

## Manual de Diseño y Construcción de Pisos Industriales.

### 1. GENERALIDADES Y TIPOS DE PISOS

#### 1.1 Clasificación de Pisos del Instituto Americano del Concreto (ACI)

Un piso de concreto desplantado en una base de tierra es un elemento constructivo común. Puede ser una simple losa de rodamiento, o tener un mayor grado de complejidad.

Con el objeto de clasificar los pisos de concreto de acuerdo principalmente a su uso o sistema constructivo, el Instituto Americano del Concreto (ACI) presenta la tabla 1.1-1 que describe las nueve clases genéricas de pisos de concreto.

Sin importar lo elemental o lo complejo a que se refiere el ámbito ingenieril, el método constructivo de los pisos de concreto es similar: se prepara el terreno de soporte y posteriormente el concreto es colocado. Desde luego, existen muchas consideraciones tales como el drenaje y el diseño en el espesor. La tabla 1.1-1 muestra algunas de las consideraciones especiales, así como las técnicas de acabado que son apropiadas para cada tipo de piso.

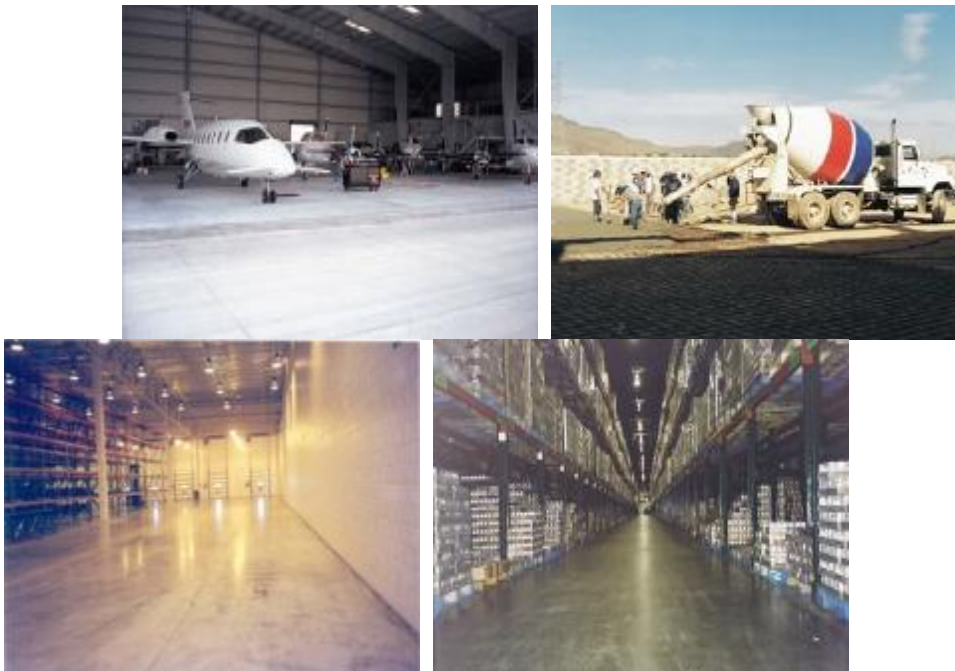


Figura 1.1-1 Gráficas de diversos usos de pisos de concreto, industriales, comerciales, exteriores, interiores, etc

La losa base deberá tener una superficie rugosa y de poro abierto, además deberá estar libre de sustancias que pudieran impedir la adherencia entre la sobrelosa y la losa base.

La sobrelosa podrá aplicarse el mismo día (antes del fraguado de la losa base) o de aplicación diferida (después del fraguado de la losa).

Las sobrelosas de los pisos clase 3, utilizarán concretos similares a los utilizados en los pisos clase 1 ó 2.

En los pisos clase 7, la sobrelosa generalmente requiere de un concreto de mayor resistencia que el utilizado en la losa base, además requiere de un múltiple allanado intenso.

Podrá además ser necesario utilizar en la sobrelosa, un endurecedor superficial mineral o metálico.

Las sobrelosas ligadas deberán tener un espesor de al menos 19 mm (3/4"). Deberá coordinarse la separación de juntas en la sobrelosa, con el sistema de juntas en la losa base.

### **Pisos planos y super planos: Clase 9**

En algunos complejos, donde el manejo de los materiales requiere de características muy estrictas de nivelación y planicidad, es necesaria la construcción de pisos planos y/o super planos.

Estos pisos podrán construirse en una capa; o en dos capas, ligadas (similar a los pisos clase 7) o no ligadas (similar a los pisos clase 8).

### **Pisos especiales**

En esta categoría se incluyen los pisos con acabados decorativos, con requerimientos antiderrapantes, o con características especiales de conductividad eléctrica.

También los pisos expuestos a ácidos suaves, sulfatos y otros químicos necesitan de una preparación y una protección especial. Cuando el ataque químico sea severo, se deberá emplear una protección al desgaste adecuada al tipo de exposición.

En algunas plantas donde se procesan químicos o alimentos, tales como rastros, los pisos de concretos expuestos, estarán sujetos a un proceso lento de desintegración, debido al ataque de ácidos orgánicos. En muchos casos, puede ser preferible proteger al piso con otros materiales, tales como losetas resistentes a ácidos y/o resinas.

## **1.2 Pisos Industriales**

El presente texto ha sido preparado para ayudar a los diseñadores y constructores a adquirir el conocimiento que permita pisos duraderos que cumplan las expectativas para las que fueron diseñados. Sin embargo, se dará mayor énfasis a los pisos que de ahora en adelante llamaremos pisos industriales, es decir, aquellos pisos interiores que estén sometidos a cualquiera de las siguientes aplicaciones de carga:

\* Cargas móviles (entre los que podemos citar vehículos pesados, montacargas y cualquier vehículo con ruedas en contacto con la superficie de la losa).

\* Cargas puntuales a través de los soportes de maquinarias o estructuras de almacenamiento, como racks o anaqueles.

\* Cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.



Figura 1.2-1 Diversas condiciones de carga y uso en pisos industriales.

Los pisos de concreto, industriales, comerciales o de tráfico ligero, deben ser diseñados y construidos sin olvidarnos de los aspectos económicos a los que van ligados. En términos de economía no se habla exclusivamente de construcción o inversión inicial, mas bien incluyendo además los costos asociados con el mantenimiento y reparaciones necesarias en el piso, así como el mantenimiento y reparaciones de los equipos que transiten sobre él, etc. La construcción de un buen piso de concreto requiere comunicación estrecha entre el propietario, arquitecto, ingeniero y contratista, con un mutuo entendimiento del nivel de calidad necesaria para el uso proyectado de la instalación.

### **1.3 Criterios en el Comportamiento del Piso**

El alcance del diseño, los tipos de materiales a emplear y la mano de obra necesaria dependerán en gran medida del poder anticipar las condiciones de servicio del piso, así como de conocer el criterio a emplear para medir el comportamiento del piso.

Antes de entregar una propuesta y con mayor razón antes de hacer un presupuesto, todas las partes involucradas (propietario, usuario, diseñador, contratista general y subcontratista) deberán conocer y estar de acuerdo en las condiciones y criterios tomados para el diseño del piso.

Un buen piso de concreto, desplantado sobre el terreno es el resultado de diversos factores:

- \* Sensibilidad en la planeación.
- \* Diseño detallado y cuidadoso.
- \* Selección de los materiales adecuados.
- \* Especificaciones completas.
- \* Supervisión.
- \* Buena mano de obra .

Para definir responsabilidades de cada uno de los que participan en la elaboración del proyecto, en la etapa de anteproyecto y en las juntas previas a la construcción es necesario un entendimiento generalizado. En la etapa de anteproyecto el propietario y el usuario deberán contestar varios cuestionamientos como:

- \* ¿Cuál será el uso del piso?
- \* ¿De qué magnitud y qué tipo de cargas estará sometido el piso?
- \* ¿Cuáles son los requerimientos estéticos?, incluyendo el criterio de aceptación o rechazo de posible agrietamiento aleatorio.

Todos estos factores son mencionados a detalle más adelante. La tecnología y detalles aplicados a pisos de todos los tamaños, abarca una gran variedad de usos. Desde pequeñas áreas de pisos en residencias o industrias ligeras, pisos de tamaño medio en almacenes a pesadas plantas industriales, que cubren grandes áreas, todos cuentan una tecnología similar.

#### **1.4 Costo-Beneficio de Pisos de Mayor Espesor**

Aparte de las deficiencias habituales que se tienen en los pisos, como un inadecuado curado, juntas muy separadas y malos diseños de mezclas de concreto, el problema menos tratado y sin embargo, de gran importancia es el espesor de la losa.

El incremento del espesor en una losa de concreto, es una de las maneras más sencillas y efectivas para el mejoramiento en el comportamiento de los pisos. Los esfuerzos de torsión se incrementan al cuadrado de la profundidad de un miembro. Por ejemplo, si se compara una viga de espesor unitario a una que es 1.5 veces más robusta.

- \* 1 unidad cuadrada es 1.
- \* 1.5 unidades cuadradas es 2.25.

Por lo tanto, los esfuerzos de torsión de una viga más robusta deben ser 2.25/1 ó 225% en comparación con una viga más delgada. Las losas siguen el mismo tipo de relación. Para ilustrar esto, se compara una losa de piso sin refuerzo de 100 mm (4 pulg.) de peralte, con otra de 125 mm (5 pulg.). Para realizar esta ilustración genérica, la comparación se realiza en base a porcentajes. Mencionemos que el costo debido al material adicional de la losa de 125 mm (5 pulg.) de peralte es 25% más en comparación con la primera, o tiene una relación de 125%. (De hecho el costo total de la losa debe ser un porcentaje menor, debido a que la preparación de la subrasante y los costos del acabado superficial serán los mismos)

En este ejemplo, para un 25% de incremento en los costos de material, existe un 56% de incremento en la capacidad de carga. De manera similar, para una losa de 10 cms (4 pulg.) que se incrementa en un 50% su espesor, hay un 125 % de incremento en capacidad de carga.

“Por cada peso gastado para construir una losa de mayor espesor, hay más del doble de valor en la capacidad de carga resultante”

La tabla 1.4-1 muestra la mejora relativa en la capacidad de carga resultante del incremento de espesor de losa. Una relación muy similar aplica cuando una losa de cualquier espesor es incrementada en profundidad.

Espesores de losa mm (pulg.)	Espesor relativo comparado con una losa de 10 cms o 4 pulgadas	Resistencia relativa comparada con una losa de 10 cms o 4 pulgadas
100 (4)	100	100
125 (5)	125	156
150 (6)	150	225
175 (7)	175	306
200 (8)	200	400

Tabla 1.4-1 Espesores de losa y capacidad de carga.  
Fuente: Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, Third Edition, 2001.

## CONSIDERACIONES DE DISEÑO, ESPECIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

### 2. CONSIDERACIONES DE DISEÑO,ESPECIFICACIÓN Y CONSTRUCCIÓN

#### 2.1 Subrasante y Material de Base

Para asegurar que el piso industrial soporte exitosamente y sin asentamientos las cargas para las que fue diseñado, es de vital importancia diseñar y construir la subrasante y la base en preparación para recibir la losa de concreto. El material de base o sub- base, será un material granular de calidad controlada que puede proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso. Ver figura 2.1-1.

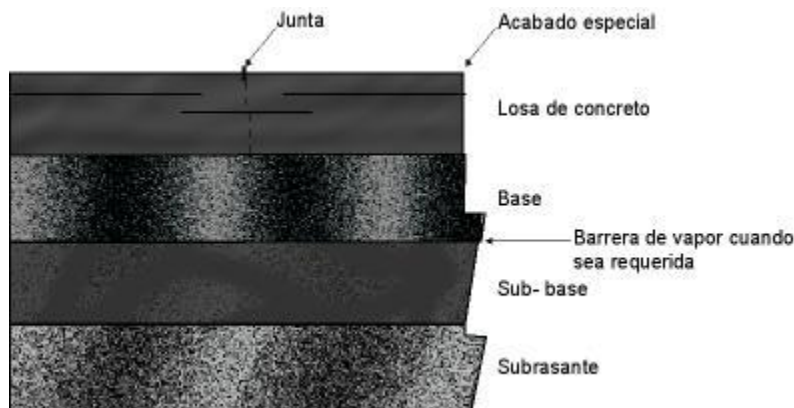


Figura 2.1-1 Vista en sección que muestra la relación entre la subrasante, la base y la losa.

### 2.1.a Características y función de la subrasante

La subrasante es el mismo terreno natural, graduado y compactado que servirá de soporte para la colocación del piso. En ocasiones para mejorar sus características de drenaje y de compactación la subrasante es mejorada buscando un mejor comportamiento de la estructura de soporte.

En caso de un suelo extremadamente pobre, la remoción y reemplazo de la subrasante con un material compactable, es la mejor opción para estos casos. El soporte de la subrasante, debe ser razonablemente uniforme, sin cambios bruscos de dureza, es decir de áreas rígidas o duras hacia áreas suaves o blandas, y también buscando que la capa superior de la subrasante sea uniforme en material y en densidad.

Debido a que las losas de concreto son estructuras rígidas, las cargas concentradas de las llantas de los montacargas o de los postes de los racks, son repartidas uniformemente a lo largo de grandes superficies, teniendo como consecuencia, que las cargas en la subrasante sean normalmente bajas. Por tal motivo, los pisos de concreto no necesitan necesariamente soportes muy rígidos en la subrasante. Sin embargo, el soporte de la subrasante y del material de base contribuye a tener un sólido soporte en los bordes, lo cual es muy benéfico para las juntas en losas expuestas a cargas fuertes en montacargas. Si el soporte de la subrasante es débil o blando, es muy probable que ocurra un fenómeno de consolidación del terreno de soporte provocado por la constante repetición de cargas fuertes sobre la losa, induciendo a la pérdida de soporte en los bordes de las losas.

El material granular de base o sub- base mencionado anteriormente, puede estar conformado por arenas, gravas - arenas, rocas trituradas o combinaciones de estos materiales. Un material granular de base cumplirá con los siguientes requerimientos:

Tamaño máximo de partícula	No mayor de 1/3 de espesor de la sub- base
Material que pasa la malla No.20	15% máximo de masa en un material seco
Índice plástico	Máximo 6
Límite plástico	Máximo 25

#### 2.1.e.1 Prueba de rodado

La prueba de rodado, es una de las formas más prácticas de determinar si el sistema de apoyo del suelo puede proveer un apoyo uniforme y estable; o si la capacidad de soporte es adecuada durante y después de la construcción.

Si es posible, se deberá realizar esta prueba después de terminada la construcción de cada una de las capas que compongan la estructura de apoyo y antes de iniciar la colocación del concreto.

La prueba consiste en hacer circular un vehículo sobre la capa que se esté evaluando. El vehículo deberá ser un camión cargado que cuente con un eje tándem, por ejemplo un camión de volteo, un camión mezclador de concreto u otro vehículo similar. La circulación del vehículo deberá seguir un patrón preestablecido en forma de cuadrícula.

Si una vez realizada la prueba, se observan la formación de roderas o la ocurrencia de bombeo, se deberán tomar las acciones correctivas correspondientes.

Las roderas ocurren generalmente, cuando la superficie de la capa que se esta evaluando se encuentra húmeda y las capas inferiores a ella están firmes.

El bombeo se presenta normalmente, cuando la superficie de la capa evaluada se encuentra seca y las capas bajo ella se encuentran húmedas.

Cualquier depresión en la superficie del suelo mayor a 13 mm (1/2") deberá ser reparada. La reparación deberá incluir, pero no se limitará a alisar con un rastrillo o compactar con el equipo adecuado.

## **2.2 Barrera de Vapor**

### **Capa retardadora de vapor**

Una protección adecuada contra la humedad, será necesaria cuando el piso vaya a estar cubierto por madera, alfombra, recubrimientos impermeables, o al contacto con equipos y/o productos sensibles a la humedad.

Una capa retardadora de vapor, es un material que minimizará la transmisión de vapor de agua de la subrasante a las losas de concreto, sin embargo, no podemos decir que sean 100 % efectivas en impedir que pase el vapor de agua. Por alguna razón normalmente se les conoce a este tipo de productos como barreras de vapor, nombre que resulta no muy apropiado al comprender que no son del todo efectivas, por lo que su nombre correcto es el de retardadores de vapor.

Se recomienda que si se usan hojas de polietileno como capas retardadoras de vapor sean al menos de un espesor de 0.25 mm.

El concreto colocado directamente sobre una capa retardadora de vapor presenta mayores cambios de dimensión en el sentido longitudinal en las primeras horas en comparación que el concreto colocado sobre una base granular. Ésta y otras diferencias más se presentarán al colocar el concreto en contacto directo con un producto de capa retardador del vapor, por lo que se recomienda se estudie muy bien cada caso en específico para tomar una decisión correcta del empleo o no de una capa retardadora de vapor.

En los casos que se determine imperativo el uso de una capa retardadora de vapor, se recomienda ampliamente colocarla bajo una capa mínima de 10 cms de material de relleno granular compactable, lo que mejora de manera importante el problema de retener el agua de mezclado del concreto en la parte inferior de la losa, cosa que induce a mayores alabeos y/o otros posibles problemas en el piso.

### **2.3 Fibras**

Existen varios tipos de fibras usados en el concreto, sin embargo, los tipos de fibras más comunes son las fibras metálicas y las de polipropileno. Las fibras metálicas son más comunes en los pisos industriales de uso rudo, y ambas aunque principalmente las fibras de polipropileno o fibras sintéticas pueden reducir considerablemente la aparición de grietas plásticas en el concreto fresco.

#### **2.3.a Fibras metálicas**

Son fibras de acero de diferentes formas, con longitudes que van de 0.25 a 2.5 pulgadas, las cuales se vacían directamente al camión para mezclarlas con el concreto, de manera que se obtiene una sección de concreto homogénea, donde el refuerzo se encuentra distribuido de manera aleatoria en toda la masa de concreto, brindando así, un refuerzo omnidireccional más eficiente, a diferencia de sistemas de refuerzo tradicionales, donde el acero se coloca únicamente en una parte de la sección y en un solo plano (siempre y cuando se coloque adecuadamente), lo cual en muchas ocasiones puede ser prácticamente imposible.

Esta distribución del acero en las fibras metálicas, permite absorber de manera más eficiente los esfuerzos de contracción por secado del concreto ya endurecido, así como los esfuerzos generados por cambios de temperatura, disminuyendo así la posibilidad de agrietamientos originados por estos esfuerzos. Así mismo la incorporación de fibras metálicas aumenta el módulo de ruptura del concreto y por ende su capacidad de carga, por lo que en algunas ocasiones puede considerarse como un refuerzo primario al sustituir refuerzo con varilla de acero o malla electrosoldada. Además de permitir una mayor separación entre juntas y una mejor transferencia de cargas a través de las juntas de control, ya que las mantienen más cerradas, eficientando el efecto de trabazón (interlock), que se da entre las secciones de concreto, separadas por la junta misma.

Por otro lado, el uso de fibras metálicas elimina prácticamente los costos de mano de obra, de supervisión y desperdicios de material, asociados con la utilización de sistemas de refuerzo tradicional, donde se requiere una gran cantidad de personal, una buena supervisión y una gran cantidad de tiempo. Es así, que en la construcción de pisos de concreto reforzados con fibras metálicas, el tiempo de ejecución llega a reducirse a más de la mitad en comparación con un piso reforzado con sistemas tradicionales.



Algunas de las características más importantes de las fibras metálicas son la forma que tenga para lograr un buen anclaje en el concreto y la relación de aspecto, la cual se refiere a la relación que existe entre la longitud y el diámetro equivalente de la fibra. Esta relación es uno de los principales parámetros que diferencia a las fibras metálicas entre sí, ya que generalmente una relación de aspecto mayor, proporciona un mejor desempeño, a cambio de una mayor dificultad en el mezclado, vaciado y acabado del concreto. Es por esto que, se han desarrollado algunos compuestos y técnicas de producción que permiten a una fibra con baja relación de aspecto, tener un desempeño equivalente a una de alta relación de aspecto, sin comprometer la facilidad en el manejo del concreto.

Las fibras de acero mejoran las propiedades de ductilidad, dureza, resistencia al impacto, fatiga y resistencia al desgaste. Todo esto dependiendo del tipo de fibra y de la dosificación. Todas estas propiedades dependen para ser específicos de la longitud de las fibras, de su diámetro, peso específico, resistencia a la flexión y módulo de elasticidad.

Normalmente se recomienda que las fibras se agreguen al concreto fresco en la planta de concreto premezclado por la empresa concretera con la intención que se integren perfectamente a la mezcla por la acción de mezclado durante el trayecto de los camiones de concreto de la planta al sitio de los trabajos. Es normal esperar que con el uso de fibras en la mezcla de concreto se vea afectado el revenimiento del concreto, sin embargo, mediante pruebas previas a los trabajos, ésto se puede estimar de muy buena manera y ser considerado en el diseño de mezcla original, evitando que la mezcla sea alterada con agua una vez que el camión esté en el sitio de los trabajos.

### **2.3.b Fibras sintéticas**

Este tipo de fibras se vacían directamente en el camión, para ser mezcladas con el concreto, formando una composición homogénea, formada por millones de fibras dispersas en el concreto.

Una de las ventajas principales de las fibras sintéticas es que proporcionan un sistema de soporte interno al concreto, lo cual lleva a un sangrado más uniforme y a evitar la segregación de los materiales más pesados, además de disminuir la posibilidad de agrietamiento por contracción plástica durante la etapa de endurecimiento y contracción inicial del concreto, que es justamente cuando se llega a presentar la formación de microfisuras. Es en esta etapa plástica, que las fibras sintéticas mantienen estas microfisuras más cerradas debido a la fricción que existe entre las fibras y los agregados.

Es importante mencionar que si bien, las fibras sintéticas ayudan a controlar el sangrado y a disminuir la posibilidad de agrietamientos por contracción plástica, en ningún momento pueden funcionar como un refuerzo principal o un refuerzo estructural con acero de refuerzo o fibras metálicas.

## **2.4 Acero de Refuerzo**

### **2.4.a Antecedentes**

Casi un siglo de experiencia en el diseño y construcción de losas de concreto con o sin refuerzo, ha traído como consecuencia la interrogante si las losas reforzadas proporcionan un mejor comportamiento que aquellas que no lo están, así como ¿En que consiste un adecuado refuerzo?.

La presencia del refuerzo en la losa tendrá como consecuencia un mejor desempeño que aquellas losas que no se refuerzan, sin embargo, no debemos de olvidar que el refuerzo significa un costo adicional en la losa y para que este costo se justifique, el acero deberá diseñarse de acuerdo a la función que de éste se espere, así como colocarse de manera adecuada.

En la presente sección se muestran diversas consideraciones que deberán tomarse en cuenta para el refuerzo de losas, así como recomendaciones y ejemplos en la elección del acero, dependiendo desde luego de las propiedades geométricas de la losa y especificaciones alternas.

### **2.4.b Propósito del refuerzo**

La cantidad relativamente pequeña de refuerzo en una losa de concreto tiene la función de mantener juntas las caras de la fracturas o grietas, cuando éstas aparecen en la losa de concreto.

En los proyectos que se diseñen con espaciamientos normales de juntas (digamos menores a 4 ó 4.5 metros), el acero de refuerzo no es necesario al menos que se busque mantener muy bien cerradas las grietas. Convencionalmente losas de dimensiones normales o pequeñas lograrán controlarse.

Es importante que el diseñador tenga presente que al menos que se mantengan espaciamientos normales de juntas, el concreto sufrirá agrietamientos. Por lo tanto, es necesario brindar al propietario la seguridad que el desempeño del piso será adecuado con un mínimo mantenimiento, al mantener la grietas y los anchos de las grietas en lo mínimo.

## **2.5 Juntas**

Las grietas en los pisos, son a menudo causadas por la restricción a cambios volumétricos en una masa de concreto, creando esfuerzos de tensión. Cuando estos esfuerzos de tensión exceden la resistencia a la tensión propia del concreto, sucede entonces el agrietamiento. Existe la posibilidad de un agrietamiento en forma aleatoria del elemento, debido a las inevitables contracciones por enfriamiento y contracciones por secado, propiedades inherentes del concreto endurecido.

La aparición de agrietamiento aleatorio en el concreto debe de ser controlado y hay varias maneras efectivas de lograrlo. Como primera consideración tenemos

que minimizar los cambios volumétricos en el concreto endurecido y otras maneras de lograrlo incluyen la utilización de juntas, el uso de acero de refuerzo y el uso de fibras que ayuden a controlar el agrietamiento plástico. También pueden ser usado sistemas de postensado o concretos de contracción compensada para controlar la aparición de agrietamiento aleatorio.

Las juntas, le permiten al concreto un ligero movimiento, por lo cual, se reducen los esfuerzos por restricción, así como el alivio de esfuerzos, evitando de ésta manera el agrietamiento. Sin embargo, las juntas que cumplen una función más estética que las grietas, requieren de un sellado y de un posterior mantenimiento para controlar el despostillamiento en los bordes.

La planeación para el diseño y colocación de juntas de concreto es muy importante, proponiendo el tipo, número, ubicación y espaciamiento de las juntas, ya que de esta manera se logra una mejor estimación en los costos y reducción de errores durante la construcción.

Existen principalmente tres tipos de juntas dependiendo su función, ubicación y condiciones en obra. Los tres tipos de juntas comúnmente utilizados en los pisos de concreto son:

- \* Juntas de aislamiento.
- \* Juntas de contracción (longitudinal y transversal).
- \* Juntas de construcción (longitudinal y transversal).

