



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGÓN"**

**"CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE
TIPO RÍGIDO EN NAVES INDUSTRIALES"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A:
RAÚL HÉRNÁNDEZ GONZÁLEZ

**ASESOR:
ING. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA**

MÉXICO

2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCIÓN

RAUL HERNANDEZ GONZALEZ

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento, me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO:

"CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE TIPO RÍGIDO EN NAVES INDUSTRIALES"


ASESOR: Ing. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 22 de septiembre de 2003.

LA DIRECTORA

ARQ. LILIA TURCOTT GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil
C p Asesor de Tesis

LTG/AIR

Quiero dar las gracias a todas las personas que de alguna forma tuvieron que ver para que yo haya llegado hasta aquí, "por ahora".

También quiero agradecerles ampliamente a mis profesores, porque de ellos aprendí bastante, en especial al Ing. Gabriel Álvarez Bautista.

Dedico con un gran cariño este trabajo a mi familia porque aunque nunca han creído en mi, me han apoyado incondicionalmente.

Necesito agradecer de una manera muy especial a mi hermano José Juan Hernández González por enseñarme a ver la vida con una visión diferente a los demás y por ser mi mejor amigo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	PAGINA
CAPITULO I. ESTUDIOS PRELIMINARES	I - 1
I.1 Alineamiento	I - 1
I.2 Verificación de las instalaciones	I - 1
I.3 Levantamiento topográfico	I - 2
CAPITULO II. TIPOS DE PISOS Y SUMINISTRO DE MATERIALES	II - 4
II.1 Clasificación de pisos	II - 4
II.2 Pisos monolíticos de una sola capa	II - 4
II.3 Pisos de dos capas	II - 4
II.4 Pisos sujetos a cambios térmicos rápidos o de gran magnitud	II - 5
II.5 Pisos para aplicaciones especiales	II - 6
II.6 Suministro de materiales	II - 8
II.6.1 Concreto (definición)	II - 8
II.6.2 Cemento	II - 9
II.6.3 Agua	II - 10
II.6.4 Agregados	II - 11
II.6.4.1 Granulometría del agregado fino	II - 12
II.6.4.2 Agregado grueso	II - 12
II.6.5 Acero de refuerzo	II - 13
II.6.6 Aditivos	II - 14
II.6.6.1 Clasificación de aditivos y sus campos de aplicación	II - 15
CAPITULO III. CONSIDERACIONES DE DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCIÓN	III - 17
III.1 Métodos de diseño para losas sobre el terreno o sobre la rasante	III - 17

III.1.1 Criterio de diseño-cargas de servicio	III - 17
III.2 Preparación del terreno de apoyo	III - 18
III.2.1 Capa subrasante	III - 18
III.2.1.1 Suelos expansivos	III - 18
III.2.1.2 Áreas rígidas y áreas blandas	III - 19
III.2.1.3 Rellenos	III - 20
III.2.2 Resistencia del conjunto base-subrasante	III - 21
III.2.2.1 Capacidad de carga	III - 21
III.2.2.2 Compresibilidad	III - 21
III.2.2.3 Módulo de reacción k	III - 22
III.2.2.4 Incremento del módulo de reacción k	III - 24
III.2.2.5 Prueba de valor relativo de soporte (CBR)	III - 26
III.2.2.6 Capa de base o sub-base	III - 26
III.3 Clima	III - 27
III.4 Resistencia y características del concreto	III - 28
III.4.1 Propiedades en estado fresco y endurecido	III - 28
III.4.2 Propiedades y consistencia del concreto	III - 28
III.4.3 Mezclas de concreto recomendadas	III - 30
III.4.3.1 Revenimiento y resistencia a la compresión requeridos	III - 30
III.4.3.2 Calidad de acabado requerida	III - 30
III.4.3.3 Resistencia al congelamiento y deshielo requerida	III - 31
III.4.3.4 Proporcionamiento de la mezcla	III - 31
III.4.3.5 Consistencia y facilidad de colado	III - 34
III.4.3.6 Tamaño máximo del agregado grueso	III - 35
III.4.3.7 Revenimiento	III - 35
III.4.3.8 Contenido de aire	III - 35
III.4.3.9 Sangrado	III - 35

III.4.3 10 Contracción	III - 37
III.5 Diseño del espesor de la losa	III - 37
III.5.1 Cargas de vehículos	III - 41
III.5.2 Cargas en racks	III - 44
III.5.2.1 Factor de seguridad para carga en poste	III - 63
III.5.2.2 Factores de juntas para carga de postes	III - 70
III.5.3 Cargas distribuidas	III - 71
III.5.4 Cargas máximas y ancho crítico de pasillos	III - 76
III.5.4.1 Cargas permisibles para prevenir la falla en un pasillo	III - 77
III.5.5 Perdida de soporte por erosión	III - 78
III.5.6 Objetivos del diseño	III - 80
III.6 Acero de refuerzo	III - 81
III.6.1 Fibras	III - 82
III.6.2 Propósito del refuerzo	III - 82
III.6.2.1 Control de la contracción	III - 85
III.6.2.2 Control por temperatura	III - 86
III.6.2.3 Capacidad de momento	III - 87
III.7 Procedimientos para el diseño del acero de refuerzo	III - 88
III.7.1 Procedimiento de fricción de la subrasante	III - 88
III.7.2 Procedimiento de capacidad confirmada	III - 89
III.7.3 Procedimiento por temperatura	III - 91
III.7.4 Procedimiento por resistencia equivalente	III - 92
III.7.5 Procedimiento por restricción de grietas	III - 94
III.8 Juntas; ubicación y diseño	III - 94
III.8.1 Tipos de juntas	III 95
III.8.1.1 Juntas de aislamiento	III - 97
	III - 98

III.8.1.2 Juntas de contracción	III - 100
III.8.1.3 Juntas de construcción	III - 105
III.9 Dispositivos de transferencia de carga	III - 107
III.9.1 Transferencia de carga mediante trabazón de agregados	III - 108
III.9.2 Transferencia de carga mediante pasa-juntas	III - 110
III.9.2.1 Pasa-junta en forma de diamante	III - 112
III.9.2.2 Juntas machihembradas	III - 113
IV. PREPARACIÓN, COMPACTACIÓN Y ACABADO	IV - 114
IV.1 Cimbras	IV - 114
IV.1.1 Cimbras y juntas	IV - 114
IV.1.2 Colocación de cimbras y guías maestras	IV - 114
IV.1.3 Determinación de pendientes para un drenaje adecuado de la superficie de la losa	IV - 115
IV.2 Dosificación de la mezcla	IV - 115
IV.2.1 Equipos mezcladores	IV - 116
IV.2.2 Colocación del concreto	IV - 116
IV.2.2.1 Secuencia de colocación	IV - 117
IV.2.2.2 Descarga del concreto	IV - 117
IV.2.2.3 Transporte en el sitio de colado	IV - 117
IV.2.3 Extendido	IV - 118
IV.2.3.1 Herramientas para extendido	IV - 118
IV.2.4 Compactación	IV - 119
IV.2.4.1 Herramientas para la compactación	IV - 119
IV.2.5 Enrase o nivelación	IV - 120
IV.2.5.1 Herramientas para enrasado	IV - 120
IV.2.6 Canteado	IV - 120
IV.2.7 Juntas	IV - 120

IV.2.7.1 Maquinaria para corte de juntas	IV - 121
IV.2.8 Acabado de pisos	IV - 122
IV.2.8.1 Alisado con llana	IV - 122
IV.2.8.2 Bordeado	IV - 123
IV.2.8.3 Pulido	IV - 123
IV.2.8.4 Escobillado	IV - 124
IV.2.8.5 Esmerilado mecánico a edades tempranas (2 a 7 días)	IV - 124
IV.2.8.6 Pisos monolíticos de dos capas	IV - 125
IV.2.8.7 Pisos de dos capas ligadas	IV - 126
IV.2.8.8 Tratamientos decorativos y antiderrapantes	IV - 126
IV.2.8.9 Tratamientos para superficies monolíticas antiderrapantes	IV - 127
IV.3 Planicidad y horizontalidad en los pisos	IV - 128
IV.3.1 Tolerancias de planicidad y horizontalidad de pisos	IV - 128
V. CURADO, PROTECCIÓN Y SELLADO DE JUNTAS	
V.1 Curado	V - 132
V.2 Métodos y materiales de curado	V - 132
V.2.1 Curado con agua	V - 132
V.2.1.1 Inundación	V - 133
V.2.1.2 Rociado o aspersion	V - 133
V.2.1.3 Cubiertas húmedas	V - 133
V.2.2 Curado con papel impermeable u hojas de polietileno	V - 134
V.2.3 Curado con membranas	V - 135
V.2.4 Duración del curado	V - 136
V.3 Sello de juntas	V - 137
	V - 138

VI. OPERACIÓN DE LOS PISOS

VI - 139

VI.1 Apertura al tráfico

VI - 139

VII. CONTROL DE CALIDAD, CONSERVACIÓN Y RECOMENDACIONES

VII - 141

VII.1 Control de calidad total y aseguramiento de calidad

VII - 141

VII.2 Técnicas de conservación preventiva y correctiva

VII - 142

VII.3 Recomendaciones para fallas más comunes

VII - 143

VII.3.1 Limpieza

VII - 143

VII.3.2 Averías en las instalaciones

VII - 143

VII.3.3 Reparación por bacheo

VII - 144

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VIII - 145

INTRODUCCION

El presente informe ha sido preparado para indicar las bases que permitan revisar, diseñar y construir 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.

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, más 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.

Hoy en día muchos pisos de concreto son estructuras de alto nivel de especificaciones. Por citar un ejemplo, muchas nuevas naves industriales se proyectan para una gran capacidad de almacenamiento, lo que significa que las instalaciones deberán soportar cargas muy pesadas, así como también deberán de contar con superficies muy planas y niveladas que faciliten la operación de montacargas con capacidad de mover y almacenar mercancía a gran altura.

Pisos como éstos con alto nivel de especificaciones no son necesarios para usos menos especializados como el caso de pisos para pequeños negocios o de tráfico peatonal.

Desafortunadamente, los pisos industriales siempre han sido vistos como estructuras muy simples, por lo que frecuentemente reciben muy poca atención durante su construcción. Adicionalmente un gran número de ideas incorrectas siguen aplicándose en su construcción. Como resultado de esto, se puede afirmar que los pisos son la parte de toda edificación que más problemas y quejas recibe. Para corregir esta deficiencia, debe tenerse mucho cuidado en los diversos factores que influyen de manera importante en el desempeño de un piso industrial.

- La uniformidad de la rasante y una adecuada capacidad de soporte.
- Calidad del concreto.
- Capacidad estructural adecuada (espesor).
- Superficies planas y niveladas.
- Deformaciones bajo cargas.
- Transferencia de carga en las juntas.
- Tipo de juntas y espaciamiento entre ellas.
- Mano de obra calificada.
- Tratamientos debajo de la losa (barreras de vapor, capas rompedoras de capilaridad).
- Diseño de mezcla del concreto.
- Tratamientos superficiales especiales, incluyendo recubrimientos.
- Futuras reparaciones y mantenimiento.

La tecnología y detalles aplicados a pisos de todos los tamaños abarcan 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 con una tecnología similar.

Los buenos procedimientos de construcción son esenciales para todo pavimento de concreto, ya sea para una autopista como para una calle vecinal o instalaciones de tipo industrial. Los mismos principios se aplican por igual, desde la obra de pavimentado al 100 % con equipo mecánico hasta una obra pequeña desarrollada por autoconstrucción con implementos manuales.

Cuando los procedimientos de construcción sean ejecutados con propiedad, los resultados serán satisfactorios.

El presente informe tiene como objetivo facilitar la consulta de información a las personas interesadas en esta área a cerca del análisis, diseño y construcción de pavimentos de tipo rígido.

Como primer punto, en el capítulo I se comentan brevemente las actividades previas en campo, previas a la construcción del pavimento.

En el capítulo II, se describen los diferentes tipos de pisos que se pueden construir, dependiendo de los requerimientos del proyecto.

También se mencionan los materiales a implementar en la construcción de los pavimentos, con la intención de hacer ver la gran diversidad que existe en los agregados (arena y grava), dependiendo del banco que sean extraídos, así como también el tipo de cemento y características del agua.

Esto tiene la importancia de que en ello recae el resultado satisfactorio de un concreto. Además, se mencionan los materiales complementarios tanto para la construcción como para el acabado de los pisos, como aditivos, etc.

A continuación se presenta el capítulo **III**, el cual se considera el tema central de este trabajo, por contenerse en él las partes más relevantes, como son: diseño y construcción de los pavimentos, teniendo presente también la importancia de los factores complementarios para la realización de un pavimento.

En la descripción de estos factores se incluyen conceptos tales como, preparación del terreno de apoyo, capacidad de carga, clima, resistencia y características del concreto, mezclas de concreto recomendadas, juntas, entre otros.

En el capítulo **IV**, se hace referencia a las actividades que se deben realizar antes de la construcción del pavimento, así como también a la construcción; entre las que se encuentran: cimbrado, espaciamiento de juntas, colocación de guías maestras, colocación del concreto, extendido del mismo, compactación y acabado. Dentro de estas descripciones se encuentran los diferentes tipos de procedimientos que se pueden realizar para cada actividad, de los cuales se sugiere en este informe, utilizar el más adecuado para satisfacer los requisitos de cada proyecto.

En el capítulo **V**, se describen las últimas actividades antes de poner el pavimento en servicio, las cuales son de gran importancia, porque del buen trabajo que se realice en estas labores dependerá considerablemente la resistencia de la losa y su apariencia.

En el capítulo **VI**, se desarrolla brevemente lo que sería la apertura del pavimento para proporcionar el servicio para el que fue construido.

A continuación se presenta el capítulo **VII**, en el que se habla como debe mantenerse un buen control de calidad, así como de la conservación del pavimento y algunas recomendaciones; considerando que los trabajos de diseño y construcción se hagan con la mayor calidad posible.

Por último en el capítulo **VIII** se dan las conclusiones que se derivaron del análisis hecho en este tipo de proyectos, en el cual se incluye un ejemplo, considerando cargas que comúnmente se emplean para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico para naves industriales.

CAPITULO I

ESTUDIOS PRELIMINARES

I.1 ALINEAMIENTO

Verificar con las personas encargadas de la topografía el alineamiento del área en la que se va a construir el piso. El hacer esta verificación determinara el trazo y las dimensiones del área a modificar con el concreto y nos ayudará a obtener las cantidades de materiales y equipo necesario para su construcción (pavimentación).

I.2 VERIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

(Agua potable, drenaje sanitario, drenaje pluvial, alumbrado, teléfonos, etc.). Habrá que verificar si las tomas de agua, drenaje, etc. Así como los alcantarillados están completos y corresponden a sus lineamientos. Hacer esta verificación evitara que el concreto (pavimento) recién construido sea demolido para hacer o corregir dichas instalaciones.

Supervisión técnica después de verificar la información ante las de pendencias correspondientes se deberá hacer una inspección en el lugar a pavimentar con el fin de identificar el estado actual de el lugar a pavimentar y zonas adyacentes a él. Esto determinara la nivelación, pendientes, excavaciones y rellenos, así como los materiales y equipo necesario.

Antes de iniciar y habiéndose obtenido el alineamiento, determinada la nivelación, las pendientes y que no falte ninguna de las instalaciones (agua potable, drenaje sanitario, drenaje pluvial, etc.) y sus accesorios (cajas de válvulas, pozos de visita, alcantarillas y acometidas, etc.) se determinara el alcance de los trabajos con el técnico responsable.

I.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Se deberá efectuar un levantamiento de la topografía del lugar obteniendo la siguiente información de todo lo largo y ancho de la instalación a pavimentar:

- Niveles del terreno natural.
- Niveles de brocal en los pozos de visita y alcantarillas.
- Niveles de tapa de las cajas de válvulas.
- Niveles de arrastre de las tuberías de drenaje sanitario y pluvial, así como sus diámetros correspondientes.
- Dimensiones del área a pavimentar.
- Localización de pozos de visita y distancias entre ellos (marcar la dirección del flujo).
- Localización de cajas de válvulas.
- Localización de registros telefónicos.
- Localización de postes de alumbrado, energía eléctrica y vegetación (árboles).
- Localización de las entradas de vehículos (estacionamientos), etc. Y demás elementos existentes que puedan interferir en los trabajos.

Esta información cotejada con la información obtenida del alineamiento deberá ser vertida en un plano o croquis con el que se podrá planificar toda la obra.

Generalmente para determinar los espesores de los pavimentos (losas y sub-base) y la resistencia del concreto que vamos a utilizar para construirlos es necesaria cierta información técnica que se obtiene de un estudio de mecánica de suelos, este estudio es un análisis de la composición del suelo cuyas características determinan su calidad y capacidad de soporte.

También es necesario obtener la información relacionada con las características de los agregados a emplear en la fabricación del concreto, esta información es básica para la determinación de una correcta dosificación.

La información obtenida del sitio complementada con los datos de uso y destino del pavimento debe ser procesada por expertos, quienes con los resultados de esos estudios nos proporcionaran las especificaciones generales de construcción.

CAPITULO II

TIPOS DE PISOS Y SUMINISTRO DE MATERIALES

II.1 CLASIFICACIÓN DE PISOS

En la tabla 1 se clasifican los pisos de acuerdo con su uso. Ahora bien, debido a que actualmente no existe un criterio definido para evaluar la resistencia que tiene un piso al desgaste, aun no es posible especificar su calidad en tales términos. Sin embargo, dicha resistencia está relacionada, en forma directa, con las técnicas empleadas en su construcción. En la misma tabla, se sugieren técnicas especiales de acabado que puedan emplearse para cada clase de piso.

II.2 PISOS MONOLÍTICOS DE UNA SOLA CAPA

Las primeras seis clases de pisos son de concreto monolítico, con variaciones en cuanto a su resistencia y técnicas de acabado. Si la abrasión por arena u otros materiales fuera sumamente considerable, se podría necesitar una superficie de piso de mayor calidad, con el propósito de obtener un servicio satisfactorio. En estas condiciones, se recomienda un piso de mejor clase o un tratamiento especial para superficies monolíticas, con agregado mineral o metálico, o bien utilizar un factor de cemento más alto o incrementar la resistencia del concreto.

II.3 PISOS DE DOS CAPAS

La capa inferior en los pisos de clases 7 y 8, a excepción del acabado, es muy semejante a la de los pisos de clases 2 a 6. No obstante, la capa superior requiere de un aplanado con llana de acero duro, y por lo general tiene mayor resistencia y contenido de cemento que la capa inferior.

En la superficie también se puede utilizar un agregado duro, un material previamente mezclado, o ambos.

Los pisos clase 8 se utilizan cuando es preferible no adherir a él la superficie de la cara inferior debido a algunos movimientos originados en ella, tal como ocurre con los elementos prefabricados o para facilitar su sustitución posterior. Los pisos de dos capas no ligas también se pueden usar para recubrir superficies gastadas o dañadas, cuando es imposible obtener una adherencia completa, debido a la contaminación o cuando es conveniente evitar la escarificación y el cincelado de la capa inferior y la elevación de la rasante en el piso es compatible con los pisos adyacentes.

Con el propósito de evitar adherencia con la losa inferior, se utilizan lienzos de plástico, papel secante, compuestos antiligantes o bien un colchón de arena. Del mismo modo, para reducir la abertura de las grietas de contracción a niveles tolerables, se puede colocar suficiente refuerzo en la superficie de desgaste. Ahora bien, la superficie de desgaste debe tener un espesor mínimo de 3 pulgadas (79 mm nominales) de concreto, y este, a su vez, deberá tener las proporciones necesarias para cumplir con los siguientes requisitos: revenimiento y resistencia a la compresión, calidad de acabado requerida, resistencia al congelamiento y deshielo, proporcionamiento de la mezcla, consistencia y facilidad de colado, tamaño máximo del agregado grueso y contenido de aire.

Finalmente, debido a que la capa superior de desgaste contiene refuerzo, el concreto deberá tener un revenimiento no menor de una pulgada (25mm).

II.4 PISOS SUJETOS A CAMBIOS TÉRMICOS RÁPIDOS O DE GRAN MAGNITUD

Los pisos sujetos a cambios de temperatura de gran magnitud o muy rápidos, se deben fabricar con agregados de bajos coeficientes térmicos de dilatación. Los agregados con altos coeficientes térmicos de dilatación pueden resultar problemáticos.

Si hay gran diferencia entre los coeficientes de dilatación térmica de los agregados y el cemento, puede ser necesario efectuar pruebas para elegir los agregados para concreto que funcionen adecuadamente bajo cambios térmicos rápidos o de gran magnitud.

También se debe asegurar un movimiento libre y adecuado, por medio de un correcto diseño y espaciamiento de las juntas.

II.5 PISOS PARA APLICACIONES ESPECIALES

Ciertas instalaciones con facilidades para el manejo de materiales (andenes elevados, pasillos angostos de almacenes) requieren de pisos extraordinariamente lisos o planos. La construcción de pisos superplanos requiere que las losas se cuelen en franjas largas de menos de 20 pies (6 m) de ancho (es decir, una línea de producción); que el revenimiento del concreto se ajuste en la obra con una tolerancia de $\pm 1/2$ pulgada (13 mm) del revenimiento especificado; que el revenimiento después del colado sea suficiente para permitir que el escantillón cierre el piso sin dificultad después del aplanado inicial; y que el proveedor designe un número adecuado de camiones para asegurar el suministro ininterrumpido de concreto.

Además, dado que los factores ambientales pueden alterar de manera importante la velocidad de fraguado del concreto, por lo general se hacen esfuerzos para construir los pisos superplanos protegidos de la intemperie.

Los pisos superplanos tienen requisitos de diseño muy específicos. El más importante de estos es el límite impuesto al ancho del área por colar.

En general, no se pueden lograr pisos superplanos si la separación entre las juntas de construcción es mayor de 5.5 m. Dado que se sabe que los procedimientos manuales de acabado y los efectos de ondulación provocan que el piso sea menos plano cerca de tales juntas que en la "parte media" de la losa, las juntas deben estar

ubicadas fuera de las áreas principales de tránsito se deben tomar medidas para su corrección. El ancho limitado del área de colado, que en consecuencia aumenta los requerimientos de cimbra y reduce el avance diario, es el principal factor que eleva el costo de los pisos superplanos.

Tabla 1. Clasificación de pisos.

Clase	Tipo de tráfico esperado	Uso	Consideraciones especiales	Acabado final
1	Peatonal ligero	Superficies residenciales principalmente con recubrimientos de piso	Pendiente para drenajes, niveles apropiados de losa para aplicación de recubrimientos, curado	Allanado simple
2	peatonal	Oficinas o iglesias comúnmente con recubrimiento de piso Decorativo	Tolerancias de superficie (incluyendo losas elevadas) agregados antiderrapantes en determinadas áreas Agregados minerales coloreados o expuestos, juntas artísticas	Allanado simple, acabado antiderrapante cuando se requiera Donde se requiera
3	Peatonal y de rodada neumática	Andadores exteriores, calzadas, pisos de garajes, banquetas	Pendiente para drenaje, contenido adecuado de aire Curado	Aplazado, allanado o acabado con escoba
4	Peatonal y tráfico vehicular ligero	Institucional o comercial	Nivel de losa aceptable para aplicar recubrimientos, acabados antiderrapantes para áreas específicas y curado	Acabado normal con liana metálica
5	Tráfico vehicular industrial con rodada neumática	Pisos de servicio industrial ligero para fabricación, procesamiento y almacenaje	Subrasante buena y uniforme, tolerancia de superficies tipo de juntas, resistencias a la abrasión, curado	Acabado intenso con liana metálica
6	Tránsito vehicular industrial, ruedas duras	Los pisos industriales sujetos a tráfico pesado, pueden estar sujetos a cargas de impacto	Subrasante buena y uniforme, tolerancia de superficies tipo de juntas, transferencia de carga, resistencia a la abrasión, curado	Agregados metálicos o minerales especiales, acabado intenso repetido con liana metálica
7	Tráfico vehicular industrial ruedas duras	Pisos de dos capas ligadas sujetos a tráfico pesado e impactos	Losa base, subrasante buena y uniforme, refuerzo, tipo de juntas, superficie nivelada, curado Coronamiento Compuesto en su totalidad de agregados bien graduados metálicos o minerales aplicados a una superficie superior de alta resistencia endurecida, tolerancia de superficie, curado	Limpia y apropiada textura superficial para la adherencia de la capa subsecuente de coronamiento Acabado especial con allanado mecánico con pasadas repetidas de liana metálica
8	Como el de las clases 4, 5 o 6	Capa superior no ligada Pisos de frigoríficos con aislamiento en pisos viejos o donde el programa de construcción lo exija	Kompedores de adherencia en superficies viejas, refuerzo con mallas, espesor de 3 pulgadas (nominal 7.5 mm) mínimo, resistencia a la abrasión y curado	Acabado intenso con liana metálica
9	Superplano o cuando se requieran tolerancias críticas de superficie Vehículos que manejan materiales especiales o robots que requieran tolerancias especiales	Pasillos angostos, andenes de almacenes, estudios de televisión.	Requisitos de variación en la calidad del concreto. No se usen endurecedores por cermdo a menos que se empleen procedimientos de aplicación especiales con mucho cuidado. Arreglo adecuado de juntas FL 35 a FL 125 (FL 100 es en piso superplano)	Síganse estrictamente las técnicas de acabado como se indica en la sección (7.15)

II.6 SUMINISTRO DE MATERIALES.

