

EL CONTROL DE LOS PARAMETROS DE TERMINACION SUPERFICIAL EN LOS PISOS INDUSTRIALES Y SU MEDICION EN OBRA

**AUTORES: Hugo Barrera V., Ing. Civil, Prof. Depto. Ing. OO.CC. U. de Santiago de Chile ¹
Miembro de la Red Rehabilitar del CYTED**

**Débora Müller C., Ing. Civil en Obras Civiles
Andrés Cárcamo P., Ing. Civil en Obras Civiles**

RESUMEN

La tecnología de la construcción de pisos industriales ha experimentado notables progresos, incentivados por su cada vez más exigente utilización. Ya no basta que el piso sea estructuralmente resistente y que se minimice su agrietamiento. Además, debe ser super plano, liso y de gran resistencia superficial al desgaste y al ataque de productos químicos.

Para controlar las variables estructurales, se ha avanzado en el diseño y construcción de losas postensadas, con lo cual se controla el alabeo y la retracción. Para controlar las variables funcionales, se han desarrollado técnicas, herramientas, maquinarias y productos para mejorar la terminación superficial.

Con este trabajo se pretende contribuir a difundir la experiencia alcanzada por profesionales chilenos en estos pisos que ha permitido alcanzar un record mundial en superficie y obtener el Golden Trowel Award.

Se reseña el diseño y la construcción del piso de una industria láctea en Santiago, en que se ocupó la tecnología de losa de hormigón postensado, especificando un piso super plano y liso, sin juntas y con resistencia superficial al ataque de productos químicos.

Se informan las especificaciones de diseño y los procesos constructivos para llevarlas a cabo. Asimismo, se consignan los resultados de la medición de los Números F, empleando dos métodos: el entregado por el F Meter y el del Dipstick, que está respaldado por la especificación ASTM 1155.

Se comparan ambos resultados entre sí, con los valores esperados y con los obtenidos en obras similares. Se concluye que es posible lograr pisos de la más alta calidad, controlando los métodos de colocación del hormigón y de terminación superficial.

¹

PLANEIDAD Y HORIZONTALIDAD

1. Introducción

La construcción de pisos planos y super planos requiere métodos y equipamiento especializado, que permita cumplir con exigentes tolerancias. Los procedimientos de colocación y terminación, y de diseño del hormigón y de su refuerzo, son componentes esenciales de este tipo de pisos. Las técnicas necesarias para la construcción de pisos planos y súper planos se hacen obligatorias en recintos con alta circulación de grúas horquilla, montacargas y/o carros de traslado de mercadería.

Para controlar el estricto cumplimiento de las especificaciones de diseño, en especial las relacionadas con su terminación superficial, se han creado metodologías de control y los equipos necesarios para ejecutarlas.

1 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es presentar los sistemas de control de los parámetros de terminación superficial de los pisos industriales postensados, sus fundamentos, su implementación y medición en obra.

Como objetivo secundario, se mostrara el seguimiento a la terminación del piso de una industria lactea en santiago

2. Sistema de los números F

A medida que progresaban los metodos constructivos de terminación superficial de los pisos, se hacia necesario establecer metodos sistematicos, repetibles y precisos para medir sus tolerancias, de acuerdo a las cada vez mas exigentes especificaciones.

Los números-F es un método estadístico para determinar planeidad y nivelación en superficies horizontales de hormigón. Para las losas de hormigón existen dos números F, los que se usan para evaluar la planeidad y horizontalidad, F_F y F_L , respectivamente. Ambos son adimensionales y a mayor valor del número F, mejores son las características del piso. La Planeidad (F_F) se refiere a la suavidad relativa de una losa de piso, y está directamente relacionada con el proceso de terminación superficial. La planeidad de los pisos se medirá calculando el valor de curvatura, q , entre todos los puntos de lectura de 30 cm, separados por 60 cm. El valor de la curvatura es la diferencia entre las sucesivas diferencias de elevación (Fig 1).

