

# TECNOLOGIA DE CONSTRUCCION DE GRANDES PISOS SUPERPLANOS POSTENSADOS

## LARGE SUPERFLAT POSTENSIONED FLOORS CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Por / By Daniel Díaz, Carlos Videla

### Resumen

El objetivo principal de este trabajo, es documentar la experiencia chilena en la aplicación de la tecnología de construcción de pisos superplanos postensados. Se presentan las ventajas de esta solución en relación a otros tipos de pavimentos y se destaca la importancia que tienen los pisos para compañías que poseen bodegas o centros de distribución en altura. Se describe el procedimiento constructivo y las herramientas requeridas para la correcta aplicación de esta tecnología y se analizan tres casos de obras realizadas en Chile. También se describen los problemas que surgieron durante el proceso de construcción y las soluciones adoptadas para resolver dichos problemas. Finalmente, se recomiendan temas que requieren una investigación más amplia para conocer mejor el comportamiento a largo plazo y durabilidad de los pisos superplanos postensados.

**Palabras clave:** Pisos superplanos, postensado, radieres, números F, técnicas de construcción, estudio de casos, hormigón.

### Abstract

The main objective of this paper is to document the Chilean experience on the application of the postensioned super flat floors construction technology. The advantages of this solution are presented and compared with other types of slabs on grade, highlighting the need of super flat floors in warehouses with high racks for storage. The construction process and the required tools to adequately apply this technology are described, and three cases of actual construction jobs performed in Chile are analyzed. Also problems appearing during the construction process are presented and the adopted solutions are described. Finally, subjects requiring further research on the long term behavior, performance and durability of postensioned superflat floors are recommended.

**Keywords:** Super flat floors, postensioning, slabs on grade, F number, construction techniques, case studies, concrete.

## 1. INTRODUCCION

La gran competencia que deben enfrentar las empresas para poder subsistir satisfactoriamente en el mercado, ha hecho que éstas busquen día a día ideas que puedan mejorar los productos, los procesos de fabricación y la productividad.

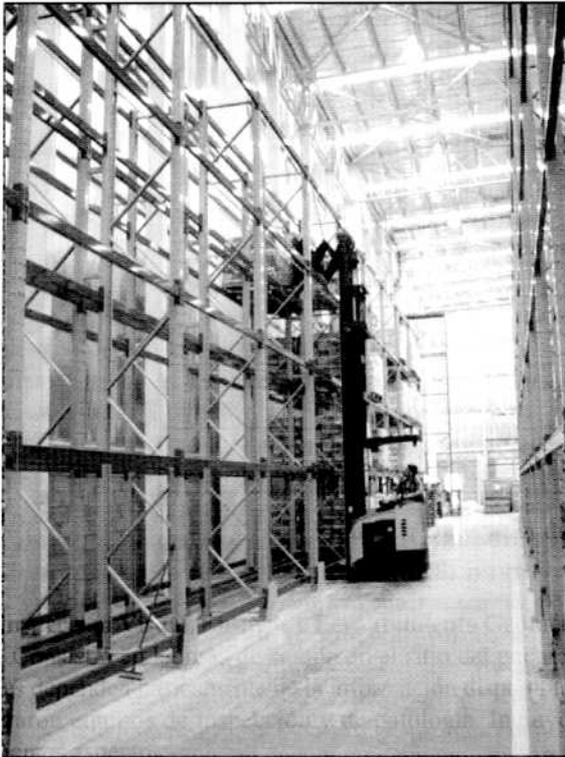
En este afán por mejorar la productividad, las empresas de logística que prestan servicios de bodegaje y/o distribución de productos, así como las firmas que poseen centros de distribución o aquellas en cuyo proceso productivo requieren de nuevos y mejores estándares de construcción, se han visto en la necesidad de especificar nuevas tecnologías de construcción para sus plantas, de modo de satisfacer necesidades de uso que los sistemas tradicionales comúnmente no son capaces de proveer.

Un ejemplo de tecnología de construcción que se aplica para satisfacer una necesidad de estas empresas, se refiere a la calidad de pisos industriales, lo que permite un uso más eficiente del espacio, un manejo más rápido de los productos dentro de sus recintos de producción y una mayor vida útil del pavimento; en suma, una mayor serviciabilidad, que redunde, entre otras ventajas, en una disminución de los costos de mantención y reparación debido a los problemas que originaría la detención del proceso productivo de una fábrica o de la operación de un centro de distribución para ejecutar dichas actividades en los pavimentos. Con el fin de mejorar la calidad de estos pisos, se ha desarrollado, hace algún tiempo, una nueva generación de pisos de hormigón que permite reducir en un cierto porcentaje el origen de los problemas que traían consigo los diseños convencionales de pisos de hormigón armado u otras tecnologías

no tradicionales como los pisos de hormigón con fibra. Esta nueva generación de pisos son los pavimentos de hormigón postensado, en los que es posible eliminar juntas transversales en calles de tránsito definido, construir grandes paneles en zonas de tráfico aleatorio y obtener pisos con una planeidad y horizontalidad de gran calidad.

La serviciabilidad y vida útil de pavimentos de hormigón para pisos industriales, depende de las juntas de contracción para controlar las grietas por retracción hidráulica y térmica y el alabeo. El propósito de las juntas de contracción es predefinir la ubicación de las grietas por motivos de estética y de funcionamiento (Avenidaño, 1999). Al hacer que las juntas estén más cercanas, se logra disminuir e incluso evitar las grietas de retracción. Sin embargo, aumentar la cantidad de juntas tiene efectos indeseables en la funcionalidad del pavimento y en los costos de construcción y de mantención. Hoy en día la mayoría de los pisos se construyen mediante este tipo de técnicas, ya que muchas veces no son evaluados por los propietarios los beneficios de especificar requerimientos de planeidad y horizontalidad, ya sea por desconocimiento o por el costo de implementación de estándares superiores.

Con los pisos superplanos postensados es posible lograr una calidad considerablemente mayor a los pisos tradicionales, debido a que su construcción tiene dentro de sus principales objetivos lograr una planeidad y horizontalidad 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 construir pisos más duraderos y con menos fallas (ver Figura 1).



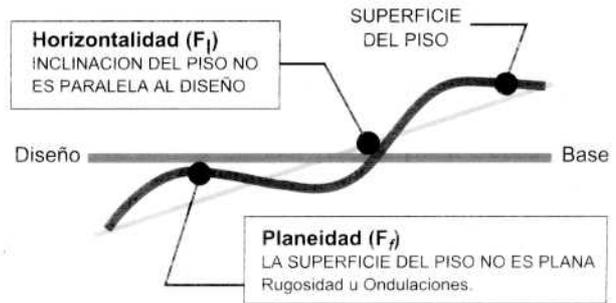
**Figura 1. Centro de Distribución Parmalat. Propietario: La Casa de Piedra S.A. Quilicura, Santiago, Chile. Inspección Técnica: CIT-DICTUC S.A.**

Estos requerimientos han hecho que los propietarios exijan a los diseñadores especificar niveles de planeidad y horizontalidad a lograr en la ejecución de los pavimentos. Para tal efecto la norma ASTM E1155 define dos números que permiten evaluar la calidad del perfil de un piso en cuanto a su planeidad y horizontalidad, comúnmente conocidos como "Números F". Como se ilustra en la Figura 2, el número  $F_f$  define la planeidad del pavimento y el número  $F_l$  su horizontalidad.

El número de planeidad,  $F_f$  proporciona un criterio de aceptación o rechazo para ondulaciones de corta amplitud sobre la superficie terminada del piso. La amplitud de las ondulaciones va desde la cima de una onda a la cima de otra. El número de planeidad,  $F_f$  (flatness number), define la curvatura máxima permisible del piso cada 24" (600 mm), calculada sobre la base de diferencias de elevación de puntos adyacentes en 12" (300 mm).

El número de horizontalidad,  $F_l$  proporciona un criterio de aceptación o rechazo para las variaciones de nivelación, inclinación u ondulaciones de larga amplitud de la superficie terminada del piso. El número de horizontalidad,  $F_l$  (levelness number), define la correspondencia relativa de la superficie horizontal del piso, medida en una distancia de 10' (3,05m).

El comité ACI 117 (1990), junto al comité ACI 302 (1989), recomiendan especificar las tolerancias requeridas en función del uso final que se le dará al piso y de los materiales utilizados para su construcción, dándole sentido e interpretación a los "Números F".