II.6.1 Concreto

El material principal para el desarrollo de los materiales será el CONCRETO, éste material nos dará el pavimento propiamente dicho y la imagen última de la instalación en operación, aquí radica la importancia de su buen manejo y correcta fabricación.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: Agregados y Pasta de cemento Pórtland. La pasta, compuesta de cemento Pórtland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca, la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

El concreto fresco es una pasta de gran manejabilidad y plasticidad que al endurecer se convertirá en una piedra artificial, tomando la forma de los moldes o cimbras utilizadas y, antes de que endurezca por completo se le puede dar el acabado que la imaginación y uso al que este destinado permitan.

La resistencia del concreto dependerá del proporcionamiento de los componentes de la mezcla (cemento, agregados, agua, etc.) y para los pavimentos el diseño de la misma depende de los siguientes factores:

- Intensidad y tipo de uso.
- Espesor del pavimento.
- Resistencia del suelo.
- Contenido de agua en la mezcla.

Cuando en el lugar lo permita, se recomienda el uso del concreto premezclado el cual por su modo de producción garantiza las características de calidad solicitadas por el proyecto.

Cuando en el lugar no exista alguna planta de concreto premezclado se recomienda que las mezclas sean elaboradas con revolvedora. No se recomienda la elaboración del concreto sobre el piso por ser muy difícil controlar su calidad.

II.6.2 Cemento

El cemento a emplear en pavimentos de concreto será normalmente el de tipo I, es decir el de tipo común. En casos especiales en que los pavimentos están expuestos a acciones moderadas de sulfatos, o por requerimientos de tiempo de hidratación, se utilizarán los cementos II a V.

Se podrá usar cualquier marca comercial, siempre y cuando se trate de utilizar el cemento producido por la misma fábrica.

El almacenamiento del cemento deberá ser tal que se garantice la conservación de sus propiedades originales de fabricación. Para cualquier tamaño de obra se requiere un manejo y almacenamiento adecuado del cemento. Se sabe que un incremento de las condiciones de humedad en el cemento hace que en este último se presenten variaciones indeseables de sus propiedades, en particular un fraguado más lento y una resistencia disminuida en comparación con un concreto fabricado con un cemento que siempre haya estado seco.

Así pues, en obras pequeñas se sugiere que los lugares de almacenamiento del cemento estén preferentemente bien protegidos, en recintos libres de aberturas o grietas en su techumbre por donde se infiltre el aire con diferentes humedades. Se recomienda que la humedad relativa ambiente sea baja. Además, en caso de que se utilice cemento en sacos, éstos deberán apoyarse sobre tarimas y nunca sobre el terreno natural. Cuando no se dispone de cobertizos, se deben colocar cubiertas de madera situadas al menos 10 cm. arriba del terreno natural, y cubrir los sacos- incluyendo los costados de los montículos- con lonas, para así evitar el contacto con el agua.

En obras grandes es común almacenar el cemento a granel, mediante silos o depósitos de acero impermeables. En estos depósitos se debe emplear ventilación seca a presión baja o vibración para que el cemento fluya correctamente y, por otro lado para que nunca se rebase la capacidad del contenedor.

Tabla 2. Tipología de cementos de acuerdo con la ASTM C150

Tipo	descripción	Opciones
I	normal	BA
IA	Normal, con inclusor de aire	BA
II	De resistencia moderada a los sulfatos	MH, BA
IIA	De resistencia moderada a los sulfatos, con inclusor de aire	MH, BA
III	De alta resistencia a edad temprana	MS, AS, BA
IIIA	De alta resistencia a edad temprana, con inclusor de aire	AS, BA
IV	De bajo calor de hidratación	BA
V	De resistencia elevada a los sulfatos	BA, EXP

BA: bajo contenido de álcalis ($\leq 0.60\%$, como Na_2O)

MH: requisitos alternativos para un moderado calor de hidratación: 70 cal/g máximo a 7 días, o $\text{C3S} + \text{C3A} \leq 58\%$

MS: resistencia moderada a los sulfatos: $\text{C3A} \leq 8\%$

AS: resistencia alta a los sulfatos: $\text{C3A} \leq 5\%$

EXP: requisitos opcionales para lograr una alta resistencia a los sulfatos. Expansión $\leq 0.040\%$ en ensayo sobre mortero (prueba ASTM C 452, a los 14 días).

II.6.3 Agua

El contenido y la calidad del agua utilizada en un concreto hidráulico dado influyen mucho en el comportamiento a corto y mediano plazo del mismo.

Las impurezas contenidas en el agua no solo afectan los tiempos de fraguado y el desarrollo de las resistencias en el concreto hidráulico, sino que tienen fuerte impacto en su durabilidad, crean manchas permanentes, promueven la corrosión en elementos

de refuerzo y originan inestabilidad volumétrica. Con el fin de minimizar los efectos nocivos para el concreto, es común fijar límites tolerables de algunas sustancias tales como sulfatos, cloruros, álcalis y sólidos en el agua en general. Quizás algunas de estas impurezas puedan tener efectos marginales en cuanto a la resistencia del concreto, no así en lo que se refiere a su durabilidad. Normalmente cuando el agua tiene menos de 2000 partes por millón (ppm), se puede emplear para la fabricación del concreto hidráulico.

Cuando tal cantidad sea mayor, se deberán realizar ensayos para determinar su influencia en cuanto al tiempo de fraguado de las mezclas y las resistencias. Las aguas que se consideran deletéreas para la fabricación del concreto hidráulico contienen normalmente algunas de las siguientes sustancias:

- Azúcar
- Ácido tánico
- Materia orgánica
- Aceite
- Ácido humito
- Sulfatos
- Ácido carbónico libre
- Sales alcalinas
- Líquidos de desperdicio, residuos de combustible

II.6.4 Agregados

Los agregados se deben ajustar a "Especificaciones estándar para agregados del concreto" (American Society for Testing and Materials) ASTM C 33 o "Especificaciones para agregados ligeros para concreto estructural" ASTM C 330. Estas especificaciones son satisfactorias para la mayor parte de los pisos clases 1, 2, 3, 4,5 y 6. Puede ser necesario establecer limitaciones en cuanto a la

granulometría y calidad del agregado para la superficie, en pisos clases 6 y 7 que soportaran tránsito pesado.

II.6.4.1 Granulometría del agregado fino

Las especificaciones ASTM C 33 y C 330 son aceptables, aunque la tabla 3 contiene las especificaciones de granulometría preferibles para las diferentes clases de pisos si es posible obtenerlas en forma económica.

A medida que aumente el grado de exposición a la abrasión, como en los pisos de clase 6, se deberá limitar la cantidad de material que pase por las mallas No. 50 y No. 100, como se especifica para la superficie de desgaste de pisos clase 7 y 8 para tránsito pesado. No obstante, cuando los agregados finos contienen porcentajes bajos de material que pasa por las mallas citadas, aumenta la probabilidad de sangrado excesivo y las limitaciones del revenimiento máximo permisible se vuelven más importantes.

Tabla 3. Granulometría preferente para agregado fino de pisos de concreto

No. De malla		Por ciento que pasa		
estándar	Alternativa	Agregados de peso normal	Agregados de peso ligero	Coronamiento par trabajo pesado piso clase 7
9.5 mm	3/8 pulgada	100	100	95
4.75 mm	No. 4	95-100	85-100	95-100
2.36 mm	No. 8	80-40	--	65-80
1.18 mm	No. 15	50-75	40-80	45-65
600 μ m	No. 30	30-50	30-65	25-45
300 μ m	No. 50	10-20	10-35	5-15
150 μ m	No. 100	2-5	5-20	0-5

II.6.4.2 Agregado grueso.

El tamaño máximo del agregado grueso no debe ser mayor que tres cuartos partes del espacio mínimo libre entre las varillas de refuerzo en pisos estructurales, o un tercio del espesor de losas no reforzadas.

Por lo general, no se utiliza agregado natural mayor de 1.5 pulgadas (38 mm), o agregado ligero mayor de 1 pulgada (25 mm). Sin embargo, dentro de estos límites, se debe usar el tamaño máximo apropiado al trabajo de los pisos clase 1, 2, 3, 4 y 5. Cuando se usa agregado mayor de 1 pulgada (25 mm), el agregado grueso debe manejarse y dosificarse como si se tratara de uno de dos tamaños, para evitar la segregación.

El tamaño máximo de agregado en la capa superficial de pisos para tránsito pesado clase 6 y 7, se debe limitar a $\frac{1}{2}$ ó $\frac{3}{8}$ de pulgada (9 a 12 mm). El agregado grueso debe estar libre de toda contaminación por materia orgánica y arcillas.

II.6.5 Acero de refuerzo

Se pueden necesitar varillas corrugadas, mallas de varillas o mallas de alambre electrosoldadas para pisos estructurales elevados, a fin de cumplir con el diseño estructural, también se pueden requerir en las especificaciones para losas sobre terreno. Las varillas corrugadas deben ajustarse a los requisitos de las normas ASTM A615, A616 ó A617. también pueden usarse mallas de varilla, que satisfagan la norma ASTM A184. La malla de alambre electrosoldado se debe ajustar a las normas ASTM A185 ó A 497.

El uso de acero de refuerzo puede afectar la incidencia de agrietamientos plásticos. El recubrimiento de concreto sobre el acero de refuerzo es el factor más importante que afecta el agrietamiento por asentamiento. La probabilidad de que se presente agrietamiento aumenta si el recubrimiento de concreto es delgado, el diámetro del acero de refuerzo es grande y la losa es muy gruesa.

Siempre que se utilice acero de refuerzo en una losa, se debe poner especial atención para garantizar: 1) la correcta colocación del acero de refuerzo y 2) la adecuada consolidación del concreto, particularmente en losas gruesas, que pueden

requerir una segunda vibración alrededor del refuerzo (nota: el revenimiento del concreto debe ser compatible con el método de consolidación).

II.6.6 Aditivos

En su sentido más general, se puede decir que los aditivos son sustancias químicas o minerales que se utilizan para modificar algunas de las propiedades del concreto hidráulico que un cemento convencional no puede proporcionar. El (Instituto Americano del Concreto) ACI define un aditivo como cualquier material distinto del agua, agregados y cemento Pórtland que se puede añadir a la mezcla antes o después del proceso de mezclado. La definición anterior corresponde más bien a un material individual que puede ingresarse a la mezcla en una forma medible, esto es, que se agrega convenientemente dosificado.

La decisión de utilizar aditivos no solo responde a la intención de mejorar algunas propiedades del concreto, sino que mas bien puede deberse a razones de economía, por ejemplo, para mejorar o limitar alguno de los constituyentes de las mezclas, o por ser la única vía para lograr concretos con características especiales, como puede ser una elevada trabajabilidad, o concretos de alto desempeño. Son varias las circunstancias que favorecen el empleo de aditivos:

En el concreto fresco

- Controlar los tiempos de fraguado.
- Incrementar las características de fluidez.
- Reducir o controlar la rapidez de pérdida de revenimiento.
- Reducir el fenómeno de segregación.
- Controlar las características de sangrado de la mezcla.
- Aumentar la trabajabilidad sin incremento de la relación agua/cemento, o bien disminuir esta última relación para lograr una trabajabilidad aceptable.

En el concreto endurecido

- Reducir o retrasar la evolución del calor de hidratación durante el endurecimiento inicial.
- Acelerar la ganancia de resistencia a edades tempranas.
- Reducir la permeabilidad.
- Incrementar la resistencia.
- Mejorar las características de durabilidad.
- Incrementar la resistencia al impacto y a la abrasión.
- Mejorar la adherencia entre concretos de diferentes edades.
- Controlar la expansión por efectos de reactividad álcali-sílices.

No obstante que prácticamente en todos los concretos es posible utilizar aditivos, existen tres criterios básicos que deberán tomarse en cuenta:

- La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.
- Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico.
- Se investigara que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo.

II.6.6.1 Clasificación de aditivos y sus campos de aplicación.

En la tabla 4 se clasifica la topología de los aditivos, sus dosificaciones, las propiedades que confieren al concreto, sus aplicaciones recomendadas y por ultimo, sus aplicaciones

Se recomienda seguir las indicaciones del fabricante a fin de aprovechar las ventajas de cada aditivo y las dosificaciones de detalle.

Entre los aditivos más comunes existen algunos que combinan dos efectos a la vez, plastificante-retardante o plastificante-inclisor de aire.

Dentro de las pruebas más comunes para pavimentos de concreto hidráulico pueden citarse las contenidas en la tabla.

Tabla. 4. Clasificación, características y aplicaciones de aditivos.

Aditivo y dosificación usual	Propiedades logradas en el concreto	Aplicaciones recomendadas	limitaciones
A) Inclisor de aire 0.03 al 0.05 % del peso del cemento	Incorpora microporos al concreto, lo cual induce: -resistencia a ciclos de hielo y deshielo - mayor trabajabilidad. - menor permeabilidad. - menor exudación (eventual).	Protección contra cambios bruscos de temperatura. En casos extremos ciclos de hielo y deshielo. Pavimentaciones. Protección contra agentes químicos.	- menor resistencia mecánica.
B) Plastificantes o reductores de agua 0.1 % a 0.4 % del peso del cemento	Mejora la lubricación entre partículas, con lo que se obtiene: - mejor trabajabilidad para relaciones constantes de agua cemento. - mayor facilidad de colocación y compactación.	- concretos bombeables y del tipo premezclado. - concretos en zonas estrechas y o prefabricados. - concretos de alta resistencia.	
C) Fluidificantes. Para aumentar la trabajabilidad. (0.4 % a 1.0 %) para reducir el agua (1.0 % a 3 % del peso del cemento)	Aumentan de manera importante la trabajabilidad, permitiendo: Reducir el agua de mezclado para trabajabilidad constante, con alto incremento de resistencia.	- colocación de concreto en zonas estrechas y de difícil acceso. - concretos bombeados. - colocación de concreto en climas calurosos. - concretos de altas resistencias. - concretos para elementos prefabricados. - en reparaciones.	- el efecto se disipa relativamente pronto.
D) Acelerantes de fraguado. En concreto no armado: 1:2 a 15 (aditivo: agua) en concreto armado: 1:6 máx. (Aditivo: agua), medidas en peso.	Aumentan las resistencias iniciales.	- colocación de concreto en climas fríos. - concretos para prefabricados. - reducción del lapso de descimbrado. - reparaciones.	Estos productos generalmente contienen productos corrosivos, por lo que en concretos armados se extremaran precauciones
E) Retardantes de fraguado 0.3 % a 1.5 % del peso del cemento	Retrasan el inicio del fraguado, manteniendo la trabajabilidad mas tiempo. Reducen el riesgo de fisuramiento al permitir la disipación del calor de hidratación durante mas tiempo.	- concretos en climas calurosos. - concretos premezclados. - concretos masivos. - transportes a distancias considerables - evitar juntas frías al colocar concreto en capas. -concretos bombeados.	Una sobredosificación puede originar una demora excesiva.
F) Impermeabilizantes. 0.5 % a 4 % del peso del cemento	Disminuyen la absorción de humedad Aumentan la impermeabilidad	- concretos subterráneos. - losas de cubierta. - estanques de concreto - pisos impermeables empastados exteriores.	El empleo de impermeabilizantes se debe completar con una buena dosificación, compactación y curado de las mezclas
G) Expansores 1 a 3 sacos	Producen una ligera expansión de la masa del concreto, contrarrestando las contracciones de este.	- rellenos de cavidades y grietas. - anclajes de pernos y estructuras. - "Grouting o lechadeado".	

CAPITULO III.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO, ESPECIFICACIONES Y CONSTRUCCION

III.1 Métodos de diseño para losas sobre el terreno o sobre la rasante

Existen cinco proposiciones independientes y comúnmente usadas para determinar la combinación de espesor de la losa y la distribución de refuerzo. Estos métodos son los descritos por la Asociación de Cemento Portland; El Instituto del Refuerzo con Alambre; Instituto del Postensado; El Cuerpo de Ingenieros de la Armada de E.U.; y el Comité ACI 223.

III.1.1 Criterio de diseño-cargas de servicio

El diseño de losas debe incluir los siguientes conceptos:

- Clasificación de suelo
- Condiciones de cargas por franjas
- Cargas puntuales y espaciamiento
- Cargas de vehículos
- Cargas por eje
- Espaciamiento de ruedas
- Repeticiones de carga
- Localización de pasillos
- Resistencia del concreto
- Técnica de refuerzo
- Factores de diseño
- Resistencia a la abrasión
- Mantenimiento a largo plazo

III.2 PREPARACION DEL TERRENO DE APOYO

III.2.1 capa subrasante

Para obtener una subrasante uniforme, se deberá tener cuidado de que no existan variaciones de soporte dentro del área del piso y se controlen los siguientes factores que provocan la no-uniformidad del terreno de soporte:

- Suelos expansivos.
- Zonas rígidas y zonas blandas.
- Rellenos.

III.2.1.1 Suelos expansivos

La mayoría de los suelos que son lo suficientemente expansivos para crearle problemas al piso están clasificados dentro del sistema de clasificación de suelos ASTM, como arcillas de alta plasticidad (CH), limos de alta plasticidad (MH) y arcillas orgánicas (OH). Existen además pruebas de mecánica de suelos muy simples que nos pueden dar índices que sirven de útiles guías para identificar potencial cambio de volumen de los suelos. La tabla 5 presenta valores aproximados de la relación entre expansión y plasticidad.

Tabla. 5. Expansión vs plasticidad

Grado de Expansión	Porcentaje de expansión	Valor Aproximado de índice de Plasticidad(IP)
No expansivo	2 o menos	de 0 a 10
Moderadamente expansivo	de 2 a 4	de 10 a 20
Altamente expansivo	mayor a 4	mayor a 20

Los comportamientos inusuales de contracción y expansión producidos en una masa de suelo por un cambio volumétrico en el mismo, tendrán como consecuencia un apoyo no uniforme, resultando deformaciones en el piso de concreto.

La compactación de un suelo altamente expansible cuando éste se encuentre muy seco, puede contribuir a la expansión del mismo y al ablandamiento de la subrasante ante futuras condiciones de humedad. Cuando el suelo expansivo de la subrasante se encuentra muy húmedo antes de la colocación del concreto, puede ocurrir que la futura contracción del suelo en su proceso de secado deje partes de la losa sin soporte.

La compactación de suelos expansivos minimiza la posibilidad de pérdida de soporte ante futuros incrementos de contenido de humedad en el suelo y provee a la subrasante de la uniformidad necesaria para su buen desempeño. Por regla general, la compactación llevada al 95% del peso volumétrico máximo con 1 al 3 % por encima del contenido de humedad óptimo (de acuerdo a las pruebas de compactación ASTM D 698 y D 1557) permitirá estabilizar suelos expansivos.

Para proyectos con fuertes condiciones de carga o suelos pobres, es muy recomendable un estudio especializado de mecánica de suelos. El mecanicista de suelos deberá proveer información sobre la capacidad de carga de la subrasante, resistencia y consolidaciones o posibles asentamientos.

III.2.1.2 Áreas rígidas y áreas blandas

Si la subrasante tiene la característica de ser un apoyo no uniforme: la losa al momento de ser cargada tenderá a actuar como un puente sobre las áreas suaves y a montarse sobre el material duro.

Un soporte uniforme no se obtiene con el simple hecho de colocar material granular sobre las áreas blandas, ya que las condiciones de humedad y de densidad o peso volumétrico del material que se emplea como sustituto deberán ser similares en la medida de lo posible al suelo adyacente. En las zonas de transición en donde los tipos de suelos o condiciones cambian bruscamente, el material sustituto se

recomienda mezclarlo con el suelo de los alrededores para crear una zona de mayor uniformidad de soporte.

III.2.1.3 Rellenos

Todo material de relleno que sea utilizado para mejorar la subrasante o para llegar al nivel de la rasante de diseño, deberá ser un material estable y compactable. Los rellenos en cimentaciones, excavaciones para instalaciones, entre otros, deberán realizarse con suelos similares al producto de la excavación y compactarse en capas con el objeto de duplicar las condiciones de contenido de humedad y densidad en los suelos adyacentes.

En el caso de arcillas el espesor de cada capa no deberá exceder de 15 cm. y en general cuando los rellenos se realicen con material granular la compactación de las capas deberá realizarse con equipos vibratorios, ya que rellenos mal compactados pueden provocar subsecuentes problemas de asentamiento y pérdida de soporte de la losa.

Recientemente se ha usado exitosamente el producto de (Cementos Mexicanos) CEMEX Concretos llamado Relleno Fluido como sustituto de material granular de relleno, así como material de relleno para llegar al nivel de rasante de diseño. El Relleno Fluido se vacía directamente del camión revolvedor, no deberá ser vibrado para evitar que salga el aire incluido que tiene la mezcla y no requiere ser compactado con medios mecánicos ya que es auto compactable al 100%, así mismo no requiere de curado. Existen un rango amplio de resistencias a la compresión que se pueden lograr con el, sin embargo, normalmente para sustituir material de relleno se recomienda un Relleno Fluido calidad base, que tiene al menos un $f'c = 21 \text{ Kg./cm}^2$ y su fluidez lo hace ideal para los casos en que el relleno granular sea difícil, lento y caro de compactar.

III.2.2 Resistencia del conjunto base-subrasante

La capacidad de carga de un suelo, la compresibilidad y el módulo de reacción de la subrasante, son algunas medidas de las propiedades de esfuerzo-deformación en un suelo y es importante considerar cómo estos parámetros aplican en el diseño de losas de concreto.

III.2.2.1 Capacidad de carga

La capacidad de carga permisible de un suelo es la máxima presión que puede permitir un suelo de cimentación o soporte con un adecuado factor de seguridad, para protegerse contra la falla o un excesivo asentamiento. Las presiones o los esfuerzos permitidos en el suelo pueden estar basados entre otras en las siguientes pruebas:

- Pruebas de esfuerzo cortante en laboratorio (de muestras del suelo), como pueden ser pruebas de esfuerzo cortante directo, pruebas de compresión triaxial o pruebas no consolidadas.
- Pruebas de campo, tales como la prueba de penetración estándar o la prueba de penetración de cono.
- La clasificación del suelo.

Además de la presión permitida en el suelo existe la capacidad de carga última, es decir, la carga por unidad de área que produce la falla por ruptura del suelo de soporte.

III.2.2.2 Compresibilidad

Otra característica es la compresibilidad de suelos cohesivos, la cual determina la cantidad de asentamiento a largo plazo bajo una carga. El método convencional para

predecir el asentamiento es mediante la realización de pruebas de consolidación y la determinación del índice de compresibilidad a usar en los cálculos de asentamiento.

III.2.2.3 Módulo de reacción k

Una tercer medida de la resistencia del suelo es el módulo de reacción k de la subrasante de Westergaard, comúnmente usado como parámetro de diseño en pavimentos de concreto y losas de pisos industriales soportadas sobre el terreno.