La desviación media y la desviación estándar de todos los valores de curvatura para una sección de ensayo dada, se convierten para obtener el número F_F adimensional. Una zona

alta en la losa entrega un valor negativo de q , mientras que una depresión representa un valor positivo de q ¹

Ec.1

S_q : Desviación estándar de q .
 $|q|$: Valor absoluto del valor medio de q (mm).

Fig.2.1 El número F_F indica la razón de cambio de la elevación de un piso en un intervalo de 30 cm.

El número F_L indica la horizontalidad de la losa en el espacio con respecto a la vertical.

Fig 4.6 Equivalencia entre el antiguo sistema de la regla de 3m y la especificación de planeidad, F_f .

Durante la construcción de la losa, el F_L se ve directamente afectado, por el nivel entregado por los moldajes laterales y por la nivelación o enrasado. La horizontalidad se medirá a partir de todas las diferencias de elevación en puntos separados a 3 m de distancia, obteniendo el valor z ¹ (Fig 2). El número F_L se calcula mediante la siguiente fórmula:

Ec. 2.

S_z : Desviación estándar de z .
 $|z|$: Valor absoluto del valor medio de z (mm).

Fig. 2.2 El número F_L indica la nivelación general de la losa ²

El sistema de los números-F otorga mediciones racionales para la especificación de planeidad y horizontalidad y permite crear las tolerancias específicas de un determinado proyecto. Su uso entrega al diseñador parámetros claros para decidir las tolerancias correctas, a los constructores, tolerancias reales y medibles y a los dueños, la eficiencia esperada de su piso.

2.1 Cómo se especifican los números F?

Variadas normas y códigos aplican las especificaciones de los números-F. El Código ACI 117 es la norma general para el uso del sistema de los números F, y establece los valores que caracterizan los distintos tipos de pisos. El Código ACI 302 entrega recomendaciones para la colocación y terminación del hormigón para losas que cumplan con las especificaciones de los números F. La Norma ASTM E1155 es la base del cálculo del sistema de los números F.

Cuando se establecen los números-F del proyecto, es importante que no se sobre especifiquen, ya que un incremento innecesario en la calidad del piso implica un aumento del costo y del tiempo de su construcción. Uno de los mejores métodos para determinar el rango apropiado para un proyecto es medir pisos existentes que hayan cumplido satisfactoriamente con sus especificaciones. En caso de no contar con esta información se puede estimar un valor de número-F, basándose en la siguiente tabla.

Tabla 2.1 Valores mínimos de Números-F recomendados según tipo de uso del piso ³

En aquellos casos en que el tráfico del piso estará confinado a pasos específicos, no se exige un muestreo al azar, ya que el piso puede inspeccionarse de manera exacta como se percibirá por todo el tráfico. En estos casos es más útil medir cada uno de los pasos directamente, utilizando un perfilómetro de registro continuo, configurado para recorrer exactamente la senda por donde circulan las ruedas. Estas mediciones de simulación directa eliminan las incertezas inherentes al muestreo estadístico y proporcionan una información del perfil que puede ser aplicado de inmediato a la corrección de la superficie en vistas al futuro tráfico. Para este caso, el piso se debe especificar en base a un valor definido como F_{min} .

Tabla 2.2 Números-F para las diferentes categorías de perfil de piso ².

Los pisos que se especifican por medio de los F_{min} , se denominan “superplanos” y se construyen en fajas largas y angostas para garantizar el cumplimiento de la especificación.

2.3 Medición de los números F

La norma ASTM E 1155M-96 proporciona un método de ensayo cuantitativo de medición del perfil de los pisos con el fin de obtener estimados de las características del piso. En ella se detalla el proceso de preparación de la superficie, el método de toma de datos, instrumentos a usar y la metodología para calcular los números-F. Dicha especificación reconoce dos tipos de aparatos de medición de números-F, Tipo I y Tipo II. Una muestra de ensayo medida con un aparato Tipo I consiste en a lo menos 12 mediciones secuenciales de puntos de elevación, realizadas a intervalos regulares de 300 mm a lo largo de una sola línea de medición. Una muestra de ensayo medida con un aparato Tipo II consiste en a lo menos 11 mediciones secuenciales de diferencias de elevación entre puntos de lectura adyacentes, espaciados a intervalos regulares de 300 mm a lo largo de una sola línea de medición.