**Figura 2. Definición gráfica de sistema de números F**

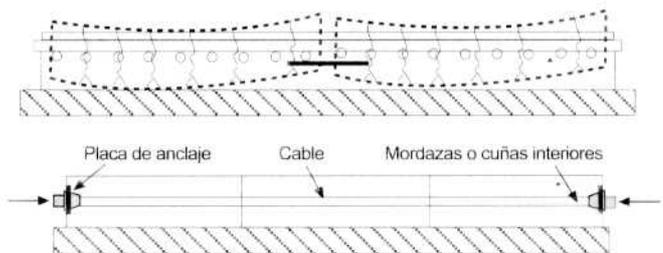
El método utilizado para medir el sistema de números de perfil de piso, está definido en la norma ASTM E1155. Esta norma establece la definición del sistema de "Números F", el procedimiento a utilizar durante la ejecución del ensayo, las características de los distintos tipos de equipos disponibles para medir el perfil de piso, las ecuaciones para el cálculo de los números de planeidad y horizontalidad de cada línea de medición o muestra, el cálculo estadístico para la composición de las muestras para obtener un valor para la sección o porción de superficie medida y para el área total ensayada.

En Chile las mediciones de Números F han sido obtenidas directamente con el empleo de equipos de última generación como el Dipstick fabricado por The Face Companies y el F-Meter fabricado por Allen Face Co. Ambos equipos, aún cuando se operan de manera distinta, entregan resultados en completa concordancia con la ASTM E1155.

## 2. SISTEMA DE PISOS POSTENSADOS

Los pavimentos postensados permiten obtener mejores perfiles de pisos debido a que al disminuir las juntas, se elimina una de las principales causas de fallas posteriores producto del uso de los pavimentos, lo que reduce el costo de mantención de bodega y de los equipos. Además los números F disminuyen significativamente en las cercanías de las juntas, debido a la curvatura de la losa (Keith y Holland, 1996).

Un piso industrial postensado está compuesto por losas de hormigón en las que a los refuerzos, cables de acero de 12,7 mm de diámetro, se les aplican grandes fuerzas por medio de "gatos" hidráulicos, hasta alcanzar una fuerza efectiva de alrededor de 25.000 lb. Esta fuerza en los tendones es transferida a las losas de hormigón por dispositivos de anclaje en sus extremos (Post-tensioning Institute, 1983). Este proceso provee una fuerza de compresión interna en la losa, que aumenta el rendimiento por sobre aquel de los pisos con refuerzos convencionales o sin refuerzos (ver Figura 3).

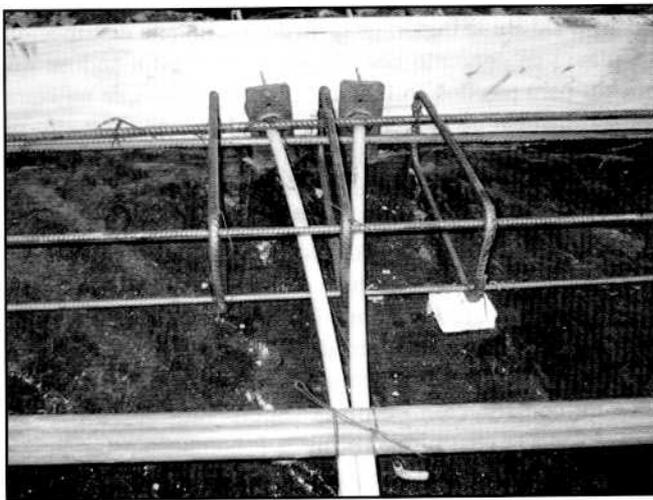


**Figura 3. El sistema postensado comprime el radier y provee resistencia al alabeo y fisuras**

Cada cable que se ocupa en el postensado es de 0,5" de diámetro, compuestos de 7 hebras de acero de baja relajación y con una resistencia última de 1.890 MPa (ver Figura 4). El postensado provoca que el hormigón quede en compresión, proporcionándole capacidad adicional. El sistema postensado permite limitar o evitar las grietas de retracción, ya que deja al hormigón con una tensión de compresión residual originada por la diferencia entre la tensión de postensado aplicada y la pérdida de compresión debida a la retracción hidráulica no restringida, acortamiento elástico y fluencia del hormigón.

Para el diseño se consideran las siguientes sollicitaciones:

- Cargas de apoyo de estanterías
- Cargas de tráfico de grúas horquillas dependiendo del tipo de rueda, ancho de la rueda, separación entre ejes, presión de contacto, etc.
- Cargas puntuales eventuales.



**Figura 4. Centro de Distribución Farcomed, Quito, Ecuador.**  
**Asesoría y Dirección de Proyectos: INCOIN S.A.**  
**Dirección de Proyecto e Inspección**  
**Técnica CIT-DICTUC S.A.**

### 3. VENTAJAS DE LOS PISOS SUPERPLANOS POSTENSADOS

Entre las ventajas que poseen los pisos superplanos postensados se pueden mencionar:

- Reducción de cerca del 95% de la cantidad de juntas de contracción y dilatación (Avendaño, 1999).
- Es posible reducir los espesores del pavimento en comparación a los pavimentos tradicionales, según las cargas de servicio consideradas, lo que se traduce en estructuras más livianas y en ahorros en hormigón y armaduras.
- Permite hacer pistas o calles que se hormigonan continuamente sin tener la necesidad de ejecutar juntas transversales, ya que las potenciales fisuras por retracción están controladas por la compresión residual con que se diseña el pavimento, la cual se proporciona a través de los cables del sistema postensado.

- Permite el diseño de pistas angostas de hasta 60 m. de largo, lo cual ayuda a la obtención de mejores números  $F_T$  y  $F_L$ . Las herramientas de alisado disponibles se apoyan en puntos fijos (moldajes), que son nivelados a cada momento del proceso constructivo mediante niveles ópticos. Los moldajes deben ser de madera seca, lo cual permite modificar fácilmente su superficie en caso de requerir una nivelación durante el proceso de hormigonado.
- Permite tener calles de tránsito definidas, con una calidad y precisión de acuerdo a las necesidades del usuario. En bodegas, donde se utilizan equipos de almacenaje de precisión, esta característica es fundamental para satisfacer los requerimientos que demanda el funcionamiento de estos equipos. En general, estos equipos (apiladores) poseen sistemas electrónicos que se ven afectados por las vibraciones ocasionadas por el tránsito sobre superficies en mal estado (grietas en pavimentos o juntas deterioradas). Así mismo, el almacenamiento en estanterías a grandes alturas obliga a disminuir las variaciones de nivel del pavimento, puesto que los pequeños desniveles en la base podrían ocasionar la desestabilización de la carga en alturas cercanas a los 12 m., o alturas superiores, lo cual disminuye el rendimiento de los operarios y aumenta los riesgos de volcamiento de las cargas.
- Reducción en los costos de mantenimiento de la bodega y de los equipos que se ocupan en ella, gracias a la ausencia de juntas y grietas. Estudios realizados indican que con pisos postensados los costos de mantenimiento se reducen en un 40% aproximadamente, respecto a aquellos de hormigón armado (Avendaño, 1999).
- Mayor impermeabilidad, resistencia superficial y resistencia a bajas temperaturas del pavimento.
- Mayor control de fisuración.
- Se pueden hormigonar mayores superficies (es común hormigonar grandes paneles o abrir más de un frente de trabajo).

Los pisos superplanos han significado un gran aporte para empresas cuyas ganancias dependen en gran medida de la productividad de sus bodegas. La utilidad de estos pisos apunta principalmente en esta dirección, ya que permite instalar bodegas de gran altura donde se manejen estantes de más de 10 m., aprovechando de mejor forma el terreno. Además, permiten que máquinas que transportan carga en altura se puedan desplazar a una mayor velocidad, sin el temor a que un pequeño desnivel en el piso provoque el volcamiento de la misma. La importancia para estos edificios radica en un aumento de la superficie útil de almacenamiento, ya que el apilamiento en bodegas altas, multiplica de dos a cuatro veces la superficie de almacenamiento.

Otra ventaja de los pisos superplanos es que, al ser la superficie más lisa, permite un mejor reflejo de la luz, lo que permite contar con bodegas más iluminadas afectando positivamente el entorno y las condiciones de trabajo para los obreros, lo que se traduce en un mejor desempeño de éstos (Keith y Holland, 1996).

Si se consideran todas estas ventajas, se llega a la conclusión de que este tipo de pisos representa una inversión

muy rentable, ya que los costos extras que significa su construcción en comparación con los pisos tradicionales, no son considerables en relación a los incalculables beneficios que aporta a lo largo de su vida útil.

La construcción de pisos de esta calidad exige mucha precisión y cuidados, por esto, se presenta a continuación una completa descripción del proceso de construcción aplicado en una serie de obras realizadas en Chile (incluida la construcción del piso plano más grande del mundo mostrado en Figura 5), analizando problemas que se presentaron y soluciones que se adoptaron.