No existe una correlación confiable entre las tres medidas de propiedades de un suelo, (módulo de reacción k de la subrasante, la capacidad de carga y la compresibilidad del suelo) debido a que las propiedades anteriores representan características completamente diferentes del suelo. El valor de K, empleado en el diseño de losas de concreto, refleja las condiciones de respuesta de la subrasante, ante condiciones de deformación temporales (estado elástico) y de pequeña magnitud, usualmente de 1.25 mm o menores. Por el contrario, la compresibilidad de un suelo y la capacidad de carga (valores normalmente usados para predecir y limitar asentamientos diferenciales de la cimentación u otros elementos estructurales) reflejan la condición de deformación total (estado no elástico) de la subrasante, que puede ser de 20 a 40 (o más) veces más grandes que las pequeñas deformaciones en las que se basa el módulo de reacción k.

Muchas investigaciones de pavimentos de concreto han demostrado que las deformaciones en el estado elástico y los esfuerzos en la losa se pueden predecir de muy buena manera cuando se emplea el módulo de reacción k representando la respuesta de la subrasante. Por esta razón, el control de los esfuerzos de la losa basándose en el módulo de reacción k ha sido aceptado dentro del procedimiento de diseño.

A pesar que el módulo de reacción k no refleja el efecto de la compresibilidad del suelo a alguna profundidad de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas y otras

cargas concentradas, debido a que los esfuerzos transmitidos al suelo debajo de una losa de un espesor adecuado no son excesivos, sin embargo, en el caso de cargas distribuidas muy pesadas, la presión permitida en el suelo y la magnitud de los asentamientos deberán estimarse para determinar si puede o no ocurrir la falla o un excesivo asentamiento del suelo.

Generalmente no existen condiciones muy adversas en los suelos, por lo que, los análisis en el diseño requieren solamente la determinación de la resistencia en la subrasante en términos del módulo de reacción k . En campo, el módulo k se determina mediante la prueba conocida como prueba de placa. La prueba está estandarizada por la norma ASTM D 1196 (*Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*) y consiste en la aplicación de una carga estática sobre una serie de placas de acero apiladas una encima de otra, formando una especie de pirámide, en donde la placa inferior tiene un diámetro de 76 cms (30 pulg.). Las placas son cargadas hasta provocar una deflexión en el suelo al centro de la placa de 1.25 mm, y el valor del módulo k se determina dividiendo la presión ejercida (es decir, la carga aplicada entre el área de la placa) entre la deflexión obtenida, por lo que se expresa en unidades de psi/pulg. (libras sobre pulgada cuadrada sobre pulgada) o como comúnmente se llama pci (libras sobre pulgada cúbica) o en sistema métrico, Kg./cm³.

Sin embargo, no siempre se pueden realizar las pruebas de placa en el sitio de los trabajos por diversas razones, en estos casos, el módulo de reacción k puede ser supuesto correlacionándolo con propiedades y pruebas más sencillas de mecánica de suelos, como la prueba de Valor Relativo de Soporte. (ASTM D 1883) o la clasificación del suelo.

III.2.2.4 Incremento del módulo de reacción (k)

En caso de usar una capa superior de mejor calidad sobre la subrasante y debajo de la losa, el módulo de reacción k se incrementará dependiendo de la calidad del material de base a emplear y del espesor.

En grandes proyectos siempre será más recomendable medir el módulo de reacción k una vez colocado el material de base encima de la subrasante, sin embargo, si esto no es posible tal y como se menciona en párrafos anteriores, éste se podrá estimar conociendo otras propiedades del suelo.

En la figura. 1 se muestra el incremento de valor k para diferentes espesores de sub-base sobre una capa subrasante considerada. Los ensayos de placa llevados a cabo en la sub-base pueden a veces producir resultados no representativos, ya que la profundidad de la influencia de una capa 76 cm. (30 pulgadas) no es tan grande como la profundidad de influencia debajo de una losa cargada por un vehículo. En este caso, una capa de sub-base puede influir en la respuesta del ensaye más que la respuesta de un pavimento bajo carga.

Se recomienda no exceder en ningún caso el valor k de la subrasante de 137 MPa/m (500 lb. / pulg.³).

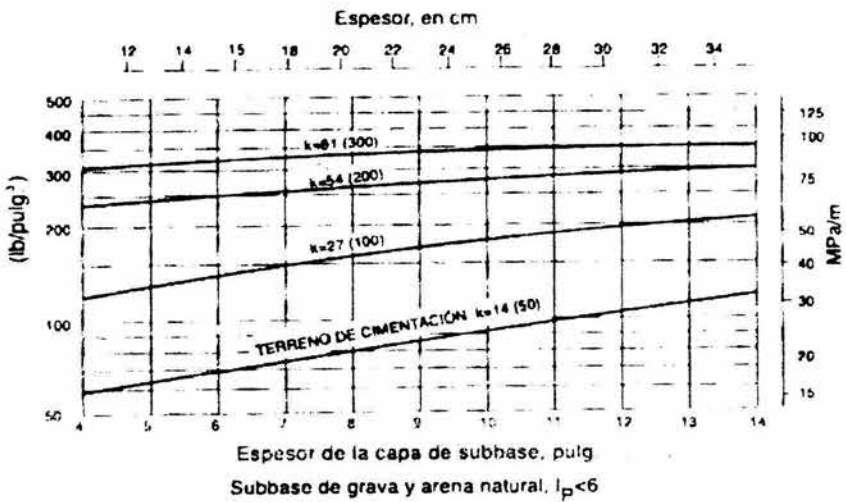
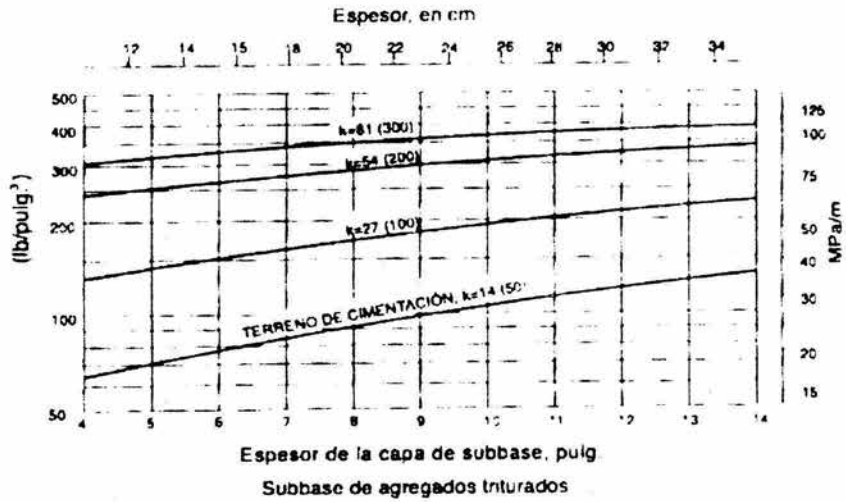


Figura. 1

III.2.2.5 Prueba de valor relativo de soporte (CBR)

Es básicamente un ensaye de penetración, de tal manera que la fuerza necesaria para producir una penetración dada en el material que se ensaya se compara con la fuerza requerida para producir la misma penetración en un material ideal de referencia, expresando el resultado como la relación entre ambas fuerzas. Por lo tanto, un material con un valor CBR de 15 significa que los materiales en cuestión ofrecen 15 por ciento de la resistencia a la penetración del material de referencia.

Los ensayes de CBR en el laboratorio se llevaran a cabo con materiales extraídos del lugar y compactados hasta alcanzar el grado de compactación que se obtendrá durante la construcción.

Los ensayes de CBR realizados en el campo pueden proporcionar información valiosa sobre las terracerías existentes o sobre las construidas especialmente para el ensaye, con el grado de compactación y contenido de agua esperados en la vida del pavimento.

Los ensayes de CBR sobre materiales con grava son difíciles de interpretar, pues con frecuencia producen resultados demasiado altos, debido a los efectos de escala con el molde. La asignación de valores de CBR a estos materiales utilizados como terracería puede basarse en el criterio y la experiencia. Se recomienda para fines de proyecto considerar para materiales con grava no estabilizada un valor máximo de CBR de 50 por ciento, como capa subrasante.

III.2.2.6 Capa de base o sub-base

La base o sub-base es la capa de material granular colocada en la parte superior de la subrasante. A pesar que se dice ser opcional, la base puede proporcionar beneficios durante el proceso constructivo y posteriormente al desempeño del piso terminado. Durante la construcción, la base funciona como una plataforma de trabajo

estable para equipos pesados, cuando las operaciones de despalme y compactación de la subrasante no producen una subrasante uniforme, una base granular proveerá una especie de colchón para una mayor uniformidad en el soporte de la losa, minimizando los defectos existentes en la subrasante. El efecto de "acolchonamiento" y el mejoramiento de la uniformidad será muy importante para suelos cohesivos, ya que son susceptibles a la disminución de la capacidad de carga, en presencia de un mayor contenido de humedad. Otra función de capa de base o sub-base es la de servir como rompedora de la capilaridad, reduciendo la migración de la humedad de las capas inferiores al interior de la losa.

En términos del diseño del espesor de la losa los efectos del incremento del módulo de reacción k son más significativos cuando tenemos una subrasante o terreno natural de bajo módulo k , dicho de otra manera, es que el espesor resultante por unas ciertas condiciones de carga no se ve considerablemente reducido al incrementar el espesor de la base cuando tenemos valores altos de módulo k en la subrasante.

III.3 CLIMA

Las variaciones de temperatura y humedad que ocurren estacionalmente e inclusive en lapsos tan cortos como un día, producen gradientes que generan esfuerzos y deformaciones en losas que contribuyen a su agrietamiento. Bajo tales efectos, las losas se expanden y se contraen, produciéndose además alabeos que adoptan curvaturas cóncavas durante la noche y convexas durante el día, pudiendo adicionalmente el suelo de cimentación experimentar cambios volumétricos. La infiltración de agua por juntas, grietas o acotamientos, en combinación con suelos finos y tránsito pesado, puede provocar el bombeo o erosión de los materiales de apoyo de las losas con la consiguiente pérdida de su capacidad portante. En climas de invierno severo, el efecto de congelamiento y deshielo reviste una gran importancia que por fortuna en nuestro medio solo afecta a áreas muy restringidas del país; sin embargo, tienen que tomarse en cuenta las condiciones de climas

extremos (frío o calor) para efectos de las precauciones que deban indicarse en el proyecto, para el manejo del concreto.

III.4 RESISTENCIA Y CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

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.

III.4.1 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.

III.4.2 Propiedades y consistencia del concreto

El mejor proporcionamiento para una mezcla de concreto es la combinación más económica de los materiales disponibles, que produzcan un concreto con buena trabajabilidad para su colocación y acabado, resistencia a la abrasión, durabilidad y resistencia estructural requerida. En la mayoría de los trabajos de acabado, dependiendo de la exposición, la facilidad de colado del concreto y la trabajabilidad

durante el acabado de la superficie son tan importantes como algunas otras cualidades tales como: la resistencia a la abrasión, la durabilidad y la resistencia.

Si se utilizan cemento, agua y agregados obtenidos de una fuente específica, el concreto mezclado y curado en ciertas condiciones, tendrá resistencia y muchas otras propiedades importantes que son inversamente proporcionales a la relación agua/cemento. Por lo tanto es preciso el uso de la mínima cantidad de agua, necesaria para producir el revenimiento y la trabajabilidad requeridos. El cemento y los agregados utilizados pueden afectar significativamente la resistencia producida con una cierta relación agua/cemento. Además, la cantidad de agua requerida para producir un cierto grado de revenimiento, depende del tamaño máximo del agregado grueso, de la granulometría del agregado, del contenido de aire, de los aditivos, de la forma de las partículas, de la textura de la superficie de los agregados grueso y fino, al igual que de la temperatura y la humedad en el momento del colado. El uso de agregado de tamaño máximo, reduce los requerimientos de agua en la mezcla. Los aditivos inclusores de aire producen un sistema de pequeñas burbujas de aire que reducen las necesidades de agua para la mezcla. Los concretos que contienen aire incluido están proporcionados para tener la misma cantidad de agregado grueso que un concreto similar, sin aire incluido. Contiene menos cantidad de agua para mezclas y menos arena, lo cual tiende a compensar las reducciones de resistencia que resulta de la inclusión intencional de aire.

El contenido de agregado fino más favorable para concretos empleados en pisos, dependerá del revenimiento del concreto y de la exposición a la abrasión, a la cual estará sujeto el piso. Los concretos con revenimiento moderadamente alto, de más de 4 pulgadas (100 mm), tendrán que ser plásticos y cohesivos para evitar la segregación y el sangrado. Puede y debe usarse menos agregado fino en concretos con revenimientos inferiores a 1 pulgada (25 mm), ya que estos no segregaran o sangraran con facilidad. El descenso en el contenido de agregado fino producirá mayor resistencia de estas mezclas a la abrasión en las cuales el sangrado y la segregación no son problema.

Para todo trabajo importante se deben hacer mezclas tentativas de laboratorio, a fin de establecer más proporciones más convenientes. Dichas pruebas se pueden omitir cuando con buenos resultados se han usado mezclas de concreto semejantes en condiciones similares y en trabajos recientes. Los registros de la granulometría de los agregados fino y grueso deben estar disponibles si se van a usar esas proporciones de mezcla.

En las tres prácticas recomendadas por el comité (ACI 211.1, 211.2 y 211.3) se encuentran proporciones para las mezclas tentativas. Además de estas recomendaciones, deben hacerse ajustes al contenido de agregado fino para obtener, de esta manera, la mejor trabajabilidad.

III.4.3. Mezclas de concreto recomendadas

III.4.3.1. Revenimiento y resistencia a la compresión requeridos

En este inciso se estudian dos métodos de proporcionamiento de mezclas (métodos A y B); con cualquiera de los dos, las resistencias de diseño mostradas en la tabla 6 se deben usar para las diversas clases de pisos de concreto. Además para las clases 2 a 8, la resistencia a la compresión a los tres días debe ser por lo menos de 1800 libras/pulgada² (126 Kg. /cm²), a fin de evitar daños causados por el inevitable tránsito durante la construcción. El revenimiento indicado para cada clase de concreto en esta tabla es el máximo recomendado en el sitio del colado, según norma ACI 301, para evitar la segregación, y obtener así una consistencia adecuada par el acabado.

III.4.3.2. Calidad de acabado requerida

Además de la resistencia, los pisos de concreto deben tener otras características de calidad. Deben ser superficialmente finos para "cerrar" completamente la superficie que debe ser dura y resistente a la abrasión.

III.4.3.3. Resistencia al congelamiento y deshielo requerida

El concreto sujeto a sales descongelantes debe tener una relación agua/cemento no mayor de 0.50 (316 Kg./cm²) a más]. Los concretos reforzados expuestos a agua salada, agua de mar o productos químicos para descongelar deben tener una relación agua-cemento no mayor de 0.45. Las exposiciones moderadas (315 Kg./cm² o más).

III.4.3.4. Proporcionamiento de la mezcla

Tabla 6. Recomendaciones para el revenimiento y la resistencia para cada clase de piso de concreto.

Clase de piso ^{ab}	Resistencia a la compresión a los 28 días ^c		Revenimiento ^{d e}	
	Kg./cm ²	MPa	pulgadas	mm.
1	210	21	5	125
2	245	24	5	125
3	254	24	5	125
4	280	28	5	125
5	280	28	4	100
6	315	31	4	100
7 base	245	24	4	100
8 superficie de desgaste ^g	350-560	35-55	2	50
9 superplanos	280 o mayor	28	5	125

^aPara concreto hecho con agregados de peso normal y expuestos a congelación y deshielo, el contenido de aire deberá satisfacer los límites dados en la tabla 8 y tener una relación agua-cemento máxima de 0.50 [aproximadamente equivalente a 280 Kg./cm² (28 MPa) o más]. El concreto sin refuerzo sujeto a sales descongelantes debe tener una relación agua-cemento no mayor de 0.45 [aproximadamente equivalente a 315 Kg./cm² (31MPa) o más]. El concreto reforzado expuesto a aguas salobres, de mar, o sales descongelantes debe tener una relación agua-cemento máxima de 0.40 [aproximadamente 350 Kg./cm² (34 MPa) o más].

Los concretos con agregado ligero estructural deben tener el contenido de aire dado en la tabla 8b. Para concretos ligeros sujetos a congelación y deshielo, las recomendaciones para los contenidos de cemento y aire deben ser proporcionales por el fabricante del agregado ligero.

^bEn la tabla 1 se indican los usos y requerimientos de los pisos.

^cPara clases de pisos 2 a la 9, la resistencia a la compresión de las losas de concreto antes de permitir el tráfico de construcción debe ser por lo menos 126 Kg./cm^2 (12 MPa).

La resistencia se refiere a la resistencia a la compresión de cilindros que han sido curados en forma continua en ambiente húmedo y ensayados de acuerdo con las normas ASTM aplicables a 7 y 28 días. Para cada requisito de resistencia a una edad determinada, el nivel de resistencia del concreto se considerará satisfactorio si el promedio de todos los grupos de resultados a tres pruebas consecutivas de resistencia es igual o mayor que los valores recomendados en la tabla y ninguna resistencia individual (promedio de 2 cilindros) es inferior a la resistencia especificada en más de 35 Kg./cm^2 (3.5 MPa).

^dEl revenimiento máximo de concreto medido en el sitio de colado, por ejemplo en el extremo de descarga de la línea de bombeo si el concreto se bombea. Véanse los comentarios sobre trabajabilidad y facilidad de colocación en el subinciso 4.3.5 el revenimiento del concreto debe ser tal que no provoque los problemas objetables de los concretos con alto revenimiento, como se indica en el subinciso 4.3.5 un aditivo reductor de agua de alto rango (superfluidificante), que satisfaga los requisitos de ASTM A 494 (tipos F o G), o una combinación de aditivos que satisfagan los resultados para (tipos A, C, D, E, F, o G) de la misma norma puede usarse para aumentar el revenimiento, siempre que la mezcla resultante cumpla todos los demás requisitos.

°En ACI 223 se incluyen los requisitos de revenimiento para concretos compensadores de contracción.

¶la resistencia requerida dependerá de la severidad del uso o trato. La clasificación propuesta cubrirá la mayoría de las situaciones.

°con tamaño máximo del agregado no mayor que un cuarto del espesor de la superficie de desgaste no adherida.

Método A

La cantidad de cemento para obtener los niveles requeridos de revenimiento y de resistencia, no debe ser menor que la indicada en la tabla 7. puede resultar necesario utilizar mayores cantidades de cemento para resistencias superiores a las de la tabla 6, o para satisfacer las resistencias indicadas en esa misma tabla.

Método B

Las mezclas de concreto con cantidades de cemento menores a las indicadas en el método A pueden usarse cuando se demuestra al arquitecto o ingeniero que las mezclas propuestas producirán un concreto de propiedades aceptables de acabado, durabilidad, dureza de la superficie y apariencia, y que cumplirán con los requisitos establecidos en la tabla 6, tanto a los 3 como a los 28 días. El concreto que va a estar expuesto al congelamiento y deshielo moderado o severo, también debe cumplir con los límites máximos para la relación agua/cemento indicados en el subinciso 4.3.3 y con los niveles de contenido de aire mostrados en la tabla 8.a ó en la tabla 8.b.

Cuando no se cuenta con un registro de las propiedades de acabado de mezclas, cuyas proporciones hayan sido obtenidas por el método A ó B, se debe colar una losa de prueba, con objeto de evaluar las propiedades de acabado, dureza y

aparición del concreto que se propone. Debe usarse material, equipo y personal en condiciones normales de trabajo, para hacer un tablero de prueba de 8 x 8 pies (2.5 x 2.5 m) y del espesor indicado. Es necesario demostrar que la mezcla usada puede ser acabada a satisfacción del arquitecto o ingeniero, con un revenimiento no superior al indicado en la tabla 6.

Tabla 7. Requisitos mínimos de cemento para el método A*

Tamaño máximo nominal del agregado en pulgadas	cemento** libras/yarda ²	Tamaño máximo nominal del agregado en mm	Cemento Kg /m ³
1 ½	470	38	279
1	520	25	308
¾	540	19	320
½	590	13	350
3/8	610	10	362

- Estas mezclas son especialmente para agregado de peso normal. Pueden necesitarse mezclas diferentes para concreto con agregado ligero. Para losas estructurales deben satisfacerse los requisitos mínimos de este informe, del informe ACI 318 y de las especificaciones y planos del contrato.

** Mayores cantidades de cemento pueden ser necesarias a fin de satisfacer los requisitos de acabado y/o resistencia a la congelación, descongelamiento y a sales descongelantes.

* Cuando los detalles de acabado o su apariencia están en duda, puede necesitarse una losa de prueba.

III.4.3.5 Consistencia y facilidad de colado

El revenimiento máximo que se debe permitir para cada clase de piso se indica en la tabla 6. estos revenimientos están seleccionados para producir un concreto en suficiente facilidad de colado y poder compactarlo apropiadamente, pero con una consistencia tal, que no tenga sangrado excesivo o segregación durante las operaciones de colado y acabado.

III.4.3.6 Tamaño máximo del agregado grueso

Los tamaños máximos de agregado que se indican en la tabla 7 se aplican agregados de peso normal. Se deben usar si económicamente no representan un problema y satisfacen el requisito de tamaño máximo no superior a $\frac{3}{4}$ de la separación mínima entre varillas de refuerzo ó $\frac{1}{3}$ del espesor de la sección.

III.4.3.7 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 más o menos uniformes de revenimiento, cumpliendo con la especificación requerida.

Revenimientos bajos (de 5 a 10 cm.) 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 cm., a pesar que se tiene muy claro las ventajas de trabajar con el revenimiento más bajo posible.

III.4.3.8 Contenido de aire

Usualmente el concreto para pisos no lleva incluso de aire. Sin embargo, pequeñas cantidades de incluso 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 inclusive 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 inclusive 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.

Tabla 8. Contenido de aire para concretos normales y pesados

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido típico de aire de concretos sin aire incluido	Porcentaje promedio recomendado de contenido de aire incluido en concretos		
pulgadas	mm		Exposición leve	Exposición moderada	Exposición severa
3/8	10	3.0	4.5	6.0	7.5
1"	13	2.5	4.0	5.5	7.0
3/4	19	2.0	3.5	5.0	6.0
1	25	1.5	3.0	4.5	6.0
1-1/2	38	1.0	2.5	4.5	5.5

*Tolerancias. Para contenidos promedio de aire de 6 por ciento o mayor ± 2 por ciento; para contenidos promedios de aire menores que 6 por ciento $\pm 1-1/2$ por ciento.

Tabla 8. b. recomendaciones generales de contenido de aire para concreto hecho con agregados ligeros estructurales

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido de aire recomendado, en por ciento	
pulgadas	mm	Exposición leve	Exposición moderada y severa
3/8	10	4-8	5-9
3/4	19	3-7	4-8

* * Estas son recomendaciones generales, por tanto, es aconsejable obtener las específicas del fabricante del agregado ligero.

III.4.3.9 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.
- Incluidor de aire.

III.4.3.10 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 disminuye la resistencia interna a la contracción. El uso de agregados de alta contracción con aditivos de cloruro de calcio también incrementa 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:

- Preparar 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.

- Minimizar el contenido de agua de la mezcla, maximizando el tamaño y cantidad de agregado grueso y usando agregados de baja contracción.
- Usar la mínima cantidad de agua requerida en la mezcla, para la trabajabilidad, evitar sobrepasar la consistencia de humedad.
- Evitar el uso de aditivos con cloruro de calcio.
- Evitar 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.
- Realizar juntas de contracción (inducidas) a intervalos razonables, de 20 a 24 veces el espesor de la losa.
- Evitar variaciones extremas de la temperatura.
- Para minimizar el agrietamiento con el uso de barreras de vapor (o retardadoras de vapor), colocar una capa de al menos 10 cm. 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, usar una mezcla con el menor contenido de agua posible.
- Colocar adecuadamente el concreto, lograr su consolidación, su acabado y curarlo.
- Considerar 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.

III.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 psi) y módulo de Poisson $\mu = 0.15$.

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 indicados 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 pasa-juntas 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 pasa-juntas, 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 mantiene 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^2 (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^2 (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: $39/(2.2 * 1.6) = 11 \text{ Kg. /cm}^2$ [$560/(2.2 * 1.6) = 160 \text{ psi}$].

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 pasa-juntas 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.

III.5.1 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.

En los casos con largas separaciones de juntas, digamos juntas separadas a más de 4 ó 4.5 metros, el uso de barras pasa-juntas 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 el 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 de 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.

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).

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 2 y 3, 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 2 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.

