sin embargo el factor más importante es la cantidad de flujo vehicular. Bajo estos parámetros la solución más viable es la utilización del pavimento flexible debido a que el Transito Medio Diario Anual (TMDA) al que está sujeto el camino que une Santa Elvira con El Arenal no presenta mayor exigencia en cuanto a los Ejes Equivalentes, también referente a los plazos de puesta en servicio, es indudable que la ventaja la adquiera el pavimentos flexible ya que puede abrirse la tránsito, horas después de terminadas las faenas, lo que no sucede con los pavimentos de hormigón ya que necesitan como máximo de 28 días para alcanzar su mayor resistencia de trabajo. Un aspecto donde obtiene ventaja el pavimento rígido es en la conservación del mismo, debido a su bajo deterioro su costo de mantención es alrededor del 45% más económico que la mantención del pavimento flexible.

Como conclusión final, según el estudio y análisis realizado y basándose en los resultados obtenidos se puede especificar, que para el tramo que une Santa Elvira y El Arenal ubicado en Valdivia en la Región de los Ríos, se elegirá construir un pavimento flexible, el cual es económicamente más rentable en lo que se refiere a inversión inicial, y que cumple satisfactoriamente con las condiciones de diseño, en comparación con el pavimento rígido que presenta una conservación más económica pero de un costo de implementación muy por encima del pavimento flexible.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Almonte, L., (1999) “Valorización del Patrimonio Vial”. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

American Association of State Highway and Transportation Officials, (2002) 444 North Capitol Street, N.W., Suite 249 Washington, D.C. 20001

Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto, (1972) “Pavimentos urbanos de concreto de cemento Portland”. ACC. México.

Burgos R. Nicolás (2008) “Comparación de varias estructuras de pavimentos flexibles y rígidos, sector Polpaico – La Trampilla”, Santiago de Chile.

Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas, (1997) “Evaluación de Proyectos Viales Interurbanos” Manual de Carreteras Volumen 1, Chile.

Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas, (2012) “Instrucciones y Criterios de Diseño” Manual de Carreteras Volumen 3, Chile.

Dirección de Vialidad- Ministerio de Obras Públicas, (2010) “Especificaciones Técnicas Generales de Construcción” Manual de Carreteras Volumen 5, Chile.

Dirección de Inversión Pública, Provincia de Buenos Aires (2008) “Guía Sectorial: Pavimentos”. Argentina.

Departamento de Gestión Vial Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Públicas, (2012) “Red Vial Nacional - Dimensionamiento y Características”, Chile.

Dirección de Vialidad – Ministerio de Obras Públicas (2005) “Texto Guía Caminos Básicos”

Errázuriz A., González J., (2010) “ATLAS UNIVERSAL CHILE REGIONALIZADO”, 23ª Edición ZIGZAG, Chile

European Concrete Paving Association (2010) “Pavimentos de Hormigón, Una Alternativa Inteligente”.

- Fernández, S., (2002) “Análisis de la Evolución del Valor del Patrimonio Vial. Aplicado a la V Región de Chile, Memoria para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Grupo de Empresas Polpaico. (2011) “Manual del Constructor”.
- Instituto Chileno del Asfalto, (1995) “Tecnología Del Asfalto y Practicas de Construcción – Guía para Instructores”, Buenos Aires Argentina.
- Instituto Chileno del Hormigón (1997) “Guía para la restauración y mantención de espesor parcial”. Santiago de Chile.
- Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (2005) “Diseño y técnicas de construcción de pavimentos de concreto”. IMCYC. México.
- Instituto Nacional de Normalización (1975) NCh 1017 Of 75 “Hormigón – Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción”. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (1977) NCh 1037 Of 77 “Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas”. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (1985) NCh 170 Of 85 “Hormigón – Requisitos Generales”. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (2008) NCh 1508 “Geotecnia – Estudio de mecánica de Suelos”. Chile.
- Kraemer C., Pardillo J., Rocci S., Romana M., (2004) “Ingeniería de Carreteras Volumen 2”, Madrid, España.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2008) “Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación”.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2007) “Investigación de Bases y Subbases de pavimentación. Guía de diseño de pavimentación”.

Schliessler, Bull, (1994) "CAMINOS, un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales",  
CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la ONU).

THE ASPHALT INSTITUTE, (2000) "Manual del Asfalto, Productos Asfálticos S. A.", Madrid, España.

Torres Z. Rafael (2007) "Análisis Comparativo de Costos entre el Pavimento Flexible y el Pavimento  
Rígido". Guatemala.