**Figura 5. Centro de Distribución Nestlé. Pavimento construido entre diciembre de 2000 y enero de 2001. Propietario: La Casa de Piedra S.A. Quilicura, Santiago, Chile. Inspección Técnica: CIT-DICTUC S.A.**

#### 4. PROCESO CONSTRUCTIVO DE PISOS SUPERPLANOS POSTENSADOS

Los pisos superplanos son pisos que poseen números F mayores o iguales a 50 (ver Tabla 1). 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 muy planos.

**Tabla 1. Clasificación  $F_p/F_l$  (ACI 302, 1989; ACI 117, 1990)**

Clasificación de la calidad del perfil del piso	Número $F_p/F_l$ mínimo requerido			
	Números F especificados		Números F mínimos locales	
	$F_p$ Planeidad	$F_l$ Horizontalidad	$F_p$ Planeidad	$F_l$ Horizontalidad
Convencional				
• Llana de mango largo	15	13	13	10
• Enrasador	20	15	15	10
Plano	30	20	15	10
Muy Plano	50	30	25	15

Para poder lograr estos elevados números F, la construcción contempla una serie de etapas de acabado como se muestra en la Figura 6, las cuales están caracterizadas por la herramienta que se utiliza en cada una de ellas (ver Figura 7), como se explica en los párrafos siguientes. Estas herramientas, si son apropiadas y utilizadas en forma correcta para las operaciones que les corresponden, son esenciales para la calidad del trabajo y para la obtención de los resultados deseados.

Las exigencias de planeidad y horizontalidad de los pisos superplanos, hacen que al menos se deba evaluar la alternativa de utilizar el sistema postensado, ya que de esta forma se puede eliminar cerca de un 90-95% de las juntas y colocar las restantes en lugares estratégicos de modo que no interfieran con el posterior tránsito que soportará el piso.

La reducción de la cantidad de juntas se logra al construir largas fajas de un ancho que sea conveniente, para que las juntas queden debajo de las estanterías y de esta forma no afecten el tránsito de máquinas a través de los pasillos de la bodega. De ahí la importancia de definir una distribución de planta en conjunto con el propietario, definiéndose los anchos para pasillos en función de los equipos que utilizará para el manejo de la mercadería que almacene. Con ello se lograrán pasillos de tráfico definido sin juntas transversales de contracción, ya que las tensiones por retracción estarán controladas por el diseño del pavimento postensado a través de la compresión temprana del hormigón. Las juntas longitudinales de construcción entre calles vecinas quedarán en consecuencia, bajo las estanterías de almacenamiento y por otro lado, las juntas transversales de construcción se limitan debido a que este sistema permite calles de largo considerable.

La construcción de pisos superplanos representa la metodología de construcción de pisos de hormigón más rigurosa y exigente que se realiza en la actualidad. Si uno sólo de los elementos del proceso se subestima o se efectúa incorrectamente, la superficie resultante no será satisfactoria.

##### 4.1 Secuencia Constructiva

La secuencia de construcción se realiza de acuerdo a las posibilidades que presente el layout del proyecto. En la mayoría de los trabajos se programa una secuencia desde adentro hacia afuera, por lo que primero se hace la pista central y luego se construyen las pistas que van a los lados de ésta. La secuencia recomendada obedece a minimizar las deformaciones diferenciales entre fajas, producidas por el acortamiento que tienen debido a la retracción ya postensado.

El pavimento postensado una vez que esté construido en su totalidad, se comportará como un gran panel unido por la red de cables embebidos en el hormigón y que transmiten la compresión al sistema. Al momento de retraerse lo hará hacia su mismo centro de gravedad. Si se hormigona desordenadamente, las retracciones que sufriría cada faja serían independientes una de otra, por lo que al tensar posteriormente el pavimento, lentamente las juntas se separarán producto de la retracción desigual que sufrirán las distintas partes del pavimento.

Asimismo, períodos de hormigonado muy diferentes entre calles vecinas implican hormigones con distinta madurez y podrían ocasionar problemas de fisuras por resistencias diferentes

al momento de tensar el sistema en su conjunto. Lo anterior es un problema importante en grandes áreas, donde una secuencia de hormigonado desordenada podría dar como resultado calles vecinas con edades de hormigones tan distintas como hasta 15 días. Además, hormigonar en forma adecuada y ordenada facilita el movimiento dentro de la obra de camiones, máquinas y personas.

#### 4.2 Preparación Previa

La construcción de cada pista o calle comienza con la preparación del suelo, mejoramiento de base y sub-base granular, estudiadas de acuerdo con las condiciones propias de cada proyecto. Seguido a esto, se debe colocar dos capas de polietileno para reducir el roce a valores del orden de 0,3 y permitir un deslizamiento más fácil del pavimento al momento de sufrir deformaciones por cambios volumétricos y postensado. Luego comienza la instalación de los moldajes, armadura pasiva y los cables que serán tensados posteriormente. El ancho de las pistas preferentemente debe ser menor a 6 m., dependiendo de cada trabajo en particular. Este ancho permite que las herramientas se apoyen en los bordes de los moldajes, lo que brinda apoyos fijos que facilitan la nivelación del pavimento.

La instalación de los moldajes se realiza con niveles ópticos, con el máximo de cuidado, ya que es el paso inicial para lograr una buena nivelación de los pisos. El apoyo de las herramientas de enrasado inicial sobre las cimbras o moldajes 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 afianzadas al terreno con sistemas que permitan su rectificación permanente durante el proceso de colocación del hormigón.

Los moldajes deben ser de madera seca para impedir cambios dimensionales por variaciones de humedad y adicionalmente permiten modificar fácilmente su superficie en caso de requerir una nivelación durante el proceso de hormigonado.

#### 4.3 Colocación del Hormigón y Alisado Inicial

Antes de comenzar con el hormigonado se debe confirmar que se va a tener un número adecuado de camiones, para asegurar el suministro ininterrumpido de hormigón. Además, dado que los factores ambientales pueden alterar de manera importante la velocidad de fraguado del hormigón, por lo general se hacen esfuerzos para construir los pisos superplanos protegidos de la intemperie.

Se debe hacer notar que el uso de aditivos en hormigón, 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.

Habiendo realizado todo este proceso, se procede a vaciar el hormigón como se muestra en la Figura 6a. Esto se puede hacer 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 colocar el hormigón en el piso, es el de extender el hormigón. Esto se debe realizar con palas cuadradas o extendedoras, con las cuales no se producirá segregación, que es la principal amenaza en esta parte del proceso. Se debe tener cuidado que los cables del postensado no se muevan de su posición original, ya que si lo hacen se pueden producir fallas en el pavimento al realizar el tensado.

Como hay armadura pasiva en las orillas de cada pista, se debe ocupar un vibrador de inmersión (sonda vibradora) en estas zonas, para eliminar y evitar que se produzcan nidos y oquedades en el hormigón, lo que haría que no quede homogéneo y, por ende, defectuoso.

Hecho esto, se efectúa la compactación del hormigón y primera nivelación del piso. La compactación y nivelación se hace, por lo general, con una cercha vibradora, la que enrasa y empareja el hormigón. Las cerchas poseen dos barras en su parte inferior que van apoyadas en los extremos de los moldajes, para facilitar su desplazamiento a través de las pistas. Estas barras tienen forma de ángulo y van colocadas en distinto sentido, de modo que una empareja y la otra nivela posteriormente. El desplazamiento de la cercha debe ser a una velocidad que permita una buena compactación, ya que de lo contrario, puede aparecer demasiado mortero en la superficie, lo que puede afectar la resistencia superficial y durabilidad del piso. Alternativamente a las cerchas, se pueden utilizar rodillos vibratorios. Sin embargo, se prefiere utilizar cerchas, debido a que éstas son más rígidas y, por ende, presentan una menor deformación en la parte central, lo que ayuda a lograr una mejor nivelación del piso.

Luego de pasar la cercha, se debe utilizar una 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. A continuación se utiliza un alisador de mango largo llamado "Bull float", que es de magnesio o de madera. Sin embargo en esta etapa se recomienda que sea de madera o utilizar una herramienta llamada "Chanel float" (ver Figura 7), que posee una canal de aluminio, ya que a diferencia de las herramientas de magnesio, las de maderas o las de aluminio no tienden a sellar la superficie. Este efecto es favorable ya que evita 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.

La etapa anterior, es la última antes de que se le dé un periodo de descanso al hormigón para que exude. Si no se da este tiempo, y se comienza con la terminación cuando hay exceso de humedad o agua de exudación en la superficie, se puede producir fisuración de la capa superficial en forma de pequeñas áreas contiguas de forma irregular hexagonal (crazing), exceso de polvo en la superficie (dusting), ampollamiento (blistering) o delaminación (delamination), entre otras cosas, lo cual es indeseable en este tipo de pisos.

Debido a la precisión que se debe tener en la nivelación en toda operación que se realice, debe haber un par de obreros que estén en todo momento limpiando los moldajes, de modo 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.