### **2.5.a Tipos de Juntas**

Los tipos de juntas comúnmente utilizados en pisos industriales son:

1. Junta Transversal de Expansión/Aislamiento: Estas juntas son colocadas en donde se permita el movimiento de la losa sin dañar estructuras adyacentes (estructuras de drenaje, muros, etc.).
2. Junta Longitudinal de Contracción: Son las juntas longitudinales intermedias dentro del área o franja del piso que se esté colando y controlan el agrietamiento donde van a ser colados en una sola franja dos o más losas de concreto.
3. Juntas Transversales de Contracción: Son las juntas que son construidas transversalmente al sentido del colado y que son espaciadas para controlar el agrietamiento provocado por los efectos de las contracciones como por los cambios de temperatura y de humedad.
4. Junta Longitudinal de Construcción: Estas juntas unen losas adyacentes cuando van a ser coladas las franjas o áreas en tiempos diferentes.

La práctica común en las juntas de construcción es regresar posteriormente y realizar un corte a una profundidad de 1" (2.5 cms) para crear el depósito para el material de sello, ya que selladas las juntas de construcción mejorarán el nivel de servicio al circular por ellas, así como su apariencia.

En el caso de juntas de construcción de emergencia, es decir, en aquellas que no están alineadas como juntas de contracción y son necesarias por alguna

emergencia, en este caso se recomienda el uso de barras de amarre en vez de barras pasajuntas y éstas deberán ser diseñadas en su diámetro, longitud y separación dependiendo del espesor de la losa. Además se recomienda dejar continuo el acero de refuerzo. Es importante aclarar que esto aplica exclusivamente en los casos de juntas de construcción de emergencia y no en los casos en que las juntas de construcción trabajan y están alineadas como juntas de contracción.

## **2.6 Sellado de Juntas**

Se puede decir que básicamente hay 3 opciones para tratar las juntas en una losa de concreto soportada sobre el terreno, éstas pueden ser rellenadas, selladas o dejarse abiertas.

Sin embargo, en el caso de pisos industriales con constante repetición de montacargas con ruedas sólidas o en el mejor de los casos ruedas neumáticas, la opción de dejarlas abiertas definitivamente no aplica.

El relleno de las juntas, que podríamos describir como un sellado a toda la profundidad del corte es muy recomendable para todas las juntas expuestas al tráfico de ruedas sólidas. En el caso de un uso más ligero de tráfico, como el caso de ruedas neumáticas entonces se puede recomendar un sellado convencional, en donde no se sella a toda la profundidad del corte, gracias al empleo de un material de respaldo. La diferencia entre un relleno a toda profundidad y un sellado convencional radica en la dureza del material, ya que en los rellenos de las juntas se buscan selladores más rígidos que los convencionales para proveer soporte a los bordes de la junta, y así minimizar el despostillamiento de la misma.

Las juntas de contracción y construcción en áreas del piso expuestas a tráfico de ruedas sólidas, de uretano, nylon o acero podrán ser rellenas en su sellado a toda profundidad con un sellador epóxico semi-rígido o poliurea que provea soporte lateral a los bordes verticales de la junta cortada con disco. El material recomendado para estas aplicaciones tan rudas de tráfico deberá también tener una resistencia a la tensión de bajo rango y una muy buena adhesión al concreto para permitir los eventuales movimientos de la losa. El Instituto Americano del Concreto (ACI) recomienda el uso de material epóxico o poliurea con 100% de sólidos y una dureza shore A mínima de 80, de acuerdo a la prueba normada ASTM D 2240. Este material deberá ser instalado a toda la profundidad en la junta cortada con disco, sin backer rod ni arena sílica como respaldo.

En los pisos expuestos a tráfico peatonal y llantas neumáticas con baja presión de inflado, no es necesario el sellado de la junta a toda la profundidad y tratarse como un sellado convencional. Una especificación típica es la de sellar con sellador de poliuretano elastomérico con una dureza shore en un rango entre A35 y A50 instalado en los 13 mm (1/2") superficiales sobre una cintilla de respaldo.

Antes del sellado de juntas cortadas con disco, éstas deberán ser limpiadas para asegurar la adherencia entre el sellador y el concreto en las caras del corte. Parte de este proceso de preparar las juntas para el sellado es la remoción de cualquier desperdicio o polvos del proceso de corte o de la misma construcción, para lo cual se recomienda más hacerlo mediante aspirado con equipo especializado a soplear las juntas con un compresor de aire.

El sellado con productos epóxicos semi-rígidos deberá retardarse la mayor cantidad de tiempo posible para permitir que la junta abra por el efecto de la contracción por secado de la losa, lo que nos lleva a un mejor sellado y por ende a un mejor desempeño de la junta en operación. Para asegurar que el

sellador no se vaya a levantar con el paso del tráfico, la aplicación del sellador se deja un poco más arriba de la superficie de la losa, para posteriormente cortar los excesos de sellador con el empleo de una herramienta tipo espátula, dejando el sellador al mismo nivel de la superficie de concreto.

Se recomienda ampliamente sellar las juntas antes que el piso este sujeto al tráfico de ruedas duras, pequeñas o pesadas que puedan provocar despostillamientos de los bordes.



a) Colocación de cintilla de respaldo.

b) Aplicación con pistola sellador epóxico.

Figura 2.6-1 Procedimiento típico de sellado con la instalación de la cintilla de respaldo y del sellador epóxico semi-rígido.

Las juntas que aún tienen movimiento puede hacer que falle la extensibilidad del sellador y provocar que el sellador se separe de las caras del corte (lo que se conoce como falla por adhesión) o también fallar abriéndose el sellador sin separarse de las caras de la junta (falla de cohesión). Cuando esto ocurre, los huecos deberán ser rellenados con el mismo producto de sellado original o alguno compatible recomendado por el fabricante. Si la falla es tal que el sellado se siente suelto al simple tacto, éste deberá ser removido y vuelto a colocar.

Las juntas de aislamiento, las cuales están diseñadas para acomodar movimientos pueden ser selladas desprendiendo la parte superior del material y después llenando el hueco formado con material elastomérico. También se

pueden usar en este tipo de juntas materiales premoldeados que tienen un inserto removible que puede ser usado como depósito para el sellado posterior.

Cuando las recomendaciones antes descritas no se siguen y las juntas funcionan inadecuadamente, existe la posibilidad de presentarse despostillamientos en las caras de la junta o de aparecer agrietamiento aleatorio en la losa. Recordemos que el deterioro en juntas y sellado de grietas es la mayor parte de un programa de mantenimiento típico, por lo que todo esfuerzo hecho en la construcción inicial del piso, específicamente en juntas, será seguramente recompensado en el costo de mantenimiento del mismo.

## **2.7 Transferencia de Carga**

La transferencia de carga la podemos definir como la habilidad de la junta de transferir una parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta (figura 2.7-1) y el grado de transferencia se mide por lo que llamamos como “eficiencia de la junta”.

Una junta es 100 % efectiva si logra transferir la mitad de la carga aplicada al otro lado de la junta, logrando prácticamente iguales deflexiones en ambos lados de la junta, mientras que un 0% de efectividad significa que ninguna parte de la carga es transferida a través de la junta, por lo que solamente el lado cargado de la junta sufrirá la deflexión.

La importancia de la transferencia de carga radica en la reducción de esfuerzos y las deflexiones en la losa cerca del área de la junta, permitiendo una circulación más cómoda y con menor nivel de daño en la junta, en el vehículo o en la carga.

## **CONCRETO PARA PISOS INDUSTRIALES**

### **3. CONCRETO PARA PISOS INDUSTRIALES**

La función primordial de la mayoría de los pisos de concreto es la de brindar un adecuado soporte a la aplicación de cargas, incluyendo gente, vehículos y diversos objetos. En resumen, el concreto habitualmente sirve como superficie y una buena calidad del concreto es necesaria para soportar las cargas y resistir el uso para el que fue diseñado.

Los ingredientes y cómo todos éstos son combinados, así como las técnicas empleadas de colocación del concreto (procedimiento constructivo), generan efectos en la calidad y el funcionamiento del piso. De esta manera en el presente capítulo se mencionan propiedades importantes de cuidar del concreto, así como más adelante se detallan cuestiones de procedimiento constructivo o técnicas de acabado.

### **3.1 Propiedades en Estado Fresco y Endurecido**

Las propiedades del concreto en estado fresco afectan directamente tanto en la colocación del mismo como las características del concreto una vez endurecido. Para el caso de los pisos, el concreto endurecido debe ser capaz de soportar las cargas y resistir cierto nivel de desgaste. En ambos casos, la capacidad de soportar cargas y de resistencia al desgaste dependen de la resistencia del concreto.

#### **3.1.a Revenimiento**

El uso excesivo de agua empleada para conseguir revenimientos altos es una de las causas principales de un mal desempeño del piso. El agua en exceso provoca el sangrado del concreto, segregación de agregados e incrementa la contracción por secado. Si se espera tener un piso nivelado, de apariencia uniforme y resistente al desgaste, deberemos tener todos los camiones mas o menos uniformes de revenimiento, cumpliendo con la especificación requerida.

Revenimientos bajos (de 5 a 10 cms) se usan comúnmente para equipos mecánicos tales como reglas vibratorias, aunque no del todo para casos de pisos industriales en donde el proceso de acabado debe dejar una superficie muy plana y nivelada, en estos casos la recomendación común es un concreto de revenimiento máximo de 12 cms, a pesar que se tiene muy claro las ventajas de trabajar con el revenimiento más bajo posible.

#### **3.1.b Contenido de aire**

Usualmente el concreto para pisos no lleva inductor de aire. Sin embargo, pequeñas cantidades de inductor de aire en el concreto para pisos es útil para reducir el sangrado e incrementar la plasticidad. Un contenido total de aire (incluyendo tanto el aire aplicado como el ya incluido) deberá ser entre del 2% al 3%. Para el concreto expuesto a ciclos de congelamiento y descongelamiento la aplicación de aire deberá ser la mayor posible (entre el 5% y el 8% dependiendo del tamaño máximo de agregado).

Visto que el contenido de aire es bien aceptado para la durabilidad del concreto, existe entonces una razón para considerar una aplicación máxima: cuando los trabajos de acabado del piso incluyen el allanado con llanas de acero. Un contenido máximo de aire de un 3% se ha definido para disminuir la posibilidad de delaminación. Esto se da debido a que las llanas de acero pueden sellar la superficie y dejar atrapadas bolsas de aire debajo de ella, especialmente cuando se usan tratamientos superficiales monolíticos.

No se deberá usar inductor de aire cuando el concreto reciba una aplicación de endurecedor superficial.

Estos productos requieren cierta humedad en algunas partes de la superficie, para poder penetrar a través de ella y ejercer su función. Debido a que el inductor de aire desacelera el sangrado, la humedad necesaria quizá no se

encuentre presente en la losa, por lo que es muy probable que en la superficie endurecida se generen burbujas y delaminaciones.

### **3.1.c Sangrado**

En la colocación del concreto, el sangrado es el desarrollo de una capa de agua superficial producto del asentamiento de partículas sólidas (cemento y agregados) y la consecuente salida del agua hacia la superficie. El sangrado en ocasiones resulta normal y resulta ser un auxiliar en el control de la contracción plástica, pero un sangrado excesivo incrementa la relación agua/cemento cerca de la superficie, particularmente si los trabajos de acabado se llevan a cabo mientras el concreto sigue sangrando. Esto puede generar una superficie débil con una durabilidad pobre.

La cantidad de sangrado se incrementa con altos contenidos de agua iniciales en el concreto, así como con pisos de mayor espesor. Las siguientes reglas pueden ser aplicadas para reducir el sangrado:

- \* Buenas granulometrías de agregados.
- \* Cementos finos.
- \* Ciertos aditivos químicos.
- \* Inclisor de aire.

### **3.1.d Contracción**

El agrietamiento se puede producir por una combinación de factores tales como contracción por secado, contracción térmica, restricción (externa o interna), asentamiento de la subrasante y la aplicación de cargas. Realizando cortes en los pisos de concreto, se inducirán las grietas producto de la contracción en lugares discretos y con ello se controlará la aparición aleatoria de grietas.

Las grietas que aparecen antes del endurecimiento del concreto son usualmente el producto del acomodo de la masa de concreto o contracción de la superficie, causada por una rápida pérdida de agua cuando el concreto aún se encuentra en su estado plástico. Estas grietas son producto de una contracción plástica.

Mientras el concreto sigue su proceso de acomodamiento, las grietas pueden desarrollarse sobre miembros embebidos, tales como el acero de refuerzo. Estas grietas, resultan de una consolidación insuficiente (vibrado), revenimientos altos o la falta de un adecuado recubrimiento sobre los miembros embebidos en la masa de concreto.

Las grietas por contracción plástica son relativamente cortas, y pueden aparecer antes de que se concluyan los trabajos de acabado, en aquellos días cuando uno o más de los siguientes factores existen: viento, bajos niveles de humedad y altas temperaturas. En estas condiciones la humedad de la superficie se evapora más rápido que lo que puede ser sustituida por un ascenso de agua de sangrado a la superficie. Dando como resultado, que la parte superficial de la



losa se endurece más rápido que el fondo de la misma y por lo tanto, mientras se endurece se empieza a contraer más que el concreto del fondo, permitiendo que el agrietamiento plástico se desarrolle en la superficie. Frecuentemente las grietas por contracción plástica llegan a la mitad del espesor de la losa. Varían en longitud y usualmente están paralelas una a otra grieta, con separaciones de pocos centímetros, hasta 3 metros de distancia.

Usualmente las grietas que aparecen después del endurecimiento son el resultado de la contracción por secado, contracción térmica, o asentamiento de la subrasante. Después del endurecimiento, el concreto comienza a secarse y a contraerse como resultado de la liberación de humedad.

Para controlar la contracción y la ubicación de grietas, las juntas de contracción deberán ubicarse en intervalos regulares. La experiencia nos muestra que las juntas por contracción (grietas inducidas), deberán tener una distancia de separación de 20 a 24 veces el espesor de la losa, procurando no pasarnos de 4.5 metros. Esto equivale a intervalos de 4 a 4.8 m para losas de 20 cms de espesor. Si se añade acero de refuerzo a la losa y si la aparición de agrietamiento aleatorio es aceptable, se puede aumentar la separación de juntas.

El factor de mayor influencia en la contracción por secado del concreto es el contenido total de agua. A medida que el contenido de agua en el concreto aumenta, la cantidad de contracción aumentará proporcionalmente. Altos incrementos en el contenido de arena y reducciones significativas en el agregado grueso incrementará la contracción debido a que el contenido de agua se elevará y porque el tamaño más pequeño de agregado grueso disminuyen la resistencia interna a la contracción. El uso de agregados de alta contracción con aditivos de cloruro de calcio también incrementan la contracción.

La colocación de concreto en las temperaturas altas del mediodía producirá una contracción mientras el concreto se enfría durante la noche. Una caída de temperatura de 22°C entre el día y la noche podría generar una contracción de cerca de 0.8 mm en una losa de 3 m de longitud, suficiente para causar un agrietamiento si el concreto es restringido en su contracción.

El agrietamiento en las losas de concreto sobre el terreno con un espesor adecuado para el uso al que fueron diseñadas, se puede reducir significativamente o eliminar por completo siguiendo las siguientes recomendaciones:

\* Prepare adecuadamente la base de la losa, que incluya una compactación uniforme y un material adecuado para la sub- base con un contenido adecuado de humedad.

- \* Minimice el contenido de agua de la mezcla, maximizando el tamaño y cantidad de agregado grueso y usando agregados de baja contracción.
- \* Use la mínima cantidad de agua requerida en la mezcla, para la trabajabilidad, evite sobrepasar la consistencia de humedad.
- \* Evite el uso de aditivos con cloruro de calcio.
- \* Evite la rápida pérdida de humedad de la superficie mientras el concreto se encuentre en estado plástico a través de la aplicación de membranas de curado o protecciones de plástico para evitar las grietas por contracción plástica.
- \* Realice juntas de contracción (inducidas) a intervalos razonables, de 20 a 24 veces el espesor de la losa.
- \* Evite variaciones extremas de la temperatura.
- \* Para minimizar el agrietamiento con el uso barreras de vapor (o retardadoras de vapor), coloque una capa de al menos 10 cms de material granular, de baja humedad, compactable que pueda ser drenada con material fino. Si el concreto debe ser colocado directamente sobre una hoja de polietileno u otro retardante de vapor, use una mezcla con el menor contenido de agua posible.
- \* Coloque adecuadamente el concreto, logre su consolidación, su acabado y cúrelo.
- \* Considere el uso de fibras plásticas para controlar la aparición de grietas por contracción plástica.

Un diseño adecuado de mezcla y la selección de los materiales adecuados podrán reducir significativamente o eliminar por completo la aparición de grietas.

### **3.1.e Resistencia a la flexión por tensión**

Cuando una carga es aplicada a un piso industrial soportado sobre el terreno, está producirá esfuerzos en la losa de concreto. Los esfuerzos por compresión provocados por la carga en la losa son considerablemente menores que la resistencia a la compresión del concreto, sin embargo, no sucede lo mismo con los esfuerzos de flexión. La flexión es crítica ya que una parte de la losa al aplicar la carga se encuentra en tensión y la resistencia a la tensión del concreto es apenas una pequeña porción de la resistencia a la compresión.

Por esta razón, la resistencia a la flexión por tensión del concreto o módulo de ruptura (MR) será la resistencia del concreto a considerar en diseño de espesor de losas soportadas sobre el terreno, ya sean pavimentos exteriores o pisos industriales.

La resistencia a la flexión se determina a través de la prueba de módulo de ruptura (MR) de acuerdo con la norma ASTM C 78, "Resistencia a la Flexión del Concreto", en la que se aplica la carga a los tercios del claro en una viga de concreto, tal y como se muestra en la figura 3.1-1. Usualmente se aplica la resistencia a 28 días como la resistencia de diseño a emplear en el diseño del espesor, apesar de saber el concreto sigue ganando resistencia más allá de los 28 días.

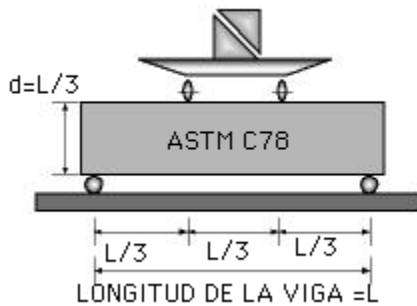


Figura 3.1-1 Croquis esquemático de prueba de resistencia a la flexión, ASTM C-78.

### 3.1.f Durabilidad

Afortunadamente hoy en día los lineamientos de durabilidad en la ingeniería son cada vez más comunes e importantes. Es muy cierto que lo básico es cumplir con ciertos requisitos del concreto digamos de aspecto estructural, por ejemplo, de resistencia mínima para el cálculo de espesor de la losa ante ciertas condiciones de carga, sin embargo, no debemos olvidarnos de evaluar en términos de durabilidad las condiciones específicas de uso del concreto.

El caso de pisos industriales no es la excepción, los concretos también pueden ser diseñados para condiciones extremas de durabilidad, por ejemplo, para soportar temperaturas bajas en cámaras de congelación en las que también van a circular montacargas con sus constantes repeticiones de ruedas sólidas sobre la superficie de concreto.

CEMEX Concretos ha desarrollado una herramienta de apoyo, llamada DURAMAXMR, en la que podemos considerar la influencia del ambiente natural, como de las condiciones de servicio (ataques de ácidos, condiciones climáticas, etc.) para el diseño de elementos de concreto. De esta herramienta de apoyo se desprenden una amplia gama de concretos diseñados para soportar las condiciones específicas de durabilidad requeridas.

### 3.2 Productos CEMEX Concretos para Pisos Industriales

CEMEX Concretos pone su disposición una serie de concretos específicamente diseñados para ser empleados en proyectos de pisos industriales. Los concretos de la familia PISOCRETMR son productos de CEMEX Concretos que ofrecen importantes ventajas en comparación con concretos convencionales que en el caso de proyectos de pisos industriales estas ventajas se traducen en beneficios

importantes tanto para el propietario y/o usuario del piso, como para el contratista responsable de la colocación del mismo.

### **3.2.a PISOCRET<sup>MR</sup> de baja contracción por secado**

Es un concreto diseñado para presentar una menor contracción que un concreto convencional mostrando un desempeño que la limita a 600 millonésimas a los 28 días de secado (ASTM C-157). El empleo de este concreto permite obtener tableros en donde se eliminan los tradicionales problemas de agrietamientos, reduciendo así los costos de mantenimiento y extendiendo la vida útil de la estructura.

### **3.2.b PISOCRET<sup>MR</sup> reforzado con fibras de baja contracción por secado**

Es un concreto que permite obtener pisos libres del agrietamiento que se origina por la contracción en estado plástico del concreto, en donde éste agrietamiento es derivado principalmente de las condiciones climáticas que favorecen la rápida evaporación del agua del concreto en momentos en los que los esfuerzos de tensión son superiores a los que el concreto en esa condición es capaz de soportar. Este concreto presenta, además de un comportamiento mecánico satisfactorio, una menor contracción por secado en estado endurecido limitada a 600 millonésimas a los 28 días de secado (ASTM C - 157).

### **3.2.c PISOCRET<sup>MR</sup> de contracción compensada**

Es el concreto diseñado específicamente para aplicación en pisos industriales que forma parte de un proceso “Producto-Sistema Constructivo” para ser aplicado en donde se requiera que el espaciamiento de las juntas de contracción sea de hasta 30 x 30 metros. Es un concreto de expansión controlada que permite compensar la contracción por secado del concreto permitiendo la construcción de grandes tableros.

Con el empleo de este concreto, además de los beneficios del mayor espaciamiento de las juntas por contracción, se obtiene una mayor durabilidad al estar libre de grietas de contracción por secado.

## **3.3 Servicios de CEMEX Concretos en Proyectos de Pisos Industriales**

En atención específica a los proyectos de pisos industriales, CEMEX Concretos a través del área de Pavimentos, pone a su disposición una serie de servicios adicionales a la venta de Concreto Profesional Premezclado, los cuáles deberán ser coordinados con su asesor comercial, para la disponibilidad y alcance de los mismos.

### **3.3.a Evaluación de condiciones ambientales**

Influencia de las condiciones ambientales al comportamiento del concreto en edades tempranas.

La contracción que algunas veces ocurre en la superficie del concreto fresco poco después de haber sido colado y cuando todavía está en estado plástico se llama “agrietamiento plástico”.

Estas grietas aparecen en su mayor parte en superficies horizontales como es el caso de losas soportadas sobre el terreno y pueden prácticamente eliminarse si se toman las medidas adecuadas para disminuir sus causas al mínimo.

El agrietamiento por contracción debido a la plasticidad se asocia usualmente a los colados hechos en tiempo caluroso, sin embargo, puede ocurrir en cualquier tiempo, cuando las circunstancias producen una rápida evaporación de la humedad de la superficie del concreto. Estas grietas pueden aparecer cuando la evaporación excede a la rapidez del agua para subir a la superficie del concreto.

Las siguientes condiciones ambientales, solas o combinadas, aumentan la evaporación de la humedad superficial y aumentan las posibilidades de la contracción plástica.

- 1.- La elevada temperatura del aire.
- 2.- La baja humedad.
- 3.- Vientos fuertes.

CEMEX Concretos pone a su disposición, una serie de estaciones ambientales que podrían ser instaladas en el sitio de los trabajos, con el objeto de verificar antes y durante el arranque de los proyectos, si las condiciones ambientales (viento, humedad relativa y temperatura) pudieran llegar a ocasionarnos problemas de esta naturaleza, así como dar recomendaciones para reducir la probabilidad de agrietamiento.

### **3.3.b Medición de números F**

El sistema de números F es el nuevo estándar del comité 117 del American Concrete Institute (ACI), para la especificación y medición de planicidad y nivelación de losas de concreto. Los números F sustituyen la especificación anteriormente usada de 3 mm de desnivel en una regla de 3 metros de largo que ha probado dar resultados irreales, además de ser prácticamente imposible de dar datos confiables.

El estándar de los números F incluye 2 números:  $F_f$  para la planicidad y el  $F_l$  para la nivelación de la losa.

La planicidad se refiere a la ondulación superficial de la losa, es decir, a las crestas y valles que encontramos en el perfil de la losa, mientras que la nivelación se refiere al grado de inclinación, es decir, a qué tan inclinada está la losa.

El concepto de los números F nació de la exigencia de fabricantes de montacargas robotizados por pisos más planos y de la inquietud de los

propietarios por tener áreas de almacén más pequeñas, lo que obligó a pasillos más angostos y anaqueles más altos, es decir, en pisos super planos.

Sin embargo, hoy en día no solo los propietarios de pisos super planos (Pisos con números  $F_f > 50$  y  $F_l > 50$ ) especifican valores de planicidad y nivelación, también lo hacen propietarios de pisos convencionales como centros de distribución, áreas de almacén comercial e industrial y en general todo piso con tráfico de montacargas, en donde el propietario quiere asegurarse de una manera confiable, de la calidad superficial de sus pisos.

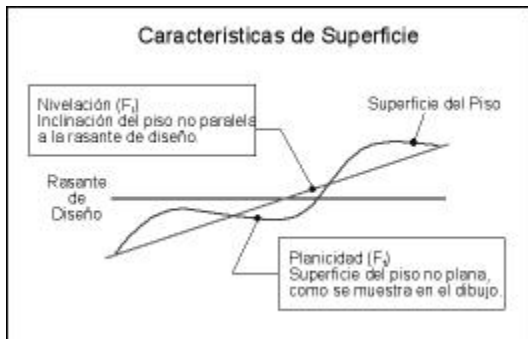


Figura 3.3-1 Conceptos de Planicidad ( $F_f$ ) y Nivelación ( $F_i$ ).

CEMEX Concretos, le ofrece el servicio de medición de números F para sus proyectos de piso industrial con los equipos y la tecnología creada para ello (norma ASTM 1155-96), ya sea durante la construcción del piso o durante la etapa de diseño en caso de no tener ningún valor de planicidad y nivelación especificado, ayudando a los propietarios a encontrar o especificar los valores de números F adecuados.

