



# Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Construcción Civil

## "CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS INDUSTRIALES SUPERPLANOS PARA BODEGAS DE ALMACENAMIENTO CON ESTANTERÍAS DE GRAN ALTURA"

Tesis para optar al título de:  
Constructor Civil.

Profesor Patrocinante:  
Sr. Adolfo Montiel Mancilla.  
Constructor Civil.

RODRIGO ALEJANDRO SEPULVEDA VARGAS  
VALDIVIA -CHILE

2006

## **AGRADECIMIENTOS**

Debo agradecer el incondicional apoyo que me brindaron mis queridos padres: Manuel y Marlene en la realización de este trabajo y en todos los años que estuve en esta honorable Universidad. Al igual que a todos mis amigos que estuvieron conmigo alentándome a finalizar esta importante etapa de mi vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>PISOS INDUSTRIALES .....</b>	<b>6</b>
3.1	GENERALIDADES .....	6
3.2	SOLICITACIONES .....	7
3.2.1	Químicas .....	7
3.2.2	Mecánicas .....	7
3.2.3	Ambientales .....	7
<b>4.</b>	<b>PISO POSTENSADO .....</b>	<b>9</b>
4.1	INTRODUCCION .....	9
4.2	POSTENSADO DE RADIERES .....	9
<b>5.</b>	<b>NUMEROS F .....</b>	<b>12</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES .....</b>	<b>14</b>
6.1	GENERALIDADES .....	14
6.1.1	Solicitaciones .....	14
6.1.1.1	Cargas .....	14
6.1.1.2	Ataque químico .....	15
6.1.1.3	Acciones térmicas .....	16
6.1.1.4	Abrasión .....	16
6.1.2	Capas inferiores .....	16
<b>7.</b>	<b>DISEÑO ESTRUCTURAL .....</b>	<b>17</b>
7.1	FACTORES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO .....	17

7.1.1	Calidad del suelo natural o subrasante .....	17
7.1.2	Calidad del hormigón .....	17
7.1.3	Solicitaciones .....	18
7.1.4	Diseño de la subbase .....	18
7.1.5	Diseño de la losa de hormigón .....	18
7.1.5.1	Hipótesis básicas y solicitaciones de carga .....	18
7.1.5.1.1	Hipótesis de diseño.....	18
7.1.6	Solicitaciones de carga .....	20
7.1.6.1	Principales variables involucradas .....	20
7.1.6.2	Determinación de las solicitaciones .....	20
<b>8.</b>	<b>DISEÑO PARA CARGAS ESTATICAS .....</b>	<b>22</b>
8.1	CARGAS DISTRIBUIDAS .....	22
8.2	CARGAS PUNTUALES .....	23
<b>9.</b>	<b>DISEÑO PARA CARGAS MOVILES .....</b>	<b>24</b>
9.1	DEFINICION DE CARGA .....	24
9.2	DETERMINACION DEL ESPESOR DE LA LOSA .....	24
<b>10</b>	<b>DISEÑO PARA PISOS POSTENSADOS .....</b>	<b>27</b>
10.1	SOLICITACIONES .....	27
<b>11.</b>	<b>ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION .....</b>	<b>29</b>
<b>12.</b>	<b>CONTRUCCION DE PISOS SUPERPLANOS POSTENSADO .....</b>	<b>32</b>
<b>13.</b>	<b>PUNTOS IMPORTANTES EN LA COSTRUCCION DEL PISO .....</b>	<b>35</b>
13.1	INTRODUCCION .....	35
13.1.1	Preparación de la base y subbase .....	35
13.1.2	Moldajes .....	36
13.1.3	Estacas .....	37
13.1.4	Traspaso de carga .....	38

13.1.5	Cables de postensado .....	39
13.1.6	Colocación del Hormigón .....	39
13.1.7	Compactación del Hormigón .....	39
13.1.8	Platachado de la losa .....	40
13.1.9	Colocación del endurecedor superficial .....	40
13.1.10	Alisado del Helicóptero .....	40
13.1.11	Corte del Pavimento .....	41
13.1.12	Medición de lisura y planeidad .....	41
13.1.13	Curado del Hormigón .....	42
<b>14.</b>	<b>24 PASOS HACIA PISOS EXITOSOS .....</b>	<b>43</b>
<b>15.</b>	<b>ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION .....</b>	<b>45</b>
<b>16.</b>	<b>COSTOS .....</b>	<b>58</b>
<b>17.</b>	<b>DESCRIPCION DE CASOS .....</b>	<b>60</b>
17.1	DESCRIPCION DE OBRAS .....	60
17.2	RESULTADOS OBTENIDOS .....	61
17.2.1	Centro de distribución Nestlé .....	61
<b>18.</b>	<b>SUGERENCIAS RELEVENATES .....</b>	<b>63</b>
<b>19.</b>	<b>MANTENCION .....</b>	<b>65</b>
<b>20.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>21.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>69</b>

## **Resumen**

Este trabajo presenta los diferentes pasos para la construcción de un pavimento industrial de características superplanas y además, con un radier postensado, ya que está enfocado para bodegas de almacenamiento o centros de distribución de grandes superficies, en donde se utilizan estanterías altas, dejando espacio únicamente al carro montacargas, apiladores, grúas horquillas, etc. Comenzando con el análisis general de diseño del piso, continuando con la construcción propiamente tal y finalizando con la mantención que se debe realizar a este pavimento superplano. La utilización de equipos, herramientas y mano de obra que cumplen un rol fundamental en la realización óptima de este tipo de piso y lo importante que es para estas empresas contar con esta superficie. Las ventajas en relación a otros tipos de pisos y la tecnología que existe hoy a nivel nacional, junto con soluciones a ciertos problemas que ocurrieron en la construcción de obras en Chile, ya que este método y tipo de radier es bastante nuevo en nuestro país.

## **Summary**

The following work presents the different steps of the construction of industrial pavement with the characteristics to be super planar and with a radiant prestressed concrete (PC). Its main use is in warehouses or distribution centers of great superficie where high rise racks are used and where only place for stacker cranes and pallet transporters, etc. exists. This thesis begins with the general analysis of the design of the floor, continues with the presentation of the construction itself and ends with aspects of maintenance of this super planar floor which are necessary to be realized. Further the use of equipment, tools and labor which play a fundamental role in the ideal realization of this kind of floor and the importance for firms to feature this surface are described. The advantages related to other types of floors and the technology which exists today at the national level, as well as solutions to certain problems which occurred during the construction of works in Chile are shown since this method and the type of radiant prestressed concrete (PC) are quite new in this country.

## 1. INTRODUCCION

Hoy en día en Chile la tecnología en la ingeniería y construcción ha alcanzado avances notorios y considerables en comparación a décadas pasadas.

No obstante, en la fabricación de pisos industriales debemos tener en cuenta que existen numerosos tipos de variantes en la industria del piso industrial, ya sea para una mejor durabilidad, resistencia, brillo, etc.

Pero para poder entender lo que es un piso industrial y lo que viene en las páginas siguientes, diremos que los pisos industriales corresponden a pavimentos que son expuestos a una multitud de esfuerzos y tensión excesiva. Causado por hidratación, contracción, retracción y condiciones climatológicas; el esfuerzo ocurre durante la etapa de endurecimiento el cual es insuficientemente sostenido por un concreto no reforzado. Junto con su uso, grandes cargas estáticas y movibles, puntuales o distribuidas con deformaciones menores de la losa del piso son transmitidas al subsuelo. Los pisos de concreto agrietados normalmente no representan un peligro para su uso, por lo tanto, los pisos de concreto juegan un papel subordinado desde el punto de vista del ingeniero.

Un porcentaje importante (alrededor del veinte por ciento) del costo de un edificio nuevo corresponde al piso de concreto. Pueden existir problemas usando el resultado de una planeación falsa y costos por la pérdida de producción la cual difícilmente es calculada.

El deterioro permanente de los pisos sometidos a grandes exigencias, constituye una de las problemáticas más generalizadas. Por ello, en la ejecución de pisos de hormigón con aditivos y endurecedores especiales le confieren una excelente resistencia al desgaste y gran durabilidad. Estos pisos representan una solución efectiva para lugares con intenso tránsito como estaciones de servicio, depósitos en general, plantas industriales, pisos deportivos, etc.

Para construir un pavimento industrial, es necesario conocer e identificar el uso y las condiciones que tendrá en su postconstrucción, por mencionar algunas condiciones.

Es por esto que se debe tener un conocimiento técnico-profesional en la ejecución de los diferentes pisos que se puedan realizar.

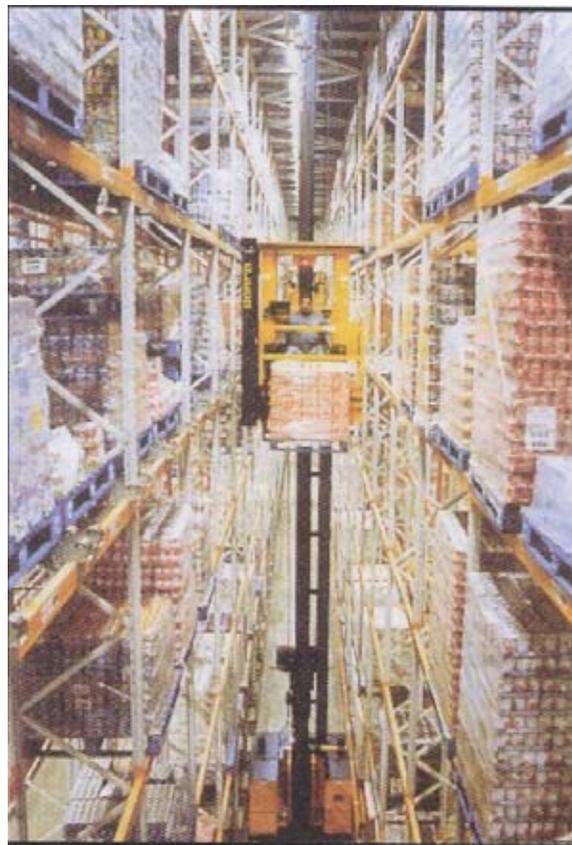
Al haber una extensa gama de tipos de piso industrial, es necesario conocer las solicitaciones a la cuales estará sometido. En este caso en particular, se analizarán cargas puntuales y dinámicas en las que se determinará el espesor preciso a utilizar, entre otras características.

Para el caso de pavimentos superplanos, una de las características principales es que aseguran un suave rodado de los carros montacargas que operan en las áreas de las estanterías altas. Pequeñas diferencias de elevación a lo largo del piso por debajo de las ruedas del carro, pueden ocasionar una desviación sustancial de la relación correcta de éste con una ubicación en un estante alto, y causar dificultades operativas potenciales. Cualquier desigualdad en el piso del almacén haría que el carro montacargas anduviera en los pasillos a una velocidad menor que la máxima, y por lo tanto, redujera significativamente la productividad.

Como se verá en las páginas siguientes este pavimento además de ser un tipo de piso en el que se utilizan maquinarias de alta tecnología, una mano de obra calificada, es importante además señalar que debe ser un *radier postensado*, ya que con ello es posible lograr una calidad considerablemente mayor a los pisos tradicionales, debido a que esencialmente su construcción tiene como principales objetivos lograr una lisura y nivelación que cumpla con los altos requerimientos que demanda el uso de equipos computarizados como grúas horquillas, reach trucks o apiladores con tarjetas electrónicas para el caso de centros de distribución, y a la vez, construir pisos más duraderos y con menos fallas. (Ver Fig. 1 y Fig. 2)



**Fig. 1 Centro de Distribución Parmalat, Santiago, Chile**



**Fig. 2 Bodega de Almacenamiento, EE.UU.  
(Operador en un apilador o Reach Truck)**

## 2. OBJETIVOS

A continuación se describen los objetivos principales de este trabajo:

La importancia de contar con un radier superplano postensado, que se adapta completamente a las características y solicitudes en que sólo este pavimento estará sometido.

El método constructivo y la gran importancia de los números F, (planeidad y horizontalidad).

La construcción propiamente tal desde las subbases hasta la aplicación de endurecedores y aditivos especiales para su mayor durabilidad.

Gran importancia además en relación con la mano de obra en la que se debe tener el mayor hincapié, junto con la maquinaria y herramientas óptimas y adecuadas para este tipo de obra.

Las ventajas que hoy en día tiene este piso que cumpla estas características y/o solicitudes a las que será sometido durante su vida útil.

Los costos que involucran directamente a la ejecución de un pavimento superplano, incluyendo mano de obra y maquinarias.

Señalar las ventajas que existen en relación a otros pisos industriales convencionales y la importancia e innovación que tienen estos pavimentos en Chile.



**Fig. 3. Centro de Distribución Nestlé, Santiago de Chile  
30.330m<sup>2</sup> Pavimento industrial superplano (Postensado)**

### 3. PISOS INDUSTRIALES

#### **3.1 GENERALIDADES**

Los pavimentos en general corresponden a estructuras formadas por diversas capas, cuya cara superior está provista principalmente de una losa de hormigón simple, en caso de excepciones por una de hormigón armado, o como en este caso, de un radier postensado, que deberá soportar la acción de cargas aplicadas en la superficie y transmitir las hacia la o las capas inferiores, las que a su vez deberán proveer un adecuado drenaje, una gradual transición de rigidez y un apoyo homogéneo a la losa.

Para construir un piso se necesita, primero que todo, tener un conocimiento suficiente de las características de las áreas destinadas a circulación o almacenamiento, esto es:

- dimensiones
- forma
- relación con la estructura principal
- condiciones ambientales en las que operará
- etc.

Todo esto con el fin de conducir a la determinación de zonas o sectores, donde se construirá el pavimento, que deban tener un tratamiento distinto al que se requerirá el pavimento en general.

Generalmente un piso industrial es una estructura que permite el normal desplazamiento de personal y de equipos. La función básica de un piso industrial es simplemente proveer un soporte que permita la operación normal de los procesos del recinto, que pueden ser variados durante el período de tiempo razonable preestablecido.

Para que se produzca la operación normal en el recinto se deben cumplir los siguientes factores, entre otros: *seguridad, higiene, estética, durabilidad*.

Para los procedimientos de diseño y construcción es necesario considerar los factores de *degradación* que deberá resistir el hormigón del pavimento, con el fin de prever y determinar las propiedades que deben incrementarse.