Una vez que haya concluido la exudación del hormigón, se debe aplicar un endurecedor de pisos, el cual está compuesto por cemento y partículas de cuarzo o metal. El endurecedor se puede aplicar manualmente o a través de máquinas especiales en una cantidad aproximada de 4 a 5 kg/m<sup>2</sup> (cuarzo) y de alrededor de 10 kg/m<sup>2</sup> (metal), dependiendo de cada obra. El endurecedor mejora la resistencia del piso a la abrasión, a impactos en la superficie, a la penetración de aceites y grasas y, al poseer mayor densidad que el hormigón, no deja huecos superficiales y permite un mantenimiento hasta 35% más fácil y menos costoso (MBT, 2002).

#### 4.4 Sellado de Superficie

Al aplicar endurecedor sobre la superficie, inevitablemente la planicidad del piso se ve afectada. Por esto, como se ilustra en la Figura 6b, luego de esperar un tiempo para que se hidrate la superficie del hormigón, se debe pasar nuevamente la herramienta de mango largo (Bull float de magnesio) o alternativamente pasar una herramienta llamada "Check Rod" (ver Figura 7). Esta última herramienta está compuesta por un mango largo metálico con una cabeza ajustable unida a una placa ancha metálica, que permite mantener la placa en posición horizontal lo que favorece, en esta etapa donde ya ha ocurrido la exudación y el sellado de la superficie, la reducción de "montes" (depósitos o excesos de hormigón) y el llenado de huecos cuando el hormigón aún está en estado plástico; de esta forma, da mayor planeidad y nivelación al piso. Además, en esta etapa estas herramientas incorporan el endurecedor a la superficie del piso.

Producto del movimiento transversal a la pista con que se aplica el "Check Rod", se produce una acumulación de lechada en los bordes de la pista. Este exceso de lechada se debe recuperar, para luego aprovecharla donde existan desniveles en el piso que se tengan que llenar.

Después de pasar el "Bull float" y/o el "Check rod", se debe continuar con el proceso de terminación utilizando helicópteros de plato liso, los cuales, a pesar de lograr un buen acabado, producen ciertas ondulaciones y marcas en la superficie.

#### 4.5 Alisado Final

Las ondulaciones del piso producidas por los helicópteros deben ser eliminadas con otra herramienta llamada "Bump Cutter" (ver Figura 6c). El "Bump Cutter" (ver Figura 7), es similar al "Check Rod", pero tiene un perfil alisador dispuesto con el lado más angosto en contacto con el pavimento y posee, al igual que el "Check Rod", una cabeza articulada que permite inclinar el perfil en la dirección adecuada, dependiendo si se "empuja" o se "tira" levemente inclinada. Con este mecanismo corta y rellena los excesos y huecos de hormigón, respectivamente, sobre la superficie después de que ha sido

sellada con las herramientas anteriores, logrando con ello un incremento en la planeidad o número  $F_f$  del piso. Como su nombre lo indica, corta los pequeños resaltos que pueda haber y deja la superficie más lisa. Para obtener mejores resultados, la herramienta se pasa transversalmente a la pista y luego formando un ángulo de 45°. Esta herramienta se utiliza nuevamente en las etapas siguientes, en forma alternada con la pasada de los alisadores mecánicos simples o "helicópteros" de plato simple. Durante la utilización de esta herramienta es indispensable proveer de hormigón del mismo tipo del pavimento y que se obtiene de los excesos recogidos desde los bordes, para vaciar frente al paso del "Bump Cutter" cuando se evidencien baches en el alisado.

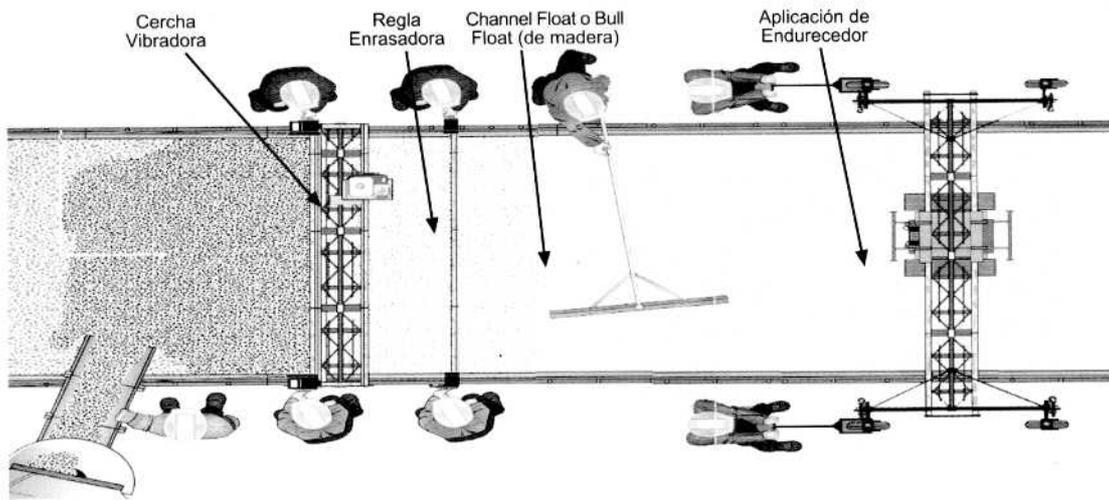
Paralelamente a la aplicación de estas herramientas se debe ir trabajando los bordes de la pista. Para tal efecto se utilizan los alisadores de borde, que son herramientas similares a las espátulas, que sirven para lograr una mejor terminación en el sector donde posteriormente se ubicarán las juntas. No se debe olvidar la continua limpieza de bordes o superficies de moldes.

La uniformidad de cualquier piso de hormigón estará determinada casi exclusivamente por la efectividad de las correcciones de escantillón, efectuadas después de cada operación sucesiva de alisado, mecánico o manual (ACI-302, 1992).

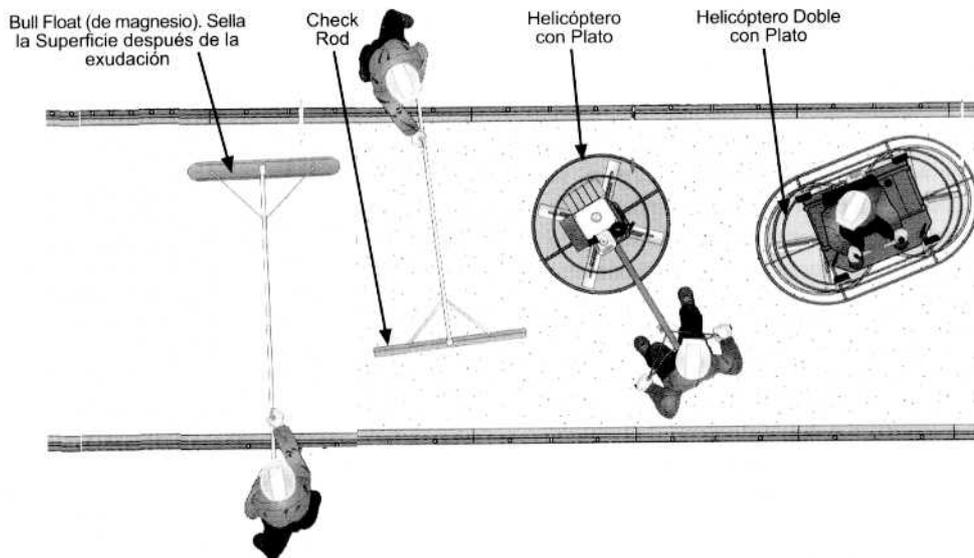
Luego que ha pasado este primer período de fraguado y resistencia inicial del hormigón, de duración aproximada 4 horas, lo cual se nota en que cuando al caminar sobre la superficie el trabajador deja huella, pero ya no se hunde, se debe ocupar un helicóptero mecánico. A este helicóptero se le coloca un plato en la base, el cual incorporará finalmente el endurecedor a la capa superficial conformando lo que será la capa de rodado del pavimento y sellará la superficie. Alternadamente se utiliza nuevamente el "Bump Cutter", ya que el hormigón en esta etapa aún está en estado plástico a nivel superficial, por lo que el paso de los alisadores mecánicos produce nuevas ondulaciones en el pavimento. El uso repetido de estas herramientas permitirá lograr un acabado de la superficie de gran calidad en cuanto a planeidad y horizontalidad.

El uso de estos alisadores se repite hasta que la capa superficial del pavimento va endureciendo, momento en el que se cambia el plato utilizado en la base del "helicóptero", por paletas dispuestas en cada aspa de la hélice del equipo. Es frecuente también el uso de "helicópteros" de doble aspa, en los que el operador va montado sobre éste, lo que requiere de gran destreza y experiencia.