Aparato Tipo I: Instrumento capaz de medir las elevaciones de una serie de puntos espaciados a 300 mm a lo largo de una línea recta sobre la superficie del piso. Algunos ejemplos son:

- Regla niveladora, con un indicador para medir la distancia vertical desde la superficie

superior de la regla hasta el piso.

- Regla niveladora, con cuñas o planchas de relleno para medir la distancia vertical desde la superficie inferior de la regla hasta el piso.
- Niveles óptico o láser
- Lienza tensa, con indicador para medir la distancia vertical desde la lienza al piso.
- Perfilómetro.

Aparato Tipo II: Instrumento capaz de medir las elevaciones de una serie de puntos espaciados a intervalos regulares de 300 mm a lo largo de una línea recta sobre la superficie del piso. Algunos ejemplos de aparatos con estas características son:

- Inclinómetro, que posea punto de contacto cada 300 mm.
- Perfilómetro de diferencial longitudinal, que posea una separación entre ruedas de 300 mm.

En el mercado existe una serie de instrumentos para la medición de números-F. El Pro-Bot es un aparato para medir específicamente los F_{min} , ya que, entrega mediciones continuas sobre las huellas de tránsito de las grúas horquilla. Para tráfico al azar se puede utilizar el Dipstick, cuyas mediciones son punto por punto. Este es el único certificado por ASTM C 1155.

3. LOS PISOS POSTENSADOS

El mayor problema que afecta a los Pisos Industriales es el agrietamiento producto de la retracción plástica e hidráulica del hormigón. Los diseños tradicionales atenúan sus perjudiciales efectos especificando juntas de control de grietas. Estas juntas constituyen zonas críticas dentro de la losa. Un mal diseño y/o una construcción defectuosa no logran el objetivo de inducir la grieta en la junta, produciéndose ésta en otra zona con mayor acumulación de tensiones de tracción. Además, una gran cantidad de juntas en la losa genera discontinuidades, lo que afecta la eficiencia de los procesos a desarrollarse sobre el piso. Las losas armadas de manera tradicional consideran refuerzos de acero llamado “acero pasivo”. El agrietamiento ocurre antes que este acero logre activarse, por lo que no alcanza a evitarlo; sólo disminuye la dimensión de la fisura. Por el contrario, el postensado es un refuerzo activo, que trabaja desde el principio con el hormigón para evitar el agrietamiento.⁴

3.1 El postensado de losas y sus ventajas

El postensado consiste en introducir fuerzas artificiales de compresión en la losa, creadas por medio de cables de acero de alta resistencia los que se ubican dentro del hormigón, y se tensan al momento en que éste es capaz de distribuir la fuerza del cable por medio de anclajes cuyas acciones generan, en ese elemento de hormigón, estados tensionales que, superpuestos a los provocados por las sobrecargas externas, le permiten resistir su peso propio y el de las sobrecargas que actúan en la losa (capacidad adicional) .

Los tendones se disponen en línea recta, a la altura media del espesor y en ambas direcciones de la losa, generando un estado de tensiones uniforme. Existen dos sistemas de postensado, el de tendones adheridos, utilizados normalmente en vigas de puentes, en estanques, en silos, en edificios etc. El otro sistema es el de tendones no adheridos, cuyo uso principal es en losas de piso.

El sistema de post-tensado no adherido está formado de tendones, cada uno compuesto de 7 hebras de acero de baja relajación y tensión admisible de 18980 kg/cm², vainas protectoras plásticas que recubren las 7 hebras de acero previamente engrasadas, y anclajes de acero fundido que fijan el tendón por medio de cuñas, luego de ser tensado.

