

17
2es.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"

"CONSTRUCCION Y PROTECCION DE PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO"



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

Presenta

EMICEL LINARES AVILA

Asesor: Ing. José Luis Terán Pérez

Noviembre, 1998.



2018-08-08



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 "ACATLÁN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

SR. EMICEL LINARES ÁVILA.

ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.

PRESENTE.

En atención a su solicitud presentada con fecha de 3 de diciembre 1997, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"CONSTRUCCIÓN Y PROTECCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO".

1. GENERALIDADES PARA EL DISEÑO DE LOS PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO.
2. DISEÑO DEL ESPESOR Y JUNTAS EN PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO.
3. MECANISMOS DE ATAQUE MECÁNICO Y QUÍMICO A LOS PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO.
4. PROTECCIÓN DE LOS PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO CONTRA EL ATAQUE MECÁNICO Y QUÍMICO.
5. RECOMENDACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN PARA PISOS DE CONCRETO INDUSTRIALES.

CONCLUSIONES.

Asimismo fué designado como asesor de tesis el ING. JOSÉ LUIS TERÁN PEREZ, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 06 de noviembre de 1998.


—Ing. Enrique del Castillo Fragoso
Jefe del Programa



ENEP-ACATLÁN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERÍA

INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO PRIMERO

1.1. GENERALIDADES.	2
1.1.1. DEFINICIÓN Y REQUISITOS QUE DEBE SATISFACER UN PISO INDUSTRIAL.	2
1.1.2. DIFERENTES CASOS DE APOYO.	2
1.1.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PISOS.	4
1.2. GENERALIDADES DE DISEÑO.	5
1.2.1. TIPOS DE LOSAS DE CONCRETO SEGÚN EL TRÁNSITO Y ESPESORES MÍNIMOS.	5
1.2.2. BASES PARA EL DISEÑO DEL ESPESOR DE LOSAS DE PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO.	5
1.2.2.1. ESFUERZOS EN LA CAPA DE APOYO.	6
1.2.2.2. ESFUERZOS EN EL CONCRETO.	10
1.2.2.3. NATURALEZA Y FRECUENCIA DE LAS CARGAS ACTUANTES.	14
1.2.3. CAPAS DE APOYO.	14
1.2.3.1. FACTORES DE DISEÑO PARA LAS CAPAS DE APOYO.	14
1.2.3.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO PARA EL SUELO NATURAL, SUBRASANTES Y SUB-BASES.	18
1.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS LOSAS.	21
1.2.4.1. CONTROLES DE DISEÑO PARA PISOS INDUSTRIALES.	22

CAPÍTULO SEGUNDO

2.1. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA.	26
2.1.1. MÉTODO DE DISEÑO PARA CARGAS MÓVILES.	26
2.1.1.1. EJEMPLO DE DISEÑO DEL ESPESOR DE LOSA PARA MONTACARGAS CON EJES SENCILLOS.	31
2.1.1.2. EJEMPLO DE DISEÑO DEL ESPESOR DE LOSA PARA MONTACARGAS CON EJES DOBLES.	32
2.1.2. MÉTODO DE DISEÑO PARA CARGAS ESTÁTICAS CONCENTRADAS.	33
2.1.2.1. FACTORES DE SEGURIDAD PARA POSTES CARGADOS.	38
2.1.2.2. EJEMPLO DE DISEÑO DEL ESPESOR DE LOSA PARA POSTES CARGADOS.	39
2.1.3. MÉTODO DE DISEÑO PARA CARGAS ESTÁTICAS DISTRIBUIDAS.	41
2.1.3.1. CARGAS PERMISIBLES PARA PREVENIR EL ROMPIMIENTO EN LOSAS.	42
2.1.3.2. CARGAS PERMISIBLES PARA PREVENIR EL HUNDIMIENTOS DE LA LOSA	45
2.1.4. MÉTODO DE DISEÑO PARA CARGAS INUSUALES.	45
2.1.4.1. ÁREAS ESPECIALES.	46
2.1.5. CONSIDERACIONES DE AUMENTO DE ESPESOR DE LA LOSA.	46
2.2. DISEÑO DE JUNTAS EN PISOS INDUSTRIALES DE CONCRETO.	47
2.2.1. ANTECEDENTES PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE JUNTAS.	47
2.2.2. DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO DE LAS JUNTAS.	50
2.2.3. DISEÑO DEL ESPACIAMIENTO ENTRE LAS JUNTAS.	51

2.2.4. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LAS JUNTAS.	51
2.2.5. TIPOS DE JUNTAS PARA PISOS INDUSTRIALES.	54
2.2.5.1.JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCIÓN.	54
2.2.5.2.JUNTAS TRANSVERSALES DE CONSTRUCCIÓN.	55
2.2.5.3.JUNTAS DE AISLAMIENTO.	56
2.2.5.4.JUNTAS LONGITUDINALES DE CONTRACCIÓN.	56
2.2.5.5.JUNTAS LONGITUDINALES DE CONSTRUCCIÓN.	57
2.2.5.6. LOCALIZACIÓN DE LAS JUNTAS EN UN PISO INDUSTRIAL.	58
2.2.6. MOLDEADO DE LAS JUNTAS.	58
2.2.7. SELLADORES PARA JUNTAS DE PISOS INDUSTRIALES.	59
2.2.7.1. COMPONENTES IMPORTANTES PARA LOS SELLADORES.	61
2.2.7.2. SELLADORES LÍQUIDOS PARA JUNTAS DE PISOS INDUSTRIALES.	63
2.2.7.3. SELLADORES PREFORMADOS PARA JUNTAS DE PISOS INDUSTRIALES.	64

CAPÍTULO TERCERO

3.1.ATAQUE MECÁNICO.....	68
3.1.1.DEGRADACIÓN POR USO DE LA SUPERFICIE.	69
3.1.1.1. ABRASIÓN.	69
3.1.1.2.IMPACTO.	71
3.1.2.DEGRADACIÓN POR FRACTURAMIENTO.	72
3.1.2.1. CAMBIO VOLUMÉTRICO.	72
3.1.2.2. CARGAS EXCESIVAS.	73
3.2.ATAQUE QUÍMICO.....	74
3.2.1.ATAQUE POR AGUAS.	76
3.2.2.ATAQUE POR SULFATOS.	76
3.2.3.ATAQUE POR ÁCIDOS.	77
3.2.4.ATAQUE POR DISTINTAS SUSTANCIAS.	79
3.2.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA AGRESIVIDAD DE LOS AGENTES.	84

CAPÍTULO CUARTO

4.1.PROTECCIÓN CONTRA EL ATAQUE MECÁNICO.....	87
4.1.1. CALIDAD DEL CONCRETO.	87
4.1.2. ACABADOS SUPERFICIALES.	90
4.1.2.1.ACABADO EN PUNTOS CARACTERÍSTICOS.	91
4.1.3.USO DE AGREGADOS ESPECIALES (PROTECCIÓN INTEGRAL).	92
4.1.4.USO DE PISOS DE DOS CAPAS.	92
4.1.5. ENDURECIDO DE SUPERFICIE.	93
4.1.6.USO DE PASAJUNTAS.	93
4.2.PROTECCIÓN CONTRA EL ATAQUE QUÍMICO.....	95
4.2.1.CALIDAD DEL CONCRETO.	96
4.2.2.CALIDAD DE LOS AGREGADOS.	96

4.2.3. PRODUCTOS PARA PROTECCIÓN DEL CONCRETO CONTRA ATAQUE QUÍMICO.	97
4.2.3.1. PROTECCIÓN "TIPO PINTURA".	98
4.2.3.2. PROTECCIÓN "TIPO TRATAMIENTOS INORGÁNICOS DE SUPERFICIE".	104
4.2.3.3. PROTECCIÓN "TIPO MORTEROS".	105
4.2.3.4. PROTECCIÓN "TIPO BARRERAS PROTECTIVAS".	106
4.3. ELECCIÓN DE LA PROTECCIÓN.....	107
4.4. PRUEBAS Y ESPECIFICACIONES.....	110

CAPÍTULO QUINTO

5.1. CONSTRUCCIÓN.....	112
5.1.1. PREPARACIÓN DEL SUELO NATURAL.	112
5.1.2. PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE.	112
5.1.3. PREPARACIÓN DE LA SUB-BASE.	112
5.1.4. CIMBRADO	113
5.1.5. COLOCACIÓN DE PASAJUNTAS.	114
5.1.6. MEZCLADO, COLADO Y TENDIDO DEL CONCRETO	115
5.1.6.1. MEZCLADO DEL CONCRETO.	115
5.1.6.2. SECUENCIA DE COLADO	115
5.1.6.3. COMPACTADO.	116
5.1.6.4. NIVELACIÓN (ENRASADO).	116
5.1.6.5. APLANADO.	116
5.2. ELABORACIÓN DE JUNTAS.....	117
5.3. CURADO.....	117
5.4. DESCIMBRADO.....	118
5.5. LIMPIEZA DE LAS JUNTAS Y DE LAS CAJAS.....	118
5.6. OPERACION DE SELLADO DE LAS JUNTAS.....	119
5.7. APLICACIÓN DE MATERIALES PROTECTORES.....	119
5.7.1. GENERALIDADES DE APLICACIÓN.	119
5.7.2. PREPARACIÓN DE SUPERFICIE.	120
5.7.3. MANEJO DE LOS PRODUCTOS.	122
5.7.4. APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS.	123
5.7.4.1. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS LÍQUIDOS INORGÁNICOS	124
5.7.4.2. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE CON ACEITES SECANTES	125
5.7.4.3. APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS DERRETIDOS POR CALOR.	125
5.7.4.4. COLOCADO DE LADRILLO Y AZULEJOS CON MORTEROS QUÍMICOS.	125
5.7.4.5. APLICACIÓN DE LOS MATERIALES DE HOJA.	126
5.8. SECADO.....	126
5.9. REVESTIDO.....	126
5.10. APERTURA A SERVICIO.....	127

CONCLUSIONES

Introducción.

En la antigüedad, la práctica de traslado y almacenaje de insumos y productos terminados en las instalaciones industriales; era almacenar, cargar y descargar sobre el suelo natural sin ninguna estructura especial para este fin, eso no implicaba problema alguno, ya que las cargas que se movilizaban eran de bajo peso y los vehículos que lo hacían no podían llevar más peso de lo que su fuerza motriz (fuerza animal) les permitía.

En la actualidad, las cantidades de carga que necesitan ser movilizadas han aumentado considerablemente, al igual lo han hecho, la frecuencia de movimiento de los vehículos, su capacidad de carga, sus características de ruedas y ejes; imponiendo mayor carga de trabajo y originando la necesidad de contar con espacios para almacenaje y con pisos que puedan soportar estas cargas de trabajo, de la manera más segura y económica.

Para la construcción de pisos industriales se han utilizado materiales como los "pavimentos flexibles", que para lograr un buen funcionamiento necesitan una exhaustiva preparación de la capa de apoyo. Sin embargo a veces esta preparación no es suficiente para soportar la carga de trabajo impuesta y deriva en hundimientos y deformaciones apreciables a simple vista, que originan reparaciones o reemplazos a edades tempranas, con el consecuente gasto.

Por el contrario, los pavimentos rígidos o "pisos de concreto", no necesitan la exhaustiva preparación de las capas de apoyo, ya que el piso recibe las cargas y las reparte

uniformemente sobre todo su apoyo, además de las ventajas derivadas del uso del concreto.

Por estas razones resulta antieconómico la construcción de pisos flexibles para instalaciones industriales, justificando solo el uso de pisos de concreto para tal fin.

El piso ya diseñado y construido, ALGUNAS VECES, dependiendo del giro industrial, será atacada químicamente por ácidos, sulfatos o aguas. Por el contrario SIEMPRE será atacada mecánicamente, ya que el rodamiento de cualquier vehículo, la colocación de cualquier carga o la construcción de cualquier estantería, producirá abrasión, impacto o fracturamiento. Debido a estos efectos y para evitar daño a la losa se debe considerar la utilización de protecciones para minimizar el grado de ataque y aumentar el tiempo de servicio, así para cualquiera que de los dos tipos de ataque (mecánico o químico) que se presente, la medida de protección más importante es un concreto de buena calidad.

Para determinar el tipo de protección mecánica a utilizar el factor que se debe considerar es la calidad de la superficie, por el contrario con la protección química, ya que implica una gran gama de factores ambientales, físicos, químicos, etc. a considerar.

Para alcanzar el fin de diseñar, construir y proteger adecuadamente un piso de concreto para su uso en la industria he dividido el trabajo en seis capítulos: El primero de ellos, tiene como finalidad ubicar al lector en las consideraciones necesarias para diseñar el apoyo de la losa y en las propiedades necesarias del concreto a utilizar.

El segundo capítulo presenta el diseño del espesor de la losa, para cada tipo de carga de diseño que se presente en la superficie del piso.

El tercer capítulo presenta el diseño de las juntas en el piso industrial, su colocación, su elaboración, sus características y los materiales para su sellado.

La importancia de dichos capítulos radica que hasta el tercer capítulo, se tiene el correcto diseño de la capa de apoyo, del tipo de concreto, del espesor del piso, sus juntas y el sellado de las mismas.

En los capítulos cuarto y quinto se hace una descripción de los agentes químicos y mecánicos que atacan al concreto, así como la forma de protegerlo.

Los dos capítulos anteriores son importantes debido a que al tener completo el diseño del piso, solo necesitamos saber, que ataca al concreto, como lo ataca y como lo podemos proteger.

En el último capítulo se presentan consideraciones generales de la construcción de pisos de concreto para la industria.

No pretendo que este trabajo sea el precepto en la materia, solo pretendo que sea un medio de consulta fácil y práctico para todas aquellas personas que cuenten con los fundamentos básicos en alguna rama de la ingeniería y que se interesen en la construcción y protección de pisos industriales de concreto.

Sin nada más que decir pongo este trabajo a consideración y juicio del lector

Capítulo Primero

1

**Generalidades para el Diseño de los Pisos Industriales
de Concreto.**

Capítulo Primero. Generalidades para el diseño de los Pisos Industriales de Concreto.

Objetivo : Establecer un punto de partida para diseño de losas de concreto simple en distintas áreas de trabajo de una industria.

1.1. Generalidades.

En este trabajo sólo se tratarán los pisos industriales cuya superficie de rodamiento está constituida por losas de concreto simple, las cuales, en términos generales, están formadas por dichas losas a la que subyace una capa de material pétreo seleccionado denominada "sub-base", la cual se apoya sobre una capa denominada subrasante que está construida con material de menor calidad que la sub-base. El suelo natural sobre el que se apoya toda la estructura, no obstante de no formar parte de ella requiere de ciertos tratamientos. Para ser más específicos comenzaremos por establecer de una manera clara y sencilla , en que consisten cada uno de los elementos que integran un piso industrial.

1.1.1. Definición y Requisitos que debe Satisfacer un Piso Industrial.

Un piso industrial es una estructura con textura, ancho y alineamiento determinados, dispuesta y terminada de tal modo que proporcione una superficie uniforme de tránsito y rodamiento, que permita la circulación de vehículos pesados sin sufrir deterioro y transmita a la capa de apoyo las cargas impuestas, distribuyéndolas y reduciéndolas para que los esfuerzos sobre el suelo natural no excedan su capacidad de soporte. La superficie de rodamiento tendrá con la rueda la fricción suficiente para evitar el deslizamiento de los vehículos, a su vez debe tener resistencia al desgaste que producen los efectos de abrasión y golpeo de las llantas, así como resistencia al intemperismo y a productos químicos en contacto con sus partes expuestas.

El funcionamiento de un piso industrial es el siguiente : la losa de concreto recibe las cargas, las reparte uniformemente y las transmite a la sub-base o a la subrasante. Ambas , la sub-base o la subrasante, tienen la función específica de procurar una transmisión de carga uniforme al suelo de apoyo y como base estable, uniforme y resistente de la losa de concreto.

1.1.2. Diferentes Casos de Apoyo.

Primero debemos definir que es "sub-base", la debemos entender como las capas sucesivas de materiales seleccionados que se construyen sobre la subrasante y cuya función es soportar las cargas rodantes y trasmitirlas a la subrasante y a suelo natural, distribuyéndolas en tal forma que no se produzcan deformaciones perjudiciales en éstas.

La capa de material pétreo sobre la que se apoya la "sub-base" se nombrará subrasante. La subrasante, al igual que la sub-base, esta formada por capas sucesivas de materiales pétreos

seleccionados, que permitan la transmisión de las cargas directamente al suelo de apoyo. Como puede observarse en la figura 1.1.

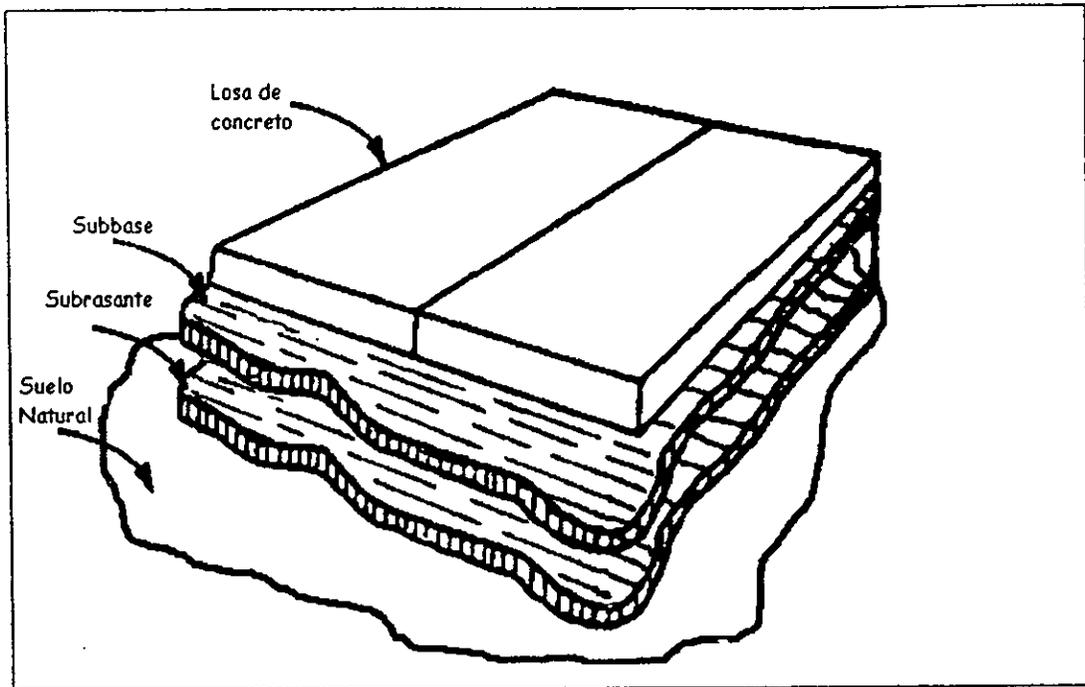


Figura 1.1. Primer caso de apoyo, donde el sub natural y la subrasante son de insuficiente calidad.

Cuando la subrasante cumple con las características requeridas para una sub-base, la losa de concreto puede colocarse sobre la subrasante, evitándose así la construcción de una sub-base especial, como puede verse en la figura 1.2.

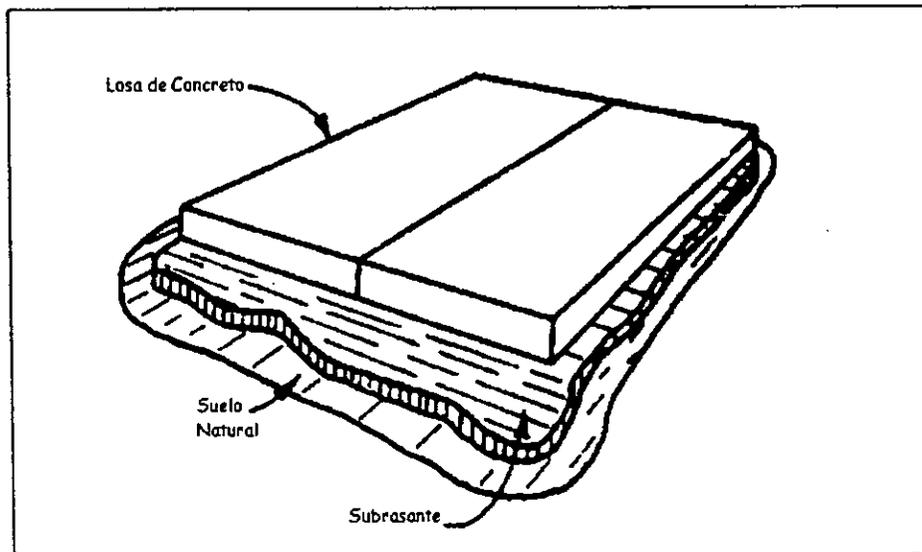


Figura 1.2 Segundo caso de apoyo, donde la subrasante es de calidad suficiente.

En el caso en donde el suelo natural sea de calidad suficiente (suelos granulares) y cumpla con las características necesarias para una sub-base, la losa puede colocarse sobre el suelo natural, evitándose la construcción de una subrasante y una sub-base especial, este tipo de apoyo puede en la figura 1.3.

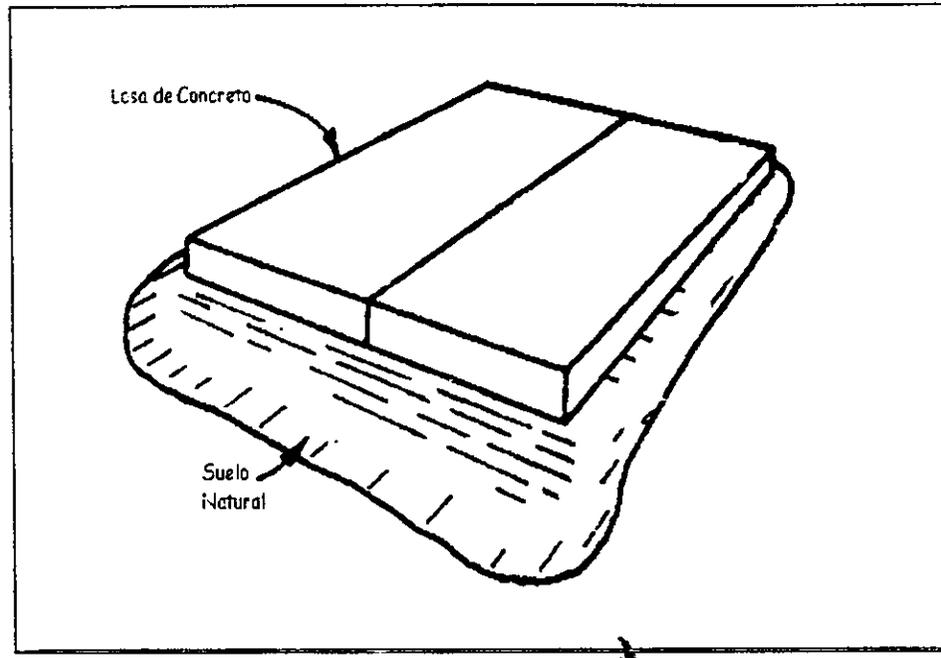


Figura 1.3. Tercer caso de apoyo, donde el subrasante es de suficiente calidad

1.1.3. Características Generales de los Pisos.

Los concretos que se utilizan en la construcción de losas para pisos industriales suelen ser de resistencias comprendidas entre 300 y 400 Kg/cm². LAS LOSAS SON DE CONCRETO SIMPLE Y POR LO GENERAL SE DIVIDEN EN TABLEROS CON DIMENSIONES DE LADO LARGO IGUAL A 1.5 VECES LA DEL LADO CORTO COMO MÁXIMO. Los factores que afectan el espesor de la losa son el nivel de carga y la frecuencia con la que lo han de soportar y las propiedades mecánicas del concreto que se utilice. Se ha demostrado que el espesor depende también en gran medida del valor del módulo de reacción "k" de la capa de apoyo.

Los factores de acabado y protección final de las losas dependen del uso del piso, es la razón por la cual se debe definir con anterioridad el destino del piso.

La siguiente lista enumera los factores que deben considerarse para la construcción de losas de concreto simple:

1. Determinar los valores del módulo de Westergaard "k".
2. Considerar las propiedades mecánicas del concreto que se va a utilizar.
3. Naturaleza y frecuencia de las cargas.

4. La calidad de los materiales.
5. Tipo y espaciamiento de las juntas.
6. Los agregados especiales y tratamientos superficiales.
7. Las especificaciones del concreto, como:
 - 7.1. Proporcionamiento.
 - 7.2. Tamaño máximo del agregado, tipo de agregado grueso y granulometría.
 - 7.3. Granulometría y tipo de agregado fino.
 - 7.3. Contenido de aire en el concreto.
 - 7.4. Resistencia a la compresión y flexión.
8. El mezclado y el procedimiento de colado.
9. Los métodos y las herramientas.
10. Los acabados especiales y las técnicas de acabado.
11. Los procedimientos de curado, incluyendo su duración y el momento en el que se permite el tránsito sobre el piso.

1.2. Generalidades de Diseño.

1.2.1. Tipos de losas de concreto según el Tránsito y Espesores Mínimos.

Para consideraciones de esta tesis los pisos de concreto industriales se clasifican de acuerdo con la tabla 1.1, donde se relaciona el tránsito que circulará sobre ellas y además se proporcionan espesores mínimos estimados para las mismas.

Tabla 1.1. Clasificación de los pisos de concreto de acuerdo al tránsito que circula sobre ellos y espesores mínimos estimados.

CLASE	TRÁNSITO	USO	Espesores Mínimos	
			(Pulg.)	(Cm.)
1	Ligero.	Comercial e industrial ligero	5.0	13.0
2	Medio.	Sencillo/Industrial.	6.0	15.0
3	Pesado.	Industrial pesado	8.0	21.0

Nota: Los espesores mínimos estimados de ninguna manera deberán de tomarse como regla para la construcción, si el espesor determinado con base en el diseño es mayor que los mínimos estimados, regirán el diseño.

Es importante considerar con anterioridad el tipo y magnitud de las cargas actuantes, así como el uso que han de tener las losas, ya que de éstos depende el espesor de la losa, el proporcionamiento, las técnicas empleadas en su construcción, su resistencia al desgaste, su acabado y su protección final.

1.2.2. Bases para el Diseño del Espesor de Losas de Pisos Industriales de Concreto.

La práctica común para la construcción de pisos de concreto en la industria en ocasiones, no obedece a un diseño, sino que es construida solo con la experiencia acumulada, sin considerar

las magnitudes de carga, características de los ejes y los neumáticos y configuraciones de la carga, originando que el piso así construido no opere de manera conveniente. El método de diseño de espesores de losas de concreto simple, propuesto, es aplicable a las condiciones de carga presentes en los pisos de industrias y almacenes, siendo aplicable a las losas de áreas de carga y descarga, así como a áreas de almacenaje y a áreas especiales.

Para el diseño de espesores de losas de concreto se deben considerar los TRES TIPOS DE CARGAS MÁS FRECUENTES y LOS PRINCIPALES PARÁMETROS QUE RIGEN EL DISEÑO en estas áreas :

Los tres tipos de cargas más frecuentes son:

1. *CARGAS MÓVILES* como ruedas de montacargas industriales.
2. *CARGAS ESTÁTICAS CONCENTRADAS* como la de postes de estantería de carga.
3. *CARGAS DISTRIBUIDAS* debidas al material almacenado en batería sobre el piso.