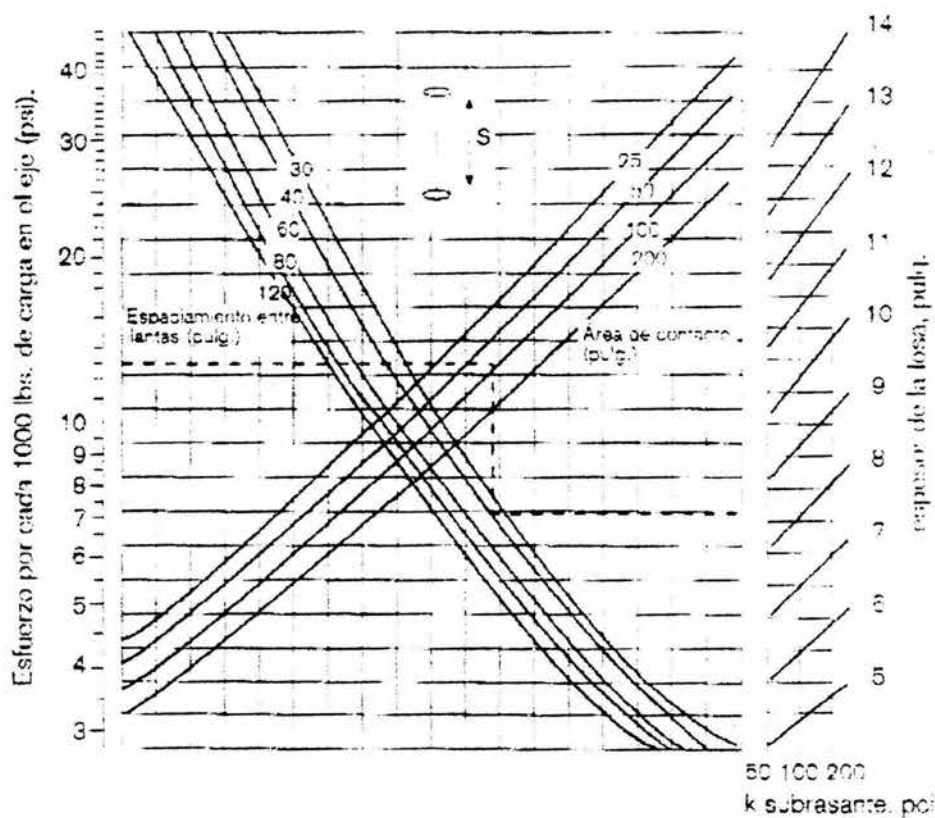


Figura 2. Gráfica de diseño para ejes sencillos

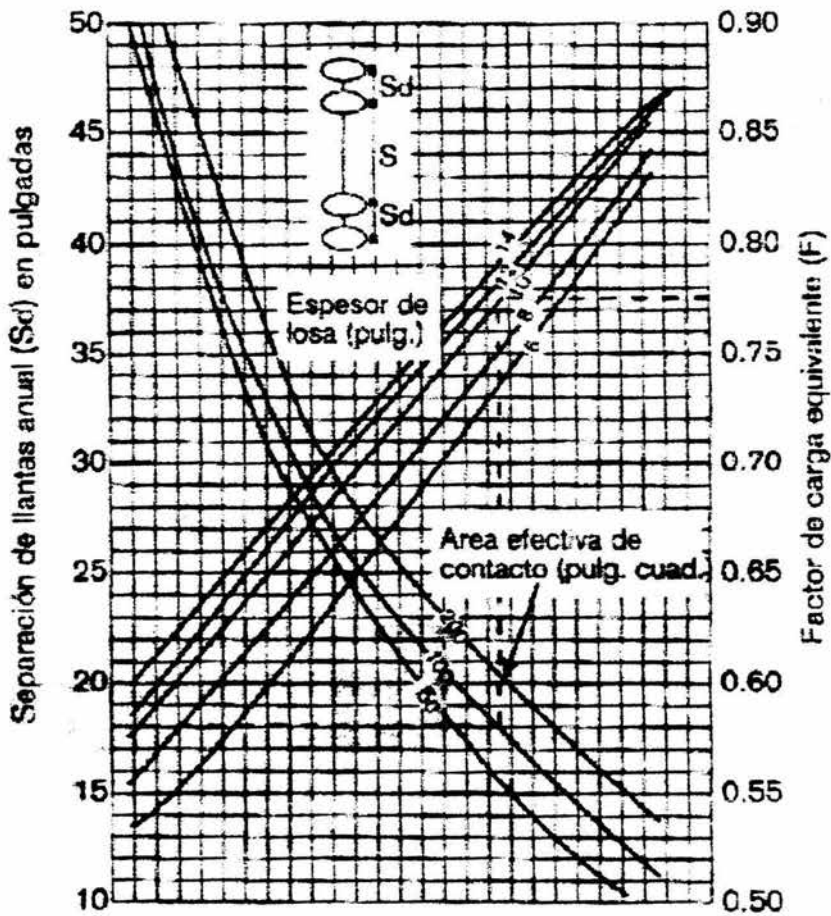


Figura 3. Gráfica de diseño para ejes dual

Para el caso de ejes dual, es decir, ejes equipados con doble llanta, las Figuras 2 y 3 son usadas para determinar el espesor de la losa del piso. Primero, se usa la Figura 3 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 2 para determinar los esfuerzos de flexión en la losa.

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.

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).

En el uso de la Figura 3 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.

Ejemplo de Diseño 1

Montacargas de eje sencillo.

Datos del montacargas

Eje cargado: 11.3 Ton (25 kips)
Espaciamiento de llantas: 94 cm. (37 pulg.)

Número de llantas por eje: 2
 Presión de inflado de la llanta: 0.76Mpa (110 psi)

Área de contacto = cargas en una llanta / presión de inflado

$$= (25000/2) / 110 = 114 \text{ pulg.}^2$$

Datos de la subrasante y concreto

Modulo de reacción k de la subrasante: 100 pci
 Resistencia a la flexión del concreto (MR): 44 kg/cm² (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. Selecciónese 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 2 con un esfuerzo de 7.3 psi y muévase a la derecha para el área de contacto de 114 pulgadas². 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 $k = 100 \text{ pci}$ y use 11 1/4 pulgadas (29 cm.) como espesor de la losa.

Si el uso de áreas más bajas es identificable (instalaciones largas), cambie los factores de seguridad desde la tabla 9 por los números estimados de repeticiones de cargas. Esto puede resultar en un espesor de piso reducido para otras áreas.

Tabla 9. Relaciones de esfuerzos contra repetición de carga permitida

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	5,202,754	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

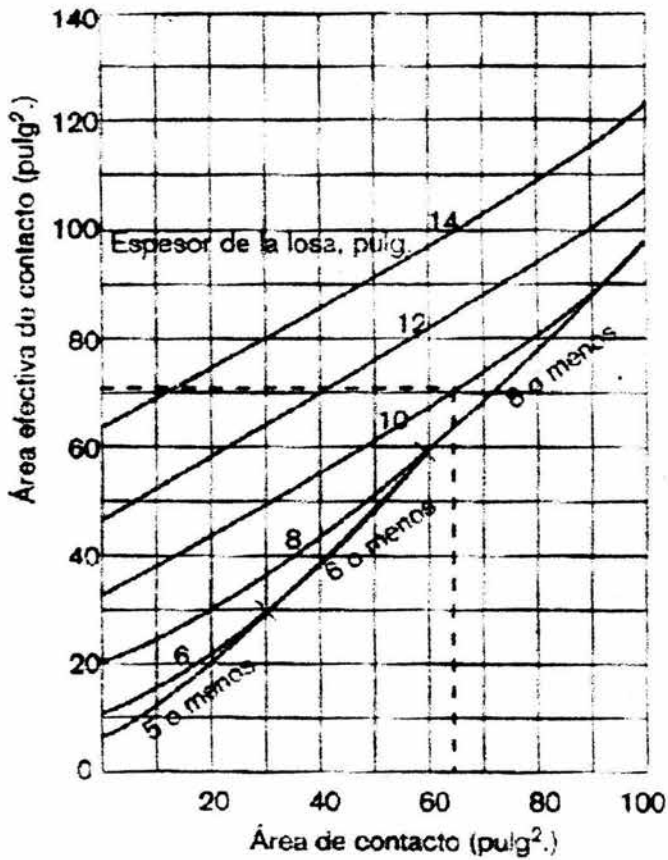


Figura 4. Área efectiva de contacto en función del espesor de la losa

Ejemplo de Diseño 2

Montacargas de eje dual.

Datos del montacargas:

Eje cargado:	22.7 Ton (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

$$= (50000 / 4) / 125 = 100 \text{ pulg}^2$$

Esta área de contacto es lo suficientemente grande como para no emplear la corrección de la Figura 4.

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 ² (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 9, 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).

$$WS = \frac{MR}{SF \times JF} = \frac{640}{1.5 \times 1.3} = 328 \text{ psi}$$

4.- Entre en la Figura 3 con una separación dual de llantas de 18 pulgadas, desplácese horizontalmente hasta cortar a la línea de área de contacto efectiva de 100 pulg², 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 da 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.

$$= WS / \text{Carga en el eje, kips} = 328 / 38.8 = 8.5 \text{ psi}$$

6.- Entre en la Figura 2 con un esfuerzo de 8.5 psi, desplácese horizontalmente a cortar a la línea de área de contacto de 100 pulg², 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.

Aunque en el presente informe se especifica que el tema central es de pisos para el interior de naves industriales, se considero de gran importancia introducir un ejemplo de losas para el patio de maniobras de naves industriales. Por lo que a continuación se presenta la siguiente grafica.

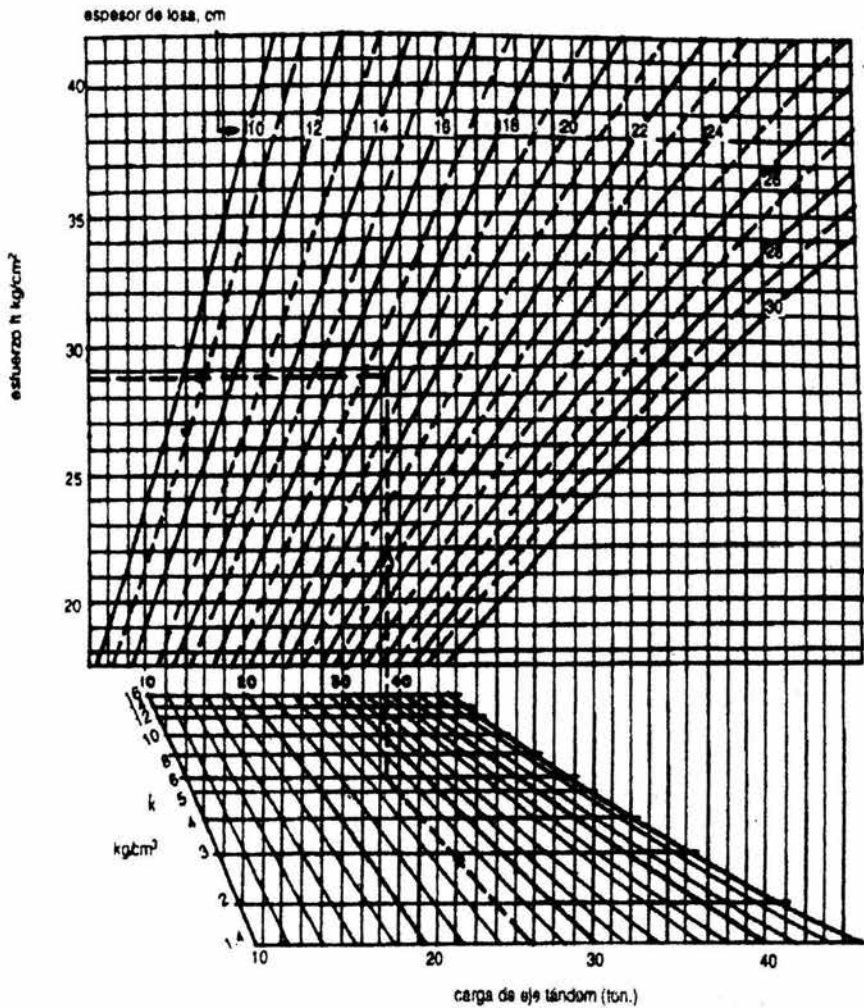


Figura 5. Nomogramas para encontrar los esfuerzos que los ejes tándem causan en una losa de concreto hidráulico, en función de la carga aumentada por impacto, el módulo de reacción corregido y el espesor supuesto de la losa (PCA).

PISO EN VIALIDAD Y PATIO DE MANIOBRAS

Carga máxima aplicada al pavimento por los vehículos de mayor peso que circularán por el, a través de un arreglo de ruedas tándem	18.0 ton
Carga de diseño, considerando un incremento por impacto del 10 %	19.8 ton
Módulo de reacción del suelo de cimentación en estado natural	6.0 kg/cm ³
Espesor de la base granular del suelo de apoyo de la losa de concreto hidráulico, compactada al 98 % de su peso volumétrico seco máximo	20.0 cm
Módulo de reacción corregido por efecto de la base	8.0 kg/cm ³
Módulo de resistencia a la tensión en flexión, MR, igual a 0.15 f 'c, siendo f 'c la resistencia A la comprensión del concreto a la edad de 28 Días	37.5 kg/cm ²
Esfuerzo de trabajo permisible en el concreto Sp, igual a MR/FS, para un factor de seguridad FS = 2	18.8 kg/cm ²
Resistencia de proyecto del concreto f 'c	250 kg/cm ²

Los vehículos de mayor peso que circularán por el pavimento y para los cuales fue efectuado el diseño, corresponden a trailers T3-S3 cuyas características se indican en la figura 5. La carga más crítica transmitida al pavimento por estos vehículos corresponden al eje tándem en el que la carga por rueda doble es de 3.75 ton.

Durante la vida útil del pavimento circularán vehículos en cuyos ejes la carga máxima del sistema tándem es de 18 ton.

Utilizando el nomograma de diseño para ejes tándem presentado en la figura 5. en donde se entra con un módulo de ruptura o de resistencia a tensión en flexión permisible del concreto, de 18.8 kg/cm^2 , con el módulo de reacción del material de apoyo de la losa de concreto de 8.0 kg/cm^3 y una carga de diseño de 19.8 ton., se obtuvo un espesor de la losa de concreto que formará el pavimento rígido de 17 cm., que se apoyará sobre una base granular de 20 cm. de espesor.

La determinación del "módulo de reacción" de los materiales de apoyo del pavimento (subrasante) se determino a través de correlacionar éste con su valor relativo de soporte (CBR). De la relación de pruebas para la determinación del valor relativo de soporte en muestras recompactadas del suelo de cimentación, se obtuvo un valor del CBR recompactado al 98 % de su peso volumétrico seco máximo de 6 kg/cm^3 , este valor se ve afectado debido a que la losa del pavimento se apoyará sobre una base de materiales mejorados de 20 cm. de espesor, obteniéndose de esta manera un módulo de reacción de la subrasante de 8 kg/cm^2 .

Las losas que formarán el pavimento tendrán refuerzote acero para el control de agrietamientos por temperatura, determinado mediante la siguiente expresión.

$$As = \frac{WfL}{2fs}$$

Donde:

As = área de acero para una franja de 1.0 m. de ancho de losa, en cm^2

W = peso de la losa, en kg/m

F = coeficiente de fricción entre la losa y base, igual a 1.5

L = longitud de los tableros de losa, en m

f_s = esfuerzo permisible en el acero, en kg/cm², (igual a 0.6 f_y)

Además, en toda dirección en la que la dimensión de un tablero sea mayor de 1.5 m., el área de refuerzo que se suministre no será menor que:

$$a_s = \frac{660_{x1}}{f_y(x1+100)}$$

Donde:

a_s = área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se considera, por unidad de ancho en la pieza (cm²/cm). el ancho mencionado se mide perpendicularmente a dicha dirección y a x_1 .

$X_1 = 1/3$ de H, siendo H el espesor del pavimento.

En elementos estructurales expuestos directamente a la intemperie o en contacto con el terreno, el refuerzo no será menor a $1.5 a_s$.

El espaciamiento máximo del refuerzo en los tableros no será mayor de 37.5 cm., para el acero longitudinal y de 75 cm. para el acero transversal.

Considerando acero de refuerzo de alta resistencia ($f_y = 4200$ kg/cm²) se obtuvo que las losas del pavimento en la zona de vialidad, patio de maniobras y almacenamiento, deberán armarse en sus sentidos longitudinal y transversal como se indica en la figura 6.

Debido a que se tendrá un control efectivo de las grietas mediante el refuerzo debido al acero distribuido, el espaciamiento entre juntas transversales se recomienda variable entre 3.0 y 4.5 m. Respecto al ancho de las losas, éstas quedarán comprendidas entre 3.00 y 6.00 m.

**REFUERZO MEDIANTE VARILLAS DE 3/8"
DE DIAMETRO ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$)**

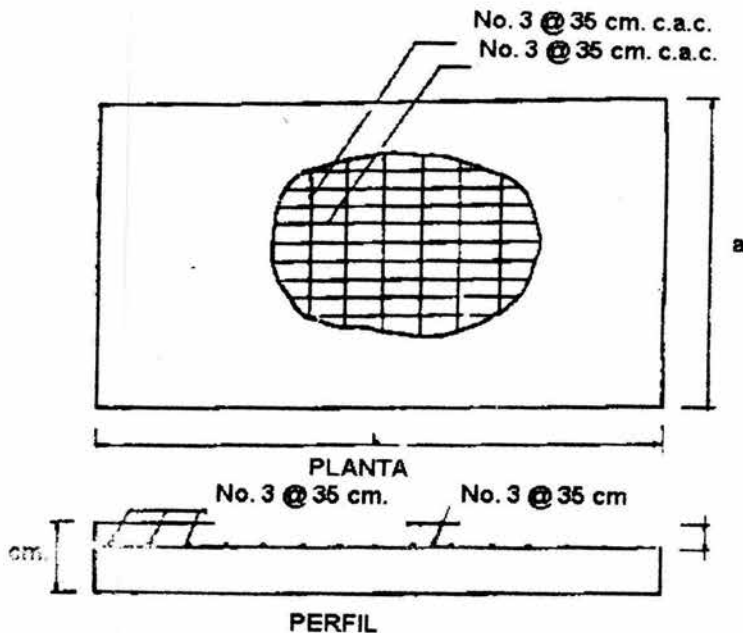


Figura 6.

III.5.2 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 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 los 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 mas alto es el normalmente apropiado.

La información especifica 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.

Las figuras 9, 10 y 11 son usadas para determinar los requerimientos de espesor de losa, para valores de modulo de reacción k de 50, 100 y 200. las graficas 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 7, que representan racks continuos. La figura 8 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 agrietamientos.

Las graficas 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 pueden asumirse que actúen como una equivalente a la suma a la suma de sus cargas combinadas. Los valores del modulo de reacción k representan condiciones genéricas del suelo para bajas, medias y digamos alta condiciones de soporte.

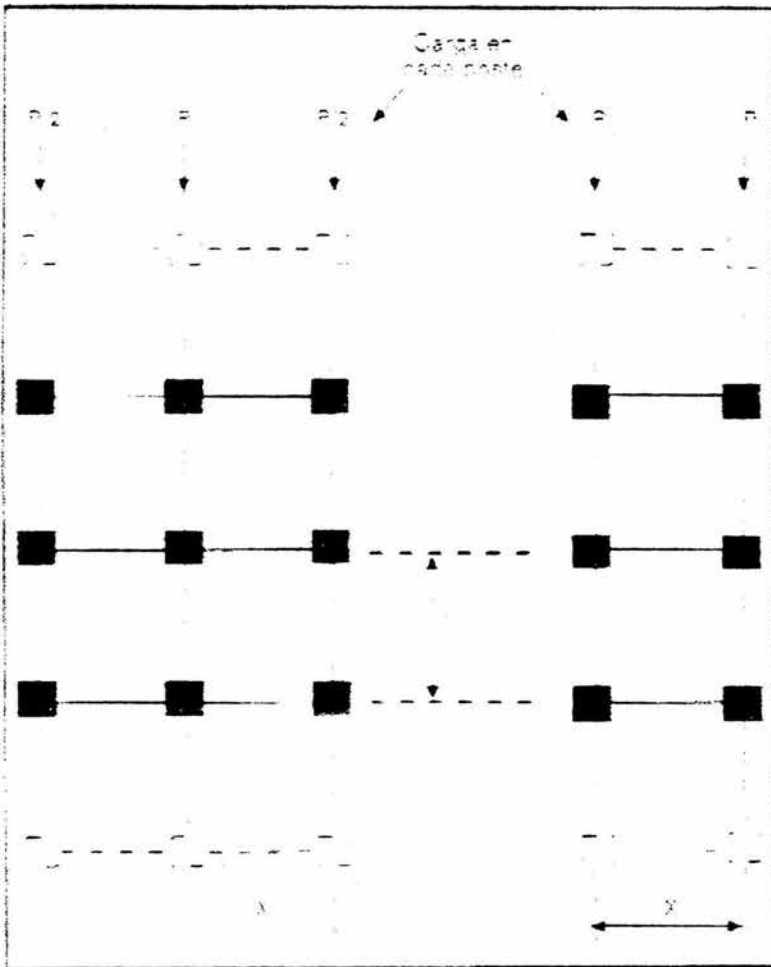


Figura 7. Configuración de postes y cargas que aplican para la figuras 9, 10 y 11. (Condición de carga interior)

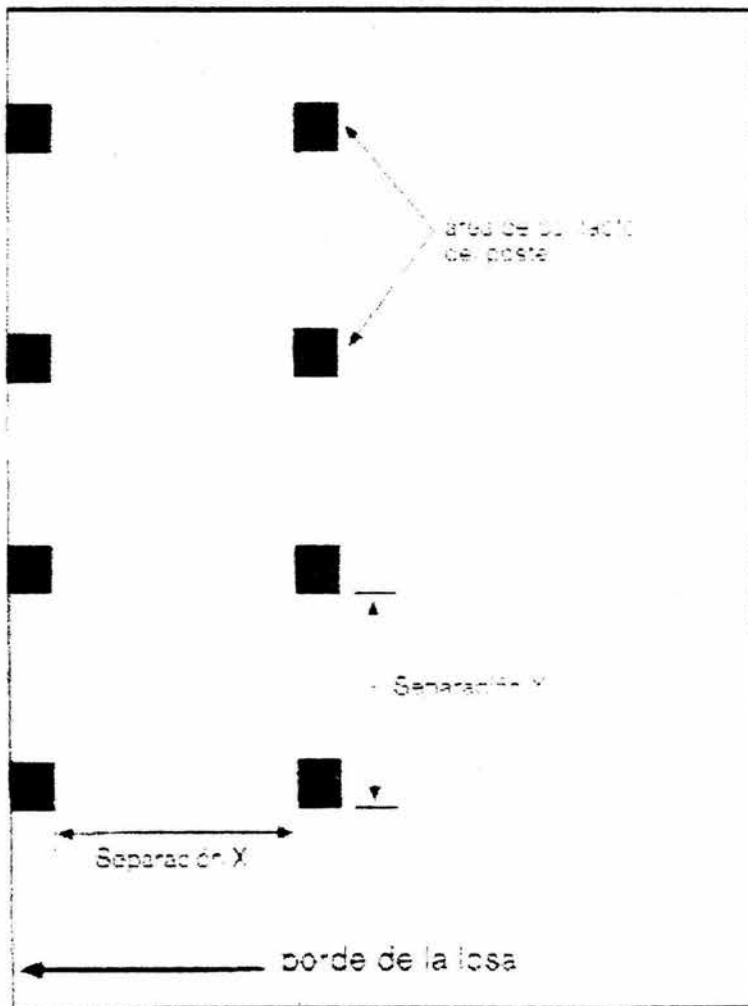


Figura 8. Configuración de postes a lo largo del borde de la losa.