Las ventajas de usar postensado en los pisos industriales de hormigón son principalmente:

- *Aumentar la distancia entre juntas de control de grietas, o eliminarlas:* La ventaja más importante de las losas postensadas es el control de agrietamiento por retracción. El postensado permite la eliminación de juntas de control en ambas direcciones. Las horizontales constituyen discontinuidades indeseables en las fajas de losas ya que:
 - Los números F disminuyen en las cercanías de las juntas, debido a la curvatura de la losa.
 - Roturas en las juntas producen baches cuando las grúas horquillas circulan sobre de ellas.
- *Disminuir el espesor de la losa:* El postensado permite una reducción en la cantidad de hormigón por dos vías, reduciendo el espesor de la losa o reduciendo las dimensiones de las vigas rigidizantes (losas nervadas), en caso que el diseño las considere.

Otras ventajas del postensado son las siguientes:

- Mayor velocidad de ejecución, ya que, grandes superficies de hormigonado aceleran el programa de avance de la obra.
- Reducción de armadura pasiva.
- Reducción de los costos de mantenimiento.
- Mayor eficiencia en los ciclos de producción sobre la losa.

4. CASO ESTUDIADO: CENTRO DE DISTRIBUCION PARMALAT

Este Centro está ubicado en el acceso Norte de Santiago, en el Parque Industrial La Casa de Piedra. Este piso fue proyectado y construido por el mismo equipo del Centro de Distribución Nestlé (33000m²) que obtuvo el Golden Trowel Award.

Estas instalaciones tienen una superficie de 3400 m², incluyendo un frigorífico de 900 m². El piso es postensado de 16 cm de espesor. Resistencia cúbica a 28 días: 33MPa. Por requisitos de capacidad, de eficiencia en el funcionamiento y de limpieza, propios de este tipo de instalaciones de almacenamiento de alimentos, este piso debe cumplir con las más altas exigencias estructurales, utilizando el sistema de postensado e incluyendo especificaciones de planeidad y horizontalidad. Se analiza el diseño y la metodología constructiva, desde la base hasta las últimas operaciones destinadas a cumplir con las exigentes tolerancias superficiales.