Los principales parámetros que rigen el diseño son:

1. *LOS ESFUERZOS EN LA CAPA DE APOYO.*
2. *LOS ESFUERZOS EN EL CONCRETO.*
3. *LA NATURALEZA Y FRECUENCIA DE LAS CARGAS.*

1.2.2.1. Esfuerzos en la Capa de Apoyo.

La valuación de los esfuerzos en la capa de apoyo, más usada y generalizada en la construcción de losas de concreto es el MÓDULO DE REACCIÓN "K" DE LA CAPA DE APOYO (sea de la sub-base, de la subrasante o del suelo natural), también se le conoce como "Módulo de Westergaard".

El análisis y diseño del espesor de losa requerirá de la determinación de los esfuerzos de la capa de apoyo en términos de "k" . Los valores "k" son medidos a través de la prueba del disco cargado sobre la capa de apoyo (sea la sub-base, la subrasante o el suelo natural) ya compactada.

El módulo de reacción de la subrasante "k" se define de acuerdo con la expresión.

$$K = \frac{P}{\Delta}$$

En donde:

P = Presión que se aplica al suelo.

Δ = Deformación correspondiente.

En la práctica el valor de "k", se realiza sobre la capa de apoyo donde se colocará la losa de

* American Association of State Highway and Transportation Officials.

concreto, se trabaja con placas circulares de 76.2 cm (30") de radio. La placa debe estar nivelada al comienzo de la prueba y se apoyará sobre una delgada capa de arena o yeso. La deformación de la placa durante la prueba se mide con micrómetros que deben estar sostenidos en elementos apoyados fuera de la zona de influencia de las deformaciones; es también costumbre utilizar varias placas de diámetros descendentes. Las cargas se aplican por medio de gatos hidráulicos que se apoyan para transmitir las en algún elemento pesado, generalmente un camión lastrado. Los incrementos de carga que se dan en la placa no deben exceder del 10% de la carga máxima que se estime ha de llegar a aplicarse; cada incremento se mantiene hasta que produzca asentamientos perceptibles. Una velocidad de asentamiento del orden de 0.05 mm/min. suele ser el límite de asentamiento que debe detectarse.

Terminado el proceso de carga, ésta debe retirarse gradualmente utilizando decrementos iguales a los incrementos que se hayan aplicado. En la práctica, el diseño de las losas de concreto se realiza seleccionando el módulo de reacción de la subrasante con base en un valor de la presión igual a 0.7 kg/Cm^2 (10 Lb/Plg^2), obteniendo el valor de "k" en la fórmula indicada y la deformación total correspondiente a ella, obtenida de la curva presión-deformación total que se haya dibujado como resultado de la prueba.

No es conveniente realizar pruebas en el campo cuando se tengan condiciones desfavorables de la capa de apoyo, en cuanto al contenido de agua o en cuanto a las condiciones que se suponga vayan a ser las de servicio.

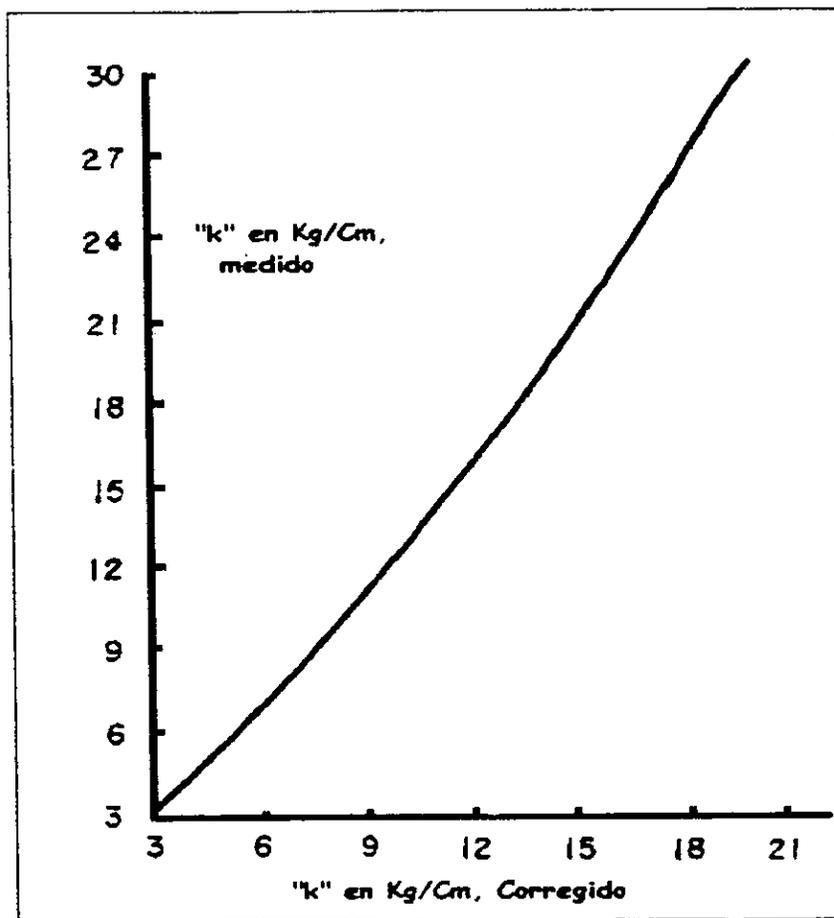
Se recomienda corregir el valor de "k" que se haya obtenido sobre la capa de apoyo, para llegar a un valor representativo de las condiciones futuras. Esto se hace realizando pruebas de compresión simple sobre un espécimen compactado en las mismas condiciones en que las capas de apoyo lo estaban en el campo en el momento de la prueba y sobre otro espécimen variando el contenido de agua al grado que se supongan las peores condiciones previsibles para el futuro (suele utilizarse la humedad de saturación). En ambos especímenes se determina la deformación bajo una carga de 0.7 Kg/cm^2 y el valor del módulo de reacción corregido se obtiene de la fórmula:

$$K_c = \frac{d_1}{d_2} K$$

En donde:

K_c = Valor del módulo de reacción de la subrasante correspondiente a las condiciones de servicio futuras, representadas colocando el espécimen en condiciones de saturación o en alguna otra condición que se suponga representativa.

- d_1 = Deformación total del espécimen bajo la presión de 0.7 Kg/Cm^2 con el material en las condiciones en las que estaba la capa de apoyo en campo al momento de la prueba.
- d_2 = Misma deformación total bajo la misma carga; pero con el espécimen preparado con el contenido de agua que se suponga representativo de las condiciones más desfavorables de trabajo que la capa de apoyo vaya a atener en el futuro. estas condiciones son representadas por el material saturado.
- K = Módulo de reacción de la subrasante obtenido en la prueba de placa que se realizó en el campo.



La prueba de placa de igual forma se utiliza para conocer el módulo de reacción de la capa de apoyo bajo la losa de concreto. En este caso, el valor de "k" se obtiene dividiendo la presión aplicada a la capa de apoyo (a través de una perforación en la losa) entre la deformación de la placa usual bajo dicha presión (suele también utilizarse el valor de 0.7 Kg/Cm^2). Inclusive se ha utilizado la prueba de placa para valuar el módulo de reacción del piso construido en su conjunto, aplicando carga a la placa

Figura 14. Corrección del valor 'k' por flexión.

sobre la losa y midiendo con un conjunto de extensómetros el volumen total de desplazamiento producido, calculado como el cociente entre la carga aplicada y el volumen total de desplazamiento que haya tenido bajo esa carga

La P.C.A.* recomienda otro criterio para la valuación de "k" que es obtenida dividiendo la presión que haya producido en la placa una deflexión total de 0.13 cm (0.5 "), entre el valor de dicha

*Portland Cement Association (Asociación del Cemento Portland)

flexión. En los materiales con alto módulo "k", se produce flexión en la placa y se distorsionan los resultados de la prueba. La figura 1.4. muestra una corrección del valor "k" por flexión.

Si no es posible conocer el módulo de reacción "k" de la sub-base a través de la prueba de placa o bien los resultados que arroje dicha prueba no son del todo confiables, el valor de "k" de la sub-base puede estimarse corrigiendo el valor de "k" correspondiente a la subrasante, obteniendo así el valor de "k" de la sub-base con el que debe entrarse en los gráficos de diseño. Esta corrección se da con las figuras 1.5. y 1.6. estableciendo una corrección para sub-bases estabilizadas y no estabilizadas:

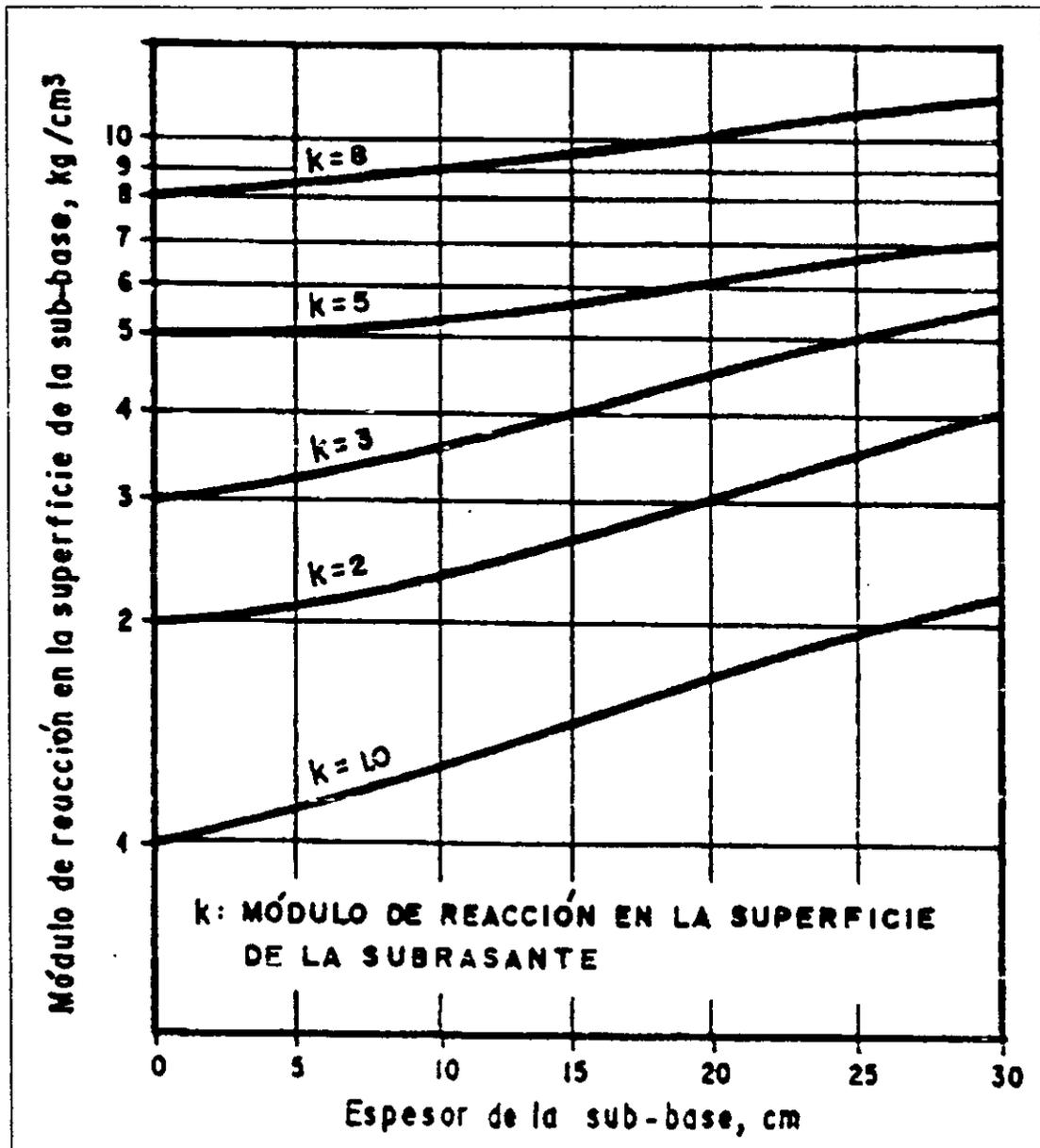


Figura 1.5. Gráfica para obtener el valor de "k" de la sub-base, en base al valor "k" de la subrasante. Para sub-bases no estabilizadas.

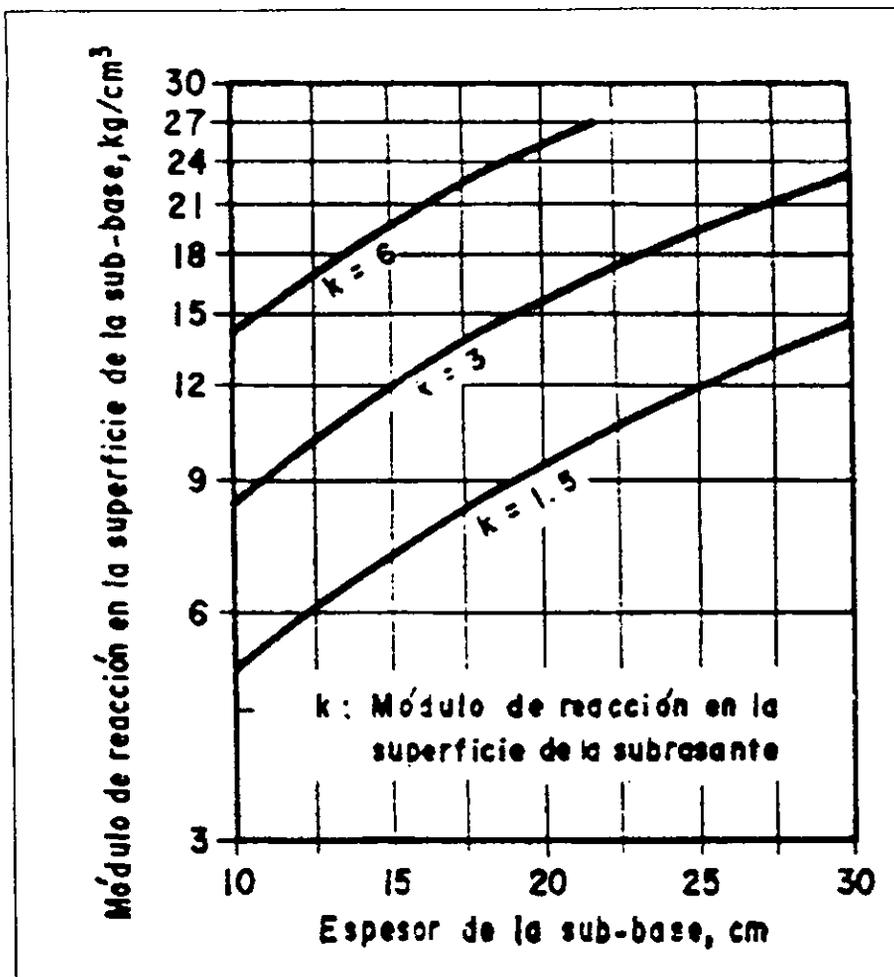


Figura 16. Gráfica para obtener el valor de "k" de la sub-base, en base al valor "K" de la subrasante. Para sub-bases estabilizadas con cemento.

Una forma indirecta de obtener el valor "k" es por medio de la tabla de las páginas 20 y 21 que relaciona al S.U.C.S., al módulo de reacción "K" y al valor relativo de soporte "V.R.S."

1.2.2.2. Esfuerzos en el Concreto.

Cuando una carga transita sobre una losa de concreto, sin una base estable; causa deflexiones en la losa y produce fuerzas de compresión y tensión al mismo tiempo, debido a la manifestación de estas fuerzas es imprescindible la valuación de la fuerza de tensión para determinar la cantidad y forma de colocación del acero de refuerzo. Sin embargo en el caso que nos ocupa la losa de concreto cuenta con una base estable, que al recibir la carga no se deformará; en éste caso no se presentarán esfuerzos dentro de la estructura haciendo la valuación de los esfuerzos de tensión y compresión menos importantes y solo haciendo imprescindible la valuación de la resistencia a la flexión del concreto simple.

La resistencia a la flexión del concreto se determina ensayando vigas de concreto simple en máquinas que aplican cargas en los tercios del claro de una viga de tal forma que las fuerzas

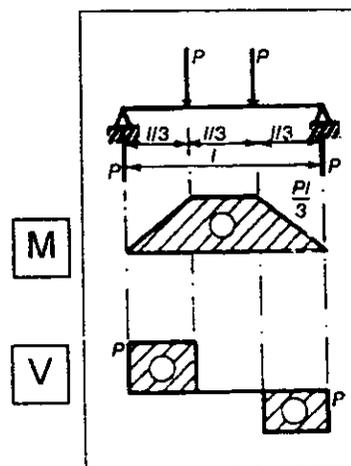
sean perpendiculares a las caras horizontales de la viga y se distribuyan en todo el ancho la maquinaria, la prueba de resistencia a la flexión debe cumplir con lo establecido por la "Norma Mexicana" NMX-CH-27 o la norma "American Society For Testing and Materials" ASTM C 78 "Método estándar de prueba para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simplemente apoyada con carga en el tercio medio del claro)", los especímenes deben cumplir con lo establecido por la NMX-C-159 y la NMX-C-160 (ASTM C 31) "Método para la fabricación y curado en el campo de muestras de concreto para pruebas de resistencia a la compresión y flexión". Según la NMX-C-191 "Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios":

- La longitud del espécimen debe tener un claro entre apoyos de 3 veces el peralte con una tolerancia de $\pm 2\%$.
- Las caras del espécimen deben estar en ángulo recto con las caras horizontales y todas las superficies deben ser lisas y libres de bordes.
- La muestra debe ser cuando menos de 3 especímenes de una misma batchada para ensayar a la edad del proyecto.

Se deben curar dos grupos de muestras. El grupo 1 es para verificar la eficacia del diseño efectuado en el laboratorio para el proporcionamiento y mezclado en la obra. El grupo 2 es para verificar la eficacia del curado y otras condiciones de trabajo; debe fabricarse un mínimo de dos vigas de cada grupo. Las vigas del grupo 1 deben fabricarse al iniciarse una obra o cuando se efectúen cambios importantes en los materiales o en el proporcionamiento. Las vigas del grupo 2 deben fabricarse en número suficiente para llevar a cabo el control de calidad de la obra; por ejemplo, dos series cada día para obras que se construyen con rapidez y una serie para obras que se realizan a un ritmo bajo o moderado.

Diagrama de la Prueba.

Figura 1.7. Diagrama de la determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios.



Procedimiento de la Prueba.

1. Se debe colocar el espécimen sobre la maquinaria.
2. Los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen en los sus tercios.
 - a) Se deben usar tiras de cuero cuando la superficie de los especímenes en contacto con los bloques de aplicación de carga, se aparten no más de 0.5mm.
 - b) Las tiras de cuero deben ser de un espesor de 5 a 7mm con un ancho de 25 a 50mm y cubrir el ancho del espécimen.
 - c) La carga debe ser aplicada a una velocidad uniforme que no exceda de 10kg/cm²/min.

Cálculo de la Resistencia a la Flexión.

La fractura se debe presentar en el tercio medio del claro y el módulo de ruptura se calcula como sigue:

$$f_r = \frac{P L}{b d^2}$$

En donde:

f_r = Módulo de Ruptura en kg/cm²

P = Carga máxima en kg.

L = Distancia entre los apoyos en cm.

b = Ancho promedio del espécimen en cm.

d = Peralte promedio del espécimen en cm.

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, el " f_r " se calcula como:

$$f_r = \frac{3P a}{b d^2}$$

En donde:

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga en cm.

Si la fractura ocurre en más del 5% del tercio medio se desecha el resultado de la prueba.

Así, también hay que considerar que el esfuerzo teórico de tensión en la fibra inferior correspondiente a la ruptura se calcula mediante la expresión:

$$f_r = \frac{M c}{I}$$

En donde:

f_r = Módulo de ruptura.

M = Momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada.

c = Medio peralte.

I = Momento de inercia de la sección transversal de la viga.

Esta prueba proporciona una medida de la tensión debida a la flexión. Se ha observado que el esfuerzo máximo de ruptura en flexión depende, entre otras variables de la resistencia a la compresión, de la relación peralte a claro y de las condiciones de curado.

El A.C.I. recomienda las siguientes ecuaciones para calcular la resistencia a flexión en términos de la resistencia a compresión, como:

$$f_r = 2\sqrt{f_c} \quad \text{Para concreto tipo 1}$$

$$f_r = 1.4\sqrt{f_c} \quad \text{Para concreto tipo 2}$$

Las tablas 1.2. y 1.3. muestran las principales propiedades de los concretos tipo1 y tipo 2, dependiendo de su resistencia a la compresión.

Tabla 1.2 Principales Propiedades del Concreto tipo 1.

Resistencia a compresión	Resistencia nominal a compresión	Resistencia a tensión	Resistencia a tensión por flexión	Resistencia nominal a tensión	Resistencia nominal a tensión por flexión	Módulo de elasticidad
" f_c "	" f'_c "	" f_t "	" $f_f = f_r$ "	" f_t "	" f_f "	" E "
300	240	25.98	34.64	18.59	24.79	242487.11
350	280	28.06	37.42	20.08	26.77	261916.02
400	320	30.00	40.00	21.47	28.62	280000.00

Tabla 1.3 Principales Propiedades del Concreto tipo 2.

Resistencia del concreto a compresión	Resistencia nominal a compresión	Resistencia a tensión	Resistencia del concreto a tensión por flexión	Resistencia nominal a tensión	Resistencia nominal a tensión por flexión	Módulo de elasticidad
" f_c "	" f'_c "	" f_t "	" $f_f = f_r$ "	" f_t "	" f_f "	" E "
300	240	20.78	24.25	13.94	17.04	138564.06
350	280	22.45	26.19	15.06	18.41	149666.30
400	320	24.00	28.00	16.10	19.68	160000.00

1.2.2.3. Naturaleza y Frecuencia de las Cargas Actuantes.

En el caso de losas de concreto de pisos industriales, la naturaleza y frecuencia de las cargas varían principalmente según la actividad a la que se vaya a someter el piso. Para efectos de diseño, no resulta práctico tratar cada actividad como un caso particular, es más conveniente realizar una clasificación en base al TIPO DE CARGAS DE DISEÑO que actúen sobre la losa. A continuación se enuncia dicha clasificación:

1. *MÓVILES.*
2. *ESTÁTICAS CONCENTRADAS.*
3. *ESTÁTICAS DISTRIBUIDAS.*
4. *INUSUAL*

Las estimaciones del tránsito y sus características son factores importantes en el diseño del espesor de un piso, ya que es uno de los dos factores que determinan el F.S. a utilizar. Los datos sobre el tipo de vehículos que transitarán la losa, incluyendo las magnitudes de carga, configuración de las ruedas y frecuencias de carga, pueden ser obtenidas en los departamentos de mantenimiento de las plantas, en los departamentos de planeación y operación o con los fabricantes de los vehículos. La frecuencia de la carga es el segundo factor que determina el F.S. a utilizar, está en función del tipo de carga de que se trate, es decir, una carga móvil se presentará con mayor frecuencia que una carga inusual. También la movilización de una carga estática concentrada será menos frecuente que la movilización de una carga estática distribuida.

1.2.3. Capas de Apoyo.

La preocupación por ofrecer a las losas de concreto un apoyo data de 1952, antes las losas se colocaban sobre el suelo natural, dotado a lo mas de una capa subrasante, pero sin tomar en cuenta el material en contacto. La industrialización incrementó el tránsito y magnitud de cargas que puso de manifiesto la necesidad de contar con un apoyo para las losas de concreto.

1.2.3.1. Factores de Diseño para las Capas de Apoyo.

Para diseñar las capas de apoyo, la sub-base o la subrasante, deben proveer un apoyo uniforme a la losa de concreto y deben controlarse tres factores:

- (1) Suelos Expansivos.
- (2) Bombeo.
- (3) Congelación.

1. Suelos Expansivos

Los suelos expansivos producen contracciones y expansiones diferenciales que ocasionan que el apoyo no sea uniforme. Como resultado, las losas de concreto pueden llegar a deformarse lo suficiente como para deteriorar la transmisión de cargas a las capas de apoyo. Cuando se trabaje sobre suelos expansivos se debe evitar:

1. Que los suelos expansivos sean compactados cuando están demasiado secos o que se permita que sequen antes de colocar la losa, ya que la expansión o contracción sucesiva puede ocasionar deterioro en la losa.
2. Que la losa de concreto se coloque sobre suelos expansivos con altos grados de humedad, ya que las subsiguientes contracciones y expansiones provocan depresiones y ondulaciones en las losas. Como se observa en la figura 1.7.

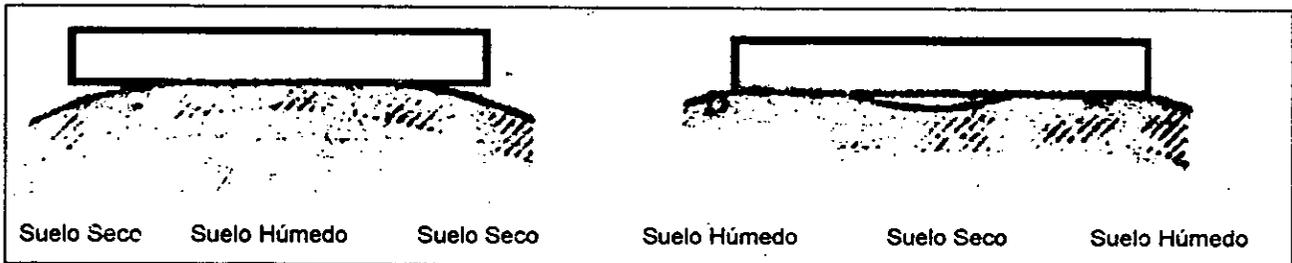


Figura 1.7. Contracciones y expansiones sobre un suelo expansivo que provocan depresiones y ondulaciones en las losas rígidas

Una forma segura para poder identificar un suelo expansivo pueden ser las pruebas: AASHTO T116 (ASTM DL883) y ASTM D4546, D4829 y en particular la prueba ASTM D3152 que es apropiada para evaluar el cambio de volumen de suelos de subrasante. Otra forma de poder identificar a un suelo expansivo es por medio de su índice de plasticidad ($IP = LL - LP$), como se observa en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Tabla para identificar a un suelo expansivo, por medio de su índice de plasticidad

Grado de Expansión	Porcentaje de Expansión	Índice de Plasticidad aproximado
No Expansivo.	2% ó menos	0 a 10
Moderadamente Expansivo	2% a 4%	10 a 20
Altamente Expansivo.	Más de 4%	Más de 20

ADEMÁS, LOS SUELOS SUFICIENTEMENTE EXPANSIVOS QUE PUEDEN OCASIONAR DEFORMACIÓN EN LAS LOSAS SON, SEGÚN EL AASHTO, LOS SUELOS DEL GRUPO A-6 O A-7. PARA EL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN S.U.C.S. LOS SUELOS EXPANSIVOS SON LOS DEL TIPO CH, MH, Y OH.

En los casos en los que sea imposible el mejoramiento de suelos, ya sea por cuestiones de costo o bien de que no se disponga de un banco que provea el material requerido para el mejoramiento del suelo, los cambios de volumen del suelo pueden ser reducidos con sobrecargas, poniendo suelos más expansivos en las partes inferiores de las capas de apoyo (subrasante o sub-base) y suelos menos expansivos para la parte superior.

Si el abastecimiento de suelos no expansivos es costoso, puede ser más económico mejorar los suelos expansivos existentes, con cemento o cal, que reduce sus propiedades expansivas. También los cambios de volumen son minimizados con controles de humedad y de densidad durante la compactación, es importante compactar suelos altamente expansivos del 1% al 3 % arriba la humedad óptima, según AASHTO T99. Donde los terraplenes son de altura considerable, la humedad del compactado puede aumentarse, ligeramente adelante del óptimo en la parte más alta.