### 3.3.c Asesoría

Los Profesionales a su servicio

El equipo de expertos de CEMEX Concretos diseña y asesora a los constructores, propietarios y usuarios de pisos industriales en cualquiera de las etapas de su proyecto, de acuerdo a las necesidades específicas y con el fin de efficientar los recursos y garantizar la confortabilidad y seguridad del usuario. Para ello utilizan avanzados programas de computación y los conocimientos que permiten combinar la economía y los requerimientos técnicos, para ofrecer alternativas durables.

Además, cada proyecto tiene el respaldo y asesoría continua del personal experto del Centro de Tecnología Cemento y Concreto, número uno en Latinoamérica, para lograr obras de pisos industriales duraderas que cumplan con las especificaciones técnicas y económicas requeridas.



Figura 3.3-2 Medición de Planicidad con el aparato Dipstick.

## **4. INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL DISEÑO Y ESPECIFICACIÓN DE PISOS INDUSTRIALES**

### **4.1 Introducción**

Las empresas constructoras y los contratistas de pisos industriales buscan a menudo construir un piso industrial con el mejor nivel de especificaciones y la mejor tecnología disponible. Desgraciadamente rara vez cuentan con información suficiente para realizar adecuadamente esta función y se ven forzados a estimar cargas de diseño o hacer conjeturas sobre la función prevista de la losa.

La verdadera tecnología de punta reduce los costos del propietario sin sacrificar el funcionamiento del piso, pero es difícil lograrla sin antes recabar una cantidad substancial de información. La recolección de información comienza con el propietario, y probablemente también se requieran aportaciones del arquitecto, el ingeniero en estructuras, y el ingeniero responsable de la mecánica de suelos.

Por supuesto que dependiendo del tamaño del proyecto, estarán disponibles diferentes cantidades de datos numéricos, sin embargo, siempre se recomendará recopilar la mayor cantidad de información, incluyendo la información que puede no ser tan sencilla de cuantificar (ejemplo: las expectativas del propietario).

En las siguientes páginas, se presenta un listado de información necesaria para el diseño y especificación de proyectos de pisos industriales. El objetivo de este listado es el de recopilar información tanto cuantitativa como cualitativa, con lo que se busca obtener un mejor entendimiento de las expectativas del

propietario, reduciendo el número de conflictos que puedan presentarse después de que un piso industrial ha sido terminado.

#### **4.2 Usando el Listado de Información**

Una lista de información usada para desarrollar tanto el diseño como la especificación e incluso la construcción de pisos industriales puede ayudar a los contratistas a construir un piso completo que satisfaga las necesidades del propietario. Un beneficio similar resulta del uso de una lista de verificación previo a un colado: la lista proporciona un punto de partida para discutir los aspectos importantes del proyecto, hace que todas las partes piensen sobre los riesgos, los costos y las expectativas y lleguen a un consenso.

Con la experiencia se ha comprobado que el uso de una lista de verificación de la información necesaria, nos conduce a beneficios adicionales, como:

- \* Es una herramienta para educar a los propietarios alertándolos de los costos y de los riesgos asociados con las decisiones que ellos realizan al especificar un piso.
- \* Ayuda a los contratistas a entender mejor las expectativas y las percepciones del propietario para así poder sugerir los cambios necesarios tanto en el diseño como en las especificaciones.
- \* Incita a la exposición de las buenas y malas experiencias efectuadas durante la construcción de pisos con propietarios anteriores, ayuda a los contratistas a adentrarse en las preocupaciones más importantes del propietario con respecto al funcionamiento del piso.
- \* Promueve la discusión respecto a las compensaciones entre el costo inicial, el costo de mantenimiento, y el costo del ciclo de vida.

Cuando leas el listado de información anexo, notará varias áreas en las cuales se solicita información cualitativa o parcialmente cuantitativa, su discusión con los propietarios antes que el piso se construya puede ayudarte a entender mejor sus expectativas.

Es útil completar la lista de verificación de información con el propietario apoyándose en las minutas de las reuniones que se tuvieron que sostener para obtener la información recopilada. Se recomienda que cada parte conserve copia de las minutas, de manera que esto sirva como método de protección si el propietario cambia los requisitos acordados y después cree que las expectativas del piso no se cumplen.



## LISTA DE VERIFICACIÓN PARA DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES

Proyecto \_\_\_\_\_ Dirección \_\_\_\_\_  
 Ciudad \_\_\_\_\_  
 Propietario \_\_\_\_\_ Ingeniero \_\_\_\_\_  
 Contacto \_\_\_\_\_ Contacto \_\_\_\_\_  
 Tel. \_\_\_\_\_ Tel. \_\_\_\_\_  
 Fax \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_  
 e-mail \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

### Datos de la Construcción (Incluir planos o croquis arquitectónicos o estructurales)

Uso y función prevista del piso \_\_\_\_\_  
 Área total (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_ Área de piso industrial (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_ Área de oficinas (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_  
 Dimensiones de la construcción (mts) \_\_\_\_\_ Espaciamiento de columnas (mts) \_\_\_\_\_

### Expectativas del propietario

Experiencias anteriores con pisos industriales \_\_\_\_\_  
 Experiencias anteriores con mantenimiento \_\_\_\_\_  
 Lista de proyectos buenos \_\_\_\_\_  
 Lista de proyectos deficientes \_\_\_\_\_  
 Expectativa de vida de la losa, años \_\_\_\_\_  
 Nivel de mantenimiento anticipado (encierra uno)  Bajo  Moderado  Alto  
 Mantenimiento realizado por \_\_\_\_\_

### Requisitos del comportamiento

#### Requisitos de servicio (encierra todas las que apliquen)

Planicidad del piso,  $F_r$  25 30 35 40 45 50 Otro \_\_\_\_\_  
 Nivelado del piso,  $F_l$  15 20 25 30 35 40 Otro \_\_\_\_\_  
 Superficie acabada con llana Ligera Moderada Pulida \_\_\_\_\_  
 Endurecedor superficial No Mineral Metálico Otro \_\_\_\_\_  
 Variaciones aceptables de color \_\_\_\_\_  
 Desprendimientos Número máximo aceptable de desprendimientos por m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_  
 Reparaciones permitidas Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ Comentarios \_\_\_\_\_  
 ¿Alguna área de la losa tendrá un tipo de recubrimiento? Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_ si es afirmativo, incluir ficha técnica.

#### Requisitos de durabilidad (encierra el nivel de exposición adecuado)

Congelamiento - deshielo	Ninguno	Bajo	Moderado	Severo	Desconocido
Ataque por sulfatos	Ninguno	Bajo	Moderado	Severo	Desconocido
Reacción Alkali - sílice	Ninguno	Bajo	Moderado	Severo	Desconocido
Abrasión	Ninguno	Bajo	Moderado	Severo	Desconocido
Ataque químico	Ninguno	Bajo	Moderado	Severo	Desconocido

## Información de Diseño y Cargas

### Cargas de Ejes Vehiculares

Capacidad de Carga \_\_\_\_\_ kg No. Modelo \_\_\_\_\_  
 Peso del Vehículo \_\_\_\_\_ kg Rueda  Sólidas  Neum.  
 Eje:  Rueda sencilla  R. dual Ancho de Rueda \_\_\_\_\_ cm  
 Espacio Ruedas S \_\_\_\_\_ cm o presión \_\_\_\_\_ psi  
 Espacio Ruedas dobles  $S_d$  \_\_\_\_\_ cm Área contacto rueda cm<sup>2</sup>

Eje de Carga

Espaciamiento entre Ruedas

$S_d$        $S$        $S_d$

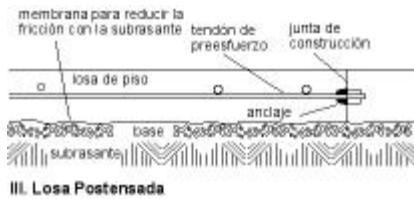
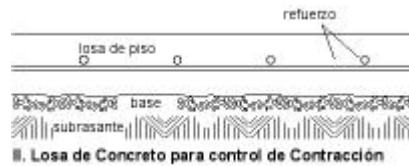
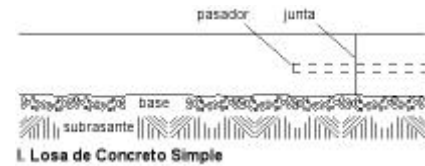
### Montacargas 1



## Otra Información de Cargas

Altura de Postes en Racks (mts)	_____					
Repeticiones Diarias Esperadas del Montacargas:	_____					
25	50	75	100	200	Otras	_____
Información adicional:						
_____						
_____						
_____						

## Opciones de Diseño de Losas



## Información del Suelo

¿Está disponible el estudio de mecánica de suelo?  
 Si \_\_\_ No \_\_\_ Si es afirmativo, anexoarlo

¿Se realizó prueba de placa en el terreno natural?  
 Si \_\_\_ No \_\_\_ Si es afirmativo, indique el valor encontrado del módulo de reacción k (pcj) \_\_\_\_\_

¿Se conoce el valor relativo de soporte (VRS) del terreno natural?  
 Si \_\_\_ No \_\_\_ Si es afirmativo, indique el valor encontrado del VRS (%) \_\_\_\_\_

¿Se conoce la clasificación SUCS del suelo del terreno natural?  
 Si \_\_\_ No \_\_\_ Si es afirmativo, indique el tipo de suelo o clasificación SUCS: \_\_\_\_\_

Describe la estructura completa de soporte de la losa de concreto:

Terreno natural mejorado	_____ cms	Comentarios	_____
Capa de sub- base	_____ cms	Comentarios	_____
Capa de base	_____ cms	Comentarios	_____

Ingeniero responsable de la mecánica de suelos: \_\_\_\_\_

Nombre del contacto \_\_\_\_\_ Tel \_\_\_\_\_

Fax \_\_\_\_\_ e-mail \_\_\_\_\_

## Juntas de Construcción, de Control y de Aislamiento

### Juntas de Construcción

¿Se tiene especificada la distribución y ubicación de juntas?  
No \_\_\_\_\_ Si \_\_\_\_\_

¿La junta de construcción es cortada con disco o sellada?  
No \_\_\_\_\_ Si \_\_\_\_\_

Señale un sistema de transferencia de carga a emplear

\_\_\_\_\_ Ninguna (juntas a tope).  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas redondos.  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas cuadrados con material aislante en los lados.  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas de diamante.  
\_\_\_\_\_ Otros (describalos) \_\_\_\_\_

### Juntas de Contracción

Espaciamiento máximo entre Juntas: 4.5 mts. \_\_\_\_\_ a media columna \_\_\_\_\_ en columna \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

La junta se hace con \_\_\_\_\_ Cortadora \_\_\_\_\_ Insertada \_\_\_\_\_ Herramienta \_\_\_\_\_

Profundidad de juntas \_\_\_\_\_ 1/3 de la losa \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

Ancho nominal de las juntas \_\_\_\_\_ 3 mm (1/8") \_\_\_\_\_ 6 mm (1/4") \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

Las juntas serán selladas a toda la profundidad del corte (relleno) Si \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Qué producto prefiere para sellar las juntas? \_\_\_\_\_

¿Cuánto tiempo después de la instalación de la losa podrán sellarse las juntas? (semanas) 1 \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ 16 \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

Señale un sistema de transferencia de carga a emplear

\_\_\_\_\_ Ninguno (solamente trabazón de agregados)  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas redondos.  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas cuadrados con material aislante en los lados.  
\_\_\_\_\_ Pasajuntas de diamante  
\_\_\_\_\_ Refuerzo, con el 50% (de las varillas) interrumpido en las juntas.  
\_\_\_\_\_ Otros (describalos) \_\_\_\_\_

### Juntas de Aislamiento

¿Qué material aislante de penetración total prefiere en las juntas?  
Hoja de polietileno \_\_\_\_\_ Celotex \_\_\_\_\_ Espuma \_\_\_\_\_ Bituminosos \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

Espesor del material aislante \_\_\_\_\_

Menos de 3 mm (1/8") \_\_\_\_\_ 6 mm (1/4") \_\_\_\_\_ 1.27 cm (1/2") \_\_\_\_\_ 2.54 (1") \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

### Cargas de Construcción

¿Qué cargas de construcción serán aplicadas? (verificar todas las que apliquen)

Camiones de concreto \_\_\_\_\_ Grúa (anote el peso) \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

¿Cómo se protegerán las juntas sin sellar durante la construcción? \_\_\_\_\_

### Tratamiento de Grietas y Alabeo

#### Expectativas de agrietamiento debido a contracción por secado

Losas con grietas (expectativas) Porcentaje de Losas 0 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

¿Le preocupa el ancho de las grietas? Si No ¿Ancho de la grieta máximo sin necesidad de reparar? \_\_\_\_\_

Si el ancho de la grieta excede lo indicado arriba, ¿Qué procedimientos de reparación prefiere?

a) Cortar con disco y sellar b) Sellador penetrante c) Inyección epóxica

#### Control de grietas debido a contracción por secado

Método preferido para limitar el movimiento de las grietas debidas a contracción por secado que pueden ocurrir entre juntas:

\_\_\_\_\_ Ninguno.  
\_\_\_\_\_ Varillas corrugadas: 1 Capa \_\_\_\_\_ 2 Capas \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Malla electrosoldada: 1 Capa \_\_\_\_\_ 2 Capas \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Cantidad de acero: 0.15% \_\_\_\_\_ 0.30% \_\_\_\_\_ 0.50% \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Cables postensados: Diámetro \_\_\_\_\_ Espaciamiento \_\_\_\_\_ Resistencia \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Fibras de acero: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Otro: describir \_\_\_\_\_

#### Control de grietas debido a contracción por plástica

Método preferido para limitar las grietas por contracción plástica

\_\_\_\_\_ Ninguno.  
\_\_\_\_\_ Retardante de evaporación.  
\_\_\_\_\_ Fibras sintéticas.  
\_\_\_\_\_ Otro: describir \_\_\_\_\_

## Control del alabeo

Método preferido para limitar el alabeo

\_\_\_\_\_ Ninguno.  
\_\_\_\_\_ Refuerzo.  
\_\_\_\_\_ Fibras de acero.  
\_\_\_\_\_ Postensado: Diámetro \_\_\_\_\_ Espaciamiento \_\_\_\_\_ Resistencia \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Concreto de contracción compensada.  
\_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

### Colocación de la barrera de vapor (o retardante de vapor)

¿Se usará losa retardante/ barrera de vapor bajo la losa? Si No  
¿Localización preferida? Directamente bajo la losa \_\_\_\_\_ Bajo la losa \_\_\_\_\_ Otro \_\_\_\_\_

## Condiciones de trabajo esperadas durante la colocación de la losa

Fecha programada para el inicio \_\_\_\_\_ Fecha programada para la terminación \_\_\_\_\_  
¿Desde el inicio de los colados se tendrán terminados los muros y el techo? Si No  
¿Estará durante los colados impermeabilizado el techo? Si No  
Humedad relativa prevista Durante los colados % Estructura terminada %  
Temperatura prevista Durante los colados °C Estructura terminada °C

## 5. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA

Muchas variables determinan directa o indirectamente los requerimientos de espesor para losas de concreto. Incluir todas ellas en un solo método de diseño sería excesivo y complejo por lo que podría llevar a una sobre confianza en el diseño como forma de garantizar un buen desempeño del piso. Algunas veces la deficiencia en la mano de obra en lugar de un mal diseño o especificación son las causas de un mal comportamiento de los pisos. Dado que la parte superficial de un piso es la que evalúa el usuario, normalmente se pone mayor atención a la construcción de la parte superficial de la losa que al diseño del espesor de la losa.

Sin embargo, por razones de diseño estructural se debe escoger un espesor de losa. Basado en extensos estudios y muchas prácticas de laboratorio, el método de la Asociación del Cemento Portland para losas de concreto sobre el terreno está bien establecido y aceptado a nivel mundial. Las gráficas mostradas en el presente capítulo ofrecen una manera rápida de determinar el espesor adecuado para ciertas condiciones de carga.

Las losas de concreto simple (sin acero de refuerzo) ofrecen ventaja de económica y de facilidad de construcción. Reconociendo la similitud obvia y las diferencias entre un pavimento sin acero de refuerzo y una losa de concreto simple, la teoría de método de diseño de pavimentos fue reducida para utilizar tablas de diseño para losas de concreto simple. Este método de diseño es aplicable tanto para losas de almacenamiento a la intemperie o en el interior de las naves.

Al igual que en el método de diseño de pavimentos exteriores de la Asociación del Cemento Portland (PCA), los factores que se requieren para el diseño del espesor de losa incluyen:

- \* Capacidad portante de la subrasante y la sub-base.
- \* Resistencia del concreto.
- \* Ubicación y Frecuencia de cargas impuestas.

\* Magnitud de las cargas, incluyendo las de construcción.

Existen dos propiedades del concreto que para efectos del método de diseño de la PCA se mantienen fijas o constantes, sabiendo de antemano que ambas propiedades tienen poca influencia en el diseño del espesor de la losa. Los valores que se usaron para desarrollar las gráficas de diseño son módulo de elasticidad  $E = 281,227 \text{ kg/cm}^2$  ( $4,000,000 \text{ psi}$ ) y módulo de Poisson  $\mu = 0.15$

### **5.1 Objetivos del Diseño**

El exceso de cargas puede provocar diversos tipos de fallas, por ejemplo, grietas por esfuerzos de flexión excesivos, deflexiones excesivas, asentamientos por exceso de presión al suelo, y para el caso de cargas altamente concentradas, las fallas o grietas pueden ser provocadas por esfuerzos de cortante excesivos.

La estrategia del diseño de pisos es mantener todos estos factores dentro de los límites de seguridad. Sin embargo, el factor más crítico de éstos, es decir, la consideración que rige el diseño es diferente dependiendo del área de contacto de la carga como se muestra en la figura 5.1-1, por ejemplo, en casos normales los esfuerzos de flexión son la consideración de diseño crítica para montacargas, mientras que para cargas distribuidas cubriendo áreas muy grandes de almacenamiento, el esfuerzo por flexión debajo de la carga no es tan crítico como otras. Momentos negativos (esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa) lejos de la carga pueden causar grietas en los pasillos, o la carga puede ocasionar que las juntas fallen como resultado de asentamientos diferenciales. También, presiones excesivas en el suelo debido a cargas distribuidas pueden resultar en asentamientos inaceptables de algunos suelos.

El área de contacto es crítica para el caso de cargas fuertes en los postes de las estructuras de almacenamiento o racks. Si el plato o base de los postes es muy pequeño, la falla de la losa debido a carga excesiva o esfuerzos cortantes es de mayor preocupación que otras cargas. Cuando la base del plato es lo suficientemente grande para prevenir fallas de carga o corte, el esfuerzo por flexión se vuelve la consideración de diseño a controlar.

No está por demás mencionar que la figura 5.1-1 se presenta exclusivamente como guía, ya que obviamente las fronteras entre las diferentes consideraciones de diseño a controlar no son exactas y varían de alguna manera dependiendo de muchos factores, incluyendo el espesor de la losa, resistencia del concreto y la capacidad de soporte de la base.



Figura 5.1-1 Consideraciones de diseño críticas en función del tamaño del área de contacto de la carga.

Los efectos de carga y las consideraciones de diseño a controlar son también mencionadas en los siguientes temas, cargas de vehículos, en racks y carga distribuida.

## 5.2 Esfuerzos de Flexión y Factores de Seguridad

La flexión es un criterio admisible para el diseño de pisos debido a que se relaciona directamente el comportamiento estructural global del piso bajo cierta condición de carga. Esta resistencia a la flexión también se le conoce como el módulo de ruptura y se abrevia MR, mientras que la resistencia a compresión se refiere directamente al comportamiento del material, es decir, únicamente al concreto. Es de todos conocido que la resistencia a la flexión es proporcional a la resistencia a la compresión y mientras más grande sea la resistencia a la compresión, mayor también será la resistencia a la flexión y a pesar que existen correlaciones entre una y otra siempre será más recomendable el hacer pruebas de laboratorio para tener la mayor confiabilidad.

Uno de los pasos preliminares en el diseño de espesores de losa es determinar los esfuerzos de flexión que el concreto puede soportar, es decir, los esfuerzos de flexión permisibles. El esfuerzo permitido de trabajo se determina dividiendo la resistencia a la flexión del concreto entre un apropiado factor de seguridad.

La carga sobre un piso de concreto inducirá esfuerzos en él y el trabajo del diseñador es mantener ese esfuerzo debajo del permitido por el concreto y su espesor. Los factores de seguridad para cargas de vehículos han sido determinados por experiencias obtenidas en el desempeño de los pavimentos y consideran la influencia del número de repeticiones de carga, esfuerzos por contracción e impactos.

Los factores de seguridad apropiados para cargas estáticas, ya sean concentradas o distribuidas, no están bien establecidos por falta de experiencia o investigación. El diseñador debe de tomar precauciones para ciertas consideraciones de diseño y requerimientos especiales de desempeño y determinar las características de desempeño de la losa bajo condiciones similares de carga.

Los esfuerzos en las losas para las condiciones de carga de vehículos y carga de poste se determinaron mediante el uso de programas computacionales con sus modificaciones apropiadas en las áreas de contacto (Packard 1967). Los esfuerzos de flexión indicadas en las gráficas de diseño son los esfuerzos en el interior de la losa, asumiendo que la carga es aplicada a cierta distancia de cualquier borde libre. Para cargas aplicadas cerca o en los bordes de la losa los esfuerzos de flexión calculados serán de un 50 a 60% mayores que los calculados para posiciones de carga en el interior de la losa. Cuando se presenta la transferencia de carga a través de la junta ( tanto con pasajuntas como con trabazón de agregados), los esfuerzos de flexión en el borde disminuyen, sin embargo, esta disminución depende de la eficiencia obtenida en la transferencia de carga.

Debido a que el esfuerzo por flexión es 50% a 60% mayor en los bordes de la losa sin una adecuada transferencia de carga, el espesor de la losa se debe de incrementar en los casos de juntas sin pasajuntas, aunque las juntas estén en la parte interna o en la periferia de la losa. El aumentar el espesor de la losa compensa la falta de transferencia de carga y mantienen los esfuerzos por flexión en los bordes dentro de límites seguros.

Las gráficas de diseño de espesores de losa presentadas en este capítulo, fueron desarrolladas para cargas localizadas en el interior de la losa. Sin embargo, las mismas gráficas pueden ser usadas para condiciones de carga dinámicas con juntas sin la adecuada eficiencia de transferencia de carga. Los efectos de esfuerzos de borde se consideran ajustando el esfuerzo permisible de trabajo usando un apropiado factor de juntas considerando los altos esfuerzos de flexión en los bordes. Por ejemplo, para un módulo de ruptura de 39 kg/cm<sup>2</sup> (560 psi), usando un factor de seguridad (FS) de 2.2 para las cargas localizadas en el interior provee esfuerzos de trabajo de 18 kg/cm<sup>2</sup> (255 psi). Para cargas en los bordes, el factor de seguridad es ajustado por un factor de junta de 1.6 (60% más alto que para la condición de carga interior) para considerar el esfuerzo de flexión más grande del concreto, es decir, en el borde. De esta manera el esfuerzo permisible de trabajo es más bajo:  $39/(2.2 * 1.6) = 11 \text{ kg/cm}^2$  [560/(2.2 \* 1.6) = 160 psi].

Cuando la transferencia de cargas en las juntas ( y así la transferencia de esfuerzos) puede ser asegurada- por ejemplo, por una buena trabazón de agregados o por pasajuntas - el ajuste del esfuerzo de trabajo por cargas frecuentes no es grande. Sin embargo, el diseñador deberá tener cuidado al



saber que las grietas formadas en las juntas de control por la contracción del concreto, pueden llegar a ser lo suficientemente anchas para perder la transferencia de carga por trabazón de agregados.

La eficiencia de transferencia de carga lograda únicamente por la trabazón de agregados decrece significativamente conforme la grieta se abre con el tiempo. El ancho de la grieta depende de la cantidad de contracción de la losa y del espaciamiento de juntas. De acuerdo al estudio de Colley y Humphrey de 1967, el ancho de las grietas máximo para garantizar la efectividad de transferencia de carga por trabazón de agregados será de 0.89 mm (0.035 pulgadas), aunque para losas de espesores fuertes, la trabazón de agregados se mantiene efectiva aún con mayor abertura de las grietas.

### 5.3 Cargas de Vehículos

El procedimiento de diseño para cargas de vehículos involucra la determinación de los siguientes factores específicos de diseño:

- \* Carga de eje máxima.
- \* Número de repeticiones de carga.
- \* Área de contacto de la llanta.
- \* Espaciamiento de ruedas del eje más pesado.
- \* Resistencia de la subrasante.
- \* Resistencia de flexión del concreto MR.
- \* Factor de seguridad.
- \* Transferencia de carga en las juntas.



Figura 5.3-1 Diversos tipos de cargas vehiculares aplicadas sobre el piso.

En los casos con largas separaciones de juntas, digamos juntas separadas a más de 4 ó 4.5 metros, el uso de barras pasajuntas en las juntas de contracción es muy recomendado, debido a que la transferencia de carga por trabazón de agregados no resultará efectiva al tener una junta o grieta que abra demasiado. Para los casos de separaciones de juntas pequeñas, como de 3 metros pueden proveer una buena transferencia de carga si la junta o grieta no abre demasiado.

Si no se desea proveer transferencia de carga se puede incrementar el espesor de la losa en el área de la junta para mejorar su desempeño bajo la aplicación de la carga. Normalmente se recomienda incrementar el espesor un 20%, sin

embargo, esta práctica que era común en el pasado ya no lo es en la actualidad por lo complicado que esto resulta en la construcción.

El diseño del piso requiere que el tráfico sea estimado de forma correcta, incluyendo la siguiente información:

- \* Magnitudes de las Cargas.
- \* Frecuencias.
- \* Configuraciones de los ejes de los vehículos que circularían en el piso.