## **3.2 SOLICITACIONES**

Los tipos de esfuerzos a los que se somete un pavimento industrial se dividen en tres grupos de solicitaciones:

- Químicas
- Mecánicas
- Ambientales

### **3.2.1 Químicas:**

Para este caso, la cantidad de sustancias que pueden encontrarse en ambientes industriales es impresionante. Además, la forma en que reaccionan y se manifiestan al ataque, depende la naturaleza química del agente corrosivo, de si es líquido, gas o un sólido.

### **3.2.2 Mecánicas:**

Se destacan entre otras, el impacto de objetos pesados, la rodadura de equipos de carga o transporte y las vibraciones generadas por maquinaria de proceso. La mayoría de los recintos industriales se ven afectados por los altos niveles de exigencia, dependiendo evidentemente, del tipo de operaciones que involucre el recinto.

### **3.2.3 Ambientales:**

Este tipo de solicitud lo constituyen aquellos fenómenos físicos que inducen a cambios dimensionales de los materiales, que corresponden principalmente a la temperatura, humedad, y la retracción del curado. Los primeros están relacionados con las condiciones ambientales que rodean la obra y se caracterizan por estar presentes en toda la vida útil de ella. Obviamente las diferencias entre los niveles de esfuerzo inducido pueden ser muy grandes y dependen, al igual que los otros casos señalados, de las operaciones que se realicen al interior del recinto. Sin embargo en este caso los niveles de esfuerzo dependen además de la naturaleza de los materiales utilizados, vale decir de sus propiedades físicas.

Resumiendo, los pisos industriales son estructuras especialmente diseñadas para resistir:

- el ataque de agentes químicos.

- cargas, tanto estáticas como dinámicas.
- choques térmicos.
- resistir a la abrasión.

## **4. PISO POSTENSADO**

### **4.1 INTRODUCCION**

Al diseñar una losa de hormigón tradicional, esta dependerá principalmente de las juntas de contracción, las que predefinen la ubicación de las grietas por razones funcionales y de estética. Si tenemos juntas muy cerca una de otra, se puede bajar e incluso eliminar la cantidad de grietas de retracción. Sin embargo, aumentar la cantidad de éstas tiene efectos indeseables en la funcionalidad del radier, así como en los costos de construcción y de mantención.

Es por ello, que al hablar de postensado, hablamos de comprimir el hormigón mediante cables de acero de alta resistencia, colocados dentro del hormigón y tensados al momento en que el hormigón es capaz de distribuir la fuerza del cable.

Los cables quedan dispuestos en línea recta, a la altura media del espesor, en ambas direcciones.

El postensado provoca que el hormigón quede en compresión, proporcionándole una considerable capacidad adicional.

### **4.2 POSTENSADO DE RADIERES**

A través del tiempo y aumentando cada día más, el sistema postensado ha sido usado mundialmente para obras civiles, como por ejemplo: puentes, anclajes al terreno, estanques, edificaciones, etc. Esto hizo que además se adapte para el uso en radieres, ya sea en terminales de contenedores, pavimentos exteriores, aeropuertos, residencias, canchas de tenis. Y por supuesto también en bodegas de almacenamiento, centros de distribución como son parte del tema de esta investigación.

Al aplicar una fuerza de compresión al hormigón obtenemos ventajas importantes; como una fácil y rápida construcción. Pero un punto que es muy importante para las empresas mandantes es también a lo largo de la vida útil de la estructura. Esto

significa ahorros considerables, donde los costos de mantención a largo plazo se reducen en forma considerable.

Algunas ventajas que se pueden mencionar de los pisos postensados son las siguientes:

- Mayores superficies de hormigonado: es común hormigonar 2.000 m<sup>2</sup>
- Velocidad de ejecución: grandes superficies de hormigonado aceleran el programa.
- Reducción de cantidad de juntas.
- Reducción de armadura pasiva.
- Reducción de espesor de losa.
- Control de fisuración.
- Reducción de mantenimiento.

Esto sin duda son puntos importantes a la hora de decidir el tipo de pavimento que queremos utilizar para una empresa productora con bodegas de almacenamiento de grandes superficies y estanterías de gran altura (sobre los 10mts.)

El radier postensado utiliza 1/5 de las juntas requeridas para el hormigón armado. En promedio, los costos de mantención para el radier postensado son menores en un 40% respecto a aquellos de hormigón armado, lo que significa un ahorro considerable por cada año de vida útil.

Al analizar los costos de vida útil que tendrá un piso postensado en comparación con el costo inicial de construcción, podemos decir que lo primero tiene una mayor importancia, ya que no generamos gastos elevados a lo largo de la vida del pavimento superplano.

Hoy en día las empresas relacionadas con almacenaje, distribución y bodegaje tienen la necesidad de mejorar e implementar nuevas tecnologías para sus plantas, esto con el fin de mejorar su productividad y disminuir costos de mantención.

Es por esto que es importante la calidad del piso industrial, lo que permite un uso mas óptimo del espacio, un manejo mucho más rápido de sus productos en el área de almacenaje o producción, una mayor vida útil del pavimento, por lo tanto una mejor serviciabilidad en relación a los costos de mantención y reparación debido a los problemas que originaría la detención del proceso productivo de una fábrica o a la operación de un centro de distribución para ejecutar dichas actividades en los pavimentos.

. Por ello, los pisos industriales superplanos, postensados, eliminan las juntas transversales en calles de tránsito definido y se logran construir grandes paneles en zonas de tráfico aleatorio y se obtiene un piso con una lisura y nivelación de gran calidad para alojar las grandes estanterías que sostendrán los productos de la empresa.

Estas características especiales para estos centros de distribución, bodegas de almacenamiento, etc. aumentan las exigencias para los diseñadores, que redundan en los niveles de Planeidad y Horizontalidad a lograrse en la ejecución de la obra.

Estos niveles o estándares son especificados y medidos a través del sistema de números de perfil de pisos, comúnmente conocidos como: “números F”.

## 5. NUMEROS F

Estos números se dividen en dos tipos: los  $F_f$ , que definen la lisura del piso y los  $F_I$  que califica la horizontalidad de este.

La lisura o planeidad  $F_f$  se refiere a la curvatura máxima del pavimento permisible en 600mm (24"), calculada sobre la base de diferencias de elevación sucesivas en 300mm (12").

En cambio el número de horizontalidad,  $F_I$ , define la correspondencia relativa de la superficie del piso horizontal, medida en una distancia de 3,05m. (10pies). (Ver Fig. 3)

Estos números son importantes a la hora de definir un piso superplano, ya que nos da con exactitud si efectivamente el radier que construimos cumple con las condiciones de un radier de excelente planeidad y horizontalidad.

Por lo general los números F son medidos con un instrumento llamado F-Meter, instrumento digital de gran precisión para medir la lisura y nivelación de la losa.

Como parámetro, un piso muy plano se define como aquellos que poseen un mínimo global de  $F_f$  de 35 a 50 y un  $F_I$  de 25 a 30. Cuanto más alto es el número  $F$  más plano o más nivelado es el piso. Además los número  $F$  son directamente proporcionales a la lisura; así, un piso "muy plano" con  $F_f$  de 36, es dos veces más plano que un piso con  $F_f$  de 18 y aproximadamente tres veces más plano que el piso industrial o comercial promedio (que generalmente tiene un número  $F_f$  de 12 a 15).

Para un mejor entendimiento, en el punto 12 de esta tesis se encuentra más detalladamente la explicación y división de los tipos de pisos según los números F mencionados.

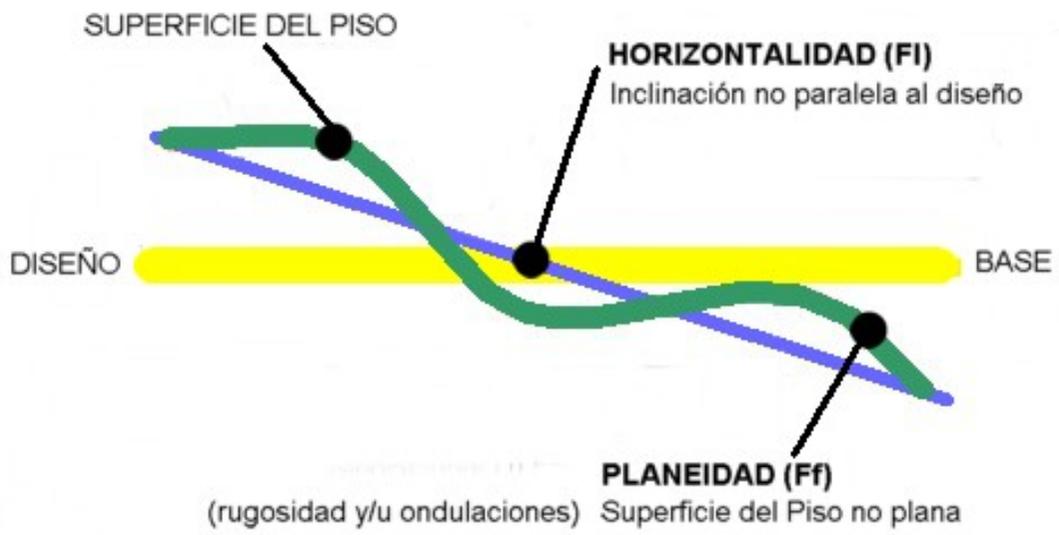


Fig. 4. Esquema gráfico de números F.

## 6. DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES

### 6.1 GENERALIDADES

#### 6.1.1 Solicitaciones

Un rol fundamental en el diseño de pisos industriales es la identificación de solicitaciones.

Las que están presentes en su mayoría, son las siguientes:

- Cargas (puntuales, estáticas, distribuidas, dinámicas)
- tráfico
- ataque químico
- acciones térmicas
- abrasión

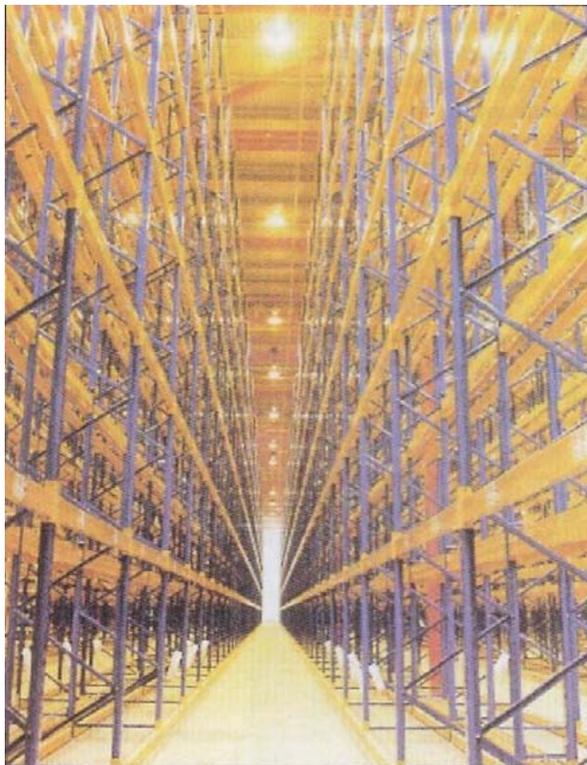
#### 6.1.1.1 Cargas

Las cargas dinámicas y estáticas tienden a provocar deformaciones y tensiones sobre la losa, la cual deberá soportar eficiente y adecuadamente.

En el caso de las cargas estáticas pueden provenir de vehículos estacionados, carga distribuida como es el caso de productos almacenados en sacos, cajas o a granel, y cargas puntuales tales como estanterías, en donde se deben tomar en cuenta las áreas de contacto, distancia entre los apoyos y la máxima carga que soportarán dichos estantes. A si mismo, las cargas dinámicas corresponderán a los diferentes vehículos que circularán por el pavimento. Para tal efecto, debe analizarse la máxima carga por eje, junto con el número de repeticiones previsto en la vida útil del pavimento, el área de contacto de los neumáticos y la separación entre ruedas.

Con el fin de visualizar en forma general los espesores de pavimento para diversos usos, se resumen en la tabla siguiente algunos casos corrientes:

Uso del Pavimento	Rango de espesor
Aceras y zonas peatonales	7 cm
Entradas y garajes de automóviles	10 cm
Entradas y garajes de camiones	12 cm
Bodegas	10-12 cm
Pasajes	12 cm
Calles locales	14-18 cm
Avenidas	18-22 cm
Carreteras para tráfico pesado	≥ 20 cm



**Fig. 5. CARGAS PUNTUALES DE ESTANTERIAS**

#### 6.1.1.2 Ataque químico

En general la vulnerabilidad del hormigón al ataque de sustancias químicas se debe a tres de sus características:

- Permeabilidad (porosidad)
- Alcalinidad
- Reactividad

La permeabilidad en el hormigón tanto de líquidos como de gases dependerá de la razón Agua-Cemento de la mezcla, siendo el tiempo de curado húmedo del hormigón, muy importante para que este fenómeno no sea tan excesivo.

En forma análoga a la abrasión, hay que considerar los casos en que se provea la acción de agentes químicos agresivos en la superficie del pavimento.

Para ello debe investigarse las características del producto agresivo, y según dicho resultado decidir acerca de la composición más adecuada del hormigón, su dosificación y eventuales tratamientos superficiales.

#### 6.1.1.3 Acciones térmicas

En general, los pavimentos de hormigón no acusan problemas frente a acciones térmicas de moderada intensidad; no obstante, cuando se prevean gradientes térmicos importantes, conviene estudiar las tensiones que se pueden generar. En esta situación se encuentran los pavimentos de frigoríficos, que pueden estar sometidos a temperaturas bajo 0°C o sectores de fundiciones o industrias metalúrgicas en que las temperaturas suelen ser demasiado elevadas.

#### 6.1.1.4 Abrasión

Aunque las losas confeccionadas con hormigón de buena calidad y procedimientos constructivos adecuados presentan buena resistencia a la abrasión, es frecuente que debido a las cargas, tipo de ruedas o sistema de operación de bultos y vehículos, los pavimentos deban soportar abrasiones para las cuales hay que tomar precauciones especiales de diseño y construcción que conduzcan, eventualmente, a proveer a la losa de una capa superficial que responda a estas exigencias.

Por ello para las losas superplanas es recomendable aplicar un endurecedor superficial que aumenta considerablemente la durabilidad y los efectos de abrasión producto de los vehículos que circularán por el piso.