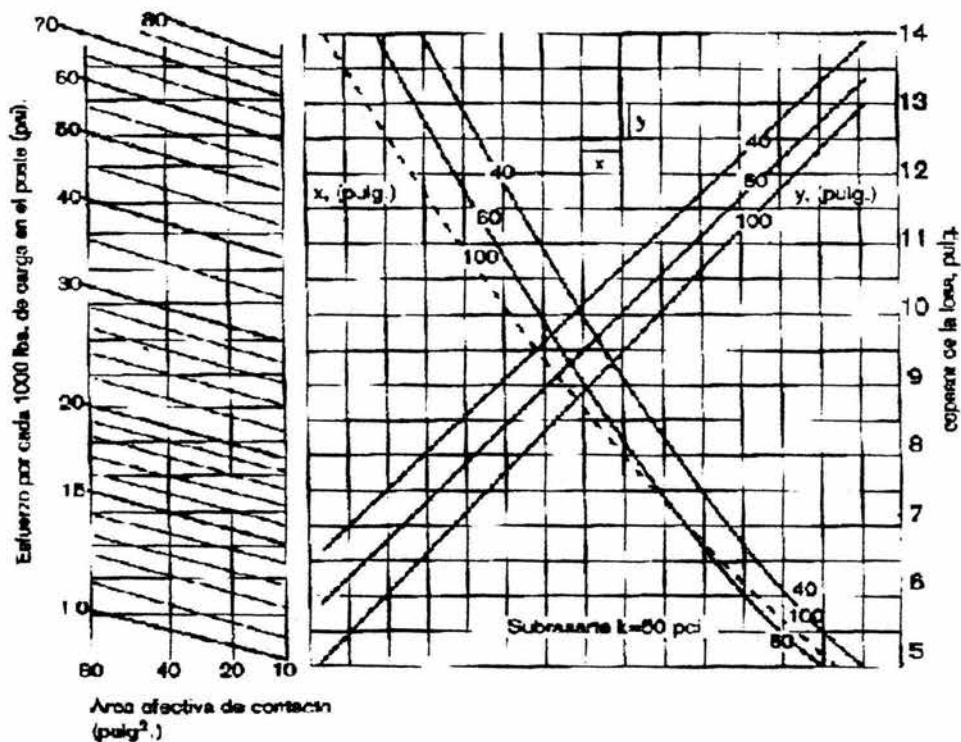


Figura 9. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 50 \text{ pci}$.

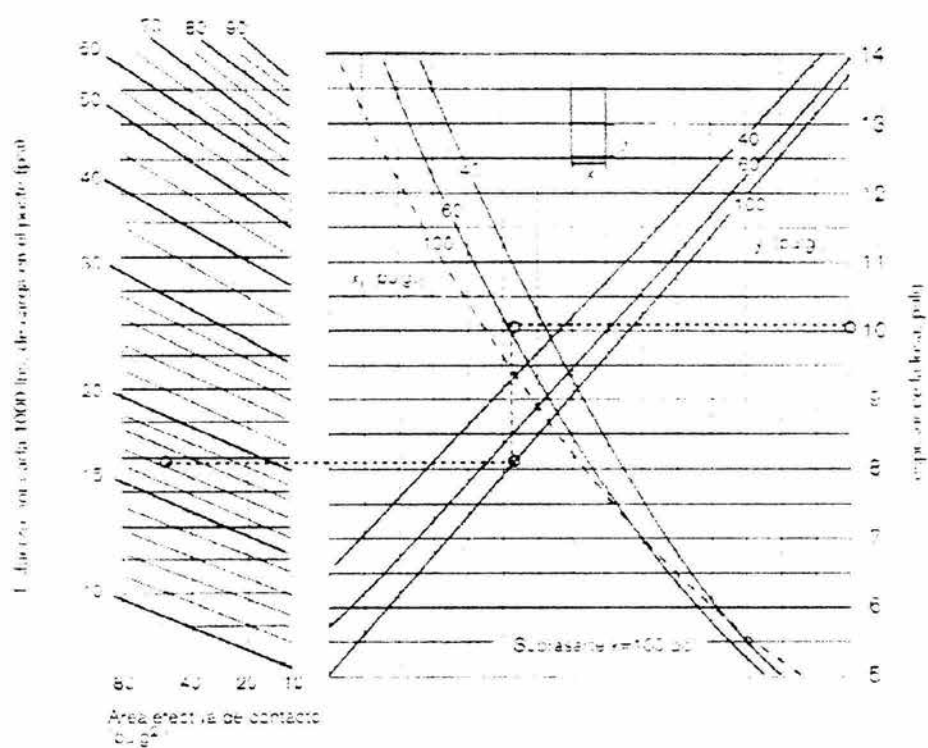


Figura 10. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 100$ pci.

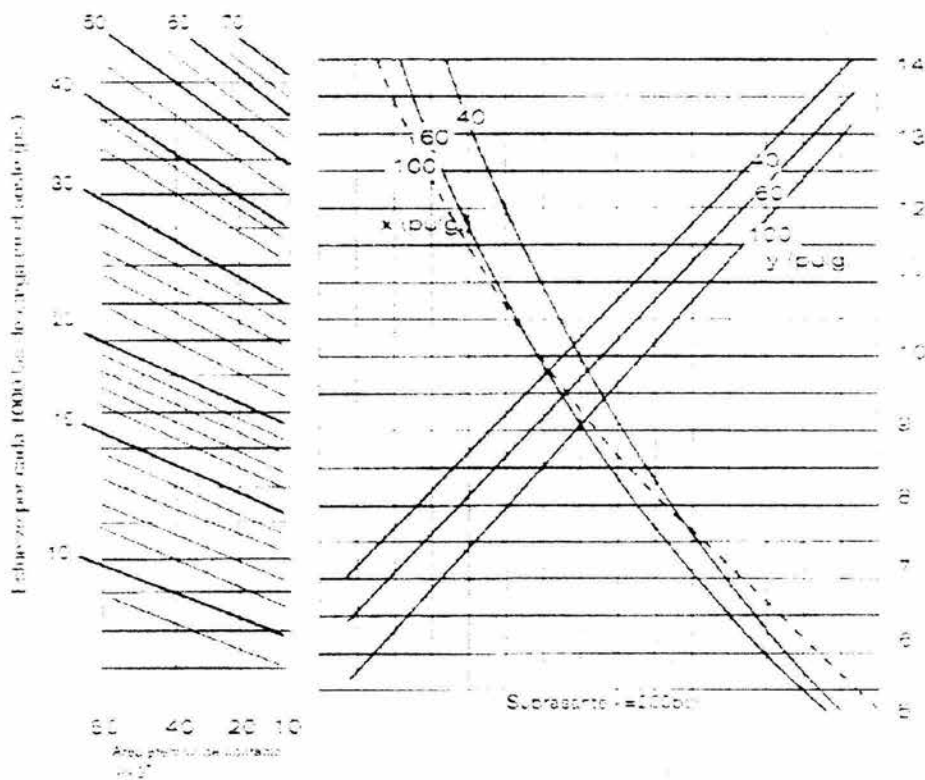


Figura 11. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 200$ pci.

III.5.2.1 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 una carga de poste, sería mucho menor que aquella bajo una zapata, debido a que la losa distribuye la carga sobre un área más grande de subrasante.

III.5.2.2 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 son 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 pasa-juntas 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 pasa-juntas para la transferencia de carga el factor de juntas de 1.6 será el recomendado para la condición 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 9, 10 y 11 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 9, 10 y 11 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 pulg.) Transversal (X):1.70 m (66 pulg.)
Carga en Poste:	5.9 ton (13 kips), en cada poste
Dimensionamiento de la base del poste:	cuadrada de 20.3 cm. (8 pulg.)
Área de contacto:	412 cm ² (64 pulg ²)

Datos de la subrasante y del concreto

Módulo de reacción k de subrasante	100 pci
Resistencia de flexión en el concreto	MR de 44 kg/cm ² (640 psi) a 28 días

Espaciamiento de juntas en el piso

Espaciamiento de columnas:	15.20m (50 pies)
Espaciamiento de Juntas:	5.1 m (16.6 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:

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

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 10. 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 pulg², después se desplaza hacia la derecha en línea

recta hasta el espaciamiento de postes Y de 98 pulgadas, en ese punto se mueve en línea vertical hasta encontrar el espaciamiento 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 4 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 pulg² de área de contacto el área efectiva de contacto es 72 pulg²; 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 = $13000 \text{ lbs} / 64 \text{ pulg}^2 = 203 \text{ psi}$

$203 \text{ psi} < 2690 \text{ psi}$

$203 \text{ psi} < 1345 \text{ psi}$

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

7.2 Revisión por esfuerzos cortantes:

Esfuerzo cortante permisible:

$$= 0.27 * MR = 0.27 * 640 = 173 \text{ psi}$$

Esfuerzo cortante actuante.

Para cargas interiores

Carga por Poste / Espesor de losa x [(perímetro) + (4 x Espesor de losa)]

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

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

Para cargas de borde:

= Carga por Poste / Espesor de losa x [(0.75 x perímetro) + (2 x Espesor de losa)]

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

Para cargas de esquina:

= Carga por Poste / Espesor de losa x [(0.5 x perímetro) + (Espesor de losa)]

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

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.

III.5.3 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.

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 eliminar 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.

III.5.4 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, 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 de 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.

III.5.4.1 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.

El uso de valores empíricos se emplea 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 los valores variarán.

En ambos casos 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_1 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, representando la condición de carga más 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.

Las cargas admisibles están basadas en experiencia utilizan 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:

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

Donde:

- W = Carga permisible, en libras sobre pie².
(1 libra/pie² es igual a 4.8824 kgs/m²)
- ft = Esfuerzo de trabajo permisible en psi (libras-pulg²), 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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

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 se en valores empíricos. Estas cargas admisibles tienen la función de limitar el momento negativo para que no se agriete un pasillo o un área no cargada.

III.5.5 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.

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.

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.

III.5.6 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, 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.

III.6 ACERO DE REFUERZO

Antecedentes

La 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 se toman 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.

III.6.1 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.

III.6.1.1 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 si, 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, esto 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.

III.6.1.2 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.

III.6.2 Propósito del refuerzo

La cantidad relativamente pequeña de refuerzo en una losa de concreto tiene la función de mantener juntas las caras de las 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 controlar de manera adecuada el agrietamiento, reduciendo la contracción total en la losa a un valor lo suficientemente pequeño de manera que la junta de contracción también presenta una adecuada trabazón de agregado.

En losas con separación de juntas mayores a los 4 ó 4.5 metros, el propósito del acero de refuerzo es mantener cerradas las grietas intermedias. En este caso el diseñador deberá estar consciente y aceptar que el agrietamiento aleatorio es posible que ocurra en la losa.

Para conocer si en un piso de concreto es necesario el refuerzo, se presenta la siguiente tabla:

REFUERZO	
NO	SI
1. Cuando el apoyo de la subrasante sea uniforme y se empleen espaciamientos adecuados entre las juntas	1. Cuando se requieran espaciamientos grandes entre juntas.
	2. Cuando no se acepten juntas de piso.

En estructuras elevadas de concreto, el propósito del refuerzo es muy bien entendido para el control de las acciones dinámicas que se presentan en las estructuras como son momentos positivos y negativos, así como para el control del esfuerzo cortante. Dado que el concreto se entiende que tiene escasa resistencia a la tensión (en comparación con su resistencia a la compresión), se espera que todos los componentes sujetos a la tensión sean auxiliados por la capacidad a tensión del refuerzo, ante una condición de carga determinada.

En el diseño de losas sobre el terreno, el espesor de la losa está en función de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura), lo que nos lleva a la evidente conclusión que el concreto no se supone que se debe agrietar y tomando en cuenta que la función del acero se basa en el hecho que el concreto se debe agrietar para que el acero trabaje, luego entonces el diseñador se encuentra con esta paradoja. Por esta razón será necesario definir tanto el propósito del refuerzo en la losa de concreto, como la manera efectiva de lograr ese propósito.

Existen 3 propósitos principales para reforzar las losas de concreto:

1. Control de la contracción.
2. Control de temperatura.
3. Capacidad de momento.

III.6.2.1 Control de la contracción

El control de la contracción es convencionalmente la preocupación más grande en el diseño de losas. El acero de refuerzo en conjunto con el espaciamiento entre juntas, ofrecen los dos elementos primarios que pueden ser eficaces en el control de las grietas por contracción, sin embargo, todas las recomendaciones referentes al

incremento de la separación entre juntas se debe tomar con mucha precaución, ya que son muchos los factores que afectan a la aparición de grietas por contracción y el simplemente correlacionar la separación de juntas con el espesor de la losa y la cantidad de refuerzo, no cubren todos los factores que participan.

En el pasado se han usado muchas correlaciones como las que se mencionan en el párrafo anterior, incluso siguen apareciendo éstas en las publicaciones actuales de pisos industriales, sin embargo, la experiencia ha mostrado que esto como se menciona con anterioridad, se debe hacer con mucha precaución y por supuesto con el entendimiento que pueden seguir apareciendo grietas intermedias en las losas.

La cantidad de acero necesaria para el control de la contracción es alrededor del 1 % del área de acero, sin embargo, esta cantidad de acero produce microagrietamiento en la losa, además de ser un nivel de refuerzo raramente usado en la práctica.

III.6.2.2 Control por temperatura

Debido a la naturaleza del concreto, éste es también susceptible a fracturamiento adicional por cambios de temperatura. Este cambio en la temperatura es comúnmente conocido como un gradiente de temperatura. El acero de refuerzo contribuye en dos maneras a la resistencia de los esfuerzos causados por cambios de temperatura. En primer lugar, las leyes de la naturaleza han sido favorables permitiendo que tanto el concreto como el acero tengan esencialmente el mismo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente de 6.5×10^{-6} pulg./pulg./°F). En segundo lugar, el acero de refuerzo es dúctil, de tal modo que modifica el choque térmico experimentado por el concreto. Esto permite al diseñador calcular un área de acero distinta para un gradiente térmico cuantificable.

III.6.2.3 Capacidad de momento

Los procedimientos de diseño para losas sobre el terreno generalmente arrojan al diseñador un espesor de losa. El espesor encontrado está en función de las cargas, del módulo de reacción k de la subrasante, del módulo de ruptura del concreto y de la rigidez de la losa. Dado que el espesor y la rigidez se interrelacionan, se requiere de un proceso iterativo o el uso de nomogramas para determinar el espesor. Una vez que éste es determinado, la capacidad de momento de la losa se puede determinar multiplicando el módulo de ruptura (MR) del concreto por el módulo de sección de la sección dada. Si el diseñador desea suministrar esta capacidad con una cantidad suficiente de refuerzo, un área de acero puede ser calculada. Cuando el concreto se agrieta para permitir que funcione el acero, la sección llega a ser más flexible. Esto cambia el problema a un grado menor. Así una menor área de acero será necesaria. Esto está reflejado en el procedimiento de diseño de capacidad confirmada.

III.7 PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL ACERO DE REFUERZO

Como se menciona, existen tres propósitos que sustentan la existencia del refuerzo en una losa de concreto para controlar el efecto de la contracción, de la temperatura y confrontar la capacidad de momento. Convencionalmente el deseo más grande para el diseñador es direccionar, o controlar la contracción. El uso del acero de refuerzo brinda los medios para controlar el ancho de las grietas de contracción incluso con porcentajes relativamente pequeños de acero. Este tipo de control mínimo puede ser realizado con la fórmula de fricción de la subrasante. La fórmula de fricción de la subrasante, aunque ha sido empleada frecuentemente por los estructuristas durante muchos años, se reconoce hoy en día que ofrece un muy modesto control de la contracción, además ofrece poca ganancia en resistencia. En la presente sección se detallan otras alternativas junto con el procedimiento de la fricción de la subrasante.

A continuación se presentan los procedimientos para el cálculo del área de acero:

1. Por fricción de la subrasante.
2. Por capacidad confirmada.
3. Por temperatura.
4. Por resistencia equivalente.
5. Por restricción de grietas.

III.7.1 Procedimiento de fricción de la subrasante

En años anteriores, la industria del concreto sugería el uso de la teoría de la fricción de la subrasante para losas. El procedimiento fue desarrollado principalmente para una relación baja de acero, generalmente menor que 0.1% y utilizándose ciertos estilos estandarizados de malla electrosoldada (espaciamiento de 4 x 4 y 6 x 6). También, el procedimiento consideraba espaciamientos de juntas de control de menos de 25' (7.50 más), con la premisa que de colocarse franjas más grandes seguramente se presentaría agrietamiento intermedio. Sin embargo, hoy en día con la experiencia obtenida no se recomiendan espaciamientos tan grandes, sobre todo como se menciona en los párrafos anteriores, no se recomienda correlacionar los grandes espaciamientos de juntas exclusivamente a la cantidad de acero y al espesor, por lo que ahora el cálculo de acero con el método de fricción de la subrasante usa con precaución, criterio y experiencia del diseñador.

Este procedimiento esta dirigido a losas delgadas de menos de 6" (15 cm.), de uso comercial ligero y residencial. La malla electrosoldada controla el ancho de grieta por contracción y ayuda a mantener una trabazón del agregado en espesores de losas de hasta 5" (12 cm.) ante cargas ligeras, pero se deben considerar otros procedimientos cuando sea utilizada la malla electrosoldada para grandes espaciamientos de juntas, espesores de losa mayores y cargas impuestas mayores.

La ecuación de fricción de la subrasante es la siguiente:

$$A_s = \frac{FLW}{2fs}$$

Donde:

- A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.
- f_s = Esfuerzo permisible en el refuerzo, psi, use 0.75 fy.
- F = Coeficiente de fricción, use un rango de 1.5 a 2, normalmente se recomienda 2.
- L = Distancia en pies entre juntas (la distancia entre los extremos libres de la losa puede moverse debido al acortamiento por la contracción o a la expansión térmica).
- W = Peso muerto de la losa en libras sobre pie cuadrado (psf), usualmente se consideran 12.5 psf por cada pulgada de espesor (24 Kg. /m² por cada cm. de espesor).

*Nota: El resultado de la fórmula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm²/m.

El coeficiente 2 en el denominador no es un factor de seguridad, está basado en la teoría de que el panel de losa se moverá una distancia igual desde cada extremo hacia el centro F , el coeficiente de fricción, puede variar desde 0.5 en adelante; un valor de 2 debe ser usado cuando no está disponible información adicional.

Independientemente de si el refuerzo sea con malla electrosoldada, varillas de acero, etc., la fórmula de fricción de la subrasante frecuentemente resulta en áreas de acero menores al 0.10% del área de sección transversal de la losa. Sin embargo, basados en la experiencia y en el desempeño e investigaciones, algunos investigadores, diseñadores y contratistas sugieren el uso de un área mínima de acero.

Una de las maneras en que se ha tomado esto para pisos de concreto con espaciamientos de juntas mayores a lo convencional, es emplear la fórmula de fricción de la subrasante en conjunto con una mínima cantidad aceptable de refuerzo. Por ejemplo, el comité del Instituto Americano del Concreto (ACI) 360 (referente al diseño de losas sobre el terreno) sugiere un refuerzo mínimo de 0.15%.

Los valores del coeficiente de fricción pueden variar substancialmente. Para la selección de un valor, se recomienda ser conservador, puesto que las características de las subrasantes pueden a menudo ser desiguales, dando por resultado una mayor fricción de la subrasante.

III.7.2. Procedimiento de capacidad confirmada

Según lo indicado anteriormente, la mayoría de los pisos de losas sobre terreno tienen un espesor elegido con base en un procedimiento determinado de diseño. Este procedimiento puede ser el método de diseño de la PCA, el procedimiento de diseño del WRI, el procedimiento del Cuerpo de Ingenieros o un análisis por computadora. Estos procedimientos dan como resultado un espesor capaz de resistir un determinado momento positivo y negativo basado en datos de diseño tales como el módulo de subrasante, la magnitud y localización de las cargas y otros factores. Lo fundamental es que la losa sea capaz de resistir cierto momento interno, ya sea positivo o negativo. En la proximidad de una grieta de contracción, esta capacidad se pone en riesgo, si el refuerzo tal como el refuerzo de malla electrosoldada no está presente.

La capacidad de momento necesaria de la losa es simplemente el módulo de ruptura (MR) del concreto multiplicado por el módulo de sección. El refuerzo mínimo es el área de acero que tiene una capacidad última igual al momento del diseño. Este valor de momento sería el módulo de sección multiplicado por el esfuerzo de trabajo, entendiendo el esfuerzo de trabajo como el modulo de ruptura (MR) dividido entre un factor de seguridad.

Si asumimos una sola capa de refuerzo ubicada al centro de la losa (de 6" de espesor), el problema se simplifica por que la capacidad será igual tanto para momento positivo como para momento negativo. Con estas suposiciones, el procedimiento de capacidad confirmada se simplifica a la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{4.4 \times MOR \times t}{f_y \times SF}$$

Donde:

- A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.
- MOR = Módulo de ruptura del concreto (psi).
- t = Espesor de la losa en pulgadas.
- f_y = Esfuerzo de fluencia del refuerzo (psi)
- SF = Factor de Seguridad, normalmente se usa 2.

*Nota: el resultado de la fórmula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm^2/m .

El estructurista debe considerar que del procedimiento de capacidad confirmada se obtiene un área transversal mínima para el refuerzo de losas sobre terreno, y asegura una cierta capacidad de momento sin considerar la localización de la junta de contracción o de la grieta.

III.7.3 Procedimiento por temperatura

Un procedimiento disponible para controlar el tamaño de las grietas en losas sobre terreno puede encontrarse en el método de control por temperatura. La limitación en el tamaño de las grietas se puede efectuar colocando una cantidad suficiente de refuerzo, para direccionar el cambio máximo de temperatura que la losa es susceptible de experimentar. Las losas industriales sobre terreno con clima

controlado deberán ser diseñadas para un diferencial mínimo de temperatura o gradiente de temperatura de 40°F (4° C). Las losas sujetas a condiciones extremas deberán ser diseñadas para las temperaturas máximas predominantes en el lugar, produciendo un gradiente térmico de 100° F (38° C) o mayor. Este procedimiento no reduce el agrietamiento, sin embargo, contribuye significativamente a controlar los anchos de las grietas. El procedimiento de refuerzo por temperatura, se muestra a continuación:

$$A_s = \frac{f_r \times l \times t}{2(f_s - (T \times \alpha \times E_s))}$$

Donde:

- A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.
- t = Espesor de la losa en pulgadas.
- f_r = Resistencia a la tensión del concreto (psi)
(calculado como 0.4 x MR).
- f_s = Esfuerzo de trabajo en el refuerzo (psi).
- T = Rango de temperatura esperado al que la losa estará sujeta (°F).
- α = Coeficiente térmico del concreto (pulg. /pulg°F).
- E_s = Módulo de elasticidad del acero (psi).

*Nota: el resultado de la fórmula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm²/m. El rango normal del coeficiente de expansión térmica (α) del concreto es de 5 a 7 x 10⁻⁶ pulg. /pulg°F.

La intención de este procedimiento de diseño es minimizar la frecuencia y el ancho de las grietas por contracción, previendo cambios de temperatura. El uso de un gradiente térmico de menos de 40 °F (4°C) no se recomienda aún cuando se tengan condiciones ambientales controladas.

III.7.4 Procedimiento por resistencia equivalente

El procedimiento de resistencia equivalente se describe como la relación entre la resistencia equivalente entre el concreto y la del acero. El área de acero es calculada con base al 75% de su esfuerzo de fluencia, mientras que la resistencia a tensión del concreto se toma como 0.4 veces el módulo de ruptura (MR). El módulo de ruptura se puede tomar conservadoramente como $7.5 (f'c)^{1/2}$ psi. Esto resulta en la siguiente fórmula:

$$A_s = \frac{36x(f'c)^{1/2}xt}{f_s}$$

Donde:

- A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.
- t = Espesor de la losa en pulgadas.
- $f'c$ = Resistencia a compresión del concreto (psi).
- f_s = Esfuerzo de trabajo en el refuerzo (psi).

*Nota: el resultado de la formula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm^2/m .

Este método arroja porcentajes de acero significativamente mayores comparados contra lo convencionalmente empleado, sin embargo su uso reducirá de manera significativa la frecuencia de agrietamientos con rangos de 40 millonésimas de ancho; a pesar de ello, este procedimiento no los elimina completamente.

III.7.5 Procedimiento por restricción de grietas

Dependiendo del potencial de contracción que el concreto posea, no es posible garantizar totalmente la aparición de micro-agrietamientos. A partir de la siguiente expresión se calcula el área de refuerzo por éste método.

$$A_s = \frac{9360 \times T}{f_y}$$

Donde:

- A_s = Área de acero transversal en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.
- t = Espesor de la losa en pulgadas.
- f_y = Esfuerzo de fluencia del refuerzo (psi).

*Nota: el resultado de la formula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm^2/m .