La magnitud de las cargas cuantifica la fuerza actuante sobre el piso, mientras que la frecuencia se refiere al número de veces que una magnitud de carga dada es aplicada al concreto. La falla provocada por la repetición de carga se le conoce como fatiga y también se manifiesta con agrietamiento. Adicionalmente la geometría de las llantas en los ejes afectan en la manera en que los esfuerzos son aplicados a la losa.

Los datos de tráfico y cargas necesarios para el diseño del piso industrial de cierta nave pueden conseguirse de varias fuentes, por ejemplo, de otra nave o planta ya en operación, del departamento de mantenimiento, de ingeniería, operación y planeación, así como de las hojas técnicas de los fabricantes de los vehículos. Basados en esta información, un adecuado factor de seguridad puede ser seleccionado para determinar los esfuerzos de trabajo permisibles.



Figura 5.3-2 Gráfica de la separación de ruedas en el eje cargado e ilustración del área de las llantas en contacto directo con el piso (área de contacto).

Para pisos, el factor de seguridad es la relación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura) entre el esfuerzo de trabajo a flexión, lo que puede entenderse como la capacidad total admisible que pueda ocurrir antes de la falla, con la resistencia utilizada. El inverso del factor de seguridad (esfuerzo de trabajo dividido entre la resistencia a la flexión) se conoce como relación de esfuerzos y en estudios de fatiga, los valores de la relación de esfuerzos influyen en el número de repeticiones de carga permisibles.

Mientras la relación de esfuerzos se mantenga por debajo de 0.45, el concreto puede resistir un número ilimitado de repeticiones de carga sin presentar agrietamiento por fatiga (una relación de esfuerzos de 0.45 es equivalente a un factor de seguridad de 2.2). Para relaciones de esfuerzo mayores de 0.45 (factor de seguridad menor que 2.2), la tabla 5.3-1 presenta el número máximo de

repeticiones de carga que puede ser permitido sin causar agrietamiento por fatiga.

El factor de seguridad o su correspondiente relación de esfuerzo depende de la frecuencia de tráfico del montacargas más pesado. Un factor de seguridad de 2.2 puede ser usado para todas las áreas del piso y en el caso de áreas muy grandes de piso puede resultar más económico el emplear diferentes factores de seguridad.

La recomendación de la Asociación de Cemento Portland en materia de factores de seguridad es la siguiente:

- \* Pisos o áreas con un gran número de repeticiones esperadas de montacargas, se recomienda diseñarlos con un factor de seguridad alto ( de 2.0 o superior) .
- \* En otras áreas en donde se espere menor tráfico de montacargas se puede emplear un factor de seguridad entre 1.7 y 2.0.
- \* En áreas no críticas, como áreas de almacenamiento sin un constante tráfico de montacargas, el factor de seguridad podrá ser de 1.4 a 1.7.

Esta flexibilidad en el diseño puede en ocasiones tener ventajas económicas al permitir áreas de menor espesor o el uso de concretos de menor resistencia, sin embargo, habrá también que considerar que este tipo de decisiones puede limitar el futuro uso del piso y posibles ampliaciones al proyecto.

Debido a la gran variación de tamaños, cargas de ejes y espaciamiento de las llantas de los montacargas, no es práctico proveer de gráficas de diseño para cada vehículo en específico. Por consiguiente, dos gráficas de diseño, figuras 5.3-3 y 5.3-4, fueron preparadas y pueden ser usadas para configuraciones de carga y de ejes de la mayoría de los montacargas industriales que afectan el diseño de los pisos.

Las gráficas de diseño de espesores se presentan en su formato original y en las unidades en las que fueron desarrolladas, por lo que en su caso deben ser convertidas las unidades métricas a libras - pulgada antes de proceder al diseño de espesores por este método.

La figura 5.3-3 se emplea para montacargas equipados con ejes sencillos, es decir, ejes con una sola rueda de cada lado del eje, se entra a la gráfica con un esfuerzo de trabajo permisible por cada 1000 libras de carga en el eje. Este esfuerzo de trabajo permisible es calculado por la división de la resistencia a la flexión del concreto entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga del eje en kips (1 kips=1000 lb). El factor de seguridad es obtenido por consideraciones de la relación de esfuerzos y las repeticiones de cargas, como provee la tabla 5.3-1

Para el caso de ejes dual, es decir, ejes equipados con doble llanta, las figuras 5.3-3 y 5.3-4 son usadas para determinar el espesor de la losa del piso. Primero, se usa la figura 5.3-4 para convertir la carga del eje dual a un a carga equivalente de eje sencillo (el eje cargado es multiplicado por el factor F). Después, con la carga equivalente, se usa la figura 5.3-3 para determinar los esfuerzos de flexión en la losa.

Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles
<0.45	ilimitadas	0.73	832
0.45	62,790,761	0.74	630
0.46	14,335,236	0.75	477
0.47	5,202,474	0.76	361
0.48	2,402,754	0.77	274
0.49	1,286,914	0.78	207
0.50	762,043	0.79	157
0.51	485,184	0.80	119
0.52	326,334	0.81	90
0.53	229,127	0.82	68
0.54	166,533	0.83	52
0.55	124,523	0.84	39
0.56	94,065	0.85	30
0.57	71,229	0.86	22
0.58	53,937	0.87	17
0.59	40,842	0.88	13
0.60	30,927	0.89	10
0.61	23,419	0.90	7
0.62	17,733	0.91	6
0.63	13,428	0.92	4
0.64	10,168	0.93	3
0.65	7,700	0.94	2
0.66	5,830	0.95	2
0.67	4,415	0.96	1
0.68	3,343	0.97	1
0.69	2,532	0.98	1
0.70	1,917	0.99	1
0.71	1,452	1.00	0
0.72	1,099	>1.00	0

Tabla 5.3-1 Relaciones de esfuerzo contra repeticiones de carga permitidas<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Fuente: "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements", Portland Cement Association, 1984.

El área de contacto de la carga se refiere al área de una llanta en contacto directo con la losa, sin importar el diseño o huella de la llanta. Si los datos de la llanta no se conocen, el área de contacto puede ser estimada para el caso de llantas neumáticas dividiendo la carga de la llanta entre la presión de inflado y en el caso de ruedas sólidas, el área de contacto puede ser mas o menos estimada multiplicando el ancho de la llanta (en pulgadas) por 3 ó 4.

Cuando el área de contacto de la llanta fue determinada, se usa la figura 5.3-5 para encontrar el área efectiva de contacto a usar en las gráficas de diseño. Esta corrección se hace porque los esfuerzos en las losas provocados por pequeñas áreas de contacto son sobre estimados cuando se calculan por las teorías convencionales. Las bases para este ajuste fueron dadas por la teoría de Westergaard en 1925 (estos mismos ajustes son usados para cargas en postes discutidos más adelante).

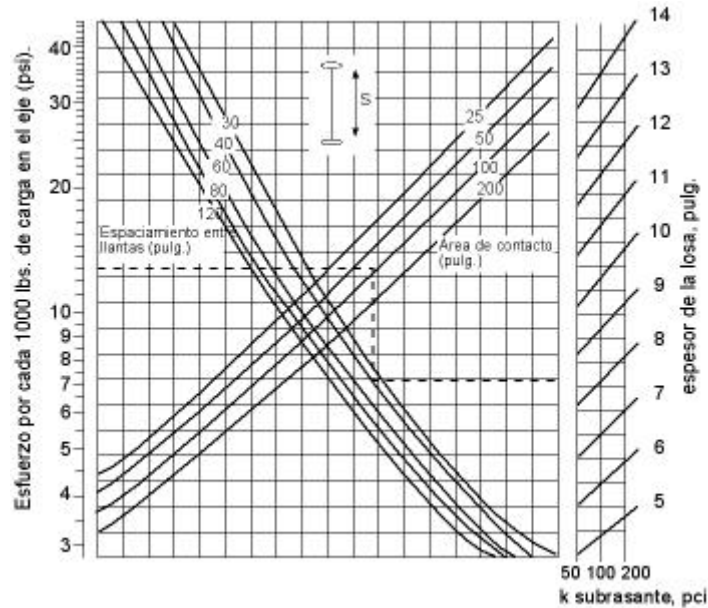


Figura 5.3-3 Gráfica de diseño para ejes sencillos.

En el uso de la figura 5.3-4 es necesario suponer un espesor inicial de losa; esto es un proceso de prueba y error que se debe comprobar al final con el diseño de espesor requerido. El grado de corrección se incrementa a medida que el área de contacto llega a ser muy pequeña y el espesor de la losa incrementa.

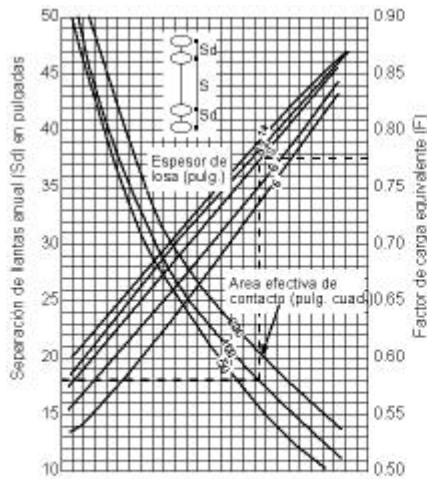


Figura 5.3-4 Gráfica de diseño para ejes dual.

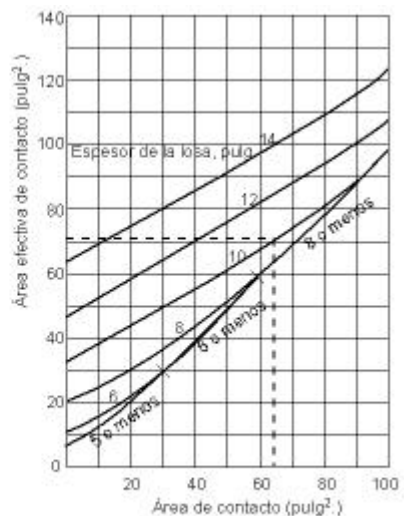


Figura 5.3-5 Área efectiva de contacto en función del espesor de la losa.

### Ejemplo de Diseño 1

Montacargas de eje sencillo.

Datos del montacargas

Eje cargado: 11.3 Tons (25 kips)

Espaciamiento de llantas: 94 cm (37 pulg.)

Número de llantas por eje: 2

Presión de inflado de la llanta: 0.76 Mpa (110 psi)

$$\begin{aligned} \text{Área de contacto} &= \text{cargas en una llanta} / \text{presión de inflado} \\ &= \frac{25000/2}{110} = 114 \text{ pulg}^2 \end{aligned}$$

### **Datos de la subrasante y concreto**

Modulo de reacción k de la subrasante: 100 pci

Resistencia a la flexión del concreto (MR): 44 kg/cm<sup>2</sup> (640 psi) a 28 días

### **Pasos de diseño**

(convertir todos los valores métricos a valores en libras - pulgadas antes de continuar).

#### 1.- Factor de Seguridad (FS):

Seleccionar el factor de seguridad definiendo el diseñador el criterio de acuerdo a la estimación de repeticiones o intensidad de tráfico esperado. Selecciones un factor de seguridad de 2.2 para un número ilimitado de repeticiones.

#### 2.- Factor de Junta (FJ):

Para el diseño basado en cargas en el interior de la losa el factor de junta a emplear será de 1.0, sin embargo, para cargas frecuentes cruzando juntas sin sistemas de transferencia de carga, el factor de junta recomendado será de 1.6. Este valor es usado porque el espaciamiento de las juntas en el piso está relativamente en el límite mayor, es decir, de 4.50 metros.

#### 3.- Esfuerzo de trabajo del Concreto:

$$WS = (MR / FS * FJ) = (640 / 2.2 * 1.6) = 182 \text{ psi}$$

#### 4.- Esfuerzos en losa por cada 1000 lb de carga en el eje:

$$= (WS / \text{carga en el eje, kips}) = (182 / 25) = 7.3 \text{ psi}$$

5.- Entre por el eje de la parte izquierda de la figura 5.3-3 con un esfuerzo de 7.3 psi y muévase a la derecha para el área de contacto de 114 pulgadas<sup>2</sup>. Desde ese punto, desplácese hacia arriba para el espaciamiento de llantas de 37 pulgadas. Desde ahí, muévase horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa de 11.2 pulgadas, sobre la línea para subrasante con módulo de reacción k = 100 pci y use 11 1/4 pulgadas ( 29 cms) como espesor de la losa.

Si el uso de áreas mas bajas es identificable ( instalaciones largas), cambie los factores de seguridad desde la tabla 5.3-1 por los números estimados de repeticiones de cargas. Esto puede resultar en un espesor de piso reducido para otras áreas.

## Ejemplo de Diseño 2

Montacargas de eje dual.

Datos del montacargas:

Eje cargado: 22.7 Tons (50 kips)

Separación dual de llantas: 46 cm (18 pulg.)

Separación de llantas: 101.5 cm (40 pulg.)

Número de llantas por eje: 4

Presión de inflado de llantas: 0.86 Mpa (125 psi)

Área de contacto = Carga por llanta / presión de inflado

$50000 / 4$

$= \frac{\text{-----}}{125} = 100 \text{ pulg}^2$

125

Esta área de contacto es lo suficientemente grande como para no emplear la corrección de la figura 5.3-5

### Datos de la subrasante y concreto

Módulo de reacción k de la subrasante: 100 pci

Resistencia a la flexión del concreto (MR): 44 kg/cm<sup>2</sup> (640 psi) a 28 días

### Pasos del diseño

1.- Factor de Seguridad:

Se sabe que el montacargas no circulará frecuentemente a su máxima capacidad de carga, solamente una o dos veces a la semana para un piso diseñado para una vida útil de 40 años, por lo que se espera una total de 4000 repeticiones de carga y de acuerdo al criterio presentado en la tabla 5.3-1, para ese rango de repeticiones encontramos una relación de esfuerzos permisible de 0.67, lo que nos da un factor de seguridad de 1.5.

2.- Factor de Juntas:

Anticipando una separación de juntas de 3.5 metros por hacer coincidir exactamente con 1/3 de la separación de columnas, el factor de junta puede ser tomado de 1.3 si esperamos tener buena transferencia de carga.

3.- Esfuerzo de trabajo del concreto (WS).

$WS = MR / (SF * JF) = 640 / (1.5 * 1.3) = 328 \text{ psi}$

4.- Entre en la figura 5.3-4 con una separación dual de llantas de 18 pulgadas, desplácese horizontalmente hasta cortar a la línea de área de contacto efectiva de 100 pulg<sup>2</sup>, después desplácese verticalmente hasta cortar a la línea de espesor inicial de losa de 10 pulgadas, por último desplácese horizontalmente hasta cortar el eje de factor de equivalencia de carga F de 0.775. El factor de carga equivalente de eje sencillo es multiplicada por la carga en el eje dual, es

decir  $0.775 * 50 = 38.8$  kips, en el uso de estas figuras, es necesario suponer un espesor de losa y hacer la solución gráfica. El resultado (espesor diseñado) tendrá que ser comparado con el espesor supuesto, este es un proceso de prueba y error de los pasos 3 al 5, puede tener que ser repetido hasta que el espesor asumido y el espesor diseñado concuerden.

5.- Esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje.  
=  $WS / \text{Carga en el eje, kips} = 328 / 38.8 = 8.5$  psi

6.- Entre en la figura 5.3-2 con un esfuerzo de 8.5 psi, desplácese horizontalmente a cortar a la línea de área de contacto de 100 pulg<sup>2</sup>, después desplácese verticalmente a cortar a la línea de separación de llantas de 40 pulg, y de este punto desplácese horizontalmente para encontrar un espesor de losa de 10.3 pulgadas sobre la línea de módulo de reacción k de la subrasante de 100 pci, use 10.5 pulgadas (27 cms) de espesor de losa, el espesor de losa de 10.5 pulgadas es aproximadamente el mismo espesor que fue asumido convirtiendo ejes dobles a ejes sencillos así, los pasos 4 al 6 no serán necesarios repetirlos.

#### **5.4 Cargas en Racks**

En muchas naves industriales y bodegas son usados estantes o racks para el almacenamiento de productos o materiales, si las cargas en los racks son pesadas, los postes que soportan al estante, inducen esfuerzos importantes al piso. Los esfuerzos de flexión de esa concentración de cargas pueden ser más grandes que los esfuerzos causados por las cargas de las llantas de los vehículos operando en el piso y de esta manera, la condición de carga de cargas por postes de racks pueden llegar a controlar el espesor de diseño de la losa.

Para las cargas en postes el objetivo del diseño es mantener el esfuerzo por flexión dentro de los límites de seguridad de la losa. Dentro del rango de las variables de diseño presentadas en esta sección, la flexión controla el diseño del espesor de la losa. Cuando los requerimientos por flexión son satisfechos con un adecuado espesor de losa, las presiones del suelo no son excesivas; y cuando son usadas las medidas apropiadas de la base de la placa, el concreto y los esfuerzos cortantes soportados no son excesivos.

Cuando se usan medidas inadecuadas de bases de los postes, la carga actuante y los esfuerzos de cortante pueden llegar a ser excesivos aunque los esfuerzos de flexión no lo sean. El tamaño de la base del poste deberá ser lo suficientemente grande para que la carga actuante bajo la máxima condición de carga no exceda de 4.2 veces el módulo de ruptura del concreto para el caso de cargas interiores y de 2.1 veces para cargas en bordes o esquinas. En el caso de los esfuerzos de cortante, el permisible será de 0.27 veces el módulo de ruptura del concreto. Con un adecuado dimensionamiento de las bases de los postes para controlar las cargas actuantes y un adecuado espesor de losa para



controlar las esfuerzos de flexión, encontraremos que los esfuerzos de cortante no son excesivos para los rangos comunes de las variables del diseño.

Debido a que la flexión es la que controla el diseño de espesor, los factores del diseño son similares a los expuestos en el caso de cargas de vehículos y de hecho un factor de seguridad más alto es el normalmente apropiado.

La información específica para el diseño es:

- \* Carga máxima de poste.
- \* Área de contacto de la carga.
- \* Espaciamiento entre postes.
- \* Resistencia de la subrasante.
- \* Resistencia a la flexión del concreto, MR.
- \* Factor de seguridad.



Figura 5.4-1 Aplicación de carga en postes de racks.

Las figuras 5.4-1a, 5.4-1b, y 5.4-1c son usadas para determinar los requerimientos de espesor de losa, para valores de módulo de reacción  $k$  de 50, 100 y 200 pci. Las gráficas fueron desarrolladas para estimar los esfuerzos en el interior de la losa para las dos configuraciones equivalentes de postes y condiciones de carga representadas esquemáticamente en la figura 5.4-2, que representan racks continuos. La figura 5.4-3 muestra un esquema similar para la condición de carga en el borde de las losas.

La condición de carga en el borde presenta esfuerzos mayores en los pisos, que pueden significar mayor cantidad de agrietamiento. Una manera de tratar con esfuerzos mayores es modificando el esfuerzo de trabajo mediante el factor de junta antes de entrar a la figura 5.4.-1

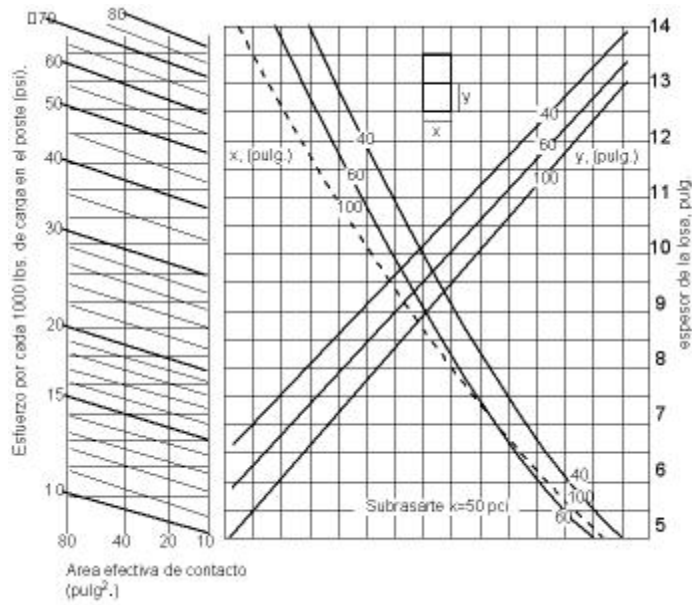


Figura 5.4-1a Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 50$  pci.

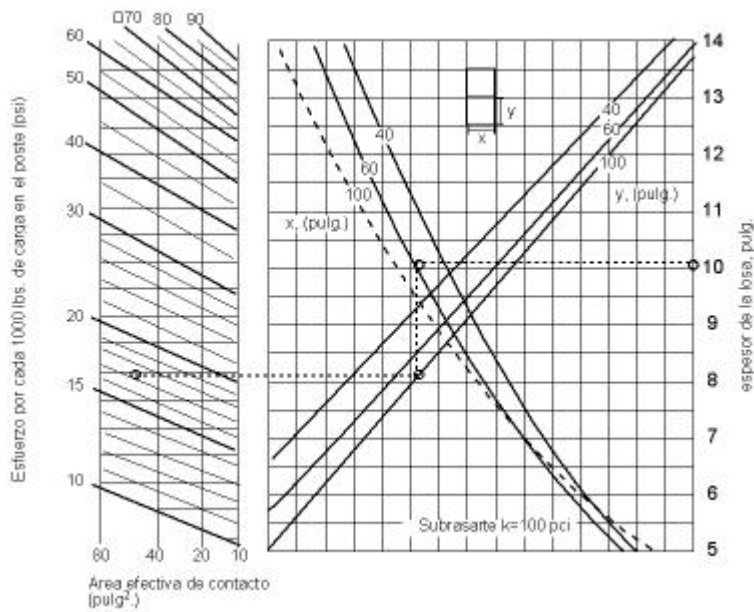


Figura 5.4-1b Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 100$  pci.

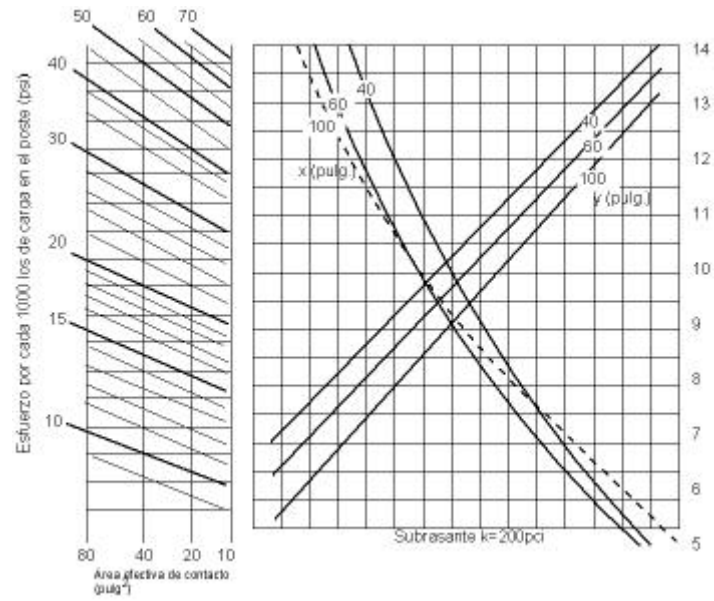


Figura 5.4- 1c Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 200 \text{ pci}$ .

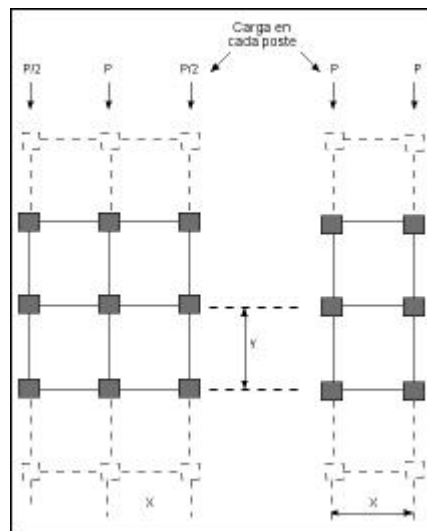


Figura 5.4-2 Configuración de postes y cargas que aplican para las figuras 5.4a, 5.4b y 5.4c (Condición de carga interior).

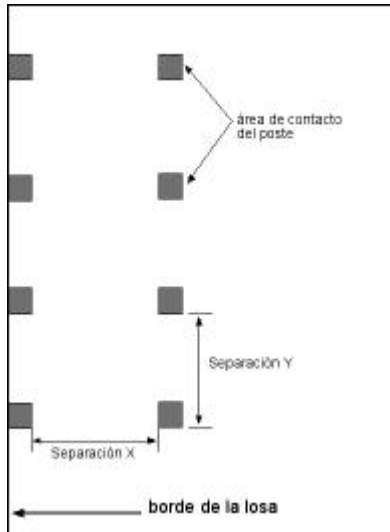


Figura 5.4-3 Configuración de postes y cargas a lo largo del borde de la losa.

En la figuras 5.4-1, el espaciamiento de postes Y es la separación en la dirección longitudinal de un rack continuo y X es el espaciamiento transversal. Las gráficas proveen espaciamientos de 40 a 100 pulgadas y los espaciamientos intermedios deberán ser interpolados en estas figuras. Si dos postes se encuentran lo suficientemente cercanos de manera que sus bases se traslapan o están en contacto una con otra (ejemplo los racks de espalda con espalda), los postes puede asumirse que actúen como uno equivalente a la suma de sus cargas combinadas.

Los valores del módulo de reacción  $k$  representan condiciones genéricas del suelo para bajas, medias y digamos alta condiciones de soporte.

#### 5.4.a Factores de seguridad para carga en poste

Los factores de seguridad específicos para condiciones de carga estática no son dados en esta publicación, sino que se dejan al juicio del diseñador y hay 2 razones para esto:

1. El rango del factor de seguridad posible puede ser bastante amplio; el factor puede ser relativamente bajo (1.5 o menor) bajo condición de carga no crítica, o bastante alto (aproximadamente 5) en condiciones donde la falla de la losa sea bastante seria.
2. La experiencia del funcionamiento de pisos ya en operación y de datos experimentales para concentraciones estáticas de carga no se encuentra disponible.