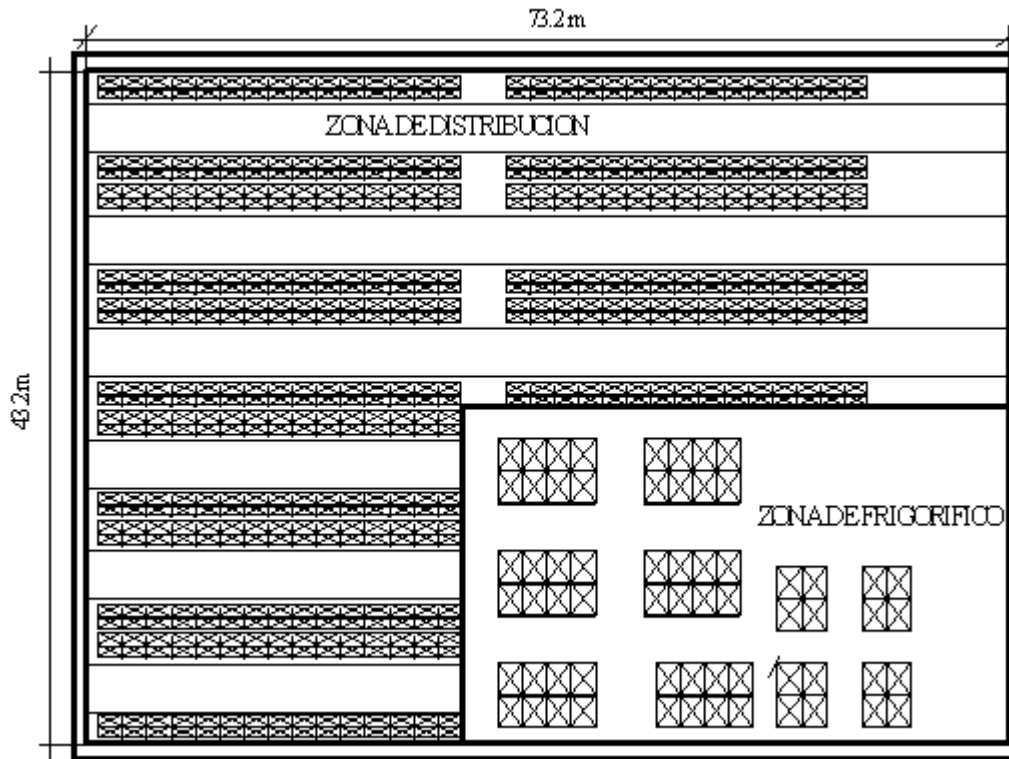


Figura 4.1 Lay-out de la industria Parmalat

1 Diseño del proyecto

El diseño de los espacios y su funcionalidad fue la consideración que controló su diseño. La disposición de las estanterías altas determinó la ubicación de las juntas de construcción. Estas se ubicaron donde los estantes estaban adosados de espalda. Su espaciamiento fue de 2, 3, y 4 m. Ver figura anterior

El postensado permitió una disminución del espesor de la losa, la eliminación de las juntas de contracción, aumentar la velocidad de construcción y mejorar los niveles de acabado superficial.

Por condiciones propias del procedimiento de postensado, el hormigón debía alcanzar una resistencia cilíndrica a la compresión de 180 kg/cm² a los 3 días (para aplicar el 100% de la tensión). La resistencia especificada a los 28 días se limitó a 330 kg/cm², para evitar su sobredimensionamiento, lo que aumentaría los problemas de retracción del hormigón. Para controlar el desgaste, se especificó un endurecedor superficial, en una cantidad de 4-5 kg/m².

2 Preparación de la base

Con el fin de controlar al máximo las características de nivelación, de uniformidad, de resistencia y humedad de la base, la losa se construyó sobre un terraplén de 1,2 m aproximadamente. Sobre él, se colocó una capa granular de 20 cm con tamaño máximo 38

mm

La nivelación fina o micronivelación se realizó con arena fina y con una tolerancia de nivelación de ± 0 mm., difícil de conseguir, pero se logró. Esta operación tiene como objetivo suavizar la superficie, ante la angularidad de los áridos de la superficie, y rellenar las zonas más bajas

Como resultado del relleno controlado y la compactación por capas no mayores a 20 cm se obtuvo una base bien compactada, uniforme y lisa. Esta última característica de la base juega un papel importante en el posterior postensado de la losa, debido a que una superficie con un coeficiente de roce menor, disminuye las pérdidas de tensión de los cables.



Fig.4.2 Micronivelación con arena fina Fig.4.3 Polietileno para reducir roce base-losa

3 Faenas previas

Se planificó la obra considerando la construcción del piso después de terminada la estructura del galpón y revestido los muros laterales. Esto favorece el control de la temperatura y la humedad durante la construcción de la losa, y posterior período de endurecimiento y curado.

Para reducir la fricción entre la losa y la base, el proyecto consideró la utilización de una lámina doble de polietileno. Al considerar este reductor de fricción, se debe controlar las características de la mezcla para evitar los problemas derivados del aumento del gradiente de humedad. La fijación y nivelación de los moldajes laterales fue una operación crítica para obtener buenos índices de planeidad en las calles. La nivelación se realizó mediante un nivel láser.

4.4 Secuencia de hormigonado

La secuencia de vaciado se realizó en función del abastecimiento de hormigón, de la secuencia de tensado y de la distribución del espacio para facilitar el acceso a todas las zonas de las bombas estacionaria y telescópica. Las operaciones de nivelación y enrase de

la zona de frigorífico se realizaron con la Wet-Screed o regla vibratoria, ya que se utilizó el método de enrase húmedo. Las temperaturas del hormigón durante este proceso fluctuaron entre 18°C y de 19.7°C.