Esta formula es el resultado de igualar la contracción unitaria del concreto, a una sección de acero equivalente, capaz de resistir un diferencial de volumen debida a contracciones en su sentido longitudinal. Este procedimiento será aplicable principalmente a pisos cuyo uso sea el proceso de alimentos, hospitales y a otras aplicaciones que requieran mayor restricción del micro-agrietamiento. La restricción está basada para grietas que superan la relación del 1 % con respecto al área de la sección transversal de la losa.

III.8 JUNTAS, UBICACIÓN Y DISEÑO

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 retuerzo y el uso de fibras que ayuden a controlar el agrietamiento plástico. También pueden ser usados 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).

III.8.1 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.

5. Junta Transversal de construcción: Son las juntas transversales colocadas al final de un día de colado ó por cualquier otra interrupción a los trabajos.

Dado que el diseño y construcción de las juntas de contracción y construcción en sus sentidos transversales y longitudinales presentan condiciones similares; presentamos a continuación la descripción de los tres tipos de juntas anteriormente mencionados.

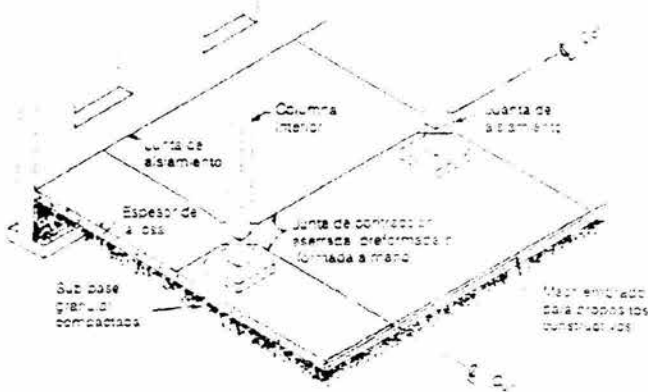


Figura 12. Localización de las juntas

III.8.1.1 Juntas de aislamiento

Las juntas de aislamiento o dilatación se utilizan para permitir una completa libertad de movimiento, vertical y horizontal, entre las caras verticales de la losa de concreto y estructuras fijas de la nave, como muros, columnas, bases de maquinaria, etc.

Este tipo de juntas se debe utilizar para aislar la losa de concreto de muros (cuando éste no necesita una restricción lateral), de columnas, de la cimentación de equipos, bases, pedestales y de otros puntos que impidan el movimiento de la losa, tales como drenajes, registros, pozos de visita, resumideros y escaleras.

Las juntas de aislamiento, se forman insertando material de relleno preformado entre el piso y el elemento adyacente. El material de relleno debe extender a todo el espesor de la losa.

Cuando existan condiciones de humedad, requerimientos de control de higiene o polvos, la parte superior del material de relleno podrá ser removido y sustituido por un sellador elastomérico.

Los siguientes métodos se pueden utilizar para producir una profundidad uniforme en el sellado de las juntas de aislamiento:

1. Cortar parcialmente o marcar el material de relleno a la profundidad deseada, a fin de formar un plano de debilidad. Posteriormente se coloca el material en el lugar donde se formara la junta de aislamiento. Una vez endurecido el concreto se retira la tira.
2. Se corta una tira de madera con un espesor igual al deseado para el sellado de la junta. Se fija la tira en el material de relleno y se instala en el lugar donde se desea la junta de contracción. Una vez endurecido el concreto se retira la tira de madera.

Otra alternativa es utilizar un material preformado de relleno que cuente con una tira superior desprendible.

Relleno alrededor de la columna
después del colado de la losa

Sello preformado
 $\frac{1}{2}$ pulgada (13 mm)
de espesor

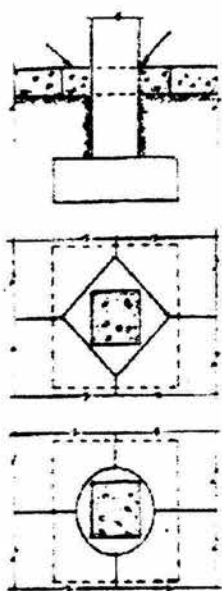


Figura 13. Juntas de aislamiento en columnas

III.8.1.2. Juntas de contracción

Las juntas de contracción o juntas de control, alivian los esfuerzos causados por la restricción del alabeo, contracciones por enfriamiento o contracción por secado. Teniendo un cuidado especial en el espaciamiento y tiempo de instalación, éstas juntas nos ayudan a controlar las posibles fracturas existentes, debidas a movimientos naturales y externos en la losa.

Las juntas de contracción pueden elaborarse de diversas maneras, tales como:

- Mediante el corte temprano de concreto semi-endurecido.
- Mediante el corte convencional de concreto endurecido.
- Una ranura de concreto fresco durante el proceso de terminado
(no es práctica para pisos de más de 10 cm. de espesor).
- Mediante la instalación de plástico premoldeado o inserciones de metal durante la colocación y terminado (no es muy recomendable por la dificultad de crear una ranura perfectamente vertical).

Independientemente de si las juntas se hacen con cortadoras de corte temprano, cortadoras convencionales de corte húmedo, con herramientas manuales o con inserciones de metal o plástico, todas las juntas deberán normalmente extenderse a una profundidad de un tercio del espesor de la losa. El objetivo de la junta es formar un plano de debilidad en la losa, de tal manera, que el agrietamiento ocurra justo en ese lugar y no en otro, teniéndose un mayor control del agrietamiento.

Cuando los pisos estén expuestos al tráfico vehicular pesado, como en todos los pisos industriales, el corte con disco es el único método aceptado para formar las juntas y el sellado de las juntas será indispensable. Las ranuras hechas manualmente no son deseables, debido a que redondean por completo los bordes, mientras que los insertos premoldeados, pueden causar problemas durante el terminado del piso y el despostillamiento en los bordes de las juntas es muy común.

Los pisos de uso industrial y comercial, son usualmente cortados mecánicamente. El tiempo de corte es importante, debido a que resulta un factor crítico durante su elaboración, ya que para minimizar los esfuerzos de tensión y el agrietamiento aleatorio causadas por alabeo o contracción por enfriamiento, el corte debe realizarse antes que la losa se enfríe de manera considerable. Las losas de concreto

son muy vulnerables al alabeo y a esfuerzos de contracción en sus primeras 6 a 18 horas después de haberse colocado el concreto, cuando los esfuerzos de tensión son muy bajos. Por esta razón las juntas deberán cortarse lo más pronto posible, en cuanto el concreto esté lo suficientemente duro para que la cortadora no despostille los bordes del corte o desaloje partículas de agregado grueso.

Existen en el mercado cortadoras ligeras, de corte temprano las cuales han sido desarrolladas para permitir que el corte se realice muy temprano después del procedimiento de acabado del piso, algunas veces esto es tan temprano como de 0 a 2 horas después de haber terminado el piso. En este punto el concreto esta muy débil en su desarrollo de resistencia, y al realizar los cortes antes que los esfuerzos crezcan, el mecanismo de agrietamiento que relaciona el espesor de la losa con la profundidad del corte, cambia, es decir, que si realizamos el corte en las primeras horas después del proceso de acabado del piso, el agrietamiento aleatorio puede ser controlado aún cuando el corte sea menor de un tercio del espesor de la losa.

La mayoría de las cortadoras de corte temprano tienen discos de diamante de diámetros pequeños que extienden una ranura en un plato de metal que se desliza en la parte superficial de la losa, creando una ranura angosta de 25 mm a 38 mm (1" a 1.5") de profundidad. Muchos contratistas usan la cortadora de corte temprano para realizar el primer corte de control de grietas y posteriormente realizan un corte en la misma línea con un equipo convencional empleando discos de corte más grandes y alcanzando la profundidad de 1/3 del espesor de la losa a las 12 a 24 horas después de terminada la losa.

En pisos con acero de refuerzo existen varias maneras de tratar al acero en el área de las juntas, dependiendo de cómo se desea que trabaje la junta.

Existen muchas maneras en la disposición del acero de refuerzo, cuando sea requerido el uso de malla electrosoldada o barras de refuerzo en la presencia de juntas de contracción, en función de su trabajabilidad.

- Junta abierta: Cortar el acero (y usar pasajuntas si se desea mejorar la transferencia de carga).
- Junta cerrada: Dejar continuo el acero de refuerzo a través de la junta (esto puede inducir agrietamiento en las losas adyacentes por la restricción del acero de refuerzo).

El diseñador puede también decidir el dejar parcialmente continuo el acero de refuerzo a través de la junta, lo importante será el saber como el acero de refuerzo puede afectar la operación de la junta y el potencial de agrietamiento en el interior de las losas adyacentes.

Las juntas de contracción se sitúan generalmente en los ejes de las columnas, con juntas intermedias localizadas a distancias iguales entre los ejes de las columnas.

A continuación se mencionan algunos factores que deben considerarse, cuando se selecciona el espaciamiento de las juntas de contracción:

- Método de diseño de la losa.
- Espesor de la losa.
- Tipo, cantidad y localización del refuerzo.
- Contracción potencial del concreto.
- Fricción de la base.
- Restricciones de la losa.
- Esquema de la cimentación, de los contenedores y la estantería, de las plataformas, de los equipos, de las trincheras y de discontinuidades similares.
- Factores ambientales tales como: temperatura, viento y humedad relativa.
- Método y calidad del curado.

Para los pisos de concreto simple (sin refuerzo), la separación máxima de juntas debe ser de 24 veces el espesor de la losa, teniendo como un máximo 4.5 m que generalmente produce buenos resultados.

De acuerdo al comité ACI 302, la separación de juntas puede aumentarse en las losas reforzadas con un 0.2% de acero o menos, colocado dentro de los 50 mm (2") superiores de la losa, pero la ocurrencia de agrietamiento y alabeo aumentaría. El refuerzo no evitará el agrietamiento, sin embargo, la cantidad de refuerzo y su adecuada ubicación, mantendrá las grietas con un ancho dentro de los límites aceptados.

Las juntas de contracción pueden reducirse o eliminarse en las losas reforzadas con al menos un 0.5% de refuerzo de acero continuo, colocado dentro de los 50 mm (2") superiores de la losa o dentro del tercio superior del espesor, cualquiera que se encuentre mas cerca de la superficie. Esto típicamente produce numerosas grietas muy finas, con una separación muy reducida entre unas y otras, por toda el área de la losa.

Las juntas de contracción deben ser verticales, no escalonadas ni con desviaciones. El radio de aspecto de cada losa sin refuerzo, o con refuerzo por temperatura y contracción, deberá ser máximo de 1.4 a 1; sin embargo siempre que sea posible el radio de 1 a 1 deberá preferirse. Se deberán evitar losas con forma de L o T.

Los pisos alrededor de las zonas de carga, tienen la tendencia a agrietarse debido a su configuración y la restricción del movimiento que se produce.

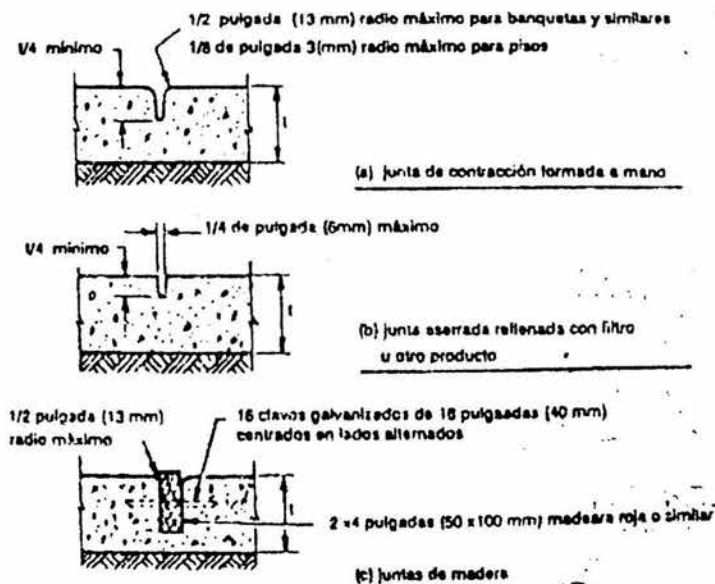


Figura. 14. Juntas de contracción

III.8.1.3 Juntas de construcción

Las juntas de construcción forman los bordes de cada día de trabajo, normalmente son diseñadas y construidas tanto para trabajar como para estar alineadas como juntas de contracción y juntas de aislamiento.

En algunas ocasiones, cuando el colado es interrumpido por un tiempo suficientemente largo como para permitir el endurecimiento del concreto, se deberá colocar una junta de construcción. Si es posible, la junta de construcción deberá quedar alejada 1.5 m (5 pies) de cualquier otra junta paralela a ella.

En áreas que no están sujetas al tráfico, se podrá utilizar una junta plana, sin embargo, en las áreas sujetas a tráfico de vehículos con llantas duras, vehículos

pesados o ambos, se recomienda utilizar pasajuntas para mejorar la transferencia de carga en la junta.

Las juntas machihembradas se pueden utilizar en áreas con tráfico muy ligero. No se recomiendan para pisos con tráfico de montacargas ya que no proporcionan una eficiente transferencia de carga como en el caso de juntas de construcción con pasajuntas y esto es debido principalmente a que los componentes "macho y hembra" pierden contacto cuando la junta se abre a consecuencia de la contracción por secado.

La práctica común en las juntas de construcción es regresar posteriormente y realizar un corte a una profundidad de 1" (2.5 cm.) 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.

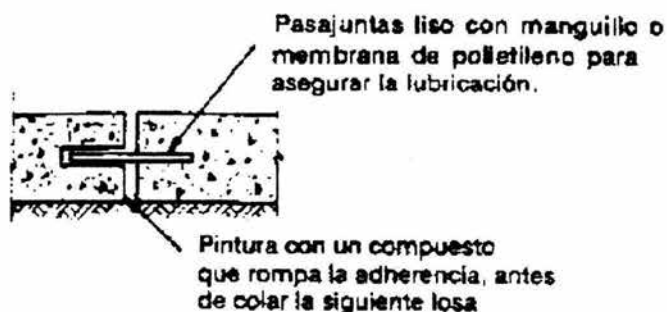


Figura 15. Junta de construcción con pasajuntas liso (preferible para transferencia de cargas).

III.9 DISPOSITIVOS DE 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 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.

La evaluación en campo de la transferencia de carga se realiza midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga.

De manera que conociendo las deflexiones en las juntas por medio de la siguiente ecuación podemos conocer el % de eficiencia de la junta (E):

$$E = \left(\frac{2\Delta_c}{\Delta_L + \Delta_c} \right) 100$$

Donde:

Δ_L = Deflexión del lado cargado de la junta.

Δ_U = Deflexión del lado no cargado de la junta

III.9.1 Transferencia de carga mediante trabazón de agregados

La trabazón de agregados depende de la resistencia al cortante entre las partículas del agregado en las caras de la junta, debajo del corte inducido en la junta. Este sistema de transferencia de carga es más efectivo para pisos construidos con una corta separación de las juntas y bases estabilizadas no erosionables.

La efectividad de la junta con transferencia de carga mediante trabazón de agregados depende de:

- Abertura de la junta.
- Espesor de la losa.
- Soporte de la subrasante.
- Magnitud de las cargas y número de repeticiones.
- Forma del agregado.

Efecto de la apertura de la junta y el espesor de la losa

De acuerdo a los estudios de la Asociación del Cemento Portland hechos por Colley y Humphrey en 1967 y Nowlen en 1968, la efectividad de transferencia de carga disminuye cuando la junta se abre más. Una apertura de la junta de 0.9 mm (0.035 pulg.) o menores presentan buena efectividad de transferencia de carga y juntas con

una apertura de 0.6 mm (0.025 pulg.) son casi 100% efectivas en términos de deflexión en los bordes de la losa.

Las losas con mayor espesor pueden llegar a presentar la misma eficiencia de transferencia de carga si éstas abren considerablemente más que las juntas en las losas de menor espesor.

Efecto del soporte de la subrasante

Los pisos de concreto no necesariamente requieren de soporte rígido de la subrasante para soportar exitosamente las cargas de diseño, sin embargo los valores altos de módulo de reacción k incrementan la eficiencia de transferencia de carga en la junta.

Suelos pobres, por ejemplo con módulo de reacción k entre 50 y 100 pci empiezan a perder trabazón de agregados después de unos cuantos ciclos de repetición de cargas. En el caso de suelos arenosos con módulos de reacción alrededor de los 200 pci, mantienen un 50% de eficiencia de juntas (basándose en las deflexiones del borde de la losa) al cumplir un millón de repeticiones de carga, mientras que bases de grava-arena o bases tratadas con cemento pueden llegar a mantener eficiencia de juntas superior al 50% después de un millón de repeticiones de carga.

Efecto de la carga

La eficiencia de transferencia de carga por trabazón de agregados disminuye mientras la magnitud de cargas repetitivas aumenta, incluso juntas que han presentado buena transferencia de carga bajo cierta condición de carga, al momento de incrementarse la carga pueden llegar a presentarse problemas en la transferencia de carga.

Efecto de la forma del agregado

El agregado en sí es también importante para la transferencia de carga, por ejemplo sabemos que la grava triturada se comporta mejor que la no triturada, debido a que ésta provoca que las caras de las juntas sean más ásperas por lo que se desgastan menos que las caras redondeadas de los agregados no triturados. De la misma manera el agrietamiento inicial del concreto incrementa la aspereza de las caras de las juntas, debido a que las grietas se forman alrededor del agregado y no a través de él.

III.9.2. Transferencia de carga mediante pasajuntas

Las pasajuntas son barras de acero liso y redondo colocadas transversalmente a las juntas para transferir las cargas del tráfico sin restringir los movimientos horizontales de las losas. Además mantienen a las losas alineadas horizontal y verticalmente. Dado que las pasajuntas llegan de un lado a otro de la junta, las aperturas diarias y de temporadas no afectan la transferencia de carga a lo largo de las juntas con pasajuntas como sucede en las juntas con solamente transferencia de carga por trabazón de agregados.

Las pasajuntas reducen las deflexiones y los esfuerzos en las losas de concreto, así como el potencial de escalonamiento en las juntas, bombeo (expulsión de finos a través de las juntas) y despostillamiento o rupturas en los bordes. Por lo que toda esta reducción de deflexiones y esfuerzos en las losas al transmitir efectivamente la carga a lo largo de las juntas se traduce en un incremento en la vida de servicio del piso industrial.

Al menos una mitad de la pasajunta deberá ser engrasada o recubierta con algún agente que evite la adherencia con el concreto. También se usan dispositivos o mangas para acomodar la expansión o contracción del concreto en la junta y asegura tener libertad de movimiento longitudinal

La forma tradicional de las pasajuntas sigue siendo la redonda, sin embargo, también se usan barras cuadradas o incluso pequeñas placas de acero. Las barras cuadradas se usan con una manga especial de plástico duro que cubre la mitad de la barra y que en sus costados contiene un material compresible. El diseño mantiene el alineamiento vertical entre los dos lados de la losa, mientras permite pequeños movimientos horizontales. Un importante beneficio de este sistema es la reducción de agrietamiento provocado por un mal alineamiento de barras y por los movimientos de las juntas, además que las juntas con barras cuadradas presentan mejor eficiencia de transferencia de carga en las juntas que las hechas con barras redondas.

Las pasajuntas, ya sean redondas, cuadradas o placas de acero, siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor de la losa, paralelas a la superficie del piso y al eje neutro de la losa. Las pasajuntas redondas que no se coloquen alineadas horizontal y verticalmente van a restringir el movimiento de la losa y podrán llegar a provocar agrietamiento.

No se deben confundir las pasajuntas con las barras de amarre, recordemos que las pasajuntas son de acero liso que permiten los movimientos de expansión y contracción de la losa, mientras que las barras de amarre, son varillas corrugadas que se adhieren al concreto en ambos lados de la losa no permitiendo el movimiento de la misma pueden llegar a causar agrietamiento aunque ciertamente ofrece transferencia de carga en las juntas.

Así mismo se debe tener especial cuidado en alinear perfectamente las piezas para evitar que estas puedan restringir los movimientos horizontales entre las secciones. De hecho, uno de los principales problemas de este sistema es el garantizar la perfecta alineación de las piezas, y otro es el riesgo que se corre cuando se colocan pasajuntas tanto en el sentido perpendicular, como en el sentido paralelo a la franja de colado, ya que unos no permiten el movimiento horizontal de los otros, para estos

casos normalmente se recomienda omitir las últimas barras en la junta, dejando al menos una distancia libre entre pasajuntas igual a la longitud de una barra.

El sistema más novedoso de transferencia de carga con pasajuntas es mediante placas de acero. Las placas son de forma rectangular usadas en las juntas de contracción y también en forma de diamante (cuadradas) para las juntas de construcción.

Las pasajuntas en forma de placas, ofrecen las siguientes ventajas en comparación con las tradicionales barras redondas de acero:

- Fáciles de instalar.
- Permiten movimiento horizontal de la losa.
- Minimizan concentraciones de esfuerzo tanto en la losa como en las pasajuntas.
- Usan de manera más eficiente la cantidad de acero.

III.9.2.1 Pasajunta en forma de diamante

Consiste en una camisa de plástico triangular que se fija a la cimbra, de manera que una vez retirada la cimbra, la camisa quede ahogada en el concreto, para después introducir una placa de acero cuadrada de 4.5" por lado dentro de la camisa, quedando alineada en forma de diamante. Es así que la placa funciona como sistema de transmisión de carga y la camisa permite que haya movimientos horizontales entre las distintas secciones de colado. A su vez este sistema garantiza la alineación horizontal y vertical de la placa, por lo que se elimina la necesidad de utilizar canastillas, y la restricción de utilizar sistemas de transmisión de carga en ambos sentidos, ya que su diseño permite que la placa se mueva en distintas direcciones.

III.9.2.2 Juntas machihembradas

En la práctica la mayoría de las juntas machihembradas no se mantienen unidas. Debido a la contracción natural del concreto, el machihembre pierde contacto con su parte correspondiente (unión tipo hembra-macho), por lo que si las cargas son fuertes, provocan que la carga en la parte superior del machihembre al ya no estar en contacto con su parte inferior que le daba el soporte para la transferencia de carga, trabaje sin su soporte, por lo que la mayoría de las juntas machihembradas resultan con una grieta paralela a la junta, prueba de cómo falló el machihembre rompiéndose precisamente la parte superior del mismo. Por esta razón, este tipo de juntas no se recomienda al no ofrecer buena transferencia de carga al estar sometidas a tráfico vehicular.

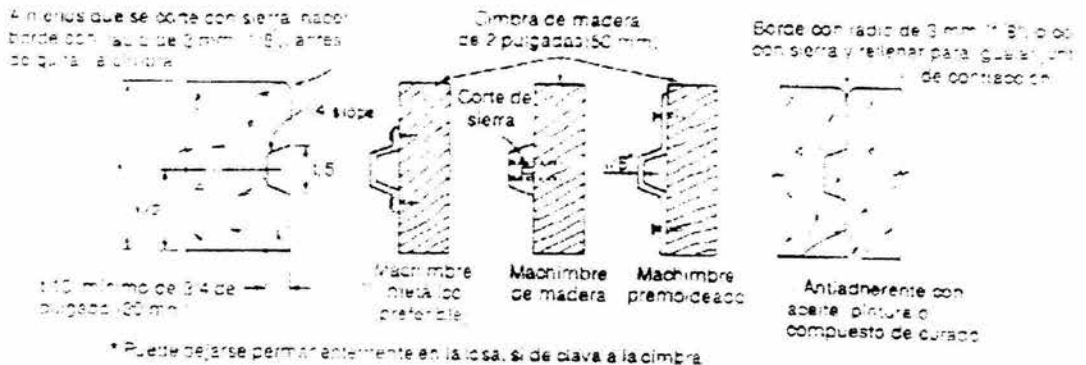


Figura 16. Juntas de construcción machihembradas (no recomendadas para losas con espesor de menos de 6 pulg.)

CAPITULO IV

PREPARACION, COMPACTACION Y ACABADO

IV.1 CIMBRAS.

IV.1.1 Cimbras y juntas.