Las cargas estáticas en los postes tienen efectos diferentes que las cargas en vehículos, los cuales se enlistan a continuación:

1. El movimiento de las cargas de las llantas produce esfuerzos menores en las losas que las cargas estáticas de la misma magnitud.
2. Los efectos del flujo plástico reducen los esfuerzos bajo condición de carga estática.

Estas son las razones para usar en el caso de racks altos, factores de seguridad más grandes que los usados en racks de poca altura, cargas de vehículos o cargas distribuidas. Los postes de los estantes son diseñados algunas veces para soportar parcialmente el techo de la estructura y los efectos o diferencias de deflexión entre postes de los racks se incrementan con racks altos.

Dado que falta mucha publicación de datos sobre la experiencia del desempeño de racks cargados en pisos industriales, no es posible recomendar con mucha confianza factores de seguridad a emplear, como en el caso de cargas vehiculares. Esto hace que sea muy importante considerar cuidadosamente las características de este tipo de carga y las expectativas de desempeño.

El factor de seguridad más alto normalmente recomendado es de 4.8, aplicable para los casos en que los postes se consideren como un elemento estructural crítico, es decir como una columna.

Este valor de 4.8 es considerado el límite máximo del rango del factor de seguridad porque la condición de carga de postes del rack usualmente no es tan crítica como en el caso de columnas sobre zapatas. Las columnas se encuentran considerablemente espaciadas y cada una soporta gran parte de la carga estructural total. La diferencia fundamental entre los dos tipos de cargas recae en las diferentes presiones que la estructura ejerce al suelo. La presión ejercida al suelo debajo de una zapata puede acercarse a la capacidad de carga permisible del suelo, y si una falla ocurriese en la zapata, la capacidad de carga del suelo sería excedida y habría la posibilidad de presentarse un asentamiento, penetración, etc.

Por otro lado, la presión ejercida al suelo bajo una losa de espesor adecuado soportando un carga de poste, sería mucho menor que aquella bajo una zapata, debido a que la losa distribuye la carga sobre un área mas grande de subrasante.

#### **5.4.b Factores de juntas para carga de postes**

Para bodegas o áreas de almacén de plantas industriales, los racks empleados para el almacenamiento de mercancía normalmente es del tipo espalda con espalda y paralelo a la línea o eje de columnas.

La alineación de las líneas de columnas con frecuencia coincide con juntas de contracción o construcción. Si la separación de juntas de contracción no es grande y se emplean pasajuntas para la transferencia de carga, los esfuerzos en

el borde de la losa se reducen de un 20 a un 25% (de acuerdo al estudio de Okamoto y Nussbaum en 1984), lo cual se traduce en que se puede incrementar el esfuerzo de trabajo en un 20%. Si se usan separaciones de juntas relativamente grandes, digamos de 4.5 metros y no se tienen pasajuntas para la transferencia de carga el factor de juntas de 1.6 será el recomendado para la condición de carga de carga de postes de racks.

El cálculo del esfuerzo de trabajo (WS) se hará dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el producto del factor de seguridad y factor de junta. Así, si necesitamos, las figuras 5.4-1a, 5.4-1b y 5.4-1c para condiciones de carga ubicada en el interior de la losa, pueden ser usadas para la condición de carga de poste ubicada en el borde la losa siempre y cuando usemos el factor de junta al momento de calcular el esfuerzo de trabajo.

Una vez que el diseñador ha seleccionado un factor de seguridad y un factor de juntas apropiados basándose en las condiciones de carga críticas, se usan las figuras 5.4-1a, 5.4-1b o 5.4-1c para establecer el espesor de diseño de la losa basado en esfuerzos de flexión. Los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de carga actuante también deben ser calculados para determinar si los valores están dentro de los límites de seguridad. Siguiendo el problema de ejemplo se ilustra el procedimiento para determinar los esfuerzos en la losa debidos a la carga en postes de racks.

### **Ejemplo de Diseño 3**

Carga en Postes

#### **Datos para la configuración de postes y cargas.**

Espaciamiento de postes:

Longitudinal (Y): 2.50 m (98 pulgadas).

Transversal (X): 1.70 m (66 pulgadas).

Carga en Poste:

5.9 Tons (13 kips), en cada poste

Dimensionamiento de la base del poste:

Cuadrada de 20.3 cms (8 pulg)

Área de contacto:

412 cm<sup>2</sup> (64 pulgadas<sup>2</sup>)

Datos de la subrasante y del concreto

Modulo de reacción k de subrasante: 100 pci

resistencia de flexión en el concreto: MR de 44 kg/cm<sup>2</sup> (640 psi) a 28 días

Espaciamiento de juntas en el piso

Espaciamiento de columnas: 15.20 m (50 pies)  
Espaciamiento de Juntas: 5.1 mts (16.7 pies)

### **Pasos de diseño.**

1. Factor de seguridad (FS):

Se selecciona un factor de seguridad de 2.0 ya que los racks son independientes de la estructura y su altura es menor a los 10.7 metros (35 pies).

2. Factor de junta (FJ):

Se selecciona el factor de junta de 1.6 debido a que la separación entre juntas es considerablemente grande y la trabazón de agregados en términos de transferencia de carga es despreciable.

3. Esfuerzos de trabajo en el concreto:

$$WS = ( MR / FS \times FJ ) = ( 640 / 2 \times 1.6 ) = 200 \text{ psi}$$

4. Esfuerzos en la losa por 1000 lb de postes cargados (WS):

$$= ( WS / \text{carga por poste, kips} ) = ( 200 / 13 ) = 15.4 \text{ psi}$$

5. Para el valor de  $k = 100$  pci de la subrasante, se usa la figura 5.4-1b. En la parte izquierda de la gráfica se localiza el punto correspondiente a un esfuerzo de 15.4 psi y un área de contacto de 64 pulg<sup>2</sup>, después se desplaza hacia la derecha en línea recta hasta el espaciado de postes  $Y$  de 98 pulgadas, en ese punto se mueve en línea vertical hasta encontrar el espaciado  $X$  de 66 pulgadas. De este punto se desplaza en línea recta hacia la derecha para encontrar el espesor de diseño resultante de 10.4 pulgadas.

6. Use ahora la figura 5.3-5 para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual. Para 10.5 pulgadas de espesor de losa y 64 pulg<sup>2</sup> de área de contacto el área efectiva de contacto es 72 pulg<sup>2</sup>; esta corrección no es un cambio significativo en el requerimiento del espesor de losa.

7. El siguiente paso es la revisión por capacidad de carga, comprobando que el esfuerzo de carga actuante y el esfuerzo cortante se encuentren dentro de los límites aceptables.

#### 7.1 Revisión por capacidad de Carga

Capacidad de carga permisible:

De 4.2 veces el módulo de ruptura a los 28 días para la carga interior

$$= 4.2 MR = 2690 \text{ psi}$$

De 2.1 veces ( la mitad que la aplicable para carga interior) el modulo de ruptura a los 28 días para cargas de borde o esquina.

$$= 2.1 MR = 1345 \text{ psi}$$

Esfuerzos de carga actuante:

Cargas por poste / área de contacto = 13000 lbs / 64 pulg<sup>2</sup> = 203 psi

203 psi < 2690 psi

203 psi < 1345 psi

Es decir, que el esfuerzo actuante es considerablemente menor que el esfuerzo permisible.

7.2 Revisión por esfuerzos cortantes.

Esfuerzo cortante permisible:

= 0.27 \* MR = 0.27 \* 640 = 173 psi

Esfuerzo cortante actuante.

Para cargas interiores:

Carga por Poste

=  $\frac{13,000}{\text{Espesor de losa} \times [(\text{perímetro}) + (4 \times \text{Espesor de losa})]}$

Donde el perímetro es igual a 4 veces la raíz cuadrada del área de contacto, es decir  $4(64)^{1/2}$ .

$$\frac{13,000}{10.5 \times [32 + (4 \times 10.5)]} = 17 \text{ psi}$$

Para cargas de borde:

Carga por Poste

=  $\frac{13,000}{\text{Espesor de losa} \times [(0.75 \times \text{perímetro}) + (2 \times \text{Espesor de losa})]}$

$$\frac{13,000}{10.5 \times [(0.75 \times 32) + (2 \times 10.5)]} = 28 \text{ psi}$$

Para cargas de esquina:

Carga por Poste

=  $\frac{13,000}{\text{Espesor de losa} \times [(0.5 \times \text{perímetro}) + (\text{Espesor de losa})]}$

$$\frac{13,000}{10.5 \times [(0.5 \times 32) + 10.5]} = 47 \text{ psi}$$



$$10.5 \times [ (0.5 \times 32) + (10.5) ]$$

Los esfuerzos de cortantes calculados para las esquinas, bordes e interiores son significativamente más bajos que el esfuerzo cortante permisible del concreto, por lo que el espesor encontrado de 10.4 pulgadas es apropiado.

Para cargas grandes de poste, los espesores de losa de concreto simple requeridos pueden ser muy grandes, de manera que podría valer la pena revisar diseños alternativos, tales como:

- \* Zapatas integrales o aisladas debajo de cada poste o línea de postes (teniendo que dejar fija la ubicación de los postes).
- \* Diseñar estructuralmente las losas con acero de refuerzo para tomar los esfuerzos de tensión.
- \* Uso de una sub- base tratada con cemento debajo de la losa de concreto.
- \* Uso de cimentación con pilas o pilotes, si existe potencial de asentamiento de largo plazo atribuido a la consolidación del suelo.

En el capítulo 2 se discute el diseño de bases y la subrasante, así como los beneficios que pueden proveer a un piso de concreto, incluyendo: mejor soporte, mejora en la transferencia de carga a través de las juntas (especialmente para sub- bases tratadas con cemento bajo una losa diseñada para altas condiciones de carga); una plataforma estable de trabajo; y reducir espesores de losa.

### **5.5 Cargas distribuidas**

Las cargas distribuidas son las cargas que convencionalmente actúan sobre un área grande del piso. Las cargas son el resultado del material almacenado directamente en el piso dentro del área de almacenamiento.

Las cargas concentradas son las que normalmente controlan el diseño del piso pues estas producen esfuerzos a tensión mayores que las cargas distribuidas. Sin embargo, después que un espesor de losa ha sido seleccionado considerando el vehículo más pesado y las cargas por postes de racks, los efectos de las cargas distribuidas también deben ser examinados. Un ejemplo de cargas distribuidas es mostrado en la figura 5.5-2.

El diseño del piso, bajo la condición de cargas distribuidas tiene los siguientes objetivos:

- \* Prevenir grietas en los pasillos o áreas no cargadas, debidas al momento negativo (tensión en la superficie de la losa).
- \* Evitar asentamientos debidos a la consolidación del suelo de soporte.

Normalmente las cargas distribuidas colocadas directamente sobre la losa de concreto no son lo suficientemente grandes para provocar asentamientos excesivos de subrasante bien preparadas y compactadas. A pesar que el

construir losas de concreto de mayor espesor puede ayudar a controlar el agrietamiento, no va a prevenir el asentamiento del terreno de soporte.

Para el caso de cargas distribuidas muy pesadas siempre será recomendable examinar la posibilidad de consolidación del suelo por un especialista en mecánica de suelos.

Cargas distribuidas muy pesadas aplicadas sólo en algunas partes del piso pueden provocar asentamientos diferenciales y deformación de la losa de concreto. Los esfuerzos de momento actuantes por deformaciones de la losa pueden sumarse a los esfuerzos de momento negativo en pasillos, provocando agrietamiento en las zonas no cargadas. El diseño de losas sujetas a asentamientos diferenciales no se incluye en la presente publicación, por lo que también se recomienda consultar a un especialista en mecánica de suelos.



Figura 5.5-1 Cargas distribuidas en contacto directo con la superficie del piso.

### **5.5.a Cargas máximas y ancho crítico de pasillos**

Para un cierto espesor de losa y resistencia de la subrasante existe un ancho crítico del pasillo, para el cual se presenta el esfuerzo máximo en la losa. Tal y como se muestra en la tabla 5.5-1, las cargas admisibles para el ancho crítico de pasillo son menores que las cargas admisibles para cualquier otro ancho de pasillo. Esto significa que hacer pasillos ya sean más angostos o más anchos permitirá colocar cargas más pesadas sobre la losa.

El ancho crítico del pasillo existe cuando el momento actuante máximo debido a la carga de un lado del pasillo, coincide con el punto máximo momento debido a la carga en el otro lado del pasillo, por lo que duplica el momento negativo (tensión en la parte superior de la losa) en el centro del pasillo.

Para cualquier otro ancho de pasillo, diferente al crítico, el momento actuante máximo debido a las cargas de cada lado del pasillo no coincide, haciendo que de hecho la carga de un lado contrarreste el esfuerzo causado por la carga en el otro lado.

### **5.5.b Cargas permisibles para prevenir la falla en un pasillo**

El momento negativo de flexión que se presenta en un pasillo entre áreas de carga distribuidas puede llegar a ser hasta del doble del momento presentado

bajo el área cargada. Como resultado de esto, uno de los objetivos del diseño es limitar este esfuerzo de momento negativo en el pasillo para que no se presente agrietamiento.

La tabla 5.5-1 se usa en los casos en que tanto el pasillo como el arreglo de las cargas puede ser variable y cambiar durante la vida útil del piso.

Si el arreglo de las cargas esta perfectamente definido y permanecerá fijo durante toda la vida útil del proyecto la tabla a usar será la tabla 5.5-2.

En ambas tablas para calcular la carga distribuida permisible, es importante mencionar que el valor del módulo de reacción  $k$  a emplear es el del terreno natural, y no el módulo de reacción  $k$  efectivo que considera la aportación de una capa de base o sub- base, lo cuál se hace en el caso de cargas vehiculares o cargas de postes.

#### **Almacenaje con arreglo variable de la carga distribuida.**

Los esfuerzos de flexión y deformaciones debido a cargas distribuidas pueden variar de acuerdo al espesor de la losa y la resistencia de la subrasante. También dependen del ancho del pasillo, ancho del área cargada, magnitud de la carga y de si hay o no juntas o grietas en el pasillo. Estas variables adicionales no siempre son constantes o predecibles durante la vida de servicio del piso. Por esta razón, las cargas admisibles que se muestran en la tabla 5.5-1, representando la condición de carga mas crítica, es la recomendable para el diseño cuando el arreglo de la carga y del pasillo no se puede predecir con certeza o puede variar con el tiempo.

Precisamente dado que las cargas permisibles presentadas en la tabla 5.5-1 consideran las condiciones críticas, no hay restricciones en el arreglo de la carga o la uniformidad de la carga. Las cargas superiores a éstas pueden colocarse de manera no uniforme y en cualquier arreglo y cambiar durante la vida útil del proyecto. De hecho cargas más grandes pueden permitirse como se muestra en la tabla 5.5-2 bajo condiciones de carga y arreglo restringidas.

Las cargas admisibles en la tabla 5.5-1 están basadas en un factor de seguridad de 2.0 (esfuerzo de trabajo admisibles igual a la mitad de la resistencia a la flexión del concreto). Si el diseñador juzga esto como un criterio conservador puede incorporar otros factores de seguridad al usar la siguiente formula para determinar la carga admisible:

$$W = (0.123) \times (ft) \times (h \times k)^{(1/2)}$$

donde:

$W$  = Carga permisible, en libras sobre pie<sup>2</sup>.  
(1 libra/pie<sup>2</sup> es igual a 4.8824 kgs/m<sup>2</sup>).

$f_t$  = Esfuerzo de trabajo permisible en psi (libras/pulg<sup>2</sup>), obtenido al dividir la resistencia a la flexión del concreto especificada a los 28 días entre el factor de seguridad.

$h$  = Espesor de losa en pulgadas.

$k$  = Módulo de reacción de la subrasante, pci.

### **Almacenaje con arreglo fijo de la carga distribuida**

Los esfuerzos en la losa bajo cargas distribuidas varían según el ancho del pasillo, el ancho de la carga, la magnitud de la carga y la ubicación de las juntas, tal y como se detalló en la sección anterior de almacenaje con arreglo variable.

En un área de almacenamiento donde el arreglo es conocido y permanecerá fijo durante toda la vida de servicio del piso, las cargas distribuidas máximas admisibles se muestran en la tabla 5.5-2 (vea también la sección cargas máximas y ancho crítico de pasillo). Estas cargas admisibles tienen la función de limitar el momento negativo para que no se agriete un pasillo o un área no cargada.

### **5.6 Pérdida de Soporte por Erosión**

Los métodos de diseño de espesores abordados en este capítulo se enfocan en mantener el esfuerzo de flexión dentro de los límites de seguridad, con el objeto de prevenir el agrietamiento por fatiga del concreto. Los métodos asumen que la losa se mantiene en contacto con el suelo debajo de ésta, pero si la pierde el soporte de la subrasante, los esfuerzos calculados pueden aumentar en un 5 a 15 % (de acuerdo a los estudios de Wu y Okamoto en 1992), lo que podría afectar el espesor de diseño.

Debido a que la falla de la losa es una posibilidad latente, la pérdida de soporte merece nuestra atención y por esto se recomienda consultar las publicaciones y estudios hechos para pavimentos de concreto en autopistas y calles.

Las condiciones de erosión climática que pueden llevar a pérdida de soporte incluyen:

- \* Huecos bajo la losa.
- \* Escalonamiento de juntas.
- \* Bombeo.
- \* Pérdida de material en hombros.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE Para cargas sin arreglos definidos				Módulo de Ruptura (MR)							
				550 psi	38.67 kg/cm <sup>2</sup>	600 psi	42.18 kg/cm <sup>2</sup>	650 psi	45.70 kg/cm <sup>2</sup>	700 psi	49.21 kg/cm <sup>2</sup>
Espesor		K		CARGA PERMISIBLE							
in	cm	pci	kg/cm <sup>3</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>
5	12.7	50	1.39	535	2.612	585	2.856	635	3.100	665	3.344
		100	2.77	760	3.711	830	4.052	900	4.394	965	4.712
		200	5.54	1,075	5,249	1,175	5,737	1,270	6,201	1,370	6,689
6	15.24	50	1.39	585	2.856	640	3.125	695	3.393	750	3.662
		100	2.77	830	4.052	905	4.419	980	4.785	1,055	5.151
		200	5.54	1,175	5,737	1,280	6,249	1,390	6,787	1,495	7,299
8	20.3	50	1.39	680	3.320	740	3.613	800	3.906	865	4.223
		100	2.77	960	4.687	1,045	5.102	1,135	5.542	1,220	5.957
		200	5.54	1,355	6,616	1,480	7,226	1,603	7,826	1,725	8,422
10	25.4	50	1.39	760	3.711	830	4.052	895	4.370	965	4.712
		100	2.77	1,070	5.224	1,170	5.712	1,265	6.176	1,335	7.983
		200	5.54	1,515	7,397	1,655	8,080	1,790	8,739	1,930	9,423
12	30.5	50	1.39	830	4.052	905	4.419	980	4.785	1,055	5.151
		100	2.77	1,175	5.737	1,280	6.249	1,390	6.787	1.495	7.299
		200	5.54	1,680	8,105	1,810	8,837	1,965	9,594	2,115	10,326
14	35.6	50	1.39	895	4.370	980	4.785	1,060	5.175	1,140	5.566
		100	2.77	1,270	6,201	1,385	6,782	1,500	7,324	1,615	7,885
		200	5.54	1,795	8,764	1,960	9,570	2,120	10,351	2,285	11,156

Tabla 5.5-1 Cargas distribuidas permisibles, con carga de arreglo no definido o fijo. Fuente: Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, 2001.

Notas:

\* El Módulo de Reacción k es exclusivamente del terreno natural, sin considerar el incremento por base o sub- base.

Algunos de estos efectos son relacionados principalmente con autopistas y pavimentos, aunque también algunos pueden considerarse en losas o pisos interiores. Afortunadamente, una losa o piso interior es sujeta a rangos mas nobles de temperatura, humedad y clima que un pavimento exterior.

Las dos diferencias más importantes entre un pavimento exterior y una losa de piso interior son:

1. La cantidad y frecuencia de exposición al agua (lluvia).
2. Las cargas en los pisos no son impuestas por vehículos a altas velocidades, sin embargo, la magnitud de la carga puede ser considerablemente mayor.

		CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE (Para arreglo fijo o definido de la carga)														
Espesor	Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de posillo		Al Ancho crítico de posillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)		
		pies	m	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	psf	kg/m <sup>2</sup>	
Módulo de Reacción k de la subrasante = 50 pci																
5	12.7	300	5.6	1.7	610	2,978	615	3,003	670	3,271	815	3,970	1,050	5,127	1,215	5,932
		350	5.6	1.7	710	3,467	7,215	35,227	665	3,833	950	4,638	1,225	5,981	1,420	6,933
		400	5.6	1.7	815	3,970	820	4,004	895	4,370	1,085	5,207	1,400	6,835	1,620	7,900
6	15.2	300	6.4	2.0	670	3,271	675	3,296	695	3,393	780	3,808	945	4,614	1,175	5,737
		350	6.4	2.0	785	3,833	785	3,833	810	3,955	910	4,443	1,100	5,371	1,370	6,689
		400	6.4	2.0	895	4,370	895	4,370	925	4,516	1,040	5,078	1,260	6,152	1,570	7,665
8	20.3	300	8.0	2.4	770	3,759	800	3,906	770	3,759	800	3,906	880	4,297	1,010	4,931
		350	8.0	2.4	900	4,394	950	4,638	900	4,394	935	4,565	1,025	5,004	1,180	5,761
		400	8.0	2.4	1,025	5,004	1,070	5,224	1,025	5,004	1,065	5,200	1,175	5,737	1,350	6,591
10	25.4	300	9.4	2.9	845	4,126	930	4,541	855	4,174	950	4,638	895	4,321	960	4,667
		350	9.4	2.9	985	4,809	1,085	5,297	1,000	4,882	990	4,834	1,035	5,053	1,120	5,468
		400	9.4	2.9	1,130	5,517	1,240	6,054	1,145	5,590	1,135	5,542	1,185	5,786	1,285	6,274
12	30.5	300	10.8	3.3	915	4,467	1,065	5,200	955	4,663	915	4,467	925	4,516	965	4,712
		350	10.8	3.3	1,065	5,200	1,240	6,054	1,115	5,444	1,070	5,224	1,080	5,273	1,125	5,493
		400	10.8	3.3	1,220	5,957	1,420	6,933	1,270	6,201	1,220	5,957	1,230	6,005	1,290	6,298
14	35.6	300	12.1	3.7	980	4,785	1,225	5,981	1,070	5,224	1,000	4,882	980	4,785	965	4,658
		350	12.1	3.7	1,145	5,590	1,430	6,982	1,245	6,079	1,170	5,712	1,145	5,590	1,160	5,664
		400	12.1	3.7	1,310	6,396	1,630	7,958	1,425	6,957	1,335	6,518	1,310	6,396	1,330	6,494
Módulo de Reacción k de la subrasante = 100 pci																
5	12.7	300	4.7	1.4	865	4,223	900	4,394	1,090	5,322	1,470	7,177	745	8,520	1,810	8,837
		350	4.7	1.4	1,010	4,931	1,050	5,127	1,270	6,201	1,715	8,373	2,035	9,236	2,115	10,326
		400	4.7	1.4	1,015	5,444	1,200	5,859	1,455	7,104	1,955	9,545	2,325	11,352	2,415	11,791
6	15.2	300	5.4	1.6	950	4,638	955	4,663	1,065	5,200	1,320	6,445	1,700	8,300	1,925	9,399
		350	5.4	1.6	1,105	5,395	1,115	5,444	1,245	6,079	1,540	7,519	1,985	9,692	2,245	10,961
		400	5.4	1.6	1,265	6,176	1,275	6,225	1,420	6,933	1,760	8,593	2,270	11,083	2,565	12,523
8	20.3	300	6.7	2.0	1,095	5,346	1,105	5,395	1,120	5,468	1,240	6,054	1,465	7,153	1,815	8,862
		350	6.7	2.0	1,280	6,249	1,285	6,274	1,305	6,372	1,445	7,055	1,705	8,324	2,120	10,351
		400	6.7	2.0	1,460	7,128	1,470	7,177	1,495	7,299	1,650	8,056	1,950	9,521	2,420	11,815
10	25.4	300	7.9	2.4	1,215	5,932	1,265	6,176	1,215	5,932	1,270	6,201	1,395	8,811	1,610	7,861
		350	7.9	2.4	1,420	6,933	1,475	7,202	1,420	6,933	1,480	7,226	1,630	7,958	1,880	9,179
		400	7.9	2.4	1,625	7,934	1,645	8,032	1,625	7,934	1,690	8,251	1,860	9,081	2,150	10,497
12	30.5	300	9.1	2.8	1,320	6,445	1,425	6,957	1,325	6,469	1,330	6,494	1,400	6,835	1,535	7,494
		350	9.1	2.8	1,540	7,519	1,665	8,129	1,545	7,543	1,550	7,568	1,635	7,983	1,880	9,179
		400	9.1	2.8	1,755	8,569	1,900	9,277	1,770	8,642	1,770	8,642	1,865	9,106	2,050	10,009
14	35.6	300	10.2	3.1	1,405	6,860	1,590	7,763	1,445	7,055	1,405	6,860	1,435	7,006	1,525	7,446
		350	10.2	3.1	1,640	8,007	1,855	9,057	1,685	8,227	1,640	8,007	1,675	8,178	1,775	8,666
		400	10.2	3.1	1,875	9,155	2,120	10,351	1,925	9,399	1,875	9,155	1,915	9,350	2,030	9,911
Módulo de Reacción k de la subrasante = 200 pci																
5	12.7	300	5.6	1.7	1,225	5,981	1,400	6,835	1,930	9,423	2,450	11,962	2,565	12,523	2,520	12,304
		350	5.6	1.7	1,425	6,957	1,630	7,958	2,255	11,010	2,860	13,964	2,900	14,598	2,940	14,354
		400	5.6	1.7	1,630	7,958	1,865	9,106	2,575	12,572	3,270	15,966	3,420	16,698	3,360	16,405
6	15.2	300	6.4	2.0	1,340	6,542	1,415	6,909	1,755	8,569	2,395	11,693	2,740	13,378	2,810	13,720
		350	6.4	2.0	1,565	7,641	1,650	8,056	2,050	10,009	2,800	13,671	3,200	15,624	3,275	15,990
		400	6.4	2.0	1,785	8,715	1,890	9,228	2,345	11,449	3,190	15,575	3,665	17,845	3,745	18,285
8	20.3	300	8.0	2.4	1,550	7,568	1,550	7,568	1,695	8,276	2,045	9,985	2,635	12,865	3,070	14,989
		350	8.0	2.4	1,810	8,837	1,810	8,837	1,980	9,667	2,385	11,645	3,075	15,013	3,580	17,479
		400	8.0	2.4	2,065	10,083	2,070	10,107	2,615	12,767	2,730	13,329	3,515	17,162	4,095	19,993
10	25.4	300	9.4	2.9	1,730	8,447	1,745	8,520	1,775	8,666	1,965	9,594	2,330	11,376	2,895	14,135
		350	9.4	2.9	2,020	9,862	2,035	9,936	2,070	10,107	2,290	11,181	2,715	13,256	3,300	16,112
		400	9.4	2.9	2,310	11,278	2,325	11,352	2,365	11,547	2,620	12,792	3,105	15,160	3,860	18,846
12	30.5	300	10.8	3.3	1,890	9,228	1,945	9,496	1,895	9,252	1,995	9,740	2,230	10,888	2,610	12,743
		350	10.8	3.3	2,205	10,765	2,270	11,083	2,210	10,790	2,330	11,376	2,600	12,694	3,045	14,867
		400	10.8	3.3	2,520	12,303	2,595	12,670	2,525	12,328	2,660	12,987	2,972	14,510	3,480	16,991
14	35.6	300	12.1	3.7	2,025	9,887	2,150	10,407	2,030	9,911	2,065	10,082	2,210	10,790	2,480	12,108
		350	12.1	3.7	2,360	11,522	2,510	12,255	2,365	11,547	2,405	11,742	2,580	12,597	2,890	14,110
		400	12.1	3.7	2,700	13,182	2,870	14,012	2,705	13,207	2,750	13,427	2,950	14,403	3,305	16,136

Tabla 5.5-2 Carga distribuida permisible, con arreglos de carga definido. Fuente: Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, 2001.