#### 6.1.2 Capas inferiores

El pavimento está constituido, además de la carpeta de rodado, por capas inferiores con función estructural que constituyen elementos de interfase con el terreno de fundación, transmitiéndole presiones ante la aplicación de cargas en la superficie. Estas capas -bases y/o subbases deben diseñarse para que sean capaces de transmitir adecuadamente las tensiones y deformaciones a niveles tolerables para el suelo natural, para lo cual será indispensable conocer sus propiedades

## **7. DISEÑO ESTRUCTURAL**

### **7.1 FACTORES QUE INCIDEN EN EL DISEÑO**

Los pavimentos de hormigón destinados a usos industriales son similares, en cuanto a diseño y construcción, a los pavimentos para usos viales. Sin embargo existen diferencias en el tipo de solicitaciones, condiciones ambientales y diseño geométrico, que impiden la aplicación al caso industrial de los mismos métodos que se usan tradicionalmente para el diseño de los pavimentos viales.

El diseño estructural de un pavimento comprende básicamente, la determinación del espesor de la losa de hormigón conjuntamente con los espesores de la capa intermedia o subbase. Los principales factores que inciden en esta determinación son los siguientes:

#### **7.1.1 Calidad del suelo natural o subrasante**

En el caso en que la calidad del suelo para la subrasante esté dentro de los rangos de suelo granular, se optará por utilizar este, previo análisis en un laboratorio de ensayos.

Para el caso de subrasantes constituidas por suelos de grano fino obligan a analizar cuidadosamente el efecto de la menor capacidad de soporte y deformabilidad asociada a ellos, y a adoptar medidas que pueden incluir el reemplazo de parte del suelo existente o su mejoramiento en base a capas adicionales como subbase y, eventualmente, base.

#### **7.1.2 Calidad del hormigón**

Está representada por su resistencia a la flexotracción, determinada según **NCh 1038**. Aspectos que inciden en la resistencia a flexotracción son la dosis de cemento, razón agua-cemento y calidad de los áridos, en que la utilización de áridos chancados tiene una influencia particularmente importante. A los factores anteriores se suma el nivel tecnológico disponible para la ejecución de la obra.

### 7.1.3 Solicitaciones

Desde el punto de vista estructural las solicitaciones de mayor interés son las que provienen de cargas, las que pueden ser dinámicas (grúas horquillas, camiones u otros vehículos) o estáticas (puntuales o distribuidas).

El método de diseño se aplica en dos etapas, la primera de las cuales consiste en determinar el espesor de la subbase y la segunda, el espesor de la losa de hormigón.

Este método es aplicable a la gran generalidad de los casos en que tanto el suelo como el hormigón y las cargas, están dentro de los rangos habituales. En casos y situaciones muy especiales que se escapen de estos rangos, el problema deberá ser analizado por un especialista.

### 7.1.4 Diseño de la subbase

En la mayoría de los casos el pavimento de hormigón se comportará satisfactoriamente si se construye sobre una subbase de material granular- sólo en casos muy especiales, y que deben ser analizados por un especialista, se colocará una capa adicional o base, de material granular tratado con cemento.

### 7.1.5 Diseño de la losa de hormigón

#### 7.1.5.1 Hipótesis básicas y solicitaciones de carga

##### 7.1.5.1.1 Hipótesis de diseño

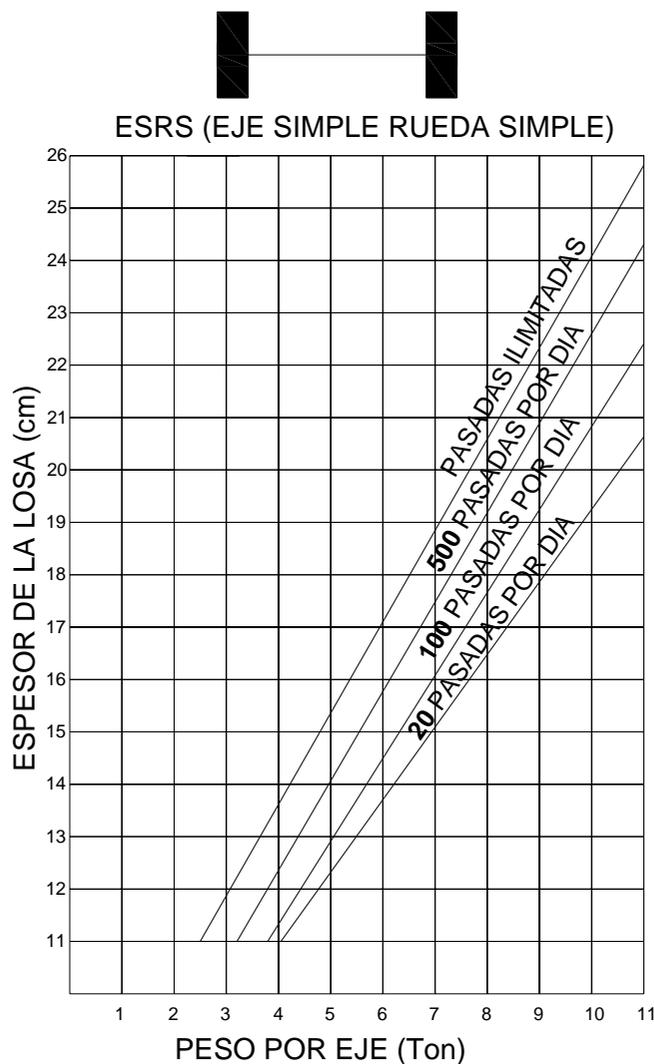
Para la determinación del espesor de la losa de hormigón se analizarán únicamente antecedentes sobre el tipo y magnitud de las cargas solicitantes, por esto, en las Figuras 6 a 8 se pueden apreciar tanto para cargas estáticas como dinámicas en función a resistencias del módulo de reacción combinado del conjunto Suelo-subbase  $K_c \geq 5,5\text{kg/cm}^3$ , la resistencia media a flexotracción del hormigón a 28 días  $R_f \geq 35\text{kg/cm}^2$  y considerando una vida útil del pavimento de 30 años.

Se ha elegido el valor de resistencia  $R_f \geq 35 \text{ kg/cm}^2$  , por estimarse que es representativo de la calidad de hormigón que puede obtenerse en la generalidad de las obras a nivel medio. En caso que el Proyectista considere que en una obra específica la resistencia a flexotracción del hormigón será sustancialmente distinta, podrá modificar el espesor de la losa, obtenido de! ábaco correspondiente, de acuerdo al siguiente criterio:

- Por cada 4 kg /cm<sup>2</sup> de resistencia a flexotracción por sobre los 35 kg/cm<sup>2</sup> considerados, puede reducirse el espesor de la losa en 1cm.
- Por cada 4 kg /cm<sup>2</sup> de resistencia a flexotracción por debajo de los 35 kg/cm<sup>2</sup>, debe aumentarse el espesor de la losa en 1cm.

Ej.: Para  $R_f = 43 \text{ kg/cm}^2$  reducir el espesor en 2cm

Para  $R_f = 31 \text{ kg/cm}^2$  aumentar el espesor en 1cm



**Fig. 6 Espesor de pavimento ESRS**

## 7.1.6 Solicitaciones de carga

### 7.1.6.1 Principales variables Involucradas

Cualquiera sea el tipo de carga que está solicitando al pavimento, deben considerarse los siguientes aspectos:

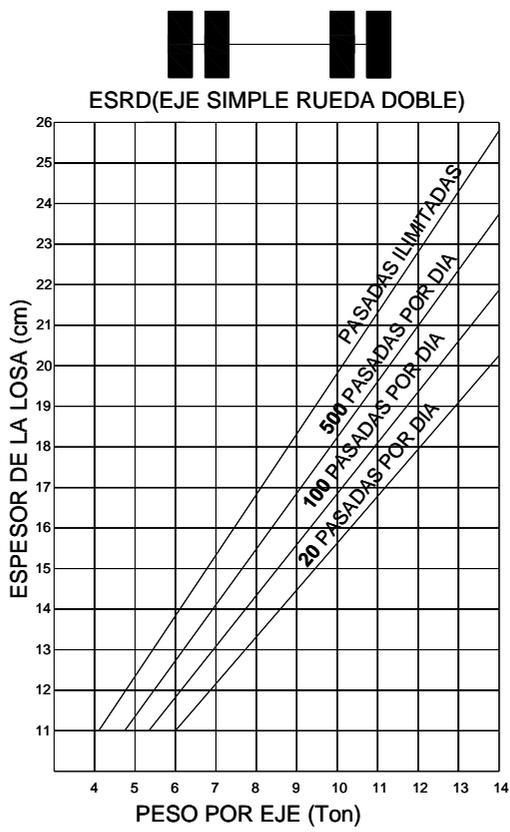
- Magnitud de las cargas
- Geometría del contacto carga - losa: representada por el área de apoyo (cm<sup>2</sup>) y la distancia entre apoyos. Esto es válido tanto para las cargas estáticas como para las vehiculares.
- Permanencia en el tiempo de las cargas estáticas y frecuencia de tránsito de las cargas móviles.

### 7.1.6.2 Determinación de las solicitaciones

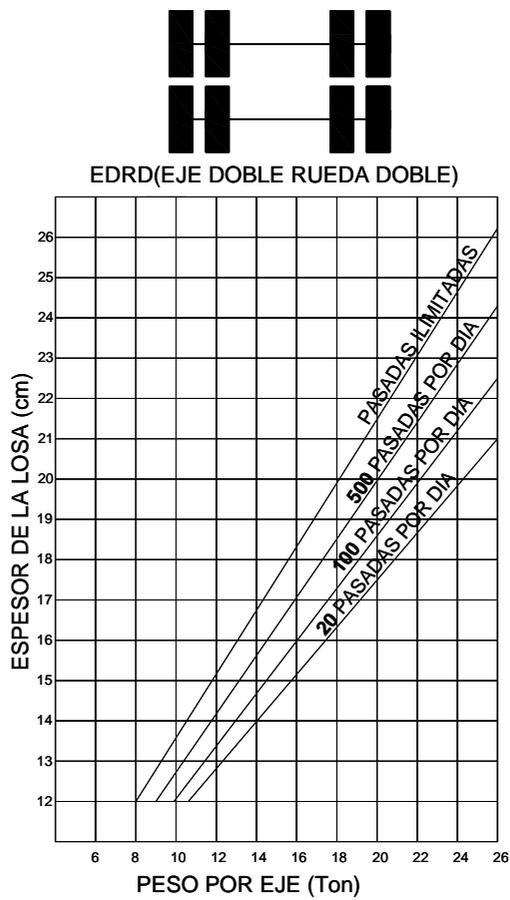
Es importante que el Proyectista cuente con información precisa con respecto a las operaciones asociadas a cada sector del pavimento a fin de poder discernir sobre el tipo y magnitud de las cargas. De este modo, podrán determinarse distintos espesores para sectores del pavimento destinados a distintos usos, como podrían ser almacenamiento de carga a granel, sectores con cargas puntuales o estanterías, estacionamiento de vehículos pesados, pasillos de circulación de grúas horquillas, accesos a la industria con tránsito de camiones cargados, etc.

En caso de pavimentos de uso múltiple o si no se cuenta con la información necesaria, deben considerarse todas las posibilidades de carga, determinar el espesor apropiado para cada una de ellas y seleccionar el mayor espesor obtenido.

Las solicitaciones de carga contempladas en este método de diseño se refieren a cargas estáticas y móviles con distinta configuración de ejes y número de ruedas.



**Fig. 7 Espesor de pavimento ESRD**



**Fig. 8 Espesor de pavimento ESRD**

## **8. DISEÑO PARA CARGAS ESTÁTICAS**

Se denominan cargas estáticas a aquellas que permanecen estacionarias por cierto período de tiempo en forma continua. Desde el punto de vista de su contacto con la losa de hormigón, los casos más habituales son dos:

### **8.1. CARGAS DISTRIBUIDAS**

Son aquellas que descargan directamente su peso a la losa de manera más o menos uniforme y en grandes extensiones superficiales, como serían por ejemplo materiales almacenados a granel, en sacos, rollos, cajas, etc.

No se presenta un ábaco específico para cargas distribuidas ya que, en general, estas inducen solicitaciones muy bajas, por lo que basta con dar a la losa de hormigón el espesor mínimo de 12 cm.

Existen, sin embargo, dos efectos muy especiales, que no se visualizan dentro del método de diseño presentado, y que bajo ciertas circunstancias pueden ser importantes:

-Asentamiento del Suelo: si se tienen cargas distribuidas de gran magnitud (superiores a  $5 \text{ ton/m}^2$ ) sobre una extensa superficie y sobre suelos de mala calidad, puede darse el caso de un asentamiento general del terreno. En estas condiciones es conveniente realizar un estudio más acucioso del terreno de fundación.

Cargas distribuidas que son interrumpidas por pasillos de circulación: pueden originar tensiones negativas de flexión que se traducirán en grietas a lo largo de estos pasillos si han sido construidos sin juntas.

Sólo en casos excepcionales la carga distribuida será la única solicitación que afecta al pavimento, ya que éste puede recibir además cargas puntuales o tránsito de grúas horquilla u otros vehículos destinados a la carga y descarga de los materiales almacenados. Por lo tanto, es necesario considerar estas otras solicitaciones que son más exigentes y requieren mayores espesores de pavimento.

## **8.2. CARGAS PUNTUALES**

Son aquellas que, cualquiera sea su forma, descargan su peso a la losa a través de apoyos con superficies de contacto de pequeñas dimensiones (100 a 400 cm<sup>2</sup>). En la Figura 5 se presenta un ábaco para dimensionar el espesor de pavimento necesario para soportar cargas puntuales, en función del peso "P" (ton), el área de contacto "A" (cm<sup>2</sup>) y la distancia entre apoyos "d" (m). A fin de simplificar el problema, la distancia entre apoyos "d" se ha considerado igual en ambos sentidos y se presentan dos alternativas de espaciamiento:

$$d = 1\text{ m}$$

$$d \geq 1,5\text{ m}$$

Para valores de "d" comprendidos entre 1.0 y 1.5 m puede interpolarse entre las dos curvas correspondientes al área de apoyo utilizada.

Este ábaco puede aplicarse tanto para cargas regularmente espaciadas (estanterías), como para cargas aisladas o espaciadas irregularmente, utilizando en este último caso las curvas correspondientes a  $d \geq 1,5\text{ m}$ .