La altura de las cimbras y guías maestras deberá ser igual a todo el espesor (peralte) de la losa o de la guarnición de concreto. Para juntas con machiembre, se debe fijar una pequeña moldura de madera o de metal en el lado interior de la cimbra. Se pueden usar moldes redondos o cuadrados para aislar las columnas. Los muros y las zapatas deben aislarse de las losas por medio de hojas impregnadas de asfalto u otra junta prefabricada de materiales apropiados, fijadas al muro, según se indica en la guía 504R del ACI. Estos materiales para juntas nunca deben usarse como moldes independientes, pero se deben instalar una vez que los moldes originales se retiran. Después de retirar los moldes alrededor de las columnas, las juntas de material preformado se deben colocar, en la junta al nivel del piso y posteriormente colocar y dar el acabado al área intermedia. Estas juntas preformadas se deben poner a la elevación apropiada para servir como elemento confinante durante las operaciones de colado.

IV.1.2 Colocación de cimbras y guías maestras.

La parte superior de los bordes, las cimbras y guías maestras deben estar al nivel determinado previamente. Las guías maestras pueden ser piezas de madera de 2 pulgadas (50 mm.) de espesor, pedazos de tubo o perfiles "T", cuya parte superior sea igual al nivel del concreto terminado, sin cambiar la elevación del diseño del acero de refuerzo. El nivel de piso para losas con pendiente se puede determinar al colocar estacas de nivel en la subrasante, a intervalos determinados previamente, por lo general, en una cuadrícula. La parte superior de estas estacas debe estar al nivel requerido por la pendiente del concreto.

También se requieren estacas de madera o de metal de 45 cm. de largo para apoyar y fijar las cimbras, colocando una por cada metro de cimbra.

IV.1.3 Determinación de pendientes para un drenaje adecuado de la superficie de la losa.

Cuando se desea un drenaje adecuado, las cimbras y guías maestras deberán colocarse a fin de obtener una pendiente de una pulgada por 4 pies (20 mm/m) y así evitar las posibles inundaciones. El drenaje siempre deberá ser seguro para las losas exteriores y también es deseable para algunas interiores. Las entradas de cocheras y las banquetas pueden tener pendiente hacia una dirección, o bien, con bombeo a lo largo de su eje longitudinal, con drenaje a ambos lados.

IV.2 DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA

La dosificación es el proceso de pesar o medir volumétricamente e introducir al mezclador los ingredientes para una mezcla de concreto. Para producir concretos de calidad uniforme, los ingredientes deberán medirse con precisión en cada mezcla.

Todos los agregados deben medirse por separado y de acuerdo a las cantidades establecidas para el tipo de concreto que se va a elaborar. Cuando el concreto es premezclado, este proceso se hace por peso, esta es la forma más exacta para dosificar los materiales. Cuando el concreto es hecho en la obra, los agregados y el agua se pueden medir por volumen en recipientes como los botes alcoholeros.

La fabricación del concreto en obra solo se recomienda para obras pequeñas, para completar los colados o cuando no existe la posibilidad de emplear el concreto premezclado.

IV.2.1 Equipos mezcladores

De manera resumida se puede decir que las formas de mezclar el concreto hidráulico y que se pueden aplicar en pavimentos rígidos son las siguientes:

- Concreto mezclado en la planta. En una planta estacionaria se cargan todos los ingredientes del concreto en una mezcladora central y luego se combinan cuidadosamente antes de descargarlos en los camiones transportadores. El operador de la planta realiza todas las actividades: el pesaje, el mezclado de los ingredientes y el monitoreo de la mezcla durante todo el proceso de producción.
- Concreto premezclado. Este tipo de concreto se elabora parcialmente en mezcladora central, con el objeto de disminuir inicialmente los vacíos existentes en el conjunto de ingredientes. La acción del premezclado hace que las oquedades que presenta el conjunto del material grueso sean llenadas por la fracción fina de los agregados (arena), por el agua y por el cemento. Al final, los materiales se entremezclan íntimamente y quedan listos para ser descargados.

El concreto premezclado se emplea en las modalidades tanto de mezclado en planta central como en camión. En el primer caso, el conjunto de materiales se pasa a otra olla para proceder a su mezclado final. En el segundo caso, el concreto premezclado se vierte en el camión para su mezclado final.

IV.2.2 Colocación del concreto

Todas las operaciones de manejo del concreto deben tener como propósito evitar la segregación, ya que es muy difícil volver a mezclar el concreto posteriormente.

IV.2.2.1 Secuencia de colocación

En muchos casos, la manera más eficaz de colocar grandes áreas de concreto es en franjas largas, esto permite el acceso a las secciones que se están colando y cortar juntas angostas, transversales al eje longitudinal de las franjas.

La secuencia de colocación en forma de tablero de ajedrez se utilizó en el pasado en un esfuerzo por permitir la contracción de los primeros colados y para obtener una abertura mínima en las juntas. Pero la contracción de los primeros colados ocurre de manera muy lenta como para que este método sea efectivo. El acceso es más difícil y costoso y es posible que las juntas resultantes no sean muy uniformes.

IV.2.2.2 Descarga del concreto

La velocidad de descarga del concreto de un camión puede controlarse al variar la velocidad del tambor.

IV.2.2.3 Transporte en el sitio de colado

Los conductos deben tener la parte inferior redondeada y ser de metal o tener recubrimiento metálico. La inclinación debe ser constante y suficiente para que el concreto del revenimiento requerido en la obra fluya constantemente sin segregarse. Se debe evitar el uso de conductos largos y planos, porque fomentan el empleo de concreto de alto revenimiento. Un desviador en la boca del conducto puede ayudar a evitar la segregación; la boca del conducto debe estar cerca de la superficie del concreto vertido y cuando se está descargando directamente sobre la subrasante, el conducto se debe mover sobre toda el área, a fin de evitar la acumulación de grandes pilas de concreto. Los conductos excesivamente inclinados pueden causar gran velocidad en la descarga del concreto, fomentando la segregación.

Cualquiera que sea el método de descarga y transportación, el concreto se debe descargar lo más cerca posible de su posición final y del concreto ya colado. La planeación de las vías de acceso al sitio de colado y alrededor de él, incluyendo los pasadizos y otras instalaciones, es necesaria para evitar demoras excesivas o el uso de concreto de alto revenimiento.

IV.2.3 Extendido

Se deben usar palas cuadradas de mango corto o bien herramientas semejantes al azadón con una hoja de 10 cm. de alto, 50 cm. de ancho y curvadas desde la parte inferior a la superior.

No se deberán utilizar palas de mango largo, redondeadas o rastrillos. La acción de palanca, de primordial importancia para manejar concreto de peso normal, se pierde con palas de mango largo. Las palas redondeadas no permiten una buena nivelación del concreto y los rastrillos no deben emplearse en concretos que contengan agregado grueso, pues por lo general causan segregación.

IV.2.3.1 Herramientas para extendido (mango largo)

Cuando la uniformidad y la nivelación del piso acabado se especifican en F_F20/F_L20 o menos se puede usar extendedora de mango largo para consolidar la superficie de concreto después del enrase. El uso de extendedoras de mango largo puede perjudicar la uniformidad del piso y dificultar en mucho el logro de una uniformidad mayor de F_F20 . Es preferible utilizar las extendedoras de madera con mango largo en concreto de peso normal. La textura de madera mueve la mezcla de cemento y agregados finos en la superficie, no fomenta el sangrado y deja la superficie abierta.

IV.2.4 Compactación

La consolidación es el proceso que consiste en compactar el concreto fresco para amoldarlo dentro de las cimbras, a fin de eliminar los depósitos de piedras, los hundimientos y las cavidades de aire atrapado. La consolidación se obtiene por medio de dos métodos: manuales mecánicos. El método elegido dependerá de la consistencia de la mezcla, de las condiciones de colado y de la disponibilidad de equipo.

Las mezclas fluidas y trabajables se pueden consolidar por picado manual, es decir, introduciendo repetidamente una varilla apisonadora u otra herramienta adecuada dentro del concreto y las mezclas duras se deben consolidar con equipo mecánico como los vibradores o reglas vibratorias.

IV.2.4.1 Herramientas para la compactación

La compactación inicial de pisos, a excepción de losas estructurales o con mucho refuerzo, se realiza en las primeras operaciones de extendido, vibrado, enrasado y aplanado manual o mecánico. Generalmente, no es conveniente o necesario el uso de reja o de rodillos de malla y no deben utilizarse a menos que el concreto sea muy duro; es decir, que tenga un revenimiento inferior a (2.5 cm.). Si se van a usar pisonos de reja sobre concreto ligero, solo se debe permitir una pasada sobre la superficie y con un impacto muy ligero.

Los pisos estructurales que contienen refuerzo y ductos, y algunos de sección uniforme, con nervaduras profundas, todos estos necesitan vibradores internos para su compactación; sin embargo, los vibradores no deben usarse para extender el concreto.

IV.2.5 Enrase o nivelación

Es el proceso que consiste en retirar el exceso del concreto de la superficie superior de una losa para dejarla en el nivel apropiado.

IV.2.5.1 Herramientas para enrasado

Se deberán usar llanas rectas fabricadas especialmente para este propósito, incluyendo las de magnesio hueco o enrasadoras mecánicas.

En este caso no se recomienda el uso de madera aserrada. Los rodillos de aserrado pueden dejar partes altas o bajas, pero si se usan con cuidado darán buenos resultados.

Los enrasadores vibratorios deben ser de baja frecuencia (3,000 a 6,000 vibraciones por minuto (-50 a 100 a 100 Hz.) y alta amplitud, para minimizar el desgaste de la máquina y proporcionar así una adecuada profundidad de compactación sin crear una inconveniente acumulación de finos en la superficie.

Cuando la uniformidad y la planicidad se especifican en F_{F20}/F_{L20} ó más (con lo que se requiere el uso de una guía maestra rígida, para controlar la uniformidad), se recomienda usar enrasador en el lugar de llana de mango largo, para alisar y dar uniformidad a la superficie. Los enrasadores varían entre 1.8 y 3.6 m. de longitud y, por lo general, son de sección rectangular.

IV.2.6 Canteado

En la mayoría de los pisos no es necesario el canteado. El propósito del canteador es formar un radio en el borde de la losa. Este sistema se emplea con más frecuencia en banquetas, entradas de cocheras y escalones; produce un borde de mejor apariencia y es menos vulnerable al astillamiento. En las juntas sujetas al

transito de vehículos constante se debe usar un borde con radio de 3 mm. El canteado no se debe realizar sino hasta que todo el exceso de humedad o agua de sangrado ha desaparecido o se ha eliminado de la superficie. En lugar de canteado, los bordes de juntas de construcción pueden obtenerse golpeando ligeramente después de que se han quitado las cimbras y antes del colado de la losa adyacente. Si el piso va a estar cubierto de mosaico no se debe usar el canteado.

IV.2.7 Juntas

Una junta tiene como objeto principal el control de agrietamientos. Así, para su formación se inducen estos últimos mediante un corte en el concreto de reciente colocación. Una junta realizada mediante corte ofrece un plano de debilidad y permite que una losa se agriete en los lugares planeados, haciendo todas estas discontinuidades más estéticas y de mejor mantenimiento, en comparación con las grietas sin control.

Existen dos cortes típicos:

- Corte inicial. Este corte crea un plano de debilidad para controlar el inevitable agrietamiento por contracción de las losas. Estos cortes se deben ejecutar en ambas direcciones. El corte transversal se realiza tan pronto la losa de concreto hidráulico pueda soportar la máquina cortadora y, no exhiba desprendimientos al accionar el disco cortador. El corte se hace a una profundidad parcial del espesor de la losa (de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{3}$ del espesor), pero debe de cubrir todo el ancho de sección en la misma etapa de corte.
- Corte de ensanche. Es un corte complementario que se hace para formar el depósito que recibirá el sello.

IV.2.7.1 Maquinaria para corte de juntas

Maquinas cortadoras por tipo de corte

Corte húmedo. Se utilizan discos con dientes de diamante. Del tipo industrial, como elemento de abrasión primario. Para proteger los segmentos metálicos del disco, se utiliza agua como lubricador y como elemento de enfriamiento. Este tipo de corte es quizás el más común.

Corte en seco. Para estos cortes se emplean discos abrasivos, compuestos principalmente de carburo de tungsteno y no se requiere agua para su enfriamiento. Estos discos se utilizan por lo general en agregados tales como las calizas.

Se recomienda el empleo de este tipo de discos para proyectos de bajo volumen, pues en pavimentos de gran extensión pueden resultar costosos, sobre todo cuando se emplean en concretos de agregados muy duros.

IV.2.8 Acabado de pisos

Después del canteado y del junteo manual, la losa debe ser aplanada. El aplanado tiene un triple propósito:

1. Sumergir el agregado más grande bajo la superficie de mortero, compuesto por el cemento y el agregado fino del concreto.
2. eliminar pequeñas imperfecciones, protuberancias y depresiones, y producir una superficie plana o nivelada.
3. compactar el concreto y el mortero en la superficie, como preparación para otras operaciones del acabado.

IV.2.8.1 Alisado con llana

El propósito del aplanado con llana es producir una superficie lisa y dura. Esta operación se realiza inmediatamente después del aplanado preliminar y no se debe hacer sobre ninguna superficie que no haya sido aplanada antes, mecánica o manualmente. No es suficiente el uso de aplanadora de mango largo o de pison, sin un aplanado manual o mecánico posterior.

Si el aplanado con llana se hace manualmente, es frecuente que el operador aplane primero con llana de madera y luego con una de acero, antes de quitar una tabla de apoyo. Si es necesario, los bordes y las juntas formadas con herramienta volverán a marcarse antes de aplanar con llana para mantener la uniformidad y alineación correcta.

En ocasiones el aplanado se complementa con alguna de las siguientes operaciones de acabado: bordeado, junteado, emparejado, alisado, escobillado y esmerilado mecánico a edades tempranas (de 2 a 7 días)

IV.2.8.2 Bordeado

El bordeado se debe efectuar a lo largo de todos los bordes de las cimbras y de las juntas de aislamiento y construcción en los pisos y en las losas exteriores, como son las losas de banquetas, calzadas y patios. El bordeado densifica y compacta el concreto cercano a la cimbra; en esos lugares, el alisado y el emparejado son menos efectivos, por lo que con el bordeado se proporciona una mayor durabilidad y una menor vulnerabilidad al descascaramiento y a la fragmentación.

En la operación de bordeado, el concreto se debe quitar de las cimbras hasta una profundidad de 2.5 cm.

IV.2.8.3 Pulido

Cuando se desea obtener una superficie densa, dura y lisa. Al emparejado deberá seguir el pulido metálico. El pulido no se deberá ejecutar en una superficie que no se haya emparejado previamente.

Al dar acabado a mano a las losas grandes, se acostumbra emparejar y alisar inmediatamente una zona antes de mover las tablas donde se hinca el trabajador. Estas operaciones se deben retrasar hasta después de que el concreto haya endurecido lo suficiente, de tal suerte que el agua y el material fino no se desplacen hasta la superficie. Por supuesto que con un retraso demasiado prolongado se encontrara una superficie extremadamente dura para emparejar y pulir. La tendencia existente, sin embargo, es la de emparejar y pulir demasiado pronto la superficie, lo que constituye un error, ya que el emparejado y el alisado prematuros pueden ser causa de descascaramientos, agrietamientos irregulares o levantamiento de polvos, produciendo a fin de cuentas, una superficie con una resistencia a la abrasión (desgaste) reducida.

IV.2.8.4 Escobillado

Se puede producir una superficie resistente contra patinamientos por medio del escobillado antes de que el concreto haya endurecido completamente, aunque debe estar lo suficientemente dura para retener la impresión del rayado. Un rayado tosco se puede obtener con un rastrillo, con un cepillo de cerdas de acero, o con un cepillo de cerdas de fibra gruesa y rígida: tal texturizado normalmente sigue al emparejado. Si se desea obtener una textura más fina, el concreto se debe emparejar y pulir hasta lograr una superficie tersa y, ya entonces, cepillar con una escoba de cerdas suaves. Se obtienen mejores resultados con escobas fabricadas especialmente para texturizar concreto. Las losas de pisos comúnmente se rayan en dirección transversal a la dirección principal del tránsito.

Si el aplanado se hace con máquina, se debe usar una aplanadora de disco o una con zapatas de aplanado. Existe gran cantidad de variables que dificultan establecer el momento exacto para empezar el aplanado; temperatura del concreto, del aire, humedad relativa y viento. Sin embargo, una vez que el brillo acuoso desaparece o es eliminado, las áreas de concreto están listas para el aplanado manual cuando soportan al trabajador y una tabla para apoyar las rodillas sin sufrir marcas más profundas que 5 mm.; para el aplanado mecánico, la superficie estará lista cuando la máquina no se sumerja o altere el nivel de la superficie.

IV.2.8.5 Esmerilado mecánico a edades tempranas de (2 a 7 días)

Otra técnica alternativa del acabado, utilizada actualmente en Europa, es el esmerilado mecánico de losas de concreto a edades tempranas. El esmerilado remueve la parte débil de la parte superior de 1/32 a 1/16 de pulgada (aproximadamente 1 mm), para producir un acabado resistente y durable.

Con esta técnica se produce una superficie antiderrapante, cuya textura es semejante al papel de lija.

El concreto que estará sujeto a este tratamiento superficial, se cuele, se enrasa y se aplana. El esmerilado se realiza de 2 a 7 días después del curado. Ahora bien, la deshidratación por vacío no es práctica ni económica en losas en las que el acabado se logró mediante esmerilado a edades tempranas.

En esta técnica se usan esmeriles de baja velocidad con partículas hechas de arena angulosa y dura de 1.70 mm (malla británica del No. 10 o malla norteamericana del No. 12). No se recomienda el uso de los esmeriles de alta velocidad empleados para pulir terrazos, pues pueden pulir el concreto y darle un acabado de terrazo no deseado.

IV.2.8.6 Pisos monolíticos de dos capas

En estos pisos el colado de la capa superior se lleva a cabo antes de que la inferior haya fraguado por completo. Se debe eliminar todo exceso de humedad o lechada de la superficie de la capa inferior y allanar la superficie, antes de colar la capa superior. En el momento del colado de la capa superior, el concreto de la inferior debe estar lo suficientemente duro, de manera que las huellas de los trabajadores sean casi imperceptibles. Se sugiere utilizar una aplanadora mecánica de disco y a continuación dar un mínimo de dos aplanados con la llana mecánica. Finalmente se debe hacer un aplanado fuerte manual con llana, para eliminar todas las marcas originadas por máquina.

IV.2.8.7 Pisos de dos capas ligadas

Precaución. La adherencia de pisos de dos capas es una operación de especial importancia, que exige minuciosa atención al procedimiento descrito. Aun así, no siempre se ha tenido éxito en lograr esta adherencia. Como consecuencia, algunas organizaciones ya no usan con tanta regularidad pisos de dos capas ligadas, prefiriendo, en cambio, construir la segunda capa lo bastante gruesa como para que sea adecuada por sí sola para el servicio al que se ha destinado, en el caso de que la segunda capa deba colarse después. En tales casos, no se realiza ningún esfuerzo especial para hacer que la segunda capa gruesa se adhiera a la capa inferior.

La ubicación de las juntas en la capa inferior se debe marcar, de manera que las juntas de la capa superior sean colocadas directamente sobre ellas.

Después de que la capa inferior a fraguado en forma parcial, la superficie se debe cepillar, con un escobillón de alambre grueso. Esto elimina la lechada, y estría la superficie para mejorar la adherencia con la capa superior.

La capa inferior debe curarse con agua durante un mínimo de tres días. Si la capa de desgaste va a aplicarse sin mayor demora, la cubierta o el agua de curado se deben eliminar de la losa y todo el polvo o los desperdicios que se encuentran sobre la losa, deben lavarse o eliminarse con manguera. Después de que toda el agua se ha evaporado o desaparecido de la superficie, se debe aplicar una lechada. Esta debe ser una mezcla de cemento Portland y arena que pase por la malla del No. 8 (2.36 mm) con proporción 1:1, y de consistencia cremosa, similar a la de la pintura espesa. La lechada debe aplicarse al piso, por segmentos dejando solo un lapso corto antes de las operaciones de colado de concreto, que se llevan a cabo posteriormente.

Mientras la lechada esté húmeda, la capa superior debe colarse, extenderse y enrasarse. Se sugiere el uso de una allanadora mecánica de disco, aplicando, por lo menos dos pasas con la llana mecánica. Las marcas dejadas por la maquina se deben eliminar por medio de una aplanado enérgico manual con una llana de acero.

Si se va a dejar un corto periodo entre el fin del curado de la capa inferior y el colado de la superior, la superficie de la capa de base debe estar protegida contra la acumulación de tierra, grasa, yeso, pintura o cualquier otra substancia que pudiera impedir la adherencia. Antes del colado de la capa superior, la inferior debe mantenerse mojada durante una noche. Justo antes del colado de la capa de desgaste. Es necesario eliminar todo el exceso de agua y aplicar una capa delgada de lechada descrita anteriormente. Mientras la lechada todavía esta húmeda, se debe extender y enrasar la capa superior.

IV.2.8.8 Tratamientos decorativos y antiderrapantes

Existen materiales premezclados para tratamientos utilizados para colorear superficies monolíticas. La colocación en la superficie se logra al aplicar en material seco premezclado a la superficie de concreto recién aplanado, permitiendo cierta absorción de agua; posteriormente, se aplanara mezclando el pigmento con la superficie húmeda.

Después de que el concreto haya sido enrasado, compactado y que se haya evaporado o eliminado toda el agua, la superficie debe aplanarse con una llana de madera, en forma manual, o con una aplanadora mecánica. Los aditivos secos nunca deben aplicarse sobre superficies con agua libre o que no hayan sido aplanadas. El primer aplanado sumerge el agregado grueso bajo un mortero adecuado, al cual se le puede aplicar el aditivo seco para que forme parte integral del piso o de la losa.

IV.2.8.9 Tratamiento para superficies monolíticas antiderrapantes

Antes de aplicar este tratamiento a la superficie, el material antiderrapante debe mezclarse en seco con cemento Pórtland. Por lo general, las proporciones varían entre 1:1 y 1:2; sin embargo, si se cuenta con las instrucciones del fabricante, éstas deben seguirse. El tratamiento antiderrapante para superficies monolíticas es exactamente el mismo que el descrito para las superficies coloreadas también se puede obtener un acabado antiderrapante duradero si se aplica en forma de remolino un aditivo en polvo para dar coloración, o con un agregado mineral o metálico con coloración natural.

IV.3 Planicidad y horizontalidad en los pisos

IV.3.1 Tolerancias de planicidad y horizontalidad de los pisos

Las tolerancias de la superficie de un piso han sido estructuradas con base en la depresión máxima permisible respecto a una regla de 3 m., colocada en cualquier parte sobre el piso. Aunque tal especificación en apariencia parece correcta, en la práctica han conducido a serios conflictos relacionados con la aceptabilidad de la superficie de los pisos y todas las variantes de la tolerancia... 3 mm. en 3 m. han sido particularmente conflictivas, ya que todas ellas requieren superficies más planas que las que se pueden obtener con los procedimientos convencionales de construcción.

Sistema del numero F

Ahora se recomienda que tanto los requisitos de horizontalidad como de planicidad se describan con números de perfil del piso. Se requieren dos números F independientes para definir la superficie del peor perfil aceptable del piso.

1. F_F define la curvatura máxima del piso, permisible en 60 cm., calculada sobre la base de diferencias de elevación sucesivas en 30 cm.

$$F_F = \frac{4.57}{\text{diferencia máxima de elevación, en decimas de pulgada, entre diferencias sucesivas de elevación en 2 pulgadas (30 cm)}}$$

2. Define la correspondencia relativa de la superficie del piso el plano horizontal, medida en una distancia de 3.05 m. F_L se conoce normalmente como el "número F de horizontalidad".

$$F_L = \frac{12.5}{\text{máxima diferencia de elevación, en decimas de pulgada, entre dos puntos con una separación de 10 pies (3.05 m).}}$$

Este par de números F siempre se expresa como F_F/F_L . En teoría, la escala de números F de planicidad y horizontalidad va de cero a infinito. En la práctica, los valores de F_F/F_L caen por lo general entre 12 y 45. La escala es lineal, de modo que los valores relativos de uniformidad y nivelación de dos pisos distintos estarán en proporción exacta con la relación de sus números F.

Para determinar los números F característicos de un piso, se emplean procedimientos de muestro estadístico. Los datos del perfil se pueden obtener usando un instrumento con capacidad para medir elevaciones de punto en centros

de 30 cm., como un nivel óptico, un nivel láser, un escantillón nivelado con calzas y calibradores, un perfilógrafo de pisos o un instrumento manual para determinar el perfil de pisos con lecturas digitales.