Notas:

- \* El Módulo de Reacción  $k$  es exclusivamente del terreno natural, sin considerar el incremento por base o sub- base.
- \* El ancho crítico de pasillo es igual a 2.209 veces el radio de rigidez relativa.
- \* El esfuerzo de trabajo es calculado empleando un factor de seguridad de 2.0

## **6. COLOCACIÓN Y ACABADO DEL CONCRETO FRESCO**

El comité del Instituto Americano del Concreto (ACI) 201 define la durabilidad del concreto hecho con cemento hidráulico como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro. Y determina que el concreto durable debe mantener su forma original, calidad y características de servicio cuando es expuesto a este ambiente. Tomando como base estas condiciones, la expectativa de mejorar la durabilidad y por tanto la vida útil de cualquier estructura, está dada por la definición de sus condiciones de exposición, condiciones de servicio y las prácticas recomendadas en la construcción del elemento.

En la determinación de cada uno de esos parámetros, las condiciones de exposición deben ser integradas a la posición geográfica, el carácter del lugar y el medio de contacto. Las condiciones de servicio que generan los daños más comunes que afectan al concreto en su durabilidad están expresadas por ataque de sulfatos, exposición al agua de mar, ataque ácido, carbonatación, abrasión, corrosión del acero de refuerzo y reacciones químicas; y por último, se deben tomar en cuenta las prácticas constructivas recomendadas; previas, durante y posteriores a la colocación del concreto.

Puesto que el deterioro prematuro de un elemento de concreto tiene causas muy variadas y que pueden ocurrir en un elemento a un mismo tiempo, es necesario identificarlas todas y reconocer su posible procedencia, más aún, es necesario saber sus mecanismos de ocurrencia y la magnitud de los daños que pueden provocar, ya que el establecimiento de todas estas condiciones es vital para poder prolongar la vida útil de cualquier estructura.

Una forma sencilla de abordar esta problemática actual de las estructuras de concreto es citar algunos ejemplos donde la ignorancia o la poca importancia dada a la durabilidad durante su diseño y la falta de evaluación de las condiciones de exposición y servicio de los elementos se tradujo en el deterioro acelerado de las estructuras, con sus subsiguientes problemas operativos, mantenimiento, costos de reparación y disminución de su vida útil.

En este capítulo se hará un análisis en los diversos procesos que deben ser considerados en la colocación, acabado y juntas en una losa de concreto. Así mismo, se darán alternativas al acabado según al tipo de servicio que prestará el elemento, fundamentadas en normas internacionales (ASTM, ACI y PCA), asegurando que el estructurista, constructor y/o contratista tenga conocimientos referentes a dichos procesos y el uso del concreto.

## 6.1 Generalidades

El concreto debe ser colocado y terminado, por personal con experiencia y habilidad en la construcción de pisos de concreto. El acabado superficial en el concreto requiere de los tres pasos siguientes:

1. Colocación y extendido del concreto, compactación y nivelación de la superficie de concreto enrasado o perfilado con el uso de herramienta manual o de regla vibratoria.
2. Consolidación y acabado de la superficie mediante el flotado, seguido por el corte de puntos altos y relleno de puntos bajos (corrección de planicidad).
3. Compactación final y pulido mediante llanas manuales de acero o allanadoras mecánicas (helicópteros).

Existen tres acabados básicos en la superficie de una losa de concreto: regleado, flotado y allanado.

El acabado regleado, involucra la menor cantidad de trabajo. Inmediatamente después de la consolidación, el concreto excedente es removido en la superficie por un proceso de regleado. Este acabado no es usado para el caso de pisos industriales, sin embargo, si lo es para otro gran número de pisos de concreto en donde no es tan importante el control de la superficie de concreto terminada.

El acabado flotado, es empleado normalmente en losas exteriores. Después de regleada la superficie, el concreto empieza a endurecerse y el agua de sangrado a evaporarse. En este punto, empieza el flotado. El flotado implica trabajar la superficie solamente lo necesario para dejar una superficie nivelada, uniforme en textura y libre de huellas del regleado o pisadas. En caso de que la losa tenga un acabado pulido o escobillado, el flotado deberá dejar una pequeña cantidad de pasta en la superficie, así como tampoco deberá haber exceso de agua.

El acabado pulido, es el empleado para losas de pisos industriales. El pulido mejora la apariencia estética de la superficie y logra una superficie más fuerte, con mayor resistencia a la abrasión y más fácil de limpiar.

Para hacer el proceso de pulido en el tiempo correcto dentro de proceso constructivo, se deben cumplir 2 condiciones básicas:

\* La película de agua de sangrado deberá haberse evaporado ya de la superficie flotada.

\* El concreto debe haber endurecido lo suficiente para prevenir que el proceso de pulido no saque de la superficie un exceso de material fino y agua.



El pulido logrado con llanas de acero se realiza ejerciendo una presión fuerte que transformará la superficie abierta y arenosa obtenida del proceso de flotado en una superficie dura, densa, uniforme y libre de huellas de equipo y procesos previos.

Diferentes procedimientos de acabado se deberán realizar secuencialmente, dentro del periodo de tiempo adecuado, determinado por el proceso de endurecimiento del concreto.

Este periodo se conoce como la “ventana de terminabilidad” y se refiere al tiempo disponible para que se realicen las operaciones de acabado después de que el concreto ha sido vaciado, consolidado y dispuesto. Si el concreto se coloca durante un periodo de rápido endurecimiento, la ventana de terminabilidad, será muy estrecha y se podrán presentar problemas en el concreto.

Un proceso típico del acabado de un piso industrial se presenta a manera de referencia en la figura 6.1-1.

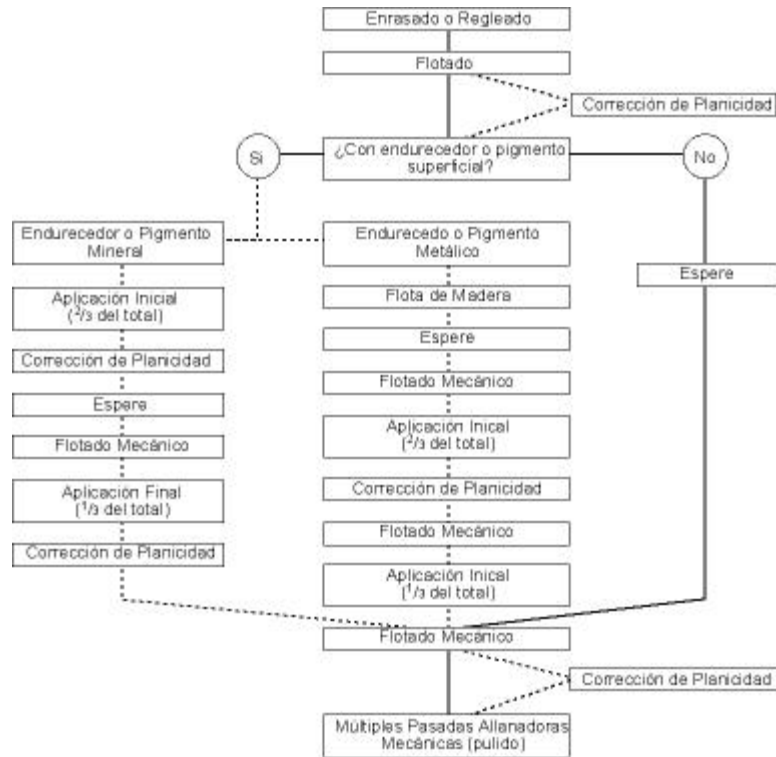
## **6.2 Vaciado del Concreto**

Todas las operaciones de vaciado deberán buscar minimizar la segregación del concreto, ya que una vez vaciado será casi imposible remezclarlo.

### **6.2.a Secuencia del colado**

En la mayoría de los casos, la manera más común de colocar el concreto en un área grande, es mediante el colado de franjas, como se ilustra en la Figura 6.2-1.

La colocación en franjas permite una mejor accesibilidad a las zonas que se están colando. Se realizan juntas de contracción intermedias, transversales a la longitud mayor de la franja, en intervalos fijos. En los casos de franjas anchas, podrá ser necesaria, la formación de una junta longitudinal de contracción.



Fuente ACI 302, Guide for Concrete Floor and Slab Construction.

Nota: Las líneas punteadas representan procedimientos opcionales que pueden ser incluidos como parte del proceso de acabado.

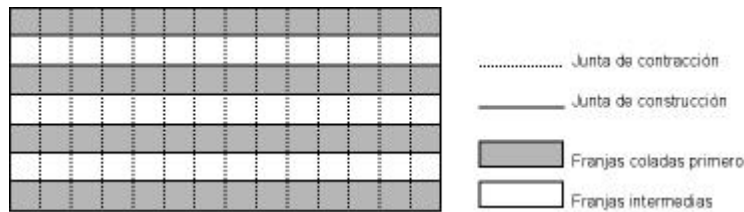


Figura 6.2-1 Secuencia del colado en franjas.

Otra alternativa para la colocación del concreto, es la de realizar colados de grandes bloques, con sus respectivas juntas de contracción internas. Esta alternativa se utiliza principalmente con equipos de regla láser, que gracias a su gran rendimiento permiten recortar el programa de obra de colocación de concreto cuando las áreas son considerablemente grandes.



Figura 6.2-2 Colados en áreas grandes con regla láser.

Anteriormente el concreto era colocado en una secuencia de "tablero de ajedrez", es decir, que se colaba cada tablero o losa independiente, sin juntas de contracción, ya que todas las juntas eran juntas de construcción. Hoy en día gracias a los equipos modernos de colocación de concreto como lo son reglas vibratorias o reglas láser, esta práctica ha perdido popularidad y no se recomienda más.

El principal problema de colar tableros independientes era principalmente el gran número de juntas de construcción que hacían del piso una superficie muy incomoda de circular, así como el tiempo necesario para colar áreas grandes.

### 6.2.b Descarga del concreto

La velocidad de la descarga del concreto de un camión revolvedor, puede ser controlada ajustando la velocidad de la olla. Los toboganes de descarga, deben ser redondeados y de metal. La pendiente del tobogán debe ser constante y con una inclinación suficiente, para permitir que el concreto, con el revenimiento requerido, fluya continuamente sin segregación. Una pantalla al final del tobogán ayuda a prevenir la segregación.



Figura 6.2-3 Descarga del concreto en camión revolvedor.

La parte final de descarga del tobogán, debe permanecer cerca de la superficie del concreto previamente depositado. Cuando el concreto sea descargado directamente en la base, se deberá desplazar el tobogán a ciertos intervalos, para impedir la acumulación de grandes cantidades de concreto. Una pendiente muy inclinada en el tobogán, puede ocasionar que el concreto se descargue con mucha velocidad y segregación.

### **6.2.c Vaciado del concreto sobre la base**

El mezclado y el vaciado del concreto deben estar cuidadosamente coordinados con el acabado. El concreto no deberá colocarse en la base con un rendimiento mayor, al de las operaciones de extendido, de flotado, de consolidación y compactación, de acabado de la orilla y de aplanado, ya que estas operaciones se deben realizar antes de que el agua de sangrado se forme en la superficie.

Considerando los efectos de la temperatura del concreto y las condiciones ambientales, permitirán, obtener superficies de buena calidad y evitar la formación de juntas frías.

Si la formación de una junta de construcción es inevitable, se deberá realizar colocando un material de tope adecuado, además se deberán tomar las medidas necesarias para garantizar la transferencia de carga entre el colado actual y el próximo.

### **6.3 Extendido**

El concreto descargado en la obra, ya sea por tobogán de un camión revolvedor, botes, bombas, carretillas, bandas sin fin o mediante la combinación de algunos de ellos, no deberá presentar segregación.

El extendido es la primera operación para la construcción de pisos con superficies planas. El extendido se debe realizar con palas cortas de bordes cuadrados. Las palas con mangos largos o con bordes redondeados y los rastrillos de jardinería con dientes muy separados, no se deberán utilizar en el extendido del concreto. En primer término, las palas con mangos largos pierden el efecto de palanca; las palas con bordes redondeados no permiten una correcta nivelación en el concreto y los dientes en los rastrillos pueden ocasionar segregación.

La compactación inicial del concreto en las losas, a excepción de los pisos fuertemente reforzados, generalmente se logra en las primeras operaciones de extendido, vibrado, reglado, flotado y aplanado. El uso de pisón de reja / parrilla o de rodillos de malla, es generalmente indeseable e innecesario debido a que provoca salpicaduras. El extendido por vibración debe minimizarse.

En caso de que los pisos se encuentren altamente reforzados y con instalaciones, se requerirá del uso de vibradores de inmersión para garantizar una correcta consolidación del concreto alrededor de estos elementos. Se deben tomar las precauciones debidas para evitar la segregación causado por el sobrevibrado para extender el concreto, especialmente en las secciones más profundas.

La cabeza del vibrador debe introducirse en forma vertical durante el proceso. En losas de espesores menores, se debe tratar de utilizar vibradores cortos de

125 mm (5") para permitir la inserción vertical. Cuando la losa sea muy delgada para permitir la inserción vertical, el vibrador deberá ser introducido inclinado u horizontal.

No se deberá permitir que el vibrador se ponga en contacto con la base, ya que se podría contaminar el concreto con materiales ajenos a él.



Figura 6.3-1 Extendido del concreto empleando palas cortas de bordes cuadrados.

#### **6.4 Enrasado**

El enrasado o reglado es el acto de moldear la superficie del concreto hasta un nivel predeterminado, generalmente establecido por los bordes de la cimbra. Esto se deberá realizar inmediatamente después del vaciado del concreto y se puede hacer manualmente con reglas simples o mecánicamente mediante reglas vibratorias, rodillos vibratorios o reglas láser.

De todas las operaciones de colocación y acabado del concreto, el reglado es la operación que contribuye de manera más importante en la obtención del nivel deseado. La estabilidad de la cimbra o de las guías de la regla, tiene un impacto directo en la precisión del reglado. Consecuentemente, se deberá tener cuidado en elegir el sistema de cimbras y el método de reglado, que mejor correspondan a las tolerancias especificadas, del nivel final del piso.

Las cimbras generalmente están construidas de madera o de metal. El espaciamiento entre cimbras y el soporte proporcionado por ellas, influirá en la precisión de la operación de reglado.

El ancho de las franjas generalmente varía entre 3 y 5 metros, sin embargo, varía principalmente por depender en parte de la separación de los ejes de las columnas. Generalmente las franjas de un mismo proyecto, tendrán anchos iguales y además se deberá buscar que tengan bordes que coincidan con los ejes de las columnas.

La colocación del concreto normalmente se realiza con colados en bloques o con colados en franjas. Los colados en bloques generalmente tienen longitudes y anchos de más de 15 m, mientras que los colados en franjas tienen anchos de menos de 15 m y longitudes variables de cientos de metros. Para el caso de piso súper planos se recomiendan anchos de franjas menores a los 7 metros, para poder emplear de mejor manera las herramientas de corrección de planicidad como el bump cutter, el straightedge, etc. Sin embargo, hoy en día también con colados en bloques en las que se hace el enrasado del concreto con reglas láser ya se logran tener pisos super planos, sin embargo, en este caso es vital la experiencia del contratista para lograrlo.

La selección del tipo de guías para el reglado depende de la configuración del colado. El reglado de colados en franjas, generalmente se realiza utilizando rodillos o reglas vibratorias soportados por cimbras, mientras que en el caso del reglado de colados en bloque con equipos de regla láser, la guía es un rayo láser que los sensores del equipo detectan y usan como referencia.

Para el caso de pisos industriales no es común realizar el enrasado con equipo manual, normalmente por rendimiento y por las bondades que ofrecen los equipos modernos. La recomendación es emplear reglas o rodillos vibratorios, así como reglas láser, cuando todos estos equipos facilitan la operación del enrasado y además permiten colocar el concreto con un revenimiento menor que el que se utilizaría al realizar el reglado manualmente.

Las reglas y rodillos vibratorios, moldean y aplanan al concreto, a la vez que lo consolidan. Las reglas y rodillos vibratorios se deberán avanzar tan rápido como lo permita la operación de consolidación del concreto, ya que de lo contrario, gran cantidad de mortero será arrastrado a la superficie.



**Figura 6.4-1** Regla vibratoria y regla láser empleados para colados en franjas y en bloques respectivamente, en proyectos de pisos industriales.

## **6.5 Nivelación**

Después del proceso del enrasado, la superficie de concreto está lista para ser nivelada y suavizada para las operaciones subsecuentes de acabado. La nivelación debe realizarse inmediatamente después del enrasado y deberá terminar antes que se presente el agua de sangrado en la superficie, ya que cualquier operación realizada sobre la superficie de concreto cuando el agua de sangrado esté presente, puede provocar defectos posteriores en la losa.

La nivelación se realiza mediante una flota llamada “bullfloat” o flota tipo “darby”, cuyos propósitos son de eliminar las huellas y rellenar oquedades en la superficie causadas en el enrasado. Es decir, que desde esta etapa, se puede ir “cortando puntos altos y rellenando puntos bajos” para corregir planicidad en el piso.

La exigencia de la especificación de planicidad y nivelación del piso (números f) normalmente viene de la mano con el tamaño de la flota a emplear, por ejemplo, para proyectos con especificación promedio de planicidad 20 o menor, se puede usar una flota pequeña hasta de 1.5 metros de ancho. Para valores de planicidad entre 20 y 25, se recomiendan las flotas grandes de 2.4 a 3.00 metros (8 a 10 pies) de ancho y para proyectos con valores de planicidad superiores de 25 se recomiendan las herramientas conocidas como “bump cutter” o “straightedge carretero” a partir de la segunda pasada de la flota.

Las flotas tipo “bullfloats” y “darbies” tienen en esencia el mismo propósito, pero proveen diversas ventajas y características una de la otra. El primer tipo tiene un mango más grande que facilita alcanzar superficies más grandes, mientras que las flotas tipo darby que son de un mango más corto, facilitan el acabado en bordes y zonas difíciles para la flota convencional.

En proyectos con alta exigencia de planicidad y nivelación, es recomendado el uso de una herramienta precisamente de corrección de planicidad, como lo es el “straightedge” de 3 metros de ancho o el bump cutter, la herramienta se flota sobre la superficie de manera suave y continua, que al pasarla hace una función de corte de los puntos altos de la superficie. Se recomienda que en cada pasada se traslape la mitad del ancho de la herramienta.



Figura 6.5-1 Nivelación de la superficie con herramientas que permiten ir corrigiendo la planicidad, como el check rod (izquierda) y el bump cutter (derecha).

## 6.6 Flotado

El término flotado se utiliza para describir la compactación y consolidación de la superficie del concreto no formada. El flotado se lleva a cabo en dos etapas separadas durante el proceso de acabado del piso de concreto.

El flotado inicial (bull-floating), se realiza a mano inmediatamente después del enrasado, empleando una flota tipo bull float, flota tipo darby o del tipo

“straightedge” para además corregir planicidad. Este flotado debe terminarse antes de que cualquier exceso de humedad o agua de sangrado se presente en la superficie, ya que cualquier operación de acabado que se realice mientras exista un exceso de humedad o de agua de sangrado en la superficie del concreto, ocasionará una superficie polvosa y/o con desprendimientos.

El segundo flotado se realiza después de la evaporación de la mayoría del agua de sangrado, empleando generalmente equipos mecánicos.

El flotado, ya sea manual o mecánico tiene 4 propósitos:

1. Empujar el agregado grueso ligeramente debajo de la superficie de mortero, compuesto por el agregado fino y el cemento.
2. Eliminar pequeñas imperfecciones, incluyendo crestas y valles para lograr una superficie plana.
3. Compactar y consolidar el concreto, además de traer mortero a la superficie, preparándolo para las siguientes operaciones de acabado.
4. Mantener la superficie abierta, de tal modo que el aire y agua del sangrado puedan escapar.

En general, se puede decir que el concreto está listo para el flotado mecánico cuando:

- \* El agua ha desaparecido de la superficie.
- \* El concreto pueda soportar el peso de una persona con sólo un imperceptible hundimiento en la superficie (menor a 6 mm, 1/4 pulg.).
- \* El mortero no sea lanzado por los discos o comales de flotado.

Las condiciones antes descritas para indicar que el concreto está listo para el flotado se cumplen después de un cierto tiempo de espera, el cual en ocasiones es difícil determinar debido a que varía principalmente a las condiciones climáticas del sitio de los trabajos, por lo que la experiencia del contratista juega un rol muy importante en ésta y las posteriores etapas.

El flotado del concreto hoy en día es realizado principalmente por medios mecánicos, sin embargo, se recomienda siempre hacer la primer pasada con herramientas manuales, ya que al usar los discos convencionales de flotado en la primera pasada puede provocar delaminaciones u otra serie de problemas principalmente en pisos con endurecedores superficiales.





Figura 6.6-1 Flotado de concreto con allanadora con discos de flotado y herramienta de corrección de planicidad (bump cutter) a 45 grados del eje del colado entre operaciones de flotado.

### 6.7 Acabado en pisos planos

El proceso de acabado de un piso super plano requiere de un mayor cuidado en los detalles que un piso convencional, sin embargo, se siguen en general los mismos pasos.

Se recomienda que la colocación de la cimbra cumpla con la precisión de la elevación presentada en las tablas 6.11-2 y 6.11-3 (dentro de la sección de tolerancias superficiales). Para pisos con especificación de nivelación superior a 50 (F1), la parte superior de la cimbra deberá ser revisada con la herramienta de corrección de planicidad, como el straightedge o el bump cutter, y con respecto al ancho de la franja colada, se recomienda que a medida que aumente la especificación de nivelación, se reduzca el ancho de la franja colada.

En general se dice que las características de planicidad y nivelación obtenidas son mejores mediante el uso de reglas vibratorias para el enrasado inicial del concreto. Además el uso de herramientas de corrección de planicidad ayuda en gran medida para cortar los puntos altos y rellenar los puntos bajos. De igual manera que las especificaciones de nivelación, a medida que la especificación de planicidad (Ff) aumenta, se recomiendan anchos de colado menores, y pasadas a 45 grados con respecto al eje del colado.

En pisos super planos con especificación de Ff y F1 superior a 50, después del enrasado con regla vibratoria vienen varias pasadas de la herramienta de corrección de planicidad (straightedge, bumpcutter, etc.). El flotado inicial se puede hacer con una flota ancha pasándola a 45 grados con respecto al eje de colado, posteriormente viene el flotado mecánico, luego el corte y relleno de puntos altos y bajos con herramientas manuales, cuando el concreto lo permita seguirá el allanado mecánico y posteriormente la corrección de planicidad una vez mas y así sucesivamente hasta que el concreto endurezca de tal manera que solo podamos hacer el allanado mecánico para obtener el pulido que busquemos en la superficie.

### 6.8 Allanado

El propósito del allanado es el de producir una superficie dura, densa y lisa. Es realizado inmediatamente después del flotado. Además el allanado al crear una superficie dura y densa, mejora la resistencia a la abrasión de la superficie.

El mortero superficial en un piso industrial allanado tendrá una relación agua-cemento baja, producto del proceso de allanado que expulsa el agua y aire libre de la losa. Cuando se analizan núcleos de concreto con acabado allanado o pulido, existe una diferencia de color en la superficie de alrededor de 3 mm (1/8 pulg.) con el resto del núcleo de concreto; la capa de mortero más oscuro representa una relación de agua-cemento menor.