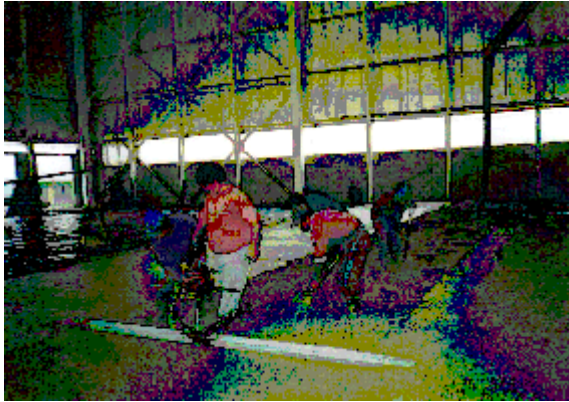


Fig.4.4 Enrasado con regla vibratoria(wet screed) Fig.4.5 Aplicación de endurecedor

Luego se realizó un alisado preliminar con una regla con mango largo (similar al escantillón, pero apoyada sobre la cara más ancha), en sentido perpendicular al vaciado. Luego, se esparció manualmente un endurecedor superficial en una cantidad de 4-4.5 kg/m². El embebido se logró con el paso nuevamente de la regla con mango largo. En esta faena, por condiciones del hormigón, no hubo período de espera para la exudación. Las faenas de terminación se sucedieron inmediatamente una de la otra. Una vez rectificada la superficie y cuando el hormigón fue capaz de resistir el peso de una alisadora mecánica, (aproximadamente 3 hrs. después del comienzo del vaciado) comenzó el aplanado de la superficie en la misma dirección de vaciado de la losa. Los cambios de dirección aplicados con cada operación tuvieron como objetivo evitar el

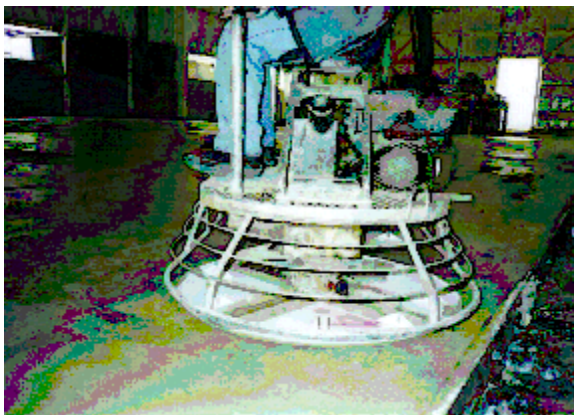


Fig.4.6. Alisadora de plato

Fig.4.7 Alisadora mecánica con aspas

ahuellamiento' de la losa en la zona central del paño o entre los moldes, al construir por calles. Nuevamente se rectificó con el escantillón y se realizó una pasada final de la alisadora con plato. El perímetro de la losa se trabajó con herramientas manuales. Esto es

imprescindible para evitar el deterioro de los bordes y juntas, causado por el tránsito de las grúas horquilla. El alisado final comenzó con las aspas planas, para sellar la superficie. Luego se incorporó la alisadora doble con aspas inclinadas para producir el sellado final y obtener una superficie suave y brillante. Se curó con arpillera húmeda por una semana.



Fig.4.8 Cables de pretensado, recién hormigonado Fig.4.9 Tensado inicial de cables

4 Detalles constructivos

La construcción por calles permite la aplicación de una serie de operaciones constructivas que aumentan los niveles de planeidad y horizontalidad, mediante el enrasado y nivelado mediante una cercha vibradora, y mejorando la resistencia superficial, mediante el espolvoreado más uniforme, usando métodos mecánicos.

Sólo se consideró la utilización de barras de traspaso de carga en la zona de circulación de grúas horquilla, entre la zona de frío y la zona de distribución.

La resistencia cilíndrica obtenida a las 24 hrs fue entre 122 kg/cm^2 y 140 kg/cm^2 . Esto permitió realizar un tensado inicial, al día siguiente del vaciado, con una tensión del 50% de la total. La resistencia a la compresión en probetas cilíndricas a los 3 días estuvo entre 249 kg/cm^2 y 337 kg/cm^2 . Para aplicar el 100% de la tensión a los 3 días de hormigonado, la resistencia cilíndrica se limitó a 230 kg/cm^2 para disminuir los efectos de la retracción y alabeo de la losa.