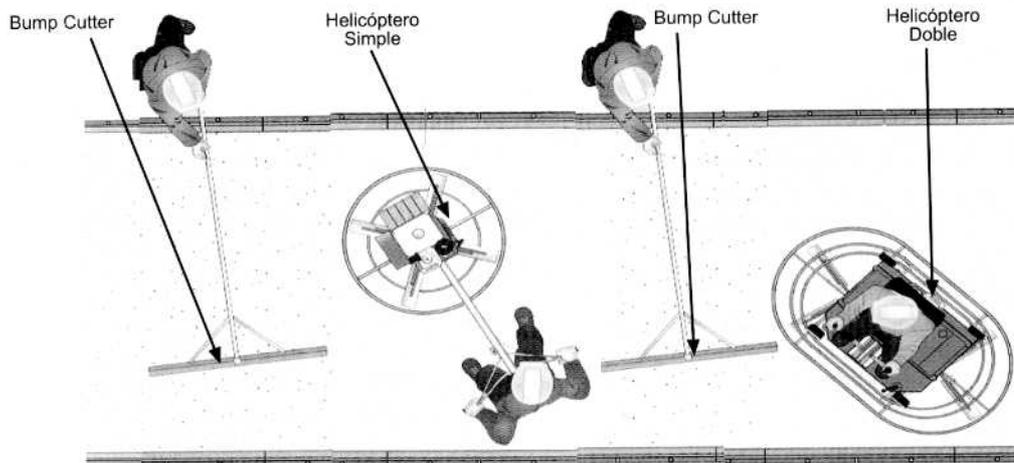
Es posible utilizar también otras herramientas como pulidoras para corregir desniveles y ondulaciones en pavimentos en que el hormigón ya ha endurecido, pero no son recomendadas, ya que no se puede medir con exactitud el nivel al cual están dejando el piso. Por esta razón, sólo deben ser utilizadas en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



**Figura 6a. Vaciado del hormigón, alisado inicial y aplicación de endurecedor superficial**



**Figura 6b. Sellado de superficie e incorporación de endurecedor luego del proceso de exudación**



**Figura 6c: Alisado final con Bump Cutter y Helicópteros con paletas**

**Figura 6. Secuencia constructiva de un piso super plano**

**Tabla 2. Fuerza de tensado en función de la resistencia cúbica a compresión del hormigón (VSL CHILE, 2000)**

Resistencia Cúbica (MPa)	Fuerza Tensado (Ton)	Porcentaje de Fuerza de Tensado a Aplicar (%)
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

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, deformación elástica y fluencia del hormigón. También depende, en casos particulares, de las singularidades que tenga el piso, como por ejemplo interrupciones de otras estructuras, las cuales deben quedar aisladas del radier.

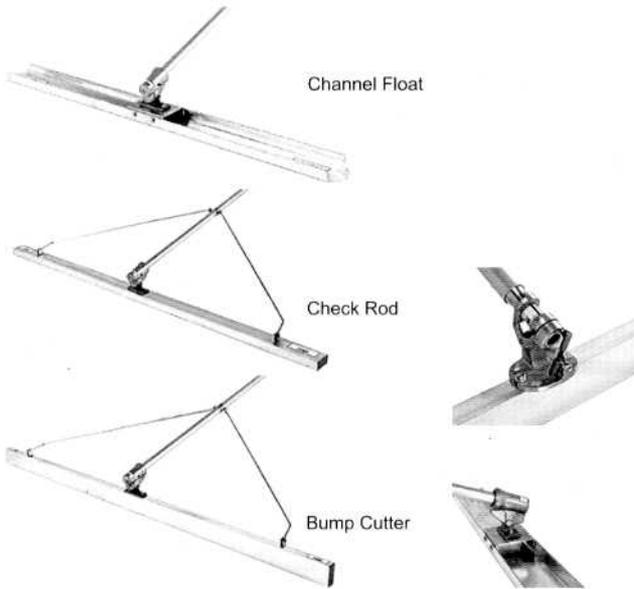
#### 4.7 Sellado de Juntas

Por lo general, se debe volver a la obra 6 a 12 meses después de su término a sellar las juntas, cuando ya se haya producido una gran parte del 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.

## 5. DESCRIPCION DE CASOS

### 5.1 Descripción de las Obras

En Chile, el uso de la tecnología de diseño y construcción de pisos superplanos postensados es relativamente reciente. La primera experiencia construida en el país fue llevada a cabo a fines del año 2000, con la construcción del Centro de Distribución Nestlé, de propiedad de la inmobiliaria La Casa de Piedra S.A. (ver Figura 5). Ubicado en la comuna de Quilicura, en Santiago, este centro de más de 35.000 m<sup>2</sup> de superficie y 14 m. de altura, fue la primera experiencia de este tipo para los ingenieros locales. El propietario tomó la decisión de aplicar esta tecnología en su centro de distribución, teniendo en cuenta los buenos resultados que se ha tenido con estos pisos en otros lugares del mundo y evaluando los beneficios económicos propios y los de calidad impuestos



**Figura 7. Herramientas para alisar pisos**

#### 4.6 Tensado

Concluidas las operaciones de terminación del piso, se espera a que el hormigón alcance la resistencia especificada para comenzar con el tensado. La fuerza de tensado se aplica en cada cable con un gato hidráulico equipado con un manómetro de presión hidráulica calibrado.

El tensado en la dirección longitudinal del piso se aplica diariamente a partir de la mañana siguiente del día del hormigonado y durante tantos días como sea necesario hasta alcanzar la resistencia especificada del hormigón. El tensado en sentido transversal se realiza de la misma manera, pero depende, además de la resistencia del hormigón, del número de pistas vecinas especificadas según la secuencia de hormigonado. La fuerza de tensado total por cable de 1/2 (12,7 mm) es de 15 Ton. y la fuerza de tensado a aplicar en función de la resistencia adquirida por el hormigón se determina por la fórmula 1, para un hormigón de resistencia cúbica especificada de 23 MPa al tercer día.

$$F \text{ (Ton)} = \frac{\text{Resistencia Cúbica Probeta Ensayada (MPa)} \times 15 \text{ Ton}}{23 \text{ MPa}} \quad (1)$$

La Tabla 2 muestra la fuerza de tensado en función de la resistencia cúbica de las probetas de control ensayadas y se expresa también como porcentaje de la fuerza total a aplicar al cable.

Finalmente se verifica la fuerza real aplicada al cable, en cada etapa de tensado, a partir de la medición de las elongaciones de los cables y de sus áreas y módulo de elasticidad. Esta fuerza calculada se contrasta la fuerza indicada por el manómetro según ACI 301 (1999) la diferencia en esta verificación no puede exceder el 5%.

El tensado se realiza generalmente en tres etapas para el sentido longitudinal y en dos etapas para el sentido transversal del piso, porque normalmente se especifica una resistencia cúbica a compresión de 23 MPa a 3 días (VSL, 2000).

por su cliente.

Posteriormente, se han construido pisos postensados para el centro de distribución de Fashion's Park con 8.000 m<sup>2</sup> de pavimento (ver Figura 8), Parmalat (3.280 m<sup>2</sup>) y otras empresas, marcándose a partir de estas experiencias una nueva tendencia en la especificación de pisos industriales en Chile. La mayoría de los pisos construidos hasta ahora poseen superficies que van desde los 2.500 m<sup>2</sup> hasta los 12.000 m<sup>2</sup>, y cuentan con anchos de pistas entre 3 y 5 m. En la actualidad está en proceso de construcción el centro de distribución Goldenfrost – Fase IV, con una superficie de 7.070 m<sup>2</sup>.

Especialistas chilenos también tuvieron la oportunidad de construir uno de estos pisos en Ecuador, para la empresa farmacéutica Farcomed, donde la superficie del pavimento alcanzó los 10.000 m<sup>2</sup>.

En la Tabla 3 se resumen las características generales de algunos de los proyectos antes mencionados.