## **9. DISEÑO PARA CARGAS MÓVILES**

### **9.1. DEFINICIÓN DE LAS CARGAS**

En este tipo de solicitud los aspectos más incidentes para la determinación del espesor del pavimento de hormigón son los siguientes:

- Magnitud de la carga, expresada como el máximo peso por eje del vehículo tipo que se está utilizando para el diseño.
- Frecuencia de tránsito, expresada en número de pasadas diarias del vehículo tipo por el sector de pavimento que se está dimensionando, durante una vida útil de 30 años.
- Geometría de apoyo, es decir, a través de cuántas ruedas se descarga el peso del eje a la losa, cuál es el área de contacto rueda-losa, y cuál es la separación entre ruedas.

Desde el punto de vista de la geometría de apoyo se han estudiado los tres casos más habituales, que son los siguientes:

ESRS: eje simple con rueda simple

ESRD: eje simple con ruedas dobles

EDRD: ejes dobles con ruedas dobles EDRD

### **9.2. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA**

Para el diseño por cargas móviles se presentan en las figuras 6,7 y 8 las configuraciones de ruedas y ejes más habituales: ESRS, ESRD, EDRD.

Las tablas son aplicables a todo tipo de vehículos que se ajusten a las configuraciones presentadas; así por ejemplo, las grúas horquillas más livianas son en general del tipo ESRS y las más pesadas ESRD. Los camiones más pesados en general corresponden a EDRD.

Los pasos a seguir para determinar el espesor de la losa de hormigón son los siguientes:

1.- Seleccionar el vehículo tipo más representativo del tránsito en el sector de pavimento que se va a dimensionar y según su configuración de ejes y ruedas elegir el ábaco adecuado.

2.- Determinar el peso por eje con que circulará dicho vehículo. En el caso de ESRS el peso por eje es el que recae sobre las dos ruedas-, para ESRD el que se aplica sobre las 4 ruedas, y en EDRD el que recae sobre las 8 ruedas. A modo de referencia se citan a continuación algunos límites de peso por eje fijados por el MOP (Decreto N° 158).

<b>EJE</b>	<b>RUEDAS</b>	<b>LÍMITE (ton)</b>
simple	simples	7
simple	dobles	11
doble	dobles	18

Hay que destacar que el peso por eje incluye la componente por el peso propio del vehículo más la componente por carga transportada. Esto es especialmente importante en las grúas horquillas que tienen un elevado peso propio y en que la carga va colocada adelante, lo que ejerce un efecto de momento que hace recaer prácticamente el peso total sobre el eje delantero. A continuación se presenta una tabla en que se indican, en forma aproximada, los pesos máximos sobre el eje delantero para grúas horquillas de diversas capacidades de carga:

Capacidad de Carga (ton)	1	2	3	4	6	8	10	12
Peso sobre el eje delantero a plena carga( ton)	3	5	7	9	13	17	21	25

Conocidos estos antecedentes se selecciona la tabla correspondiente, y partiendo por el peso por eje se sube hasta la curva de frecuencia de tránsito elegida y de ahí horizontalmente hacia la izquierda hasta encontrar el espesor de losa adecuado.

En caso de existir varios vehículos de distinto tipo y peso que circulen con distinta frecuencia por el mismo sector de pavimento, se determinará el espesor adecuado para cada uno y se seleccionará el mayor valor obtenido.

## 10. DISEÑO PARA PISOS POSTENSADOS

### 10.1. SOLICITACIONES

Las solicitaciones de carga a las cuales estará sometido el piso postensado y que se consideran presentes para el diseño de esta losa son las siguientes:

- Cargas de apoyos de estanterías.
- Cargas de grúas horquillas (por rueda, presión de contacto, ancho de ruedas, separación entre ejes, etc.)
- Cargas puntuales eventuales de columnas aisladas.

Este trabajo al tratarse de un piso para bodegas de almacenamiento o centros de distribución en donde se apoyarán estanterías de alturas superiores a 10mts., es fundamental el análisis de las cargas que tendrán estas, para así incluirlas dentro de los factores de diseño de la losa.

Estas cargas se incluyen dentro del ítem cargas puntuales

La fuerza del postensado debe ser capaz de vencer la fricción de la subrasante. El coeficiente de fricción depende de la superficie de contacto, la cual se mejora significativamente usando láminas de polietileno para permitir un adecuado deslizamiento.

Para el hormigón se especifica una resistencia cilíndrica característica a la compresión de 30Mpa. Para el acero postensado se especifica cables de baja relajación, compuesto de 7 hebras, con una resistencia última de 18.900 kg/cm<sup>2</sup>. Para las barras de acero pasivo se especifica calidad A63-42H. La compresión residual es la tensión requerida para limitar o evitar grietas de retracción, y para soportar la tensión causada por las cargas concentradas.

La geometría de las losas, o la distribución de los vaciados, depende de la forma de la superficie, donde las juntas se disponen de acuerdo al criterio de dilatación general de la planta.

El espesor de la losa depende de las solicitaciones y capacidad del suelo de fundación. Se debe verificar la tensión en el borde de éste. Este valor de presión corresponde al provocado por la carga del apoyo del estante, cuando se encuentra en la posición más crítica.

En los casos más típicos, la configuración de la losa obedece al tránsito proyectado, el cual consiste en los montacargas que trasladan la producción en el depósito. Esta configuración permite que las grúas no crucen juntas.

La cantidad de cables necesarios para proveer la tensión residual en el hormigón y superar la fricción en la cara inferior de la losa, dependerá de cada proyecto. Los cables quedarán uniformemente espaciados en el ancho de la losa, en ambas direcciones.

## 11. ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION

El trabajo de construcción del piso comienza con la preparación del suelo, que consiste en remover, nivelar y compactar el material de la fundación. El mejoramiento del suelo de base y subbase dependerá de las características propias de cada proyecto. Luego se debe colocar una película de polietileno. A continuación deben colocarse la armadura pasiva en la parte inferior de la losa (en caso de ser necesario), y los cables de acuerdo al espaciamiento apropiado. Los cables deben quedar dispuestos en la mitad del espesor de la losa, mediante la utilización de sillas de soporte.

El proceso de hormigonado se debe realizar de preferencia con bombeado desde camión mixer (puesto que los cables ya están extendidos sobre la superficie) y debe quedar vibrado apropiadamente, en especial la zona de los anclajes de postensado.



**SILLAS DE SOPORTE**

En aquellos puntos donde la losa llega hasta un muro perimetral, será necesario dejar un espacio libre de un metro para permitir las faenas del postensado, como muestra la figura.



Se ejecuta un platabado inicial para eliminar las irregularidades que queden después de la nivelación, antes de que un exceso de humedad o agua aparezca en la superficie. Luego se realiza el platabado final, cuando el hormigón ha endurecido lo suficiente para soportar el peso del operador sin dejar huellas. La última etapa de la terminación superficial es el afinado, que deja la superficie lisa, suave y dura. La evaporación rápida del agua superficial del pavimento se debe evitar utilizando membranas de polietileno o compuestos de curado. En caso de ser necesario, se colocará como elemento de terminación un endurecedor epoxi o un endurecedor de superficie.

La etapa siguiente es la ejecución del postensado, que será realizada por especialistas. El tensado inicial se realiza al día siguiente del hormigonado de un paño, para prevenir el agrietamiento. El nivel de tensión inicial estará basado en los ensayos de cilindros que se hagan temprano en la mañana. Habiendo alcanzado 90 a 100 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia cilíndrica se aplicará un tensado del 35% de la carga de rotura.

La tensión final se aplicará cuando el hormigón haya alcanzado entre 180 a 220 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia cilíndrica a la compresión.

Concluido el tensado de toda la superficie, se procede a cortar los extremos de tensado de los cables y sellar los nichos de acceso mediante un mortero, para garantizar la estanqueidad del sistema de postensado.

## 12. CONSTRUCCION DE PISOS SUPERPLANOS POSTENSADOS

Como ya se ha señalado en páginas anteriores, un piso superplano se identifica, o mejor dicho, se califica por medio de un análisis del sistema de números F.

Estos pisos en particular poseen números F mayores o iguales a 50. El número F del piso se especifica de acuerdo a las necesidades de la bodega, maquinarias que se instalarán en ella y en general, al uso que se le dará al piso. Por lo general, se especifican números F que van entre 50 y 100, exigiéndose mínimos locales cercanos a 30 para los pisos denominados como planos.

A continuación se presenta una tabla de clasificación de la Planeidad ( $F_f$ ) y Horizontalidad ( $F_I$ ) en relación a los números de perfil o números F, según ACI 302, 1989

Tabla de Clasificación  $F_f / F_I$

(ACI 302, 1989)

Clasificación calidad perfil del pavimento	Número $F_f / F_I$ mínimo requerido			
	Números F especificados		Números F mínimos locales	
Convencional	$F_f$ Planeidad	$F_I$ , Horizontalidad	$F_f$ Planeidad	$F_I$ , Horizontalidad
Llana de mango largo Enrasador	15	13	13	10
	20	15	15	10
Plano	30	20	15	10
Muy Plano	50	30	25	15

Estos valores tan elevados para el piso superplano se obtienen únicamente mediante un proceso constructivo metódico, cronológico y profesional, ya que el personal encargado de la ejecución de la obra debe ser personal calificado para este tipo de obra en particular. Como se ve en los siguientes esquemas constructivos, además del personal ejecutor, la función de las herramientas y/o maquinarias precisas a utilizar y en la forma correcta para las operaciones que corresponden, es esencial a la

hora de obtener resultados óptimos para este piso donde la calidad es fundamental y primordial.

Asimismo al hablar de un pavimento superplano significa que estamos frente al método constructivo de piso de hormigón mas exigente y preciso que se realiza actualmente en esta área de la construcción, ya que si tan solo un proceso no se hace de la forma correspondiente o no le prestamos la importancia que necesita, obtendremos una superficie totalmente indeseada de acuerdo a las especificaciones técnicas de dicha obra.

Cuando mencionamos lisura y además horizontalidad como exigencia principal para un piso industrial de estas características, obliga a la empresa constructora a utilizar el sistema de pisos postensados, ya que según la experiencia al trabajar con este tipo de radieres, eliminamos cerca de un 95% de las juntas transversales, colocando las restantes en lugares estratégicos para que no obstruyan o entorpezcan el perfecto tránsito que deberá soportar el piso.

Las reducciones de juntas con este tipo de radier se obtienen construyendo largas fajas de un ancho que sea conveniente, de tal manera que, por ejemplo, estas juntas longitudinales queden debajo de las estanterías y así no afecten de igual forma el tránsito de las grúas o maquinaria, a través de los pasillos de la bodega de almacenamiento, entre otros.

Por lo tanto, es de suma relevancia definir un diseño conjunto con el propietario, para así delimitar los anchos de los pasillos en relación a los equipos que se utilizarán en el manejo de los productos que se almacenen en la bodega, logrando así calles sin juntas transversales de contracción con un tráfico definido, previo al diseño conjunto antes mencionado.

Todo esto debido a que dichas tensiones por retracción estarán controladas por el postensado producto de la compresión temprana de la losa de hormigón. A la vez las juntas longitudinales entre los pasillos adyacentes quedarán, por consecuencia, bajo las estanterías de almacenamiento y por otra parte, las juntas transversales prácticamente

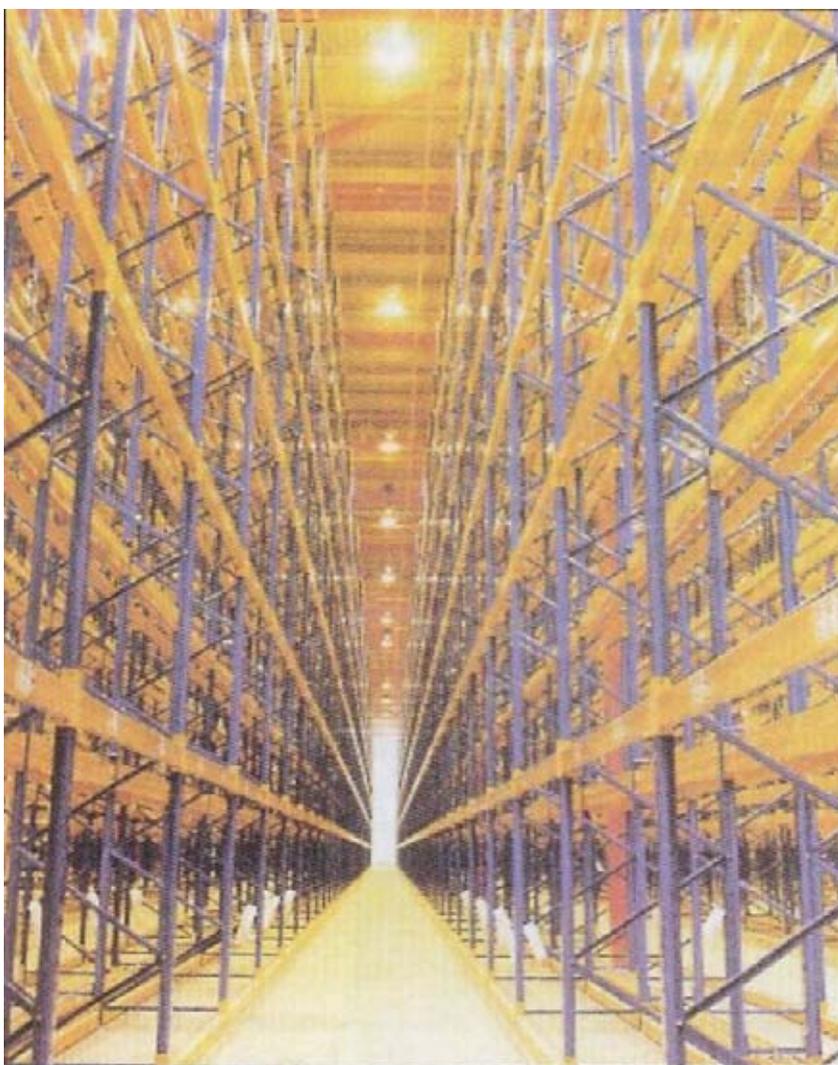
eliminadas (95%) serán estratégicamente definidas para definir una calle con un largo considerable y sin juntas en el tránsito de los vehículos que circulen por esos pasillos.

## 13. PUNTOS IMPORTANTES EN LA CONSTRUCCION DEL PISO

### 13.1. INTRODUCCION

A continuación se mencionará en una breve descripción ciertos pasos o puntos que se deben tomar en cuenta y/o realizar para construir un pavimento industrial de características superplanas y además con un radier postensado.

Desde la formación de la base hasta la entrega final de la losa junto con mencionar un protocolo de ejecución en cuanto a gestión y técnicas de construcción de un piso de estas características, para así obtener un excelente resultado de dicha losa.



#### 13.1.1. Preparación de la base y sub-base

El terreno que servirá de base a la losa juega un rol muy importante en el futuro comportamiento del piso. La granulometría del suelo, que soportará a la futura losa, ya sea de la base y subbase, deberán cumplir con las condiciones propias de cada proyecto.

Una vez realizada la compactación de la base y subbase se deberán colocar, previo a el radier, dos capas de polietileno en toda la su superficie.

El fin que tiene la aplicación de esta capa es reducir el roce (a 0,3 aprox.) permitiendo así un deslizamiento más “independiente” y fácil del pavimento por deformación en cambios volumétricos.

Las características de la losa son muy simples. Deben ser homogéneos y de elasticidad adecuada.

Según conclusiones de expertos presentes en la EXPO Hormigón 2000, en Santiago de Chile, señala que uno de los errores más comunes dentro de la construcción de un piso es el uso de polietileno bajo la losa, argumentando que este aumenta el gradiente de humedad entre la superficie y el fondo de la losa provocando así un alabeo de esta y posterior agrietamiento. Pero como se menciona en los párrafos anteriores, es recomendable colocar polietileno bajo la losa, ya que estamos ante un hormigón postensado en donde no existirán mayores cambios de contracción o alabeo del radier.

### 13.1.2.Moldajes

En pisos industriales al no contar con un colocador láser el nivel de los moldes es fundamental.

Generalmente los moldajes metálicos de pavimentos sufren un gran deterioro debido al maltrato en las faenas constructivas y se doblan, quiebran o pierden su lisura.

En el caso de una losa superplana es altamente recomendable el uso de moldajes de madera.



## **NIVEL OPTICO**

(recomendado para pisos superplanos)



**Moldaje de madera**

### 13.1.3. Estacas

Las estacas que fijan estos moldajes de maderas son muy especiales. Deben tener al menos dos a tres perforaciones que fijen el moldaje de madera con clavos. Esta forma de fijación permite nivelar el moldaje en forma precisa y rápida.



**Estacas** (Importante para afirmar el moldaje)

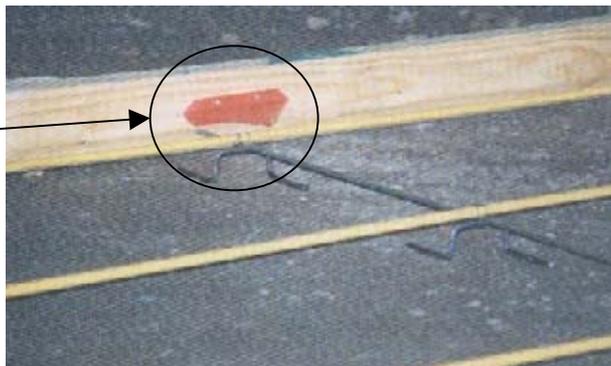
#### 13.1.4. Traspaso de cargas

Al tener pisos extensos en todas direcciones, los sistemas tradicionales de traspaso de carga no funcionan, hacen el sistema hiper-estático. Por esta razón el sistema de traspaso de carga debe funcionar bien en sentido vertical y permitir el movimiento horizontal entre las losas.

Al permitir que la losa se mueva horizontalmente sin restricción ayuda a minimizar el tamaño y la cantidad de grietas debidas a la restricción de movimiento. Esta capacidad para acomodar el movimiento diferencial horizontal es especialmente importante para las losas que poseen separaciones de juntas extensas, como lo es para una losa postensada .

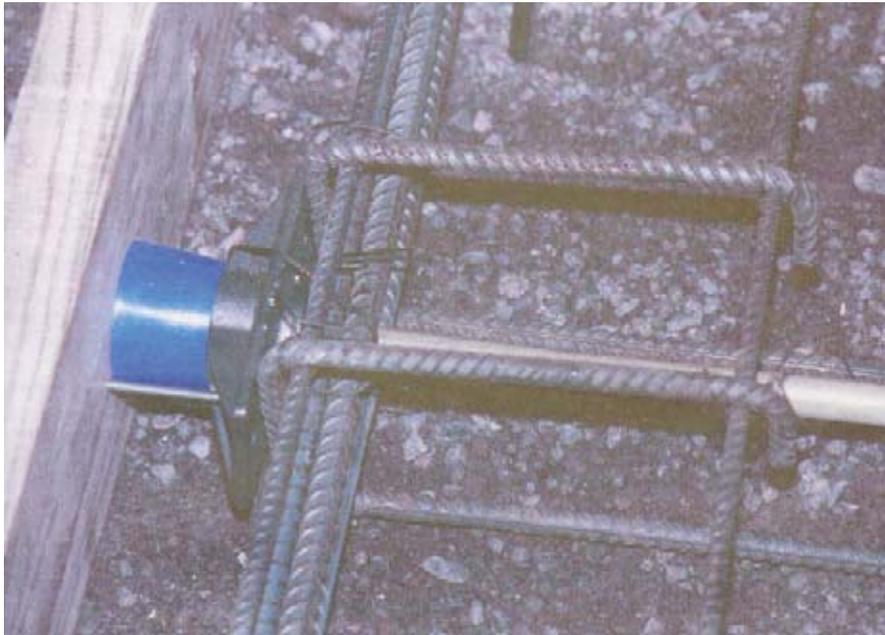
El más moderno de estos sistemas es el de plancha, colocada en una posición de diamante que se puede observar en la figura.

**Plancha en posición de diamante.**



#### 13.1.5. Cables de postensado

Una vez colocadas las barras de traspaso se deben colocar los cables de postensado. Estos van separados del terreno mediante horquillas que le dan el trazado de los cables que especifica el diseño.



#### 13.1.6. Colocación del hormigón

Contrariamente al uso tradicional el hormigón de pisos debe tener un cono alto entre 7 y 15 centímetros y un tamaño máximo de árido de 40 mm. La trabajabilidad de hormigón es clave para lograr una buena colocación y con esto obtener hormigones homogéneos que no segreguen y que no tengan nidos.

La colocación del hormigón es importante generalmente se esparce el hormigón con pala. Lo ideal son los esparcidores de paleta que permiten mantener un nivel de hormigón mas constante frente a la cercha.

#### 13.1.7. Compactación del hormigón

El vibrado del hormigón también cumple un rol fundamental en el comportamiento futuro de las losas. A pesar de que se use cercha vibradora o cercha láser es recomendable usar vibradores de inmersión en los bordes de la losa y no en la zona de compactación de la cercha.

En zonas de difícil acceso se puede usar el platacho vibratorio manual.

#### 13.1.8. Platachado de la losa

El platachado de la losa cumple básicamente dos funciones:

- Alisar la superficie
- Dar la nivelación y horizontalidad.

El arte de los terminadores y obreros altamente calificados es lejos la variable que mas incide en las características de una losa super-plana. De esta manera se realizan múltiples pasadas de distintos tipos de herramientas manuales que se van cambiando a medida que el hormigón va endureciendo.

#### 13.1.9. Colocación del endurecedor superficial

Después del enrasado y nivelación de la superficie viene la colocación del endurecedor superficial si las losas los llevan, estos permiten mejorar la resistencia a la abrasión producidas por las grúas horquillas y panets de carga. No solo eso, sino que además estos mismos endurecedores pueden ser coloreados o reflectantes de luz aumentando la luminosidad interna de la bodega hasta un 40% iluminando los raps de almacenamiento de abajo hacia arriba.

#### 13.1.10. Alisado con Helicóptero

Para lograr el alisado superficial aparte del platachado con alisadores manuales se usa el alisador mecánico o helicóptero. Existen helicópteros simples de un aspa y helicópteros doble con dos aspás. El manejo y el uso de los helicópteros tal como todas las faenas de construcción de una losa de piso industrial tiene mucho de arte y de oficio del terminador superficial. Las aspás del helicóptero se giran de acuerdo a qué tan avanzado esté el fraguado del hormigón.



#### 13.1.11. Corte del pavimento

El corte de un pavimento es en palabras simples en provocar grietas artificialmente al hormigón. Todo hormigón se contrae si existen restricciones al libre movimiento en algún sentido. El hormigón se agrietara ya que no resiste tensiones de tracción. La función que tiene el corte de un pavimento es controlar estas grietas de manera de inducirlas mediante una ranura de unos centímetros de profundidad. El problema es que un corte demasiado tardío no es efectivo ya que el hormigón se habrá agrietado. Es por eso que las nuevas maquinas cortadoras de pavimento en fresco son tan importantes por que se adelantan al agrietamiento natural de la losa.

#### 13.1.12. Medición de lisura y planeidad

La lisura y la planeidad son las dos características más importantes de una losa. Estas cualidades se miden una vez terminada la losa con el sistema de números "F", usando instrumentos especiales tales como el *F meter*, que según como muestra la imagen es un dispositivo que se arrastra a través de la superficie de la losa y mediante un chip de memoria lee los datos del nivel y horizontalidad que luego son traspasados al computador o pueden ser leídos directamente desde la pantalla del instrumento.



Verificación de Planeidad y Horizontalidad de una losa por medio del **F Meter**

### 13.1.13. Curado del hormigón

Finalmente el hormigón se debe curar para evitar la pérdida de agua, especialmente en los bordes, juntas y superficies del a losa.

A continuación se presenta una lista de puntos o etapas importantes que se deben tomar en cuenta tanto en la parte de administración, gestión y construcción de un piso industrial superplano.

#### **14. “24 PASOS HACIA PISOS EXITOSOS”**

1. Hacer una reunión de pre-construcción para establecer una perfecta instalación y colocación de las losas sobre terreno.
2. Mantener permanente comunicación en terreno entre proveedores y contratistas, continuas visitas de consultores a la obra, y servicios de inspección y de prueba.
3. Seleccionar un contratista de construcción de pisos experimentado, que tenga antecedentes comprobados de construcción de pisos superplanos postensados
4. Adherirse estrictamente a las tolerancias específicas y rechazar los productos defectuosos.
5. Reducir costos mediante el mejoramiento del programa de trabajo en la construcción, sin comprometer la calidad y la seguridad.
6. Insistir en la limpieza del sitio de la obra, con áreas de almacenamiento bien organizadas.
7. Contratar supervisores y coordinadores entrenados y responsables, y supervisar la obra por el contratista general.
8. Coordinar la entrega oportuna de los materiales.
9. Revisar detalles conjuntos, tamaño del vaciado y sucesión de actividades, previamente a la programación de cada hormigonado. Corregir interferencias y restricciones del lugar antes de vaciar el hormigón.
10. Tratar de obtener una relación consistente de agua – cemento.
11. Mantener la superficie de la sub-rasante y de la sub-base lisa, bien graduada y compacta.
12. Insistir en que operadores y comerciantes especializados empleen herramientas nuevas y equipos en buen estado.

13. Durante el diseño del pavimento, se debe procurar dejar las juntas de construcción debajo de donde irán colocados posteriormente los racks o estanterías.
14. Es preferible comenzar hormigonando en pistas de adentro hacia fuera, es decir, desde el centro de la bodega hacia los extremos de ella.
15. Se debe procurar proteger la obra de la intemperie.
16. El hormigón debe tener un cono alto entre 7 y 15 centímetros
17. Se deben ir limpiando los moldajes, que sirven como apoyo fijo en las primeras etapas de nivelación, para evitar desniveles posteriores en el piso.
18. Se debe dar un período de tiempo suficiente para que el hormigón exude y así evitar posteriores fallas en el piso.
19. El Check Rod y el Bump Cutter, deben ser usadas en forma transversal a la pista y en un ángulo de 45° con respecto a ella.
20. Para llevar a cabo el postensado, se debe esperar a que el pavimento alcance una resistencia mínima especificada, la cual depende de cada obra.
21. Cada etapa de terminación se debe realizar con mucho cuidado.
22. Luego de 18 meses aproximadamente se debe volver a la obra para sellar juntas de retracción.
23. El uso de aditivos no se recomienda a no ser que se conozcan a cabalidad los efectos secundarios que estos pueden ocasionar. Para esto, se recomienda contar con un experto de la compañía que fabrica el aditivo.
24. El uso de máquinas pulidoras no se recomienda por posibles desniveles que puede provocar.

## 15. ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION

Anteriormente se han señalado los pasos a seguir durante la etapa constructiva de la losa postensada. A continuación se analizarán a fondo esas etapas mencionadas, que sin duda logrará aún más el mejor entendimiento de la etapa constructiva de este piso.

La construcción de cada pista o calle comienza con la preparación del suelo, mejoramiento de base y sub-base granular, estudiadas con anterioridad de acuerdo con las condiciones propias de cada proyecto. Seguido a esto, se deberá colocar dos capas de polietileno bajo la futura losa.

El fin que tiene la aplicación de esta capa es reducir el roce, permitiendo así un deslizamiento más fácil del pavimento por deformación en cambios volumétricos.

Las características de la losa son muy simples. Deben ser homogéneos y de elasticidad adecuada.

Según conclusiones de expertos presentes en la EXPO Hormigón 2000, en Santiago de Chile, señalan que uno de los errores más comunes dentro de la construcción de un piso es el uso de polietileno bajo la losa, argumentando que este aumenta el gradiente de humedad entre la superficie y el fondo de la losa provocando así un alabeo de esta y posterior agrietamiento. Pero como se menciona en los párrafos anteriores, es recomendable colocar polietileno bajo la losa, ya que estamos ante un hormigón postensado en donde no existirán mayores cambios de contracción o alabeo del radier.

Luego viene la instalación de los moldajes, que deberán ser de madera seca para impedir cambios dimensionales por variaciones de humedad y adicionalmente permitir la fácil modificación de su superficie en caso de requerir una nivelación durante el proceso de hormigonado. Las tablas deben estar cepilladas en su canto superior y el molde se debe posicionar con un nivel óptico ya que el haz de luz de los niveles laser tiene un espesor que es muy ancho y no queda bien nivelado en una losa superplana.

Es tal el grado de exigencia en cuanto a la nivelación de los moldes, que se recomienda contar con un cepillo de madera en terreno para hacer las correcciones de los moldes en caso de que estos no estén muy parejos.

Posteriormente a esto viene la instalación de la armadura pasiva y los cables de postensado, que como su nombre lo indica, serán tensados posteriormente.

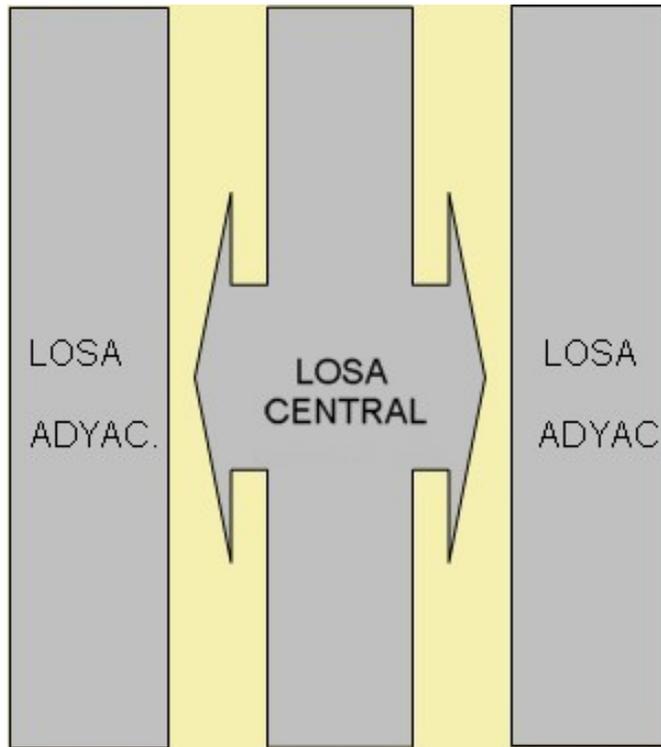
Como cada proyecto difiere en ciertos puntos y se trata de una losa con características especiales, se debe tomar hincapié en que el ancho no supere los 6 metros, para que las herramientas (cerchas vibratoras) se apoyen en los bordes de los moldajes de madera.

El apoyo de las herramientas de enrasado inicial sobre las cimbras o moldajes de madera es fundamental dado que es la primera aproximación durante la etapa de acabado para obtener la planeidad especificada, de aquí la importancia de contar con cimbras correctamente niveladas y bien apoyadas al terreno con sistemas que permitan su rectificación permanente durante el proceso de colocación del hormigón.

La nivelación de los moldajes (de madera) deberá hacerse con sumo cuidado y con un nivel óptico, mencionado anteriormente. Se toma importancia en esto, ya que es el inicio de toda la faena en cuanto a la realización propiamente tal del piso y deberá quedar perfectamente nivelado de acuerdo a las especificaciones técnicas de la obra.

Hay que tomar en cuenta, además, que la secuencia constructiva se rige exclusivamente de acuerdo al diseño del proyecto, siendo en la mayoría de los casos de la siguiente forma:

Se programa una secuencia constructiva de la losa desde adentro hacia afuera, esto significa que, lo primero que se ejecuta es la pista central del recinto y posteriormente siguen las losas adyacentes (ver Fig.). Esto, obedece a minimizar las deformaciones diferenciales entre fajas, producidas por el acortamiento que tienen debido a la retracción.



### **SECUENCIA CONSTRUCTIVA OPTIMA**

El piso postensado, al estar construido en su totalidad, se comportará como un gran panel unido por la red de cables que están embebidos en el hormigón, transmitiendo la compresión al sistema. La retracción de éste será en dirección a el centro de gravedad, por lo tanto, si hay un hormigonado desordenado, las retracciones que sufriría cada faja serían independientes una de otra, y, al tensar posteriormente el pavimento, las juntas se separarán lentamente producto de la retracción desigual que soportarán las distintas fracciones del pavimento. De esta manera, si las etapas de hormigonado son muy diferentes entre calles vecinas implicarán hormigones con una madurez distinta provocando problemas de fisuras por resistencias diferentes al momento de tensar el sistema en su conjunto.

Lo señalado anteriormente corresponde a un punto muy importante donde existen grandes superficies a cubrir, (que es el caso de este trabajo), donde una secuencia desordenada de hormigonado ocasionaría losas vecinas con hormigones de edades distintas de hasta 15 días. Es por ello, que hormigonar en forma adecuada y ordenada facilita considerablemente el movimiento de camiones, máquinas y personas dentro de la obra.

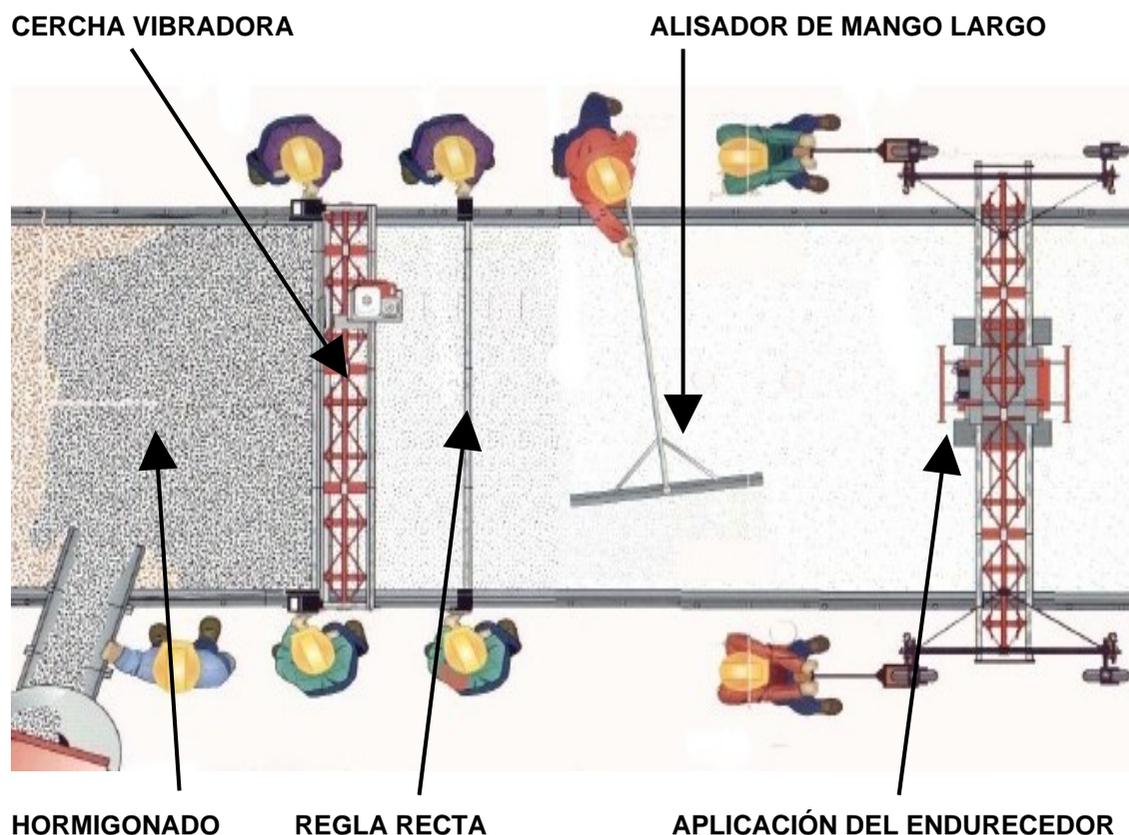
En la etapa de hormigonado se debe confirmar, antes que todo, el número indicado y exacto de camiones mixer para la partida que se desea hormigonar. Esto con el fin de que no haya interrupciones en el suministro propiamente tal, ya que las condiciones ambientales en la obra podrían afectar considerablemente la velocidad de fraguado del hormigón.

Es común la ejecución en recintos cerrados, para este tipo de pisos, ya que la techumbre de la bodega es lo primero que se realiza en la obra, antes que comience la faena de la superficie de la losa.

En el primer cuadro de secuencia constructiva de la losa, se observa el vaciado del hormigón, que puede hacerse directamente desde el camión, o, si éste no puede llegar al punto de colocación en la obra, se puede bombear. El primer paso que se debe tomar al hormigonar, es el de extender el hormigón con palas cuadradas o extendedoras; las que no provocarán segregación, una de las amenazas significativas en esta parte del proceso.

### PRIMER CUADRO DE SECUENCIA CONSTRUCTIVA

VACIADO DEL HORMIGON – ALISADO INICIAL – APLICACIÓN DEL ENDURECEDOR SUPERFICIAL



Al realizar esta etapa debe tenerse sumo cuidado con los cables de postensado ya que deben permanecer intactos y que no se salgan de su posición original.

Si ocurriese esto último, producirá fallas en el pavimento cuando se realice el tensado de los cables.

El vibrado en la zona de las orillas de cada pista, al haber armadura pasiva, debe utilizarse un vibrador de inmersión o sonda vibradora, para eliminar y evitar la formación de nidos y vacíos en el hormigón, lo que haría que no quede homogéneo y, por ende, defectuoso.

Ya realizada esta etapa, comienza la siguiente que corresponde a la compactación del hormigón y además, la primera nivelación del piso. La compactación y nivelación se hace, por lo general, con una cercha vibradora, la cual engrasa y empareja el hormigón.

Estas cerchas vibradoras tienen dos barras en su parte inferior, las que se apoyan en los extremos del moldaje de madera, proporcionando su desplazamiento a través de las pistas.

Las barras de las cerchas tienen forma de ángulo y van colocadas en distinto sentido, de tal forma que, una empareja y la otra nivela posteriormente. La velocidad de desplazamiento de la cercha deberá ser tal que admita una buena compactación, ya que de lo contrario, la presencia de demasiado mortero en la superficie, debido a una velocidad no óptima, puede perturbar considerablemente la resistencia superficial del piso.

Una variante a las cerchas para este tipo de losas es la utilización de rodillos vibratorios. Pese a esta alternativa es mucho más recomendable el uso de cerchas, por ser mucho más rígidas, presentando una menor deformación en la parte central, favoreciendo así a obtener un mejor piso en cuanto a nivelación se refiere.

Siguiendo con el orden cronológico de construcción y luego de haber pasado la cercha, corresponde ahora hacer uso inmediato de la regla recta para apoyar el trabajo de nivelación que se ha realizado hasta ahora, la cual es operada en ambos extremos y

cuyo objetivo es enrasar la superficie luego del paso de la cercha (esto se puede apreciar en el primer cuadro de secuencia constructiva).

Luego de esto, se usa un alisador de mango largo, que por lo general es de magnesio, pero es muy recomendable para esta etapa utilizar uno de madera o un ángulo recto de acero, ya que al ser de magnesio éstas sellan la superficie y, por lo tanto, como en esta etapa se desea que no ocurra eso, evitando así que el agua de exudación se aloje en una capa inferior por debajo de la superficie, lo que provocaría posiblemente un plano débil ocasionando ampollamiento y delaminación.



**Alisador de mango largo o “bull float”**

(Recomendable de madera para primera etapa de platabado de la losa)

Pasando el alisador, concluye la primera fase constructiva, antes de que se le dé un período de descanso al hormigón para que exude.

Si no se da un tiempo óptimo de exudación al hormigón y se sigue inmediatamente con la parte de terminación, existirá un exceso de humedad o agua de exudación en la superficie. Esto podría ocasionar fisuración de la capa superficial en

forma de pequeñas áreas contiguas de forma irregular, exceso de polvo en la superficie y ampollamiento o delaminación, entre otros, lo que indudablemente, no se desea tener en este tipo de pisos.

Como la nivelación tiene que ser precisa, en toda operación que se ejecute durante esta fase, debe contarse con un par de obreros que en todo momento estén limpiando los moldajes para que cuando vaya a pasar la cercha vibradora o la regla recta no se desnivele el piso a causa de la lechada encima del borde superior de los moldajes.

Hay que recalcar que el enrase tiene los mayores efectos sobre la horizontalidad del piso, entre todas las operaciones de colocación y terminación del hormigón.

Al haber concluido la exudación del piso, debe aplicarse un endurecedor de pisos planos.

Este endurecedor está compuesto por cemento y partículas de cuarzo o metal, mejorando la planicidad del piso y brindando una mayor resistencia a la abrasión, impactos en la superficie, penetración de aceites y grasas, entre otros.

Como posee mayor densidad que el hormigón, la aplicación del endurecedor no dejará huecos superficiales y permitirá un mantenimiento de hasta un 35% más fácil y menos costoso.

La aplicación del endurecedor puede ser manual o mecánica, esta última mediante máquinas especiales, tales como el Laser Spreader que esparce el endurecedor superficial de manera homogénea, evitando grumos e imperfecciones que afecten la lisura de la losa.

La cantidad aproximada de endurecedor con cuarzo a adicionar es de de 4 a 5 Kg. /m<sup>2</sup>. Para el caso de endurecedor con partículas metálicas, este deberá ser de alrededor de 10 Kg. /m<sup>2</sup>, dependiendo de cada obra.

En el segundo cuadro de secuencia constructiva se puede apreciar que el endurecedor ya está aplicado afectando inevitablemente a la lisura del piso. Debido a esto, debe pasarse nuevamente la herramienta de mango largo o alternativamente pasar una herramienta llamada Check Rod (ver Fig.), previa espera de un tiempo para

que se hidrate la superficie del hormigón. Estas herramientas son las incorporan el endurecedor a la superficie del piso

Como muestra la figura, el Check Rod es una herramienta compuesta por un mango metálico (largo) con una cabeza ajustable unida a una placa ancha metálica, lo que permite mantener la placa en posición horizontal.

Al estar en esa posición horizontal, (cuando la superficie ya está exudada y sellada) favorece considerablemente la reducción de "montes" o excesos de hormigón y el llenado de huecos cuando el hormigón aún está en estado plástico y, de esta forma, darle mayor planeidad y nivelación al piso.

El Check Rod se utiliza transversalmente a la pista y por consiguiente, se produce acumulación de lechada en los bordes de la pista. Este exceso de lechada se debe recuperar, para luego aprovecharlo cuando existan desniveles en el piso que se tengan que llenar.

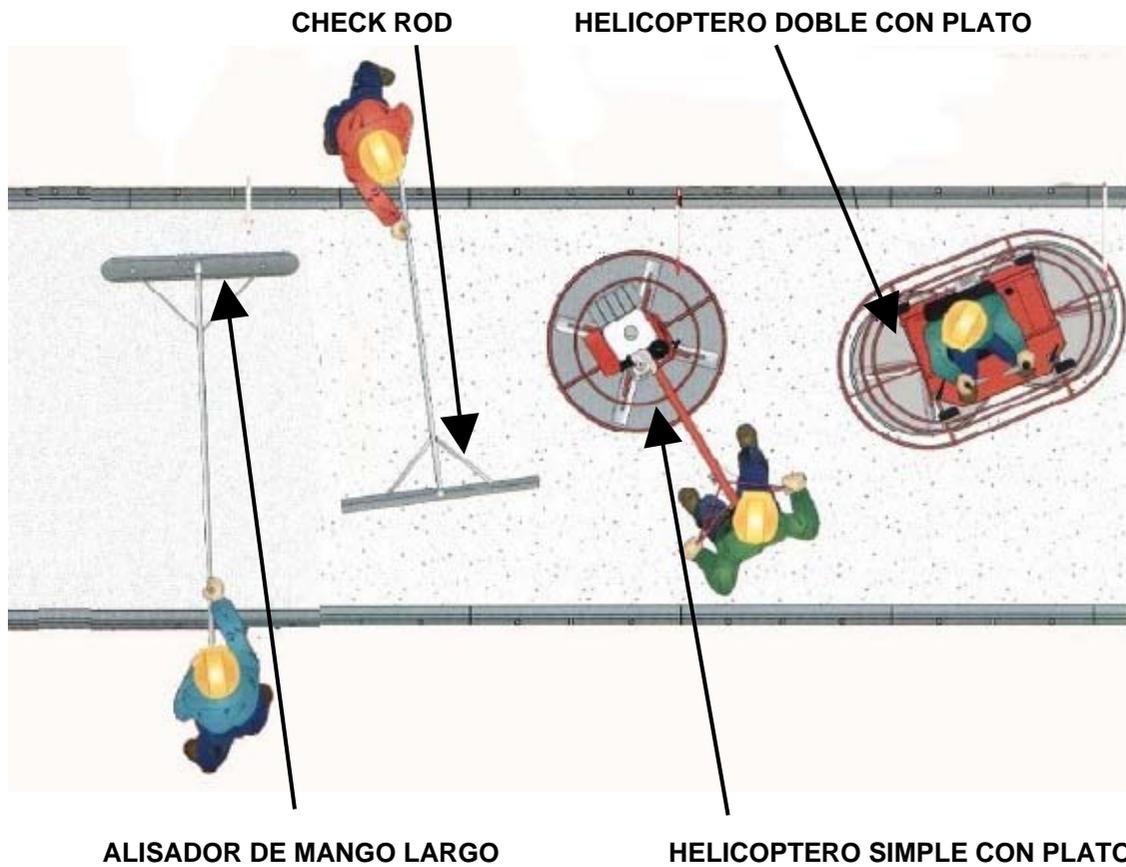


**“Check Rod”**

Posteriormente se debe continuar con el proceso de terminación utilizando helicópteros de plato liso, el cual, a pesar de lograr un buen acabado, produce ciertas ondulaciones que deben ser eliminadas con otra herramienta llamada “Bump Cutter”.

## SEGUNDO CUADRO DE SECUENCIA CONSTRUCTIVA

SELLADO SUPERFICIE - INCORPORACION DEL ENDURECEDOR - ALISADO HELICOPTERO CON PLATO



Como muestra la figura en esta página, esta herramienta se asemeja mucho al Check Rod, siendo diferente en el perfil alisador, ya que éste está dispuesto en el lado más angosto en contacto con el pavimento. Posee al igual que el Check Rod una cabeza articulada que permite inclinar el perfil en la dirección adecuada, para así, dependiendo el caso, empujar o tirar el mango levemente inclinado. Esta leve inclinación corta y rellena los excesos y huecos de hormigón respectivamente sobre la superficie después de haber sido sellada con las herramientas anteriores, con ello es posible lograr un nuevo nivel de alisado.

Como su nombre lo indica, "Bump Cutter" corta los pequeños resaltos existentes y deja la superficie mucho más lisa.

Se obtienen mejores resultados si se pasa transversalmente a la pista la herramienta formando un ángulo de 45°.

También se usa esta herramienta en la etapa siguiente que corresponde a la primera pasada de los alisadores mecánicos simples o helicópteros de plato simple. Durante el uso de este instrumento es imprescindible proveer de hormigón del mismo

tipo del pavimento. Esto se logra de los excesos recogidos desde los bordes, para vaciar frente al paso del Bump Cutter cuando existe presencia de baches en el alisado.



**“Bump Cutter”**

Los bordes de la pista deben irse trabajando en paralelo al uso de las herramientas antes mencionadas, con los alisadores de borde, que son herramientas similares a las espátulas, que sirven para lograr una mejor terminación en el sector donde posteriormente se ubicarán las juntas. No se debe olvidar la continua limpieza de bordes o superficies de moldes.

Después de haber transcurrido esta etapa de fraguado y resistencia inicial del hormigón (4 hrs. Aprox.), que se puede identificar si al caminar sobre la superficie el trabajador deja huella, pero ya no se hunde, debe utilizarse un helicóptero mecánico.

Según el tercer cuadro de secuencia constructiva, en la base de este helicóptero se coloca un plato que gira sobre la superficie y es el que incorpora el endurecedor a la capa superficial, conformando lo que será la capa de rodado del pavimento y sellará dicha superficie.

De forma alternada se usa nuevamente el Bump Cutter, ya que el hormigón a nivel superficial aún está en estado plástico en esta fase de acabado, por lo que el paso de los helicópteros produce nuevas ondulaciones en el pavimento.

Es necesario por lo tanto utilizar estas herramientas repetidas veces para permitir la obtención de un acabado superficial de calidad, como se requiere para este piso superplano.

Debe repetirse una y otra vez el uso alternado de estos alisadores, hasta que la capa superficial del pavimento se vaya endureciendo. En ese mismo instante se debe

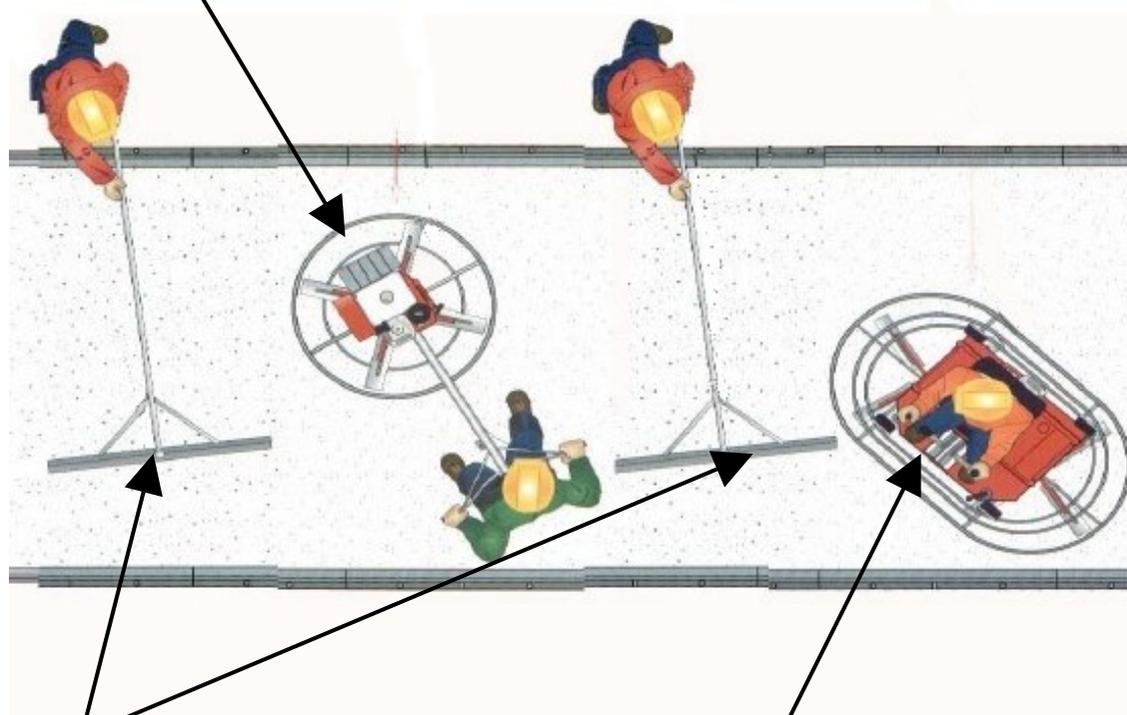
cambiar el plato utilizado en la base del helicóptero, por paletas dispuestas en cada aspa de la hélice del equipo.

También es frecuente el uso de helicópteros de doble aspa en los que el operador va montado sobre este, lo que requiere de gran destreza y experiencia.

### **TERCER CUADRO SECUENCIA CONSTRUCTIVA**

ALISADO FINAL CON BUMP CUTTER Y HELICOPTEROS CON PALETAS

#### **HELICOPTERO SIMPLE CON PALETAS**



#### **BUMP CUTTER**

#### **HELICOPTERO SIMPLE CON PALETAS**

Existe también la posibilidad de usar otras herramientas, tales como pulidoras para corregir desniveles y ondulaciones en pavimentos en que el hormigón ya ha endurecido, pero no son recomendadas, ya que no se puede medir con exactitud el nivel al cual están dejando el piso. Por esta razón, sólo deben ser utilizadas en casos de emergencia para arreglar sectores del piso que hayan quedado defectuosos.

Al finalizar la parte de terminación del piso superplano, se debe esperar a que el hormigón alcance la resistencia especificada para partir con el tensado de los cables. El tensado se debe realizar en tres etapas para el sentido longitudinal y en dos etapas para el sentido transversal del piso en el caso que el proyecto necesite cables de postensado transversalmente.

Por lo general para este tipo de pisos donde las calles o pistas son menores a 6 metros de ancho no es necesario contar con cables transversales.

El primer tensado debe hacerse en la mañana del día siguiente del hormigonado, es decir, 24 horas después de hormigonado, y el segundo tensado al día siguiente del primer tensado. La fuerza de tensado depende de la resistencia adquirida por el hormigón y se aplica en cada cable con un gato hidráulico equipado con un manómetro de presión hidráulica calibrado, con ello se contrasta la fuerza aplicada por el equipo con la obtenida con el cálculo de las elongaciones de los cables y se determina por la siguiente expresión:

$$F \text{ (Ton)} = \frac{\text{Resistencia Cúbica Probeta Ensayada (MPa)} \times 15 \text{ Ton}}{23 \text{ MPa}}$$

La cantidad de cables por unidad de longitud de losa, es función de las tensiones generadas por las cargas aplicadas al pavimento, del módulo de ruptura del hormigón, de la resistencia y del área del cable, de las pérdidas por fricción en la cuña, de la retracción hidráulica del hormigón.

También en casos particulares, de las singularidades que éste tenga con interrupciones de otras estructuras, por ejemplo, las cuales deben quedar aisladas del radier.

La Tabla siguiente muestra la fuerza de tensado dependiendo de las resistencia cúbica de las probetas de control ensayadas.

**FUERZA DE TENSADO EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA CÚBICA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN**

<b>Resistencia Cúbica (MPa)</b>	<b>Fuerza Tensado (Ton)</b>	<b>Porcentaje de Fuerza de Tensado a Aplicar</b>
0	0,0	0
3	2,0	13
5	3,3	22
8	5,2	35
10	6,5	44
13	8,5	57
15	9,8	65
18	11,7	78
20	13,0	87
23	15,0	100

Estos datos pueden variar en dependiendo de la obra. Es común regresar a la obra 6 a 12 meses después de terminada a sellar las juntas, cuando ya se haya producido todo el movimiento significativo del pavimento producto de la retracción.

Esto se realiza aplicando inicialmente un sellador de silicona y finalmente un epóxico semi-rígido. Al sellar las juntas con un sellador elástico, se le otorga al pavimento la posibilidad de contraerse sin mayores problemas. Si se sella inmediatamente con un epóxico rígido se restringe la retracción del hormigón lo que causará fisuras en la zona de las juntas, con el respectivo daño al pavimento, ya que se introduce en las juntas un elemento rígido incompresible confinado.

El uso de aditivos, si bien está permitido, no debe realizarse sin un experto que asesore su aplicación. Esto se debe, principalmente, a que debe existir un completo conocimiento de los efectos que tendrá el uso del aditivo y la duración de los mismos, ya que un repentino cambio en las características del hormigón pueden ocasionar dificultades en la terminación final del piso.

## 16. COSTOS

Tomando como ejemplo un radier de 10.000m<sup>2</sup> de 15cm de espesor, el costo estimativo por metro cuadrado de un radier superplano postensado es de aproximadamente: **\$13.737.- + IVA**. Esto incluye únicamente:

➤ Mano de obra:

- Jornal
  - Albañil
  - Capataz
  - Administrativo
  - Constructor Civil
- Entre otros*

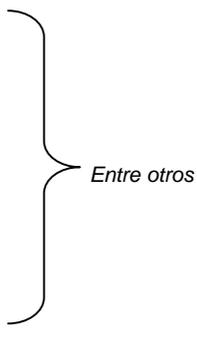
➤ Herramientas:

- Vibrador de inmersión
  - Cercha vibradora
  - Platacho y similares
  - Regla
  - Pala
  - Carretilla
  - Cepillo
- Entre otros*

➤ Materiales:

- Hormigón premezclado
  - Aridos base y sub-base
  - Acero
  - Moldajes madera
  - Endurecedor superficial
  - Elementos de seguridad
  - Arpilleras
  - Polietileno
- Entre otros*

➤ Maquinaria:

- Cargador y/o mini cargador
  - Aplanadoras
  - Compactadoras
  - Helicóptero
  - Cortadora de pavimento
- 

que se necesitarán exclusivamente para la fabricación del piso, **excluyendo** diferentes partidas anteriores o posteriores a la construcción del radier propiamente tal, que sin duda están incluidas dentro del proyecto de bodega de almacenamiento, tales como:

- Galpón metálico
- Techumbre
- Revestimientos
- Instalación eléctrica
- Instalación agua
- Instalación gas
- Instalación sanitaria
- Calefacción
- Estanterías

## 17. DESCRIPCIÓN DE CASOS

### 17.1. Descripción de obras

La construcción de pisos de pisos superplanos en Chile es relativamente nueva, en comparación con países como EE.UU., que desde hace ya más de 20 años que se construye utilizando este sistema postensado para pisos superplanos.