El proceso de allanado o pulido mecánico es similar al flotado con medios mecánicos, excepto que en el primero, el acabado se realiza con una menor área de contacto, es decir, que se realiza con las aspas de pulido de las allanadoras mecánicas. La llana metálica o las aspas deben ser inclinadas con el propósito de ejercerle mayor presión a la superficie de la losa. Generalmente, una inclinación mayor producirá una superficie más lisa y densa.

El allanado mecánico debe comenzar cuando el exceso de humedad traído a la superficie por el flotado inicial, haya desaparecido de la superficie y cuando no presente un estado muy visible de plasticidad (o pegajoso). El tiempo adecuado de espera entre el flotado y el allanado, depende del diseño de mezcla y las condiciones atmosféricas predominantes del lugar.

El proceso de allanado o pulido debe hacerse siguiendo un cierto patrón sistemático. Normalmente se requieren 2 o más pasadas para incrementar la compactación de finos en la superficie y resultar en mayor resistencia a la abrasión. Además se deberá dar un cierto tiempo entre cada pasada para dejar endurecer el concreto y desaparezca el brillo de agua.

Se recomienda incrementar la inclinación de las aspas en cada pasada para ejercer presión adicional mientras el concreto endurece y también se recomienda hacer cada pasada en dirección opuesta a la anterior.



Figura 6.8-1 Pulido de piso industrial con allanadora mecánica (comúnmente llamados helicópteros).

## 6.9 Corte de Juntas

Un adecuado sistema de juntas puede eliminar la posibilidad de agrietamiento aleatorio en el piso. Los aspectos del sistema de juntas que pueden llevar al

éxito del proyecto incluyen escoger el tipo correcto de junta para cada ubicación, establecer un buen dimensionamiento de losas y arreglo en toda el área del piso y por último hacer el corte para formar la junta en el tiempo correcto.

A pesar de que existen diversas maneras de crear la junta en un piso de concreto, tal y como ya se menciona en el capítulo 2, la única manera aceptable de crear la junta en un piso industrial es mediante el corte con disco, para su posterior sellado. Esto es debido al uso esperado del piso y a los esfuerzos ejercidos por las ruedas pequeñas de los montacargas a los bordes de las juntas.

Las cortadoras de concreto pueden ser de gasolina o eléctricas y los discos de corte pueden ser abrasivos o de diamantes.

Actualmente se utilizan principalmente dos tipos de cortes: el corte convencional húmedo y el corte temprano en seco.

El proceso de corte temprano en seco se utiliza cuando se desea la formación de juntas a una edad temprana. Las juntas son formadas usando discos impregnados de diamante. El corte obtenido en este proceso, no es tan profundo como el corte obtenido en el proceso convencional, se obtiene una profundidad máxima de 32 mm (1 1/4 "). Sin embargo, la entrada temprana permite que las juntas se formen antes que se desarrollen esfuerzos de tensión significativos en el concreto, incrementando así, la posibilidad de que la grieta se forme en la junta, cuando se desarrollen esfuerzos suficientes.

Se debe tener cuidado que el corte no sea interrumpido cuando pase sobre un agregado grueso o duro. El agregado grueso, debe ser aserrado también, a fin de que la junta pueda trabajar adecuadamente.

Con el método convencional de corte, es decir, el corte húmedo, las juntas se realizan normalmente entre las 4 y 12 horas después de que el acabado de la losa ha terminado, 4 horas en climas cálidos y 12 horas en climas fríos. En el proceso de corte temprano, el periodo de tiempo adecuado para el corte normalmente varía entre 1 hora para clima cálido y 4 horas para clima frío después de que el acabado del piso a concluido. Estos periodos podrán aumentarse para pisos con refuerzo de fibras de acero o con endurecedores superficiales metálicos.

En el método convencional, la profundidad de corte debe ser al menos 1/3 del espesor de la losa o 25 mm (1"), cualquiera que sea mayor. En el método de corte temprano, la profundidad deberá ser de al menos 25 mm (1"), a menos que la experiencia haya demostrado que un corte más superficial sea suficiente. Estas recomendaciones asumen que el corte temprano se hace dentro de los límites de tiempo establecidos anteriormente.

Independientemente del método seleccionado, el corte de juntas deberá realizarse:

1. Antes de que el concreto comience a enfriarse.
2. Tan pronto como la superficie del concreto sea lo suficientemente firme para no ser rasgado o dañada por el disco.
3. Antes de que se forme el agrietamiento aleatorio causado por la contracción y secado del concreto en la losa.



Figura 6.9-1 Corte empleando equipos de corte temprano y vista del corte temprano realizado en seco.

### 6.10 Curado

El objetivo del curado en pisos de concreto, es el de optimizar la hidratación del cemento, manteniendo un contenido de humedad y temperatura óptimos en el concreto. A través de la hidratación de las partículas de cemento, se desarrolla su incremento de resistencia y por ende la resistencia a la abrasión aumenta. Las condiciones óptimas del concreto para el curado están en el rango de 10°C a los 21°C. A temperaturas menores de los 10°C el tiempo de fraguado se incrementa y el procedimiento de acabado se lleva más tiempo. A temperaturas mayores a los 21°C el riesgo de agrietamientos aumenta.

Una losa de concreto tiene una larga superficie expuesta a la intemperie en relación con su volumen, de tal modo que si la superficie se encuentra descubierta, el agua puede rápidamente evaporarse y provocar el secado temprano de la losa. Lo anterior inhibe la hidratación del cemento, produciendo una superficie de concreto débil con baja resistencia a la abrasión. Si el secado es excesivo, aún con tráfico ligero en la losa puede provocar polvo. Un cierto tipo de agrietamiento también se le atribuye a un inadecuado proceso en el curado; por todos estos motivos resulta indispensable un adecuado proceso de curado. El curado continuo con agua de una losa, debe ser de por lo menos de 7 días.

Los métodos más eficaces para la mayoría de los pisos industriales son aquellos en los que se utiliza agua, pero no siempre pueden ser los más prácticos, por ejemplo, los pisos con superficies metálicas requieren técnicas de curado especiales. Para este tipo de piso deben seguirse las recomendaciones o instrucciones del fabricante de los materiales metálicos.

Para el proceso del curado, se enuncian los siguientes tres métodos alternativos:

1. Compuestos de curado. Consiste en el sellado de la superficie y bordes mediante la aplicación con aspersor de una membrana o compuesto de curado. El compuesto de curado deberá ser de un tipo que no deje una decoloración o marca permanente en la superficie, así como no intervenir en la aplicación de cualquier tratamiento superficial subsecuente.

2. Mediante hojas de polietileno o papel impermeable. Las películas de polietileno y las hojas de papel impermeable son usadas como métodos de retención de humedad del concreto de la superficie previamente humedecida, colocada tan pronto como sea posible sin dejar marca en la superficie.

Sin embargo, este método de curado no se recomienda para pisos de acabado aparente debido a que el color de la superficie de concreto puede no llegar a ser uniforme, de hecho las manchas son más frecuentes si la cubierta de polietileno está expuesta directamente a los rayos del sol.

3. Mediante una cubierta húmeda. La lona es el recubrimiento húmedo usado con mayor frecuencia.

Este material y otros recubrimientos húmedos, cuando se aplican en la forma correcta, proporcionan un abastecimiento continuo de humedad, distribuida uniformemente sobre la superficie. Se deben colocar sobre el concreto tan pronto como esté lo bastante duro para que la superficie no se dañe. Todos los bordes expuestos del concreto deben ser cubiertos con sumo cuidado. Los recubrimientos deben mantenerse húmedos, de manera que la superficie húmeda permanezca en contacto continuo con el concreto, durante el periodo de curado.

Como se menciona con anterioridad, el método más efectivo de curado es el de mantener continuamente con agua la superficie de concreto, sin embargo, tiene las desventajas de limitar los trabajos posteriores que se deban hacer sobre la superficie, ya que muy poco o prácticamente nada se puede hacer hasta que se termine el periodo de curado y se remueva el agua, además el agua puede filtrarse dentro de las juntas y grietas, incrementando el contenido de agua de la subrasante.

No importa que método de curado sea elegido, los bordes de las juntas también deberán ser curados. Esto es especialmente crítico en juntas en pisos industriales que estarán sometidas al tráfico de montacargas. En el caso que el compuesto o membrana de curado interfiera con el sellador a emplear en las juntas, la membrana podrá ser removida de los bordes de la junta mediante corte con disco o algún medio mecánico. Una solución práctica a este problema

es colocar arena húmeda al interior de la junta, lo que mantendrá húmedos los bordes de la junta el tiempo que dure el proceso de curado.



Figura 6.10-1 Curado de losa de concreto, mediante la aplicación de membrana de curado.

La superficie del piso recién construido deberá protegerse de las actividades de construcción posteriores. Por tal motivo se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Evitar pisar el piso por al menos un día.
2. Evitar el tránsito de vehículos ligeros de llantas sólidas en un lapso de 7 días, a menos que las pruebas de laboratorio muestren que el concreto ha alcanzado una resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup> a la compresión simple.
3. Dejar las hojas de papel o plástico el mayor tiempo posible en el piso.

Proteger la superficie de la losa con hojas de madera o con algún otro medio cuando se espere tráfico pesado.

### **6.11 Tolerancias Superficiales**

Durante mucho tiempo, las tolerancias superficiales del piso fueron medidas colocando una regla de 3 metros de largo (10 pies) a lo largo de la superficie. La calidad de la superficie se basaba en la diferencia de elevaciones entre el punto más alto y el más bajo. Si la diferencia era pequeña, el piso era considerado plano y si representaba una diferencia mayor, obviamente se clasificaba como piso no plano. De esta manera y siguiendo el criterio mencionado, la regla era movida de una ubicación a otra en todas direcciones, para asegurarse que la superficie fuera lo más plana posible.

En años recientes se desarrollaron otros métodos para medir las tolerancias superficiales de los pisos, ya que los nuevos equipos usados en las áreas de almacén requerían de pisos más planos para su óptima operación, así como estándares más confiables para su medición.

El sistema de números F ofrece una ventaja muy importante sobre el sistema tradicional de medir la planicidad con la regla de 3 metros, ya que la información es almacenada y guardada en una pequeña computadora, por lo que ahora se

puede identificar específicamente qué área del piso no está cumpliendo con la especificación y cuál si lo hace.

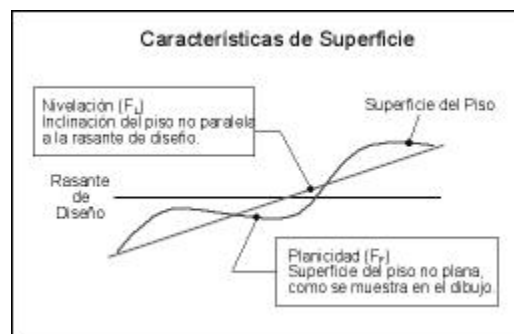
Este nuevo método busca diferencias de elevación tanto en distancias cortas como largas, analizando los resultados empleando funciones estadísticas. Las diferencias de elevación en distancias cortas nos dicen si la superficie presenta demasiadas crestas y valles, es decir, qué tan ondulado o qué tan plana es la superficie, mientras que el análisis de distancias largas nos permite saber el grado de inclinación que presenta la superficie del piso, es decir su nivelación, permitiendo conocer de manera cuantitativa el grado de planicidad y nivelación del piso.

El Instituto Americano del Concreto (ACI) recomienda medir la planicidad del piso dentro de las primeras 24 horas después de la colocación y preferentemente antes de las 72 horas.

En el método anteriormente usado para medir la planicidad se podía conocer la profundidad de los valles en el perfil de la superficie del piso, sin embargo, no era posible conocer la frecuencia de las “olas” en la superficie, por lo que prácticamente sus resultados no son del todo aprovechados.

El sistema de números F, también conocido como “números fase del perfil del piso”, consta de 2 números que describen la calidad superficial del piso, el primero indica el valor de la planicidad (Ff) por sus siglas en inglés (floor flatness) y el segundo número indica la nivelación (FI) también por sus siglas en inglés (floor levelness). Los resultados se presentan ya sea en sistema inglés o métrico y como quiera que sea el resultado (números f) es adimensional. La manera correcta de anotarlos es siempre primero el valor de la planicidad seguido del valor de la nivelación, divididos por una línea diagonal (Ff/FI).

Existen aparatos para medir los números f, aunque siguiendo la formulación se pueden medir con nivel óptico. El aparato más comúnmente empleado para la medición de números F es conocido como dipstick. La manera de realizar las mediciones y de calcular los números F se detallan en la norma ASTM D-1155 (método estándar para la determinación de la planicidad y nivelación del piso, empleando el sistema de números F).





**Figura 6.10-1 Ilustración del concepto de planicidad (ondulación) y nivelación (inclinación) de la superficie del piso.**

La tabla 6.10-1 presenta una comparación entre el método tradicional de medición de planicidad y el nuevo sistema de números F, para distintas clases de pisos.

El rango de valores de números F es desde los pisos convencionales con valores Ff /FI 15/13 hasta los de pisos super planos con valores superiores a 50/50. Obviamente el grado de complejidad de las técnicas de colocación y acabado se incrementa de acuerdo al requerimiento de planicidad y nivelación, lo que lleva también al incremento en el costo de la colocación. Por ejemplo, los pisos Ff /FI 15/13 se pueden lograr enrasando el concreto con regla manual y empleando flotas convencionales para nivelar la superficie, mientras que en el otro extremo un piso súper plano se logra normalmente haciendo franjas de colado no muy anchas, enrasando con regla vibratoria, empleando herramientas manuales para la corrección de planicidad entre las operaciones flotado y realizando varias pasadas de cada una de las etapas del proceso constructivo. Para mayores detalles de técnicas constructivas recomendadas véase la tabla 6.10-2 y 6.10-3 o consulte la publicación del ACI 302 sobre construcción de losas sobre el terreno.

Lo importante es especificar los valores de planicidad de acuerdo a las necesidades que nos dicte el uso del piso, ya que para evitar costos de construcción y para facilitar la construcción los pisos no deben ser más planos o nivelados de lo necesario. Por ejemplo, áreas peatonales no necesitan ser especificadas con valores superiores a Ff/FI mayores de 20/15, pisos con tráfico ligero de montacargas convencionales pueden estar en el rango de Ff/FI 20/15 a 30/20 al menos que por el uso de un equipo especial se determine lo contrario.



**Figura 6.10-2 Medición de planicidad empleando el Dipstick, durante el proceso constructivo después del pulido de la superficie y antes del corte.**

Los fabricantes de montacargas pueden ayudarnos a conocer los valores de Ff/FI recomendados para el mejor aprovechamiento de los equipos. Pasillos muy angostos con racks de almacenamiento considerablemente altos pueden necesitar superficies muy planas (Ff/FI 50/50 o mayores).



Como conclusión, el sistema de números F no fue desarrollado para encontrar culpables, sino para contar con un método de medición de planicidad y nivelación que permita y facilite el contar con piso planos y super planos, ya que mediante mediciones en cada colado nos permite identificar las técnicas constructivas que en mayor medida mejoren los valores de números F, y las podamos repetir en los colados posteriores. Adicionalmente, en la actualidad el sistema no nada mas es usado para pisos super planos con áreas de almacén de pasillos angostos y racks altos, sino que también es usado por diseñadores y propietarios de todo tipo de pisos industriales que buscan conocer el nivel de planicidad que sus contratistas le entregan, y de esta manera cuantitativa se aseguran de cumplir la especificación realizada.

Descripción	Ejemplos	Terminado	Tolerancia con la regla de 3 mts (10 pies) en mm	F <sub>f</sub>	F <sub>i</sub>
Convencional	Pisos de uso comercial o industrial sin especificación exigente de planicidad.	Enrasado manual con pulido con llanas de acero, sin huellas del alfanado o picos.	+8	20	15
Moderadamente Plano	Cualquier piso que requiera un cierto grado de planicidad y una superficie suave.	Con herramientas manuales de corrección de planicidad (franjas de 10-15 mts de ancho). Pulido con llanas de acero.	+5	30	20
			No recomendado	40 a 60	30 a 50
Súper Planos	Áreas de almacén con pasillos angostos y racks altos. Estudios de TV.	Con herramientas manuales de corrección de planicidad (franjas de 10-15 mts de ancho). Pulido con llanas de acero.	No recomendado	Mayores de 50	Mayores de 50

Tabla 6.10-1 Correlación aproximada entre los métodos de medición de planicidad.

Especificaciones		Método de acabado
Valor promedio especificado	20	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superficie lisa usando una flota de 10 a 12.5 cms de ancho.</li> <li>2. Esperar hasta que el agua de sangrado desaparezca.</li> <li>3. Flotado con una o mas pasadas de equipo mecánico ( con aspas de combinación o discos de flotado).</li> <li>4. Varias pasadas del equipo de allanado mecánico (con aspas de combinación o aspas de pulido).</li> </ol>
Valor mínimo local	15	
Valor promedio especificado	25	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superficie lisa y corregida usando una flota de 20 a 25 cms de ancho.</li> <li>2. Esperar hasta que el agua de sangrado desaparezca.</li> <li>3. Flotado con una o mas pasadas de equipo mecánico ( con aspas de combinación o discos de flotado).</li> <li>4. Corrección de planicidad después del flotado para generar pasta superficial con el straightedge de 25 cms de ancho.</li> <li>5. Varias pasadas del equipo de allanado mecánico (con aspas de combinación o aspas de pulido).</li> </ol>
Valor mínimo local	17	
Valor promedio especificado	35	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superficie lisa y corregida usando una flota de 20 a 25 cms de ancho, aplicándola en 2 direcciones a 45 grados del eje del colado.</li> <li>2. Esperar hasta que el agua de sangrado desaparezca.</li> <li>3. Flotado con una o mas pasadas de equipo mecánico ( de preferencia con discos de flotado).</li> <li>4. Corrección de planicidad después del flotado para generar pasta superficial con el straightedge de 25 cms de ancho, en 2 direcciones a 45 grados del eje del colado y usando material suplementario para rellenar puntos bajos.</li> <li>5. Varias pasadas del equipo de allanado mecánico ( de preferencia con aspas de pulido).</li> </ol>
Valor mínimo local	24	
Valor promedio especificado	50	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superficie lisa y corregida usando una flota de 20 a 25 cms de ancho o una herramienta para corregir planicidad (highway straightedge), aplicándola en 2 direcciones a 45 grados del eje de colado.</li> <li>2. Esperar hasta que el agua de sangrado desaparezca.</li> <li>3. Flotado con una o más pasadas de equipo mecánico ( de preferencia con discos de flotado). La primera pasada realizada a lo ancho del colado.</li> <li>4. Corrección de planicidad después del flotado para generar pasta superficial con el straightedge de 25 cms de ancho, en 2 direcciones a 45 grados del eje del colado y usando material suplementario para rellenar puntos bajos.</li> <li>5. Varias pasadas del equipo de allanado mecánico ( de preferencia con aspas de pulido).</li> <li>6. Corrección de planicidad de la superficie después del allanado haciendo varias pasadas de la herramienta de corrección (con peso) para cortar puntos altos. No se deben llenar puntos bajos en esta etapa.</li> </ol>
Valor mínimo local	35	

**Tabla 6.10-2 Recomendaciones para valores de planicidad (Ff) en pisos industriales.**

Especificaciones		Método de acabado
Valor promedio especificado	20	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Superficie lisa usando una flota de 10 a 12.5 cms de ancho</li> <li>2. Esperar hasta que el agua de sangrado desaparezca.</li> <li>3. Flotado con una o mas pasadas de equipo mecánico ( con aspas de combinación o discos de flotado).</li> <li>4. Varias pasadas del equipo de allanado mecánico (con aspas de combinación o aspas de pulido).</li> </ol>
Valor mínimo local	15	
Valor promedio especificado	15	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coloque cimbra perimetral (con instrumentos ópticos o láser).</li> <li>2. Colados en bloques de dimensiones variables son comunes. Las técnicas usadas cuando se emplean reglas portátiles o guías húmedas en el colado aplican para obtener el nivel inicial en el enrasado.</li> </ol>
Valor mínimo local	10	
Valor promedio especificado	20	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coloque cimbra perimetral (con instrumentos ópticos o láser).</li> <li>2. Colados en bloques de dimensiones variables son comunes. Las técnicas usadas cuando se emplean reglas portátiles o guías húmedas en el colado aplican para obtener el nivel inicial en el enrasado.</li> <li>3. Revise el nivel después del enrasado y si es necesario repita el enrasado.</li> </ol>
Valor mínimo local	15	
Valor promedio especificado	25	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coloque la cimbra empleando instrumentos ópticos o láser. Los ópticos permiten mejor precisión en el control de la elevación.</li> <li>2. Realice colados en franja de máximo 15 metros de ancho, usando la cimbra del borde para establecer el nivel inicial.</li> <li>3. Use regla vibratoria para el enrasado inicial.</li> </ol>
Valor mínimo local	17	
Valor promedio especificado	30	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coloque la cimbra empleando instrumentos ópticos o láser. Los ópticos permiten mejor precisión en el control de la elevación.</li> <li>2. Realice colados en franja de máximo 9 metros de ancho, usando la cimbra del borde para establecer el nivel inicial.</li> <li>3. Use regla vibratoria para el enrasado inicial.</li> <li>4. Revise el nivel después del enrasado y si es necesario repita el enrasado.</li> <li>5. Use regla láser en lugar de guías rígidas y regla vibratoria para lograr esta misma calidad.</li> </ol>
Valor mínimo local	20	
Valor promedio especificado	50	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Coloque la cimbra empleando instrumentos ópticos a una precisión de 1.5 mm. Use la herramienta de corrección de planicidad para detectar puntos altos en la cimbra y devaste la parte superficial superior para estar dentro de un rango de 1.5 mm.</li> <li>2. Realice colados en franja de máximo 6 metros de ancho, usando la cimbra del borde para establecer el nivel inicial.</li> <li>3. Use regla vibratoria para el enrasado inicial.</li> <li>4. Revise el nivel después del enrasado y si es necesario repita el enrasado.</li> <li>5. Después del paso de la regla vibratoria pase 2 ó 3 veces la herramienta de corrección de planicidad a lo largo del eje de la regla.</li> <li>6. Use regla láser en lugar de guías rígidas y regla vibratoria para lograr esta misma calidad.</li> </ol>
Valor mínimo local	35	

Tabla 6.10-3 Recomendaciones para valores de nivelación (F) en pisos industriales.

## 7. EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PRODUCTOS PARA PISOS INDUSTRIALES

El presente capítulo enlista y describe en forma genérica tanto los equipos, herramientas y productos desarrollados para su aplicación en proyectos de pisos industriales, así como las características y propiedades más importantes de los mismos.

Para mayor información le recomendamos consultar a los fabricantes de los mismos y evaluar las distintas opciones que tenga de una manera técnica y económica. Tanto la elección, como el correcto uso de los mismos, podrán ser muy importantes para obtener el producto terminado de la calidad deseada.

### 7.1 Equipos y Herramientas

#### 7.1.a Jaladores

Son hojas de 20" X 4" de acero o aluminio unida a un mango de madera que se utiliza para enrasar y distribuir de manera más uniforme y rápida el concreto, la forma rectangular nos permite empujar o jalar concreto sin tener que palearlo evitando así la segregación además de colocarlo más cercano al nivel deseado siguiendo el nivel de la cimbra o del concreto previamente colocado a nivel.



Figura 7.1-1 Empleo de jaladores para la colocación del concreto frente a la regla

### 7.1.b Regla vibratoria tipo estructura

La regla vibratoria se utiliza para enrasar y vibrar el concreto uniformemente en toda su longitud. La geometría de la regla vibratoria y la distribución de los excéntricos permite distribuir la vibración de 8000 VPM a todo lo largo de la regla con la misma intensidad consolidando el concreto eficientemente hasta espesores de 20 cm.

La regla se arma en secciones de 2.5, 5 y 7.5 pies mediante conectores de precisión que permiten lograr valores de especificaciones de nivelación FL muy exigentes. En la parte frontal se cuenta con cuchillas de corte y enrasado y en la parte posterior con cuchillas de flotado con un total de contacto con el concreto en ambas de 7". Disponible en motor a gasolina y con aire. Se puede armar hasta 22 m de largo y colocar revenimientos desde 2" en reglas de aire y 3" en reglas a gasolina.



Figura 7.1-2 Enrasado y vibrado de concreto con regla vibratoria.

### 7.1.c Regla láser

Los equipos de colocación de concreto de regla láser representan otra opción más para el tendido y enrasado del concreto. El equipo enrasa el concreto mediante una regla móvil con sensores que son guiados por un haz láser. El ancho de la regla, así como el alcance del brazo que la extiende depende del modelo.

Su principal ventaja consiste en su rendimiento que permite colocar áreas más grandes con mayor facilidad que el área colada en condiciones normales con regla vibratoria. Al ser un equipo muy versátil permite que los colados no sean obligatoriamente en franjas como se hace en el caso de la regla vibratoria, lo que permite tener menor cantidad de juntas de construcción en la nave y un programa de obra con menor período de tiempo.

Los proyectos de pisos súper planos, con especificación de  $F_f / F_l$  superiores a 50/50, convencionalmente se han venido recomendando el realizarlos en colados con franjas, lo que nos hacía pensar que estos proyectos sólo se podían hacer con reglas vibratorias y no con reglas láser, sin embargo, la experiencia ha mostrado que también con reglas láser se pueden lograr números  $F$  altos, aunque debemos reconocer que es más sencillo obtener números  $F$  satisfactorios con regla vibratoria y colados en franjas. Para más detalles de técnicas para lograr mejores números  $F$  y las herramientas apropiadas para ello, revise la sección de tolerancias superficiales en el capítulo 2.



Figura 7.1-3 Colocación de concreto con regla láser.