**Figura 8. Centro de Distribución Fashion's Park. Personal de DICTUC S.A., ejecuta las mediciones de planeidad con equipo de medición F-Meter**

**Tabla 3. Resumen de características generales de proyectos descritos**

Obras	C.D. Nestlé	C.D. Fashion's Park	C.D. Parmalat
Superficie de Pavimentos Interiores (m <sup>2</sup> )	35.000	10.000	3.280
Ancho de pasillos (m)	3,26	5,00	2,95
Estructura	Pavimento Postensado no adherido. Cables diámetro 12,7 mm". Espesor de Pavimento 150 mm.	Pavimento Postensado no adherido. Cables diámetro 12,7 mm". Espesor de Pavimento 150 mm.	Pavimento Postensado no adherido. Cables diámetro 12,7 mm". Espesor de Pavimento 150 mm.
Fuerza de Tensado por cable al 100% de la resistencia especificada (Ton)	15	15	15
Base	Estabilizada sobre 95% del protor modificado. Doble capa de polietileno.	Estabilizada sobre 95% del protor modificado. Doble capa de polietileno.	Estabilizada sobre 95% del protor modificado. Doble capa de polietileno.
Secuencia de Hormigonado	Según se muestra en Figura N° 9	11 franjas. Ejecución una diaria. Alternadamente desde el centro de la nave	Día 1: 3 franjas Día 2: 3 franjas Día 3: 2 franjas Día 4: 3 franjas. Consecutivamente desde un extremo al otro de la nave
Números F <sub>i</sub> /F <sub>1</sub> Especificados	60/40	50/33	60/40
Resultados Números F <sub>i</sub> /F <sub>1</sub>	85/58	70/45	133/67
Hormigón Especificado al tercer día	18(95)-32-9-03	18(10)-40-10	18(5)-40-13
Resistencia especificada, Cilíndrica al Tercer día (MPa)	18	18	18
Resistencia Característica al tercer día (MPa)	22,0	19,9	29,7
Tamaño máximo de árido (mm)	32	40	40
Asentamiento de Cono (mm)	120	100	130
Resistencia Promedio, Cilíndrica al primer día (MPa)	16,0	12,3	11,9
Temperatura Promedio de Hormigón en Obra (°C)	24	24	24
Uso de Aditivo	Plastificante retardador para transporte desde planta premezcladora	Plastificante retardador para transporte desde planta premezcladora	Plastificante retardador para transporte desde planta premezcladora
Método de curado	Arpillera Inundada	Geotextil Inundado	Arpillera Inundada

## 5.2 Descripción de la Secuencia Constructiva y Materiales Utilizados en la Construcción

En todas las obras antes mencionadas se aplicó la tecnología constructiva de terminación de pisos descrita en la sección 4. Sin embargo, se utilizaron distintas secuencias constructivas.

En el caso de la primera experiencia llevada a cabo en el país, se tuvo que hormigonar en otro orden al recomendado, principalmente debido a restricciones de acceso y rendimiento de los trabajadores chilenos. El diseño original establecido por la empresa de postensado, recomendaba partir hormigonando desde la parte central de la bodega hacia los extremos, hormigonando dos pistas a la vez. Sin embargo, debido a que no se alcanzó el rendimiento esperado de los trabajadores por la falta de experiencia en este tipo de trabajos, no se pudo realizar de la manera especificada, ya que los obreros no fueron

capaces de hormigonar dos fajas en un día y lograr la calidad especificada. Dadas estas restricciones y considerando el gran tamaño de la bodega, se separó la superficie en fajas de 60 y 35 m. y en trozos rectangulares de 55 m. x 70 m., aproximadamente.

Como forma alternativa de realizar el hormigonado, se establecieron dos frentes de trabajo a cargo de distintos contratistas. Cada uno hormigonó la mitad de la bodega (zonas a y b, respectivamente, en Figura 9). El hormigonado se realizó faja por faja, partiendo con las de 60 m. de largo, desde el centro de la bodega hacia los extremos (zonas 1a y 1b en Figura 9). Finalizada esta parte del centro, se prosiguió con las fajas de 35 m. en el mismo orden empleado anteriormente (zonas 2a y 2b en Figura 9). Finalmente, para completar el pavimento, se construyeron los grandes paneles de la zona 3.

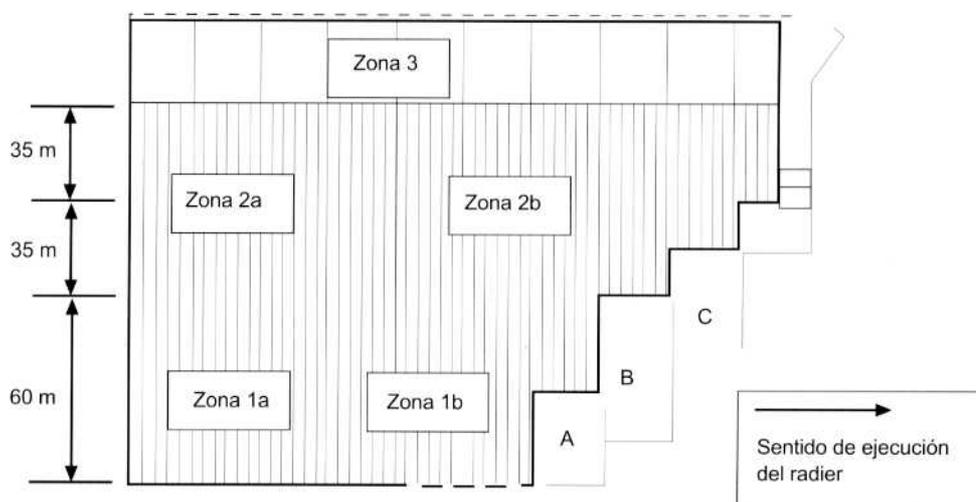


Figura 9. Distribución de las zonas de hormigonado en el centro de distribución Nestlé

Las zonas A, B y C de la Figura 9, son zonas que fueron utilizadas inicialmente para desarrollar pisos de prueba. Estas pruebas fueron bastante exitosas, obteniéndose resultados muy similares en comparación al resto del pavimento. El ejercicio de construir pisos de prueba es muy importante, ya que permite verificar la factibilidad de lograr la planeidad requerida para el pavimento y permite establecer la real capacidad de los aplicadores locales para lograr los requerimientos especificados.

Otras obras realizadas en Chile, como la bodega de Fashion's Park, se realizó con la secuencia de hormigonado recomendada por el diseñador, sin mayores modificaciones, es decir, desde el centro de gravedad del área a pavimentar hacia afuera. En el caso de Parmalat, debido a que su superficie fue de menor tamaño, se siguió una secuencia de hormigonado desde un costado de la nave hacia el otro consecutivamente.

Cabe señalar que, independiente de la secuencia de construcción utilizada, todos los pisos lograron satisfacer ampliamente los requerimientos de planeidad y horizontalidad especificados (ver Tabla 3), aspecto que recalca la gran importancia de las técnicas de alisado del pavimento, en el cumplimiento de

la calidad requerida. Sin embargo, seguir la secuencia recomendada por el diseñador y considerar adecuadamente la magnitud de los movimientos esperados del hormigón, son también fundamentales para evitar fisuraciones no deseadas y asegurar la durabilidad y serviciabilidad del pavimento.

Las mezclas de hormigón fueron fabricadas por empresas premezcladoras nacionales, de acuerdo a las especificaciones dadas por la empresa encargada del postensado. Un diseño de dosificación tipo del hormigón especificado se presenta en la Tabla 4 y la curva granulométrica de los áridos se muestra en la Figura 10. En todos los casos el requerimiento respecto a resistencia del hormigón fue lograr al tercer día una resistencia de 18 MPa, obtenidos en ensayo a la compresión de probetas cilíndricas. En la práctica, como se muestra en la Tabla 3, la gran mayoría de los casos sobrepasó dicha resistencia al tercer día. Los resultados obtenidos han permitido el ajuste de las dosificaciones empleadas en los nuevos proyectos en construcción, para minimizar posibles problemas de retracción por las cantidades de cemento usadas para asegurar la resistencia requerida al tercer día.

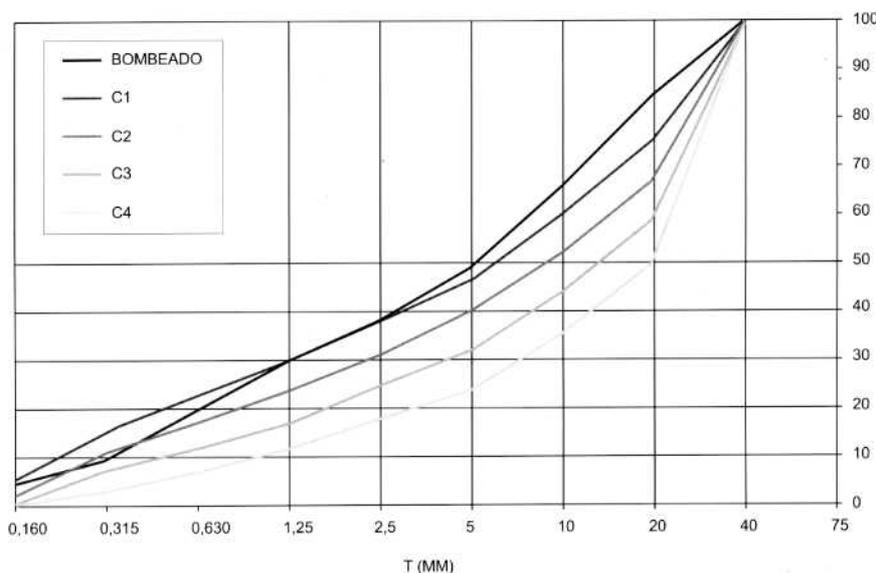
**Tabla 4. Dosificación tipo de hormigón bombeado**

Materiales	Cantidad (kg) áridos peso sss	Cantidad (kg) áridos peso seco
Cemento Portland	346	346
Puzolánico Alta Resistencia Inicial (Blaine = 5100 cm <sup>2</sup> /g)		
Agua	173	200
Grava (MF = 7,72)	384	381
Gravilla (MF = 6,63)	385	381
Arena Gruesa (MF = 3,09)	879	864
Arena Fina (MF = 2,34)	221	216
Aditivo plastificante – reductor de agua	2,07	2,07
Densidad hormigón fresco (kg/m <sup>3</sup> )	2.390	2.390

Por lo general, para este tipo de pisos se recomienda utilizar mezclas de áridos con una distribución de tamaños más uniforme que lo normal (el porcentaje retenido en cada tamiz debe ser entre 8 y 18%). En el caso del Centro de Distribución Nestlé se utilizó un tamaño máximo del árido de 32 mm. El agregado fino utilizado fue arena natural, para facilitar el bombeo y la terminación superficial, además de reducir los requerimientos de agua y cemento (ICH, 2000).