2. Congelación

Los efectos de congelamiento no se tratarán, ya que México, no presenta temperaturas de congelamiento que puedan ser consideradas como un factor de daño considerable para la subestructura.

3. Bombeo

El bombeo es un efecto especial de los pisos rígidos y OCURRE CUANDO LA CARGA DEL TRÁNSITO PASA SOBRE UNA JUNTA O GRIETA DE LA LOSA, ÉSTA DESCENDE Y TRANSMITE PRESIÓN AL MATERIAL BAJO ELLA. SI EL SUELO ESTA MUY HÚMEDO O SATURADO, LA MAYOR PARTE DE LA PRESIÓN LA TOMARÁ EL AGUA, QUE ESCAPARÁ POR LA GRIETA O JUNTA. DESPUÉS DE PASAR LA CARGA, LA LOSA SE RECUPERA Y SE LEVANTA, ESTE MOVIMIENTO PRODUCE UNA SUCCIÓN QUE AYUDA AL MOVIMIENTO DEL AGUA BAJO LA LOSA. Si el agua tiene la capacidad de arrastrar partículas del suelo, saldrá sucia, creando un vacío bajo la losa que se irá acentuando, el remoldeo que produce este efecto hace que en el suelo se forme un lodo o suspensión, que ocasiona que la losa se quiebre por la falta de sustentación. Para que exista bombeo es preciso que el material de soporte de la losa sea muy fino sobre todo del tipo CH y que este muy humedecido o saturado, además como condición indispensable es que se produzca un gran número de repeticiones de carga, en orden de

susceptibilidad siguen los suelos CL , MH y ML. De igual manera si los suelos en que se apoya la losa son granulares y no han sido suficientemente compactados (al 100% mín. de la prueba AASHTO T99), puede producirse en ellos un fenómeno similar al bombeo combinado con densificación de efectos destructivos similares

En el diseño de losas de concreto para evitar el bombeo deben considerarse los siguientes puntos:

1. No se requiere que las sub-bases impidan daño por bombeo, cuando están diseñadas para llevar no más de 100 a 200 camiones por día,
2. Para volúmenes moderados de tránsito pesado, son apropiados los suelos con menos de 45% de material que pasa la malla No. 200 y con un índice plástico de 6 o menos.
3. Las características de las sub-bases que impiden el bombeo en las losas que soportan volúmenes de tránsito más grandes, se mencionan en la AASHTO M155 y se tiene las siguientes:
 - El material para las sub-bases bajo losas concreto puede componerse de arena-grava o piedra triturada.

Pero con los siguientes requerimientos:

- | | |
|---------------------------------------|--|
| • Tamaño máximo : | No más que la tercera parte de el espesor de la sub-base |
| • Material que pasa la malla No. 200: | 15% máximo. |
| • Índice de plasticidad: | 6 máximo. |
| • Límite líquido: | 25 máximo. |

LA RECOMENDACIÓN PRINCIPAL PARA DISEÑAR SUBRASANTES Y SUB-BASES PARA PISOS DE CONCRETO ES QUE UNA SUB-BASE DE MATERIAL MÁS GRUESO, QUEDE SOBRE UNA SUBRASANTE DE MATERIAL MÁS FINO, PARA IMPEDIR LA INCRUSTACIÓN. POR EJEMPLO, SI SE TRABAJA CON MATERIALES COMO ARENA Y GRAVAS , DE ACUERDO A LO ANTERIOR , DEBERÁ DE COLOCARSE COMO SUBRASANTE A LA ARENA Y COMO SUB-BASE A LAS GRAVAS.

1.2.3.2. Especificaciones de Diseño para el Suelo Natural, Subrasantes y Sub-bases.

Para poder garantizar la capacidad de carga y la vida útil de las losas de concreto que conforman a un piso industrial , es indispensable un diseño y construcción apegados a las especificaciones dispuestas para tal efecto.

Como se ha venido mencionando, el objetivo principal de una capa de apoyo está en proporcionar un apoyo uniforme, sin cambios bruscos en el grado de apoyo, además de que conserve sus características de transmisión de carga a las capas subyacentes a lo largo de la vida de servicio.

Pruebas hechas por la P.C.A. (Portland Cement Association) en losas de concreto muestran que las cargas más pesadas se distribuyen sobre la capa de apoyo y no ocasionan presiones altas, para mostrar esto, la presión sobre la losa para una carga de 30.5 ton, es de 7.5 kg/cm² y al llegar a la subrasante se reduce a presiones de un rango entre .22 kg/cm² a .5 kg/cm².

Suelo Natural

El suelo natural es el terreno de desplante , en el caso de que esta capa de suelo cuente con las características de granulometría, consistencia y comportamiento necesarios para una sub-base, la losa de concreto puede construirse sobre ésta, en caso contrario se debe proyectar la construcción de una subrasante que mejore las características del suelo natural.

Las consideraciones para el suelo natural son:

1. El suelo natural debe estar libre de plantas, basuras o escombro (desmante).
2. El proyecto debe evitar la construcción sobre suelos con altos contenidos orgánicos y turbas.
3. En el caso de que la capa de suelo sea de mala calidad es decir, que se trate de suelos lodosos o expansivos, se puede mejorar con el uso de cal o con material de mejor calidad de algún banco cercano.
4. Otra forma de mejoramiento puede ser el retirar el material hasta la profundidad donde las características del suelo mejoren.

Subrasante

La subrasante es una capa de apoyo material granular seleccionado , sobre la que se construye la losa (si reúne las características para una sub-base) o sobre la cual se proyecta la construcción de una sub-base. La preparación del subrasante incluye:

1. Seleccionar los materiales evitando suelos lodosos.
2. Uso de suelos de mejor calidad más cerca a la cima de la subrasante.
3. Mejorar suelos pobres con cal o con suelos importados de calidad superior.

4. Especificar una profundidad mínima de subrasante de 30 cm.
5. Establecer un valor "k" mínimo de 3 kg/cm³.
6. Para la construcción se deben seguir las siguientes recomendaciones en cuanto a los materiales:
 - El tamaño máximo de partícula es de hasta 1/3 del espesor de la subrasante; pero nunca mayores a 51mm.
 - Debe evitarse el uso de suelos finos.
 - El porcentaje de material que pasa la malla 200 debe ser de máximo 25%.
 - El índice de plasticidad no debe ser mayor a 10.
 - El límite líquido no debe ser mayor a 30%.
 - Establecer una densidad mínima de 95% de la prueba AASHTO T99.
 - Establecer un valor relativo de soporte de 20% mínimo.

Sub-bases

Una sub-base se define como la capa de material que yace debajo de las losas de concreto y sobre la capa de subrasante según sea el caso.

Cuando es necesaria la construcción de una sub-base, ésta tiene las funciones principales de:

1. Prevenir el bombeo.
2. Ayudar a controlar los cambios de volumen que pueda tener la subrasante.
3. Ayudar a reducir los cambios de volumen por congelamiento.
4. Proveer de una capa de drenaje donde se necesite.
5. Proveer de una base estable de trabajo para la losa.

Cuando el uso de una sub-base se considera apropiado, mejores resultados son obtenidos por:

1. Seleccionar los materiales de sub-base evitando los suelos lodosos, cuando no se logre evitar suelos lodosos especificar tratamientos con cemento, cal o materiales de mejor calidad, para proveer una sub-base que suministre un apoyo fuerte y uniforme para la losas y las juntas.
2. Especificar un espesor de sub-base mínima de 10.5 cm.
3. En condiciones de susceptibilidad a la expansión en los materiales del suelo natural o de la capa subrasante, pueden ser necesarios espesores de 20 cm o mayores
4. Especificar una sub-base permeable, para losas con volúmenes altos de tránsito.
5. Especificar un valor de "k" mínimo de 5 kg/cm³.

6. Para la construcción se deben seguir las siguientes recomendaciones en cuanto a los materiales:

- El tamaño máximo de partícula es de hasta 1/3 del espesor de la sub-base; pero nunca mayores a 51mm.
- Debe evitarse el uso de suelos finos y arenas.
- El porcentaje de material que pasa la malla 200 no debe ser mayor a 15%.
- El índice de plasticidad no debe ser mayor a 6.
- El límite líquido no debe ser mayor a 25%.
- Establecer una densidad mínima de 100% de la prueba AASHTO T99.
- Establecer un valor relativo de soporte de 40 %mínimo.

La tabla siguiente muestra la clasificación S.U.C.S. , clasificaciones para terraplenes, sub-bases y subrasantes.

Signo	Descripción	Cap. de carga Kg/c m ²	K (kg/cm ³) y V.R.S. (%)		Compactación y Maquinaria.	Cambio de volumen	Como Terraplén	Como Subrasante	Como Sub- base	Drenaje
GW	Grava o grava-arena, bien graduada con pocos o sin finos	4.89	7	40	Buena. Rodillos vibratorios o neumáticos.	Nula	Muy estable	Excelente	Muy buena	Permeable Muy buena
GP	Grava o grava-arena, mal graduada con pocos o sin finos	4.89	7	30	Buena. Rodillos vibratorios o neumáticos.	Nula	Estable	Buena a excelente	Regular	Permeable Muy buena
GM	Grava limosa, mezcla grava-arena-limo	2.45	5	20	Buena. Rodillos neumáticos o pata de cabra	Ligera	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Semipermeable Drenaje pobre
GC	Grava arcillosa, mezcla grava-arena-arcilla	2	5	20	Buena o regulares. Rodillos neumático o pata de cabra	Ligera	Estable	Buena	Regular a buena	Impermeable Mal drenaje.
SW	Arena o arena-grava, bien graduada, con pocos o nada de finos	3.7	5	20	Buena. Rodillos vibratorios o neumáticos.	Nula	Muy estable	Buena	Regular a mala	Permeable Buen drenaje
SP	Arena o arena-grava, mal graduada, con pocos o nada de finos	3	4	10	Buena. Rodillos vibratorios o neumáticos.	Nula	Buena en estado compactado	Regular a buena	Mala	Permeable Buen drenaje
SM	Arena limosa, mezcla arena-limo	2	3	10	Buena o regulares. Rodillos neumático o pata de cabra	Ligera	Buena en estado compactado	Regular a buena	Mala	Impermeable. Mal drenaje.

Signo	Descripción	Cap. de carga Kg/c m ²	K (kg/cm ³) y V.R.S. (%)		Compactación y Maquinaria.	Cambio de volumen	Como Terraplén	Como Subrasante	Como Sub-base	Drenaje
			3	5						
SC	Arena arcillosa, mezcla arena-arcilla	2	3	5	Buena o regulares. Rodillos neumático o pata de cabra	Ligera a media.	Estable	Regular a buena	Regular a mala	Impermeable. Mal drenaje.
ML	Limos no orgánicos y arenas muy finas, arenas limosas o arcillosas o limos arcilloso plásticos.	.976	3	15 ó menos	Buena a malas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	Ligera a media.	Mala estabilidad, si no esta muy compacto	Regular a mala	No debe usarse	Impermeable. Mal drenaje.
OL	Limos orgánicos, suelos arenosos finos o limosos		1.5	5 ó menos	Regulares a malas. Rodillos neumático o pata de cabra	Media a alta.	Inestable y debe evitarse su uso.	Mala	No debe usarse	Impermeable. Mal drenaje.
MH	Limos orgánicos, suelos arenosos finos o limosos	.976	1.5	10 ó menos	Regulares a malas. Rodillos neumático o pata de cabra	Alta	Inestable y debe evitarse su uso.	Mala	No debe usarse	Impermeable. Mal drenaje.
CH	Arcillas no orgánicas de plasticidad elevada. Arcillas grasas	.976	1.5	15 ó menos	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	Muy alta	Regular. Debe vigilar la expansión	Mala o muy mala	No debe usarse	Impermeable. No drena.
OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada. Limos orgánicos.		0.7	5 ó menos	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	Alta	Inestable y debe evitarse su uso.	Muy mala.	No debe usarse	Impermeable. No drena.
P _i	Turba y otros suelos muy orgánicos.				No debe usarse.	Muy alta	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	Regular o mal drenaje.

1.2.4. Características de las Losas.

La losa de un piso industrial va a transmitir de manera uniforme las cargas aplicadas sobre ella a una capa de apoyo firme e indeformable. El material con el que se elabore la losa deberá de contar con propiedades que se mantengan a través del tiempo y cuyo costo sea mínimo en comparación con las ventajas que ofrezca.

Las losas que se diseñarán son losas de concreto simple por dos razones importantes:

1. Porque van a contar con un soporte uniforme.

2. Porque no se requieren espaciamientos de juntas muy grandes.

Solo se proyecta la construcción de un piso reforzado cuando:

- a) Sean necesarios espaciamientos grandes entre las juntas.
- b) Cuando el uso de juntas en el piso industrial sea inaceptable.

Las losas se construyen de concreto debido a que es un material que posee excelentes características de resistencia, elevada módulo de elasticidad "E", por su facilidad de elaboración y colocación en el lugar de destino y un mantenimiento bajo. Por estas características el concreto es el material más utilizado, ya que reduce en gran medida las presiones que actúan sobre las capas de apoyo. También deben de considerarse ciertas desventajas como son su elevado peso volumétrico, su agrietamiento por deformaciones o contracciones por temperatura , además de una falta de ductilidad . Pero sus ventajas resultan superiores a las desventajas , lo que hace al concreto uno de los materiales de construcción por excelencia para losas.

1.2.4.1. Controles de Diseño para Pisos Industriales.

Muchos tipos de fallas en los pisos son debidas a las cargas excesivas que producen fracturas, debido a grandes fuerzas de flexión , excesivas deflexiones, asentamientos debidos a grandes presiones en el suelo , múltiples cargas concentradas y por grandes esfuerzos cortantes.

El diseño del espesor de losas debe mantener todas las variantes que afectan el proceso de diseño dentro de los límites de seguridad, como pueden ser: a) momentos negativos en el área no cargada; b) fallas en las juntas; c) asentamientos; d) esfuerzos de flexión bajo la carga y e) esfuerzos cortantes en el concreto.

Por ejemplo, la flexión que provoca un montacargas será la variante que rija diseño del espesor de la losa. Un espesor adecuado de la losa puede mantener el esfuerzo a flexión debido a la carga dentro de un límite de seguridad y puede mantener las otras variantes mostradas en la figura 1.8. dentro un grado constante de seguridad. Así también para cargas distribuidas que cubren grandes áreas en zonas de almacenaje, los esfuerzos de flexión bajo la carga, serán las variantes de diseño, pero no son tan críticas como los esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa lejos de la carga, que pueden provocar una fractura en los pisos o pueden causar fallas en las juntas de la losa debidas a asentamientos diferenciales. También en algunos suelos la presión excesiva sobre él debida a cargas distribuidas puede resultar en asentamientos totales perjudiciales.

Los efectos que producen el tamaño de las áreas cargadas es ilustrado con las estanterías colocadas sobre la losa, sostenidos por la pierna o poste de estanterías de almacenaje. Si la base del poste no tiene un tamaño acorde con la magnitud de carga, la falla en la losa será debida a esfuerzos cortantes, dejando fuera a cualquier otro tipo de causas. Ocurre lo contrario, cuando la

base es de un tamaño acorde con la magnitud de carga, tal que prevenga fallas por cortante y entonces los esfuerzos de flexión se convertirán en la variante de diseño.

Todo lo mencionado se puede apreciar en la figura 1.8. de la siguiente pagina, que es solo una guía y no debe tomarse como regla de diseño.

Obviamente los límites entre las diferentes consideraciones de control de diseño no son exactas y pueden variar dependiendo de muchos factores , incluyendo el espesor de la losa , los esfuerzos en el concreto y la compresibilidad de la capa de apoyo. Por otro lado, para valores de áreas de contacto entre o aproximadas a los límites mostrados , la variante más desfavorable debe considerarse para que rija el proceso de diseño.

De acuerdo a lo anterior , es lógico orientar el diseño de las losas hacia los esfuerzos de flexión , pues resultan ser los más críticos, por otra parte, siempre existirán casos en los que la variante de diseño sea de otra índole. En las losas de concreto simple, la flexión se encuentra acompañada de esfuerzos cortantes , sin embargo la resistencia a la flexión puede estimarse con suficiente precisión despreciando el efecto de los esfuerzos cortantes.

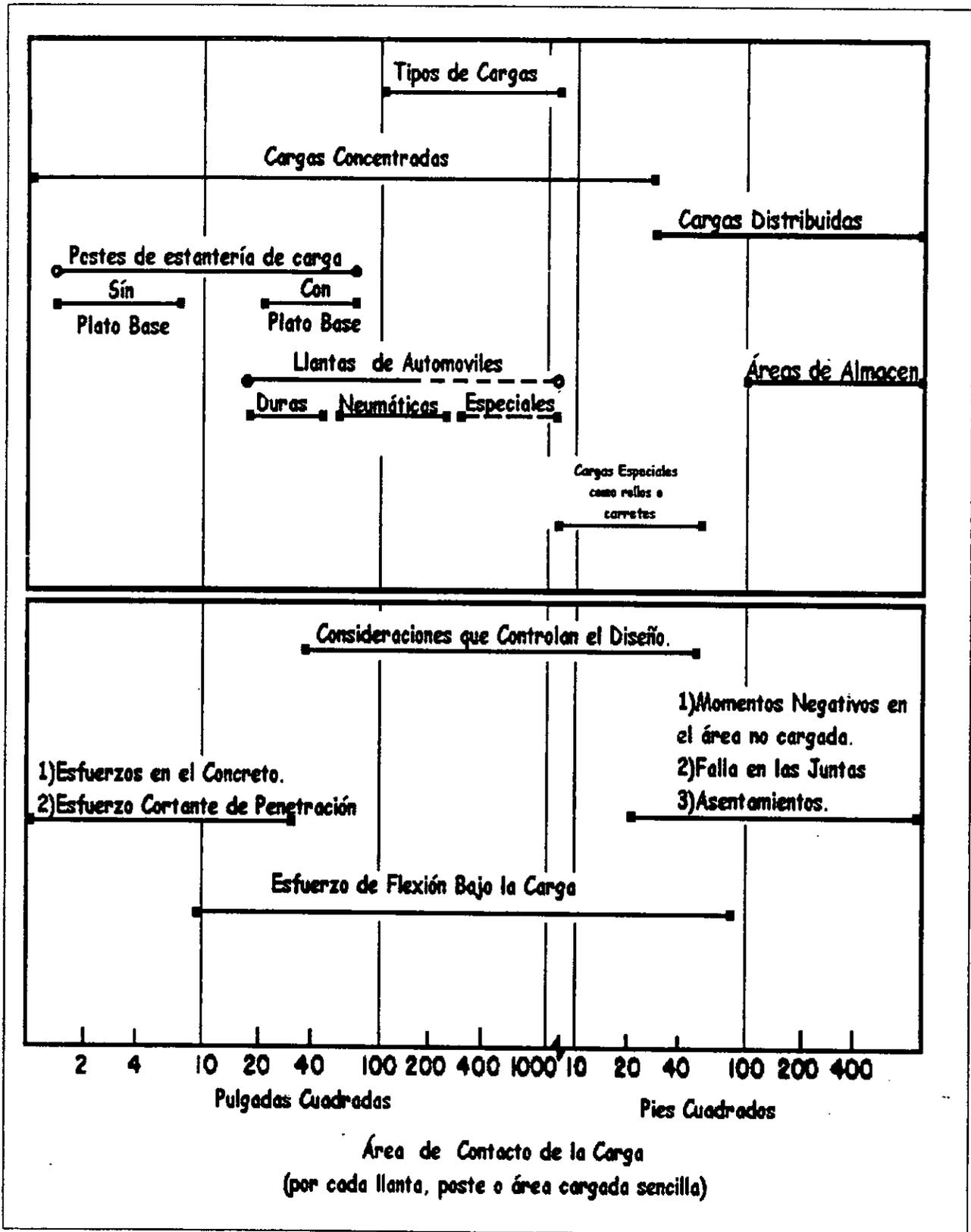


Figura 1.8. Controles de diseño para la construcción de pisos industriales.

El piso industrial es una estructura que proporciona una superficie uniforme de tránsito y rodamiento que puede permitir la circulación de vehículos pesados sin sufrir deterioro y transmite a la capa de apoyo las cargas impuestas para llegar al suelo natural con cargas que no excedan su capacidad de soporte. Los pisos industriales tratados están constituidos por losas de concreto simple debido a que:

1. Van a contar con un soporte uniforme.
2. Por que no se requieren espaciamentos de juntas muy grandes.

El piso industrial debe estar sustentado por una base estable resistente que procure una transmisión de carga uniforme en la que se debe evitar suelos expansivos y efectos de bombeo. En los pisos industriales existen diversos factores para el diseño del espesor, de los que podemos distinguir los tres tipos de cargas más frecuentes (móviles, estáticas concentradas y distribuidas) así como los parámetros que rigen el diseño y son:

1. **Los esfuerzos en la capa de apoyo.** La valuación de los esfuerzos en la capa de apoyo se obtiene a través del módulo de Westergaard o módulo de reacción de la capa de apoyo. Es un factor vital para el análisis y el diseño del espesor de la losa.
2. **Esfuerzos en el concreto.** Cuando una carga transita sobre una capa de concreto simple, causa deflexiones en la losa y produce fuerzas de compresión y tensión al mismo tiempo, para poder determinar el espesor de la losa se debe tomar en cuenta las fuerzas de tensión, pero en nuestro diseño es imprescindible conocer la resistencia a la compresión del concreto simple, que se puede determinar ensayando vigas de concreto simple en máquinas que aplican cargas en los tercios de una viga como recomienda la norma ASTM C-78 ó como lo recomienda el ACI en términos de la resistencia en compresión.
3. **Naturaleza y frecuencia de las cargas.** En el caso de losas de concreto para pisos industriales, la naturaleza y frecuencia de las cargas varían según la actividad a la que se vaya a someter la losa para efectos de diseño .La naturaleza determina (en el caso de cargas móviles) el tipo de vehículo, configuración de ejes , presión de llantas, cargas máximas que pueda transportar , área de apoyo de platos base y separación entre piernas (para el caso de cargas estáticamente concentradas) . La frecuencia determina el factor

de seguridad que se ha de utilizar en el diseño del espesor de la losa. La naturaleza y frecuencia de las cargas no tiene gran significación para el diseño de cargas estáticas distribuidas debido a que para su diseño se presentan tablas preestablecidas en relación de la resistencia del concreto a la compresión, a los esfuerzos en la capa de apoyo y a un espesor en centímetros.

Capítulo Segundo.

Diseño del Espesor y Juntas en Pisos Industriales de Concreto.

Capítulo Segundo: Diseño del espesor y juntas en los Pisos Industriales de Concreto.

Objetivo : Establecer una metodología para el diseño de espesores de losas de concreto simple así como el diseño adecuado de sus juntas para distintas áreas de trabajo.

2.1. Diseño del Espesor de la Losa.

Como ya se comentó en el capítulo anterior, los procedimientos para diseño de espesores varían principalmente según la actividad a la que se vaya a someter la losa y para efectos de diseño, no resulta práctico tratar cada actividad como un caso particular, es más conveniente realizar una clasificación en base al **tipo de cargas de diseño** que actúen sobre la losa. A continuación se enuncia dicha clasificación:

1. **MÓVILES.** Como cargas móviles se pueden distinguir a aquellas que provienen de los neumáticos de camiones de carga , montacargas y grúas viajeras.
2. **ESTÁTICAS CONCENTRADAS .** Este caso se encuentran aquellas cargas debidas a estantería y áreas de almacenaje.
3. **ESTÁTICAS DISTRIBUIDAS.** Como las cargas debidas a materiales colocados sobre el piso de concreto abarcando una superficie lo bastante grande para considerar la carga distribuida.
4. **INUSUALES.** Debe también considerarse aquellas cargas extraordinarias debidas a configuraciones de neumáticos poco comunes , equipos especiales ,etc.

El espesor de la losa es el factor más importante para el correcto desempeño de la losa, durante su vida útil. Del espesor depende la cantidad de esfuerzo que será transmitido a las capas de apoyo y determina la flexión que sufrirá la losa.

El diseño del espesor es propuesto por la Portland Cement Association (PCA), sin embargo existen otros métodos alternativos para el cálculo del mismo. Se eligió el diseño PCA por la facilidad que presenta el manejo de gráficas, en las que se obtienen en poco tiempo y sin cálculos complejos el espesor de la losa de piso para cargas en áreas de carga y descarga, y para áreas de almacenaje y tránsito. Para el diseño del espesor de losa de concreto para cargas móviles y concentradas es necesario contar con datos, que deben calcularse o considerarse lo mejor posible, ya que un dato impreciso puede proporcionar un espesor sobrediseñado o subdiseñado.

2.1.1. Método de Diseño para Cargas Móviles.

El procedimiento de diseño del espesor de losa para cargas móviles se basa en el tránsito de montacargas e involucra conceptos específicos de carga, como:

1. Carga máxima por eje.
2. Número de repeticiones de carga.

3. Área de contacto entre llanta y piso.
4. Espaciamiento entre las ruedas de los ejes más cargados.
5. Esfuerzos en la sub-base y la subrasante.
6. Resistencia a la flexión del concreto.

Las estimaciones del tránsito son un factor importante para el diseño del espesor de un piso. Los datos sobre el tipo de vehículos que transitarán la losa, incluyendo las magnitudes de carga, configuración de las ruedas y frecuencias de carga, pueden ser obtenidas en los departamentos de mantenimiento de las plantas, en los departamentos de planeación y operación o por medio de los fabricantes de montacargas, con esta información y con un factor de seguridad, podemos obtener el esfuerzo límite de trabajo.

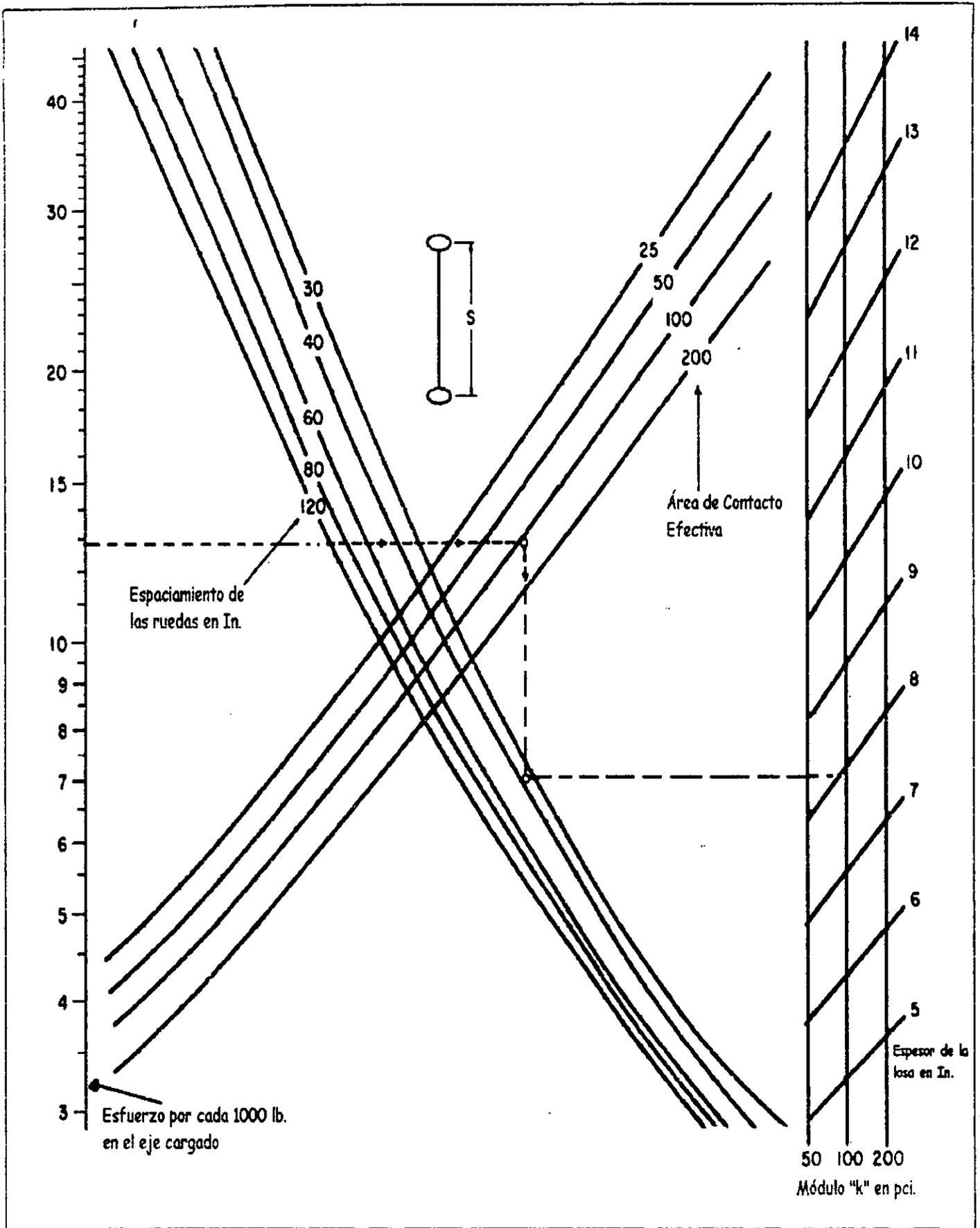
El factor de seguridad depende de la frecuencia de carga, debida a los montacargas más cargados. Para el diseño de losas de concreto se sugieren factores de seguridad entre 1.7 y 2.0. El límite mayor debe usarse cuando el tránsito de carga pesada sea frecuente y este canalizado. Cuando el tránsito sea ligero y no este canalizado pueden utilizarse factores de seguridad menores es decir entre 1.4 y 1.7.

Debido a que existen gran variedad de tamaños, ejes de carga y separaciones de ruedas, no es práctico proponer una carta de diseño para cada uno de los distintos tipos de vehículos, es por esto que se presentan las siguientes gráficas de diseño que pueden ser usadas para la condición más desfavorable que se presenta en las losas.

La gráfica 2.1. es usada para obtener el espesor de la losa de concreto, en el caso de montacargas equipados con ejes de ruedas simples. A la carta se entra con un esfuerzo límite de trabajo por 1,000 Lbs. de carga sobre eje. El esfuerzo permitido es calculado dividiendo el esfuerzo a flexión del concreto entre el factor de seguridad y luego dividiendo el resultado entre la carga sobre el eje en kips.

Para utilizar las gráficas de diseño y la realización de los cálculos se hacen necesarios los siguientes factores de conversión:

- 1 kips = 1,000 lbs.
- 1 lb = .453 kg.
- 1 in = 2.54 cm.
- 1 pci "k" = 0.0276853 kg/cm³.
- 1 psi = 0.070307 kg/cm².



Gráfica 2.1. Carta de diseño para ejes con ruedas sencillas.

En el caso de montacargas equipados con ejes de ruedas dobles, para obtener el espesor de la losa de concreto se hace necesario el uso de la gráfica 2.1. y de la gráfica 2.2.

Primero, la gráfica 2.2. es usada para convertir el eje de rueda doble a un eje de rueda simple equivalente, por medio de un factor de carga equivalente. En seguida la gráfica 2.1. es usada para determinar el espesor de la losa.

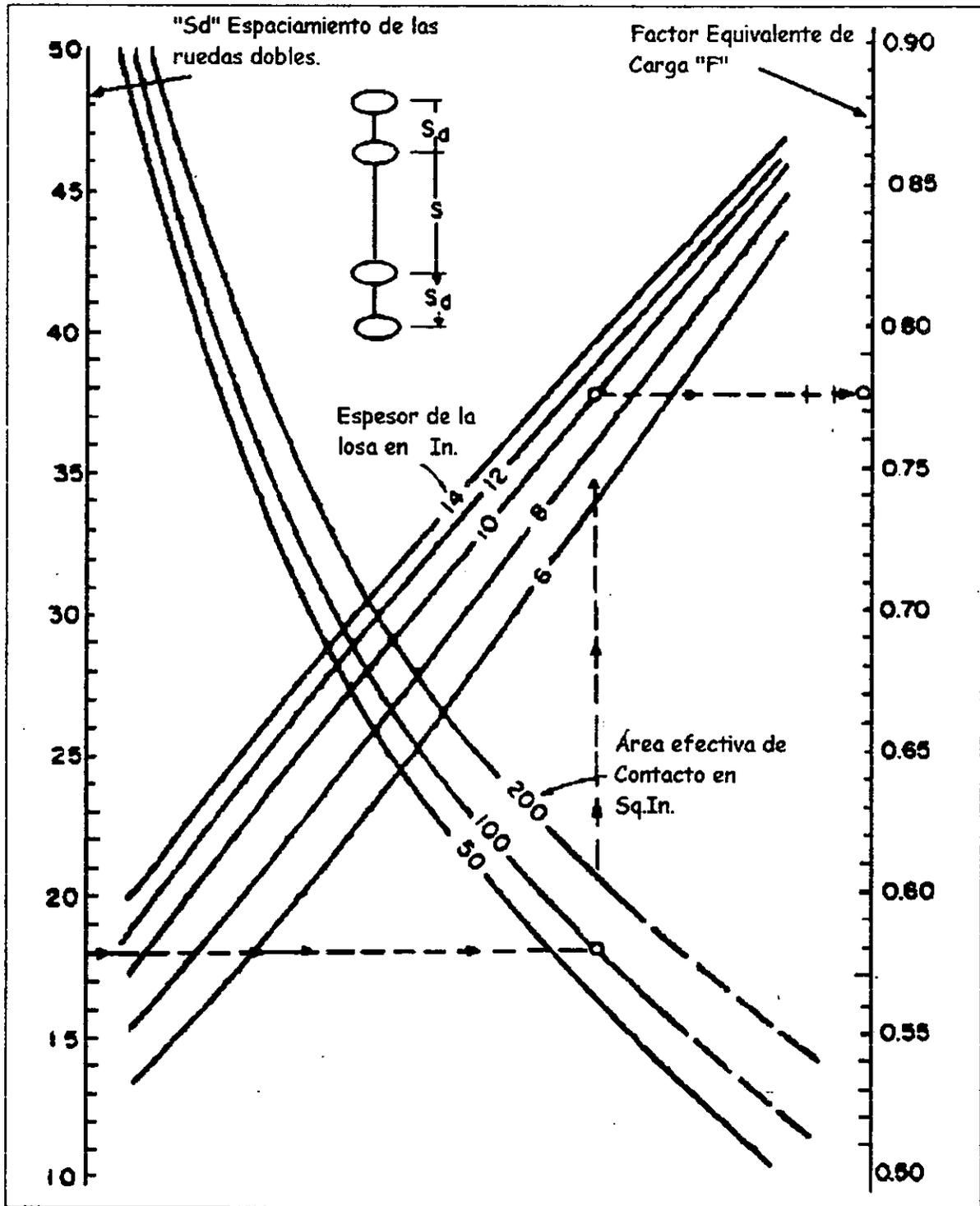
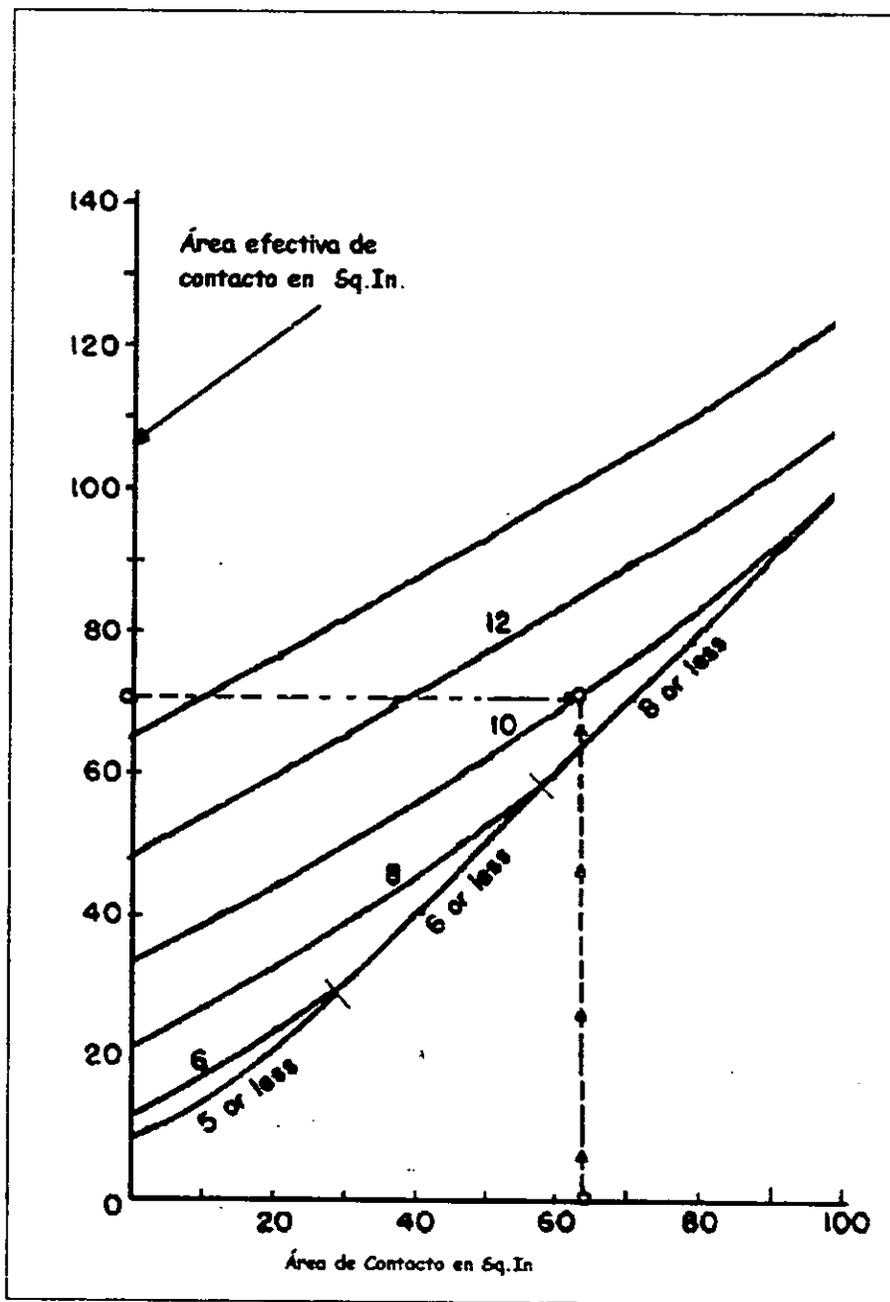


Figura 2.2. Gráfica de diseño para convertir el eje de rueda doble a un eje de rueda simple equivalente, por medio de un factor de carga equivalente.

El área de contacto, es el área de fricción entre la llanta del montacargas y la superficie de la losa. Si los datos de la llanta no están disponibles, el área de contacto puede ser estimada para llantas neumáticas dividiendo la carga en la rueda entre la presión de inflado y aproximadamente para llantas duras multiplicando su ancho por 3.

Cuando el área de contacto ha sido determinada, la gráfica 2.3. es usada para obtener el área efectiva de contacto que será usada en las gráfica 2.1. y 2.2. La razón de hacer esta corrección se debe a que los esfuerzos en la losa de piso para áreas de contacto pequeñas son sobrestimadas cuando se calculan sin corrección.



Gráfica 2.3. Gráfica para obtener el área efectiva de contacto dependiendo del espesor de la losa.

El siguiente ejemplo ilustra el uso de las gráficas 2.1. y 2.2. para el diseño del espesor de la losa con cargas móviles.

2.1.1.1. Ejemplo de Diseño del Espesor de Losa para Montacargas con Ejes Sencillos.

a) Datos del montacargas A , Eje sencillo

- Carga en el eje 25 Kips
- Espacio entre ruedas 37 In.
- Número de ruedas por eje 2
- Presión de inflado de la llanta 110 Psi.

$$\text{Área de contacto de la llanta} = \frac{\text{Carga en la rueda}}{\text{Presion de infaldo}} = \frac{25000 / 2}{110} = 114 \text{sq. in}$$

b) Datos de la capa de apoyo y del concreto.

- Módulo "K" de la capa de apoyo 100 pci.
- Esfuerzo a flexión del concreto 640 psi a 28 días.

c) Diseño.

- **Cálculo del factor de seguridad, F.S.**

Para frecuentes operaciones de estos montacargas en pisos con tránsito canalizado, seleccionar un factor de seguridad de 2.0, ya que permite un ilimitado esfuerzo por repetición.

- **Cálculo del esfuerzo de trabajo del concreto, W.S.**

$$W.S. = \frac{MR.}{F.S.} = \frac{640}{2.0} = 320 \text{psi}$$

- **Cálculo del esfuerzo en la losa por cada 1000 Lb. De carga en el eje.**

$$= \frac{W.S.}{\text{Carga en el eje (kips)}} = \frac{320}{25} = 12.8 \text{ psi.}$$

- **Uso de las gráficas de diseño**

Entrar a la gráfica 2.1. con esfuerzos de 12.8 psi. Desplazarse a la derecha hacia el área de contacto de 114 Sq.In., después bajar hacia el espaciamiento entre las ruedas de 37 In; en seguida desplazarse hacia la derecha sobre la línea de k=100, puede leerse que el espesor requerido de losa de 7.9 In. Por lo tanto se construirá una losa de 8 In. de espesor.

2.1.1.2. Ejemplo de Diseño del Espesor de Losa para Montacargas con Ejes Dobles.

a) Datos del montacargas B, Eje doble.

Carga en el eje 50 Kips
Espacio entre ruedas 18 X 40 X 18 In.
Número de ruedas por eje 4
Presión de inflado de la llanta 125 Psi.

$$\text{Área de contacto de la llanta} = \frac{\text{Carga en la rueda}}{\text{Presión de inflado}} = \frac{50000 / 4}{125} = 100 \text{ sq. in}$$

b) Datos de la capa de apoyo y del concreto.

Módulo "K" de la capa de apoyo 100 pci.
Esfuerzo a flexión del concreto 640 psi a 28 días.

c) Diseño.

- **Cálculo del factor de seguridad, F.S.**

El montacargas tipo "B" no lleva frecuentemente su carga máxima dentro del almacén, solo una o dos veces a la semana. Por lo tanto, es seleccionado un factor de seguridad cercano al límite bajo del rango, F.S.= 1.8

- **Cálculo del esfuerzo de trabajo del concreto, W.S.**

$$W.S. = \frac{M.R.}{F.S.} = \frac{640}{1.8} = 356 \text{ psi}$$

- En este caso se está calculando el espesor de la losa para un montacargas de ruedas dobles y es necesario el uso de la gráfica 2.2. Entrar a la gráfica 2.2. con el espacio entre las ruedas de 18 in.; desplazarse a la derecha hasta el área de contacto de 100 Sq.In, subir hasta el espesor de prueba de la losa, después desplazarse a la derecha hasta el factor de carga equivalente, "F", de 0.775. El equivalente de carga en eje de rueda simple, es el "F" veces la carga en el eje de rueda doble. (0.775 X 50 = 38.8 Kips.).

- **Cálculo del esfuerzo en la losa por cada 1000 Lb. De carga en el eje.**

$$= \frac{W.S.}{\text{Carga en el eje (kips)}} = \frac{356}{38.8} = 9.2 \text{ psi.}$$

- **Uso de las gráficas.**

Entrar a la gráfica 2.1. con esfuerzos de 9.2 psi. Desplazarse a la derecha hacia el área de contacto de 100 Sq.In., después subir hasta el espaciamiento entre las ruedas de 40 In; en

seguida desplazarse hacia la derecha hasta la línea de $k = 100$, puede leerse que el espesor de losa requerido es de 10 pulgadas.

Nota: Si se requiere que los montacargas transiten sobre juntas de aislamiento que no estén diseñadas para transmitir cargas, como las juntas en los claros de las puertas, el espesor del piso en dicha junta deberá aumentarse, aproximadamente en un 50% ,con una pendiente no mayor de 5% hasta llegar al espesor requerido.

2.1.2. Método de Diseño para Cargas Estáticas Concentradas.

En algunas plantas industriales y almacenes, la estantería es usada para almacenar productos o materiales. Si el estante esta cargado a su máxima capacidad inducirá esfuerzos en el piso debidos a la carga sobre los postes de soporte. Estas cargas concentradas pueden ser más severas que las ruedas de montacargas cargados circulando en la losa de piso industrial; por lo tanto si la existencia de estantería está contemplada, las cargas concentradas deben regir el espesor de la losa.

Para postes cargados, el propósito del diseño es mantener el esfuerzo a flexión en la losa dentro de los límites de seguridad. Cuando los requerimientos de flexión son satisfechos con un adecuado espesor de losa, las presiones en el suelo no son grandes; cuando se ha utilizado un adecuado tamaño del plato base , la carga en el concreto y los esfuerzos cortantes provocados no son excesivos. Para un tamaño inadecuado del plato base , la carga en el piso y los esfuerzos de corte resultan excesivos, aunque los esfuerzos de flexión no lo sean. El tamaño del plato base puede ser lo suficientemente grande para que los esfuerzos provocados por la carga en el piso permanezcan debajo de la carga máxima de servicio, QUE POR RECOMENDACIÓN, NO DEBE EXCEDER DE 4.2 VECES EL MÓDULO DE RUPTURA A 28 DÍAS O LA MITAD DE ÉSTE PARA CARGAS APLICADAS EN BORDES O ESQUINAS DE LAS LOSAS. Así , con un adecuado tamaño de plato base para controlar el esfuerzo producido por la carga y con un adecuado espesor de losa para controlar los esfuerzos de flexión , los esfuerzos cortantes no son considerables. Esta relación del esfuerzo cortante está basado en un esfuerzo cortante máximo de 0.27 veces el módulo de ruptura y la suposición de que la sección crítica para la cortante será la mitad de la profundidad de la losa desde la periferia del área cargada, excepto para cargas sobre las esquinas o los finales de las losas y cualquier sección a lo largo de la juntas de las losas .

Los factores de diseño para postes cargados son similares a los usados para montacargas cargados excepto en el uso de un factor de seguridad más alto. Los factores de diseño específicos son :

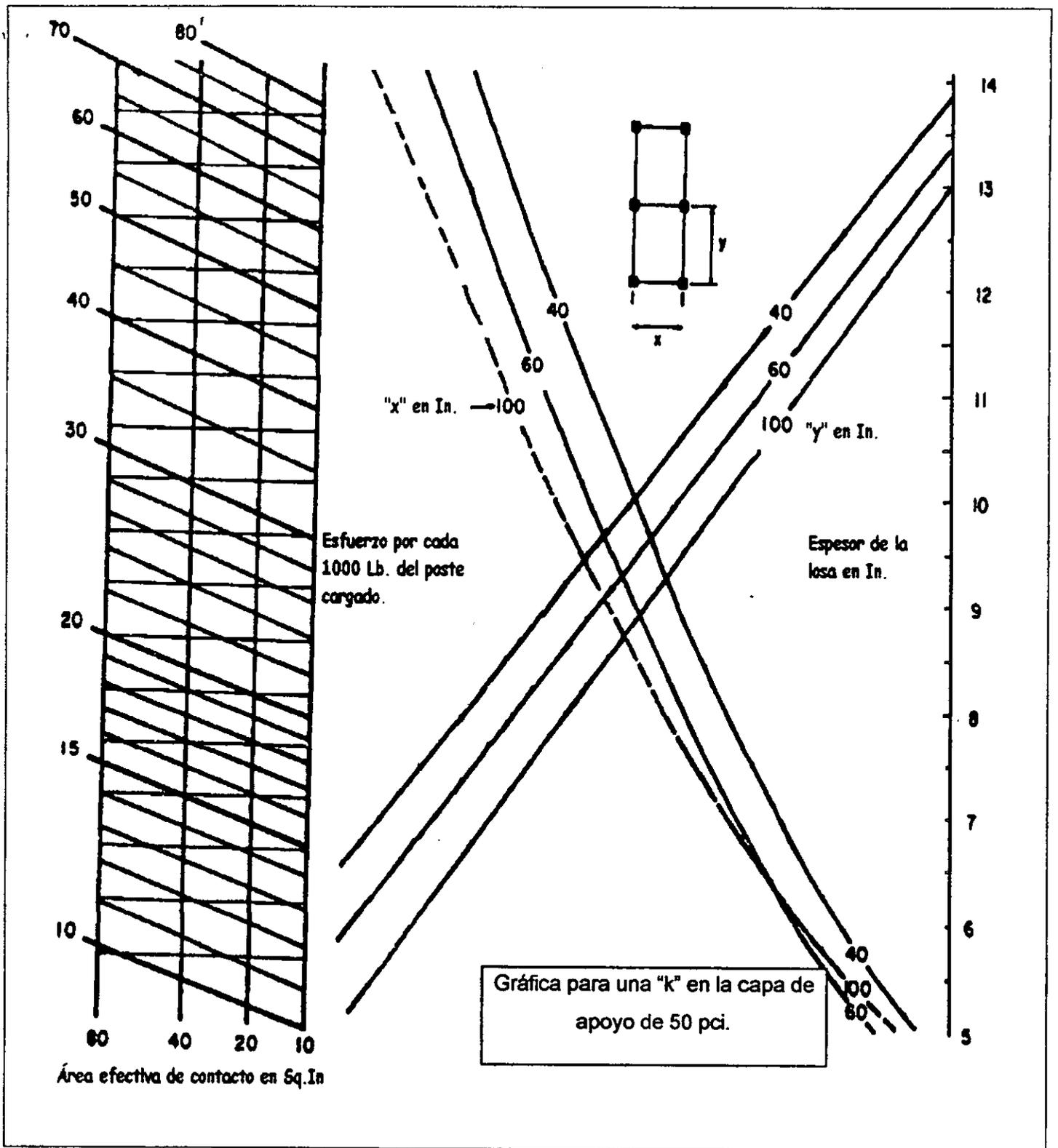
1. La máxima carga en el poste.
2. Área de contacto cargada.
3. Espacio entre los postes.
4. Esfuerzos en la sub-base y la subrasante.
5. Esfuerzos de flexión en el concreto.

Las gráficas 2.4., 2.5. y 2.6. son usadas para determinar el espesor de la losa requerido para valores de "k" de 50 , 100 y 200 pci., respectivamente. Las gráficas fueron desarrolladas para estimar los esfuerzos en la losa de piso para las dos configuraciones de postes equivalentes y para las condiciones de carga mostradas en la figura 2.7., representando estanterías continuas. En las gráficas 2.4., 2.5. y 2.6., el espaciamiento de los postes "y" es en la dirección longitudinal de la estantería continua y "x" es el espaciamiento transversal de los postes.

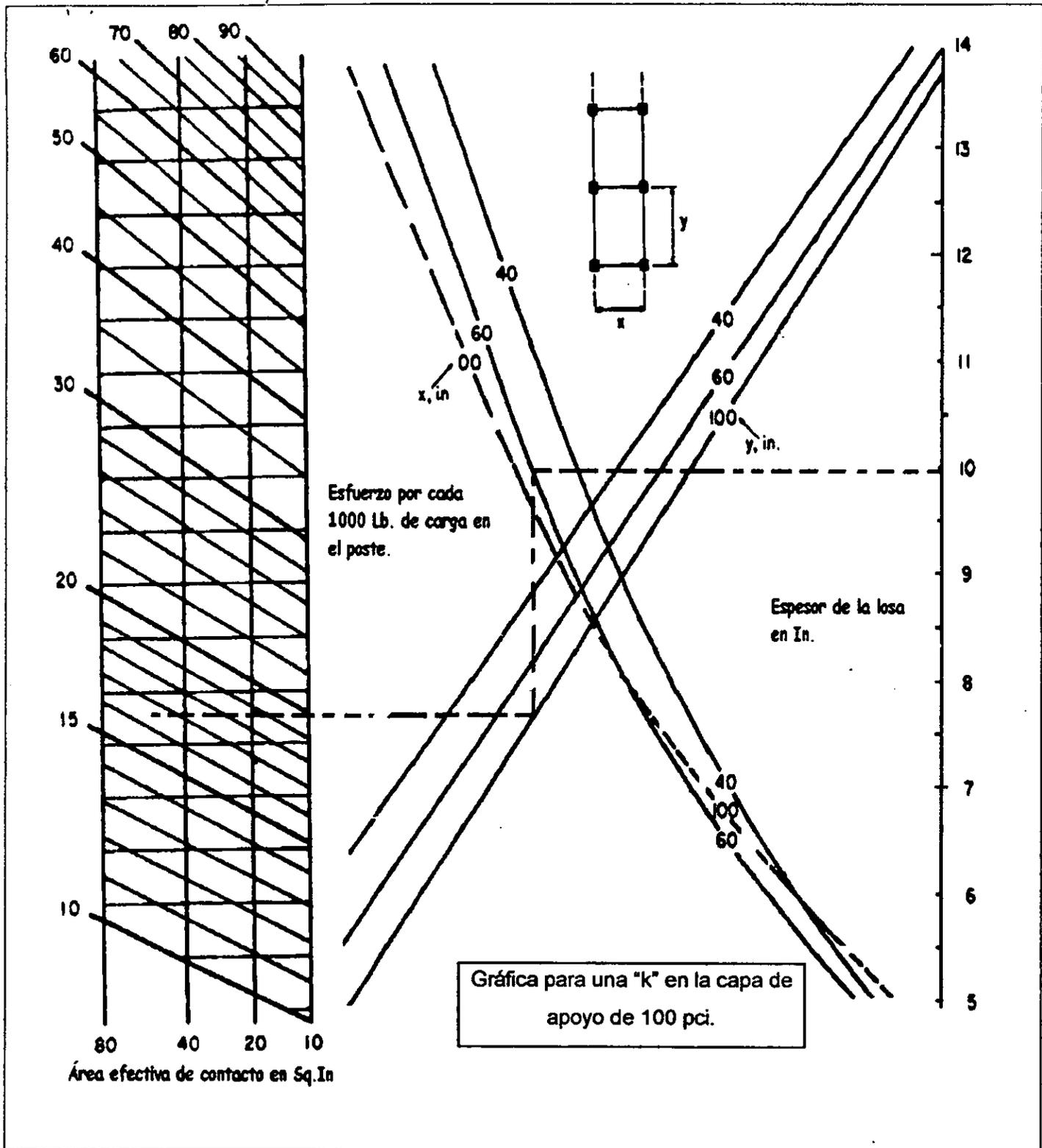
Cuando se usan las gráficas 2.4., 2.5. y 2.6., el área de contacto cargada debe ser corregida a una área de contacto efectiva, la cual es determinada por gráfica 2.3. para el diseño de cargas móviles del punto 2.2.1. Para configuraciones especiales de postes cargados que se desvíen de lo indicado en la figura 2.7. pueden ser determinados por programas de computadora o por cartas de influencia, temas que están fuera del alcance de esta tesis.