En pisos de tráfico aleatorio, es decir, en los que el patrón de tránsito es variado e impredecible, deben indicarse valores específicos de F_F/F_L . De acuerdo con esto, los valores especificados se basan en la combinación de todos los valores medidos.

También se deben indicar los números F_F/F_L mínimos. Estos representan la planicidad y la horizontalidad mínimas que deben presentar todas las secciones individuales del piso y, por lo general, no se establecen por debajo del 50% de los números F_F/F_L requeridos. Los valores mínimos de F_F/F_L nunca deberán ser menores de F_F13/F_L10 , dados que estos valores representan los peores resultados locales que pueden esperarse con cualquier método de construcción de pisos de concreto.

Se pueden requerir medidas correctivas:

- Si el resultado de los valores combinados de toda obra (al terminar) es menor que los números F globales especificados, o
- Si en cualquier sección individual las medidas son menores que cualquiera de los números F_F/F_L mínimos especificados por sección. Los límites de las secciones se determinan, por lo general, en las líneas de columnas, o en las juntas de construcción y de contracción (control). Las secciones no deben ser menores que la mitad del claro.

Entre las medidas correctivas se pueden incluir: esmerilado, cepillado, reparación de la superficie, colocación de una nueva capa de desgaste y un nuevo colado. Las especificaciones deben señalar claramente el (los) método (s) de corrección aceptable (s).

Tabla 10. Clasificación de F_F/F_L

Clasificación de la calidad del perfil del piso	Número F_F/F_L mínimo requerido			
	Números F especificados		Números F mínimos locales	
convencional	F_F planicidad	Horizontalidad F_L	F_F planicidad	Horizontalidad F_L
Llana de mango largo Enrasador	15	13	13	10
	20	15	15	10
plano	30	20	15	10
Muy plano	50	30	25	15

La elección de las tolerancias de F_F/F_L apropiadas para un proyecto particular, se hace mejor al basarse en las medidas de un piso similar de características satisfactorias.

CAPITULO V

CURADO, PROTECCIÓN Y SELLADO DE JUNTAS

V.1 CURADO

El propósito del curado es lograr que el concreto retenga la suficiente humedad para que la hidratación del cemento ocurra de manera correcta y ayudar al control de la temperatura durante la etapa temprana en que tal hidratación tiene lugar.

V.2 MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO

Los métodos más eficaces para la mayoría de los concretos son aquellos en los que se utiliza agua, pero no siempre pueden ser los más prácticos.

El concreto puede mantenerse húmedo (y, en ciertos casos, a temperatura favorable) con el uso de tres métodos de curado.

1. Métodos que mantengan la presencia de agua de mezclado en el concreto durante el periodo inicial de endurecimiento. Entre estos se incluye la inundación o inmersión, el rociado por aspersión y las cubiertas húmedas saturadas.
2. Métodos que evitan la pérdida del agua de mezclado del concreto, sellando la superficie. Esto se puede lograr cubriendo el concreto con papel impermeable o con hojas de plástico, o aplicando compuestos de curado que formen membranas.
3. Métodos que aceleren la ganancia de resistencia suministrando calor y humedad adicional al concreto. Esto se logra normalmente con vapor directo, serpentines de calentamiento, o cimbras ó almohadillas calentadas eléctricamente.

V.2.1 Curado con agua

V.2.1.1 Inundación

En las superficies planas tales como pavimentos y pisos, el concreto se puede curar por inundación. Se puede retener un tirante de agua por medio de bordos de arena o de tierra en el perímetro de la superficie de concreto. La inundación es método ideal para evitar la pérdida de humedad y también es efectivo para conservar una temperatura uniforme en el concreto. El agua de curado no debe estar 11° C más fría que el concreto, a fin de evitar esfuerzos por temperatura que pudieran ser causa de agrietamientos. Como la inundación requiere de trabajo y supervisión considerables, el método solamente es empleado en los trabajos pequeños.

V.2.1.2 Rociado o aspersión

La aspersión o rociado continuo con agua es un método excelente de curado cuando la temperatura ambiente queda suficientemente por encima de la congelación y cuando la humedad es muy baja. Se debe aplicar un rocío muy fino de manera continua a través de un sistema de boquillas o rociadores. Los rociadores ordinarios para césped resultan efectivos si se logra una buena cobertura y si el volumen de descarga de agua no tiene demasiada importancia. Las mangueras para regar el suelo son útiles en superficies verticales o casi verticales.

El costo del rociado puede ser una desventaja. El método requiere de una amplia fuente de abastecimiento y de una supervisión cuidadosa. Si el rociado o aspersión se hace a intervalos, se debe evitar que el concreto se seque entre las aplicaciones de agua, porque los ciclos alternos de saturación y secado pueden ser causa de agrietamientos irregulares en la superficie. También se deben adoptar precauciones para evitar que se presente erosión en el concreto recién acabado, provocada por el agua.

V.2.1.3 Cubiertas húmedas

Las cubiertas de tela saturadas con agua, como los costales de yute, de algodón, u otras telas que retengan la humedad, se utilizan comúnmente para el curado.

Los costales de yute deben estar libres de encolados o de cualquier otra sustancia que sea dañina para el concreto o que cause decoloración. Los costales nuevos deben ser enjuagados a conciencia para remover sustancias solubles y volverlos más absorbentes.

Las cubiertas de tela saturadas, capaces de retener la humedad, deben colocarse tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para evitar daños en su superficie. Se debe tener la precaución de cubrir toda la superficie, incluyendo los bordes de las losas. Las cubiertas se deben mantener húmedas de manera continua, de tal suerte que una película de agua permanezca sobre la superficie del concreto durante el periodo de curado. Con el empleo de rollos de polietileno sobre los costales de yute eliminará la necesidad de un riego continuo sobre la cubierta. Los ciclos alternos de saturación y secado durante el curado a edades tempranas pueden provocar agrietamientos irregulares en la superficie.

Las cubiertas húmedas de tierra, arena, o aserrín resultan ser efectivas para curar y regularmente son útiles en los trabajos pequeños. Se debe distribuir de manera uniforme una capa de aproximadamente 5 cm. sobre la superficie del concreto previamente humedecida, la cual se debe mantener húmeda continuamente.

Para curar superficies planas, se puede usar paja o forraje. Si se utilizan, se les debe colocar en una capa por lo menos de 15 cm. de espesor, y deben quedar fijos con malla de alambre, costales de yute, o lonas impermeables para impedir que el viento las levante. La principal desventaja de las cubiertas de forraje, paja, aserrín, arena o tierra húmedos es que existe la posibilidad de decolorar al concreto.

V.2.2 Curado con papel impermeable u hojas de polietileno

El papel impermeable para curar el concreto consiste en dos hojas de papel kraft (o de pulpa sulfítica), cementadas entre si por un adhesivo bituminoso con fibras de refuerzo. Este papel según la norma ASTM C171, es un medio eficaz para curar las superficies horizontales y el concreto estructural que tenga una forma relativamente simple. Una ventaja importante de este método es que no se necesitan adiciones periódicas de agua. El curado con papel impermeable asegura una hidratación adecuada del cemento evitando la pérdida de humedad en el concreto.

En cuanto el concreto haya endurecido lo suficiente, para evitar daños en su superficie, se debe saturar completamente y se le deberá colocar el papel con el mayor ancho con que se pueda contar. Los bordes de las hojas adyacentes deberán quedar traslapados aproximadamente unos 15 cm. y estar sellados firmemente con arena, tabloncillos de madera, cinta adhesiva sensible a la presión, mastique o cola.

El papel impermeable le brinda una cierta protección al concreto contra los daños causados por la actividad constructiva subsecuente y contra los rayos solares directos. Debe ser de color claro y no debe manchar al concreto. Para curar concretos que queden en el exterior en climas calurosos, es preferible usar papel con superficies superiores de color blanco.

El polietileno también se puede usar fácilmente en los elementos de formas simples o complejas. Su aplicación es igual a la descrita con el papel impermeable.

La película de polietileno para curar el concreto deberá tener un espesor de 0.10 cm. y ser de colores opacos, claros o blancos. Sin embargo, se pueden conseguir rollos negros, mismos que bajo ciertas condiciones resultan ser satisfactorios. Los rollos blancos se deben emplear para exteriores en los climas calurosos con el propósito de reflejar los rayos del sol, mientras que los rollos negros se pueden usar en climas

templados o en locaciones interiores. Los rollos de colores claros tienen poco efecto en lo que se refiere a absorción de calor.

También se recomienda una lámina de material que consiste en tela de yute con una película de polietileno opaco blanco adherida por un lado. Las combinaciones de rollos de polietileno unidas a telas absorbentes como el yute, ayudan a retener la humedad en la superficie del concreto.

Los rollos de polietileno también se pueden colocar sobre la tela de yute húmeda o sobre otros materiales húmedos a fin de retener el agua en el material de recubrimiento. Este procedimiento elimina la necesidad de trabajo manual intenso para regar continuamente los materiales de la capa de recubrimiento.

V.2.3 Curado con membranas

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules clorados, y solventes de alta volatilidad se pueden usar para retardar o reducir la evaporación de la humedad del concreto. Son adecuados no solamente para curar concreto recién colocado, sino también para prolongar el curado luego de la remoción de las cimbras o después del curado húmedo inicial.

Los compuestos formadores de membranas de curado se pueden clasificar en dos tipos generales.

- Claros o translúcidos, y
- Pigmentados de blanco.

Los compuestos claros o translúcidos pueden llegar a contener un tinte perecedero que facilita la revisión visual de la cobertura total de la superficie de concreto cuando se aplica el compuesto. El tinte se desvanece rápidamente después de aplicado. En los días calurosos y soleados, el uso de compuestos con pigmentos blancos reduce

el aumento de calor provocado por el sol, reduciendo así la temperatura del concreto. Para impedir que el pigmento se asiente en el fondo, se debe agitar el recipiente que contenga los compuestos pigmentados.

Los compuestos de curado se deben aplicar con equipos rociadores operados manualmente o de propulsión mecánica inmediatamente después de darle el acabado final al concreto. La superficie del concreto normalmente debe estar mojada al aplicar el recubrimiento. En los días secos y con viento, o durante los periodos en que las condiciones ambientales sean adversas y se puedan producir agrietamientos por contracción plástica, se ayudara a prevenir la formación de grietas aplicando los compuestos de curado inmediatamente después del acabado final y antes que toda el agua libre en la superficie se haya evaporado. Se recomienda en los proyectos de pavimentación grande utilizar equipo rociador de propulsión mecánica para una aplicación uniforme de los compuestos de curado.

V.2.4 Duración del curado

Cualquiera que sea el método que se adopte, el curado debe iniciarse tan pronto como la membrana, o aditivo de curado, pueda aplicarse sin dañar la superficie recién terminada. Para garantizar los mejores resultados, el tiempo de curado variará de acuerdo con el método, con la temperatura y humedad del ambiente y con el tipo de cemento. Con cemento tipo I ó II, en clima normal superior a 10° C, el periodo mínimo debe de ser de siete días de curado ininterrumpido. En clima caliente, o con cemento tipo III, este período mínimo de curado puede reducirse a cuatro días. En losas de gran peralte, el enfriamiento rápido de la superficie (especialmente en la primera noche), puede producir agrietamiento térmico. A fin de evitar el agrietamiento causado por una rápida contracción de la superficie, debida a enfriamiento o secado rápido, es aconsejable mantener las cubiertas colocadas durante varios días más, de manera que la temperatura y el contenido de humedad de la losa puedan ajustarse poco a poco a las condiciones ambientales

V.3 SELLO DE JUNTAS

El sellado de juntas en los pavimentos tiene como finalidad principal la de evitar el paso del agua a la sub-base o estructura de soporte de las losas y, por consiguiente, el asentamiento, el agrietamiento y la ruptura de los mismos.

Las juntas de dilatación o aislamiento y las de contracción (cuando estas no coinciden con alguna de construcción) en los pavimentos de circulación vehicular, deberán ser selladas con una emulsión asfáltica que garantice que el agua no pasará a la sub-base.

Las juntas de aislamiento pueden hacerse con hojas de fibras prefabricadas, impregnadas con asfalto o materiales semejantes, colocadas antes del inicio del colado.

Por lo general, las juntas de construcción no se rellenan, a menos que esté prevista su función como de contracción o aislamiento.

Las juntas de construcción para pisos interiores pueden rellenarse con ciertas resinas epóxicas o con selladores elastoméricos. La aplicación de materiales epóxicos debe retardarse lo más posible, de manera que ya se haya llevado a cabo la mayor parte de la contracción, esto es, en un lapso no menor de tres meses. Los selladores elastoméricos se utilizan exclusivamente cuando no están sujetos al tránsito de ruedas duras.

Las juntas deben limpiarse con mucho cuidado, retirando toda la tierra y los desperdicios, sopleteando con aire comprimido o arena, o bien, con cepillo de alambre. Para el sellado se deben seguir las recomendaciones del fabricante. Si se utilizan selladores prefabricados elastoméricos de compresión, en pisos interiores o en losas exteriores, se deben elegir en función del ancho de la junta y el desplazamiento esperado, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

CAPITULO VI

OPERACIÓN DE LOS PISOS

VI.1 APERTURA AL TRÁFICO

La esperada apertura al tráfico se debe efectuar por etapas, pues es necesario que el concreto alcance toda su resistencia para evitar daños severos a los pavimentos. Los accesos a los pavimentos se deben bloquear con barricadas cuando los trabajos de acabado han finalizado y no se debe permitir el paso, excepto a quienes van a realizar alguna operación necesaria, como la aplicación de alguna membrana o cualquier otro material de curado.

Después de haber completado el periodo de curado, los pisos, curados con polietileno, papel impermeable o con la simple aplicación de agua deben contar con un lapso de dos días para su secado, antes de que se quiten las barricadas y se abran al tránsito de vehículos (el periodo de secado adicional de dos días no es necesario ni aplicable en pisos curados con membranas).

Para este periodo de secado de dos días se considera que la temperatura estará comprendida entre 10° y 25° C y que la humedad relativa estará entre 40 y 60 %. Si la temperatura es menor y la humedad mayor, se debe permitir un periodo de secado más largo. Un día de secado será suficiente cuando la temperatura sea mayor y la humedad relativa menor; se puede permitir más pronto el tránsito de personas, pero el industrial pesado deberá posponerse un poco más.

El dueño deberá evitar el uso de sales descongelantes hasta que se haya completado el curado del concreto (con la cantidad adecuada de aire incluido), se haya secado y, de preferencia, haya pasado un invierno. En la mayoría de las circunstancias, un concreto que ha recibido esta preparación y que tenga un contenido de aire incluido adecuado, soportará la aplicación de descongelantes sin sufrir daño alguno.

No todo el concreto expuesto a descongelantes contiene suficiente aire; ya sea debido a malas prácticas o por dificultad en el trabajo, el concreto puede presentar un contenido de aire menor al especificado. Aun los concretos con un contenido adecuado de aire incluido, se vuelven más resistentes al efecto de aditivos descongelantes mediante la aplicación de un sellador.

El Programa Nacional de Investigación de Caminos en Cooperación (NCHRP), en su reporte No. 244, ha establecido métodos de prueba para evaluar los compuestos de sellado para tal uso. El silano, siloxeno y algunos otros compuestos, mantenido excelentes resultados cuando se ensayaron de acuerdo con los métodos de prueba NCHRP.

Cuando se aplican al concreto endurecido con contenido adecuado de aire incluido y una relación agua-cemento apropiada, estos selladores penetrantes dan muy buenas características de durabilidad al concreto respecto a la corrosión del acero de refuerzo, y un mínimo de descascaramiento.

CAPITULO VII

CONTROL DE CALIDAD, CONSERVACIÓN Y RECOMENDACIONES

VII.1 CONTROL DE CALIDAD TOTAL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

La norma International Standards Organization (ISO) 8402 define el termino calidad como "el conjunto de características de un elemento que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades explícitas e implícitas". El aseguramiento de la calidad tiene por objeto proporcionar los instrumentos humanos, físicos y financieros para lograr la confianza de que el conjunto de acciones emprendidas esté dirigido al logro de la calidad y los criterios de aceptación tanto para la organización que las ejecuta, como para los clientes o entidad externa.

Cualquier pavimento es un producto, y se entiende como el resultado de un conjunto de actividades o de procesos, en este caso tangibles. En su definición más general, sin embargo, el pavimento rígido se puede considerar el resultado de productos tangibles-maquinaria, equipo general y materiales- y de intangibles, como son los conocimientos y conceptos plasmados en el proyecto.

Un término que engloba los programas de control y aseguramiento de la calidad, así como su política, planeación y mejoramiento es el Sistema de Administración de la Calidad. Este sistema aglutinador funciona a través de un Sistema de Calidad.

La administración para la calidad total suministra a los anteriores conceptos una estrategia de administración global a largo plazo; en ésta participan los miembros de la empresa: en el caso de pavimentos rígidos, la empresa contratista, su personal, la entidad propietaria y, como resultado final, se beneficia a la sociedad en su conjunto.

Con objeto de adoptar el proceso de calidad con estándares actuales e incluso con programas de calidad total, los procedimientos de control de calidad deben quedar

escritos o documentados, de manera que se describan con claridad los propósitos y alcances de la actividad, cuáles son los procedimientos y quién los ejecutará, así como cuándo, dónde y cómo deben hacerse cada una de las actividades. Los procedimientos escritos deben incluir los materiales y los equipos.

Al igual que cualquier obra de ingeniería, todo pavimento rígido debe sujetarse a una evaluación de la calidad, la cual consiste en un análisis sistemático que tiene como objetivo diagnosticar si el pavimento satisface los requisitos que se especificaron.

Como parte de todo el sistema se incluye la supervisión de la calidad. Ésta consiste en una supervisión y verificación consistente y rutinaria de las actividades para la construcción del pavimento, incluyendo su estado final ya como producto. Esta acción la puede realizar el dueño directa o indirectamente.

VII.2 TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA Y CORRECTIVA

Dentro de las actividades que se tiene que realizar como consecuencia natural de la evolución y decaimiento lento pero progresivo de la calidad de servicio de pavimento de concreto, se encuentran las labores de conservación de carácter tanto preventivo como correctivo.

La conservación preventiva esta enfocada principalmente a vigilar la relación de las actividades que permitan que todas las partes de la estructura del pavimento como son drenaje, subdrenaje, perfil de la losa y distribución de esfuerzos entre los estratos de apoyo, trabajen adecuadamente dentro de las tolerancias para que no se desarrollen mecanismos que los afecten a éstas o a otras partes de la estructura, dirigiendo los esfuerzos a evitar que se degraden los índices de servicio a niveles inaceptables antes de tiempo o que partes del pavimento fallen de una manera prematura.

Por otro lado, el mantenimiento correctivo se enfoca a la restauración, antes del plazo esperado, del funcionamiento de una o de varias de las partes de la estructura del pavimento; esto puede deberse a omisiones, escasez o falta de previsión en el proyecto o durante la ejecución de la obra, falta de una adecuada supervisión, mal diagnóstico o insuficiente atención a los síntomas de degradación en la estructura del pavimento, fenómenos meteorológicos singulares fuera de la cobertura de cálculo del proyecto, etcétera.

VII.3 RECOMENDACIONES PARA FALLAS MÁS COMUNES

Cuando la construcción de los pavimentos ha concluido y se han empleado en forma conveniente las buenas técnicas, el trabajo de mantenimiento se reduce a solo limpiarlos, aunque en forma eventual, se pueden suscitar reparaciones por un sin número de eventos.

VII.3.1 Limpieza

La limpieza de la superficie del pavimento de concreto se debe efectuar mediante un barrido normal con escoba, rociándola previamente con agua para evitar que el polvo se levante.

VII.3.2 Averías en las instalaciones

Cuando se presente una avería en las instalaciones que están sepultadas debajo de los pavimentos, como las tuberías de agua potable o drenaje, los cortes en el pavimento se deben hacer rectos formando en el área a excavar una figura regular como un cuadrado o un rectángulo. Después de efectuar la reparación necesaria se debe restituir el relleno y la sub-base en las condiciones óptimas. La zanja se debe rellenar en capas de 15 cm. como máximo y se agregará agua mientras se compacta. La restitución del pavimento se debe hacer con un concreto de las

mismas características del demolido, protegiéndolo del tránsito de vehículos y peatones mientras se encuentre fresco y durante su período de curado.

VII.3.3 Reparación por bacheo

En un pavimento bien construido, en donde se observan todas las recomendaciones señaladas, es prácticamente improbable que se presenten problemas de baches, si esto sucediera se emplearía la restitución de los pavimentos mencionado en el párrafo anterior.

CAPITULO VIII.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se define como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten adecuadamente distribuidas a las capas inferiores que proporciona la superficie de rodamiento en donde se debe tener una operación "rápida" y "cómoda".

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario la construcción de una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa; si fallan las partes bajas de la capa entonces falla la estructura.

La sección transversal de un pavimento rígido está formada por la losa de concreto hidráulica, por la base y sub-base que se construyen sobre la capa subrasante.

Antiguamente, la losa se construía sobre las terracerías sin importar la calidad que tuvieran; esto dio lugar a que un gran número de pavimentos fallaran al aparecer grietas transversales o longitudes cercanas a las orillas; al investigar el fenómeno se encontró que la causa de ellas había sido lo que se ha dado por llamar "*fenómeno de bombeo*", que consiste en el ascenso de materiales finos y húmedos hacia la superficie de rodamiento a través de las juntas, en virtud de la deformación y recuperación de las losas en las orillas, al paso de los vehículos.

A partir de este estudio, se especifico que la losa debía colocarse sobre un material granular, que cuando menos cumpliera las normas para sub-base de pavimento; el espesor de la losa se puede disminuir, sobre todo si la sub-base se estabiliza con cemento portland.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 kg/cm^2 y 400 kg/cm^2 . Las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o presforzado.

Cuando se utiliza concreto simple o reforzado, el tamaño de las losas es similar, tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m. de lado, pero en la actualidad existe una tendencia a aumentar su área, el concreto presforzado permite la utilización de superficies continuas de área muy superior; se usa más frecuentemente ya que se ahorra en el espesor y es más económico.

Los factores que afectan el espesor de la losa son principalmente el nivel de carga que han de soportar, las presiones de inflado de las llantas de los vehículos, el modulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

El diseño del pavimento rígido de acuerdo al criterio de la Portland Cement Association es función de la carga máxima aplicada por el vehículo de mayor peso que circulará por el pavimento, por el módulo de ruptura del concreto y el módulo de reacción de la subrasante del material de apoyo, determinándose en función de estos parámetros un pavimento cuya vida útil corresponde a la usualmente establecida para estructuras de concreto, que en el caso de pavimentos se estima de 25 años, siempre y cuando se encuentren debidamente protegidos los materiales de la subrasante, se tenga un mantenimiento adecuado de los materiales que sellan las juntas entre las losas y que no se permita la circulación de vehículos de mayor peso al de diseño.

BIBLIOGRAFÍA

1. Luis M. Aguirre Menchaca, y otros, "Pavimentos de Concreto para Carreteras", IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.), 2002
2. Diseño y Construcción de Pisos Industriales, CEMEX (Cementos Mexicanos), 1998
3. Oscar M. González Cuevas, Francisco Robles F.V., y otros, "Aspectos Fundamentales del Concreto", Limusa, 1979.
4. Arq. Gustavo G. Mendez Fregoso, "Pavimentos de Concreto (procedimientos para autoconstrucción)", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1992.
5. Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, "Diseño y Control de Mezclas de Concreto", IMCYC, A. C., 1992.
6. Steven H. Kosmatka, "Color y Textura para Pisos de Concreto", IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.), 1992.
7. "Pavimentos de Concreto", IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.), 1994.
8. Pedro Jimenez Montoya, y otros, "Hormigon Armado" 14a edición, basado en EHE, Gustavo Gili, S. A., 2000.
9. R. Parrk y T. Paulay, "Estructuras de Concreto Reforzado" 6a edición, Limusa, 1991.
10. William S. Phelan, y otros, "Construcción de losas y pisos de concreto", (edición en español), Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1992
11. Ing. Aurelio Salazar Rodríguez, "Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1998.
12. T. Y. Lin, "Diseño de Estructuras de Concreto Preesforzado", 6a edición, Continental, S. A., México, 1980.