5 Números-F alcanzados

La planeidad y horizontalidad se midió con Dipstick, con un mínimo de 12 puntos por calle. Los valores de proyecto fueron $FF= 40$ y $FL= 60$.

Tabla 4.1 Números-F medidos en 3 calles representativas

Como referencia, en el laureado piso de Nestlé, después de un año de operación, se midió con Dipstick, obteniéndose $F_F = 62$ y $F_L = 97$.⁵

5. CONCLUSIONES

Al favorecer la funcionalidad del piso, no hay duda que el postensado presenta las mayores ventajas comparativas, previene el agrietamiento por retracción, disminuye o elimina la cantidad de juntas de control de retracción y el alabeo, disminuye los costos de mantenimiento o reparación de juntas, asegurando una vida útil dos veces mayor que la de un piso tradicional.

El sistema de los números-F, para especificar planeidad y horizontalidad, entrega parámetros claros, cuantitativos y cualitativos, para determinar el nivel de acabado superficial..

Estas nuevas especificaciones para controlar la nivelación y planeidad de los pisos industriales han obligado a introducir nuevas metodologías constructivas y de acabado de superficies de hormigón. Ellas, al asegurar la obtención de un piso plano y horizontal, consiguen una superficie resistente al desgaste y a los impactos. La clave de las operaciones de acabado descritas es el uso de herramientas y técnicas de manera correcta y en el momento correcto. El control debe hacerse usando el medidor Dipstick, por su mayor precisión en las mediciones.

Para poder realizar un buen acabado superficial es importante evitar la utilización de hormigones muy secos, o de alta resistencia temprana. La falta de humedad superficial o el endurecimiento prematuro del hormigón de la superficie impide la realización efectiva de todas las operaciones de acabado necesarias. Esto obliga a agregar agua a la superficie para facilitar las tareas de acabado, lo cual favorece la retracción. Al dosificar se debe tener en cuenta si se va a utilizar un endurecedor superficial espolvoreado sobre la superficie, puesto que para poder incorporarlo, se necesita cierta humedad en la superficie de la losa para poder hidratarlo.

Las operaciones de acabado superficial se deben repetir cuantas veces sea necesario, hasta obtener una superficie con las características que el proyecto requiera. Para obtener un alto F_F es importante la utilización del escantillón para rectificar la superficie. Para consolidarla usando alisadoras mecánicas, se debe comenzar con el plato. Luego, se sella la superficie con las aspas.

Las tolerancias especificadas de planeidad y horizontalidad del piso de Parmalat, fueron sobrepasadas por el acabado logrado en obra. Por ejemplo, el valor obtenido en un punto determinado (F_{local}) fue $F_F = 106$ y $F_L = 229$. (calle 8, punto 5. Puntos adyacentes, valores similares)

Los procedimientos de diseño y las técnicas constructivas presentadas disminuyen y, en algunos casos, eliminan los problemas que presentan los pisos industriales, logrando satisfacer casi en su totalidad las exigentes necesidades de los proyectos de pisos industriales de hormigón.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos por la colaboración recibida en terreno del Sr. Gabriel Lira y de las empresas VSL , Hormipull y DICTUC S.A.

7. REFERENCIAS

1. American Society for Testing and Materials, ASTM Standard, E1155 M-96. "Standard Test Method for Determining F_F Floor Flatness and F_L Levelness Numbers",
2. D. Matthew Stuart, "Concrete Slab Finishes, and the Use of F-Number System", Revista Structural Engineer, Febrero 2002.
3. American Concrete Institute, ACI, Committee 302.1R-96, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction".
4. Robert Anderson, "Post-Tensioned Slab on Ground" Revista Structural Engineer, Febrero 2001
5. Cárcamo, A.E. y Müller, D.L. "Diseño y Construcción de Pisos Industriales de Hormigón". Memoria de Título. Universidad de Santiago de Chile. Depto. Ing. en Obras Civiles, Santiago 2002