Para utilizar las gráficas y para la realización de los cálculos se hacen necesarios los siguientes factores de conversión:

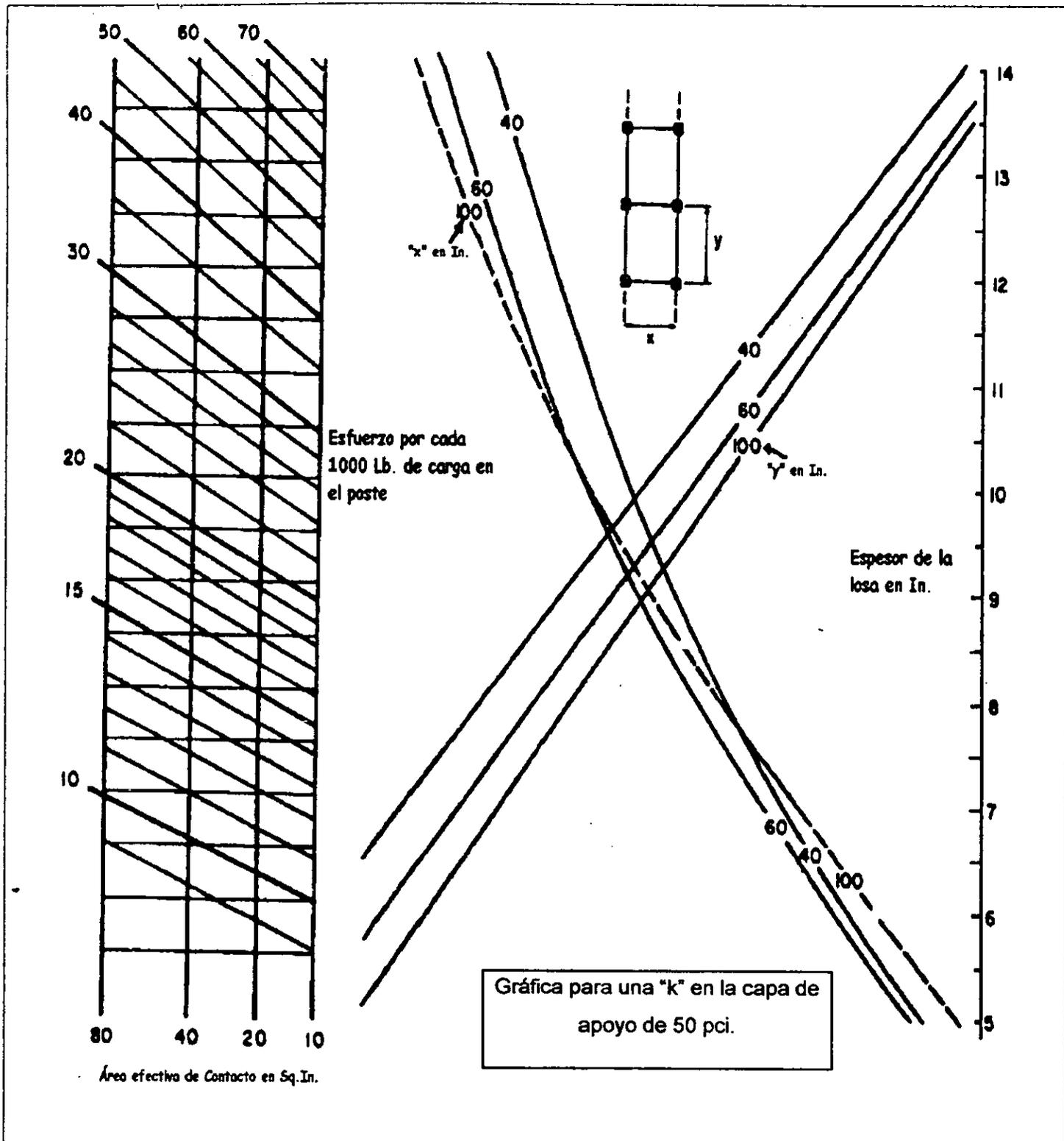
- 1 kip=1,000 lbs.
- 1 lb=.453 kg.
- 1 in=2.54 cm.
- 1 pci "k" $=0.0276853 \text{ kg/cm}^3$.
- 1 psi $=0.070307 \text{ kg/cm}^2$.



Gráfica 2.4. Gráfica para diseño del espesor de la losa con cargas estáticas concentradas, para una "k" en la capa de apoyo de 50 pci.



Gráfica 2.5. Gráfica para diseño del espesor de la losa con cargas estáticas concentradas, para una "k" en la capa de apoyo de 100 pci.



Gráfica 2.6. Gráfica para diseño del espesor de la losa con cargas estáticas concentradas, para una "k" en la capa de apoyo de 200 pci.

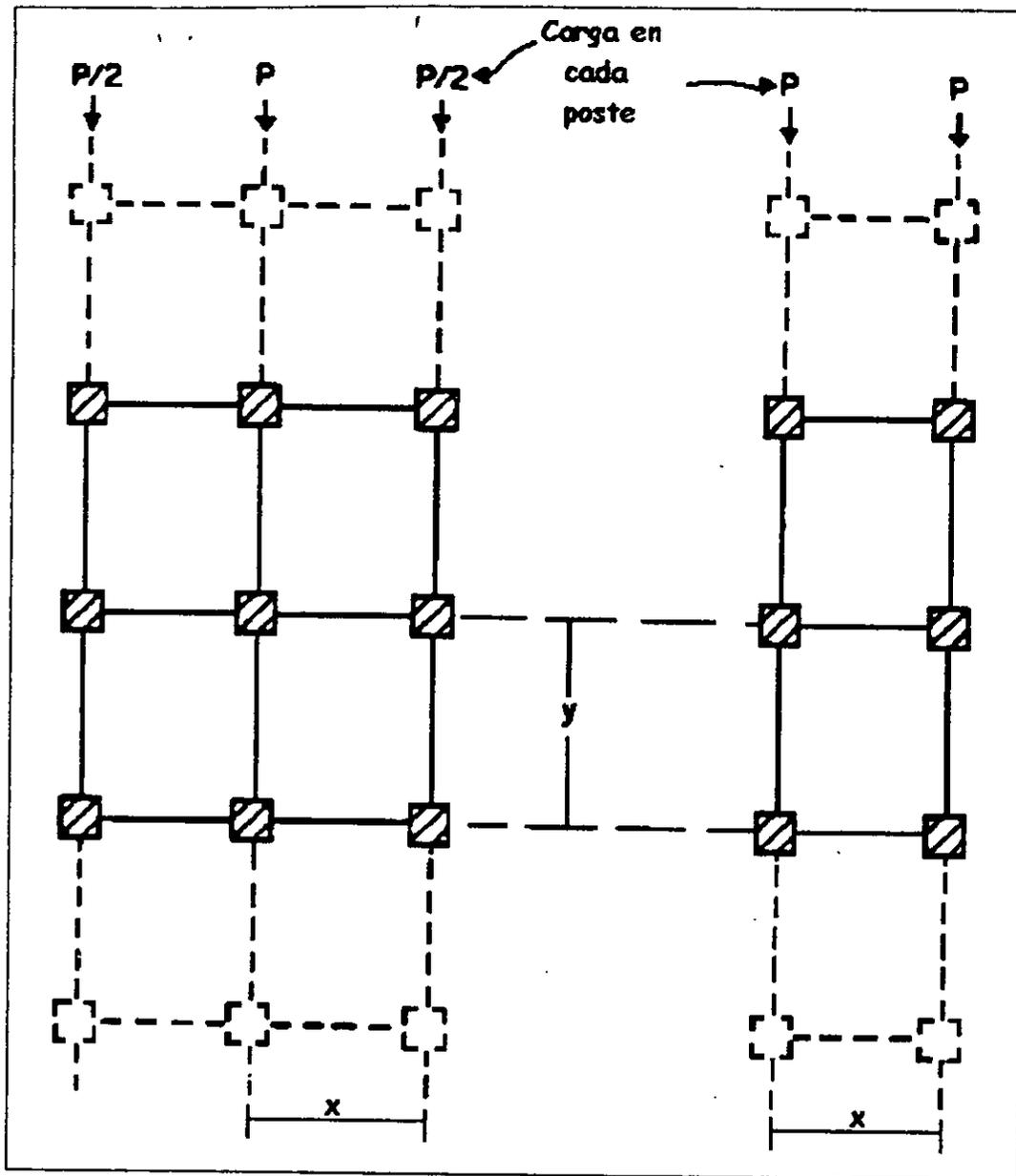


Figura 2.7. Configuración de los postes y cargas para ser aplicadas en las gráficas 2.4., 2.5. y 2.6.

2.1.2.1. Factores de seguridad para Postes Cargados.

Los factores de seguridad específicos para las cargas estáticas concentradas "NO" están disponibles en una tabla sencilla. Pero las siguientes recomendaciones servirán para elegir un factor de seguridad adecuado:

- El rango de factores de seguridad puede ser bajo (2 o menos) bajo una condición de carga no crítica o alto de aproximadamente 5 en una situación donde las consecuencias de la falla de la losa sean muy serios.
- Usar factores de seguridad más altos para las cargas estáticas sobre estanterías grandes a diferencia que los usados en estanterías chicas.

- Los factores de seguridad deben ser escogidos tomando en cuenta la posibilidad de esfuerzos más altos en los bordes o en las esquinas cargadas.

“Los esfuerzos en los bordes son más bajos que los esfuerzos en las esquinas, a su vez éstos son más bajos que los esfuerzos en el interior del elemento. Sin embargo los esfuerzos en las esquinas y en los bordes son disminuidos en el caso donde la transferencia de las cargas a las juntas esta dada por tornillos, cuñas o a través de agregados que la traben con pequeños cortes. Un análisis, usando una transferencia de la carga conservadora del 25% y las configuraciones de postes múltiples con carga puntual indicadas en la FIGURA 8 muestra que los esfuerzos de los bordes exceden a los esfuerzos interiores por 13 % a 50 %”.

- El A.C.I. Committee 322 “Building Code Requirements for Estructural Plain Concrete” recomienda un factor de seguridad de 4.8 .

Después que el diseñador haya considerado cuán críticas son las condiciones de carga y después de escoger un factor apropiado de seguridad, las gráficas 2.4., 2.5. y 2.6. son usadas para establecer un diseño de espesor de losa basado en la flexión, y el esfuerzo cortante en el concreto debe ser calculado para determinar si los valores están dentro de los límites de seguridad. El siguiente problema ilustra el procedimiento para determinar los esfuerzos en la losa de piso debido a postes cargados y su subsecuente revisión para cortante.

2.1.2.2. Ejemplo de diseño del espesor de losa para postes cargados.

a) Datos de configuración y carga para los postes.

Espaciamiento de los postes 98 in. longitud en (y)
 66 in. transversal (x)
 Carga en los postes 13 Kips en cada poste
 Área del contacto de la carga..... Placa cuadrada de 8 in., por lo tanto 64 Sq. In.

b) Datos de la capa de apoyo y concretos

Módulo de la capa de apoyo, K 100 pci.
 Esfuerzos a flexión del concreto, 640 psi a 28 días.

c) Diseño.

- El factor de la seguridad, el F.S.:

Se ha escogido un factor de 3.0.

- **Esfuerzos de trabajo del concreto, WS:**

$$WS = \frac{fr}{FS} = \frac{640}{3.00} = 213Psi$$

- **El Esfuerzo en la losa por 1, 000 Lb de la carga del poste.**

$$= \frac{WS}{\text{Carga del poste}} = \frac{213}{13} = 16.4Psi$$

1. Para un valor "k" de la capa de apoyo de 100 pci, se usa la gráfica 2.5. En la rejilla izquierda se localiza el punto correspondiente para el esfuerzo 16.4 psi. y 64 Sq.In. en área de contacto ; entonces desplazarse a la derecha hasta el espacio de poste en "Y" de 98 in.; desplazarse hacia arriba hasta el espacio de poste de "x" de 66 in.; entonces se obtiene el espesor de la losa de 9.8 in. (usar 10 in. como espesor de la losa).

2. Usar la gráfica 2.3. del diseño del espesor para cargas móviles para determinar si el área efectiva de contacto es mayor que el área del contacto efectiva actual. Para 10 in. de espesor losa y con área de contacto de 64 Sq.In., el área efectiva de contacto es 70 Sq.In.; esta corrección no cambia el espesor de la losa requerido.

3. El siguiente paso es comprobar que los esfuerzos cortantes estén dentro de los límites permitidos .

- **Esfuerzo de carga permisible**

Para la carga interior = $4.2 fr = 2,690$ psi.

Para el borde o en la esquina = $2.1 fr = 1344$ psi

$$\text{Cálculo del esfuerzo de carga} = \frac{\text{Carga en postes}}{\text{Área cargada}} = \frac{13,000}{64} = 203Psi$$

Esfuerzo de corte permisible = $0.27 fr = 173$ psi

$$\text{Cálculo del esfuerzo cortante} = \frac{\text{Carga del poste}}{\text{Área de corte}}$$

Cálculo del esfuerzo cortante para la carga interior

$$= \frac{\text{Carga del Poste}}{\text{Espesor de la losa} \left[(\text{Carga perimetral}) + 4(\text{Espesor de la losa}) \right]}$$

$$= \frac{13,000}{10[32 + 40]} = 18 \text{ Psi.}$$

Cálculo de esfuerzos cortantes para bordes cargados.

$$= \frac{\text{Carga del Poste}}{\text{Espesor de la losa} \left[0.75 (\text{Carga Perimetral}) + 2 (\text{Espesor de la losa}) \right]}$$

$$= \frac{13,000}{10[24 + 20]} = 30 \text{ Psi.}$$

Cálculo de esfuerzos cortantes para esquinas cargadas.

$$= \frac{\text{Carga del Poste}}{\text{Espesor de la losa} \left[0.5 (\text{Carga perimetral}) + (\text{Espesor de la losa}) \right]}$$

$$= \frac{13,000}{10[16 + 10]} = 50 \text{ Psi.}$$

RECOMENDACIONES:

Cuando se trabaja con postes muy cargados, el espesor requerido de la losa de concreto simple puede ser tan grande que su construcción no sea práctica, entonces se debe considerar un diseño alternativo, como:

- Colocar zapatas aisladas debajo de cada poste o zapatas corridas debajo de una línea de postes (solo si la localización de los postes es fija).
- Diseñar losas reforzadas con acero, para tomar las esfuerzos de tensión.

2.1.3. Método de Diseño para Cargas Estáticas Distribuidas.

Las cargas estáticas distribuidas se definen como cargas cubriendo una gran zona debido a que el material se sitúa sobre el piso, dentro de las bahías del almacén. Para la mayoría de las plantas y los almacenes, solo las cargas estáticas concentradas como la de postes de estanterías son el factor que controla el diseño del espesor de las losas en comparación con las cargas distribuidas que no presentan grandes esfuerzos de flexión. Sin embargo, después de haber escogido un espesor adecuado para soportar postes cargados y montacargas muy cargados, los efectos de las cargas distribuidas no deben despreciarse y deben ser examinados.

Los objetivos de diseño para las cargas distribuidas son:

1. Prevenir rompimientos de los pisos debido al esfuerzo excesivo de tensión, en la parte superior de la losa.

2. Evitar hundimientos inaceptables de la losa.

El rompimiento de las losas de concreto simple, debido a las cargas distribuidas puede ser controlado escogiendo un adecuado espesor de losa. Los hundimientos de la losa, sin embargo, no pueden ser prevenidos haciendo la losa más delgada. Usualmente la magnitud de las cargas distribuidas en los pisos con capas de apoyo preparadas y compactadas, no son causa para hundimientos excesivos. Sin embargo, para cargas distribuidas muy grandes en capas de apoyo altamente compresibles, la posibilidad y la magnitud de la consolidación del suelo debe ser examinada con técnicas de ingeniería en cimentaciones.

Se recomienda que las capas de apoyo sean compactadas, y dependiendo de sus características, sean mejoradas; sin embargo hay que evitar la construcción de pisos sobre suelos con alto grado de compresibilidad.

2.1.3.1. Cargas permisibles para prevenir el rompimiento en Losas.

En losas de concreto simple en áreas donde estén aplicadas cargas distribuidas de magnitud considerable, el momento flexionante máximo negativo en la losa de piso puede ser hasta dos veces más grande que el momento en la losa bajo el área cargada. Como resultado, el objetivo de diseño es limitar estos esfuerzos en los pisos para que el rompimiento no ocurra.

Las cargas permisibles basadas en este objetivo de diseño son mostradas en las tablas 2.1. y 2.2.

La tabla 2.1. es utilizada si el arreglo del área de almacenamiento puede ser cambiado durante la vida de servicio del piso y la tabla 2.2. se utiliza si el arreglo del almacén es fijo.

Tabla 2.1. Cargas permisibles para prevenir el rompimiento en Losas, si el arreglo del área de almacenamiento puede ser cambiado durante la vida de servicio del piso

Carga Máxima Permitida en Ton/m ²					
Espesor de la losa en Cm	Módulo de Reacción "k" en Kg/Cm ³	f'c en Kg/cm ²			
		300	350	400	450
12.7	2	2.61	2.86	3.10	3.34
	3	3.71	4.05	4.39	4.71
	6	5.25	5.74	6.20	6.69
15.24	2	2.86	3.12	3.39	3.66
	3	4.05	4.42	4.78	5.15
	6	5.74	6.25	6.79	7.30
20.32	2	3.32	3.61	3.91	4.22
	3	4.69	5.10	5.54	5.96
	6	6.62	7.23	7.83	8.42
25.4	2	3.71	4.05	4.37	4.71
	3	5.22	5.71	6.18	6.66
	6	7.40	8.08	8.74	9.42
30.48	2	4.05	4.42	4.78	5.15
	3	5.74	6.25	6.79	7.30
	6	8.10	8.84	9.59	10.33

Tabla 2.1. (Continuación). Cargas permisibles para prevenir el rompimiento en Losas, si el arreglo del área de almacenamiento puede ser cambiado durante la vida de servicio del piso

Carga Máxima Permitida en Ton/m ²					
Espesor de la losa en Cm	Módulo de Reacción "k" en Kg/Cm ³	f'c en Kg/cm ²			
		300	350	400	450
35.56	2	4.37	4.78	5.18	5.57
	3	6.20	6.76	7.32	7.89
	6	8.76	9.57	10.35	11.16

Se recomienda el uso de las tablas para cargas distribuidas que cubren grandes zonas, mientras que el uso de las gráficas de diseño son apropiadas para las cargas concentradas y móviles.

Tabla 2.2. Cargas permisibles para prevenir el rompimiento en losas, si el arreglo del área de almacenamiento es fija durante la vida de servicio del piso

Espesor en Cm.	f'c	Ancho Crítico del Pasillo en mts.	Carga Máxima Permitida en Ton/m ²					
			Para el ancho crítico	Pasillo de 1.82 m	Pasillo de 2.43 m	Pasillo de 3.00 m	Pasillo de 3.7 m	Pasillo de 4.3 m
K= 50 pci. o 1.5 Kg/cm ³								
12.7	200	1.7	3.0	3.0	3.3	4.0	5.1	5.9
	300	1.7	3.5	3.5	3.8	4.6	6.0	6.9
	400	1.7	4.0	4.0	4.4	5.3	6.8	7.9
15.24	200	2.0	3.3	3.3	3.4	3.8	9.5	5.7
	300	2.0	3.8	3.8	4.0	4.4	5.4	6.7
	400	2.0	4.4	4.4	4.5	5.1	6.2	7.7
20.32	200	2.4	3.8	3.9	3.8	3.9	4.3	4.9
	300	2.4	4.4	4.6	4.4	4.6	5.0	5.8
	400	2.4	5.0	5.2	5.0	5.2	5.7	6.6
25.4	200	2.9	4.1	4.5	4.2	4.6	4.3	4.7
	300	2.9	4.8	5.3	4.9	4.8	5.1	5.5
	400	2.9	5.5	6.1	5.6	5.5	5.8	6.3
30.48	200	3.3	4.5	5.2	4.7	4.5	4.5	4.7
	300	3.3	5.2	6.1	5.4	5.2	5.3	5.0
	400	3.3	6.0	6.9	6.2	6.0	6.0	6.3
35.56	200	3.7	4.8	6.0	5.2	4.9	4.8	4.9
	300	3.7	5.6	7.0	6.1	5.7	5.6	5.7
	400	3.7	6.4	8.0	7.0	6.5	6.4	6.5
K = 100 pci. o 3.00 kg/cm ³								
12.7	200	1.4	4.2	4.4	5.3	7.2	8.5	8.8
	300	1.4	4.9	5.1	6.2	8.4	9.9	10.3
	400	1.4	5.6	5.9	7.1	9.5	11.4	11.8
15.24	200	1.6	4.6	4.7	5.2	6.4	8.3	9.4
	300	1.6	5.4	5.4	6.1	7.5	9.7	11.0
	400	1.6	6.2	6.2	6.9	8.6	11.1	12.5
20.32	200	2.0	5.3	5.4	5.5	6.1	7.2	8.9
	300	2.0	6.2	6.3	6.4	7.1	8.3	10.4
	400	2.0	7.1	8.2	7.3	8.1	9.5	11.8

Tabla 2.2 (Continuación) Cargas permisibles para prevenir el rot pimiento en losas, si el arreglo del área de almacenamiento es fija durante la vida de servicio del piso.

Espesor en Cm.	f'c	Ancho Crítico del Pasillo en mts.	Carga Máxima Permitida en Ton/m ²					
			Para el ancho crítico	Pasillo de 1.82 m	Pasillo de 2.43 m	Pasillo de 3.00 m	Pasillo de 3.7 m	Pasillo de 4.3 m
25.4	200	2.4	5.9	6.2	5.9	6.2	6.8	7.9
	300	2.4	6.9	7.2	6.9	7.2	8.0	9.2
	400	2.4	7.9	8.0	7.9	8.3	9.1	10.5
30.48	200	2.8	6.4	7.0	6.5	6.5	6.8	7.5
	300	2.8	7.5	8.1	7.5	7.6	8.0	8.8
	400	2.8	8.6	9.3	8.6	8.6	9.1	10.0
35.56	200	3.1	6.9	7.8	7.1	6.9	7.0	7.4
	300	3.1	8.0	9.1	8.2	8.0	8.2	8.7
	400	3.1	9.2	10.4	9.4	9.2	9.3	9.9

k=200 pci

12.7	200	1.2	6.0	6.8	9.4	12.0	12.5	12.3
	300	1.2	7.0	8.0	11.0	14.0	14.6	14.4
	400	1.2	8.0	9.1	12.6	16.0	16.7	16.4
15.24	200	1.4	6.5	6.9	13.5	11.7	13.4	13.7
	300	1.4	7.6	8.1	10.0	13.7	15.6	16.0
	400	1.4	8.7	9.2	11.4	15.6	17.8	18.3
20.32	200	1.7	7.6	7.6	8.3	10.0	12.9	15.0
	300	1.7	8.8	8.8	9.7	11.6	15.0	17.5
	400	1.7	10.1	10.1	12.8	13.3	17.2	20.0
25.4	200	2.0	8.4	8.5	8.7	9.6	11.4	14.1
	300	2.0	9.9	9.9	10.1	11.2	13.3	16.1
	400	2.0	11.3	11.4	11.5	12.8	15.2	18.8
30.48	200	2.3	9.2	9.5	9.3	9.7	10.9	12.7
	300	2.3	10.8	11.1	10.8	11.4	12.7	14.9
	400	2.3	12.3	12.7	12.3	13.0	14.5	17.0
35.56	200	2.6	9.9	10.5	9.9	10.1	10.8	12.1
	300	2.6	11.5	12.3	11.5	11.7	12.6	14.1
	400	2.6	13.2	14.0	13.2	13.4	14.4	16.1

Lo que puede parecer al principio como anomalías en los valores, entre las cargas permisibles para el ancho crítico y las cargas para los demás anchos de pasillo son explicadas por la siguiente consideración:

Para un espesor de losa y un esfuerzo de subrasante dados, existe un ancho crítico del pasillo para el que el esfuerzo en la losa del pasillo es el máximo. Como aparece en la tabla 2.2., la carga permisible para el ancho crítico del pasillo es menor que para cualquier otro ancho del pasillo. El ancho crítico del pasillo existe cuando el momento flexionante máximo en el pasillo debido a una carga en un lado del pasillo coincide con el momento máximo debido a la carga en el otro lado del

pasillo entonces existe, un doble momento flexionante negativo que actúa en la línea central del piso. Para otros anchos mayores que el ancho del pasillo crítico, los momentos de flexión debido a las cargas en los lados del pasillo no son los máximos; ya que la carga en un solo lado del pasillo puede contrarrestar el esfuerzo cortante provocado por una carga en el otro lado.

2.1.3.2. Cargas Permisibles para Prevenir el Hundimientos de la Losa

Con anterioridad se ha mencionado que las cargas permisibles están determinadas para prevenir un rompimiento en un piso en áreas de almacenamiento. Si estos rompimientos pueden ser tolerados o si existen juntas en los pisos, no hay necesidad de que exista restricción en la magnitud de la carga, sino que el límite de carga depende de la tolerancia del suelo al hundimiento.

Los hundimientos de la losa son provocados por presiones excesivas en el suelo bajo la losa. En las cargas concentradas, un espesor mayor de la losa reduce la presión en el suelo. Sin embargo, para las cargas distribuidas, el espesor de la losa no tiene efecto en la presión en el suelo "La presión en el suelo es igual a la carga distribuida mas el peso de la losa". Por esto, el uso de una losa con mayor espesor no reduce los hundimientos bajo cargas distribuidas.

Una estimación del hundimiento mínimo que puede ocurrir puede ser hallada, calculando la deflexión elástica, usando el módulo "k" de la capa de apoyo; pero estos cálculos de deflexiones elásticas pueden ser sólo una estimación si el suelo es relativamente incompresible.

Para los pisos con capas de apoyo compresibles, los hundimientos bajo las cargas distribuidas pueden ser mayores que las deflexiones elásticas calculadas. Si las cargas distribuidas son muy pesadas, los hundimientos deben ser estimados por los métodos utilizados en mecánica de suelos para cimentaciones extensas o encofrados, temas que están fuera del alcance de esta tesis.

Los hundimientos tolerables en la losa de piso pueden ser menores que los permitidos para cimentaciones, dependiendo de los requisitos de operación del piso. Por ejemplo, si existe una junta o grieta en un piso a cierta distancia del borde de la carga distribuida, los hundimientos diferenciales entre los lados cargados y los lados descargados de la junta o grieta, pueden causar fallas que son inaceptables para el tránsito de vehículos.

2.1.4. Método de Diseño para Cargas Inusuales.

Las configuraciones especiales de carga (ruedas inusuales o configuraciones de postes inusuales, vehículos de tracción, vehículos con ejes estrechamente espaciados o con más de 4 ruedas por el eje, rueda con grandes áreas de contacto), que difieren de aquellas indicadas con anterioridad y pueden ser analizadas por uno de los siguientes métodos:

1. Para las cargas concentradas (ruedas o postes cargados), los esfuerzos en la losa, las deflexiones y las presiones en el suelo pueden ser determinados con cartas de influencia o con un programa de computadora. Las cartas de influencia pueden también ser utilizadas para cargas lineales si la longitud de la carga no es grande.
2. Cuando una o ambas de las dimensiones de una área de carga es grande (las cargas distribuidas en un almacenamiento o una carga lineal), la situación puede ser considerada como un problema unidimensional y el método de Hetenyi puede ser utilizado.

Temas que quedan fuera del alcance de esta tesis

Así mismo, las cargas extraordinarias como cargas vibratorias tal como aquellas provocadas por generadores o compresores pesados, puede requerir un diseño de cimentación especial, aislándose del resto del piso ya que ocasionarían cuarteduras debido a la acción vibratoria, tema que está también fuera del propósito de esta tesis.

2.1.4.1. Áreas Especiales.

En este trabajo se considerarán "áreas especiales" a las áreas de mezcla y etiquetado, áreas de ensamble, áreas de preparación de carnes y lácteos, pisos de tránsito, talleres de máquinas, cuartos de control, áreas de tanques de almacenamiento, cuartos estériles, cuarto de regaderas, áreas de cafetería, cuartos médicos, salas de cirugía y áreas de resguardo animal.