El espesor de los pavimentos construidos varió entre 150 y 160 mm. El tipo de cemento que se ocupó fue Portland Puzolánico de Alta Resistencia Inicial.

En todas estas obras se ocupó doble capa de polietileno para reducir el coeficiente roce entre el suelo y el pavimento.



**Figura 10. Curva granulométrica árido combinado para hormigón bombeado**

### 5.3 Recomendaciones en Función de Problemas Observados

En las primeras experiencias de trabajo en Chile, se presentaron varios problemas que permiten recomendar las siguientes medidas y precauciones para la aplicación de la tecnología de pisos superplanos postensados:

a) Caracterizar las propiedades del hormigón y efectos del uso de aditivos.

Es fundamental caracterizar, durante la etapa de diseño, las propiedades del hormigón a utilizar y en todo caso antes de empezar la construcción, para evitar defectos por diseño y construcción. Como se verá por los problemas que se describen a continuación, es de particular importancia determinar el módulo de elasticidad, la retracción hidráulica y el creep del hormigón, así como también su tiempo de fraguado.

En la primera aplicación en Chile de esta tecnología de pisos industriales, por desconocimiento de la evolución y magnitud de la retracción hidráulica de los hormigones utilizados, se subestimó la retracción hidráulica del hormigón. Por tal motivo, el diseño de las juntas de contracción en las zonas

de encuentro del piso con los pilares, fue insuficiente para acomodar la contracción experimentada por el pavimento y, por lo tanto, se indujeron fisuras en el pavimento.

También, en la misma obra, se produjo un problema en un sector de la bodega, donde el hormigón tardó demasiado en fraguar, producto del empleo de una dosis excesiva de aditivo. El retardo de fraguado del hormigón generó problemas en la planeidad y horizontalidad del pavimento, pues no permitió completar las faenas de acabado superficial en los tiempos ideales para obtener una buena calidad. Por otra parte, alteró la secuencia de tensado del pavimento, lo cual aumentó el riesgo de que se presentaran fisuras en los paños que no habían sido posibles de tensar. En este caso, se prefirió no demoler la zona afectada, ya que esta actividad atrasaría el hormigonado de una faja entera, alterando los tiempos del tensado posterior. Es decir, se prefirió no agrandar el problema y aceptar que esa zona quedara deficiente, al ser menos lisa. En la obra construida en Ecuador se tuvo un problema parecido, ya que producto de un exceso de aditivo retardador de fraguado en el hormigón, una zona intermedia de una faja

de hormigonado no fraguó en el tiempo debido. Como el piso quedó bastante defectuoso, se optó por reconstruir el sector dañado y hormigonar ese tramo como parte de la faja siguiente. De este modo, se introdujo una junta transversal a la pista, lo que alteró la calidad final del producto. En este caso los ingenieros prefirieron agregar una junta transversal, a dejar un sector defectuoso como sucedió en el caso anterior.

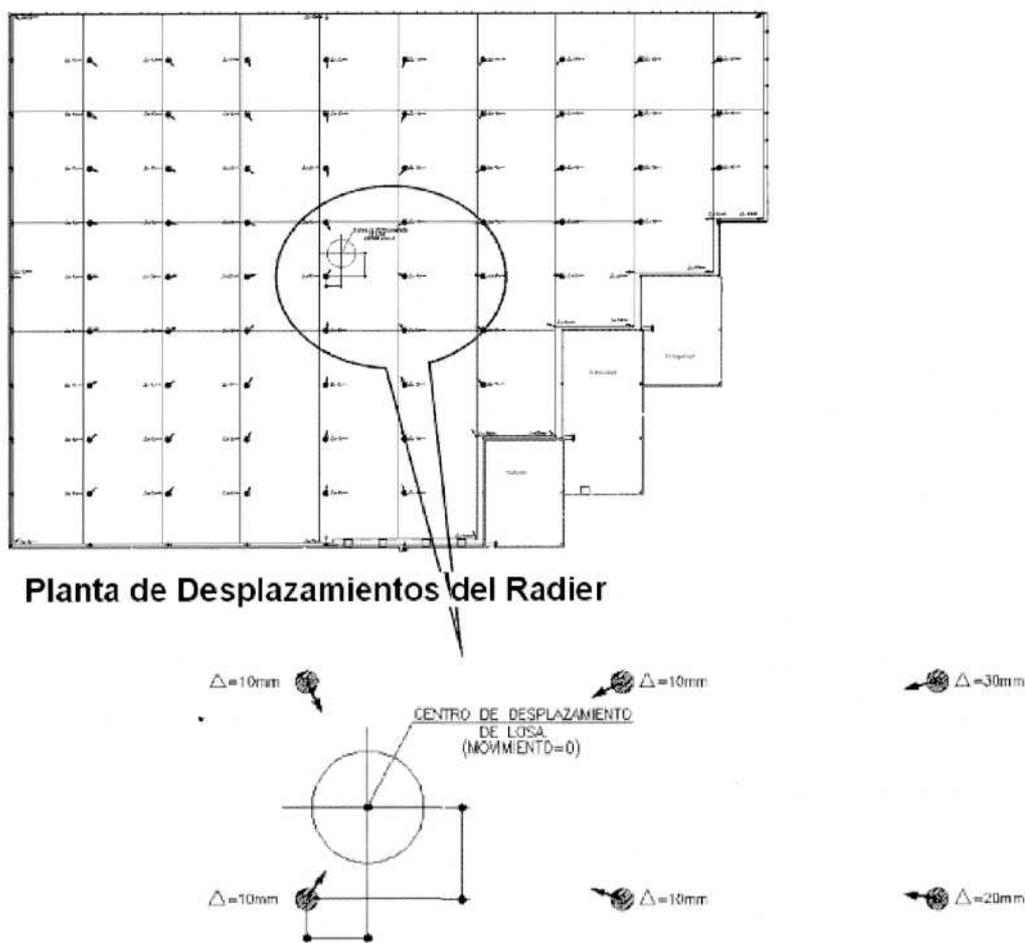
Ambas soluciones no lograron arreglar del todo el error cometido, sin embargo, cabe destacar que la solución adoptada en Ecuador ha tenido un comportamiento adecuado en el tiempo. Además, las soluciones adoptadas permitieron continuar con la secuencia constructiva y alterar al mínimo la secuencia de tensado.

Este tipo de fallas se produce, generalmente, por la falta de conocimiento adecuado de las propiedades que posee cada

aditivo. Por lo anterior, en cada proyecto es necesario hacer especial hincapié en el cuidado que se debe tener al trabajar con estos productos, lo cual hace recomendable contar siempre con un especialista en hormigón en la obra.

b) Diseñar adecuadamente las juntas de contracción.

El diseño de las juntas de contracción debe considerar las deformaciones probables que experimentará el pavimento debido a la aplicación de cargas de tensado y a la retracción hidráulica y térmica del hormigón, como se ilustra en la Figura 11. Por lo tanto, las juntas deben descentrarse respecto a las columnas y de esta forma es posible acomodar las deformaciones del piso sin inducir tensiones al pavimento, ni a las estructuras que pueden restringir su movimiento. En al ACI 302 (1999), se recomiendan distintas soluciones para materializar las juntas de dilatación



**Figura 11. Detalle de planta de desplazamientos del piso**

Como se mencionó anteriormente, en la primera aplicación en Chile de esta tecnología de pisos industriales, se subestimó la retracción hidráulica del hormigón, pero además no se cuantificó adecuadamente el efecto del aumento de la deformación de contracción hacia los extremos. Por este último motivo se diseñaron todas las juntas de contracción, en las zonas de encuentro del piso con las columnas del edificio, del mismo tamaño. Esta situación trajo dos problemas.