Pero acercándonos a nuestro país el conteo superficial de radieres postensados alcanza la suma de 2 millones de m<sup>2</sup> aproximadamente de hormigones de estas características. Algunas obras realizadas entre otras:, Centro de Distribución Parmalat, que bordea los 35.000m<sup>2</sup> , Centro de Distribución Fashion's Park con cerca de 7.500m<sup>2</sup> de radier superplano postensado.

A continuación se señala una tabla comparativa de las anteriores obras mencionadas.

	<b>Fashion's Park</b>	<b>Nestlé</b>
Superficie:	<i>10.000m<sup>2</sup></i>	<i>35.000m<sup>2</sup></i>
Ancho pasillo:	<i>5,00mts.</i>	<i>3,25mts.</i>
Ø cables:	<i>12,7mm.</i>	<i>12,7mm.</i>
Espesor pavimento:	<i>15cm.</i>	<i>15cm.</i>
Polietileno bajo la losa:	<i>Sí, doble capa</i>	<i>Sí, doble capa</i>
Números F teóricos <b>F<sub>r</sub>/F<sub>t</sub></b> :	<i>50/33</i>	<i>60/40</i>
Números F obtenidos:	<i>70/45</i>	<i>85/58</i>
Tº promedio hormigón:	<i>24°C</i>	<i>24°C</i>

## **17.2. Resultados Obtenidos**

En la obra de mayor superficie de las señaladas anteriormente, cabe señalar los diversos problemas que hubieron durante su construcción. Entre otras, las siguientes:

### **17.2.1 Centro de distribución Nestlé:**

Se subestimó la retracción hidráulica del hormigón y no se consideró adecuadamente la diferencia acumulada. Por tal motivo se diseñó una dilatación y además no se cuantificó adecuadamente el efecto de la retracción hidráulica acumulada hacia los extremos, debido principalmente, a que en obra no se tomaron las precauciones necesarias en las juntas de dilatación. Además, en las columnas de los extremos de la bodega se produjeron contracciones mayores (debido a la mayor lejanía con respecto al centro de gravedad del pavimento) que en el centro, y se dejaron juntas de dilatación de; mismo tamaño en todas las columnas lo cual provocó fisuras en estas zonas.

A pesar de no causar deformación en las columnas donde se produjeron estas fallas, si se produjeron fisuras en el pavimento que hicieron que éste fuese defectuoso en estas zonas.

Estas zonas no se arreglaron, sin embargo, esta experiencia sirvió para no cometer los mismos errores en las obras siguientes.

También en el Centro de Distribución de Nestlé, se produjo un problema en un sector de la bodega, donde el hormigón tardó demasiado en fraguar, producto de una dosis excesiva de aditivo empleado por la empresa premezcladora. Esto hizo que el piso quedara menos liso en esa zona.

En este caso, se prefirió no demoler esta zona, ya que esto atrasaría el hormigonado de una faja entera alterando los tiempos del tensado posterior. Es decir, se prefirió no agrandar el problema y aceptar que esta zona iba a quedar deficiente al ser menos lisa.

El hecho de haber ocupado dos contratistas distintos en el Centro de Distribución de Nestlé produjo, inevitablemente, que la calidad de cada mitad no fuera uniforme, detectándose pequeñas variaciones en la lisura del pavimento. Adicionalmente utilizar más de un frente de trabajo requiere necesariamente contar con un equipo mayor de supervisión.

En el pavimento construido en el Centro de Distribución de Nestlé se detectaron pequeñas fisuras un tiempo después de terminado. Una potencial causa de este problema se produjo porque el endurecedor, que posee un cemento de composición química y propiedades en general no necesariamente iguales o similares a las del hormigón del pavimento, puede ocasionar distintos tiempos de fraguado lo que habría ocasionado la micro fisuración de la superficie del pavimento.

## **18. SUGERENCIAS RELEVANTES**

Es de suma importancia contar con personal especializado in situ para obtener los resultados requeridos en el pavimento. Pero sin duda, es necesario, además, sugerir ciertos tips que llevarán a una mejor ejecución del pavimento propiamente tal, vale decir, en su etapa constructiva.

### **Juntas:**

Como estamos frente a un pavimento donde se alojarán grandes y altas estanterías o racks de almacenamiento es necesario dejar las juntas de construcción debajo de donde irán colocados dichos racks a futuro.

### **Hormigonado:**

Como se señaló en las páginas anteriores es necesario una buena planificación de la ejecución de este pavimento y deberá seguirse al pie de la letra para no retrasar el hormigonado de pistas, ya que la idea es mantener la constante ejecución de estas para no perder días y no perjudicar el tensionado de los cables. Además es muy recomendable iniciar la etapa de hormigonado de las pistas desde adentro hacia fuera, vale decir, desde el centro de la bodega hacia los extremos.

También debe procurarse proteger la obra de la intemperie por lo que se acostumbra hormigonar y realizar toda la faena una vez cerrado el galpón con techumbre. Se debe dar un período de tiempo suficiente para que el hormigón exude y así evitar posteriores fallas en el piso.

### **Terminación:**

Todas las terminaciones deberán realizarse con el personal calificado, además de hacerlo con mucho cuidado y por supuesto, con las herramientas aptas para dicha labor, como por ejemplo el Check Road y el Bump Cutter deberán ser usadas en forma transversal a la pista y en un ángulo de 45° con respecto a ella. Al igual que el uso de maquinas pulidoras no se recomienda por posibles desniveles que pueda provocar.

**Moldajes:**

Se deben ir limpiando los moldajes, que sirven como apoyo fijo en las primeras etapas de nivelación, para evitar desniveles posteriores en el piso.

**Postensado:**

Para llevar a cabo el postensado, se debe esperar a que el pavimento alcance una resistencia mínima especificada, la cual depende de cada obra.

**Juntas:**

Luego de 18 meses aproximadamente se debe volver a la obra para sellar juntas de retracción.

**Aditivos:**

El uso de aditivos no se recomienda a no ser que se conozcan a cabalidad los efectos secundarios que estos pueden ocasionar. Para esto, se recomienda contar con un experto de la compañía que fabrica el aditivo.

## 19. MANTENCIÓN

Como se señaló en el capítulo II una de las ventajas importantes a la hora de decidir construir un piso de estas características, es la casi nula mantención que este pavimento tendrá a futuro.

Se sabe según experiencias en EE.UU. que un piso superplano postensado no requerirá una mantención seria en cuanto a grietas, alabeo de la losa, entre otras, en un período no menor a 10 años.

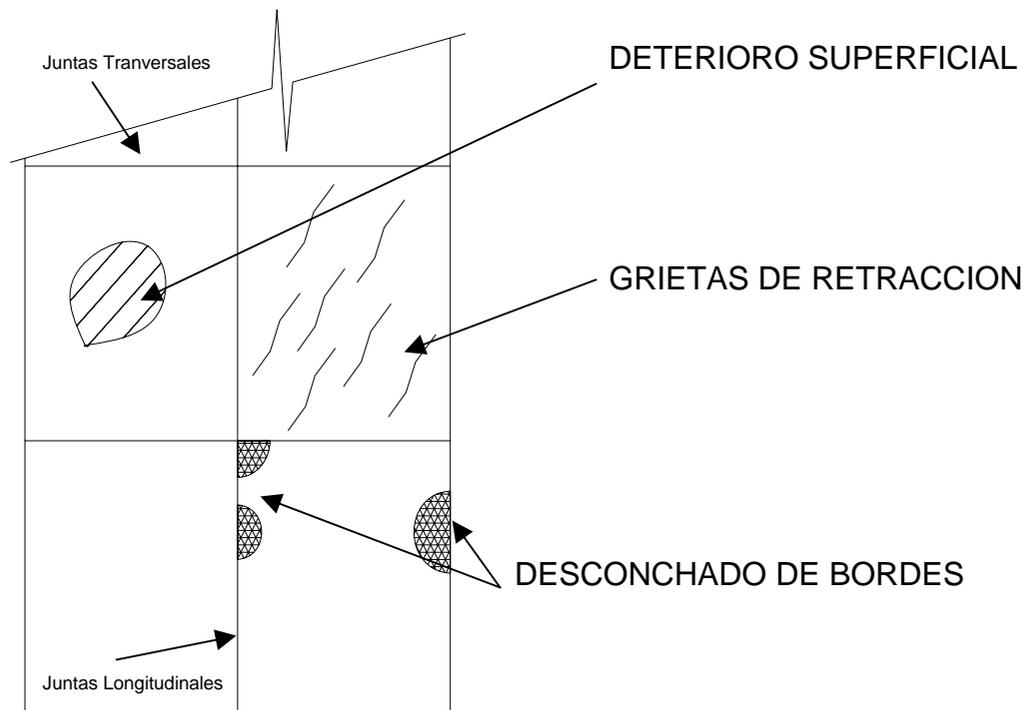
En todo caso se debe señalar algunos tipos de problemas o daños que podrían eventualmente suceder durante la vida útil del pavimento.

Los daños pueden ser originados por fallas de construcción o por el uso, como también por una mezcla de ambas situaciones.

Con el objeto de poder analizar sus causas, la forma de repararlos y el modo de prevenirlos, se mencionan los más comunes o principales, estos son:

- Fisuras por mala dosificación
- Fisuras por mal curado
- Grietas producto de mala disposición de juntas
- Desconchados de juntas y/o esquinas
- Grietas por falla de las capas inferiores
- Grietas por fatiga
- Desgaste por abrasión excesiva
- Disgregaciones por ataque químico superficial
- Descascaraduras por heladas

## EJEMPLO DEFECTOS EN LOSAS DE HORMIGON



Una forma para evitar estos problemas es controlando que el uso que se haga del pavimento sea el previsto en el respectivo diseño, tanto en lo que a carga máxima se refiere como además al tipo de rodado de vehículos, forma de operación y manejo de las cargas que se depositen sobre el piso.

La mayoría de los daños mencionados se pueden reparar mediante la aplicación de productos y procedimientos específicos, cuya eficiencia dependerá exclusivamente del cuidado con que ellos se realicen.

La mantención preventiva permite conservar las características iniciales del pavimento y con ello prolongar la vida útil del mismo y reducir los costos de operación.

Para cumplir con dichos objetivos se debe programar la conservación previamente y considerar. A lo menos, los siguientes aspectos:

- resellado de juntas
- inspección periódica y refuerzos de capas adicionales cuando el piso muestre deficiencias estructurales o se modifiquen las solicitaciones inicialmente previstas.

## 20. CONCLUSIONES

La supervisión constante en terreno es una pieza fundamental para lograr un piso exitoso de acuerdo a las especificaciones y tiempos estimados de construcción.

Las innumerables ventajas que poseen los pisos superplanos postensados, han hecho que para muchas empresas, ésta sea la solución más adecuada para mejorar la productividad de sus centros de distribución. En Chile, desde la construcción del Centro de Distribución de Nestlé, se han construido varias obras de este tipo y se cree que se seguirán construyendo cada vez más.

En Chile, la construcción de pisos superplanos postensados es algo nuevo que recién se está dando a conocer, pero a medida que pasa el tiempo la CCHC (Cámara Chilena de la Construcción) y el ICH (Instituto del Cemento y el Hormigón de Chile) por mencionar algunas instituciones del rubro, con la realización de seminarios y ferias tecnológicas de la construcción, se ha ido poco a poco conociendo más el tema y formando técnicos que avalen una eficiente construcción y terminación de dichos pavimentos.

También debe mencionarse la forma de medición de la lisura y nivelación de las losas, a través del F Meter. Ahora, que es de conocimiento público en Chile, se esperan que los proyectos incluyan una especificación de números F, y las inspecciones técnicas los fiscalicen de manera adecuada.

Entre la maquinaria innovadora se puede mencionar las máquinas con precisión láser para el esparcido de los endurecedores superficiales y las cortadoras en fresco, con un mecanismo para regular la potencia, frecuencia y revoluciones del disco de corte.

Pero para este tipo de piso las conclusiones más importantes tienen que ver con el acucioso oficio del artesano terminador y con otros detalles, como los moldajes y los platachos.

En relación con los moldajes se puede mencionar lo siguiente:

- La madera debe ser cepillada, seca y por lo de menos 2" de espesor.

- Los moldes se fijan al suelo mediante estacas de fierro con a lo menos tres perforaciones para clavar los moldes de madera, que se colocan con una separación de 60 cm. entre ellas.
- Los moldes deben tener ángulos atiesadores de madera, por lo menos cada 1 metro.
- Los moldajes se deben nivelar con nivel óptico, no con nivel láser, porque el haz de luz del nivel láser tiene tres milímetros de espesor y esa tolerancia es excesiva para una losa superplana.
- Se debe contar con un cepillo de madera en terreno para lograr que los moldes alcancen el nivel y la cota precisos.
- En lo que respecta a los platachos, deben tener las siguientes características:
  - Éstos son de mango largo (6 metros), con una paleta de 3 metros y medio que permite alcanzar la planeidad necesaria en tramos más anchos.
  - Al girar el mango del alisador en el sentido de las agujas del reloj, la paleta se inclina hacia delante. Al girar para el lado contrario, la paleta se inclina hacia atrás y así se puede platachar hacia atrás.

## 21. BIBLIOGRAFIA

- Artículos técnicos EXPO HORMIGÓN- ICH 2000
- [www.ich.cl](http://www.ich.cl)
- Mantenión de Pisos Industriales, Tesis año 1999 UACH
- [www.melon.cl](http://www.melon.cl)
- [www.nervion.com.mx](http://www.nervion.com.mx)
- [www.obrasingeneria.com.ar](http://www.obrasingeneria.com.ar)
- Fundamentos sobre la Compactación del Hormigón, Wacker 1999
- Revista BIT Año 7, N° 20 Diciembre 2000
- Conferencia Tecnológica “ Construcción de radieres Postensados”
- Diseño y construcción de Pavimentos Industriales, ICH 1987
- [www.tecnor.com.mx](http://www.tecnor.com.mx)
- [www.expohormigon.cl](http://www.expohormigon.cl)
- [www.carreteros.org/diccionario](http://www.carreteros.org/diccionario)