Con lo que respecta a las consideraciones de diseño del espesor se puede concluir que este tipo de pisos no tienen grandes concentraciones de carga y esfuerzos, debido a que el uso es básicamente peatonal. Para el diseño del espesor de la losa se recomienda seguir las siguientes recomendaciones:

1. Aislar la cimentación de maquinarias con excesivo movimiento vibratorio, del resto del piso.
2. Seguir con el diseño propuesto para áreas de almacenamiento con cargas concentradas como la de estanterías.
3. Recordar que en este tipo de áreas es mayor el ataque por químicos que el ataque mecánico, la protección contra ataque químico será tratado en el capítulo 5.

2.1.5. Consideraciones de Aumento de Espesor de la Losa.

- a) El espesor calculado en cualquiera de las características de carga debe ser incrementado en un 50%, en las entradas o en los vanos de las puertas. El cambio en el espesor de la losa no debe ser mayor del 1 en cada 10. Por ejemplo, para el incremento de 7.5 cm. a la losa, la sección de transición debe ser por lo menos 7.5 mts. de largo.
- b) En el caso de que transiten montacargas sobre las juntas de aislamiento que no estén diseñadas para transmitir cargas, el espesor de la losa deberá aumentarse en un 50% y el

cambio del espesor deberá ser con una pendiente no mayor de 1 a 5 hasta obtener el espesor requerido.

2.2. Diseño de Juntas en Pisos Industriales de Concreto.

En las siguientes hojas se presentará el diseño de sistemas de juntas para pisos industriales de concreto. Como ya se ha visto las losas de los pisos industriales varían en espesor entre 12 y 35 cm (5 y 14 pulgadas), y las recomendaciones de diseño serán aplicables a pisos de concreto que estén dentro de este rango.

Los primeros pisos de concreto se construyeron sin juntas y por lo tanto, se desarrolló en ellos un desquebrajamiento irregular. Debido a esto surgió la necesidad de introducir algún elemento que redujera el desquebrajamiento, como consecuencia aparece el **junteado**, que es una medida efectiva para controlar el agrietamiento y conservar la capacidad estructural del piso, así como la calidad de rodamiento, con bajos costos anuales de mantenimiento.

La función principal de las juntas es:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal inducido por contracción confinada y por los efectos combinados de ondulación confinada, alabeo confinado y cargas aplicadas.
- Dividir el piso en módulos prácticos para su construcción.
- Absorber movimientos de la losa.
- Proporcionar una transferencia de carga deseada.

El diseño de juntas para pisos de concreto se desarrolla a partir de:

- Estudios teóricos del comportamiento del concreto.
- Pruebas de laboratorio en modelos a escala y natural.
- Tramos experimentales sometidos a tránsito vehicular controlado.
- Evaluaciones del comportamiento a largo plazo de pisos de industriales en operación.

2.2.1. Antecedentes para el diseño del Sistema de Juntas.

Los sistemas de construcción de juntas se basan en el principio de controlar las grietas que aparecen en los pisos de concreto, debidas a :

1. Contracción.
2. Gradientes de Temperatura.

1) Contracción.

Una de las causas principales del agrietamiento son los cambios de temperatura, provocados por el calor de hidratación y la temperatura del piso que generalmente alcanzan su nivel máximo poco

tiempo después de que a ocurrido el fraguado final, después de llegar al máximo, la temperatura del concreto disminuye debido a la menor actividad de hidratación y por el descenso de temperatura durante la primera noche del piso.

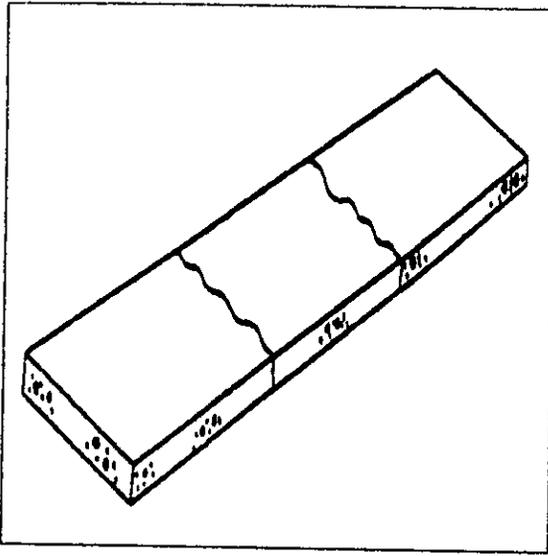


Figura 2.8. Patrón de agrietamiento inducido por esfuerzos de tensión dentro del concreto

Otro factor que contribuye a la contracción inicial se debe a la reducción de volumen inducida por la pérdida de agua de mezclado, que su vez se ve reducida por la fricción con la sub-base. Esta resistencia induce esfuerzos de tensión dentro del concreto que si no es considerada provocará un patrón de agrietamiento como el de la figura 2.8.

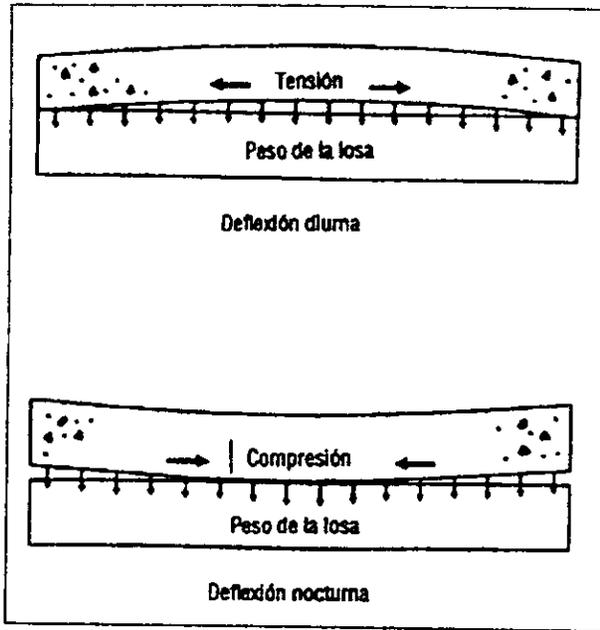
2) Gradientes de Temperatura y de Humedad.

Los esfuerzos inducidos por gradientes de temperatura y de humedad dentro del concreto, también pueden contribuir al agrietamiento. Estos esfuerzos generalmente ocurren después del endurecimiento del concreto. La parte superior expuesta al aire presenta variaciones diarias bastante grandes de temperatura y de contenidos de agua. Los cambios diarios de temperatura y de humedad son mucho menores en o cerca de la parte inferior del piso.

La ondulación de una losa se produce como resultado de los gradientes de temperatura a través del espesor de la estructura del piso. Los gradientes de temperatura varían con las condiciones climáticas y con las condiciones en un día cualquiera, teniéndose dos tipos de ondulación:

- La Ondulación Diurna. Tiene lugar cuando la parte superior de la losa se encuentra a una mayor temperatura que en el fondo. La superficie de la losa se expande más que la parte inferior dando lugar a la predisposición de flexionarse, el peso de la losa se opone a la acción de ondulación e induce esfuerzos de tensión hacia la parte inferior.
- La Ondulación Nocturna. Durante la noche se invierte el patrón de generación de esfuerzos.

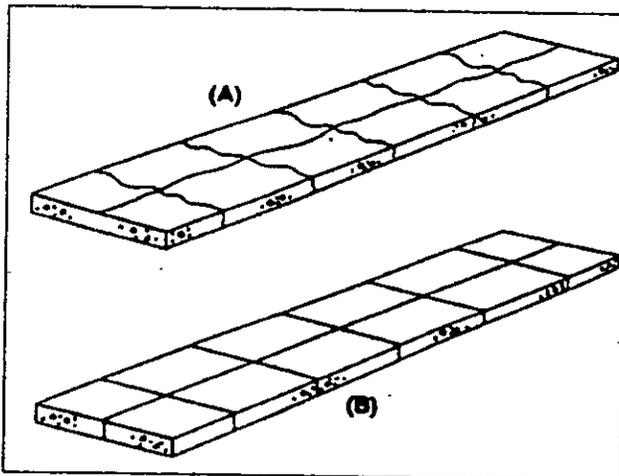
Como se puede ver en la figura de la siguiente página 2.9.



El alabeo por cambios de humedad es un factor que se presenta para contrarrestar la ondulación diurna. Este tipo de deformación lo induce un diferencial de humedad entre la parte superior y la inferior de una losa. La parte superior de una losa está generalmente más seca que la inferior. Una disminución en el contenido de agua da lugar a contracciones mientras que un aumento en la humedad induce a expansiones.

Figura 2.9. Ondulación de una losa producida por gradientes de temperatura.

La ondulación y el alabeo en combinación con las cargas aplicadas, inducirán grietas transversales adicionales entre los puntos iniciales. También se formará una grieta longitudinal.



La figura (A) muestra la distribución original del piso resultante del agrietamiento natural. Con el uso de las técnicas adecuadas de juntas, se logran juntas espaciadas entre si que controlan la formación de las grietas, como las que se muestran en la figura (B).

Además conocer el origen de las grietas, para complementar el diseño es necesario conocer:

Figura 2.10. La figura muestra la distribución original del piso resultante del agrietamiento natural y controlado.

1. La Determinación del Movimiento de las Juntas.
2. El Diseño del Espaciamento entre las Juntas.
3. La Determinación de la Eficiencia de las Juntas.

4. Los Tipos de Juntas para Pisos Industriales.

2.2.2. Determinación del Movimiento de las Juntas.

El movimiento de la junta puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$\Delta L = C L (\alpha \Delta T + \epsilon)$$

En donde:

ΔL = Cambio anticipado en la longitud de la losa en centímetros.

C = Factor de restricción friccionante entre la capa de apoyo y la losa. (0.65 para material estabilizado, 0.80 para material granular).

L = Longitud de la losa en pulgadas.

α = Coeficiente de expansión térmica PCC del agregado grueso, ver tabla 2.3.:

Tabla 2.3. Valores Típicos del coeficiente α de expansión térmica PCC

Tipo de Agregado Grueso	Coeficiente de Expansión Térmica
Cuarzo	6.6
Arenisca	6.5
Grava	6.0
Granito	5.3
Basalto	4.8
Caliza	3.8

ϵ = Coeficiente de contracción del concreto, ver tabla 2.4.:

Nota : Este factor se debe eliminar en proyectos de rehabilitación, en los cuales la contracción ya no afecta.

Tabla 2.4. Valores Típicos del coeficiente de contracción térmica PCC

Resistencia a la tensión indirecta (kg/cm ²)	Coeficiente de Contracción PCC (cm/cm)
< 21	0.0008
28	0.0006
35	0.00045
42	0.0003
> 49	0.0002

ΔT = Diferencial de temperatura al colar y al momento de la prueba.

2.2.3. Diseño del Espaciamiento entre las Juntas.

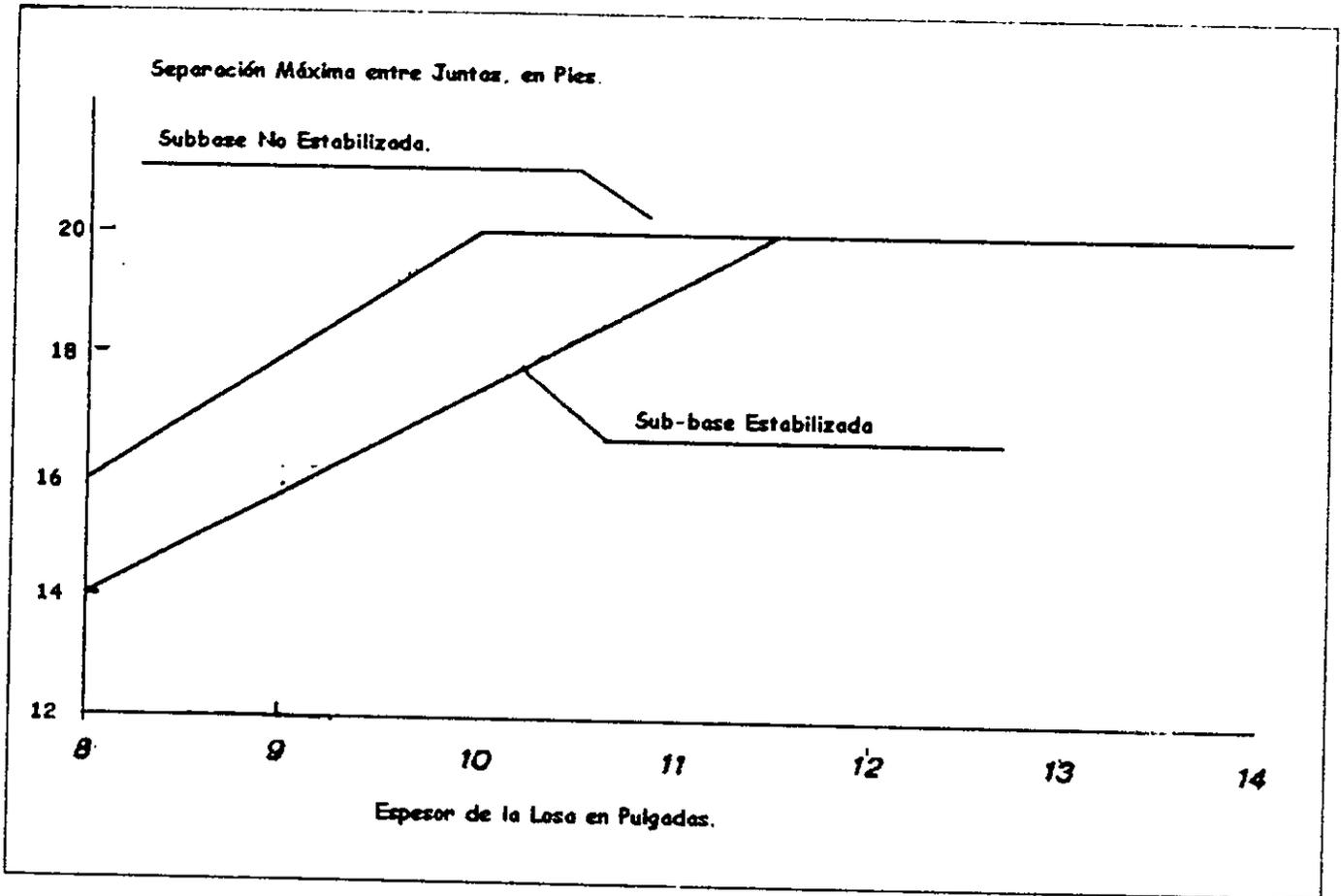
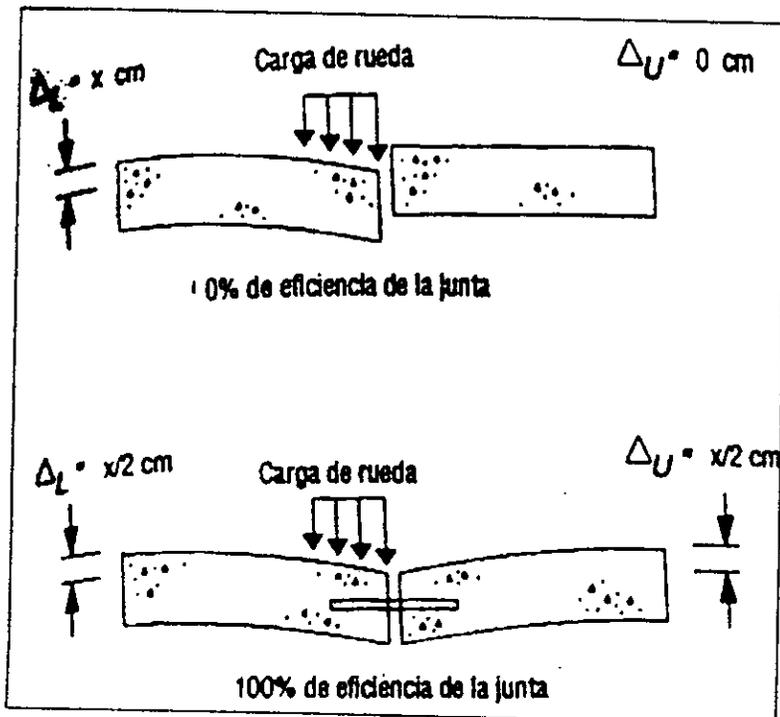


Figura 2.12. Gráfica del espaciamiento máximo entre juntas.

2.2.4. Determinación de la Eficiencia de las Juntas.



La transferencia de las cargas, es la capacidad de una junta para transmitir parte de una carga aplicada desde un lado de la junta hasta el lado opuesto como se muestra en la figura.

La eficiencia de las juntas se cuantifica en función de la "eficiencia de la junta". Si una junta tiene una eficiencia del 100%, transmitirá la mitad de la carga aplicada, de lo contrario una eficiencia del 0%, significa que ninguna carga se transmite a través de la junta.

La evaluación en campo de la transferencia de carga, se realiza

midiendo a cada lado de una junta las deflexiones inducidas por una carga aplicada. La siguiente ecuación se usa para estimar la eficiencia "E" de la junta:

$$E = \frac{2 d_u}{d_l + d_u} 100$$

En donde:

d_l = Deflexión del lado cargado.

d_u = Deflexión del lado descargado.

La transferencia de carga es necesaria para lograr un buen comportamiento de los pisos de concreto simple con juntas. La transferencia adecuada de carga disminuye las deflexiones y reduce la falla, el descascaramiento y la rotura de las esquinas. Se considera adecuada una eficiencia de la junta de 58% o mayor en el caso de cargas de camiones medianos y pesados.

Los siguientes factores contribuyen a la transferencia de carga a través de las juntas:

1. Trabazón de los agregados. Es la acción de entrelazado entre las partículas de agregados en el parámetro de la junta que se forma por debajo de una ranura cortada con disco. Los siguientes factores aumentan la transferencia de carga:

- El tamaño de las partículas es un factor crítico en la transferencia de cargas, los agregados pequeños (12.7 mm) proporcionan únicamente una trabazón marginal, las partículas más grandes y durables mayores a 25 mm ayudan a mantener la transferencia de carga, sobre todo en aberturas más grandes de juntas.
- Losas más gruesas (mayor superficie de enlazamiento se traduce en mejor transferencia de carga).
- Espaciamiento menor de las juntas (4.5 mts. o menos).
- Sub-bases más rígidas (valor de "k" más alto).
- Apoyo en los bordes de la losa.
- Procurar subrasantes con buenas características de drenaje.
- Proporcionarle un drenaje mejorado (sistemas de tuberías de recolección o sub-bases permeables).

2. Abertura de la Junta. La figura 2.13. muestra la forma en la que varía la eficiencia de la junta en función a la abertura de la junta en cm.

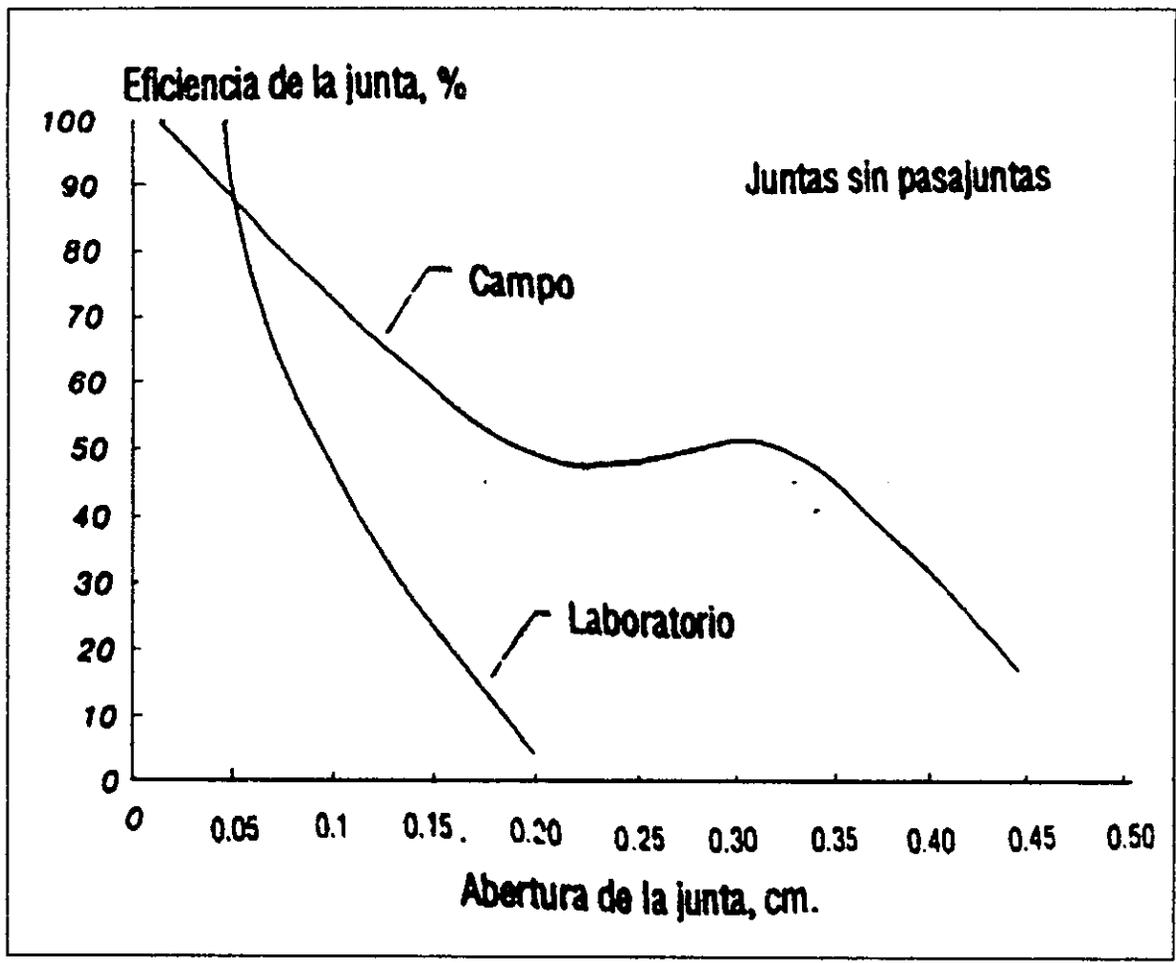


Figura 2.13. Gráfica que muestra la forma en que varía la eficiencia de la junta en función a la abertura de la junta en cm.

3. Uso de dispositivos de transferencia mecánica de carga.

La trabazón entre los agregados por sí misma, no proporcionará suficiente transferencia de carga para lograr un buen comportamiento a largo plazo, se deben usar pasajuntas para lograr una transferencia mecánica adicional de carga o cuando:

SE PROYECTE LA CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE 20 CM O MÁS DE ESPESOR.

Los pasajuntas son varillas redondas lisas que se colocan a través de las juntas para transferir las cargas sin restringir el movimiento horizontal de la junta, aumentan la vida útil del piso, al reducir las deflexiones y los esfuerzos en los pisos de concreto al transmitir eficientemente la carga a través de la junta.

4. Sub-bases estabilizadas.

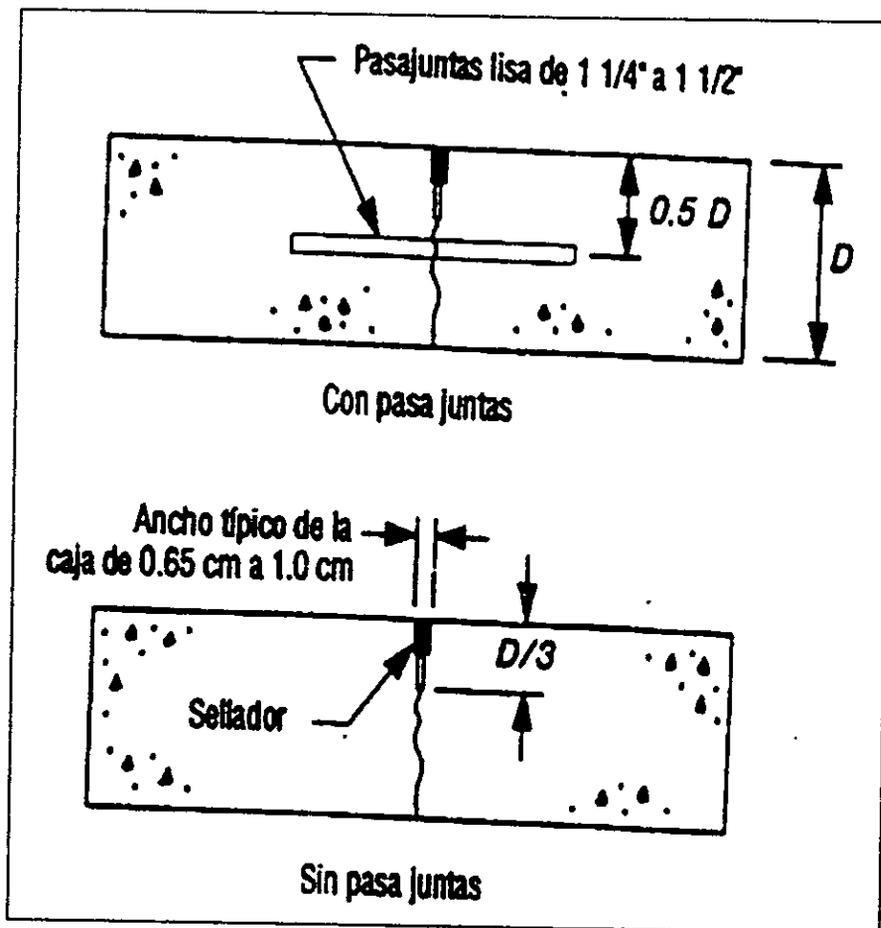
Las sub-bases estabilizadas reducen la deflexión de las juntas, mejoran y conservan la eficiencias de las juntas bajo cargas repetidas. A mayor capacidad de apoyo mejor

comportamiento de la junta. Estudios han demostrado que la resistencia de la sub-base afecta significativamente la transferencia de carga a largo plazo, produciendo un mejor apoyo de la losa, disminuyendo las deflexiones y aumentando la vida útil por fatiga.

2.2.5. Tipos de Juntas para Pisos Industriales.

Las juntas que se emplean en la construcción pisos de concreto se describen a continuación:

2.2.5.1. Juntas Transversales de Contracción.



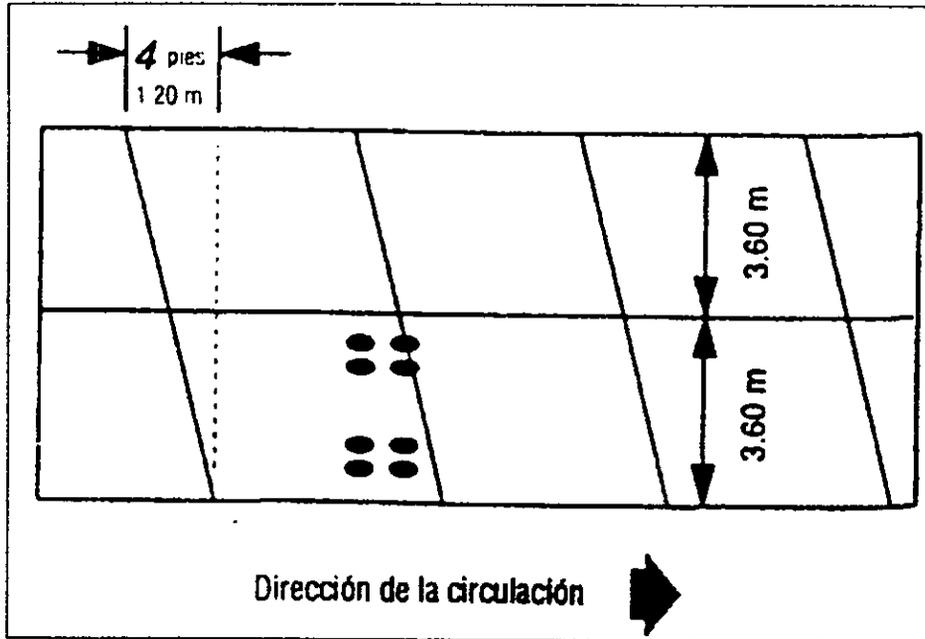
Las juntas transversales de contracción son juntas que se colocan transversalmente al eje de trazo y se separan entre sí, para controlar el agrietamiento inducido por los esfuerzos debidos a contracción y a cambios diferenciales de temperatura y de humedad. Típicamente, las juntas transversales de contracción se orientan formando ángulos rectos con el eje de trazo y con la orilla del piso.