En primer lugar las juntas no fueron capaces de acomodar la contracción experimentada por el hormigón del pavimento, provocando fisuras. En segundo lugar este problema se agravó hacia los extremos del piso, debido a que a mayor distancia del centro de gravedad del pavimento, mayor es la deformación de contracción. Por lo tanto, en las columnas de los extremos de la bodega se produjeron contracciones mayores a las esperadas (debido a la mayor lejanía con

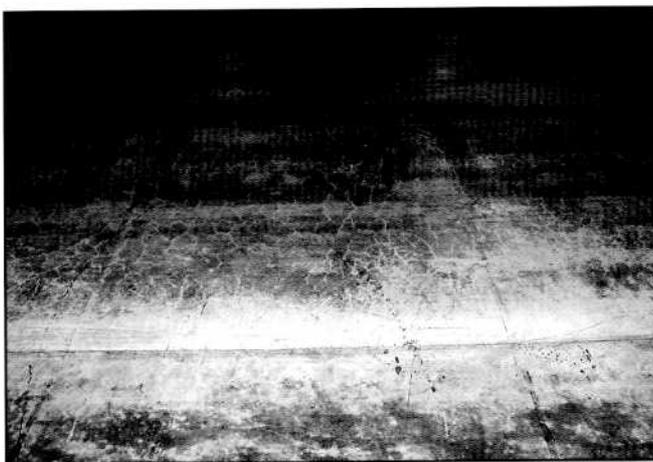
respecto al centro de gravedad del pavimento). Si bien estas contracciones no causaron deformaciones en las columnas donde se produjeron estas fallas, si se produjeron fisuras en el pavimento, que hicieron que éste fuese defectuoso en estas zonas.

Luego de esta experiencia, en obras posteriores se modificó el diseño de las juntas de contracción, descentrándose los recesos en el entorno de las columnas donde se materializan dichas juntas, de modo que cuando se produjera la retracción, estas zonas quedarán centradas en la columna y no se produzcan fisuras en el pavimento. Además se reconsideró el cálculo de la retracción del hormigón y en obra se tomaron cuidados adicionales para asegurar la materialización correcta de las juntas.

c) Emplear un solo contratista y trabajar en un solo frente de trabajo.

El empleo simultáneo de contratistas distintos en un mismo proyecto, tiene una alta probabilidad que la calidad de cada mitad no sea uniforme, a no ser que aumente el personal de supervisión. Igualmente el trabajo en más de un frente requiere necesariamente contar con un equipo mayor de supervisión.

d) Extremar cuidados durante el proceso de acabado del piso. Como se muestra en la Figura 12, en los pavimentos construidos, generalmente se han detectado pequeñas fisuras (minicracking), un tiempo después de terminado.



**Figura 12. Craqueleo superficial del hormigón**

Entre las causas probables de este problema podrían mencionarse: uso de agua para mantener la facilidad de ejecución de las operaciones de terminación e incompatibilidad química y/o física entre el cemento del endurecedor y el del piso. La primera causa genera una capa superficial con exceso de agua, ya que las actividades de alisado incorporan al hormigón original el agua añadida. El gradiente hídrico puede producir fisuración de la capa superficial en forma de pequeñas áreas contiguas de forma hexagonal (crazing). Por su parte, una incompatibilidad entre los cementos puede ocasionar distintos tiempos de fraguado y generar tensiones en la capa superficial

que podrían ocasionar micro fisuración de la superficie del pavimento.

Otro problema común que se produce en el acabado del piso, son las marcas por pisada de los obreros. En ocasiones la premura no controlada de los obreros al aplicar el alisador mecánico, caminando en la dirección longitudinal de la faja del piso, hace que pisen el pavimento cuando todavía no se encuentra debidamente endurecido. Este descuido hace que las huellas del trabajador queden marcadas en el pavimento, lo cual es muy difícil de corregir si no es detectado a tiempo (ver Figura 13).

Estos problemas hacen que se deba recalcar la importancia de realizar todas las actividades que implica este tipo de pavimentos con el cuidado que merecen, ya que un pequeño error en cualquiera de ellas, ocasionará que el pavimento no quede con la calidad deseada.



**Figura 13. Huellas de pisadas en el hormigón no suficientemente endurecido**

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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.

La construcción de pavimentos de calidad superior exige cuidados intensivos durante su construcción. Desde la preparación de la base hasta la terminación superficial final, se deben tomar varias precauciones de modo de conseguir que el piso adquiera las propiedades especificadas. En este trabajo se han incluido varias recomendaciones que se deben seguir para obtener un buen pavimento, sin embargo, igualmente es necesario contar con un especialista en terreno para lograr mejores resultados. Entre las recomendaciones realizadas están:

- Durante el diseño del pavimento se debe procurar dejar las juntas de construcción debajo de donde irán colocados posteriormente las estanterías.
- Es preferible comenzar hormigonando en pistas de adentro hacia fuera, es decir, desde el centro de la bodega hacia los extremos de ella.

- Se debe procurar proteger la obra de la intemperie y es altamente recomendable construir los pisos después de haber instalado el techo y revestimiento del edificio.
- Cada etapa de terminación se debe realizar con mucho cuidado y con las herramientas adecuadas.
- Se deben ir limpiando los moldajes, que sirven como apoyo fijo en las primeras etapas de nivelación, para evitar desniveles posteriores en el piso.
- Se debe dar un período de tiempo suficiente para que el hormigón exude y así evitar posteriores fallas en el piso.
- 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.
- Para llevar a cabo el postensado, se debe esperar a que el pavimento alcance una resistencia mínima especificada, la cual depende del diseño de cada obra.
- Luego de 18 meses aproximadamente se debe volver a la obra para sellar juntas de contracción.
- 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.
- El uso de máquinas pulidoras no se recomienda por los posibles desniveles que puede provocar.

En Chile, la construcción de pisos superplanos postensados es algo relativamente nuevo. Por esta razón, no existen especialistas en el tema y no hay mucho conocimiento acerca de los procesos que implica su construcción.

Futuras investigaciones en el tema debieran abordar aspectos que hoy en día no se ha estudiado y, a modo de ejemplo, se pueden proponer como posibles temas de investigación, las siguientes áreas:

- Evolución de la planeidad y horizontalidad de los pavimentos postensados en el tiempo y comparación con el caso de pavimentos tradicionales.
- Estudio de los tiempos de fraguado de hormigones fabricados con distintos tipos de cemento del mercado chileno, para controlar de mejor manera o, más bien, de forma más precisa, las distintas etapas de alisado del pavimento.
- Estudio de dosificaciones para disminuir la variabilidad de resistencias a edades tempranas y que permita tensar uniformemente las fajas.
- Efectos de la retracción en el postensado. ¿Cómo se ven afectados los cables de tensado y las placas transmisoras de carga?.
- ¿Cómo se debe incorporar el diseño sísmico de estanterías y cuáles son sus implicancias en el diseño de los pisos postensados?.

## 7. REFERENCIAS

- ACI-301, (1999), Specifications for Structural Concrete, ACI Committee 301, American Concrete Institute, pp. 49.
- ACI-302, (1992), Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI Committee 302, American Concrete Institute, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, pp. 48.
- ACI-117, (1990), Standard Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials, ACI Committee 117, American Concrete Institute, pp. 12.
- AVENDAÑO, A., (1999), Radier Postensado, BIT Boletín de Información Tecnológica, Año 6, Número 14. pp. 27-28.
- INSTITUTO DEL CEMENTO Y DEL HORMIGÓN DE CHILE. (2000), Artículos Técnicos Expo Hormigón ICH-2000, Feria Internacional de Pisos Industriales, pp. 1-57.
- KEITH, F.R. y HOLLAND, J. A., (1996), And the Owner Said, "Let There Be Light... and no floor joints or cracks", Revista Concrete International, pp. 32 – 37.
- MBT (2002), Products for the Concrete Construction Industry, Catálogo Técnico, Master Builders Technologies.
- POST-TENSIONING INSTITUTE. (1983), Post-Tensioned Commercial and Industrial Floors, pp. 1-35.
- THE ABERDEEN GROUP. (1997), Flat Floors, How They are Built and Measured. REPRINT COLLECTION, ISBN 0-924659-05-X, pp. 45.
- VIDELA, C., (2002), Apuntes Tecnología del Hormigón, versión 0.3, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile
- VSL (2000), Pavimentos Postensados, Información Técnica y Memoria de Cálculo, VSL Sistemas Especiales de Construcción.
- WORLD OF CONCRETE. (2003), Steps to Placing a Superflat Floor, World of Concrete, Publication #C02J051.

---

**Daniel Díaz**

*Servicio de Calidad e Inspección Técnica CIT - DICTUC S.A.  
Santiago, Chile*

---

**Carlos Videla**

*Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile*