

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL**



**“Estudio de Soluciones para Pavimentación de  
Canchas de Acopio para Industrias Forestales.”**

**Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para  
obtener el Título de Ingeniero Civil.**

**ROBINSON PÉREZ REYES.**

**Prof. Guía: Marcos Pardo Rojas.**

**Concepción, Agosto del 2008.**

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>Capítulo I</b>	
<b>Presentación</b>	<b>01</b>
1.1    Introducción	01
1.2    Justificación del Tema	02
1.3    Objetivos	03
1.3.1  Objetivo General	03
1.3.2  Objetivos Específicos	03
1.3.4  Funciones que debe cumplir el pavimento en las canchas de acopio	03
<b>Capítulo II</b>	
<b>Aspectos Teóricos en el Diseño Estructural de     Pavimentos</b>	<b>05</b>
2.1    Introducción	05
2.2    Clasificación de Pavimentos	06
2.2.1  Pavimentos Rígidos	06
2.2.2  Pavimentos Flexibles	06
2.3    Factores que influyen en el Diseño Estructural	07
2.3.1  Pavimentos de Hormigón	07
2.3.2  Pavimentos de Asfalto	08
2.4    Diseño en Pavimentos de Hormigón	10
2.4.1  Tipos de Pavimentos de Hormigón	10
2.5    Diseño en Pavimentos de Asfalto	12
2.5.1  Tipos de Pavimentos de Asfalto	12
2.5.1.1  Riegos Asfálticos	13
2.5.1.2  Capas Asfálticas de Protección	13
2.5.1.3  Capas Asfálticas Estructurales	14
2.6    Diseño de Pavimentos de Adoquines de Concreto	16
2.6.1  Comportamiento Estructural	17

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

2.6.2	Transmisión de Esfuerzos	17
2.6.3	Características de estructuras de Rodado	19
2.6.4	Influencias de las Capas Intermedias	23
2.6.5	Acción Climática	24
2.6.6	Estructura típica de un Pavimento de Adoquín	25
<b>Capítulo III</b>		
	<b>Análisis de las Canchas de Acopio</b>	<b>26</b>
3.1	Introducción	26
3.2	Definición Cancha de Acopio	26
3.3	Tipos de Canchas	26
3.4	Dificultades de las Canchas	28
3.5	Requerimientos de las Canchas	29
3.6	Características de las Canchas	29
<b>Capítulo IV</b>		
	<b>Diseño Estructural de Pavimentos</b>	<b>31</b>
4.1	Introducción	31
4.2	Factores a Considerar en el Diseño Estructural de Pavimentos	31
4.2.1	Factores Funcionales	32
4.2.2	Demandas y Características de Tránsito	32
4.2.2.1	Tipos de Ejes	32
4.2.2.2	Eje Estándar	36
4.2.2.3	Factores de Equivalencia	36
4.2.2.4	Ejes Equivalentes de Diseño para Pavimento Asfáltico	38
4.2.2.5	Ejes Equivalentes de Diseño para Pavimento de Hormigón	41
4.2.2.6	Número de viajes que realiza cada tipo de vehículo en las canchas	42
4.3	Diseño Cancha de Acopio para los Vehículos	43
4.3.1	Cancha de Asfalto	43

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

4.3.2	Cancha de Hormigón	48
4.3.3	Cancha de Adoquines	51
4.3.4	Cancha con Tratamiento Superficial	55
4.3.5	Cancha con Base Tratada con Cemento	57
4.4	Diseño Cacha de Acopio para los troncos de Madera	62
4.4.1	Cancha de Hormigón	62
4.4.2	Cancha de Asfalto	67
4.4.3	Cancha de Adoquines	69
4.4.4	Cacha con Tratamiento Superficial	69
4.4.5	Cancha con Base Tratada con Cemento	69
4.5	Elección del Dimensionamiento de las Canchas	70
4.5.1	Tabla Resumen Dimensionamientos	71

**Capítulo V**

	<b>Evaluación del Drenaje de las Canchas</b>	<b>72</b>
5.1	Introducción	72
5.2	Descripción del Sistema de Riego	74
5.2.1	Sistema de Captación	74
5.2.2	Recuperación de Agua de Riego	74
5.2.3	Agua Excedente	74
5.2.4	Matrices	75
5.2.5	Impulsión	75
5.2.6	Cámara	75
5.2.7	Aspersores	75
5.3	Comportamiento del Sistema de Drenaje para cada Tipo de Pavimento	76
5.3.1	Cancha de Asfalto	76
5.3.2	Cancha de Hormigón	76
5.3.3	Cancha de Adoquines	77
5.3.4	Cancha con Tratamiento Superficial	77
5.3.5	Cancha con Base Tratada con Cemento	78

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Capítulo VI**

	<b>Análisis Técnico-Económico de las Soluciones</b>	<b>79</b>
6.1	Introducción	79
6.2	Análisis Técnico de las Soluciones	79
6.2.1	Cancha de Asfalto	79
6.2.2	Cancha de Hormigón	80
6.2.3	Cancha de Adoquines	81
6.2.4	Cancha con Tratamiento Superficial	82
6.2.5	Cancha con Base Tratada con Cemento	83
6.2.6	Cuadro comparativo, características técnicas de las distintas soluciones	84
6.3	Análisis Económico de las Soluciones	84
6.3.1	Cancha de Asfalto	84
6.3.2	Cancha de Hormigón	85
6.3.3	Cancha de Adoquines	85
6.3.4	Cancha con Tratamiento Superficial	86
6.3.5	Cancha con Base Tratada con Cemento	86
6.3.6	Tabla Resumen de Costos	87

**Capítulo VII**

	<b>Conclusiones y Comentarios</b>	<b>88</b>
--	-----------------------------------	-----------

	<b>Bibliografía</b>	<b>91</b>
--	---------------------	-----------

	<b>Anexos</b>	<b>93</b>
--	---------------	-----------

Anexo A	Metodología de Diseño en Pavimentos de Hormigón	94
Anexo B	Metodología de Diseño en Pavimentos de Asfalto y Base Tratada con Cemento	103
Anexo C	Metodología de Diseño en Pavimentos de Adoquines de Concreto	112

*Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.*

Anexo D	Metodología de Diseño en Pavimentos con Tratamiento Superficial.	118
---------	--	-----

## **CAPÍTULO 1.**

### **PRESENTACIÓN.**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

Las canchas de acopio juegan un rol importante para las diversas industrias que requieren maderas (troncos) para su producción, en donde lo primordial es que estas se encuentren en adecuadas condiciones para el correcto depósito y evacuación de troncos.

En la actualidad, solamente las grandes industrias presentan canchas de acopio mejoradas, esto es debido a que poseen canchas pavimentadas principalmente con asfaltos, hormigón o adoquines. Si bien lo anterior representa una importante inversión, a la postre, ese costo se recupera obteniendo importantes ahorros financieros, debido a que no es necesario una reparación anual de la superficie de la cancha, como se realiza en las canchas no pavimentadas. Al mismo tiempo, se reducen los problemas en las máquinas que procesan los troncos, ya que las maderas al estar en canchas pavimentadas, ingresan más limpias al proceso, es decir, no llevan piedras.

Por esto, el objetivo de este proyecto de título es entregar una solución, acorde para cada caso, es decir, una solución tanto para una gran empresa como el caso de una celulosa, como también para un pequeño aserradero, tomando en cuenta para esto, principalmente el tema de los costos que involucra la solución, considerando la gran diferencia económica existente entre una y otra empresa.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.**

Para una empresa que necesita recursos forestales como insumo para su funcionamiento, como es el caso de: papeleras, laminadoras, celulosas, chipeadoras, aserraderos entre otras, es indispensable dentro de estas la presencia de canchas de acopio, con el fin de almacenar una cantidad suficiente de troncos, la cual permitan asegurar el funcionamiento de la empresa y a la vez poseer una reserva considerable ante posibles problemas de abastecimiento.

Actualmente, la gran mayoría de las canchas de acopio o bien no presentan ninguna solución de superficie (tierra), o sólo presentan una base estabilizada.

Debido a esto se presenta un serio problema para las industrias. Como los troncos, se encuentran un largo tiempo acopiados, y debido al gran peso que son sometidos, en los que se encuentran a ras de la cancha se incrustan piedras, las que provocan graves daños a las maquinas que procesan estos troncos. Al chocar las piedras incrustadas en los troncos con las hojas o dientes de las maquinas, originan fallas irreversibles, por lo que las industrias deben incurrir en elevados costos debido a su reparación.

Por otro lado, si bien el costo de pavimentar una cancha es elevado, en comparación al costo de mantención que se le debe hacer a las canchas no pavimentadas cada año, es considerablemente menor.

Por estos motivos se justifica el hecho de desarrollar una alternativa de pavimentación en las canchas.



### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la solución técnica y económica mas adecuada de las distintas alternativas de pavimentación para canchas de acopio que se emplean para el almacenamiento de la madera dentro de las industrias forestales, de manera que permita su correcto funcionamiento.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Conocer el funcionamiento de las canchas de acopio.
- Diseñar y evaluar las distintas soluciones de pavimentos para canchas de acopio.
- Analizar el comportamiento de los sistemas de drenajes para los distintos tipos de pavimentos que se emplean para las canchas de acopio.
- Realizar un análisis técnico-económico de las soluciones viables.

#### **1.3.4. FUNCIONES QUE DEBE CUMPLIR EL PAVIMENTO EN LAS CANCHAS DE ACOPIO.**

- Resistir las cargas de los troncos y maquinaria, y transmitir las a la subrasante sin sobrepasar la resistencia de ésta, ni la resistencia interna del pavimento.
- Impedir la penetración del agua sobre el suelo.
- Proporcionar una capa de rodadura cómoda y segura a la diversidad de maquinaria que transita sobre la cancha.

*Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.*

- No desintegrarse ante el uso para evitar la contaminación de las materias primas.

## **CAPÍTULO 2.**

### **ASPECTOS TEÓRICOS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN.**

El pavimento corresponde al conjunto de capas superpuestas de diferentes materiales que se apoyan sobre la subrasante, las que deben soportar las cargas del tránsito por un periodo determinado de tiempo, bajo las variadas condiciones climáticas, sin deterioros que afecten la seguridad, comodidad y la propia integridad del pavimento.

Para este caso, como se trata del pavimento de una cancha de acopio, no deberá soportar las cargas de tránsito ya que por éstas no transitan vehículos de manera regular (salvo las maquinas y camiones de carga y descarga de los troncos), sino que tendrá que soportar la carga constante de los troncos acopiados.

Este capítulo pretende dar a conocer las herramientas básicas en el diseño de las distintas alternativas evaluadas, en lo que respecta al diseño propiamente tal.

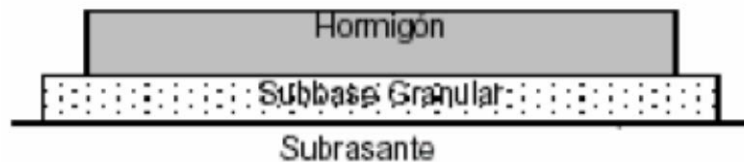
## 2.2. CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS.

### 2.2.1. Pavimentos Rígidos.

Tienen una capa de rodadura de hormigón y normalmente se coloca una subbase entre la subrasante y el hormigón. Dado su elevado módulo de elasticidad tiende a distribuir la carga sobre un área relativamente grande de suelo, por lo que gran parte de la capacidad resistente de la estructura es proporcionada por la losa. Entonces el Hormigón es quien aporta la estructura, el aporte de la subbase es casi nulo y la subrasante no aporta.

**Figura 2.1.**

Sección típica de un pavimento de Hormigón.



Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

### 2.2.2. Pavimentos Flexibles.

Se caracterizan por repartir y distribuir las cargas a través de las capas que la componen, estas capas son de mejor calidad en la superficie y van decreciendo hasta llegar a la subrasante, y por lo tanto, su comportamiento queda determinado por las propiedades elastoplásticas del suelo de fundación.

**Figura 2.2.**

Sección típica de un pavimento de Asfalto.



Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

En materia de pavimento son muchas las soluciones que se presentan. En este caso se analizarán las alternativas de pavimentación tradicional como son los pavimentos de hormigón y asfaltos, incorporando además la alternativa de adoquines, los cuales han sido utilizados ampliamente en Europa y en algunos casos a nivel nacional.

## **2.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL.**

La temperatura y la humedad son variables de significancia en el diseño de pavimentos, pues los módulos de las mezclas dependen directamente de la temperatura, y por otra parte, en las bases, subbases y subrasantes existe apreciable variación de sus propiedades con la variación de la humedad.

### **2.3.1. Pavimentos de Hormigón.**

#### **Temperatura.**

El principal efecto se refiere al alabeo de la losa, debido a una desigual dilatación o contracción de las fibras paralelas a la superficie.

Otro problema es el congelamiento de la superficie del camino, de la base o subrasante:

- En la superficie, el agua que pueda existir en juntas o huecos se expande, generando tensiones y grietas en el pavimento.
- En las subbases, los intersticios atraen agua que luego se descongela arrastrando los finos fuera de la estructura del pavimento.
- En el suelo de fundación (subrasante), los cambios volumétricos que experimentan por efecto de congelamiento pueden llegar a levantar el pavimento.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

## **Humedad.**

La penetración de agua a la interfaz losa-subbase, modifica las condiciones de apoyo y las condiciones de humedad del hormigón.

Las principales consecuencias son las siguientes:

- Cambio de volumen por variaciones de humedad en la losa.
- Alabeo de las losas hacia arriba cuando la superficie esta más seca.
- Expansión del hormigón.
- Transporte de contaminantes en grietas y juntas.
- Reducción de la resistencia y estabilidad de la subbase y subrasante.
- Corrosión de los elementos de acero en el pavimento.
- Efectos sobre la resistencia al deslizamiento.

### **2.3.2. Pavimentos de Asfalto.**

## **Temperatura.**

➤ Efecto de altas temperaturas:

- Ablandamiento del asfalto.
- Reducción de la viscosidad del asfalto.

➤ Efecto de bajas temperaturas:

- Pérdida de flexibilidad.
- Grietas por contracción.

Al igual que en caso de pavimentos de hormigón, las bajas temperaturas pueden producir congelamiento, tanto en la superficie como en las capas granulares y subrasante, con los efectos antes descritos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Humedad.**

El efecto de la humedad dependerá principalmente de:

- Adherencia del asfalto agregado.
- Tipo de graduación (abierta o cerrada).
- Cantidad de huecos.
- Cantidad de asfalto.
- Espesor de la película de asfalto.

Las principales consecuencias son:

- Disgregación de la mezcla.
- Transporte de contaminantes en grietas.
- Reducción de la resistencia y estabilidad de la base, subbase y subrasante.
- Reducción de la resistencia al deslizamiento.

## **2.4. DISEÑO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.**

### **Introducción.**

Desde hace ya varios años, aproximadamente de la década de los 50 se han desarrollado diversos métodos de diseño de pavimentos de Hormigón, entre los cuales destacan los métodos PCA, AASHTO, BROKAW, SHELL. De estos métodos el más empleado a nivel mundial es el AASHTO, principalmente porque cuenta con el respaldo de pruebas de ensayos a escala, en el cual se basan las relaciones matemáticas que constituyen el diseño (Cabrera, 1998).

En Chile la metodología actualmente vigente en el diseño de pavimentos de hormigón es la versión AASHTO 1993.

Con el objetivo de obtener el diseño en pavimentos de hormigón. Este punto pretende presentar aquellos aspectos que son básicos y necesarios para obtener el dimensionamiento de la estructura del pavimento de hormigón.

### **2.4.1. TIPOS DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.**

Por lo general los pavimentos de Hormigón están condicionados a no permitir grandes deformaciones. Las deformaciones, son absorbidas por la losa de hormigón que posee una alta rigidez, la cual permite que los esfuerzos a los que es sometida sean transmitidos en menor grado a las capas inferiores, que pueden ser de suelo natural o material mejorado.

Los tipos de pavimentos de Hormigón considerando el aspecto de la rigidez son:

- Pavimento de hormigón compactado con rodillo (H.C.R.) con juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón simple con juntas poco espaciadas.
  - Sin elementos de traspaso de carga.

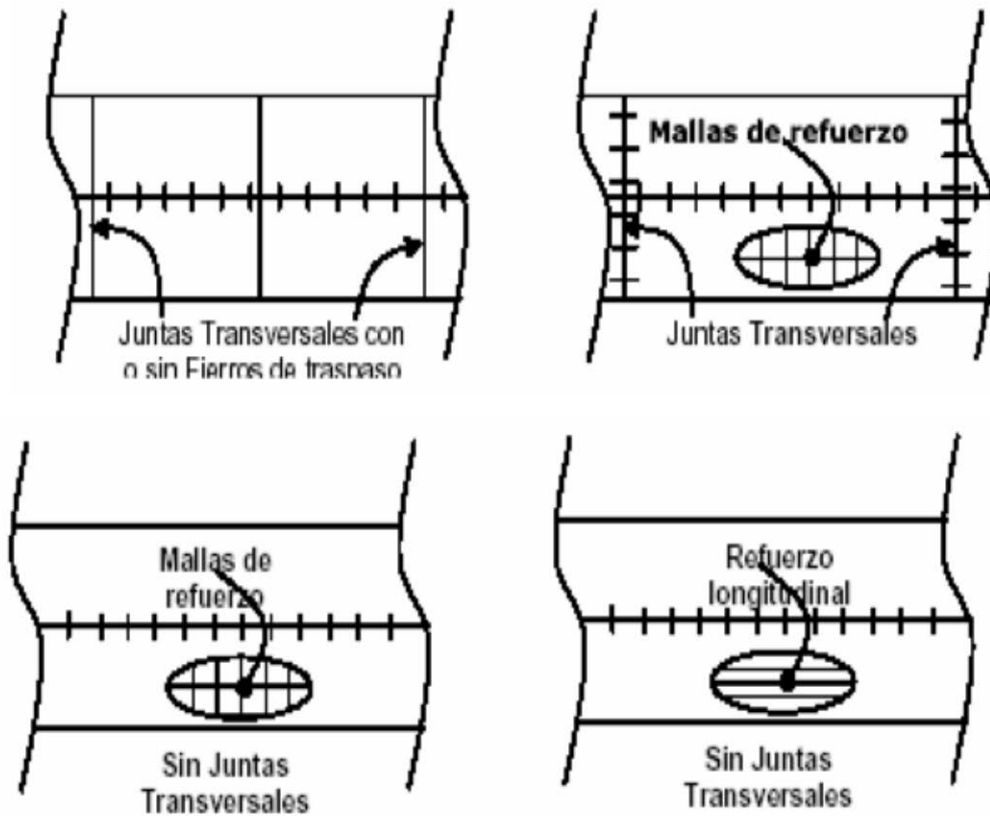


Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- Con elementos de traspaso de cargas.
- Pavimentos de hormigón con refuerzo simple, con elementos de traspaso de carga y juntas espaciadas.
- Pavimentos de hormigón armado.
- Pavimento de hormigón pretensado o postensado.

**Figura 2.3.**

Tipos de pavimentos de Hormigón.



Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

## **2.5. DISEÑO EN PAVIMENTOS DE ASFALTO.**

### **Introducción.**

El asfalto es un material que se obtiene de la destilación del petróleo, es un material negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso con propiedades aglutinantes que se licua gradualmente al calentarse.

Este material más el agregado de un material pétreo seleccionado conforman la carpeta asfáltica que es la parte superior del pavimento flexible.

La estructura del pavimento asfáltico generalmente esta conformado por tres capas, unidas sobre la subrasante. Una capa superficial o de rodado que es la carpeta asfáltica, la base que puede ser de un material granular mejorado o una mezcla de un material pétreo con cemento Pórtland o asfalto y la subbase que en algunos casos se puede prescindir de ella y esta puede ser de un material granular mejorado. Todas estas capas actúan en conjunto con el fin de disminuir las tensiones ejercidas en la subrasante o suelo de fundación y que no produzca deformaciones permanentes en ella.

En Chile, los pavimentos asfálticos son muy usados generalmente en la construcción de grandes volúmenes de pavimento; y para este tipo de obras, la metodología de diseño usada y aceptada por el SERVIU, es el método AASHTO 1993.

Este capítulo pretende entregar una breve descripción en los aspectos que se deben considerar, en el diseño de pavimentos asfálticos.

### **2.5.1. TIPOS DE PAVIMENTOS DE ASFALTO.**

El tipo y grado de asfalto a usar en una determinada obra dependen del objetivo de dicha obra, del tipo de pavimento a confeccionar, del clima imperante, de los agregados disponibles en la zona y de la intensidad del

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

tránsito. En el caso de este estudio, además dependerá del peso al que se someterá. Entre los tipos de pavimentos de asfalto, destacan tres grupos:

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

#### **2.5.1.1. Riegos Asfálticos.**

Son aplicaciones delgadas y uniformes de algún tipo de ligante asfáltico sobre superficies, ya sean de pavimentos existentes, bases estabilizadas o de suelo. Según su función es el nombre que toman estos riegos, y los más empleados son:

- Imprimación.
- Riego de liga (tack coat).
- Sello negro (fog seal).
- Matapolvo.
- Membrana para curado.

#### **2.5.1.2. Capas Asfálticas de Protección.**

Se llaman capas de protección a cualquier tratamiento asfáltico que, por sus condiciones de mezcla o espesor, no aportan estructura al pavimento y sólo lo protegen, brindándole gran resistencia e impermeabilidad superficial. Las capas de protección más usadas son:

- Sello de agregado de penetración invertida.
- Sello de lechada asfáltica.
- Tratamiento superficial doble o múltiple.

### **2.5.1.3. Capas Asfálticas Estructurales.**

Son aquellas que por condiciones de mezcla y espesor, forman una estructura resistente computable en el diseño del espesor de un pavimento flexible.

Las capas asfálticas estructurales, y por ende las mezclas asfálticas que las forman se pueden clasificar en:

1.- De acuerdo a su posición relativa dentro de la estructura del pavimento.

- Carpeta de rodado.
- Carpeta intermedia o binder.
- Capa base.

2.- Según la granulometría.

- Mezclas de graduación fina.
- Mezclas de graduación densa.
- Mezclas de graduación gruesa.
- Mezclas de graduación abierta.

3.- Según el porcentaje de huecos en la mezcla.

- Mezclas abiertas.
- Mezclas cerradas.

4.- Según la temperatura de confección de la mezcla asfáltica.

- Mezclas en caliente.
- Mezclas en frío.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

5.- Según el lugar donde se producen.

- Mezclas en sitio.
- Mezclas en planta.

A continuación se detallan algunas características de las mezclas en planta.

Mezclas en planta en caliente.

La mezcla en planta en caliente es el producto resultante de mezclar en una planta y a una temperatura de 160 a 175° C, dosis de uno o más agregados pétreos con cemento asfáltico. Una vez obtenido el producto se esparce en terreno y se compacta en caliente.

Los concretos asfálticos obtenidos en planta en caliente se utilizan principalmente como carpetas de rodado y capas nivelantes. Dependiendo de la granulometría del agregado empleado, pueden ser mezclas de graduación densa o graduación abierta.

Los cementos asfálticos normalmente utilizados son del tipo CA 60-70 y CA 85-100.

Mezclas en planta en frío.

Es el producto resultante de la mezcla en un equipo adecuado de dosis de agregados pétreos y asfaltos líquidos, como son los asfaltos cortados y emulsiones. Esta mezcla se esparce en terreno y se compacta en frío. Al igual que las mezclas en caliente, estas se clasifican en graduación abierta y densa.

Las mezclas en frío se utilizan principalmente como carpetas de rodado, capas nivelantes y además como material de conservación.

Los ligantes utilizados para la confección de la mezcla en frío son generalmente asfaltos cortados y emulsiones. Es recomendable usar asfaltos de curado rápido principalmente de quiebre lento o medio y asfaltos cortados.

## **2.6. DISEÑO DE PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO.**

### **Introducción.**

La historia de los pavimentos de adoquines se confunde prácticamente con el inicio de nuestra civilización. Aunque su uso en la pavimentación de caminos tuvo un papel preponderante en los países bajos, durante la década de los cincuenta, producto de perfeccionadas tecnologías de prefabricación en hormigón, se encuentra el adoquín como elemento básico constitutivo de los pavimentos articulados. Desde entonces, su empleo se ha incrementado notablemente, tanto en los países mencionados, como muchos otros países Europeos.

Durante muchos años, los adoquines de concreto se han empleado exitosamente para revestir caminos de tránsito pesado, como áreas de estacionamiento de aviones pesados, patios de carga de puertos y otros pavimentos en grandes áreas industriales. La dureza de los adoquines les proporciona además, considerable resistencia al impacto y no sufren daños estructurales a causa de los derrames de aceite.

Por otra parte, en áreas propensas a hundimientos diferenciales del terreno, una superficie de adoquines de concreto se comporta de manera similar a un pavimento flexible, por esta razón son clasificados del tipo "Pavimentos flexibles".

En Chile estos pavimentos son usados generalmente en la construcción de pasajes y calles; para este tipo de obras, la metodología de diseño se basa en las experiencias Australianas que han tenido amplia aceptación internacional. Conviene destacar que estas mismas experiencias han dado origen al método de diseño que recomienda el Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

Al igual que las alternativas anteriores, a continuación se pretende dar a conocer los aspectos que son necesarios de considerar, en el diseño de pavimentos de adoquines.

### **2.6.1. Comportamiento estructural.**

Estudios realizados han demostrado que los pavimentos de adoquines presentan un comportamiento similar a los pavimentos flexibles, en lo que se refiere a las propiedades de distribución de tensiones y desarrollo de deformaciones.

Por ello, el modo de falla típica de estos pavimentos es la acumulación de deformaciones permanentes (ahuellamiento), provocadas por la repetición de cargas que sobrepasan la capacidad elástica de las capas estructurales del pavimento.

### **2.6.2. Transmisión de esfuerzos.**

En el caso de los pavimentos de adoquines, la capacidad estructural de la superficie de rodado esta dada fundamentalmente por la transmisión de esfuerzos entre elementos vecinos.

La trabazón es el mecanismo que permite la transmisión de esfuerzos entre los adoquines y se le define como la capacidad de estos elementos para resistir un desplazamiento relativo con respecto a sus vecinos.

Una buena trabazón le confiere a los adoquines la capacidad de transmitir las cargas superficiales aplicadas en áreas pequeñas, ampliando esta transmisión a áreas más extensas de la capa de subbase, lo cual mantiene las presiones en la subrasante dentro de límites admisibles.

Es importante mencionar el hecho de que la propiedad de distribución de cargas va mejorando con el uso, produciéndose hermeticidad (estado de trabazón total), por lo cual la capa de rodado va adquiriendo mayor rigidez y los adoquines gracias a esto pasan de ser una capa de desgaste a una capa estructural.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

En la trabazón se distinguen tres tipos fundamentales como los mostrados en las siguientes figuras:

- Trabazón vertical.

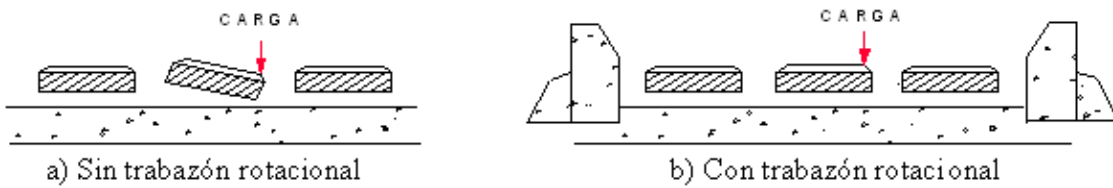
**Figura 2.4.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

- Trabazón rotacional.

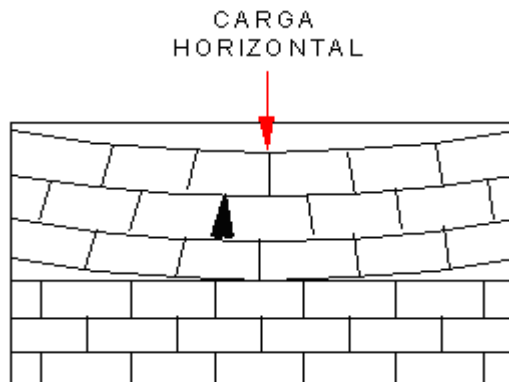
**Figura 2.5.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

- Trabazón horizontal.

**Figura 2.6.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).



### 2.6.3. Características de las estructuras de rodado.

En general el comportamiento de un pavimento de adoquines depende de los siguientes factores:

- Forma de los adoquines.
- Espesor de los adoquines.
- Aparejo de colocación de los adoquines.
- Resistencia mecánica.
- Juntas entre adoquines.

#### ➤ **Forma de los adoquines.**

En Australia se han realizado estudios que aseguran que los adoquines dentados con calce geométrico en sus cuatro costados proveen una mayor distribución de cargas, hecho que no considera así la escuela Británica, que señala que estos no son mejores que los adoquines de bordes suaves. Sin embargo en Chile debido a las extensas investigaciones realizadas en Australia, con pavimentos bajo tráfico dan mayor fuerza los argumentos de estos investigadores.

Las formas que presentan los adoquines son de tres tipos como se muestra a continuación:

**Forma A:** Corresponde a adoquines dentados que se entrelazan entre sí en los cuatro costados, este tipo de adoquín aportan trabazón en todas direcciones.

**Figura 2.7.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Forma B:** Adoquines dentados que se entrelazan entre sí sólo en dos costados, este tipo de adoquín aportan trabazón en una sola dirección, ya que presentan ondulación en una sola cara.

**Figura 2.8.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

**Forma C:** Las formas de este tipo de adoquín pertenecen a formas rectangulares u otras formas geométricas. La estabilidad que presentan estas formas a los desplazamientos relativos, dependerá de la forma de aparejarlos y del confinamiento lateral.

**Figura 2.9.**



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

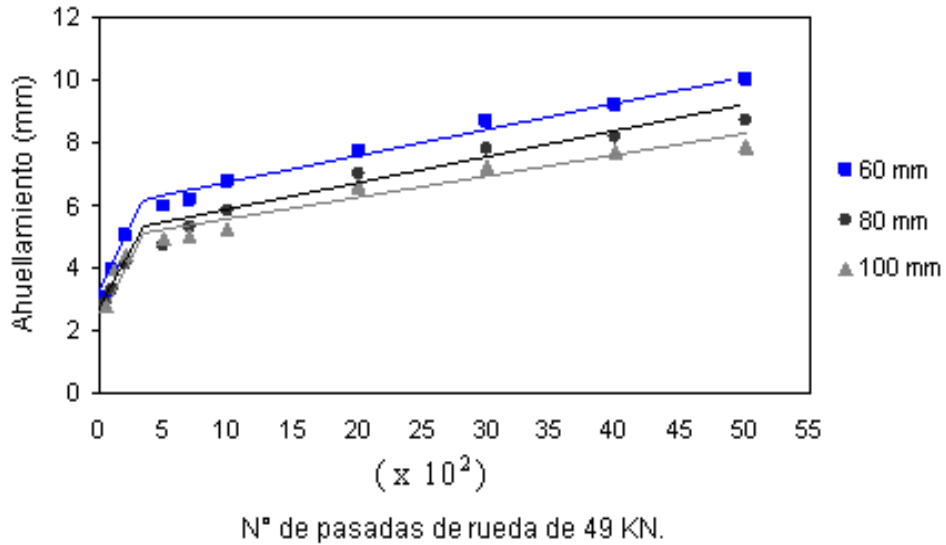
➤ **Espesor de los adoquines.**

Diversos ensayos efectuados señalan que las deformaciones en el pavimento, son considerablemente menores en espesores de adoquines de 80 mm que 60 mm en igualdad de condiciones. Con respecto a los de 100 mm de espesor, el beneficio adicional no es tan acentuado. A continuación se muestran los resultados de uno de estos ensayos.

**Figura 2.10.**

Influencia del espesor de los adoquines en la deformación del pavimento.

**Variación de Espesor v/s Carga**



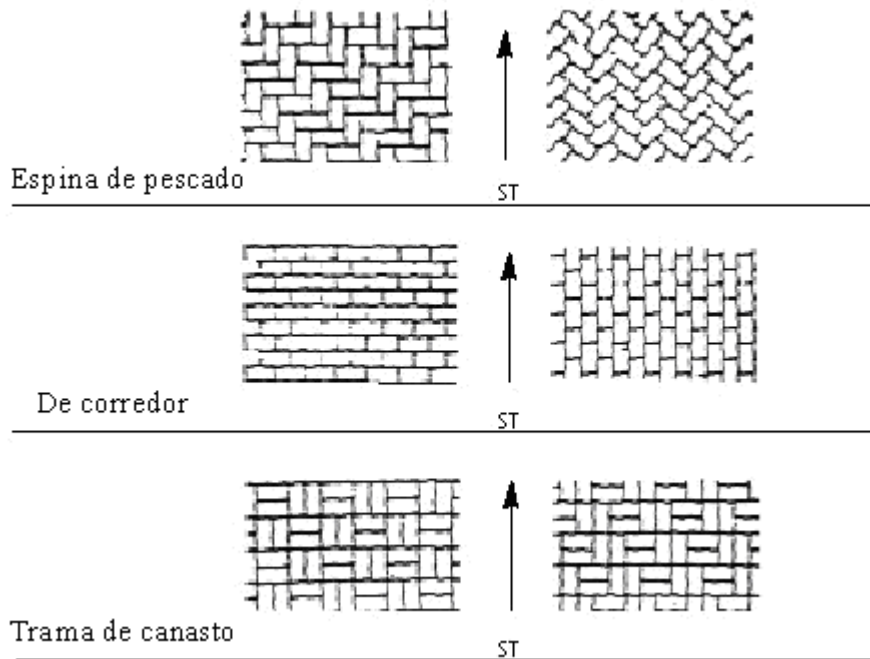
Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

➤ **Aparejo de colocación de los adoquines.**

El aparejo de colocación de los adoquines es la forma de colocar los adoquines en conjunto, tal que puedan actuar como una estructura de pavimento flexible. Las formas típicas de aparejarlos son las que se muestran en seguida.

**Figura 2.11.**

Aparejos más usados para colocar los adoquines.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

ST: Sentido del trafico

➤ **Resistencia mecánica.**

Estudios demuestran que la resistencia a compresión de los adoquines no es muy influyente en el comportamiento de los pavimentos bajo cargas vehiculares, sin embargo, las resistencias recomendadas para tráfico ligero varían de 35 a 45 Mpa.

En Europa y Estados Unidos sin embargo, se exigen resistencias que varían entre 50 y 60 Mpa.

➤ **Juntas entre adoquines.**

El ancho de las juntas y el material de sello tienen un importante rol en la transferencia de esfuerzos entre los adoquines. El ancho dentro del cual la respuesta estructural del pavimento es óptima varía entre 2 a 5 mm.

#### 2.6.4. Influencia de las capas intermedias.

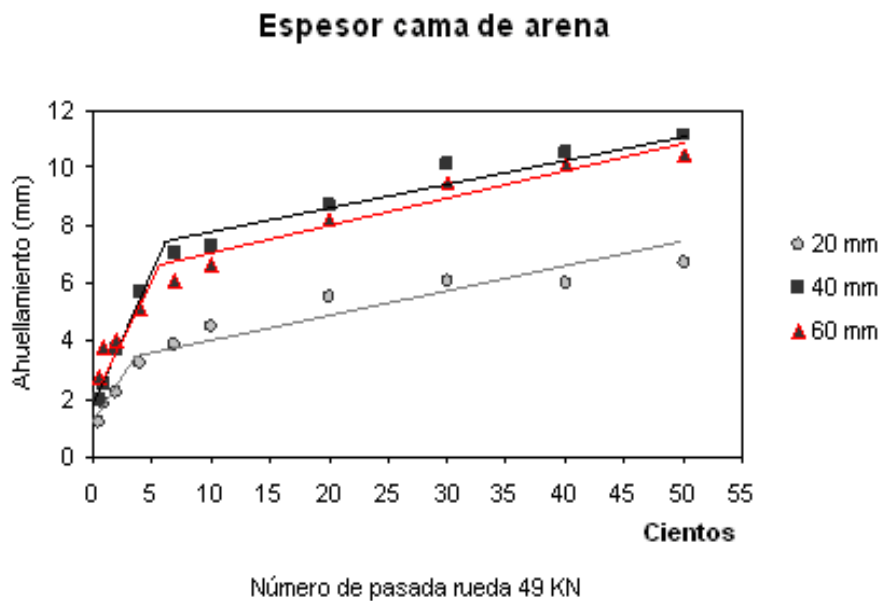
##### ➤ Cama de arena.

El objetivo básico de la cama de arena es servir de base para la colocación de los adoquines y proveer material para el sello de las juntas.

Con respecto al espesor, ensayos demuestran que al disminuir el espesor de la cama de arena disminuyen las deformaciones verticales en el pavimento. En figura siguiente se muestran los resultados de esos ensayos.

**Figura 2.12.**

Influencia de la cama de arena en la deformación del pavimento.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

##### ➤ Subbase.

La subbase es una capa intermedia entre la subrasante y la cama de arena. Consistente en suelo natural o mejorado y el objetivo de esta capa es absorber

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

un porcentaje de carga, de tal modo de transmitir las en menor intensidad al suelo natural, que generalmente posee menos capacidad de soporte.

Otra función de esta capa, es servir de drenaje de las aguas superficiales y absorber el efecto de capilaridad de las aguas subterráneas, principalmente de napas freáticas.

#### **2.6.5. Acción climática.**

Los efectos del clima sobre un pavimento de adoquines se dejan sentir fundamentalmente a través de:

➤ **Penetración de agua superficial.**

La penetración de agua superficial a las capas inferiores del pavimento, puede ser perjudicial para un buen comportamiento de este si los materiales existentes o de empréstito son susceptibles de deteriorarse con la humedad.

➤ **Napa subterránea.**

Al igual que en el caso de infiltración de agua superficial puede producir un deterioro en aquellos materiales susceptibles a la humedad y con ello un deficiente comportamiento del pavimento.

➤ **Efecto de las heladas.**

Su efecto se manifiesta de dos posibles maneras:

- Aumento de volumen por expansión de agua al congelarse en las épocas frías del año.
- Reducción de la capacidad resistente de los materiales de base durante el periodo de deshielo en la primavera.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

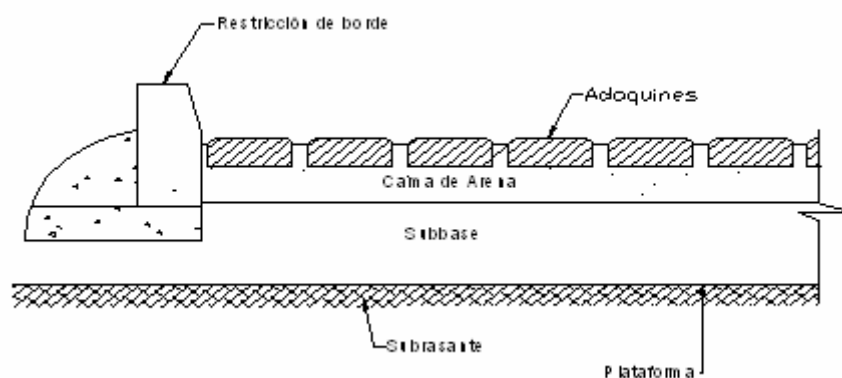
Sin embargo, para que las heladas afecten de alguna manera al pavimento, se deben cumplir las siguientes tres condiciones (sin que falte ninguna).

- Baja temperatura ambiental por períodos largos.
- Penetración de agua dentro del pavimento.
- Materiales susceptibles de ser afectados por las heladas.

**2.6.6. Estructura típica de un pavimento de adoquín.**

**Figura 2.13.**

Estructura típica de un pavimento de adoquín.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

## **CAPÍTULO 3.**

### **ANÁLISIS DE LAS CANCHAS DE ACOPIO.**

#### **3.1. INTRODUCCIÓN.**

Dentro de una industria forestal, la madera es indispensable para su correcto funcionamiento, por lo cual debe existir la cantidad necesaria de ésta para evitar un desabastecimiento, lo que podría provocar el desperdicio de tiempo, recursos económicos y el incumplimiento de los compromisos pactados.

Por esto es que las canchas de acopio son fundamentales, ya que gracias a ellas, se puede mantener el stock necesario para el funcionamiento continuo de la industria, tanto para la actualidad, como para la prosperidad. Un apropiado volumen de acopio, es fundamental para el funcionamiento óptimo, ya que en caso de problemas para surtir sus canchas, se cuenta con una buena cantidad de reserva.

#### **3.2. DEFINICIÓN CANCHA DE ACOPIO.**

Puede definirse como el lugar físico en el cual se acumulan los productos forestales (troncos de madera), con el objeto de permanecer por un tiempo determinado a la espera de algún proceso de transformación.

#### **3.3. TIPOS DE CANCHAS.**

Por lo general existen 2 tipos de canchas principalmente, estas son las canchas de acopio secas y las canchas de acopio bajo riego, las cuales pueden estar pavimentadas o no pavimentadas.



Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Canchas secas.**

Tal como su nombre lo indica son secas, es decir, no reciben riegos. En este tipo de cancha, se acopian troncos de baja calidad por tiempos cortos, no más de 4-5 meses aproximadamente.

**Figura 3.1.**

Imagen cancha seca.



**Canchas bajo riego.**

Estas por su parte acopian troncos de alta calidad, están permanentemente siendo regadas, las 24 horas del día, por lo que la madera esta permanentemente húmeda. La finalidad de esto es que la madera bajo un ambiente húmedo, no permite la proliferación de hongos y otros organismos que puedan provocar daños a la madera. Este tipo de canchas acopian troncos por un tiempo máximo de 8 meses aproximadamente.

### **Figura 3.2.**

Imagen cancha bajo riego.



#### **3.4. DIFICULTADES DE LAS CANCHAS.**

La principal dificultad que ocurre en las canchas de acopio se presenta en las canchas que se encuentran sin ningún tipo de pavimento, es decir, a lo sumo presentan una base estabilizada con suelo granular.

Lo que sucede, es que debido al gran peso que son expuestas, por parte de los troncos como de las diversas maquinas que ingresan a las canchas, al cabo de un año aproximadamente, fallan originándose baches y deformaciones. Por este motivo las empresas deben incurrir en elevados gastos económicos en repararlas, además del tiempo que se pierde ya que se debe dejar de usar la cancha mientras dura su reparación.

La mantención de las canchas se realiza 1 vez al año. Para esto, de las canchas bajo riego se escarpa 3,5 cm, lo que corresponde principalmente a los desechos que quedan depositados de corteza. Posteriormente, el escarpe es rellenado con una base estabilizada. Con lo que se rescata de base estabilizada de las canchas bajo riego, se reparan las canchas secas.

### **3.5. REQUERIMIENTOS DE LAS CANCHAS.**

Las canchas acopian troncos de madera y la unidad de medida que emplean para esto es el metro cúbico solidó sin corteza (M3SSC).

El volumen que estas canchas acopian es variado, y puede variar considerablemente dependiendo de la estación del año en que se encuentre, por ende puede ir desde los 90.000 M3SSC en la temporada invernal, a los 350.000 M3SSC en verano.

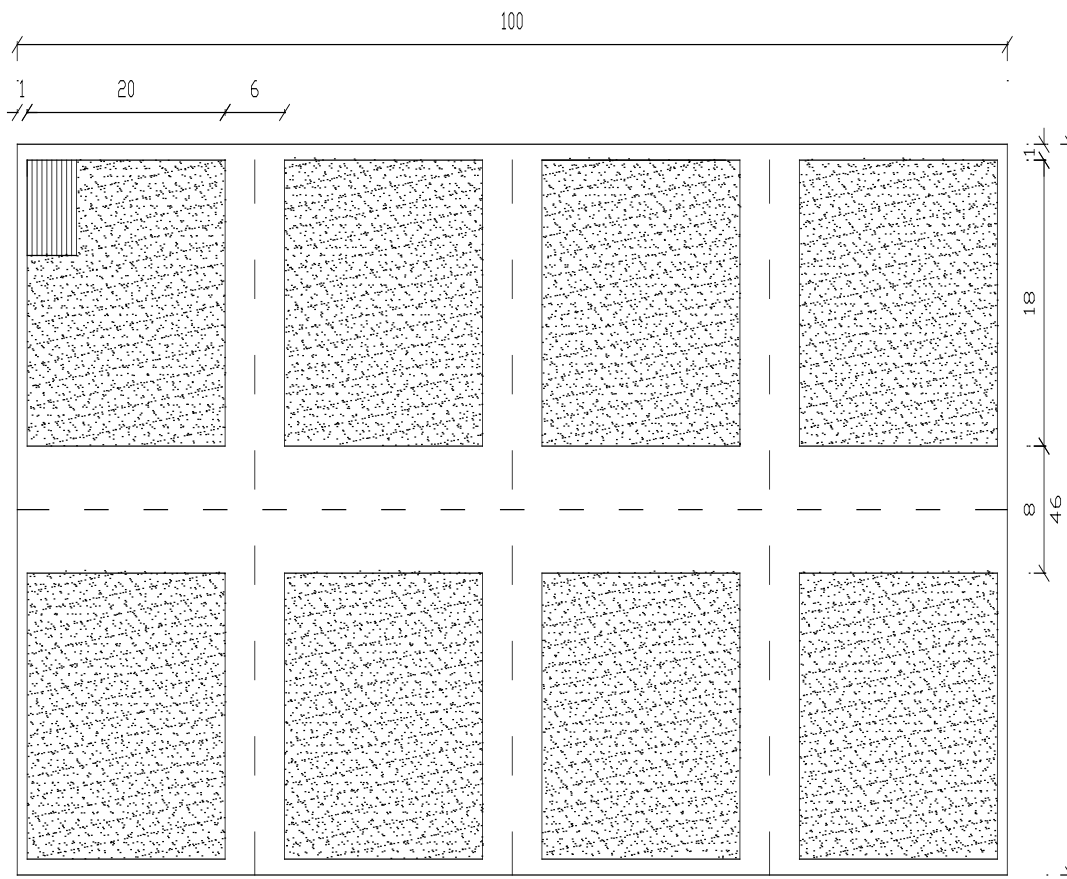
La capacidad máxima de almacenamiento de las canchas de acopio es de 10.000 M3SSC, unos 7.006.370 kg, es decir, 7.000 toneladas aproximadamente de carga estática sobre un área de 4600  $m^2$ , sin considerar el transporte y los equipos que provocan un alto deterioro en las canchas.

### **3.6. CARACTERÍSTICAS DE LAS CANCHAS.**

Entre las características que presentan las canchas, además de los ya expuestos con anterioridad, cabe mencionar el hecho de que éstas se construyen con una pequeña pendiente, la que busca solucionar el problema del drenaje del agua que es impulsada sobre la superficie por los regadores que presentan las canchas bajo riego. Por ello se coloca una sub base impermeable que impide el ingreso del agua a la napa, por lo que ésta gracias a esa pendiente, solamente escurre sobre la superficie, hasta que alcanza los sistemas de recolección de las canchas, que corresponden a unas canaletas que conducen el agua hacia unas piscinas. Estas piscinas abastecen los regadores de las canchas, por lo tanto se desprende que el agua que llega por medio de las canaletas se reutiliza para el regadío.

**Figura 3.3.**

Esquema de la cancha de acopio.



## **CAPÍTULO 4.**

### **DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN.**

El diseño de pavimentos esta basado en general en las solicitudes de tránsito, el concepto de vida útil e índice de serviciabilidad, así como otros factores condicionantes como el clima, el drenaje, etc. En este caso, además de todos estos aspectos, toma gran importancia por un lado, la carga que provocan los troncos de madera sobre la cancha para el diseño, la cual corresponde a una carga distribuida y el drenaje, ya que la mayor parte de las canchas incluyen riego.

En el presente capítulo se busca dar solución al dimensionamiento de los distintos tipos de soluciones de pavimentación, para lo cual se procederá a diseñar cada tipo de superficie, para dos solicitudes distintas, esto es, para las solicitudes de tránsito, y por otra parte para las solicitudes que producen los troncos. Así, una vez obtenidos ambos diseños, se podrá verificar el diseño final, es decir, el que soporta ambos tipos de condiciones.

#### **4.2. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS.**

En el diseño de pavimentos, existen factores de diferente naturaleza que afectan en distinto grado el diseño del pavimento y su posterior comportamiento frente a las solicitudes, entre los que destacan:

- Factores Funcionales.
- Demanda y características Tránsito.
- Propiedades de los Materiales.
- Clima.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- Materiales disponibles.

#### **4.2.1. Factores Funcionales.**

La función de los pavimentos de canchas de acopio, es brindar seguridad y accesibilidad a los vehículos que circulan por esta para colocar y extraer los troncos, permitiendo de esta manera el óptimo acceso a las canchas. Además deben asegurar la integridad de los operarios, así como la integridad y calidad del producto que sale de la cancha.

#### **4.2.2. Demanda y características de Tránsito.**

El tránsito es una solicitud directa que afecta a todo el conjunto estructural que conforma la capa de pavimento.

Para el diseño estructural de pavimentos es necesario conocer el tránsito que solicitará la estructura, la carga por rueda, configuración de ejes y neumáticos, repetición de cargas y distribución de cargas por pistas de diseño

##### **4.2.2.1. Tipos de ejes.**

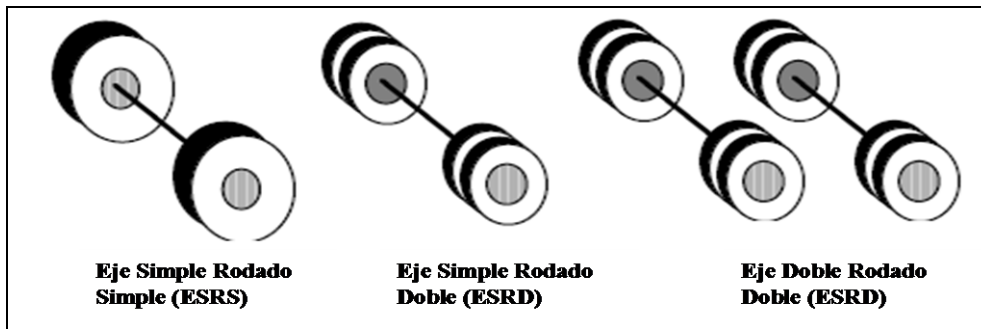
La importancia del tipo de ejes recae en el tipo de configuración de estos, ya que de eso depende el número de puntos de contacto.

De lo anterior se desprende el hecho de que existen distintos tipos de ejes y configuraciones de ruedas por eje para los vehículos que forman parte del proceso.

A continuación se muestran algunas configuraciones típicas de ejes y ruedas, y posteriormente los límites de carga establecidos.

**Figura 4.1.**

Configuraciones de ejes.



Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

**Figura 4.2.**

Límites establecidos por la dirección de vialidad.

<b>EJES CONVENCIONALES</b>			
<b>EJE</b>		<b>Límite (Tons.)</b>	<b>Tolerancia (Kg.)</b>
	Simple	7	350
	Doble	11	600
	Simples	14	700
	Doble y Simple	16	750
	Dobles	18	900
	Simples	19	950
	Doble Doble y Simple	23	1100
	Dobles	25	1200
<b>Peso Bruto Total del Vehículo (Tara + Carga)</b>		<b>45</b>	<b>1400</b>

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Sin embargo lo anterior, en este tipo de faena de producción, los vehículos utilizados dentro de una cancha de acopio, por lo general son:

- Camión doble puente con carro.

**Figura 4.3.**



- Cargador frontal.

**Figura 4.4.**





Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- Tractor más carro.

**Figura 4.5.**



- Grúa cancha.

**Figura 4.6.**



Estos son los principales vehículos que contribuyen con el deterioro de las canchas de acopio.

**4.2.2.2. Eje Estándar.**

Los pavimentos se diseñan para que en su vida útil soporten un número determinado de solicitaciones de distintos tipos de vehículos, distintas distribuciones de peso y configuraciones de ejes.

Es común en los métodos de diseño la utilización del eje patrón, que consiste en transformar los diferentes tipos y pesos de ejes de cada vehículo que circulan por un camino, en un número equivalente de aplicaciones de carga de ese eje patrón.

La utilización del eje patrón, es una comparación teórica del daño producido por cualquier carga, con respecto al eje patrón.

El eje patrón utilizado en los métodos de diseño, corresponde a un eje simple de rodado doble y con una carga de 8.16 Toneladas.

**4.2.2.3. Factores de Equivalencia.**

El factor de equivalencia, corresponde a un coeficiente que transforma el daño que produciría en la estructura del pavimento un determinado peso por eje en un daño equivalente al que produciría un eje patrón de 80KN ó 8.16 Ton. Este es el criterio de ejes equivalentes que emplea AASHTO y que se ve reflejado en una Estratigrafía de Pesos por Eje.

Los factores de equivalencia se obtienen de la siguiente expresión:

$$F_c = \left( \frac{P}{A} \right)^\alpha$$

Donde:

$F_c$  = Factor de Equivalencia

$P$  = Carga por eje (ton)

$A, \alpha$  = Parametros

**Tabla 4.1.**

Factores de Equivalencia.

Dispositivo de Carga	Pavimento Rígido		Pavimento Flexible	
	A	$\alpha$	A	$\alpha$
E.S.R.D	8.165	4.25	8.16	4.3
E.S.R.S	6.5	4.25	5.7	4.3
E.D.R.D	13.2	4.25	15.2	4.3
E.T.R.D	17.8	4.25	22	4.3

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Donde:

E.S.R.S: Eje simple rueda simple.

E.S.R.D: Eje simple rodado doble.

E.D.R.D: Eje doble rodado doble.

E.T.R.D: Eje triple rodado doble.

A continuación se determinaran los ejes equivalentes de diseño para pavimentos de asfalto, de hormigón y de adoquines de concreto.

#### 4.2.2.4. Ejes equivalentes de diseño para pavimento asfáltico.

#### PAVIMENTO DE ASFALTO.

**Tabla 4.2.**

Ejes Equivalentes de diseño para pavimento Asfáltico.

		<b>CAMION + CARRO</b>			
		CONFIGURACION EJES	TONELAJE	FACTOR EQUIV. POR EJE	FACTOR EQUIV. TIPO VEHICULO
CARGADO	CAMION	1 E.S.R.S	8.3	5.03	10.79
		1 E.D.R.D	16.6	1.46	
	CARRO	1 E.S.R.D	9.75	2.15	
		1 E.S.R.D	9.75	2.15	
VACIO (CARRO MONTADO)	CAMION	1 E.S.R.S	4.8	0.48	0.62
		1 E.D.R.D	9.6	0.14	
				<b>EE totales</b>	<b>11.41</b>

		<b>CARGADOR FRONTAL</b>			
CARGADO		1 E.S.R.S	8.85	6.63	13.26
		1 E.S.R.S	8.85	6.63	
VACIO		1 E.S.R.S	8.1	4.53	9.06
		1 E.S.R.S	8.1	4.53	
				<b>EE totales</b>	<b>22.32</b>

		<b>TRACTOR + CARRO</b>			
CARGADO	TRACTOR	1 E.S.R.S	3.1	0.072	20.66
		1 E.S.R.S	3.1	0.072	
	CARRO	1 E.S.R.S	11	16.9	
		1 E.S.R.D	11	3.62	
VACIO	TRACTOR	1 E.S.R.S	3.1	0.072	0.14
		1 E.S.R.S	3.1	0.072	
	CARRO	1 E.S.R.S	1	0	
		1 E.S.R.D	1	0	
				<b>EE totales</b>	<b>20.81</b>

Fuente: Elaboración Propia.

##### 4.2.2.4.1. Cálculo EE totales para la Grúa Cancha.

Como la grúa posee una oruga como rueda, y para este tipo de rueda, no existe un tipo de eje establecido en la tabla de ejes convencionales utilizada por el método, entonces para poder encontrar el factor equivalente tipo vehículo, se efectuará una comparación entre la carga que aporta al pavimento el camión y la grúa.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Camión:**

A: Ancho neumático = 25 cm

L: Longitud de contacto con superficie = 25 cm

Carga máxima camión (tara + carga) = 45.000 kg

A continuación se obtienen los kilogramos por centímetro cuadrado que induce el camión con su carro sobre la superficie del pavimento, el camión presenta un E.S.R.S más un E.D.R.D y el carro un E.S.R.D más un E.S.R.D, es decir, son 18 neumáticos en total.

$$\frac{CARGA}{AREA_{CONTACTO} \cdot N^{\circ}_{NEUMATICOS}} = \frac{45.000(kg)}{25(cm) \cdot 25(cm) \cdot 18} = 4 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

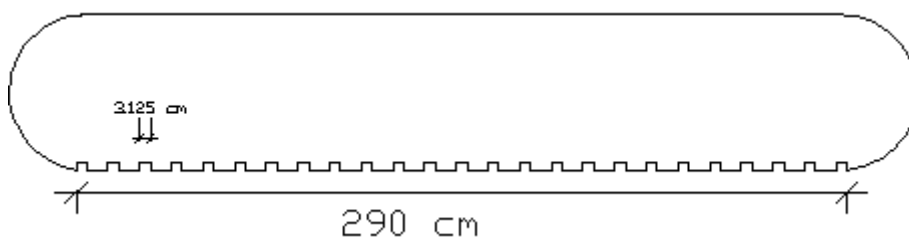
**Grúa Cancha:**

A: Ancho oruga = 55 cm

L: Longitud real de contacto con superficie = 290 – 16\*3.125 = 240 cm

**Figura 4.7.**

Croquis tipo de la oruga de la Grúa.



Fuente: Elaboración Propia.

Carga máxima grúa (tara + carga) = 25.000 kg

Realizando un análisis similar al que se desarrollo anteriormente para el camión, se tiene:

$$\frac{CARGA}{AREA_{CONTACTO} \cdot N^{\circ}_{NEUMATICOS}} = \frac{25.000(kg)}{55(cm) \cdot 240(cm) \cdot 2} = 0.95 \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Se hace una relación para poder encontrar los EE totales de la grúa, con los valores encontrados más los EE totales encontrados con anterioridad del camión más el carro:

$$\frac{4\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)}{11.41(\text{EE}_{\text{totales}})} = \frac{0.95\left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right)}{X}$$

$$X = 2.7(\text{EE}_{\text{totales}})$$

$$\mathbf{EE \text{ totales} = 2.7}$$

**4.2.2.5. Ejes equivalentes de diseño para pavimento de hormigón.**

**PAVIMENTO DE HORMIGÓN.**

**Tabla 4.3.**

Ejes Equivalentes de diseño para pavimento de Hormigón.

<b>CAMION + CARRO</b>		CONFIGURACION EJES	TONELAJE	FACTOR EQUIV. POR EJE	FACTOR EQUIV. TIPO VEHICULO
CARGADO	CAMION	1 E.S.R.S	8.3	2.83	9.74
		1 E.D.R.D	16.6	2.65	
	CARRO	1 E.S.R.D	9.75	2.13	
		1 E.S.R.D	9.75	2.13	
VACIO (CARRO MONTADO)	CAMION	1 E.S.R.S	4.8	0.28	0.54
		1 E.D.R.D	9.6	0.26	
				<b>EE totales</b>	<b>10.28</b>

<b>CARGADOR FRONTAL</b>		CONFIGURACION EJES	TONELAJE	FACTOR EQUIV. POR EJE	FACTOR EQUIV. TIPO VEHICULO
CARGADO		1 E.S.R.S	8.85	3.71	7.42
		1 E.S.R.S	8.85	3.71	
VACIO		1 E.S.R.S	8.1	2.55	5.1
		1 E.S.R.S	8.1	2.55	
				<b>EE totales</b>	<b>12.52</b>

<b>TRACTOR + CARRO</b>		CONFIGURACION EJES	TONELAJE	FACTOR EQUIV. POR EJE	FACTOR EQUIV. TIPO VEHICULO
CARGADO	TRACTOR	1 E.S.R.S	3.1	0.043	12.99
		1 E.S.R.S	3.1	0.043	
	CARRO	1 E.S.R.S	11	9.35	
		1 E.S.R.D	11	3.55	
VACIO	TRACTOR	1 E.S.R.S	3.1	0.043	0.09
		1 E.S.R.S	3.1	0.043	
	CARRO	1 E.S.R.S	1	0	
		1 E.S.R.D	1	0	
				<b>EE totales</b>	<b>13.07</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Los EE totales para la grúa, se determinan de la misma manera como se establecieron para el pavimento de asfalto (punto 4.2.2.4.1.).

$$\frac{4\left(\frac{kg}{cm^2}\right)}{10.28(EE_{totales})} = \frac{0.95\left(\frac{kg}{cm^2}\right)}{X}$$

$$X = 2.44(EE_{totales})$$

**EE totales = 2.44**

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**4.2.2.6. Número de viajes que realiza cada tipo de vehículo en las canchas.**

$$(a) \quad \frac{\text{Carga total madera en cancha}(kg)}{\text{Volumen total madera en cancha}(m^3)} = \frac{\text{Capacidad de carga vehículo}(kg)}{X \text{ volumen de madera}(m^3)}$$

$$(b) \quad \text{Viajes} = \frac{\text{Volumen total madera en cancha}(m^3)}{\text{Volumen de madera capacidad vehículo} \left( \frac{m^3}{\text{viaje}} \right)}$$

**Camión + carro:**

$$(a) \quad \frac{7.006.370}{15701} = \frac{30.000}{X} \quad X = 67(m^3)$$

$$(b) \quad \frac{15.701}{67} = 235(\text{viajes})$$

Como la grúa es la encargada de descargar el camión, consideraremos que esta realiza la misma cantidad de viajes que el camión.

**Tractor + carro:**

$$(a) \quad \frac{7.006.370}{15701} = \frac{20.000}{X} \quad X = 45(m^3)$$

$$(b) \quad \frac{15.701}{45} = 349(\text{viajes})$$

Como el cargador frontal es el encargado de cargar el carro del tractor, se considera que este realiza la misma cantidad de viajes que el tractor.

Entonces los EE totales para el pavimento de asfalto son:

$$EE_{\text{totales}} = 235 \cdot 11,41 + 235 \cdot 2,7 + 349 \cdot 20,81 + 349 \cdot 22,32 = 18.368$$

Y los EE totales para el pavimento de hormigón son:

$$EE_{\text{totales}} = 235 \cdot 10,28 + 235 \cdot 2,44 + 349 \cdot 12,52 + 349 \cdot 13,07 = 11.920$$

Pero estos ejes equivalentes corresponden solamente al periodo comprendido entre el tiempo en que se carga y descarga la cancha, proceso que se realiza



Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

dos veces al año, y si consideramos una vida de diseño de 20 años, entonces tenemos:

Asfalto:

$$EE_{\text{totales}} = 18.368 \cdot 2 \cdot 20 = 734.720$$

Hormigón:

$$EE_{\text{totales}} = 11.920 \cdot 2 \cdot 20 = 476.800$$

### 4.3. DISEÑO CANCHA DE ACOPIO PARA LOS VEHÍCULOS.

A continuación se diseñan las canchas para soportar las solicitudes de los vehículos que circulan sobre ésta.

#### 4.3.1. Cancha de Asfalto:

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio para los vehículos que transitan por la cancha, para lo cual se utilizará el método AASHTO 1998 para pavimentos flexibles.

$$EE = (NE + 25.4)^{9.36} \cdot 10^{-(16.4 + Z_r \cdot S_o)} \cdot M_R^{2.32} \cdot \left( \frac{p_i - p_f}{p_i - 1.5} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\beta = 0.4 + \left( \frac{97.81}{NE + 25.4} \right)^{5.19}$$

Donde:

EE: Ejes equivalentes de 80 KN acumulados durante la vida de diseño.

NE: Número estructural (mm).

Z<sub>r</sub>: Nivel de confiabilidad.

S<sub>o</sub>: Desviación normal combinada.

Δp: p<sub>i</sub> – p<sub>f</sub> (índice de serviciabilidad).

M<sub>r</sub>: Módulo resiliente del suelo de la subrasante (MPa).

Datos:

$$EE = 734.720$$

$$\text{CBR Base} = 90 \%$$

**Tabla 4.4.**

Valores de CBR para base granular.

Valor CBR de la base granular	Máximo de Ejes Equivalentes en ambas direcciones
100	1.000.000
90	700.000
85	600.000
80	500.000
75	400.000
70	300.000
60	200.000
50	100.000

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

CBR Sub-Base = 40 %

CBR Sub-Rasante = 5 %

$p_i = 4.2$

$p_f = 2$

Coefficiente estructural para las capas de pavimento:

$a_1$  (concreto asfáltico capa de rodado) = 0.43

$a_2$  (base granular) = 0.13

$a_3$  (subbase granular) = 0.12

**Tabla 4.5.**

Coefficientes estructurales para las capas de pavimento.

CAPA	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
Subbase granular	0.12
Base Granular	0.13
Base asfálticas de Graduación Gruesa	0.33
Base Asfáltica de Graduación Abierta.	0.28
Grava Emulsión.	0.30
Base tratada con Cemento	0.33
Concreto asfáltico capa intermedia	0.41
Concreto asfáltico capa de rodado.	0.43
Mezclas Drenantes.	0.32
Microaglomerado discontinuo en caliente	0.40
Mezcla SMA ( Stone Mastic Asphalt)	0.43

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Coefficiente de drenaje considerado.

$m = 1.25$ ; (se considera el valor más desfavorable, ya que las canchas están saturadas de agua debido al riego que reciben).

**Tabla 4.6.**

Tabla de coeficientes de drenajes que se usan en el país.

REGION	PRECIPITACIÓN	BASE PERMEABLE	SUBRAS GRANULAR HASTA 10 % FINOS
IV	$\leq 100$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
IV	$> 100$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
V a VI	$\leq 150$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
V a VI	$> 150$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
VII a IX	$\leq 350$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
VII a IX	$> 350$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
X	$\leq 1.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
X	$> 1.500$ mm	1,35 – 1,30	1,35 – 1,25
XI y XII	$\leq 2.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
XI y XII	$> 2.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Consideraciones:

Los espesores mínimos para las distintas capas del pavimento flexible son los siguientes:

$h_1$  min = 8 cm (carpeta de rodado)

$h_2$  min = 15 cm (base)

$h_3$  min = 15 cm (sub-base)

De acuerdo a los 734.720 EE, corresponde por tabla (4.7) considerar una confiabilidad del 60 %, y un coeficiente de variación del suelo del 15%, esto considerando un menor error combinado de las variables.

$Z_r = -0.253$

$S_o = 0.45$

**Tabla 4.7.**

Factores confiabilidad y valores de So.

EE solicitaciones ( millones)	Confiabilidad $F_R$ (%)	$Z_R$	So 15%	So 20%	So 30%	So 40%	So 50%
<5	60	-0.253	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
5 – 10	60 -70	-0.253 -0.524	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
15 – 30	60 - 75	-0.253 – 0.674	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
30 – 50	70 – 80	-0.524 – 0.841	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49
50 – 70	70 – 85	-0.524 – 1.037	0.42	0.43	0.44	0.47	0.48
70 – 90	70 – 90	-0.524 – 1.282	0.40	0.41	0.42	0.45	0.46

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Desarrollo:

Factor de Confianza:

$$F_R = 10^{-Z_R \cdot S_o} = 10^{-0.253 \cdot 0.45} = 1.3$$

Número total de ejes equivalentes.

$$Tt = EE \cdot F_R = 734.720 \cdot 1.3 = 955.136$$

El módulo resiliente para el diseño es:

$$M_R (MPa) = 17.6 \cdot CBR^{0.64} ; \text{ para } CBR < 12\%$$

$$M_R (MPa) = 22.1 \cdot CBR^{0.55} ; \text{ para } 12 < CBR < 80\%$$

Módulo resiliente del suelo de la subrasante:

$$MR1 = 262.6 \text{ Mpa (Base)}$$

$$MR2 = 168.1 \text{ Mpa (Sub-base)}$$

$$MR3 = 49.3 \text{ Mpa (Sub-rasante)}$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Remplazando estos datos en la ecuación de diseño se obtienen los NE requeridos:

$$NE1 = 34.8 \text{ mm (Base)}$$

$$NE2 = 42 \text{ mm (Sub-Base)}$$

$$NE3 = 66.8 \text{ mm (Sub-Rasante)}$$

Los espesores requeridos son los siguientes:

Capa Asfáltica:

$$h1 \geq \frac{NE1}{a1} = \frac{3.48}{0.43} = 8(\text{cm})$$

$$\text{Pero } h1 \leq h \text{ min} \Rightarrow h1 = 8\text{cm}$$

$$SN1 = a1 \cdot h1 = 0.43 \cdot 8 = 3.44$$

$$\text{Como } SN1 > NE1 \Rightarrow NE1 \text{ es Valido}$$

Base Granular:

$$h2 \geq \frac{NE2 - SN1}{a2 \cdot m2} = \frac{4.2 - 3.44}{0.13 \cdot 1.25} = 4.7(\text{cm})$$

$$\text{Pero } h2 < h \text{ min} \Rightarrow h2 = 15\text{cm}$$

$$SN2 = SN1 + a2 \cdot h2 \cdot m2 = 3.44 + 0.13 \cdot 15 \cdot 1.25 = 5.88$$

$$\text{Como } SN2 > NE2 \Rightarrow NE2 \text{ es Valido}$$

Sub-Base Granular:

$$h3 \geq \frac{NE3 - SN2}{a3 \cdot m3} = \frac{6.68 - 5.88}{0.12 \cdot 1.25} = 5.33(\text{cm})$$

$$\text{Pero } h3 < h \text{ min} \Rightarrow h3 = 15\text{cm}$$

$$SN3 = SN2 + a3 \cdot h3 \cdot m3 = 5.88 + 0.12 \cdot 15 \cdot 1.25 = 8.13$$

$$\text{Como } SN3 > NE3 \Rightarrow NE3 \text{ es Valido}$$

Por lo tanto, el espesor de cada capa es:

$$h1 = 8 \text{ cm (carpeta asfáltica)}$$

$$h2 = 15 \text{ cm (base)}$$

$$h3 = 15 \text{ cm (sub-base)}$$

#### 4.3.2. Cancha de Hormigón:

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio, para lo cual se utilizará el método AASHTO 1998 para pavimentos rígidos.

$$Tt = \left( \frac{H + 2,54}{2,588} \right)^{7,35} * 10^\alpha * \beta^{(4,22 - 0,32 * pf)} \quad (*)$$

$$\alpha = \frac{\log(0,33 * \Delta p)}{1 + \left( \frac{18,078}{H + 2,54} \right)^{8,46}} - ZR * So$$

$$\beta = \frac{Rm * Cd}{15,185 * J} * \left( \frac{H^{0,75} - 2,278}{H^{0,75} - 46,79 * \left( \frac{K}{E} \right)^{0,75}} \right)$$

Donde:

Tt: Ejes equivalentes de 80 KN acumulados durante la vida de diseño.

H: Espesor de la losa de hormigón (cm).

Zr: Nivel de confiabilidad.

So: Desviación normal combinada.

$\Delta p$ :  $p_i - p_f$  (índice de serviciabilidad).

Rm: Resistencia a la flexo tracción.

Cd: Coeficiente de Drenaje.

J: Coeficiente de transferencia de carga.

K: Módulo de reacción en el plano de apoyo del pavimento.

E: Módulo de elasticidad del hormigón.

Datos.

EE = 476.800

CBR (Sub Rasante)  $\geq$  5%

$p_i = 4.5$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

$pf = 2$

$Rm = 48 \text{ kg/cm}^2$

Coefficiente de drenaje considerado.

$Cd = 0.9$ ; (se considera el valor más desfavorable, ya que las canchas están saturadas de agua debido al riego que reciben).

**Tabla 4.8.**

Coefficientes de drenaje AASHTO para pavimentos rígidos.

Drenaje Longitudinal	Clima	Subrasante Suelos Granulares	
		Base No-Permeables	Base Permeable
NO	Húmedo	0,75 - 0,95	0,90 - 1,00
NO	Seco	0,90 - 1,15	1,00 - 1,10
SI	Húmedo	0,90 - 1,10	1,05 - 1,15
SI	Seco	1,10 - 1,20	1,15 - 1,20

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

$J = 3$

De acuerdo a los 476.800 EE, corresponde por tabla (4.9) considerar una confiabilidad del 60 %, y un coeficiente de variación del suelo del 15%, esto considerando un menor error combinado de las variables.

$Zr = -0.253$

$So = 0.35$

**Tabla 4.9.**

Factores confiabilidad y valores de  $So$ .

EE Solicitantes (millones)	Confiabilidad (%)	$Z_R$	$S_0$ en función del coeficiente de variación de los suelos				
			15%	20%	30%	40%	50%
< 15	60	- 0,253	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40
15 - 30	60 - 70	-0,253 -0,524	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40
30 - 50	70 - 75	-0,524 -0,674	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39
50 - 70	75 - 80	-0,674 -0,841	0,32	0,33	0,34	0,37	0,38
70 - 90	80 - 85	-0,841 -1,037	0,30	0,31	0,32	0,35	0,36

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Consideración:

El valor mínimo permitido de espesor para la losa de hormigón es de 18 cm.

Desarrollo:

Factor de Confianza:

$$F_R = 10^{-Z_R \cdot S_o} = 10^{-0.253 \cdot 0.35} = 1.23$$

Número total de ejes equivalentes.

$$Tt = EE \cdot F_R = 476.800 \cdot 1.23 = 586.464$$

Módulo de reacción en el plano de apoyo del pavimento:

$$K (MPa/m) = 69,78 * \log(CBR) - 10,16 = 38,6 \left( \frac{MPa}{m} \right) = 3,86 \left( \frac{kg}{cm^3} \right)$$

Remplazando estos datos en la ecuación de diseño se obtienen H:

$$H = 16.23 \text{ cm}$$

$$H = 17 \text{ cm}$$

Como  $H < H$  mínimo ( $17 < 18$ ), entonces el valor que adopta la losa no armada de hormigón es de 18 cm.

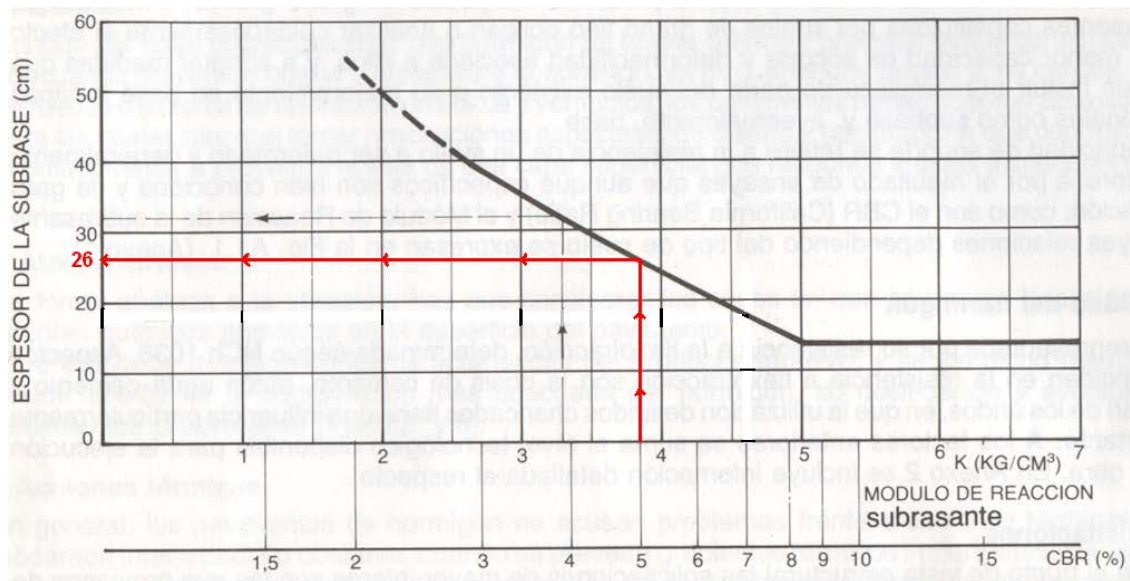
### **Determinación del espesor de la subbase:**

Para conseguir el espesor de la subbase, se ingresa al siguiente gráfico con el valor del CBR 5 de la subrasante en el eje de las ordenadas, a partir de este valor se asciende hasta llegar a la curva de espesores de la subbase, y en seguida a partir de este punto se va hasta el eje de las abscisas y se obtiene un espesor de subbase de 26 cm.



**Figura 4.8.**

Espesores de subbases según CBR.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (Pavimentos Industriales).

#### 4.3.3. Cancha de Adoquines:

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio, para lo cual se utilizará el método que entrega el manual de diseño y construcción de pavimentos de adoquines.

Datos:

CBR de Terreno  $\geq 5\%$

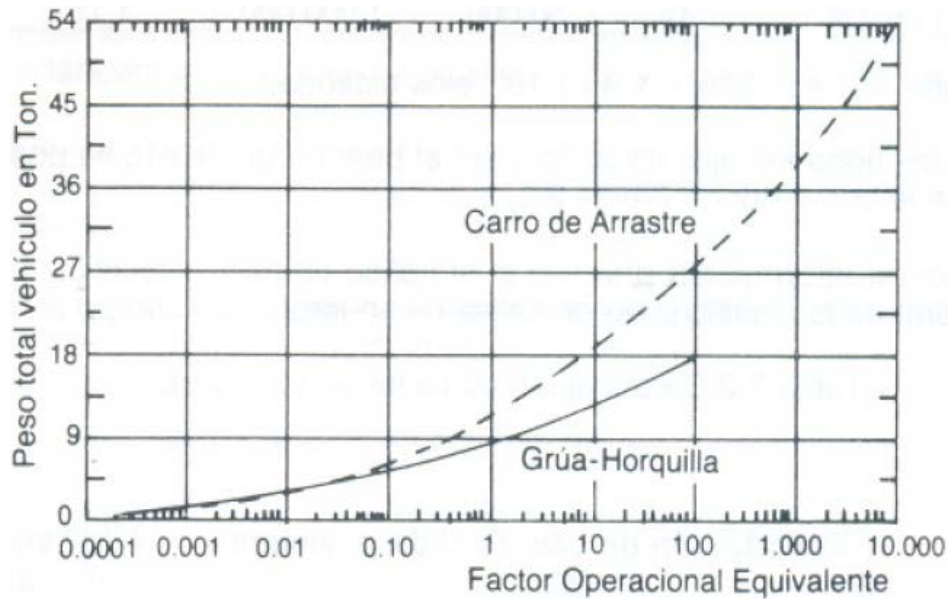
Se trabajará con los viajes por cada tipo de vehículo, encontrados con anterioridad (punto 4.2.2.6)

Para determinar los EE totales para esta solución, antes es necesario obtener el Factor Operacional Equivalente para cada tipo de vehículo.

Se ingresa al gráfico siguiente, con el peso total de cada tipo de vehículo en toneladas en el eje de las abscisas y se intercepta con la curva del carro de arrastre, luego se desciende hasta el eje de las ordenadas, para de este modo determinar el valor del F.O.E. (Factor Operacional Equivalente).

**Figura 4.9.**

Factor operacional equivalente.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

**Tabla 4.10.**

Ejes equivalentes de diseño para pavimento de Adoquines.

Vehículo	F.O.E Gráfico	Viajes	Viajes Equivalentes
Camión (25 T)	80	235	18800
Carro (19.5 T)	10	235	2350
Grúa (25 T)	80	235	18800
C. Frontal (17.7 T)	8.2	349	2862
Tractor (6.2 T)	0.2	349	70
Carro (22 T)	50	349	17450
		<b>EE totales</b>	<b>60332</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Pero estos ejes equivalentes corresponden solamente al periodo comprendido entre el tiempo en que se carga y descarga la cancha, proceso que se realiza dos veces al año, y si consideramos una vida de diseño de 20 años, entonces tenemos:

$$EE_{\text{totales}} = 60332 \cdot 2 \cdot 20 = 2.413.280$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

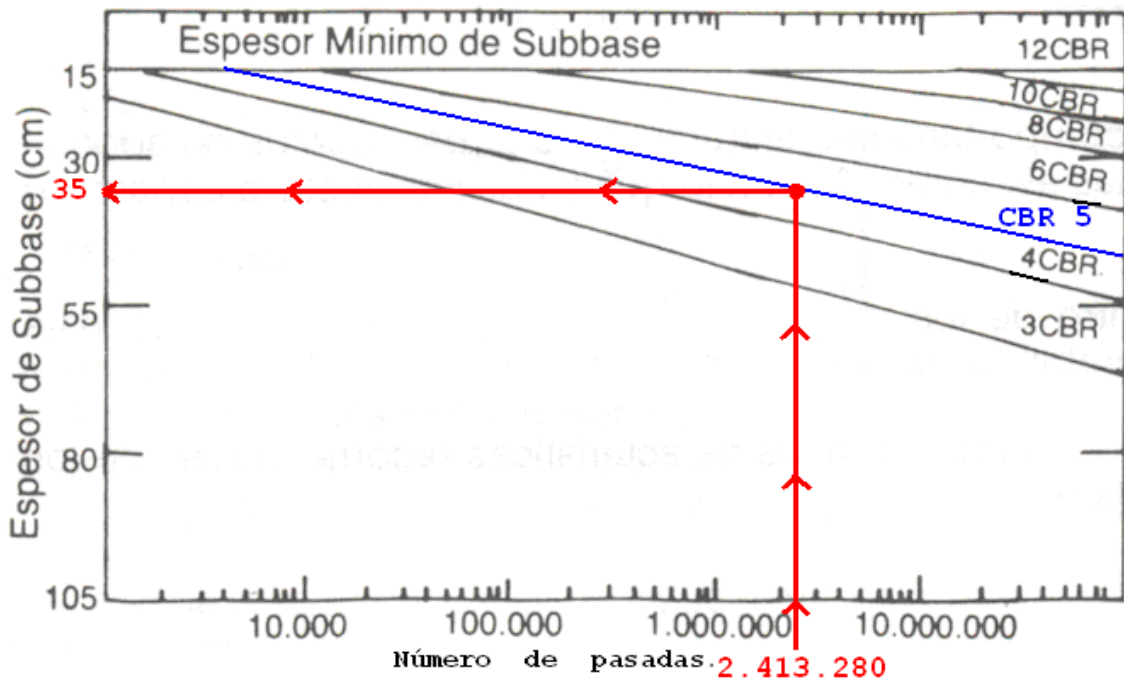
Entonces los espesores son:

Sub-Base Granular:

Para determinar el espesor de la subbase, se utiliza el gráfico siguiente. Se ingresa con los EE (número de pasadas), que en este caso son 2.413.280 en el eje de las ordenadas, a partir de ese valor se asciende en el gráfico, hasta alcanzar al valor de CBR 5 %, en seguida se intercepta con el eje de las abscisas, de donde se determina que el espesor de la Sub-Base granular es de 35 cm.

**Figura 4.10.**

Curvas de diseño para ejes simples.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

Base Granular:

La base consiste en una cama de arena de espesor constante de 3 cm, tal como indica el manual de diseño.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Adoquines:

Ingresando a la siguiente tabla, con el valor de ejes estándar acumulados en 20 años de  $2.41 \times 10^6$ , se debe ir a la clasificación de tránsito T0.

En consideración a lo anterior, se deben utilizar adoquines de 80 mm de espesor, deben ser dentados (forma A), con una resistencia media de 45 MPa y aparejados en esquina de pescado.

**Tabla 4.11.**

Características de los adoquines en función del Nivel de Tráfico.

Tránsito		Adoquín requerido			
Clasif. de Tránsito	Vehículos comerciales por día  Ejes estándar Acum. en 20 años	Forma (tabla 2.1)	Espesor mínimo (mm)	Aparejo	Resistencia media MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
T5	0	A	40	H-S	35 (357)
		B	40	S*	
		C	40	H-S	
T4	0-15  0-4,5 x 10 <sup>4</sup>	A	60	H-S	35 (357)
		B	60	S*	
		C	80	H-S	
T3	15-50  4,5 x 10 <sup>4</sup> - 1,4 x 10 <sup>5</sup>	A	60	H-S	35 (357)
		B	80	S*	
		C	80	H	
T2	50-150  1,4 x 10 <sup>5</sup> - 4,5 x 10 <sup>5</sup>	A	60	H	35 (357)
		B	80	S*	
T1	150-500  4,5 x 10 <sup>5</sup> - 1,4 x 10 <sup>6</sup>	A	80	H	45 (459)
T0	500-1.500  1,4 x 10 <sup>6</sup> - 4,5 x 10 <sup>6</sup>	A	80	H	45 (459)

Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos de Adoquines).

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**4.3.4. Cancha con Tratamiento Superficial:**

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio, para lo cual se utilizará el método MORIN TODOR para pavimentos flexibles.

$$IE = (0.04 \cdot CV + 1.6) \cdot e^{0.455 \cdot \log(T)}$$

$$IE_{capas} = a1 \cdot h1 + a2 \cdot h2 + a3 \cdot h3$$

Donde:

IE: Índice estructural (cm).

CV: Coeficiente de variación.

T: Predicción del número de adaptaciones de cargas de ejes equivalentes de 80 KN.

Datos:

EE = 730.240 (se trabaja con los mismos que para el asfalto ya que Morin Todor se emplea para pavimentos flexibles).

CBR Base = 90 % (de tabla 4.6., según los EE obtenidos).

**Tabla 4.12.**

Valores de CBR para Base granular.

Valor CBR de la base granular	Máximo de Ejes Equivalentes en ambas direcciones
100	1.000.000
90	700.000
85	600.000
80	500.000
75	400.000
70	300.000
60	200.000
50	100.000

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

CBR Sub-Base = 40 % (supuestos)

CBR Sub-Rasante = 5 % (supuestos)

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

CV =25 % (de tabla 4.13., se considera un CV de 25, ya que en cuanto a los materiales y las expectativas formadas en cuanto a la calidad y uniformidad de la construcción es alta).

**Tabla 4.13.**

Coefficiente estructural (CV).

Calidad y uniformidad de la construcción	Valor de CV %
Muy alta a alta	<= 15
Alta	15 a 25
Regular	35

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

$a_n$  base = 1.232 (de tabla 4.8., con el valor del CBR de la base).

$a_n$  subbase = 0.576 (de tabla 4.8., con el valor del CBR de la subbase).

$a_n$  subrasante = 0.033 (de tabla 4.8., con el valor del CBR de la subrasante).

**Tabla 4.14.**

Coefficientes estructurales ( $a_n$ ).

Capa	CBR %	$a_n$
Base Granular 0 a 25 Cm	>= 100	1.394
	90	1.232
	85	1.167
	80	1.102
	75	1.037
	70	0.940
	60	0.552
	50	0.383
	< 50	0.000
Capa de Sub base (25 a 50 cm)	>= 40	0.576
	35	0.290
	30	0.205
	25	0.075
	<25	0.000
Capa de Subrasante	>= 20	0.481
	15	0.357
	10	0.212
	9	0.183
	8	0.133
	7	0.084
	6	0.053
	5	0.033
	4	0.020
	3	0.015
	2 (min)	0.015

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Desarrollo:

Con los datos entregados se obtiene el IE (Índice Estructural) requerido mediante la fórmula de diseño.

$$IE = (0.04 \cdot 25 + 1.6) \cdot e^{0.455 \cdot \log(730.240)} = 37.46 = 38(\text{cm})$$

$$IE(\text{Base}) = 15 \cdot 1.232 + 10 \cdot 0.383 = 22.31$$

$$IE(\text{Sub} - \text{Base}) = 25 \cdot 0.576 = 14.4$$

$$IE(\text{Sub} - \text{Rasante}) = 40 \cdot 0.033 = 1.32$$

$$IE(\text{Total requerido}) = 22.31 + 14.4 + 1.32 = 38.03 = 38(\text{cm})$$

Como  $38 \geq 38$ , entonces se cumple la condición.

Los espesores son:

Base = 15 cm

Sub-Base = 25 cm

#### 4.3.5. Cancha con Base Tratada con Cemento:

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio con base tratada con cemento, para lo cual se utilizará el método MORIN TODOR para pavimentos flexibles.

$$EE = (NE + 25.4)^{9.36} \cdot 10^{-(16.4 + Z_z \cdot S_o)} \cdot M_R^{2.32} \cdot \left( \frac{pi - pf}{pi - 1.5} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\beta = 0.4 + \left( \frac{97.81}{NE + 25.4} \right)^{5.19}$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Donde:

EE: Ejes equivalentes de 80 KN acumulados durante la vida de diseño.

NE: Número estructural (mm).

Zr: Nivel de confiabilidad.

So: Desviación normal combinada.

$\Delta p$ :  $p_i - p_f$  (índice de serviciabilidad).

Mr: Módulo resiliente del suelo de la subrasante (MPa).

Datos:

EE = 734.720

CBR Base = 90 %

**Tabla 4.4.**

Valores de CBR para base granular.

Valor CBR de la base granular	Máximo de Ejes Equivalentes en ambas direcciones
100	1.000.000
90	700.000
85	600.000
80	500.000
75	400.000
70	300.000
60	200.000
50	100.000

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

CBR Subbase = 40 %

$p_i = 4.2$

$p_f = 2$

Coeficiente estructural para las capas de pavimento:

$a_1$  (base tratada con cemento) = 0.33

$a_2$  (subbase) = 0.12



**Tabla 4.5.**

Coeficientes estructurales para las capas de pavimento.

CAPA	COEFICIENTE ESTRUCTURAL
Subbase granular	0.12
Base Granular	0.13
Base asfálticas de Graduación Gruesa	0.33
Base Asfáltica de Graduación Abierta.	0.28
Grava Emulsión.	0.30
Base tratada con Cemento	0.33
Concreto asfáltico capa intermedia	0.41
Concreto asfáltico capa de rodado.	0.43
Mezclas Drenantes.	0.32
Microaglomerado discontinuo en caliente	0.40
Mezcla SMA ( Stone Mastic Asphalt)	0.43

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Coeficiente de drenaje considerado.

$m = 1.25$ ; (se considera el valor más desfavorable, ya que las canchas están saturadas de agua debido al riego que reciben).

**Tabla 4.6.**

Tabla de coeficientes de drenajes que se usan en el país.

REGION	PRECIPITACIÓN	BASE PERMEABLE	SUBRAS GRANULAR HASTA 10 % FINOS
IV	$\leq 100$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
IV	$> 100$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
V a VI	$\leq 150$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
V a VI	$> 150$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
VII a IX	$\leq 350$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
VII a IX	$> 350$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
X	$\leq 1.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
X	$> 1.500$ mm	1,35 – 1,30	1,35 – 1,25
XI y XII	$\leq 2.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25
XI y XII	$> 2.500$ mm	1,40 – 1,35	1,35 – 1,25

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Consideraciones:

Los espesores mínimos para las distintas capas del pavimento flexible son los siguientes:

h1 min = 12 cm (base)

h2 min = 15 cm (sub-base)

De acuerdo a los 734.720 EE, corresponde por tabla (4.7) considerar una confiabilidad del 60 %, y un coeficiente de variación del suelo del 15%, esto considerando un menor error combinado de las variables.

Zr = -0.253

So = 0.45

**Tabla 4.7.**

Factores confiabilidad y valores de So.

EE solicitaciones (millones)	Confiabilidad $F_R$ (%)	$Z_R$	So 15%	So 20%	So 30%	So 40%	So 50%
<5	60	-0.253	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
5 – 10	60 - 70	-0.253 - 0.524	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
15 – 30	60 - 75	-0.253 – 0.674	0.45	0.46	0.47	0.49	0.50
30 – 50	70 – 80	-0.524 – 0.841	0.44	0.45	0.46	0.48	0.49
50 – 70	70 – 85	-0.524 – 1.037	0.42	0.43	0.44	0.47	0.48
70 – 90	70 – 90	-0.524 – 1.282	0.40	0.41	0.42	0.45	0.46

Fuente: Apuntes de clases de Diseño de Pavimentos.

Desarrollo:

Nota: La razón de cemento para la base es de 2 sacos de cemento por  $m^3$ .

Factor de Confianza:

$$F_R = 10^{-Z_R \cdot S_o} = 10^{-(-0.253) \cdot 0.45} = 1.3$$

Numero total de ejes equivalentes.

$$Tt = EE \cdot F_R = 734.720 \cdot 1.3 = 955.136$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

El módulo resiliente para el diseño es:

$$M_R (\text{MPa}) = 22.1 \cdot \text{CBR}^{0.55} ; \text{para } 12 < \text{CBR} < 80\%$$

Módulo resiliente del suelo de la subrasante:

$$\text{MR1} = 262.6 \text{ Mpa (Base)}$$

$$\text{MR2} = 168.1 \text{ Mpa (Subbase)}$$

Remplazando estos datos en la ecuación de diseño se obtienen los NE requeridos:

$$\text{NE1} = 34.9 \text{ mm (Base)}$$

$$\text{NE2} = 42 \text{ mm (Subbase)}$$

Los espesores requeridos son los siguientes:

Base tratada:

$$h1 \geq \frac{\text{NE1}}{a1} = \frac{3.49}{0.33} = 10.6 = 11(\text{cm})$$

$$\text{Pero } h1 \leq h \text{ min} \Rightarrow h1 = 12\text{cm}$$

$$\text{SN1} = a1 \cdot h1 = 0.33 \cdot 12 = 3.96$$

$$\text{Como } \text{SN1} > \text{NE1} \Rightarrow \text{NE1 es Valido}$$

Subbase Granular:

$$h2 \geq \frac{\text{NE2} - \text{SN1}}{a2 \cdot m2} = \frac{4.2 - 3.96}{0.12 \cdot 1.25} = 1.6(\text{cm})$$

$$\text{Pero } h2 < h \text{ min} \Rightarrow h2 = 15\text{cm}$$

$$\text{SN2} = \text{SN1} + a2 \cdot h2 \cdot m2 = 3.96 + 0.12 \cdot 15 \cdot 1.25 = 6.21$$

$$\text{Como } \text{SN2} > \text{NE2} \Rightarrow \text{NE2 es Valido}$$

Por lo tanto, el espesor de cada capa es:

$$h1 = 12 \text{ cm (base tratada con cemento)}$$

$$h2 = 15 \text{ cm (sub-base)}$$

#### 4.4. DISEÑO CANCHA DE ACOPIO PARA LOS TRONCOS DE MADERA.

A continuación se diseñan las canchas para soportar las solicitaciones estáticas, esto es la carga de los troncos de madera.

##### 4.4.1. Cancha de Hormigón:

Ahora se procederá a diseñar la cancha de acopio para la madera que se encuentra acopiada en ella, para lo cual se realizará una losa de hormigón no armada, mediante el método que se muestra en el manual: “Diseño y Construcción de Pavimentos Industriales” del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón.

Según la distribución que presentan los troncos en la cancha, (figura 3.3) se analizará cada conjunto de troncos independientemente.

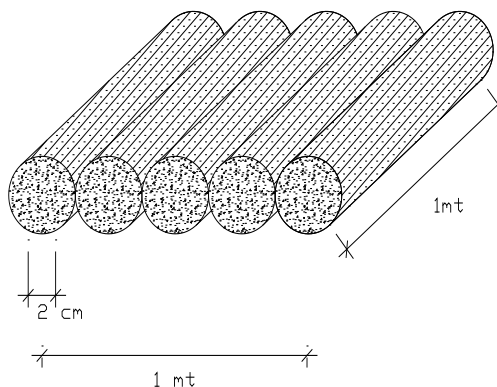
Por lo tanto:

##### Determinación del espesor de la losa:

$$\frac{\text{Peso}}{\text{Superficie}} = 1471,9 \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right)$$

**Figura 4.11.**

Superficie de contacto de los troncos para 1 m<sup>2</sup>.



Fuente: Elaboración Propia.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

El área de apoyo para 1  $m^2$  es de:

$$2(\text{cm}) \cdot 100(\text{cm}) \cdot 7(\text{troncos}) = 1.400(\text{cm}^2)$$

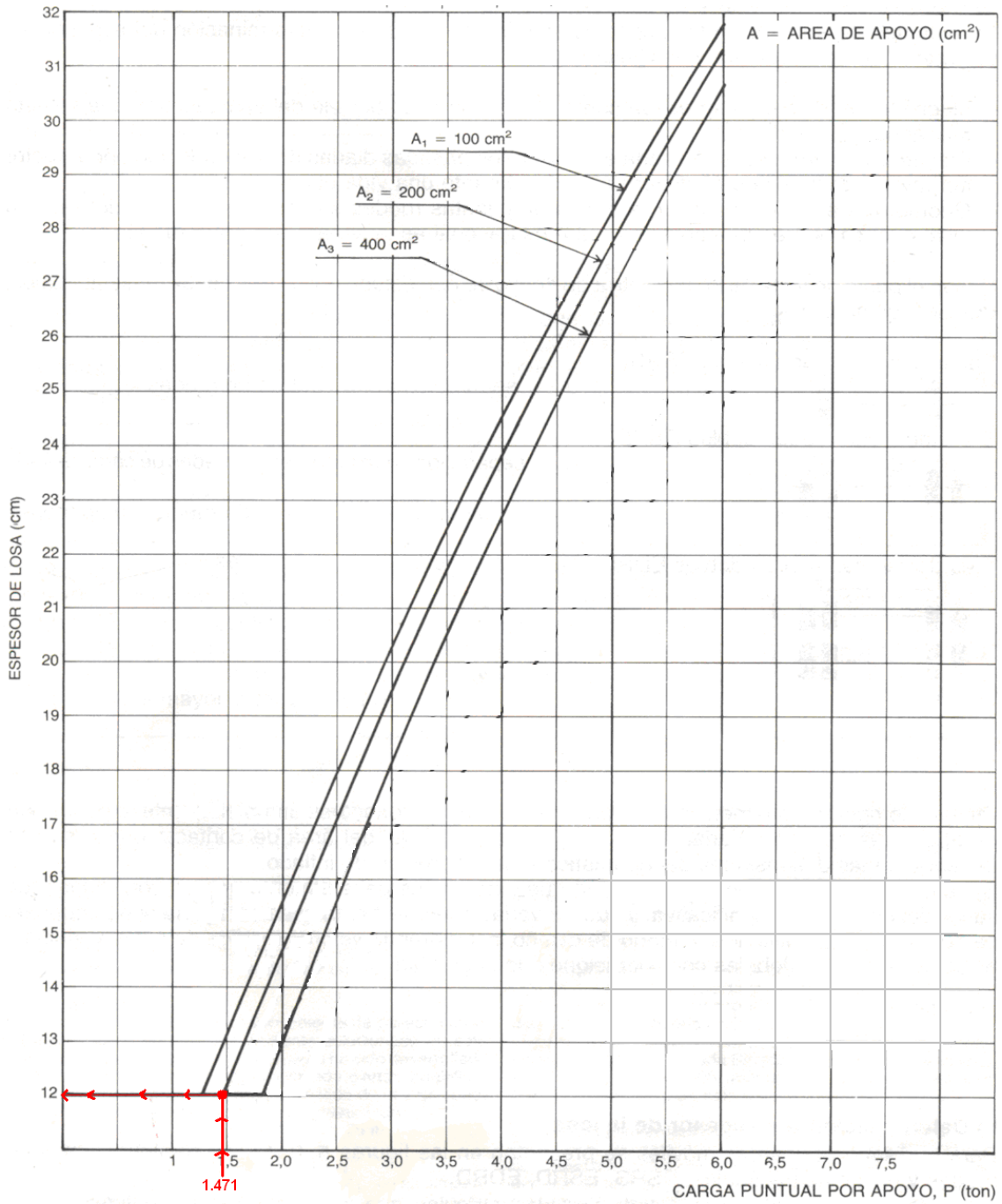
Para efectos de poder utilizar el siguiente ábaco, se supondrá que existe un apoyo de 400  $\text{cm}^2$  de superficie por cada  $m^2$  de la superficie cargada.

Nota: Cabe mencionar que en el manual de Diseño y Construcción de Pavimentos Industriales del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, se realiza un supuesto similar a este, incluso para condiciones más desfavorables, para poder solucionar un ejemplo ahí presentado.

Por lo tanto, la carga por apoyo será de 1,471 Ton. Entrando con este valor al ábaco siguiente, se obtiene el espesor de la losa.

**Figura 4.12.**

Esesores de pavimentos según carga.



Módulo de reacción combinado  
Resistencia media a la flexotracción  
del hormigón a 28 días.

$K_c = 5,5 \text{ kg/cm}^3$   
 $R_m = 35 \text{ kg/cm}^2$

DISTANCIA ENTRE APOYOS = 1 m

Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón  
(Pavimentos Industriales).

Para obtener el espesor de la losa, se ingresa con la carga puntual por apoyo de 1.471 Toneladas en el eje de las ordenadas, a partir de este valor se

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

asciende hasta llegar a la curva del área de  $400 \text{ cm}^2$ , y en seguida a partir de este punto se va hasta el eje de las abscisas y se obtiene un espesor de 12 cm. Pero cabe mencionar que este ábaco esta hecho para una resistencia media a la flexotracción del hormigón a los 28 días de  $35 \text{ Kg/cm}^2$ , y como el hormigón que se utiliza para construir esta losa no armada de hormigón es un H30, entonces se debe emplear el criterio que entrega el manual: “Diseño y Construcción de Pavimentos Industriales” del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, el que dice que por cada  $4 \text{ Kg/cm}^2$  de resistencia a flexotracción por sobre los  $35 \text{ Kg/cm}^2$  considerados, puede reducirse el espesor de la losa en 1 cm.

**Tabla 4.15.**

Resistencia a la compresión para los distintos Hormigones.

Clasificación de Hormigones según NCh 170 of. 85	
Grado	Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
H20	160
H25	200
H30	250
H35	300
H40	350

Fuente: Apuntes de clases de Hormigón Armado.

Resistencia a la compresión del hormigón H30 =  $250 \text{ Kg/cm}^2$

**Tabla 4.16.**

Relaciones típicas entre la resistencia a la compresión y a la flexotracción del hormigón.

Rc	Rf/Rc
70	0.21
140	0.19
210	0.16
280	1.15
350	0.14
420	0.13

Fuente: Apuntes de clases de Hormigón Armado.

Donde: Rc: Resistencia a compresión.

Rf: Resistencia a flexotracción.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Entonces interpolando es posible encontrar  $R_f$  para el hormigón H30:

$$\frac{280 - 210}{0.15 - 0.16} = \frac{280 - 250}{0.15 - X} \quad X = 0.154$$

$$\frac{Y}{250} = 0.154 \quad Y = 38.5$$

Entonces, tal como lo indica el criterio anteriormente señalado, en este caso la resistencia a la flexotracción supera en aproximadamente  $4 \text{ Kg/cm}^2$  a la resistencia utilizada para el ábaco, por lo que corresponde que al espesor de la losa se le reste 1 cm, por lo que finalmente el espesor de la losa no armada es de 11 cm.

#### **Determinación del espesor de la subbase:**

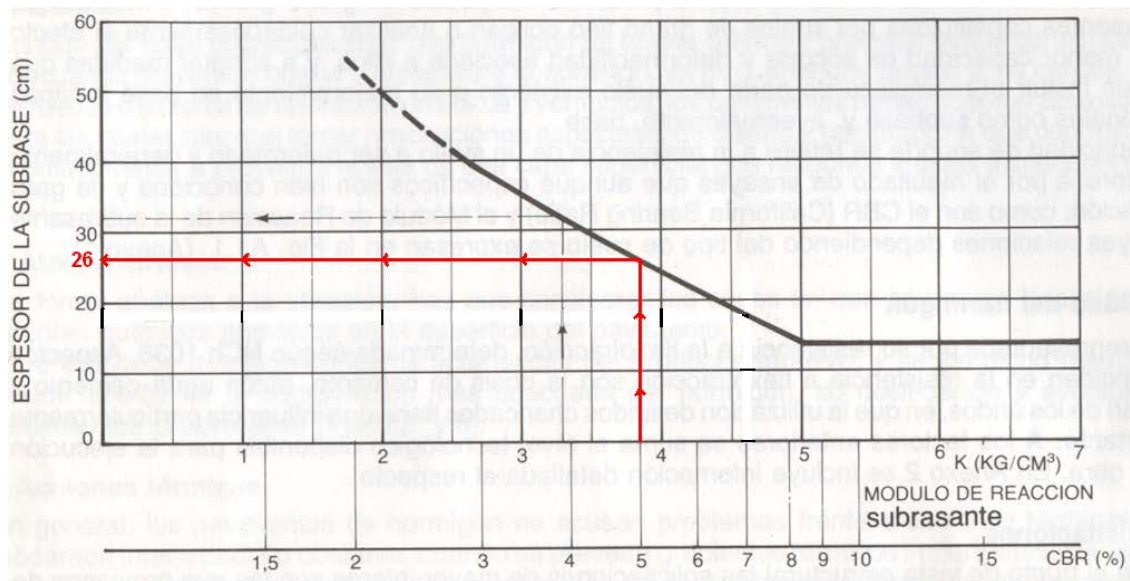
Se determina de la misma forma como se obtuvo anteriormente para el diseño de la cancha de hormigón para las solicitudes de tránsito.

Para conseguir el espesor de la subbase, se ingresa al siguiente gráfico con el valor del CBR 5 de la subrasante en el eje de las ordenadas, a partir de este valor se asciende hasta llegar a la curva de espesores de la subbase, y en seguida a partir de este punto se va hasta el eje de las abscisas y se obtiene un espesor de subbase de 26 cm.



**Figura 4.13.**

Espesores de subbases según CBR.



Fuente: Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón (Pavimentos Industriales).

#### 4.4.2. Cancha de Asfalto:

Para diseñar esta cancha, se utilizará el espesor que se obtuvo para la losa de hormigón no armada en el punto 4.4.1., y se verificará si este espesor es necesario para los EE encontrados en la cancha de asfalto para el diseño vehicular, ya que de no cumplir, el método de diseño que controlaría para el asfalto sería el vehicular.

Lo primero será determinar cuantos EE corresponden para una losa no armada de hormigón de 11 cm, para esto emplearemos el método de diseño utilizado en el punto 4.3.2, con los mismos valores utilizados allí, y la incógnita para este caso serán los EE.

$$Tt = \left( \frac{H + 2,54}{2,588} \right)^{7,35} * 10^\alpha * \beta^{(4,22 - 0.32 * pf)} \quad (*)$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

$$\alpha = \frac{\log(0.33 * \Delta p)}{1 + \left(\frac{18,078}{H + 2,54}\right)^{8,46}} - ZR * So$$

$$\beta = \frac{Rm * Cd}{15,185 * J} * \left( \frac{H^{0,75} - 2,278}{H^{0,75} - 46.79 * \left(\frac{K}{E}\right)^{0,75}} \right)$$

Una vez reemplazados cada uno de los valores en la ecuación (\*) se obtiene el valor Tt:

$$Tt = 35.142$$

Pero:

$$Tt = EE \cdot F_R$$

$$F_R = 10^{-Z_R \cdot So} = 10^{-0.253 \cdot 0.35} = 1.23$$

$$EE = \frac{Tt}{F_R} = \frac{35.142}{1.23} = 28.571$$

De esta forma se obtienen los EE para una losa no armada de hormigón de 11 cm, y por medio de estos, realizando una relación simple, se encontrarán los EE para una carpeta de rodado de asfalto, considerando los EE encontrados en el punto 4.2.2.6.

Entonces:

Asfalto:

$$EE_{\text{totales}} = 18.368 \cdot 2 \cdot 20 = 734.720$$

Hormigón:

$$EE_{\text{totales}} = 11.920 \cdot 2 \cdot 20 = 476.800$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

$$\frac{734.720}{476.800} = \frac{X}{28.571}$$

$$X = 44.027$$

Luego, se determina que los EE para un pavimento flexible, (en este caso asfalto) correspondientes al espesor de la losa de hormigón de 11 cm, son 44.027, por lo que se puede concluir con toda propiedad, que el diseño de la cancha de asfalto, para la sollicitación que producen los troncos, será insuficiente para el total de EE que circulan por la cancha (734.720).

#### **4.4.3. Cancha de Adoquines:**

Al tratarse los adoquines de un pavimento flexible, resulta válido aferrarse a las justificaciones entregadas anteriormente para la cancha de asfalto.

Por lo que no será necesario realizar el diseño de la cancha de adoquines para la carga de los troncos, ya que se deduce que el diseño que controlará será el efectuado para los vehículos.

#### **4.4.4. Cancha con Tratamiento Superficial:**

Bajo los mismos argumentos enunciados en el punto anterior, se deduce que el diseño que controlará para el tratamiento superficial será el realizado para los vehículos.

#### **4.4.5. Cancha con Base Tratada con Cemento:**

Bajo los mismos argumentos enunciados en el punto anterior, se deduce que el diseño que controlará para el tratamiento superficial será el realizado para los vehículos.

#### **4.5. ELECCIÓN DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS CANCHAS.**

Como ya se señaló con anterioridad que para todos los tipos de soluciones de pavimento realizadas en este proyecto, el diseño que controla es el que se realizó para las cargas que provocan los vehículos en la cancha de acopio, ya que como se demostró, las dimensiones que entrega este diseño, en comparación a la carga que provocan los troncos de madera, es considerablemente superior. Por lo tanto, las soluciones para las distintas soluciones de pavimentos son:

##### **Cancha de asfalto:**

Carpeta asfáltica = 8 cm

Base = 15 cm

Subbase = 15 cm

##### **Cancha de hormigón:**

Espesor de la losa = 18 cm

Subbase = 26 cm

##### **Cancha de adoquines:**

Subbase granular = 35 cm

Cama de arena = 3 cm

Espesor de adoquines = 80 mm

Forma adoquines = dentados

Resistencia media = 45 MPa

Tipo de aparejo = esquina de pescado

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Cancha con Tratamiento Superficial:**

Base = 15 cm

Subbase = 25 cm

**Cancha con Base Tratada con Cemento:**

Base = 12 cm

Subbase = 15 cm

**4.5.1 TABLA RESUMEN DIMENSIONAMIENTOS.**

	TIPO DE PAVIMENTO				
	HORMIGÓN	ASFALTO	ADOQUINES	TRATAMIENTO SUPERFICIAL	BASE TRATADA CON CEMENTO
ESPESOR CARPETA RODADO (cm)	18	8	8	-	-
ESPESOR BASE (cm) (CBR 90%)	-	15	3	15	12
ESPESOR SUB-BASE (cm) (CBR 40%)	26	15	35	25	15
SUBRASANTE (CBR 5%)					

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPÍTULO 5.

### EVALUACIÓN DEL DRENAJE DE LAS CANCHAS.

#### 5.1. INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo, muestra todo lo perteneciente al sistema de drenajes que poseen las canchas bajo riego, y a la vez exponen el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema.

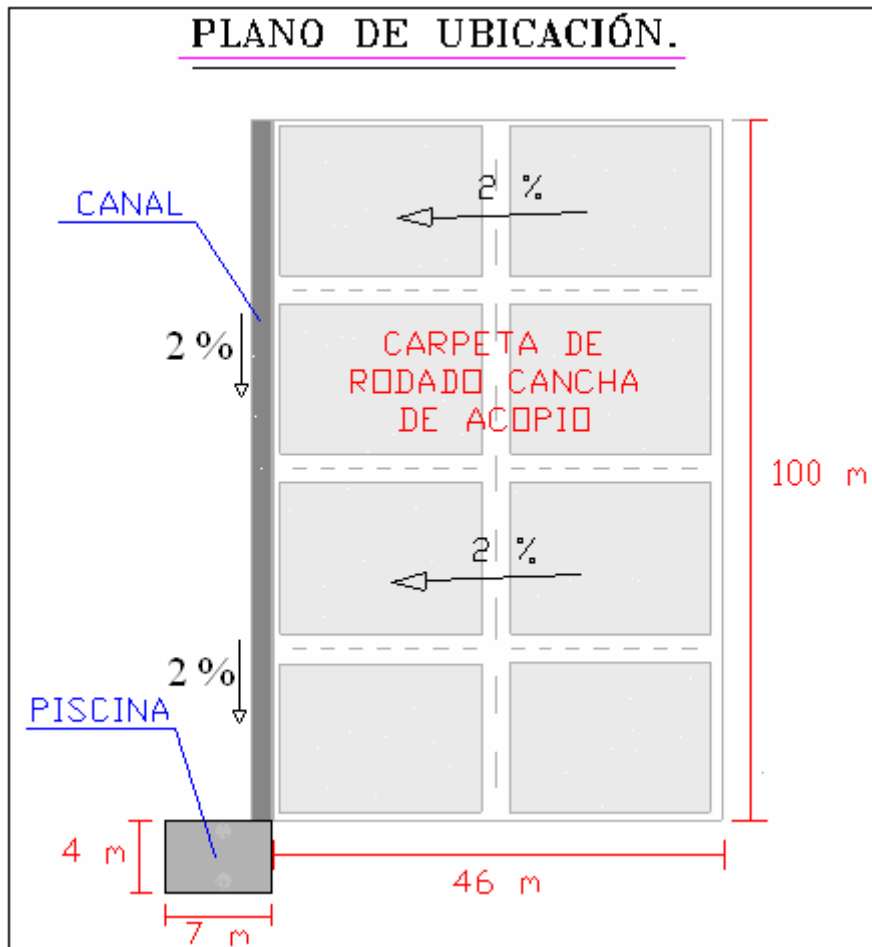
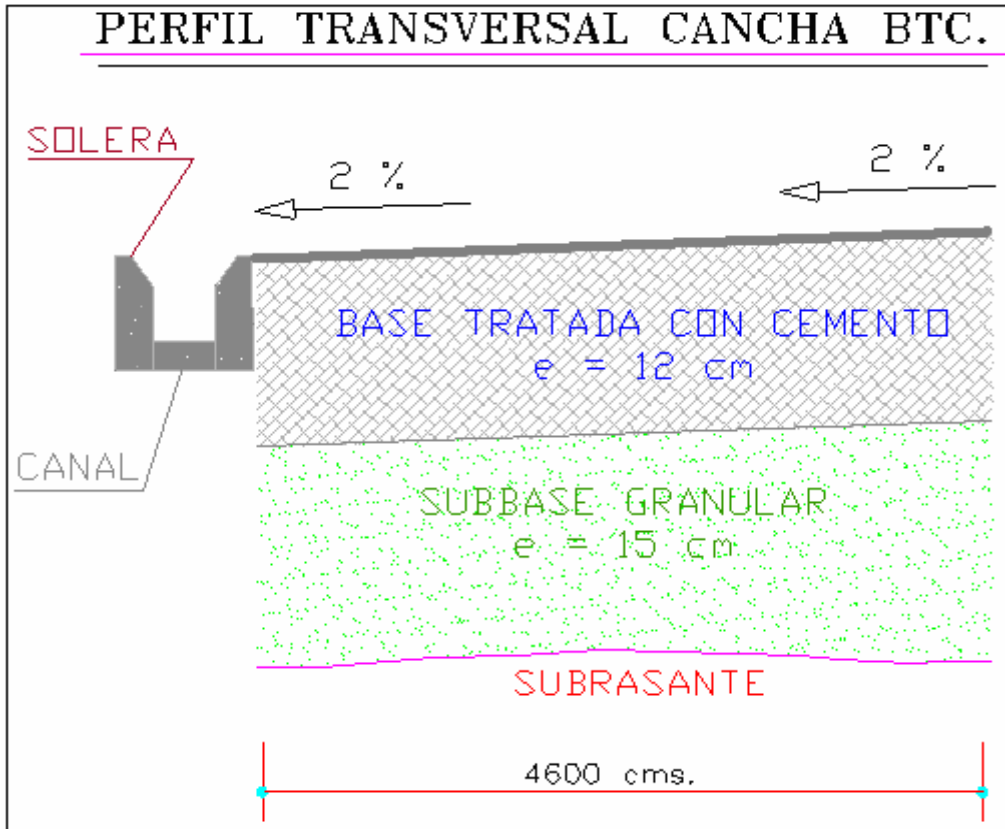
A continuación, se realiza un estudio sobre el drenaje que poseen los distintos tipos de canchas, donde se describe como se evacua el agua desde la cancha de acopio hasta llegar al canal o foso (con o sin revestimiento), según sea el caso, el cual transporta el agua hasta la piscina de almacenamiento y reciclado.

#### Figura 5.1.

Imagen del canal de evacuación y piscina de abastecimiento de agua.



El drenaje de la cancha, esta formado por un sistema de riego, el cual extrae agua desde la piscina de almacenamiento para aplicar el riego sobre las canchas, el agua que es dispersa sobre la cancha, posteriormente es recogida y conducida por el canal nuevamente hacia la piscina, es decir, el agua es reciclada para ser reutilizada en el riego de las canchas.



## **5.2. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE RIEGO.**

### **5.2.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN.**

Cada planta debe estudiar la mejor alternativa de abastecimiento de agua para el riego de las canchas, la cual normalmente corresponde a un sistema de punteras, o extracción de agua desde algún cauce cercano a la planta.

### **5.2.2. RECUPERACIÓN DE AGUA DE RIEGO.**

El sistema tiene por objetivo la recuperación del máximo posible de agua que pase por la madera. Esto a través de un canal de recuperación con pendientes y velocidades que permitan la sedimentación de piedras, arena, o elementos pesados. Además este debe poseer rejillas para separar la corteza desprendida de los trozos, del agua a reciclar.

Este canal desemboca en una piscina de decantación de modo que las partículas en suspensión se acumulan para su retiro, en un buen porcentaje antes de ser arrastradas al sumidero de bombas.

### **5.2.3. AGUA EXCEDENTE.**

Contigua a la piscina de decantación, se ubica una piscina de lodos que permite mantener por 24 horas un volumen adecuado de agua con elementos en suspensión y en solución antes de ser enviados (de ser necesario) al sistema de tratamiento de la planta. Para ello se debe contar con una bomba de lodos que transportará el agua a los cauces naturales o a la planta de tratamiento.

Las aguas lluvias, que por su intensidad pueden sobrepasar los equilibrios del sistema, poseen una salida por rebalse entubada hacia los canales de escurrimiento natural.



#### **5.2.4. MATRICES.**

Las canchas de riego, son alimentadas por una matriz cerrada de PVC.

En las singularidades, llevan fitting de fierro fundido empotrados en poyos de hormigón, cuyas dimensiones están determinadas por la presión y el área de la cañería en esos puntos.

#### **5.2.5. IMPULSIÓN.**

Para los efectos de impulsión se cuenta con una Sala de Bombas, la que por lo general posee 2 bombas, una en operación y la otra Stand By, la capacidad de estas bombas depende del tamaño de las canchas y de los volúmenes de agua de riego.

Cada planta debe proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento de las bombas.

#### **5.2.6. CÁMARAS.**

Las cámaras presentan hidratante en su interior, son de hormigón armado, capaces de soportar el peso de los camiones y grúas, y a razón de una cámara por aspersor.

#### **5.2.7. ASPERSORES.**

Cada empresa decide el tipo de aspersores que utilizará de acuerdo a sus necesidades.

En el caso de Planta de Celulosa Laja, se usan aspersores marca Perrot fabricados en Alemania, dispuestos en forma triangular formando un triángulo isósceles, y ubicados sobre la ruma en trípodes metálicos.

### **5.3. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE DRENAJE PARA CADA TIPO DE PAVIMENTO.**

#### **5.3.1. Cancha de Asfalto.**

Esta cancha posee en su superficie un sello asfáltico, el que tiene como finalidad sellar la superficie pavimentada, con el objeto de evitar posibles infiltraciones de agua en la carpeta asfáltica, por lo que el agua fluye sobre la carpeta de rodado, gracias a la pendiente que posee la cancha, hasta ser evacuada por los canales o fosos, tal como se muestra en la siguiente figura. Por lo tanto, esta solución, es absolutamente viable en su aplicación.

**Figura 5.1.**

Imprimación de la cancha.



#### **5.3.2. Cancha de Hormigón.**

Este tipo de cancha, se trata de una losa de hormigón, formada por 8 paños (como se indica en la figura 3.3), con sus juntas selladas, lo que impide la infiltración de agua, por lo tanto, ésta solo fluye por sobre la losa gracias a la pendiente que presenta la cancha, hasta llegar a los canales de evacuación de agua que se encuentran en el extremo más bajo de la cancha. En este tipo de

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

solución, se debe tener especial cuidado con las juntas, con el fin de evitar la infiltración del agua hacia las capas inferiores. Este tipo de solución es aplicable al tipo de requerimientos de las canchas.

### **5.3.3. Cancha de Adoquines.**

Para este caso, como una superficie compuesta por adoquines no posee algún tipo de sellante entre uno y otro adoquín, y lo que se coloca es arena, hecho por el cual el agua se infiltra desde la superficie, hasta llegar a la subbase, la cual goza de la característica de ser impermeable, por lo tanto, en este caso el agua circula por sobre la subbase gracias, obviamente, a la pendiente que posee la cancha, hasta desembocar en el canal de recolección de agua. Sin embargo, este tipo de solución no es recomendable para los requerimientos de las canchas, ya que aunque la subbase sea impermeable, al estar constantemente saturada de agua, esta inevitablemente fallará y presentará deformaciones.

### **5.3.4. Cancha con Tratamiento Superficial.**

Al igual que para el caso anterior, el agua en este tipo de cancha se infiltra hacia las capas inferiores del pavimento debido a que en la superficie no existe ningún material que cumpla el rol de sellar la capa de rodado, por lo cual, al ser la subbase impermeable, el agua circula por ésta debido a la pendiente que posee la cancha, hasta alcanzar el canal de recolección de agua. El espesor de este pavimento es muy bajo y con los giros a 90° se desprende su superficie y falla, además esta alternativa de pavimento presenta el mismo problema de la solución anterior en cuanto a la saturación de la subbase y su posterior deformación, por lo que no se recomienda emplear esta opción de pavimento.

### **5.3.5. Cancha con Base Tratada con Cemento.**

Como esta cancha fue diseñada con una aplicación de asfalto, específicamente una imprimación bituminosa, la cual sella la base tratada con cemento, por lo que el agua no se infiltra hacia las capas inferiores, sino que corre pendiente abajo de la cancha hasta desembocar en el canal de recolección de aguas. Este tipo de solución, permite resolver de la mejor forma las necesidades que presentan las canchas de acopio de madera, además, cabe señalar que las bases tratadas con cemento poseen la cualidad de aumentar su resistencia con el paso del tiempo. Por lo tanto, es absolutamente viable su aplicación.

## **CAPÍTULO 6.**

### **ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS SOLUCIONES.**

#### **6.1. INTRODUCCIÓN.**

En cuanto al análisis técnico de las soluciones, en este capítulo, se realiza una evaluación cualitativa sobre las ventajas y desventajas que presenta cada tipo de solución de pavimento, para así resolver de una forma más efectiva sobre que alternativa utilizar ante la presencia de algún tipo de escenario que se presente.

En lo referente a los costos, por lo general, en proyectos de vialidad, los costos a considerar en la construcción de un pavimento, son los de construcción y conservación. Si bien en este caso, para el cálculo del costo por diseñar cada tipo de cancha, sólo se consideraron los costos de construcción de las distintas soluciones, cabe señalar, que a la hora de decidirse por una u otra alternativa de pavimento, se tendrá presente el tema de los costos de conservación de cada alternativa.

#### **6.2. ANÁLISIS TÉCNICO DE LAS SOLUCIONES.**

##### **6.2.1. Cancha de Asfalto.**

Ventajas:

- Resulta más económica en su construcción, en comparación con los pavimentos de hormigón y de adoquines de concreto.
- La instalación del asfalto es rápida en comparación a otras superficies, es decir, su tiempo de construcción es menor al de las demás soluciones y los rendimientos de tiempos y de mano de obra son muy elevados.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- El tiempo de curado del pavimento asfáltico es muy corto, la cancha se puede comenzar a utilizar un día después de su construcción.
- Los pavimentos asfálticos pueden ser reciclados, lo cual es una ventaja considerando el ahorro económico que involucra esta técnica.
- Los pavimentos de asfalto pueden ser sometidos a un cepillado de su superficie, lo que corrige la irregularidad del pavimento dejando una superficie lisa.

Desventajas:

- El pavimento asfáltico requiere de una mayor cantidad de mantenimientos en comparación a los pavimentos de hormigón, los cuales a la vez poseen un costo superior al de estas otras superficies.

### **6.2.2. Cancha de Hormigón.**

Ventajas:

- Los pavimentos de hormigón pueden ser sometidos a un cepillado de su superficie, lo que corrige la irregularidad del pavimento dejando una superficie lisa.
- La vida útil de este tipo de pavimento, es superior a todas las restantes alternativas evaluadas en este proyecto.
- A diferencia de las otras alternativas de pavimento, los pavimentos de hormigón soportan de una mejor manera cargas de tráfico pesado.

Desventajas:

- El tiempo de curado del pavimento de hormigón es considerablemente superior al de las demás soluciones de pavimentación estudiadas.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- El costo de construcción de un pavimento de hormigón, es mayor al de otras superficies.
- Requiere de una mantención permanente de los sellos de las juntas.

### **6.2.3. Cancha de Adoquines.**

Ventajas:

- La gran variedad de formas, colores y texturas con que pueden ser fabricados los adoquines y la diversidad de aparejos que es posible usar, entregan al proyectista elementos que adecuadamente conjugados dan por resultado pavimentos muy atractivos. Utilizando diversos colores y texturas es posible incluir en la superficie señalizaciones o demarcar áreas para usos específicos, con la ventaja adicional de poder cambiarlos fácilmente en caso de ser necesario.
- Una combinación de baja relación agua-cemento, baja absorción y alta compacidad, características que poseen los adoquines fabricados industrialmente, permiten que estos elementos resistan mejor que otros tipos de pavimentos la acción agresiva de combustibles y aceites; además, les confieren una gran durabilidad que sobrepasa normalmente la vida de diseño del pavimento. Esto último permite reutilizarlos en un gran porcentaje al reconstruir el pavimento.
- En el caso de los pavimentos de adoquines, la conservación se reduce a eliminar la vegetación que eventualmente aparezca en las juntas, reponer el sello de arena o corregir la regularidad superficial cuando ello sea necesario, lo que implica un costo muy bajo de mantención.
- Debido a la sencillez del proceso constructivo, no se requiere mano de obra especializada ni maquinaria especial.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- Por su rugosidad los pavimentos de adoquines tienen una mayor resistencia al deslizamiento que los pavimentos tradicionales.
- Los pavimentos de adoquines pueden ser rápidamente entregados al tránsito después de su colocación.

Desventajas:

- Aunque la subbase sea impermeable, al estar constantemente saturada de agua, esta inevitablemente fallará y presentará deformaciones, lo que hace impracticable esta solución.
- Para un pavimento de adoquines con altas solicitaciones de carga, el costo de construcción es elevado en relación a otras soluciones.
- Como la construcción se realiza básicamente en forma manual el rendimiento es, en general, inferior al obtenido en otros tipos de pavimentos, por lo que se requiere de gran cantidad de mano de obra en cuando la superficie a pavimentar es muy amplia.

#### **6.2.4. Cancha con Tratamiento Superficial.**

Ventajas:

- La principal ventaja del tratamiento superficial, es el bajo costo que éste presenta en el área de la construcción, en comparación con los pavimentos de asfalto, hormigón y adoquines.

Desventajas:

- Aunque la subbase sea impermeable, al estar constantemente saturada de agua, esta inevitablemente fallará y presentará deformaciones, lo que hace impracticable esta solución.



Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- La vida de diseño de este tipo de pavimento, al ser sometido a cargas elevadas es baja. Para el caso de las canchas de acopio, se deben reparar cada año.
- Requiere de mucha experticia para obtener un buen resultado.

**6.2.5. Cancha con Base Tratada con Cemento.**

Ventajas:

- Al incorporar cemento a la base, esto permite que no se requiera un pavimento en la superficie.
- El bajo costo de construcción que posee este tipo de pavimento.
- Mejora su resultado en el tiempo como consecuencia de la hidratación permanente.
- La puesta en servicio de esta solución, es rápida una vez construido el pavimento.
- Los costos de mantención de las bases tratadas con cemento son muy bajos.

Desventajas:

- Al igual que para el tratamiento superficial, la vida de diseño de este tipo de pavimento, al ser sometido a cargas elevadas es baja. Para el caso de las canchas de acopio, se deben reparar cada año.

### 6.2.6. CUADRO COMPARATIVO CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES.

Tipo de Pavimento	Costo de Construcción	Tiempo de Construcción	Tiempo de Curado	Costo de Mantenimiento	Durabilidad	Superficie Impermeable	Características
Hormigón	Alto	Medio	Alto	Alto	Alta	Si	Cepillados
Asfalto	Medio	Medio	Bajo	Alto	Alta	Si	Reciclados Cepillados
Adoquines	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Alta	No	Variedad Reutilizables
Tratamiento Superficial	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Baja	No	Gran Experiencia
Base Tratada con Cemento	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Media	Si	No Requiere Pav. Sup.

Fuente: Elaboración Propia.

### 6.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS SOLUCIONES.

El siguiente análisis económico de las soluciones empleadas en el presente proyecto, considera valores actuales de costos de mercado. Los valores incluyen IVA.

#### 6.3.1. Cancha de Asfalto.

Análisis de costos:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total
1	Excavación con retiro a botadero interno	m3	690	\$2.400	\$1.656.000
2	Preparación subrasante	m2	4600	\$424	\$1.950.400
3	Suministro e instalación sub-base estabilizada, e= 15 cm	m3	690	\$22.000	\$15.180.000
4	Instalación base estabilizada, e= 15 cm	m3	690	\$25.000	\$17.250.000
5	Imprimación bituminosa MC-30	m2	4600	\$600	\$2.760.000
6	Carpeta Asfáltica en caliente, e= 8 cm	m2	4600	\$8.100	\$37.260.000
7	Suministro y colocación de soleras tipo A	ml	292	\$7.295	\$2.130.140
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>\$78.186.540</b>

$$\text{Costo por } m^2: 16.997 \frac{\$}{m^2}$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**6.3.2. Cancha de Hormigón.**

Análisis de costos:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total
1	Excavación con retiro a botadero interno	m3	1196	\$2.400	\$2.870.400
2	Preparación subrasante	m2	4600	\$424	\$1.950.400
3	Suministro e instalación sub-base estabilizada, e= 26 cm	m3	1196	\$22.000	\$26.312.000
4	Carpeta de Hormigón, e= 18 cm	m3	828	\$59.000	\$48.852.000
5	Suministro y colocación de soleras tipo A	ml	292	\$7.295	\$2.130.140
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>\$82.114.940</b>

$$\text{Costo por } m^2: 17.851 \frac{\$}{m^2}$$

**6.3.3. Cancha de Adoquines.**

Análisis de costos:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total
1	Excavación con retiro a botadero interno	m3	1610	\$2.400	\$3.864.000
2	Preparación subrasante	m2	4600	\$424	\$1.950.400
3	Suministro e instalación sub-base impermeable, e= 35 cm	m3	1610	\$23.000	\$37.030.000
4	Instalación cama de arena, e= 3 cm	m3	138	\$21.000	\$2.898.000
5	Adoquines de Concreto (Instalados)	Unidad	230000	\$350	\$80.500.000
6	Suministro y colocación de soleras tipo A	ml	292	\$7.295	\$2.130.140
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>\$128.372.540</b>

$$\text{Costo por } m^2: 27.907 \frac{\$}{m^2}$$

Consideraciones:

- La subbase que se usa en este diseño corresponde a una subbase impermeable.

### 6.3.4. Cancha con Tratamiento Superficial.

Análisis de costos:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total
1	Excavación con retiro a botadero interno	m3	1150	\$2.400	\$2.760.000
2	Suministro e instalación sub-base impermeable, e= 25 cm	m3	1150	\$23.000	\$26.450.000
3	Instalación Tratamiento Superficial, e= 15 cm	m3	690	\$28.000	\$19.320.000
4	Suministro y colocación de soleras tipo A	ml	292	\$7.295	\$2.130.140
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>\$50.660.140</b>

$$\text{Costo por } m^2: 11.013 \frac{\$}{m^2}$$

Consideraciones:

- La subbase que se usa en este diseño corresponde a una subbase impermeable.

### 6.3.5. Cancha con Base Tratada con Cemento.

Análisis de costos:

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Total
1	Excavación con retiro a botadero interno	m3	690	\$2.400	\$1.656.000
2	Suministro e instalación sub-base estabilizada, e= 15 cm	m3	690	\$22.000	\$15.180.000
3	Instalación Base Tratada con Cemento, e= 12 cm	m2	552	\$38.000	\$20.976.000
4	Imprimación bituminosa MC-30	m2	4600	\$600	\$2.760.000
5	Riego de arena	m2	4600	\$700	\$3.220.000
6	Imprimación Reforzada	m2	4600	\$1.200	\$5.520.000
7	Suministro y colocación de soleras tipo A	ml	292	\$7.295	\$2.130.140
<b>PRECIO TOTAL</b>					<b>\$51.442.140</b>

$$\text{Costo por } m^2: 11.183 \frac{\$}{m^2}$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Consideraciones:

- La dosis de cemento es de un 5 % en peso respecto del agregado seco aproximadamente.
- Sobre la base tratada con cemento se coloca una imprimación bituminosa, que corresponde a un asfalto cortado MC-30 la cual actúa como sello.

**6.3.6. TABLA RESUMEN DE COSTOS.**

	<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>\$/m2</b>
<b>CANCHA DE ASFALTO</b>	78.186.540	16.997
<b>CANCHA DE HORMIGÓN</b>	82.114.940	17.851
<b>CANCHA DE ADOQUINES</b>	128.372.540	27.907
<b>CANCHA CON TRATAMIENTO SUPERFICIAL</b>	50.660.140	11.013
<b>CANCHA CON BASE TRATADA CON CEMENTO</b>	51.442.140	11.183

Fuente: Elaboración Propia.

## **CAPÍTULO 7.**

### **CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.**

El objetivo principal de éste Proyecto de Título, fue realizar un estudio de soluciones de pavimentación para canchas de acopio para industrias forestales. Gracias a esto, se puede recomendar el tipo de solución a emplear para cada tipo de industria, señalando que en este sentido el trabajo fue satisfactorio.

Es evidente que la mejor solución de pavimento para una cancha de acopio no será la misma cualquiera sea el caso. Esto dependerá principalmente de las necesidades de cada industria, y de los recursos económicos que esta posea para la construcción de la cancha.

Claramente a partir de los resultados que entregó el diseño de cada una de las canchas, así como de los análisis tanto técnicos como económicos realizados para cada alternativa, la mejor solución de pavimento es la Base Tratada con Cemento, cabe señalar que las razones para concluir esto son variadas, las que se encuentran detalladas a continuación.

Primero, esta solución es capaz de soportar de buena manera las distintas solicitaciones a las que es sometida la cancha, esto es, el tránsito de los vehículos y el almacenamiento de la madera. Además, proporciona una capa de rodadura cómoda y segura a la diversidad de maquinaria que transita sobre la cancha.

Gracias a los imprimantes que sellan la Base Tratada con Cemento (BTC), el agua no se infiltra hacia las capas inferiores, lo que asegura el correcto funcionamiento de la cancha.

Por lo demás, es una alternativa con un costo muy bajo tanto de construcción como de mantenimiento, lo que la hace ser más atractiva.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Dado lo anterior, se deduce, que la mejor opción de pavimento para las industrias forestales corresponde a la BTC, salvo en el caso de las industrias que cuentan con maquinaria delicada en sus procesos, las que necesariamente deberán optar por la alternativa de la cancha de asfalto, ya que dichas maquinas no pueden utilizar maderas contaminadas con piedrecillas ni otros elementos rígidos.

Si bien una de las principales desventajas que presenta el pavimento asfáltico, es la menor vida útil de la que esta solución disfruta, cabe recordar que los resultados de ésta experiencia se realizaron para un periodo de vida de 20 años, por lo que no debiese presentar problemas prematuramente.

La alternativa del pavimento de Hormigón, si bien es una alternativa aplicable para este caso, resulta menos apropiada que las anteriormente señaladas, principalmente debido a su alto costo de construcción, a su permanente mantención del sello de las juntas y a su elevado tiempo de curado antes de ser puesta en servicio, condiciones que la hacen inferior a la alternativa de asfalto.

En relación a los pavimentos de adoquines, cabe mencionar, que estos se deben descartar completamente en la utilización de canchas de acopio, ya que además del alto costo de construcción que poseen, se encuentra el problema de la subbase, que a pesar de ser impermeable, al estar constantemente saturada de agua, inevitablemente fallará y presentará deformaciones, lo que impide el adecuado funcionamiento de la cancha.

Así también, la alternativa de Tratamiento Superficial, se debe descartar como solución de pavimento para las canchas, ya que estas presentan dificultades tales como; fallas ante elevadas cargas de sollicitación y a problemas de la subbase, el que se iguala al expuesto anteriormente en los pavimentos de adoquines.

Por otra parte, con respecto al drenaje de las canchas, se recomienda que el canal o foso que recibe el agua de la cancha y luego la conduce hacia la

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

piscina, se encuentre revestido con algún material apropiado, sea cual sea el pavimento de la cancha, ya que así se evita la filtración del agua, se logra una mayor velocidad de escurrimiento del agua y el agua se mantiene mas limpia y con menor contaminación. Además, el canal debe poseer rejillas para separar la corteza desprendida de los trozos u algún otro elemento.

Finalmente, es importante indicar, que si bien lo anterior expuesto tiene como propósito aportar y recomendar acerca del tipo de pavimento a utilizar en la elaboración de una cancha de acopio, el encargado de cada proyecto deberá analizar y estudiar con detención las diversas ventajas y desventajas que presentan cada tipo de superficies, una vez efectuado lo antepuesto, y a partir del capital y de las solicitudes que posea, se podrá proceder a decidir la alternativa más conveniente para la ejecución del proyecto.



## **BIBLIOGRAFÍA.**

Díaz, B (2004). Tesis, “Comparación Económica de Distintas Alternativas de Pavimentación Urbana en la Ciudad de Concepción”. U. Del Bío-Bío, Concepción – Chile.

Dirección de Vialidad, MOP 2002. Manual de Carreteras. Volumen 3: Instrucciones y criterios de diseño.

Dirección de Vialidad, MOP 2003. Manual de Carreteras. Volumen 5: Especificaciones técnicas generales de construcción.

Gabler, C (2006). Apuntes curso Hormigón Armado. U. del Bío-Bío, Concepción – Chile.

González, A (2008). Tesis, “Análisis de Métodos de Diseño Estructural de Pavimentos Granulares, Para Uso Forestal”. U. del Bio-Bío, Concepción – Chile.

Instituto chileno del cemento y del hormigón, “Evaluación Económica de distintas Alternativas de Pavimentos Urbanos (Hormigón, Asfalto y Adoquines)”, Chile, 1985.

Instituto chileno del cemento y del hormigón, “Diseño de Pavimentos de Hormigón”, Chile, 1991.

Instituto chileno del cemento y del hormigón, “Diseño de Pavimentos Industriales”, Chile, 1991.

Instituto chileno del cemento y del hormigón, “Pavimentos de Adoquines – Diseño y Construcción”, Chile, 1991.

*Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.*

Pardo, M (2007). Apuntes curso Diseño y Mantenimiento de Pavimentos. U. del Bío-Bío, Concepción – Chile.

Pardo, M (2007). Apuntes curso Tecnología del Asfalto. U. del Bío-Bío, Concepción – Chile.

# ***ANEXOS***

**ANEXO A**  
**METODOLOGÍA DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN.**

**A.1. La ecuación básica del método es:**

$$EE = \left[ \frac{H + 25.4}{25.882} \right]^{7.35} 10^{\alpha} \beta^{(4.22 - 0.32pf)}$$

$$\alpha = \frac{\log \left[ \frac{pi - pf}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \left[ \frac{180.779}{H + 25.4} \right]^{8.46}} + Z_r \times So$$

$$\beta = \frac{R_m \times Cd}{1.487j} \left[ \frac{H^{0.75} - 12.808}{H^{0.75} - 83.200 \left[ \frac{k}{E} \right]^{0.25}} \right]$$

**Tabla A.1:** Parámetros ecuación de diseño de pavimentos de hormigón

Símbolo	Unidades	Descripción
EE	No	Solicitaciones de tránsito en ejes equivalentes
Zr	Adimensional	Coefficiente estadísticos asociado a la confiabilidad
So	Adimensional	Desviación estándar combinada en la estimación de los parámetros y del comportamiento del modelo
PSI	Adimensional	Diferencia entre el índice de serviciabilidad final y el inicial (pf – pi)
K	Mpa/m	Módulo de reacción de la subrasante
Cd	Adimensional	Coefficiente de drenaje de la capa granular
Rm	Mpa/m	Resistencia media a la flexo tracción a 28 los días
E	Mpa/m	Módulo de elasticidad del hormigón
J	Adimensional	Coefficiente de transferencia de carga
H	mm	Espesor de la losa de pavimento

**A.2. Variables de entrada al modelo.**

a.- *Periodo de tiempo*

**Tabla A.2:** Recomendaciones del periodo de análisis (AASHTO, 1993)

Condiciones del camino	Periodo de análisis
Urbanos con trafico elevado	30 – 50
Rural con trafico elevado	20 – 20
Rural con bajo volumen de trafico	15 - 25

### A.3 Tránsito.

Los antecedentes necesarios para la estimación de los EE son:

- Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), en ambas direcciones de todos los vehículos.
- Tránsito Medio Diario Anual, en ambas direcciones de vehículos pesados.
- Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo.
- Distribución de ejes solicitantes en cada rango de carga.
- Porcentaje de vehículos pesados que emplearan la pista más cargada (factor de pista de diseño).

### A.4. Confiabilidad en el diseño.

**Tabla A.3:** Recomendaciones de confiabilidad en el diseño (AASHTO, 1993)

<b>Clasificación funcional</b>	<b>Urbano</b>	<b>Rural</b>
Autopista	85 – 99.5	80 – 99.5
Principales	80 – 99	75 – 95
Colector	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

### A.5. Factor de seguridad.

$$FS = 10^{ZrSo}$$

Donde.

**So:** Es la desviación normal del error combinado en la estimación del tráfico de diseño y el modelo de deterioro.

**Zr:** Es el coeficiente estadístico correspondiente al nivel de confiabilidad adoptado.

Tabla A.4: Valores de So para pavimentos de hormigón (CCHC, 1998)

<b>Tránsito de diseño</b>	<b>Valores de So</b>
< 40	0.35
50	0.33
60	0.32
70	0.31
80	0.30

**Tabla A.5:** Valores de FS para pavimentos de hormigón (CCHC, 1998)

Tránsito solicitante en pista de diseño (millones de EE)	Confiabilidad R	Factor Zr	Factor So	FS
<5	50	0.000	0.35	1.00
5 - 15	50 - 60	0.000 - 0.253	0.35	1.00 - 1.23
15 - 30	60 - 70	0.253 - 0.524	0.35	1.23 - 2.84
30 - 50	70 - 75	0.524 - 0.674	0.34	1.51 - 1.70
50 - 70	75 - 80	0.674 - 1.841	0.32	1.64 - 1.86
70 - 90	80 - 85	0.841 - 1.037	0.30	1.79 - 2.05

**A.6. Servicialidad.**

Asfalto:

$$IS = 5.03 - 1.9 \log(1 + SV) - 1.38RD^2 - 0.01(Ca + P)^{1/2}$$

Hormigón:

$$IS = 5.41 - 1.78 \log(1 + SV) - 0.09(Ch + P)^{1/2}$$

SV : Varianza de la pendiente longitudinal medida con perfilómetro  $10^2 \times (pulg/pie)^2$

RD : Ahuellamiento promedio en pavimentos de asfalto, en pulgadas

P : Superficie bacheada  $pie^2/1000pie^2$

Ca : Superficie agrietada  $pie^2/1000pie^2$

Ch : Longitud total de grietas (transversales y longitudes), selladas o abiertas,  $pie^2/1000pie^2$

**Tabla A.6:** Valores recomendados de servicialidad inicial y final (AASHTO,93)

Tipo de pavimento	Nivel inicial de Servicialidad
Rígido	4.5
Tipo de carretera	Nivel final de Servicialidad
Carreteras mayores Carreteras con tráfico menor	o superior 2.0

**Tabla A.7:** Relación índice da servicialidad e índice de rugosidad internacional

<b>Autor</b>	<b>Expresión</b>
Dujísín y Arroyo (1995)	$P = 7.10 - 2.19IRI^{0.5}$
Al Omarí y Dater (1994)	$P = 5e^{-0.272IRI}$
Gulen y otros (1994)	$P = 14.05e^{-0.75IRI}$
	$P = 7.10 - 1.88IRI$
	$P = 6.00 - 9.35\log(IRI)$
	$P = 11.20 - 5.58IRI^{0.5}$

**A.7. Módulo de reacción de la subrasante.**

$$K = 2.55 + 52.5\log(CBR) \quad (\text{Mpa/m})$$

$$K = 46.0 + 9.08(\log CBR)^{4.34} \quad (\text{Mpa/m})$$

Figura 1: Corrección de módulo de reacción de la subrasante (ICHCH, 1985)

$$K_c = \left[ 1 + \left( \frac{h}{38} \right)^2 \left( \frac{K_1}{K_0} \right)^{23} \right]^{0.5} \times K_0 \qquad F_w = \frac{1 - \frac{15K_0}{E_1}}{\left[ 1 - \left( \frac{h}{38} \right)^2 \left( \frac{E_1}{15k_0} \right)^{23} \right]^{0.5}} - \frac{15k_0}{E_1}$$

$K_1$  (kg/cm<sup>3</sup>) : Módulo de reacción de la subrasante

$K_c$  (kg/cm<sup>3</sup>) : Módulo de reacción combinado

$K_0$  (kg/cm<sup>3</sup>) : Módulo de reacción, suelo de apoyo capa rígida

$E_1$  (kg/cm<sup>3</sup>) : Módulo de elasticidad capa rígida de espesor “h”, cm.



**Tabla A.8:** Valores aproximados del Módulo de elasticidad

Tipos de sub-base	% cemento en peso	R 28 kg/cm <sup>2</sup>	Mod. Elasticidad. kg – cm <sup>2</sup> ×10 <sup>3</sup>
Ligada con cemento	1.0 – 2.5	5 a 15	2.0 a 4.0
Tratada con cemento tipo “A”	2.5 – 4.0	25 a 50	4.0 a 10.0
Tratada con cemento tipo “B”	4.0 – 5.5	50 a 100	10.0 a 25.0
Suelo cemento	5.0 – 10.0	20 a 60	5.0 a 30.0

**A.8. Módulo de Elasticidad del Hormigón.**

$$E_c = 57.000(f_c)^{0.5} \quad (\text{lb/in}^2)$$

Donde:

$E_c$  : Módulo de Elasticidad, en  $(\text{lb/in}^2)$

$f_c$  : Resistencia a la compresión a 28 días, en  $(\text{lb/in}^2)$

**A.9. Resistencia a la flexotracción del Hormigón.**

**Tabla A.9:** Valores de resistencia a la Flexotracción (Zabaleta, 1988)

Rc kg/cm <sup>2</sup>	Rf/Rc	Rf kg/cm <sup>2</sup>	Rf Mpa
70	0.21	14.7	1.4
140	0.19	26.6	2.6
210	0.16	33.6	3.3
280	0.15	42.0	4.1
350	0.14	49.0	4.8
420	0.13	54.6	5.4

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Tabla A.10:** Rangos de resistencia media (Rm) y coef. de variación (Cv) por tipo de vía (CCHC, 1998)

Tipo de vía	Resistencia media a la Flexotracción Mpa	Coefficiente de Variación (%)	Observaciones
Vías principales y Autopistas	4.8 – 5.4	<10	Planta Automática, Dosificación p.p
Colectoras	4.6 – 5.0	10 – 15	Dosificación p.p
Caminos secundarios	4.2 – 4.8	15 - 20	Dosificación p.p

**A.10. Drenaje.**

Tabla A.10: Tiempo de drenaje para diseño de pavimentos (AASHTO, 1993)

Calidad de drenaje	Tiempo de remoción de agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy bueno	Sin drenaje

**Tabla A.11:** Valores de Cd para pavimentos rígidos (AASHTO, 1993)

Calidad del drenaje	% de tiempo que el pavimento esta sometido a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	>25 %
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy bueno	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

**A.11. Transferencia de carga.**

La transferencia de carga representa la capacidad de un pavimento de hormigón de transferir parte de las cargas solicitantes a través de las juntas transversales.

El efecto del traspaso de cargas se considera en conjunto con el del sistema de berma, a través de un coeficiente J, cuyos valores se indican en la tabla A.12.

**Tabla A.12:** Coeficiente de traspaso de carga (SERVIU, 1994)

Dispositivos de Transferencia de Carga	Berma con pavimento de Hormigón	Tipo de Base	Condición climática	Valor Coef."J" Largo paños (mt)	
				<4.5	4.5 a 6.0
SI	SI	T.C.C.	Suave	2.5	2.5
			Rigurosa	2.6	2.8
		G.R.	Suave	2.8	2.9
			Rigurosa	2.9	3.1
	NO	T.C.C.	Suave	2.6	2.7
			Rigurosa	2.7	2.9
		G.R.	Suave	2.9	3.0
			Rigurosa	3.0	3.2
NO	SI	T.C.C.	Suave	2.8	3.2
			Rigurosa	3.0	3.4
		G.R.	Suave	3.2	3.6
			Rigurosa	3.4	3.8
	NO	T.C.C.	Suave	3.4	3.8
			Rigurosa	3.6	4.0
		G.R.	Suave	3.8	4.2
			Rigurosa	4.0	4.4

**A.12. Diseño de juntas.**

a.- Tipos de juntas

- Juntas de contracción.
- Juntas de expansión.
- Juntas de construcción.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

b.- Espaciamiento de las juntas

Se recomienda que el espaciamiento no sea superior a 6 cm.

c.- Profundidad de las juntas

Juntas transversales: 1/4 del espesor de la losa.

Juntas longitudinales: 1/3 del espesor de la losa.

d.- Ancho de las juntas de contracción

$$L = CL(\alpha_c T + Z) \quad ; \quad W = \frac{L}{S}$$

Donde:

$\Delta L$  : Expansión de la junta debido a la temperatura, pulg.

$\alpha_c$  : Coeficiente de expansión térmica del hormigón, en °F.

T : Rango de variación de temperatura, °F.

Z : Coeficiente de expansión, pulg/pulg.

L . Espaciamiento de las juntas, pulg.

C : Factor de ajuste por fricción losa – base

C= 0.8 para base granular no tratada

C= 0.65 para base estabilizada

S : Tensión admisible del material sellante de la junta, en mm/mm

S = 0.25 mm/mm para asfalto

S = 0.50 mm/mm para sellantes con silicona

**ANEXO B**  
**METODOLOGÍA DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE ASFALTO Y**  
**BASE TRATADA CON CEMENTO.**

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**B.1. Diseño estructural de pavimentos de Asfalto y Base Tratada con Cemento.**

a.- Ecuación básica del método

$$EE = (NE + 25.4)^{9.36} 10^{-(16.40 - ZrSo)} M_r^{2.32} \left[ \frac{pi - pf}{4.2 - 1.5} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

$$\beta = 0.40 + \left[ \frac{97.811}{NE + 25.4} \right]^{5.19}$$

**B.2. Variables de entrada**

a.- Periodo de tiempo.

**Tabla B.1:** Recomendaciones del periodo de análisis (AASHTO, 1993)

Condiciones del camino	Periodo de análisis (Años)
Urbanos con trafico pesado	30 – 50
Rural con trafico elevado	20 – 50
Rural con bajo volumen de trafico	15 - 25

b.- Tránsito.

Se determina usando las mismas consideraciones que en pavimentos de hormigón.

c.- Confiabilidad de diseño.

**Tabla B.2:** Recomendaciones de confiabilidad en el diseño (AASHTO, 1993)

Clasificación funcional	Urbano	Rural
Autopista	85 – 99.5	80 – 99.5
Principales	80 – 99	75 – 95
Colector	80 – 95	75 – 95
Local	50 – 80	50 – 80

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

d.- Factor de seguridad.