Figura 2.14. Juntas transversales de contracción.

El diseño de juntas transversales de contracción, incluye la consideración del efecto del movimiento longitudinal de la losa sobre el sellador y sobre la capacidad de transferencia de la carga. En pisos de concreto, la separación entre juntas transversales (espaciamiento) debe ser en promedio de 3.60 a 6.10 mts. dependiendo del espesor de la losa. Se recomienda que no sea mayor a 6.10 mts, ya que después de este limite el agrietamiento transversal aumenta, las juntas transversales de contracción se cortan a $1/3$ del espesor de la losa.

Una variación en las juntas transversales de contracción son las juntas esviajadas que a menudo se usan en pisos sin refuerzo y sin pasajuntas. Una junta esviajada es una junta transversal de

cont-acción inclinada 1.20mts. en 7.3 mts. La orientación del esviajamiento es tal que el ángulo o obtuso en la orilla exterior del piso coincide con el lado de salida de la junta.



Cada una de las ruedas de un eje cruza una junta esviajada en un tiempo distinto, esta alternancia de cargas reduce los esfuerzos y deflexiones en los pisos de concreto, disminuyendo también el riesgo de bombeo y falla. El esviajamiento es efectivo para juntas sin pasajuntas, en rutas de bajo volumen de tránsito.

Figura 2.15. Juntas Transversales de Contracción Esviajadas.

Cuando se especifican barras de pasajuntas, el esviajamiento de la junta queda como segunda opción ya que diseños con pasajuntas y juntas esviajadas no mejoran la transferencia de cargas, pero si aumentan los costos.

2.2.5.2. Juntas Transversales de Construcción.

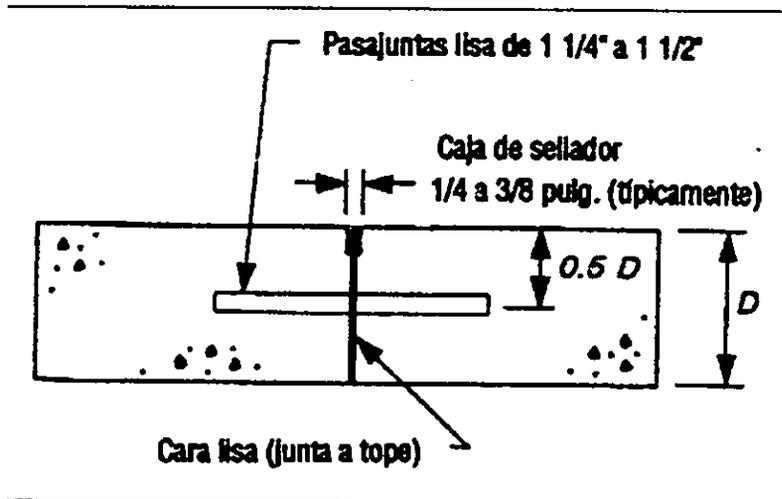


Figura 2.16. Juntas transversales de Construcción

Las juntas transversales de construcción, se instalan al termino de la operación diaria de colocación del piso o cuando ocurre algún otro tipo de interrupción. Se recomienda en donde sea posible colocar una junta transversal de construcción en el mismo lugar que le corresponde a una junta transversal de contracción.

En caso contrario, la colocación debe hacerse dentro del tercio medio del tablero proyectado. Las juntas transversales de construcción siempre se orientan perpendiculares al eje de trazo, aun cuando las juntas de contracción estén esviajadas.

Las juntas transversales de construcción son juntas a tope y no se benefician de la trabazón entre las partículas del agregado, las juntas transversales de construcción se cortan totalmente o el espesor completo.

2.2.5.3. Juntas de Aislamiento.

Las juntas de aislamiento deben de usarse en las uniones con muros y columnas, cimentaciones de maquinaria y zapatas o en otros puntos estrechos como lo son tubos de drenaje, las chimeneas, los colectores de agua, las escaleras, etcétera. Estas juntas pueden lograrse insertando rellenos para juntas de expansión antes o durante la operación del colado.

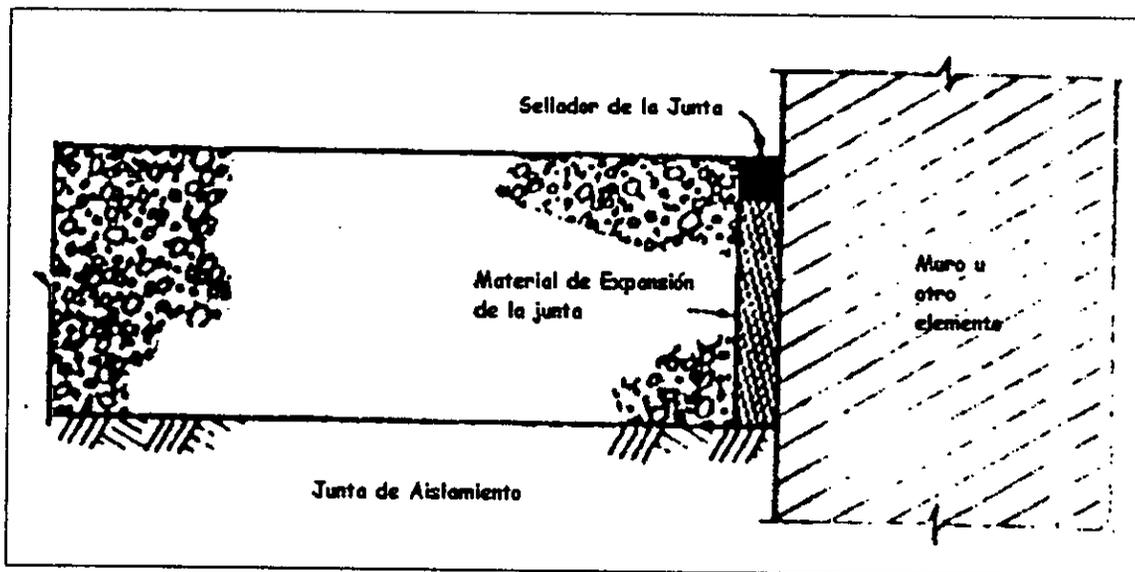
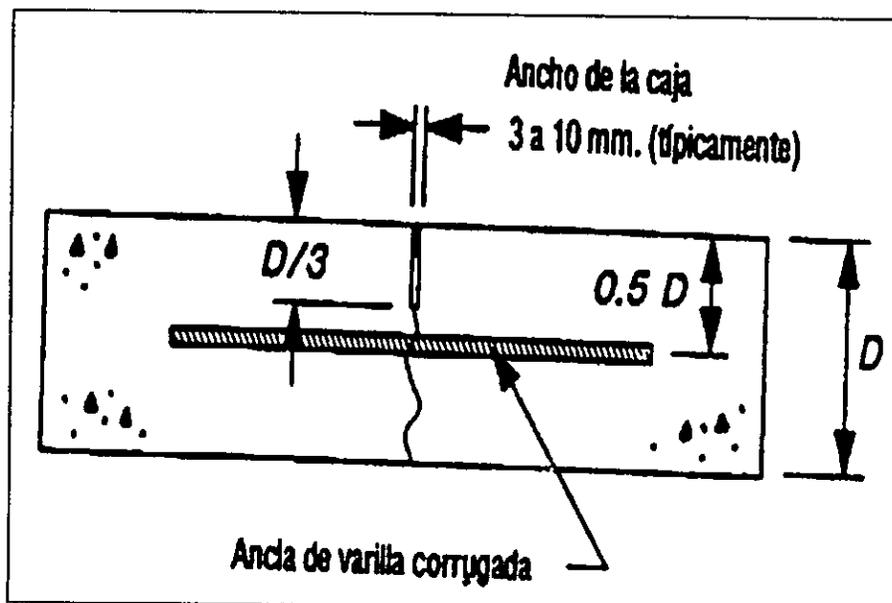


Figura 2.17. Juntas de Aislamiento.

2.2.5.4. Juntas Longitudinales de Contracción.



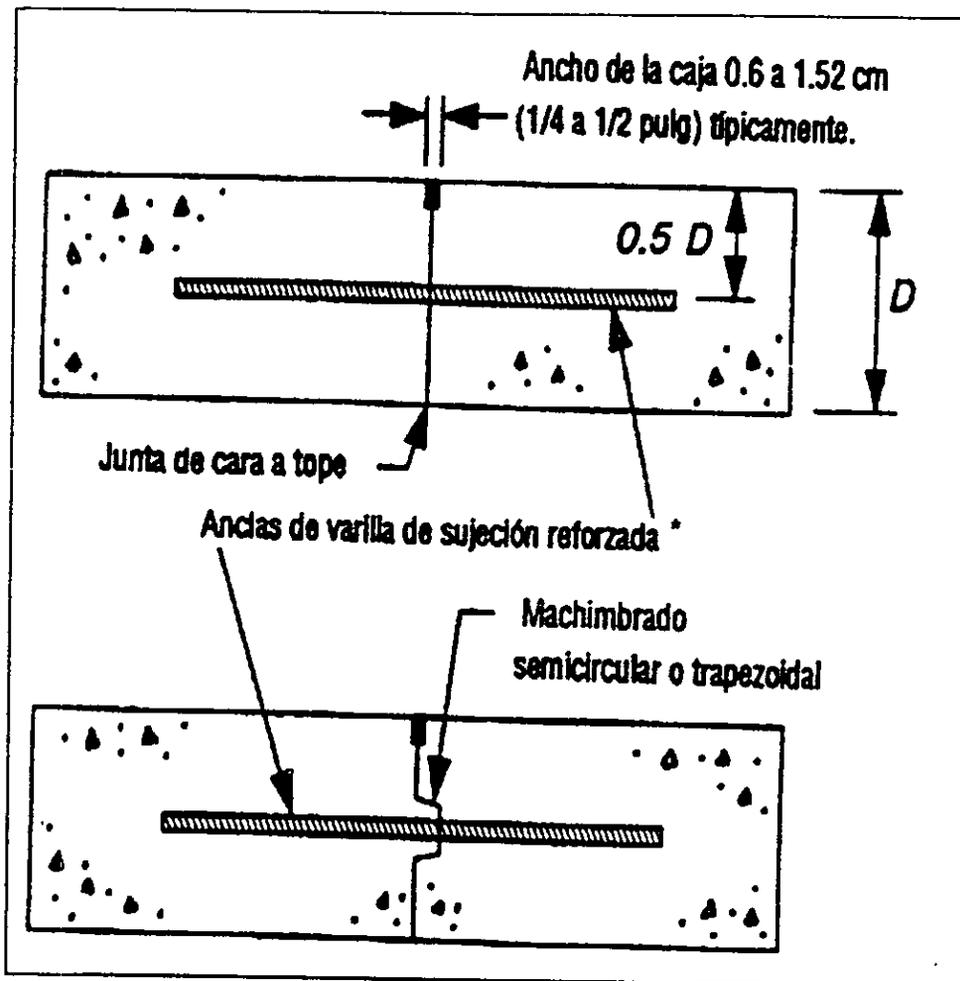
Las juntas longitudinales de contracción sirven para dividir los carriles de tránsito y controlar el agrietamiento cuando el ancho del piso sobrepasa los 4.50 mts. Las juntas longitudinales deben cortarse a una profundidad correspondiente a la tercera parte del espesor

Figura 2.18. Juntas Longitudinales de Contracción.

de la losa. Un corte inicial con disco de 3.2 a 9.5 mm de ancho, será suficiente para alojar la mayoría de los materiales selladores. El factor forma de la caja no es un factor importante debido a los pequeños movimientos que ocurren en estas juntas. Las dimensiones típicas de la caja varían entre 6.3 y 9.5 mm de ancho por 32 mm de profundidad.

La transferencia de carga en las juntas longitudinales generalmente se alcanza a través de la trabazón de las partículas de los agregados, razón por la cual el uso de pasajuntas es opcional.

2.2.5.5. Juntas Longitudinales de Construcción.



Las juntas longitudinales de construcción sirven para unir los pisos que se construyen en pasadas separadas, se consigue la transferencia de carga por medio de machimbre y/o anclas. La forma de las juntas machimbradas puede ser trapezoidal o en semicírculo y la muesca deberá colocarse a la mitad del espesor de la losa, a fin de alcanzar la

Figura 2.19. Juntas Longitudinales de Construcción.

resistencia máxima. Se puede suprimir las juntas machimbradas cuando el espesor del piso es menor de 25 cm. Esto se debe a la experiencia de campo que demuestra que juntas machimbradas fallan por cortante, dando como resultado el despostillamiento a lo largo de la junta. Para conservar la transferencia de carga, siempre serán convenientes las varillas de sujeción cuando se recurren a juntas machimbradas.

2.2.5.6. Localización de las Juntas en un Piso Industrial.

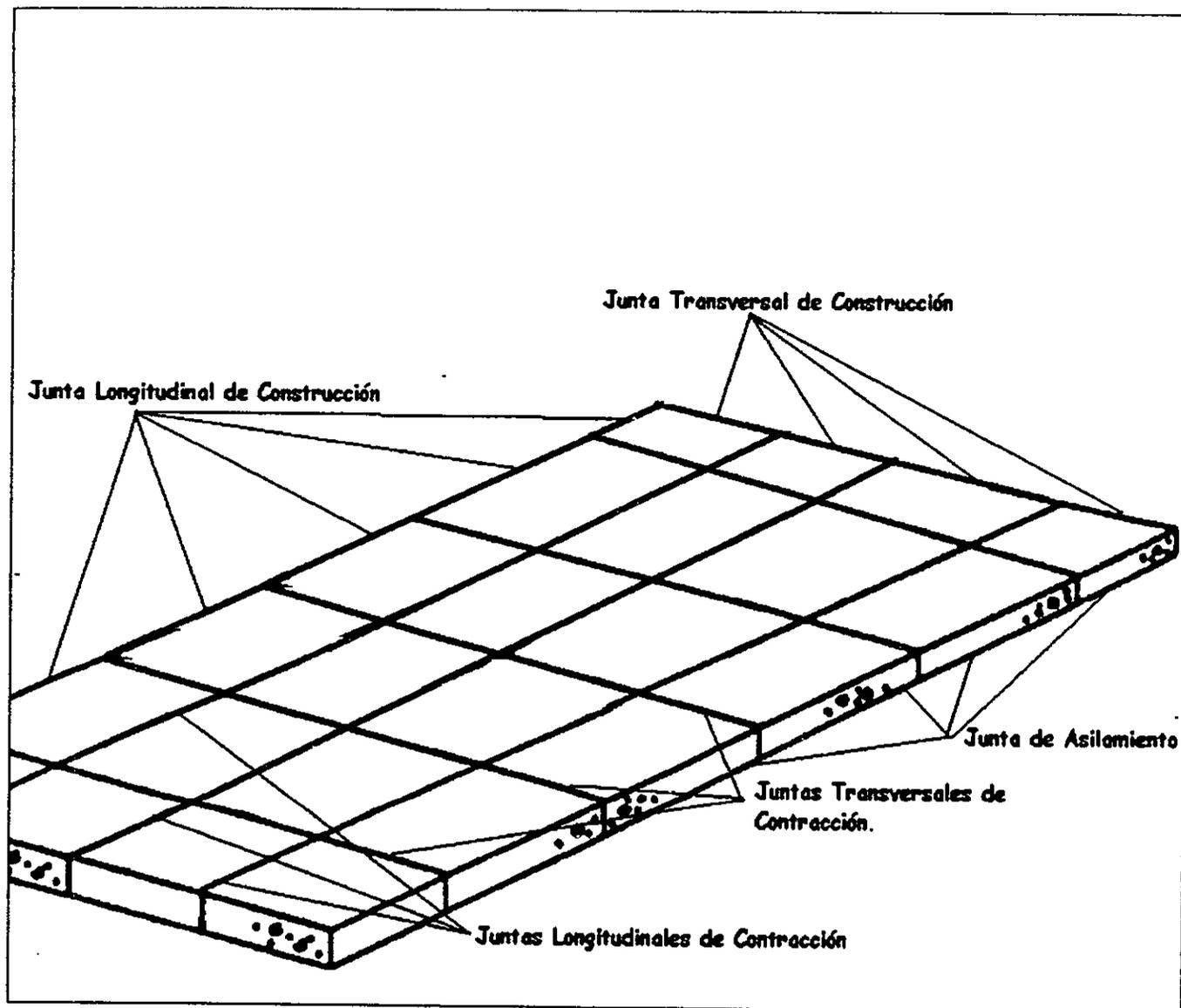


Figura 2.20. Localización de las Juntas en un Piso Industrial.

2.2.6. Moldeado de las juntas.

En las losas de concreto las juntas pueden hacerse por medio de insertos introducidos en el piso, por cortado o por moldeado a mano. Las juntas formadas a mano fueron el primer tipo de juntas usadas en la construcción de piso. Sin embargo, las juntas cortadas con disco son el método de uso más extendido y recomendado en la construcción de juntas.

Las **Juntas Cortadas con disco** es el método más efectivo para cortar las juntas. El corte inicial del disco proporciona un plano de debilidad en el que se iniciará el agrietamiento. Es muy importante determinar el tiempo preciso para iniciar el aserrado del piso después de haber colocado éste y se necesita aplicar un criterio lógico; el aserrado demasiado tardío puede dar lugar a agrietamiento fuera de control en algunos casos. La calidad del corte de disco variará en

función de la resistencia del concreto. El aserrado demasiado pronto provoca agrietamiento y un deterioro a lo largo de la cara de la junta. Las condiciones climáticas (temperatura, viento, humedad y rayos de sol directos) juegan un papel muy importante en el desarrollo de la resistencia del concreto y en la definición del tiempo óptimo para iniciar el aserrado. El proporcionamiento de la mezcla de concreto y el tipo de sub-base y subrasante, también afectan la programación correcta del aserrado. Las mezclas con agregados de caliza más blandos implican menos generación de resistencia, que en el caso de mezclas con agregados gruesos más duros.

El aserrado deberá iniciarse tan pronto como sea posible después de alcanzarse la resistencia necesaria. EN CONDICIONES NORMALES, SE EMPIEZAN A HACER LOS CORTES ENTRE 4 Y 12 HORAS DESPUÉS DEL COLADO, DEPENDIENDO DE LAS CONDICIONES DE CURADO Y DEL TIPO DE SUB-BASE.

La selección del tipo de disco cortador (abrasivo/seco o diamante/húmedo) depende del tipo de agregados del concreto. Los agregados varían entre blandos (fáciles de cortar) y duros (difíciles de cortar). En la tabla 2.4 se muestran algunas clasificaciones de los agregados por dureza.

Tabla 2.4. Dureza General de los Agregados por el Concreto

Blando	Mediano	Duro
Caliza	Grava de río	Granito
Dolomita	Roca Trapeana	Pedernal
Coral		Horsteno
		Cuarzo

El tamaño de las partículas de agregado también puede afectar la facilidad de aserrado, independientemente de la dureza general del agregado.

Los discos de diamante pueden cortar todos los materiales para concreto. Los discos abrasivos son suficientes para cortar económicamente los agregados blandos pero generalmente no se usan en materiales duros.

La medición directa de la profundidad de la ranura cortada es la forma más confiable para garantizar que el corte satisface las especificaciones.

2.2.7. Selladores para Juntas de Pisos Industriales.

Para poder entender la razón de la existencia de los selladores y necesidad de sellar debemos hacer las siguientes preguntas:

1. ¿Por qué sellar todos los tipos de aberturas que quedan entre las losas ?

Las aberturas que se forman en las losas pueden ser juntas longitudinales o transversales de construcción o contracción o grietas que se forman al azar.

Y todas se sellan para:

a) Para prevenir la intrusión de sólidos incompresibles.

El material sólido que entra a las juntas es más peligroso que el agua. En invierno las losas se contraen y las juntas se abren. Si las juntas no están selladas, se llenan con piedras, suciedad del camino e inclusive por debajo de la losa por el suelo de apoyo granular. Al llegar la temporada de calor, las losas tienden a dilatarse y sus juntas a cerrarse. Por no ser de tamaño uniforme la materia extraña que rellena la junta, se desarrollan esfuerzos concentrados en los bordes a medida que éstas intentan dilatarse. Estas concentraciones de esfuerzo ocasionan el astillamiento de los bordes de las losas y esto acelera el deterioro causado por el agua y sustancias químicas. Los estudios demostraron que el astillamiento de las superficies inferiores de las juntas, es tan serio como el astillado superficial visible. La presencia de material incompresible en las juntas de las losas de concreto puede impedir el movimiento normal del piso. Un piso restringido en su movimiento normal puede sufrir un alzamiento o bien, puede moverse longitudinalmente toda la masa del piso.

b) Para prevenir la intrusión del agua y de las sustancias químicas a las que puedan estar sujetos las losas de concreto.

El agua y las soluciones salinas que se cuelean por las juntas pueden dar origen al reblandecimiento del suelo que se encuentra bajo los bordes de las losas, ocasionando una pérdida de material. Esta pérdida de soporte del suelo, amplifica el efecto de bombeo del tránsito que pasa sobre las juntas, y origina el agrietamiento de los bordes y de las esquinas de las losas.

2. ¿Porqué no construir el piso sin juntas y eliminar el problema de los selladores?

El construir losas sin juntas trae como consecuencia el uso de las "losas con refuerzo continuo" o de "las losas presforzadas", que tienen un inconveniente, su alto costo. Y aun con el uso de este tipo de estructuras la losa produce sus propias juntas.

3. ¿Qué características debe tener en material sellador?

El material aplicado en las juntas debe ser elástico como para impedir la intrusión de material extraño en la junta y debe a la vez impedir el paso del agua a través de ella. Además, este sellador debe tener excelente resistencia a las sales anticongelantes que se aplican a los pisos, debe poseer la capacidad de adherirse al concreto (No se aplica a selladores de compresión), debe ser compatible respecto a los materiales con los cuales entra en contacto (tales como barras de respaldo y otros selladores) y debe poseer la capacidad para resistir el

deterioro al ser expuesto a los elementos atmosféricos (sobre todo, los rayos ultravioleta del sol y el ozono).

El sellador debe ser también del tipo que puede vaciarse, o sea, de "auto nivelación", para que llene todos los huecos que haya en el substrato, sin tener que pasar por una afinación con herramienta después de ser instalado.

4. ¿Cómo se clasifican los Selladores existentes para el uso en Pisos de Concreto?

Los selladores se clasifican en líquidos y preformados. Los selladores líquidos pueden aplicarse en caliente o frío, pueden ser de uno o dos componentes y ser autoenrasables o labrables. Los selladores preformados (selladores de compresión) dependen de la recuperación de la compresión a largo plazo para conseguir un asiento adecuado.

5. ¿Qué material sellador se recomienda para el uso donde exista tránsito pesado?

Para losas de concreto que van a ser usadas en donde se espere la circulación de vehículos con ruedas pequeñas y duras, de gran peso, se recomienda sellar las juntas o grietas con materiales epóxicos, ya que por la dureza que posee este sello, además de evitar la intrusión de material incompresible y agua, contribuye a proteger a los orillas de la losa y de las juntas contra el impacto de las llantas de hule duro, de los neumáticos o de las llantas de cualquier vehículo.

2.2.7.1. Componentes Importantes para los Selladores.

1. Cordones de Resguardo.

Los cordones de resguardo constituyen un componente importante para instalar los selladores líquidos. Los cordones de resguardo evitan que el sellador se escape por el fondo de la junta y evitan la adherencia del sellador con el fondo de la caja de la junta. Este cordón también ayuda a definir el factor de forma y optimiza la cantidad de sellador aplicado.

Los cordones de resguardo se colocan dentro de la caja de la junta antes de aplicar los selladores líquidos.

Se usa un dispositivo que empuja a la barra de respaldo, hasta la profundidad necesaria para lograr el factor de forma deseado. El diámetro de la barra de respaldo debe ser 25% mayor que el ancho de la caja, a fin de asegurar un ajuste hermético.

No existen especificaciones nacionales para cordones de resguardo; sin embargo, entre las consideraciones importantes que se deben tener en cuenta para los diversos materiales, están las siguientes:

- **Espuma de Polietileno:** La espuma de polietileno es una espuma muy cerrada que no absorbe agua y que es moderadamente compresible. Las espumas de polietileno puede derretirse con materiales aplicados en caliente por eso son más adecuados para emplearse con selladores aplicados en frío.
- **Espuma de Polietileno Reticulada:** La espuma de polietileno reticulada es compatible con selladores aplicados en caliente. Es una espuma de celdas cerradas que no absorbe agua y es moderadamente compresible pero que no se derrite al contacto con el sellador aplicado en caliente.
- **Espuma de Poliuretano:** Esta espuma de celdas abiertas absorbe agua, pero no se derrite cuando se usa con materiales aplicados en caliente: es muy compresible y generalmente se usa para selladores aplicados en caliente.

2. Cajas para el Sellador de Juntas.

El factor de forma de la caja es crítico para el buen funcionamiento a largo plazo de un sellador. Ya que la sección transversal cambia durante la dilatación y la contracción, con estos movimientos el piso desarrolla esfuerzos dentro del sellador y a lo largo de superficie de contacto sellador/caja. Estos esfuerzos pueden ser excesivos si el factor de forma no es el adecuado para el material de sello. En la tabla 2.5. se muestran los factores de forma típicos para selladores líquidos y de compresión.

Tabla 2.5. Factores de forma típicos para selladores líquidos y de compresión.

Tipo de Sellador	Factor de Forma Típico
Aplicado en caliente	1.00
Silicón	0.5
Tipo Compresión	No se rige por factor de forma.

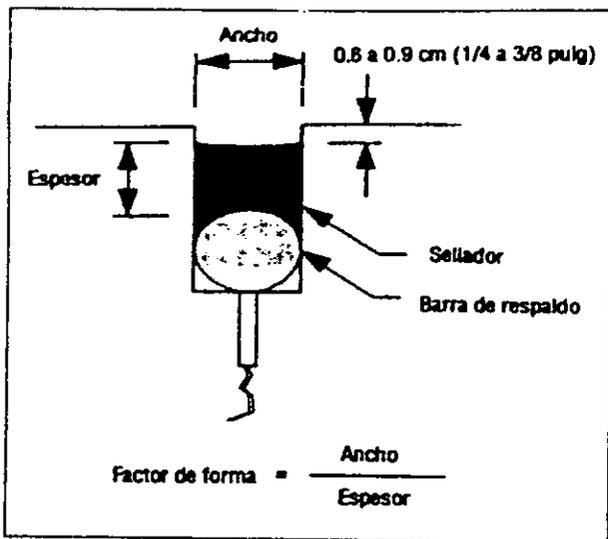


Figura 2.20. Caja para sellador de juntas y su factor de forma.