#### **7.1.d Magic screed**

La regla tipo Magic Screed se utiliza en donde no podamos colocar cimbras ya que esta regla se desliza sobre muestras húmedas de concreto permitiendo tener acceso a espacios reducidos o con obstáculos por su peso ligero y versatilidad de cambiar de tamaño de cuchillas de magnesio desde 4 pies (1.22 m) hasta 16 pies (4.88 m). Disponible a gasolina y accionada por aire. Su uso no se recomienda en proyectos grandes, ni con un nivel de especificaciones muy exigentes, sin embargo, puede resultar un equipo muy práctico para casos de emergencia o en áreas de difícil acceso.

#### **7.1.e Avión o flota de magnesio tipo canal**

Herramienta de flotado de magnesio con superficie de contacto de 6" y aristas redondeadas, la forma tipo canal evita que se deforme con el uso lo que permite lograr mayor planicidad. La superficie de contacto baja el agregado grueso y arrastra mortero a la superficie lo que nos ayuda a poder trabajar mejor la superficie para las operaciones de corrección siguientes. Se utiliza después del paso de la regla y en el sentido transversal a la franja del colado con un ángulo

de inclinación sobre el concreto que permite su deslizamiento sin clavarse en el concreto con la ayuda de la cabeza de ajuste de tornillo y las extensiones de magnesio.



Figura 7.1-4 Flotado del concreto mediante la flota tipo canal.

#### 7.1.f Check-rod

El check-rod es una herramienta de magnesio de sección de 4" x 2" con aristas rectas, que permiten el primer corte en el estado plástico del concreto. La longitud de 4" es la que se desliza en el concreto y lo flota. Está diseñada para incrementar la planicidad (mediciones de Ff) . Está disponible en largos de 10' a 12'.

Se utiliza en lugar del avión o flota tipo canal si se buscan mayores números F de planicidad.



Figura 7.1-5 Flotado del concreto y corrección de planicidad con el empleo del check rod.

#### 7.1.g Bump cutter

El bump cutter es una herramienta de magnesio de sección de 2" x 4" con aristas rectas. Se utiliza con la cara de 2" sobre el concreto cortando o rellenando valles y crestas con mortero. Se utiliza con extensiones de magnesio y cabezal de ajuste giratorio después de cada operación de flotado hasta que el concreto lo permita. Se fabrica en largos de 10' a 16'. Su correcto uso es muy importante en proyectos con nivel exigente de tolerancias superficiales de planicidad.



Figura 7.1-6 Corte de puntos altos y relleno de bajos (corrección de planicidad) con el empleo del Bump .

### 7.1.h Straightedge y regla tipo escantillón

Es un perfil de magnesio de 2" X 4" ó 2" X 5" de un ancho mayor a la franja de colado, cuenta con agarraderas en los extremos para facilitar la operación de regleado con movimiento de sierra. Se utiliza después del primer flotado atrás de la regla para corregir aun más los detalles que puedan ir dejando el rebosado si se buscan altos números F. Disponibles en 8' (2.43 m) a 26' (7.92 m) en incrementos de 2' (0.60 m).



Figura 7.1-7 Aplicación de la regla tipo escantillón.

### 7.1.i Vibradores

Se utilizan para garantizar la consolidación uniforme a lo largo de la cimbra , alrededor de pasajuntas y en donde exista una alta concentración de acero en la losa de piso para compensar la vibración absorbida por estos elementos durante el rebosado. Los más prácticos para esta aplicación son los vibradores tipo mochila o Back Pack a gasolina con ejes cortos no mayores a 2.5 m ya que un solo operador puede fácilmente cubrir una gran área de vibrado desplazándose en y alrededor de la losa de manera independiente.





Figura 7.1-8 Vibrador de tipo mochila para el vibrado adicional al de la regla.

## 7.1.j Allanadoras

### 7.1.j.a Allanadoras sencillas

Las allanadoras sencillas de hombre a pie están disponibles en diámetros de 30" (0.76 m), 36" (0.90 m) y 46" (1.20 m) con cuatro aspas de acabado o combinación con la capacidad de adaptarles sobre éstas las aspas de flotado tipo clip o discos de flotado para lograr mayor planicidad (Ff). Son propulsadas con motores a gasolina de 5.5 hp a 13 hp, cuentan con un pitch control o control de inclinación de aspas y un interruptor de seguridad para el operador. La fuerza del motor se transmite por medio de un clutch centrífugo y una banda a la caja de transmisión de engranes y ésta a la araña (spider) que soporta a las aspas.



7.1-9 Diferentes aplicaciones de allanadoras sencillas.

### 7.1.j.2 Allanadoras dobles

Las allanadoras dobles con operador a bordo son equipos que ofrecen la mejor relación peso - fuerza para los trabajos de flotado y acabado pulido. Ofrecen mejores resultados dando el servicio de 3 a 4 allanadoras sencillas cortando así costos y reduciendo tiempos.

Existen dos opciones las que traslapan las aspas (OL) y las no traslapables (NOL). Las primeras son para lograr pulir solamente grandes áreas rápidamente y las (NOL) no traslapables son para combinar flotado y pulido. Las allanadoras dobles (NOL) producen pisos con mayor planicidad cuando se utiliza con disco de flotado logrando incrementar considerablemente los números Ff con esta simple operación.



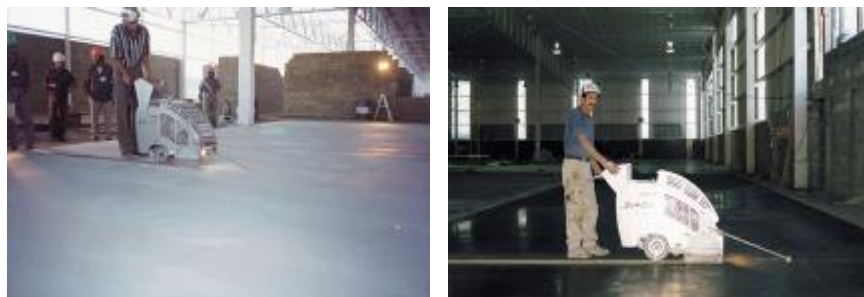
Los tamaños disponibles van desde modelos dobles de 36", 42", 46" y 60" con opciones de motores a gasolina y diesel, transmisiones de engranes o hidráulicas, dos opciones de giro de los rotores, 8 ó 10 aspas, etc. Para adecuarse a las necesidades del proyecto.



7.1-10 Allanadoras dobles con operador a bordo en operaciones de flotado y de pulido.

### 7.1.k Cortadoras de concreto verde

Es el sistema de corte de concreto verde o de edad temprana en seco más reconocido por su efectividad y desempeño. Consiste en equipos ligeros de corte que permiten entrar a cortar a muy poco tiempo después de pulido el firme cortando con discos de diamante de alta velocidad con un sistema de anti - despostillamiento muy efectivo denominado "plate ski", el cual al momento de estar haciendo el corte, mantiene la superficie del concreto a presión en el punto donde se va realizando el corte evitando así despostillar la junta. Los discos giran en sentido contrario al avance, se fabrican 4 tipos diferentes de discos para diferentes agregados y desde 5" hasta 13.5" para los diferentes modelos de cortadoras. Con este sistema de acuerdo al ACI 302-R96 la profundidad de corte requerida es mínimo de 1" o el 10% del espesor de la losa.



7.1-11 Corte temprano con el empleo de cortadoras de concreto verde.

### 7.1.l Rociador de membrana

Es una bomba conectada a un motor de gasolina equipado con mangueras y un sistema de válvulas para aplicar compuestos de curado hasta con el 35% de sólidos al concreto. El equipo está montado en un carrito o directamente sobre un tanque de 200 lts., la válvula retorna al tanque el 60-70% del volumen bombeado para mantener un continuo mezclado mientras el material está siendo aplicado. Este rociador reduce el tiempo y personal necesario para aplicar uniformemente los compuestos de curado.



7.1-12 Operación de curado mediante aspersores de membrana.

### 7.1.m Dipstick 2000

El Dipstick Auto Read Floor Profiler es un instrumento de recopilación de datos que provee un rápido y preciso método de medición de pisos para planicidad y nivelación bajo las especificaciones y normas del ACI ( American Concrete Institute), la CSA ( Canadian Standard Association y el ASTM ( American Society for Testing and Materials) para números F Standard.

Es un equipo compacto, fácil de usar y rápido. Permite medir, analizar y emitir un reporte de números Ff y FI de una superficie de 10,000 pies cuadrados en 30 minutos o menos. Proporciona el lay out de medición de acuerdo a las normas ASTM.



7.1-13 Medición de planicidad y nivelación mediante el Dipstick.

### 7.1.n Dosificadora de endurecedores en polvo

La dosificadora consiste en un embudo viajero montado en una estructura de trabajo equipada con un alimentador para distribuir uniformemente y con mucha precisión la cantidad en peso especificada de endurecedores superficiales metálicos, cuarzos y colorantes en polvo.

Cuenta con ajustes verticales para depositar el material a 2" de la losa. El embudo tiene capacidad de 4 pies cúbicos ( 113.2 Lts), cuenta con controles hidráulicos para la velocidad y alimentación . El sistema hidráulico es impulsado por un motor a gasolina de 5.5 hp. Los claros que se pueden cubrir son hasta de 65" (19.8 metros).



7.1-14 Dosificación de endurecedor en polvo con equipo mecánico.

### 7.1.o Dosificadora láser

Para los proyectos colados con regla láser y especificación con endurecedor en polvo, existe la alternativa de la dosificadora láser, que es un equipo similar a la regla láser, sólo que sin el sistema de sensores láser, es decir, que al igual que la dosificadora empleada para colados en franjas, es un embudo viajero que permite seguirle el paso a la regla láser, distribuyendo de manera uniforme y controlada el endurecedor.



7.1-15 Dosificadora láser para endurecedores en polvo.

### 7.1.p Cimbra metálica

Las cimbras metálicas modelo Aries se fabrican con un riel superior desmontable en forma de L de 2" x 2" con una tolerancia de la parte superior de  $\pm 0.050$ " para lograr las especificaciones de números FL de nivelación satisfactoriamente. Además de proporcionar un enrasado preciso de 90 grados en toda la longitud de la cimbra. La base de la cimbra se fabrica en placa de acero calibre 10 con conectores de nariz para lograr una unión segura y rápida entre secciones de cimbra. Disponible para espesores desde 4" a 14" con accesorios para candado o pasajuntas.



7.1-16 Cimbra metálica modelo aries.

#### 7.1.q Flota manual de magnesio

Herramienta indispensable para trabajar manualmente las orillas y áreas requeridas para flotar la superficie del concreto sin sellarla cuando el concreto está en estado plástico, nos permiten extraer humedad a la superficie para trabajarlo más tiempo o para recuperar áreas que han perdido humedad rápidamente. Son herramientas de aristas redondeadas de magnesio extruido o vaciado comúnmente de 16"x 3 1/4" con mangos de madera o hule



7.1-17 Vista de diferentes flotas manuales de magnesio.

#### 7.1.r Flotas manuales de madera

Es el mismo principio de la flota de magnesio para el flotado del concreto pero más eficiente cuando utilizamos endurecedores superficiales en polvo ya que extraen mas rápidamente humedad hacia la superficie sin sellarla aun con pasadas múltiples. Disponibles en 16"x 3" y 18"x 3 1/2" en maderas laminadas de caoba, secoya, bodark, etc.



7.1-18 Vista y aplicación de flotas manuales de madera.

#### 7.1.s Llanas manuales de acero

Es la herramienta que sigue a la flota de magnesio o madera para sellar y pulir el concreto ya una vez que el concreto ha endurecido lo suficiente, es únicamente para la operación de acabado o pulido. Están disponibles en aceros al carbón templado e inoxidable, en tamaños de 12"x 3" hasta 20"x 4" con puntas cuadradas o redondas, con mangos de madera o hule.



7.1-19 Vista y aplicación de flotas manuales de acero.

### 7.1.t Llana manual tipo darby

Es el mismo principio de la flota manual de magnesio o madera solo que su tamaño es mayor para cubrir mas área y para ayudarnos a incorporar mas rápidamente endurecedores en lugares donde no entra la flota con extensiones. Está disponible en magnesio y madera en tamaños de 30"x 3 1/2".



7.1-20 Vista de llana manual tipo darby.

### 7.1.u Zapatos tipo ski

Son plataformas que permiten al trabajador desplazarse sobre el concreto en estado plástico sin dañar o molestar la superficie, necesario para arreglar detalles o trabajar una losa pegada a un muro o sin acceso en uno de sus lados para trabajar las orillas. Disponible en plástico y lamina con rodilleras integradas para trabajar de pie o hincado.



7.1-21 Zapatos tipo ski para trabajar en el acabado del concreto.

### 7.1.v Platos de flotado de acero montables



Son platos o discos planos de acero que se montan bajo las aspadas de las allanadoras dobles y sencillas mediante clips para realizar las operaciones de flotado del concreto. Indispensables para lograr especificaciones de planicidad Ff en pisos industriales ya que durante su operación ayudan a cortar las crestas y rellenar los valles en la superficie del concreto con el mortero que van arrastrando bajo su superficie y el movimiento giratorio de la allanadora. Se fabrican con placa de acero calibre 10 con una tolerancia de 1/8" de elevación del centro al perímetro exterior, con un chaflán a 45 grados en borde para cortar los bordes en el concreto. Disponible en diámetro desde 30" hasta 59 1/4" para cubrir todas los modelos de allanadoras sencillas y dobles NOL ( no traslapables). Su rendimiento varía desde 12,000 m<sup>2</sup> a 18,000 m<sup>2</sup> antes de reponerlos.



7.1-22 Vista de un disco de flotado montado sobre aspadas de pulido.

## **7.1.w Llanas para allanadoras**

### **7.1.w.1 Llanas de acabado**

Las llanas o aspadas de acabado de las allanadoras que se utilizan para el pulido son hojas de metal de forma rectangular con el soporte al centro lo que permite utilizarla a ambos lados, los bordes en los lados cortos tienen un ángulo de inclinación para evitar dejar marcas sobre el concreto durante el pulido. Se fabrican en espesores de 0.062" y 0.074" y en tamaños de 6" x 14" y 6" x 18" para rotores de 900 mm y 1200 mm respectivamente.

### **7.1.w.2 Llanas de combinación**

Son hojas de metal de forma rectangular con el soporte cargado hacia el frente, las aristas recortadas a 45 grados y tres de sus bordes con inclinación de ataque. Son de mayor superficie que las de acabado permitiendo combinar flotado y acabado controlando la inclinación y velocidad de acabado. Se fabrican en espesores de 0.062" y 0.074" y en tamaños de 8" x 14" y 8" x 18" para rotores de 900 mm y 1200 mm respectivamente.

### **7.1.w.3 Llanas de flotado o tipo clip**

Son hojas de metal rectangulares de mayor tamaño que las anteriores, sin soporte, se montan sobre las aspadas de acabado o combinación mediante un clip para poder incrementar la superficie de contacto y flotar más temprano o ayudar

a incorporar endurecedores. Se fabrican en espesores de 0.074" y en tamaños de 10" x 14" y 10" x 18" para rotores de 900 mm y 1200 mm respectivamente.



7.1-23 Vista de las llanas de acabado, combinación y flotado para allanadoras.

## 7.2 Productos Especiales para Pisos Industriales

La construcción de pisos industriales involucra la utilización de una gran variedad de productos que complementan al concreto mismo, con el fin de facilitar su construcción o incluso de mejorar su desempeño ante la exposición de distintos factores, tales como: abrasión, impacto, cargas concentradas, choque térmico, ataque químico, derrames, etc.

### 7.2.1 Desmoldantes

Su función principal es evitar la adherencia entre el concreto y la cimbra, facilitando así, la limpieza y aumentando la vida útil de la misma, además de mejorar de manera importante el aspecto del concreto mismo. Es muy importante asegurarse que estos desmoldantes no manchen o dejen residuos de grasa en el concreto.

### 7.2.2 Retardadores de evaporación

Son compuestos líquidos monomoleculares aplicados con atomizador, que forman una membrana protectora temporal, que retarda la rápida evaporación del agua contenida en el concreto, disminuyendo así la aparición de fisuras por contracción plástica. Esta membrana se rompe una vez que se comienza a trabajar el concreto, por lo que en ocasiones se requieren varias aplicaciones entre las distintas etapas de flotado y/o pulido del piso. El uso de estos retardadores es particularmente importante cuando se está colando en intemperie bajo condiciones de altas temperaturas o fuertes corrientes de viento. Cabe mencionar que este tipo de productos no sustituyen la utilización de membranas de curado.

### 7.2.3 Membranas de curado

Son compuestos líquidos, cuya función principal es retener al máximo la humedad presente en el concreto recién colado (ya endurecido), de manera tal que se evite una pérdida rápida de la humedad presente, lo cual tiene como consecuencia una disminución de hasta un 66% en la resistencia a la abrasión del concreto, desprendimiento de polvo y la aparición de fisuras de contracción por secado. Si bien, el curado con agua puede ser una buena opción, en muchas ocasiones se dificulta debido a múltiples problemas en el suministro, la

supervisión del proceso, la limpieza de la obra, el daño a equipos o materiales adyacentes, etc.

Existen membranas de curado de color o transparentes fabricadas con distintos compuestos, tales como: hule clorado, parafinas, resinas acrílicas, ceras base agua, entre otros, de cualquier forma es muy importante que las membranas a utilizar cumplan con una pérdida de agua máxima de 0.55 kg/m<sup>2</sup> en un periodo de 72 horas, aplicadas con un rendimiento de 5 m<sup>2</sup>/lt, tal y como lo establece la norma ASTM-C309, de manera que realmente cumplan su función cabalmente. Así mismo, es muy importante considerar las características de los tratamientos o recubrimientos que se vayan a aplicar sobre el piso, ya que muchos de estos no tienen adherencia sobre pisos curados con membranas que dejen residuos, tales como las fabricadas a base de hule clorado o parafinas, entre otras.

#### **7.2.4 Endurecedores superficiales**

Son compuestos en polvo fabricados con distintos tipos de agregados y aditivos, que al ser aplicados sobre la superficie fresca del concreto, aumentan la resistencia a la abrasión y al impacto.

Entre los más comunes se encuentran los fabricados a base de agregado de cuarzo y agregado metálico. Los primeros brindan una resistencia a la abrasión equivalente al doble de la resistencia que presenta un piso de concreto bien curado, mientras que los fabricados con agregado metálico, llegan a alcanzar resistencias de hasta ocho veces la obtenida en un piso de concreto bien curado.

Por otro lado estos endurecedores pueden ser color natural, manteniendo la apariencia del concreto, o bien, pueden brindar un color diferente con el fin de mejorar la apariencia general del piso e incluso la reflectividad del mismo, disminuyendo así el consumo de energía eléctrica para iluminación, además de disminuir la permeabilidad del concreto, previniendo así la absorción de líquidos derramados, siempre y cuando sean limpiados oportunamente. El uso de este tipo de endurecedores es particularmente útil en zonas sujetas a abrasión constante e impactos fuertes, tales como: andenes de carga y descarga, industria metal mecánica, tiendas comerciales, almacenes, etc.

#### **7.2.5 Selladores superficiales**

También conocidos como endurecedores químicos, son compuestos fabricados a base de distintos compuestos tales como: flúor silicatos, silanos, siliconatos, acrílicos, entre otros, cuya función principal es preservar una buena apariencia y facilitar la limpieza de los pisos de concreto.

Estos sistemas se dividen en dos grandes grupos: los que forman película, y los que forman cristales.



Los primeros generalmente impiden de manera más eficiente la penetración de líquidos derramados y proporcionan un brillo inmediato, pero dado el hecho de ser una película expuesta tienden a rayarse y desgastarse rápidamente al estar expuestos a tráfico continuo, en cuyo caso se elevan los costos de mantenimiento. Sin embargo, por el mismo hecho de formar película, existen varios productos que cumplen con la norma ASTM-C309 para membranas de curado, además de su función como selladores.

Por otro lado, los segundos se aplican de manera que el compuesto sea absorbido por el concreto, para que éste reaccione con la cal libre presente en el concreto, formando cristales dentro del microporo del concreto, los cuales a su vez, reducen, pero no impiden totalmente la penetración de líquidos derramados. Así mismo, dado que estos sistemas no forman película, no proporcionan brillo de manera inmediata, sino que se va obteniendo mediante frotado o abrasión, ya sea inducida intencionalmente o que se dé de manera natural por el uso cotidiano, de tal suerte que el piso va adquiriendo mayor brillo con el paso del tiempo.

También es importante mencionar que estos sistemas contribuyen a mejorar el curado del piso, pero no lo sustituyen completamente, por lo que generalmente se recomienda curar el piso con agua antes de su aplicación. De igual forma aún cuando en algunas ocasiones se manifiesta que éstos selladores o endurecedores densifican la superficie de concreto aumentando la resistencia a la abrasión del mismo, el efecto es mínimo cuando se compara contra un piso de concreto bien curado, pero la diferencia puede ser muy significativa cuando se observa el aumento en resistencia a la abrasión que presenta un piso mal curado después de un tratamiento con este tipo de productos.

### **7.2.6 Materiales de soporte para juntas**

Son materiales cuya función principal es rellenar las juntas antes de la aplicación de un sellador para juntas, y así evitar un consumo excesivo de sellador, el cual llegaría hasta la terracería. Existen dos tipos principales: aquellos que se utilizan en juntas de aislamiento o expansión, y los que se utilizan en juntas de control y de construcción.

Los primeros se fabrican con materiales altamente compresibles como espuma de poliuretano o cartón tratado, de manera tal que sean capaces de absorber los movimientos entre secciones generados en las juntas de aislamiento. Generalmente estos materiales se presentan en hojas o rollos según el caso.

Los segundos se fabrican generalmente con espuma de poliuretano en forma de cordón (se les conoce como backer rod o cola de rata) para soportar selladores elastoméricos en juntas que no van a estar sujetas a tráfico de vehículos con ruedas pequeñas, pero sí a movimientos importantes del piso. Normalmente cuando se aplican selladores semi-rígidos, se utiliza arena sílica como material de soporte, ya que normalmente estos selladores son empleados cuando se

tiene tráfico intenso de vehículos con ruedas pequeñas, y las cargas puntuales pueden llegar a deformar un material de soporte tipo backer rod lo suficiente para ocasionar fallas en el sellador.

### **7.2.7 Selladores para junta**

Son productos cuya función principal es evitar el deterioro de las aristas de las juntas y prevenir el paso de líquidos que puedan deteriorar eventualmente las terracerías. Estos productos se dividen principalmente en elastoméricos y semi-rígidos, los cuales a su vez pueden estar fabricados a partir de distintos materiales, tales como: poliuretano, resina epóxica, polyurea, silicón, poliuretano-asfalto, etc.

Los selladores elastoméricos se utilizan principalmente en juntas que requieren una gran capacidad de elongación, pero no una dureza superficial importante. Esta condición se da generalmente en juntas de control y construcción de áreas exteriores donde los gradientes de temperatura y humedad generan procesos de expansión y contracción del concreto suficientes para presentar movimientos importantes entre las secciones de concreto. O bien, en juntas de aislamiento donde se esperan movimientos importantes entre las distintas secciones de concreto, como es en las juntas de diamante alrededor de columnas, juntas alrededor de cimentaciones especiales para equipos, juntas perimetrales, etc.

Por otro lado, los selladores semi-rígidos son empleados en juntas de control y construcción sujetas a tráfico continuo de vehículos con ruedas pequeñas tales como: montacargas de rueda maciza, patines, etc, ya que dichos vehículos dañan de manera importante las aristas de las juntas rellenas con selladores elastoméricos, mientras que los semi-rígidos tienen la dureza superficial suficiente para proteger dichas aristas.

### **7.2.8 Morteros de reparación y coronamientos**

Consisten generalmente en materiales cementicios modificados con polímeros que permiten reparar rápidamente daños ocasionados en los pisos de concreto. A diferencia del concreto convencional, estos sistemas llegan a tener una excelente adherencia sobre concreto endurecido, por lo que pueden aplicarse en espesores delgados (mínimo 6 mm) para reparar daños superficiales ocasionados por abrasión excesiva o malas prácticas de construcción, o bien, en espesores mayores para reparar hoyos o baches. Estos sistemas llegan a utilizar adhesivos epóxicos para mejorar su adherencia al concreto y en algunas ocasiones contienen agregados metálicos para mejorar su resistencia al impacto y abrasión.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. PCA. Concrete Floors on Ground. Portland Cement Association, 1995.

2. ACI. Guide for Concrete Floor and Slab Construction, ACI 302.1R-96. American Concrete Institute, Michigan, E.U. 1992.
3. ACI. Design of Slabs on Grade, ACI 360R- 92. American Concrete Institute, Michigan, E.U. 1992.
4. Ringo, B., R.B Anderson. Designing Floor Slabs on Grade. Hanley Wood. LLC, Addison, Illinois, 1996.
5. ACI. Slabs on Ground, Practitioner's Guide. American Concrete Institute, Michigan, E.U. 1998.
6. IMCYC. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, Edición al español, 1998.
7. ACI. Técnico y Terminador de Superficies Planas de Hormigón, Manual del Artesano, Publicación CP- 10 (95). American Concrete Institute, Michigan, E.U., 1996.
8. ACPA. Design and Construction of Joints for Concrete Highways. American Concrete Pavement Association, Illinois, 1991.
9. Suprenant, Bruce, Ross Martin, Kim Basham. A Checklist for Industrial Floor Design. Concrete International, Ohio E.U., 2001.
10. Walker, W., J. Holland. Plate Dowels for Slabs on Ground. Concrete International, American Concrete Institute, Michigan, 1998.
11. WRI. Innovative ways to Reinforce Slabs on Ground TF 705-R-01. Wire Reinforcement Institute, Ohio, E.U., 2001.
12. Crespo Villalaz, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa, México, 1991