Se determina siguiendo el mismo procedimiento citado en el punto A.5 (pavimentos de hormigón), sin embargo, los valores de Zr y S0 cambian, según se muestra en las tablas B.3 y B.4.

**Tabla B.3:** Valores de S0 para pavimentos de asfalto (CCHC, 1998)

Tránsito de diseño (millones de EE)	Valor de S0
< 40	0.45
50	0.43
60	0.42
70	0.41
80	0.40

**Tabla B.4:** Valores de FS para pavimentos de asfalto (CCHC, 1998)

Tránsito solicitante en pista de diseño (Millones de EE)	confiabilidad	Factor Zr	Factor So	FS
<5	50 – 60	0.000 – 0.253	0.45	1.00 – 1.30
5 – 15	50 – 70	0.000 – 0.524	0.45	1.00 – 1.72
15 – 30	60 – 75	0.253 – 0.674	0.45	1.26 – 2.01
30 – 50	70 – 80	0.524 – 0.841	0.44	1.70 – 2.34
50 – 70	70 – 85	0.524 – 1.037	0.42	1.66 – 2.73
70 - 90	70 - 90	0.524 – 1.282	0.40	1.62 – 3.26

e.- Serviciabilidad.

**Tabla B.5:** Valores recomendados de serviciabilidad inicial y final (AASHTO,93)

Tipo de pavimento	Nivel inicial de Servicialidad
flexibles	4.2
Tipo de carretera	Nivel final de Servicialidad
Carreteras mayores Carreteras con trafico menor	o superior 2.2

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

f.- Módulo de resiliencia.

$$MR = 17.652(CBR)^{0.64} \quad (\text{Mpa}) \quad ; \quad 2\% < CBR < 12\%$$

$$MR = 22.065(CBR)^{0.55} \quad (\text{Mpa}) \quad ; \quad 2\% < CBR < 12\%$$

$$MR = 12.057(CBR)^{0.6013} \quad (\text{Mpa})$$

g.- Materiales de capas de pavimentos.

Coeficiente  $a_1$

**Tabla B.6:** Coeficiente estructural  $a_1$  (MINVU, 1994)

Estabilidad Marshall (N)	Coeficiente Estructural $a_1$
5000	0.33
6000	0.36
7000	0.39
8000	0.41
9000	0.43
10000	0.45

Coeficiente  $a_2$

**Tabla B.7:** Coeficiente estructural  $a_2$  (MINVU, 1994)

Base	tipo	Coeficiente $a_2$
Bituminosa	Mezcla asfáltica tipo Binder, Base abierta, Base negra	F (Estabilidad Marshall)
Semirígida	Base tratada con cemento	F (Resistencia a compresión 7 días)
granular	Base granular sin tratar	F (CBR, Módulo de Resiliencia)



**Tabla B.8:** Coeficiente estructural  $a_2$  para base bituminosa (MINVU, 1994)

Estabilidad Marshall (N)	Coeficiente $a_2$
1000	0.08
2000	0.13
3000	0.18
4000	0.22
5000	0.25
6000	0.27
7000	0.29
8000	0.31

**Tabla B.9:** Coeficiente estructural  $a_2$  para base tratada con cemento (MINVU, 1944)

Resistencia a la compresión 7 días (Mpa)	Coeficiente $a_2$
2.0	0.14
2.5	0.15
3.0	0.17
3.5	0.18
4.0	0.19
4.5	0.20
5.0	0.21

También se puede emplear la ecuación recomendada por la AASHTO, 1993

$$a_2 = [750 + 386r - 8.8r^2] \times 10^{-4}$$

En donde r es la resistencia a la compresión cilíndrica en Mpa, realizada según ensayo ASTMD, 163

**Tabla B.10:** Coeficiente estructural  $a_2$  para base granular (MINVU, 1994)

CBR %	Coeficiente $a_2$
40	0.11
50	0.12
60	0.12
70	0.13
80	0.13
90	0.14
100	0.14

También se puede emplear las ecuaciones, recomendadas por AASHTO, 1993

$$a_2 = (29.14\text{CBR}) - 0.1977(\text{CBR})^2 + 0.00045(\text{CBR})^3 \times 10^{-4}$$

$$a_2 = 0.249(\log_{10} E_{bs}) - 0.977$$

Donde  $E_{bs}$  es el modulo de resiliencia de la base granular ( $lbf / pulg^2$ )

Coeficiente estructural  $a_3$

**Tabla B.11:** Coeficiente estructural  $a_3$  para súbbase granular (MINVU, 1994)

CBR %	Coeficiente $a_3$
10	0.08
20	0.10
30	0.11
40	0.12
50	0.12
60	0.13

Adicionalmente, puede calcularse mediante las expresiones recomendadas por la AASHTO, 1993.

$$a_3 = 0.01 + 0.065 \log_{10}(\text{CBR})$$

$$a_3 = 0.277(\log_{10} E_{bs}) - 0.839$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Donde  $E_{bs}$  es el módulo de reacción resiliencia de la subbase ( $lbf/pulg^2$ ).

h.- Drenaje.

**Tabla B.12:** Tiempo de drenaje para diseño de pavimentos (AASHTO, 1993).

Calidad de drenaje	Permanencia del agua
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Mala	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	Sin drenaje

**Tabla B.13:** Valores de Cd para pavimentos flexibles (AASHTO, 1993).

Calidad del drenaje	% de tiempo que el pavimento esta sometido a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	>25 %
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy bueno	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

**B.3.- Cálculo de espesor de pavimento.**

**Paso 1:** Seleccionar los materiales, sus especificaciones y coeficientes estructurales.

**Paso 2:** Calcular el número estructural requerido NE, basándose en la expresión AASHTO 1993.

**Paso 3:** Se debe calcular los espesores de capa que satisfagan la siguiente expresión:

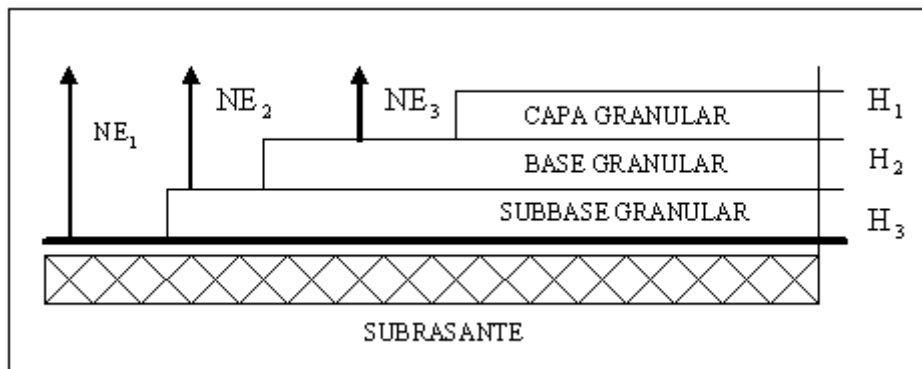
$$NE = a_1D + a_2D_2Cd_2 + a_3D_3Cd_3$$

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Donde:

- NE : Número Estructural  
 $a_i$  : Coeficiente de capa i  
 $D_i$  : Espesor de capa i  
 $Cd_i$  : Coeficiente de drenaje i

Figura B.1: Determinación de espesores de capa (AASHTO, 1993)



**Fig. B.1**

- 1) Espesores real da capa 1 ( $D_1$ ) :  $D_1 = NE_1/a_1$
- 2) Número estructural real ( $NE_1$ ) :  $NE_1 = a_1 D_1 \times NE_1$
- 3) Espesor de la base real ( $D_2$ ) :  $h_2 = (NE_2 - NE_1)/a_2 Cd$
- 4) Número estructural real ( $NE_2$ ) :  $NE_2 = NE_1 + NE_2$
- 5) Espesor de la base real ( $D_3$ ) :  $D_3 = [NE_3 - (NE_1 + NE_2)]/a_1 Cd$
- 6) Número estructural real ( $NE_3$ ) :  $NE_3 = NE_1 + NE_2 + NE_3$

**B.4.- Pavimentos Flexibles.**

A.- Espesores mínimos.

**Tabla B.14:** Espesores mínimos recomendados

Tránsito	Espesores mínimos (mm)	
	Cemento asfáltico	Agregado Base
< 50000	25	102
50001 – 150000	51	102
150001 – 500000	64	102
500001 – 2000000	76	152
2000001 – 7000000	89	152
> 7000000	102	152

B.- Deformación admisible.

Cemento asfáltico sobre base granular :  $\Delta$  adm. = 0.43 a 0.63 mm

Base de suelo cemento con carpeta asfáltica :  $\Delta$  < 0.30 mm

Tratamiento superficial :  $\Delta$  < 1.27 mm

**ANEXO C**  
**METODOLOGÍA DE DISEÑO EN PAVIMENTOS DE ADOQUINES**  
**DE CONCRETO.**

## C.1. Exigencias y recomendaciones para el diseño.

### A. Análisis de tránsito.

Un factor importante en el diseño, es la determinación anticipada del tráfico a que el pavimento va a estar sometido durante su vida estructural, la que habitualmente se fija en 20 años.

En pavimentos urbanos la evaluación del tráfico debe considerar los diferentes pesos por rueda, ejes simples o tándem y su frecuencia de operación en el periodo de diseño.

Sí esta evaluación se puede hacer a priori, se acostumbra a referir el deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, a aquel de un eje llamado "eje estándar". Este corresponde a un eje simple con doble rueda que tiene un peso de 8.2 ton. (18.000 Lb).

Se considera para el "eje estándar" un factor de daño  $F=1$ . Los demás ejes simples o tándem producen el daño equivalente indicado en la tabla C.1.

**Tabla C.1. :** Correlación entre carga por eje y daño

EJE SIMPLE		EJE TANDEM	
Carga	Factor de daño	Carga	Factor de daño
Ton.	"F"	Ton.	"F"
1	0.0002	4	0.0058
2	0.004	6	0.029
3	0.018	8	0.093
4	0.057	10	0.23
5	0.14	11	0.33
6	0.29	12	0.47
7	0.53	13	0.65
8	0.91	14	0.87
8.2	1.00	15	1.15
9	1.45	16	1.48
10	2.21	17	1.89
11	3.24	18	2.37
12	4.59	19	2.95
13	6.32	20	3.62
14	8.50	21	4.40
15	11.20	22	5.30

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Una vez determinados los ejes estándar para el horizonte de diseño, es posible obtener el N° de ejes equivalentes multiplicando el factor de daño por el N° de ejes en el periodo de diseño.

Sí no se dispone de información previa o sí el tráfico es muy diversificado, se puede obtener una guía general de la clasificación de calles de acuerdo a su uso en la tabla C.2.

**Tabla C.2:** Clasificación de calles según su tránsito

<b>Curva de Tránsito</b>	<b>Descripción de uso de cada pavimento</b>	<b>Ejes estándar equivalente en 20 años de servicio</b>
T5	Patios, terrazas, veredas peatonales, plazas, pabellones de exposiciones, áreas alrededor piscinas, pistas de bicicletas.	0
T4	Entradas en conjuntos habitacionales, estacionamientos (solo autos), calles o pasajes residenciales con menos de 15 vehículos comerciales/ día. (1)	$0 - 4.5 \times 10^4$
T3	Vías locales, calles residenciales (50 a 150 veh. com./día), estaciones de servicios y estacionamientos comerciales.	$4.5 \times 10^4 - 1.4 \times 10^5$
T2	Vías colectoras (50 a 150 veh. Com./día), terminales de buses, patios de almacenamiento y pisos e industrias livianas.	$1.4 \times 10^5 - 4.5 \times 10^5$
T1	Vías principales, avenidas importantes (2)(150 a 500 veh. Com./día) y accesos de áreas industriales.	$4.5 \times 10^5 - 1.4 \times 10^6$
T0	Vías expresas, vías intercomunales importantes, avenidas (2)(500 a 1500 veh. Com./día), estacionamientos en áreas industriales con tránsito de camiones solamente (3).	$1.4 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6$

(1) Vehículo comercial se define como aquel de más de 3 ton. brutas.

(2) Limite de velocidad 65 km/h.

(3) Se excluye entrada de cargadores frontales pesados.



Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

## **B. Subrasante.**

La causa principal de fallas en los pavimentos de adoquines son las deformaciones permanentes originadas por las tensiones de corte que se producen al paso de los vehículos. Desde este punto de vista, la correcta determinación de la resistencia admisible del terreno es casi más importante que el diseño mismo de los espesores del pavimento.

Todas las subrasantes con capacidad de soporte CBR menor a 3% deberán ser mejoradas antes de la construcción del pavimento. Esta afirmación es válida no solo en el caso de pavimentos de adoquines, sino para cualquier otro tipo de pavimento, sea este asfáltico o de hormigón.

Por este motivo se recomienda que por lo menos para pavimentos con tráfico de mediano ha pesado, clasificados en las categorías T2, T1, T0 o cargas industriales, se mejore la subrasante de la siguiente forma:

- Para suelos con CBR igual a 1%, se deberá remover y reemplazar el material existente por material granular de CBR mayor e igual a 15% con un espesor de 60 cm.
- Para subrasantes con CBR entre 2 y 3%, se deberá remover el suelo existente y reemplazarlo por un material granular con CBR mayor a 10% y una capa de 35 cm. de espesor.
- Para el caso de pavimentos con menores exigencias de tráfico, se sugieren algunas medidas de orden general cuya adopción queda sujeta al criterio del proyectista.

## **C. Subbase.**

Al igual que con otros tipos de pavimentos, la subbase tiene por objeto fundamental absorber las presiones que recibe de las capas superficiales y transmitir las uniformemente al terreno de fundación.

En pavimentos urbanos se pueden tener dos alternativas de material usado como subbase.

### **i) Subbases granulares.**

La determinación del espesor de la capa de subbase, es una de las principales variables de diseño que se han propuesto y relaciona el espesor

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

mínimo recomendado para una subbase granular con el CBR del suelo fundación y el tránsito que deberá soportar el pavimento.

ii) Subbases tratadas con cemento (estabilizadas).

Es recomendable emplear bases tratadas con cemento si se desea impedir la penetración de agua superficial al suelo de fundación, si este es susceptible de deterioro en su capacidad resistente con la humedad; además, exigen un menor espesor equivalente que el correspondiente al emplear subbases granulares. Este menor espesor compensa en muchos casos el costo que significa el tratamiento, con una economía en excavaciones y en rellenos compactados.

**D. Base.**

La base es una capa intermedia que actúa sobre la subbase y bajo la carpeta de rodado, que en el caso de pavimentos de adoquines consiste en una cama de arena de espesor constante de 3 cm. una vez producida su compactación.

Su función principal es actuar como capa nivelante, que ayuda a la trasmisión y repartición de esfuerzos verticales y que provee el material necesario para conseguir y mantener la adecuada trabazón entre los adoquines.

**E. Superficie de rodado.**

Tal como se mencionó al analizar el comportamiento estructural de los pavimentos de adoquines, la forma y espesor de las unidades así como el aparejo que se utiliza afecta la capacidad estructural del pavimento.

La resistencia de los adoquines dentro de los rangos usuales no tiene influencia en este aspecto y son consideraciones de durabilidad las que determinan su magnitud.

A continuación se presenta la tabla de resumen C.3, con las características recomendadas de los adoquines en función del nivel de tráfico.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Tabla C.3:** Características de los adoquines en función del nivel de tráfico

Tránsito			Adoquín requerido			
Clasif. de tránsito	Vehículos Comerciales por día	Ejes estándar Acum. en 20 años	Forma	Espesor mínimo (mm)	Aparejo	Resistencia Media (Mpa) (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>T5</b>	0	0	A	40	H-S	35 (357)
			B	40	S*	
			C	40	H-S	
<b>T4</b>	0-15	$0 - 4.5 \times 10^4$	A	60	H-S	35 (357)
			B	60	S*	
			C	80	H-S	
<b>T3</b>	15-50	$4.5 \times 10^4 - 1.4 \times 10^5$	A	60	H-S	35 (357)
			B	80	S*	
			C	80	H	
<b>T2</b>	50-150	$1.4 \times 10^5 - 4.5 \times 10^5$	A	60	H	35 (357)
			B	80	S*	
<b>T1</b>	150-500	$4.5 \times 10^5 - 1.4 \times 10^6$	A	80	H	45 (459)
<b>T0</b>	500-1500	$1.4 \times 10^6 - 4.5 \times 10^6$	A	80	H	45 (459)

**ANEXO D**  
**METODOLOGÍA DE DISEÑO EN PAVIMENTOS CON**  
**TRATAMIENTO SUPERFICIAL.**

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**A. Diseño estructural.**

Se basa en el índice estructural y representa la capacidad del pavimento de resistir un determinado número de carga.

Para determinar el índice estructural es necesario conocer el tránsito de diseño y el coeficiente de variación. La ecuación para el diseño estructural es la siguiente:

$$I.E = a_1h_1 + a_2h_2 + \dots + a_nh_n$$

$$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = 90 \text{ Cm.}$$

Donde:

I.E= Índice estructural.

$a_n$ = Coeficiente estructural de las capas sucesivas y es en función del CBR.

$h_n$ = Espesor de la capa.

$t_n$ = Estructura total.

**B. Parámetros de diseño.**

Para diseñar se requiere los siguientes parámetros de entrada.

-Tránsito.

-Coeficiente de variación CV.

-Coeficiente estructural de cada una de las capas  $a_n$ .

**C. Tránsito (EE).**

Se refiere al número total de EE (Ejes equivalentes.) de 80 KN que solicitara a la estructura de pavimento en ambas direcciones durante la vida de diseño.

**D. Coeficiente estructural (CV).**

Representa la variación que presenta el proyecto en la calidad y uniformidad esperada para la construcción, es decir, cubre las posibles deficiencias tales como variaciones en los espesores, grado de compactación de las capas, homogeneidad de los materiales.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

Dependiendo de las características de los materiales y de las expectativas formadas en cuanto a calidad y uniformidad de la construcción puede utilizarse los:

Calidad y uniformidad de la construcción	Valor de CV %
Muy alta a alta	<= 15
Alta	15 a 25
Regular	35

**E. Coeficientes Estructurales  $a_n$ .**

Los coeficientes estructurales son una medida de la capacidad que tiene un espesor unitario de material dado para funcionar como componente estructural del pavimento. Estos coeficientes varían en función de la calidad de los materiales que conforman la estructura del pavimento y de la ubicación dentro de los 90 cm. que considera el método.

Cada capa que constituye la estructura de pavimento posee un valor  $a_n$ , si embargo, el espesor del doble tratamiento no se considera por que se supone que no aporta estructura.

Capa	CBR %	$a_n$
Base Granular 0 a 25 Cm	>= 100	1.394
	90	1.232
	85	1.167
	80	1.102
	75	1.037
	70	0.940
	60	0.552
	50	0.383
	< 50	0.000
Capa de Sub base (25 a 50 cm)	>= 40	0.576
	35	0.290
	30	0.205
	25	0.075
	<25	0.000
Capa de Subrasante	>= 20	0.481
	15	0.357
	10	0.212
	9	0.183
	8	0.133
	7	0.084
	6	0.053
	5	0.033
	4	0.020
	3	0.015
	2 (min)	0.015

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

**Base:** se refiere al material de hasta una profundidad de 25 cm.

**Subbase:** se refiere al material de una profundidad de 25 a 50 cm.

**Subrasante:** se refiere al material de una profundidad de 50 a 90 cm

## **F. Diseño Estructural.**

El procedimiento de diseño, consiste en utilizar el índice estructural (IE) que se obtiene a partir del tráfico de diseño y de un coeficiente de variación seleccionado. El IE representa la capacidad resistente de los 90 cm. superiores para soportar un determinado número de carga, estos 90 cm. incluyen la subrasante y la estructura del pavimento conformada por la subbase y la base. La relación entre el tráfico solicitante y el índice estructural, para diferentes valores de CV, puede adaptarse a la siguiente expresión:

$$IE = 1024 \times CV^{0,354} (9,56 / (11,49 - \log EE)).$$

Donde:

IE = índice estructural.

CV = Coeficiente de variación en %.

EE = Tránsito solicitante.

También es posible usar las curvas de diseño de la figura en la que se relaciona el índice estructural con el tránsito para diferentes coeficientes de variación.

## **G. Características estructurales de las capas.**

El método asume que las solicitaciones son resistidas por los 90 cm. superiores asignando a los primeros 25 cm. Características de una base granular, entre los 25 y los 50 cm. inferior características de subbase granular y entre los 40 y los 90 cm. restantes características de subrasante, a pesar que la estructuración definitiva pueda no corresponderá esta asignación.

### **Base granular.**

- Se refiere al material hasta una profundidad de 25 cm.
- Las características estructurales de la base granular quedan definidas por el tránsito solicitante, es decir los ejes equivalentes esperados en ambos sentidos.

Estudio de Soluciones para Pavimentación de Canchas de Acopio para Industrias Forestales.

- El método fija una relación entre el CBR de la base y el número máximo de ejes equivalentes de 80 KN en ambas direcciones.

Valor CBR de la base granular	Máximo de Ejes Equivalentes en ambas direcciones
100	1.000.000
90	700.000
85	600.000
80	500.000
75	400.000
70	300.000
60	200.000
50	100.000

**Subbase granular.**

Se refiere al material que se sitúa entre los 25 y los 50 cm. de la estructura total. El CBR Mínimo exigido es 25%.

**Capa de Subrasante.**

Se refiere al material que se sitúa entre los 50 y los 90 cm. de la estructura total. El CBR mínimo exigido debe ser 2%. Además el CBR de la subbase define el espesor mínimo aceptable para la capa de base. La capacidad de soporte CBR de la subrasante define el espesor mínimo aceptable de la estructura conformada por la base más la subbase. Estos valores se pueden obtener de la figura y los espesores a utilizar deben ser mayores o iguales a estos.