Una caja para sellador de juntas con un factor de forma con valor menor a uno, desarrolla menores esfuerzos en el sellador de la junta, que un factor de forma mayor que la unidad.

Los esfuerzos internos más bajos o reducidos derivados de factores de forma adecuados minimizan las fallas adhesivas y cohesivas. El diseño del factor de forma debe incluir el remetimiento del sellador a una profundidad de 6 a 9.5 mm. Este remetimiento es importante para evitar los problemas de extrusión.

2.2.7.2. Selladores Líquidos para Juntas de Pisos Industriales.

1. Elastómeros* vaciados en frío.

El sellador elastómero para uso en juntas de losas de concreto, debe ser un material de dos componentes. Los materiales de un componente se curan con demasiada lentitud para ser prácticos. Este sellador debe tener dureza Shore** de 15 a 25°C para que resista a la penetración de las piedras y del polvo del camino.

Estos selladores deben tener adhesión al concreto, con resistencia a la tensión, por lo menos de 100 psi. Además tiene un alargamiento final de por lo menos 150%.

Los elastómeros de dos componentes para uso en losas de concreto pueden ser materiales mezclados a mano o a máquina. Los materiales mezclados a mano se surten en la relación usual de 15 partes de agente para curado por 100 partes de polímero. Estos materiales se mezclan por medio de una paleta agitadora en un taladro eléctrico de baja velocidad y pueden vaciarse o bien extruirse con una pistola en la junta. Los materiales mezclados a máquina se surten en una relación de 1:1 en volumen. Se ponen los dos componentes en cámaras separadas, en la máquina mezcladora, se bombean por mangueras distintas y se mezclan en la boquilla. Luego se extruyen a presión en la junta. El sello continuará ejerciendo presión contra las paredes de la misma. Los únicos selladores elastómericos que se emplean en las juntas de pisos, son los polisulfuros, los uretanos y los polimercaptanos.

2. Resinas Epóxicas.

Determinadas resinas epóxicas pueden usarse para rellenar juntas cuando necesitan apoyo en los bordes para poder soportar la acción del tránsito de ruedas duras y pequeñas. Dichos materiales

* Material de la naturaleza del hule que recupera aproximadamente sus dimensiones originales en un corto tiempo, después de sufrir una deformación relativamente grande.

** La dureza Shore se mide con el durometro Shore, se mide en una escala de 0 a 100.

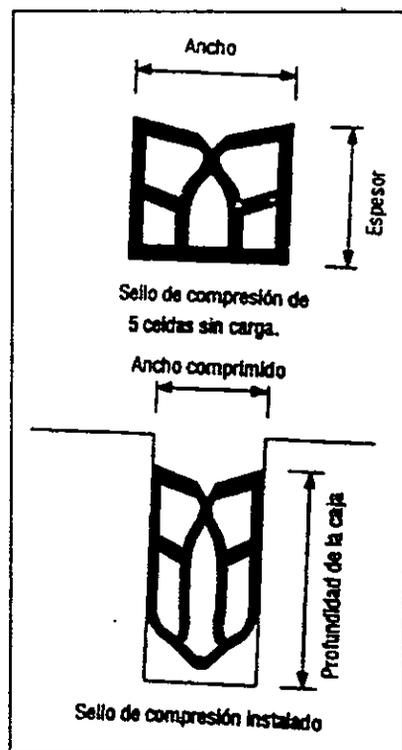
deben ser 100% sólidos, tener una dureza Shore D mínima de 50 y un alargamiento del 6%. Estos materiales deben usarse sólo cuando pueden esperarse movimientos mínimos posteriores, particularmente en losas interiores. Por último debe aplicarse de 3 a 6 meses después de la construcción; mientras más se retarde su uso, mejores serán los resultados. Tiene alta resistencia a los químicos y al agua, es compresible y extensible solo a menos de 25%.

2.2.7.3. Selladores Preformados para Juntas de Pisos Industriales.

1. Empaques de Neopreno Preformados

Los empaques de neopreno preformados funcionan ejerciendo presión contra las caras de la junta, además son los que mejor mantienen fuera de las juntas a los sólidos incompresibles, además de que mantienen fuera de las juntas un gran porcentaje del agua; pero no son impermeables. También se logra con ellos una junta de mejor apariencia mayor a la de todos los selladores conocidos; pero tienen las desventajas de que requieren juntas rectas y firmes, para que puedan funcionar bien. Además, de que los astillamientos son difíciles de reparar.

2. Sellos de compresión preformados.



Estos sellos son los que gozan de mayor aceptación para uso en losas de concreto. Prácticamente todos los sellos de compresión se fabrican de neopreno. Hay cientos de formas diferentes de sellos disponibles en el mercado, pero las secciones de uso más frecuente son las de forma de escudo (chevron) y la rectangular. Aunque no se ha publicado ningún análisis comparativo de esfuerzos, se cree que la forma rectangular tiene las mejores propiedades.

Los sellos de compresión al instalarse se deben comprimir a la mitad de su ancho inicial, de manera que, con la junta abierta a su ancho máximo, el sello continuará ejerciendo presión contra las paredes de las mismas; pero no debe estirarse durante su instalación. Cuando se alarga un sello longitudinalmente durante su instalación, puede estrecharse hacia abajo y hacer más sencilla su instalación, pero no se comportará correctamente después de colocado en la junta.

Figura 2.21. Sellos de compresión

Los sellos preformados tienen desventaja de costo, además deben instalarse en juntas de paredes rectas y firmes. Sin embargo, los sellos preformados pueden funcionar con efectividad durante un período de 20 años, justificando su costo adicional.

Pero aunque los sellos de compresión hagan mejor el servicio en cuanto a mantener los sólidos incompresibles fuera de la junta, no son herméticos al agua. Consecuentemente, el agua que se filtra por el sello de compresión puede corroer el dispositivo de transmisión de la carga y afectar el movimiento normal del piso.

El correcto diseño del espesor de la losa determina el buen desempeño de la misma durante su vida útil. Del espesor depende la cantidad de esfuerzo transmitidas a la capa de apoyo y determina la flexión que sufrirá la losa. Esta deflexión es causada por las cargas de diseño que son:

1. Móviles. Provenientes de los neumáticos de camiones de carga, montacargas y grúas viajeras.
2. Estáticas concentradas. Debidas a estanterías y áreas de almacenaje.
3. Estáticas distribuidas. Como las cargas provenientes de materiales colocados sobre el piso de concreto.
4. Inusuales. Como la de configuraciones de neumáticos poco comunes y equipos especiales.

Para cada uno de los tipos de carga anteriores existen diseños para el calculo del espesor, con la facilidad del manejo de gráficas y tablas de diseño.

Para el método de diseño de cargas móviles, se basa solo en el transito de un montacargas e involucra conceptos específicos como: carga máxima por eje, número de repeticiones de carga, área de contacto entre llanta y piso, espaciamiento entre las ruedas de los ejes mas cargados, esfuerzos en la sub-base o la subrasante y la resistencia a la flexión del concreto.

En el caso del método de diseño para cargas estáticas concentradas en estante cargado a su capacidad máxima inducirá esfuerzos en la losa debidos a la carga sobre los postes de soporte, siendo estas cargas mas severas que las ruedas de montacargas cargados.

Los factores de diseño para postes cargados son similares a los usados para montacargas excepto por el uso de un factor de seguridad mas alto, siendo específicos los factores de diseño son: (1) la carga máxima en el poste, (2) el área de contacto cargada, (3) el espacio entre los postes, (4) esfuerzos en la sub-base o subrasante y (5) los esfuerzos de flexión del concreto.

El método de diseño para cargas estáticamente distribuidas tiene que las cargas ED se definen como cargas que cubren una gran zona debido a que el material se sitúa sobre el piso dentro de las bahías del almacén. Después de haber escogido un espesor adecuado para soportar postes cargados y montacargas muy pesados los efectos de las cargas distribuidas no deben despreciarse y deben ser examinados.

Los objetivos de diseño para cargas distribuidas son:

1. Prevenir rompimientos de los pisos debido al esfuerzo excesivo de tensión en la parte superior de la losa. Esta prevención se hace consultando las tablas para cargas distribuidas con arreglo fijo y variable.
2. Evitar hundimientos inaceptables de la losa. No existen tablas que determinen la carga máxima, debemos comprender que los hundimientos de la losa son provocados por presiones excesivas bajo el suelo de la misma. En las cargas concentradas, un mayor espesor de la losa reduce la presión en el suelo. Sin embargo para las cargas distribuidas, la presión en el suelo es igual a la carga distribuida más el peso de la losa.

El método para cargas inusuales. Las configuraciones especiales de carga como ruedas y configuración de postes inusuales, vehículos con ejes especiales o con más de cuatro ruedas por eje, pueden considerarse como cargas inusuales. El diseño para este tipo de cargas queda fuera del alcance de esta tesis, pero podemos aclarar que los esfuerzos en la losa, las deflexiones y las presiones en el suelo pueden ser determinados con cartas de influencia o con un programa de computadora.

La necesidad de considerar el diseño de juntas radica en diversos factores, uno de ellos sería el desquebrajamiento irregular que se presenta en losas de concreto sin juntas, esta situación no es buena para las losas industriales que estén en contacto con agentes agresivos que pueden penetrarla por las grietas, por esta razón aparece el junteado, ya que controla el agrietamiento transversal y longitudinal. Otra razón importante que justifica el diseño de las juntas en pisos de concreto, es que divide en módulos de construcción prácticos y absorbe los movimientos de la losa.

Para un **adecuado diseño del sistema de junteado** es necesario considerar diversos factores, como: (1) Espaciamiento entre juntas, (2) Eficiencia de las juntas, (3) Abertura de la junta, (4) Uso de dispositivos de transferencia mecánica y (5) Consideraciones de estabilización de la sub-base.

Del mismo modo, para un adecuado funcionamiento del sistema de junteado en el piso se hace necesario una preparación de la junta y un sistema de sellado. La preparación de la junta incluye el moldeado de la junta por medio del aserrado con disco y la preparación de la caja del sellador con un factor de forma menor a uno. El sistema de sellado previene la intrusión de sólidos incompresibles así

como el la intrusión de agua y sustancias químicas a las que puedan estar sujetas las losas de concreto, los selladores pueden ser de dos tipos básicos: líquidos (aplicados en frío y en caliente) y preformados, recomendándose el uso de selladores líquidos del tipo de "resinas epóxicas", para el uso donde se espere la circulación de vehículos con ruedas de hule duro. Para otras aplicaciones se recomiendan los selladores de compresión preformados que aunque se necesita mayor inversión inicial.

Capítulo Tercero.

**Mecanismos de Ataque Mecánico y Químico a los Pisos
Industriales de Concreto .**

Capítulo Tercero. Mecanismos de Ataque Mecánico y Químico a los Pisos Industriales de Concreto .

Objetivo: Describir las Características de Ataque de los Distintos Agentes sobre los Pisos Industriales de Concreto.

3.Mecanismos de Ataque Mecánico y Químico a las Losas de Concreto Industriales.

En términos generales todas las estructuras de piso fabricadas de concreto, son resistentes en condiciones normales de uso (sin la presencia de químicos altamente agresivos o grandes concentraciones de esfuerzos), esto sucede en losas de concreto en vialidades por las que transitan vehículos ligeros.

Pero en el caso de pisos de concreto en industrias, no se presentan "condiciones normales de uso", ya que existen grandes concentraciones de esfuerzos debido a las cargas que necesitan ser transportadas y al tipo de vehículos que las transitan (montacargas, grúas viajeras, etc.), en cuanto a la presencia de químicos, ésta es alta ya que algunos procesos industriales necesitan elementos altamente degradantes, en donde un concreto sin protección no tendría la resistencia y durabilidad necesaria.

Para poder comprender el grado y el alcance del ataque, es necesario saber qué deteriora al concreto y cómo lo deteriora, para así poder reducir o retardar sus efectos sobre las losas de concreto.

¿Qué deteriora al concreto?

- El ataque químico es el daño provocado por distintas sustancias (agua de mar, compuestos orgánicos, desperdicios y grasas animales, etc.) presentes frecuentemente en la mayoría de los pisos industriales dependiendo su uso, pero existen otras sustancias aún más agresivas como las aguas y las soluciones de ácidos o sulfuros que están presentes en los pisos de las industrias en los que son necesarios para sus procesos.
- El ataque mecánico a los pisos. Éste ataque está presente en cualquier superficie de un piso, industrial o no, y puede ocurrir de dos maneras:
 1. Por uso de la superficie. Este tipo de ataque está principalmente proporcionado por la abrasión y el impacto.
 2. Por fracturamiento. Este tipo de ataque está principalmente proporcionado por cambios volumétricos debidos a gradientes de temperatura y por sobrecarga en el piso.

¿Cómo lo deterioran?

Es necesario tener en cuenta que los procesos de deterioro siempre comienzan con la presencia del agua, que se puede definir como: "el principal agente en la fabricación y en el deterioro del concreto". Su papel durante la fabricación del concreto es conocida, sin embargo la degradación que provoca sobre el concreto puede ser física (por medio de la abrasión) y química, ya que actúa como vehículo de transporte de sustancias agresivas que pueden o no, penetrar en el concreto debido a su permeabilidad.

Para poder entender las dos interrogantes planteadas es recomendable entrar en detalle. Las siguientes secciones nos proporcionarán una visión más detallada.

3.1. Ataque Mecánico.

La degradación por ataque mecánico (abrasión e impacto) es ocasionada por el tránsito de todo tipo de vehículos sobre la superficie de la losa, sobre sus orillas y sus juntas, generando una degradación progresiva, en la que sino se toman medidas de prevención se puede presentar desde un simple daño hasta la destrucción total de la estructura, junto con el excesivo desgaste de la superficie.

Las causas de la degradación del concreto por ataque mecánico las he agrupado en dos categorías, como lo indica la figura 3.1:

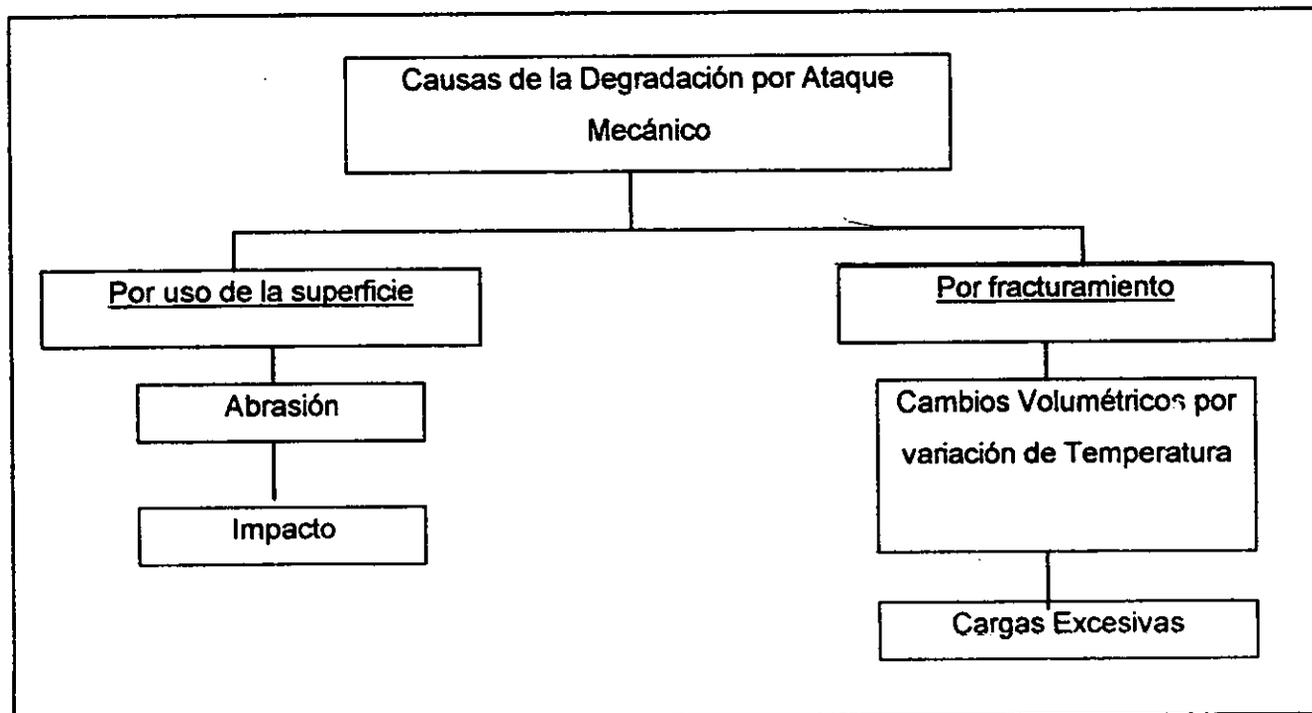


Figura 3.1. Causas de la degradación del concreto por ataque mecánico.

A)POR USO DE LA SUPERFICIE.

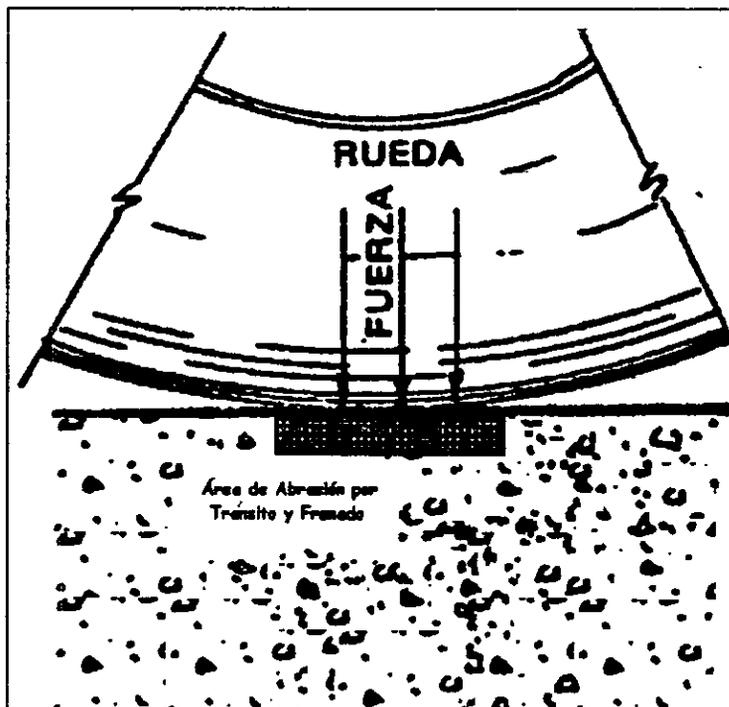
1. La ABRASIÓN es el desgaste en seco, como el que sucede en los pavimentos y pisos industriales por el tránsito vehicular.
2. El IMPACTO es la acción de golpeo que tienen los neumáticos contra las orillas de las losas o las orillas de las juntas.

B)POR FRACTURAMIENTO.

1. El CAMBIO VOLUMÉTRICO que sufren las losas por gradientes de temperatura es provocado por la dilatación y expansión que sufre el concreto. La expansión o la contracción en losas de concreto forman fracturas que reducen su resistencia mecánica y su resistencia a sustancias químicas.
2. El colocar CARGAS DE MAYORES MAGNITUDES sobre una losa de concreto causa esfuerzos de flexión o de cortante de mayor magnitud que la losa no puede resistir y causará la formación de grietas o de hundimientos en las capas de apoyo.

3.1.1.Degradación por Uso de la Superficie.

3.1.1.1. Abrasión.



La resistencia del concreto a la abrasión se define como "la capacidad de una superficie para resistir el desgaste por frotación o fricción de las partículas de otros cuerpos, impuestas entre ellos por el uso diario" ver figura 3.2. La resistencia a la abrasión es muy importante en los pisos industriales. La abrasión en estructuras hidráulicas (erosión) no se considerarán en ésta tesis.

Durante más de un siglo se han llevado a cabo investigaciones para desarrollar pruebas de laboratorio significativas

Figura 3.2. Abrasión al concreto impuesta por el tránsito de vehículos.

sobre la resistencia del concreto a la abrasión. El problema es complicado ya que existen diversos tipos de abrasión, y no se ha encontrado ningún método de prueba que por si mismo sea adecuado para todas las condiciones.

El comité 201 del A.C.I. concluye que la resistencia a la abrasión se ve afectada en primer lugar por: la resistencia a la compresión, las propiedades del agregado, los métodos de acabado, el empleo de superficies de desgaste y el curado. Pero las pruebas realizadas en campo demuestran que la resistencia a la compresión es el factor más importante que controla la resistencia a la abrasión del concreto, aumentando la resistencia a la abrasión con el incremento de la resistencia en compresión.

En el caso de losas de concreto industriales, la abrasión es ocasionada básicamente por la fricción de las llantas de vehículos en sus maniobras de tránsito y frenado.

El efecto de abrasión aumenta debido a varios factores:

1. La durabilidad del concreto. Dentro de este factor podemos mencionar: a los concretos con baja cantidad de cemento, al terminado de la superficie del piso cuando todavía esta fresco, a la excesiva cantidad de aire incluido en la superficie del concreto, a un curado deficiente (menos de 7 días después de colocado el concreto), al congelamiento a edad temprana o a la apertura al tránsito abrasivo antes de que se desarrolle la suficiente resistencia.
2. El tamaño del área de contacto. El área de contacto, es el área de fricción entre la llanta y la superficie del concreto, a mayor área de contacto, existirá mayor área de fricción lo que traerá como consecuencia un mayor desgaste.
3. La dureza de la llanta. Dos materiales con coeficientes de fricción altos friccionándose entre sí, producirán mayor abrasión que los que no lo son. De esta forma la abrasión a los pisos por el tránsito de los vehículos y el rodamiento de sus llantas puede reducirse con acabados o materiales de superficie que reduzcan este coeficiente fricción o como sucede con los neumáticos blandos que reducen su coeficiente y la abrasión se presenta en mayor proporción en la superficie de la llanta.
4. Frecuencia de tránsito de los vehículos y su capacidad de carga. La frecuencia de tránsito y la capacidad de carga determina el grado de abrasión debido a que un numero mayor de repeticiones de carga producen mayor abrasión que una frecuencia de tránsito menor.

5. La velocidad del vehículo. La velocidad es un factor importante ya que a mayor velocidad, las llantas producirán mayor abrasión al piso y aún más abrasión, al momento de la acción de frenado.

Algunos efectos visibles de la abrasión son:

- a) Formación de polvo en las superficies del piso o el pulverizamiento. El pulverizamiento es debido a un concreto débil en la superficie, causado por demasiada agua en el mezclado, por el terminado de la superficie del piso cuando todavía está fresco, por la presencia de arcilla, impurezas o materiales orgánicos en los agregados, por el uso de cemento en polvo para secar la superficie del piso o por agregar agua a la superficie de la losa durante el acabado.
- b) El Descascaramiento. Otro fenómeno de la baja resistencia a la abrasión, es la presencia de descascaramiento que provoca una apariencia áspera a las superficies. Por lo general, la profundidad del descascaramiento es inferior a 13 mm (½"). Las principales causas de este problema son la alta permeabilidad y la baja calidad del concreto, el terminado de la superficie del piso cuando todavía esta fresco, por el escaso o nulo contenido de aire incluido en la superficie del piso o por la congelación de la superficie a edad muy temprana.

Se pueden conducir ensayos de resistencia ala abrasión, rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie, se dispone también de otros tipos de ensaye a la abrasión como (ASTM C418) y C944, además de la clásica prueba de los Angeles desarrollada de acuerdo con la norma ASTM C131 ó C535.

3.1.1.2. Impacto.

El impacto en losas de concreto es causado por el choque de neumáticos blandos, de llantas de

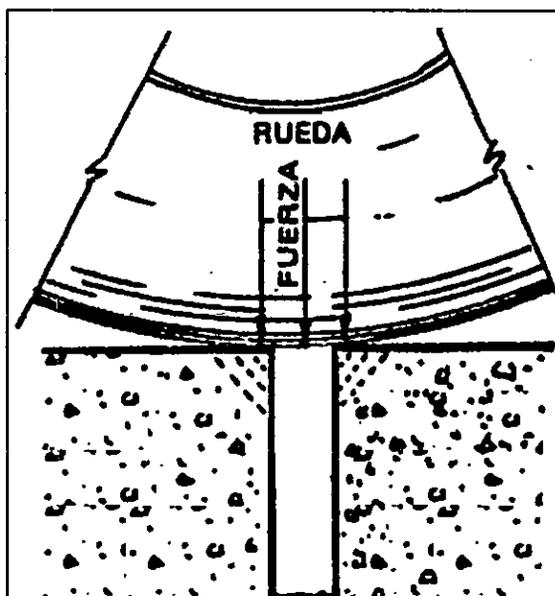


Figura 3.3. Choque de neumáticos contra los bordes de las juntas.

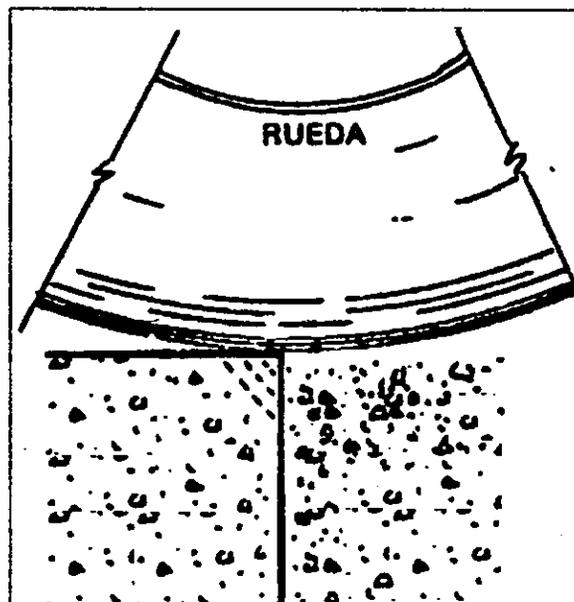


Figura 3.4. Choque de los neumáticos contra los bordes de las orillas.

huele duro c' por llantas de acero contra los bordes de las juntas (figura 3.3.) o contra los bordes de las orillas (figura 3.4.). Estos impactos deterioran y consecutivamente, destruyen a las juntas y a las orillas, provocando un deterioro progresivo.

El grado de impacto depende de:

1. La forma de la orilla. De la forma de orilla depende el grado del impacto, si la junta es redondeada se reduce el grado del impacto y consecuentemente, el desmoronamiento de los materiales. Si las orillas se dejan en ángulo recto el impacto recae sobre la orilla y ocasiona el desmoronamiento de los materiales de la losa.
2. La dureza de la llanta. De la misma forma que para la abrasión, la magnitud del impacto depende de la dureza de la llanta, a mayor dureza de la llanta el impacto con la orilla será de peores consecuencias.
3. Frecuencia de tránsito de los vehículos y su capacidad de carga. La frecuencia de tránsito y la capacidad de carga determina el grado de impacto debido a que un numero mayor de repeticiones de impacto producen mayor degradación a la orilla, en proporción inversa a una frecuencia de tránsito menor.
4. La velocidad del vehículo. La velocidad es un factor importante ya que a mayor velocidad, las llantas producirán un mayor impacto a las orillas y a las juntas .

La pérdida de material de la masa del concreto, debida al impacto es tanta como la debida a la abrasión.

Las siguientes figuras muestran la degradación en las orillas y las juntas de las losas.

3.1.2.Degradación por Fracturamiento.

3.1.2.1. Cambio Volumétrico.

La degradación por fracturamiento o por agrietamiento por cambio volumétrico está dado básicamente por las siguientes causas:

1. Contracción.

La mayor parte del agrietamiento anticipado en el concreto tiene lugar a edades muy tempranas en la vida del piso. Una de las causas principales del fracturamiento en el concreto son:

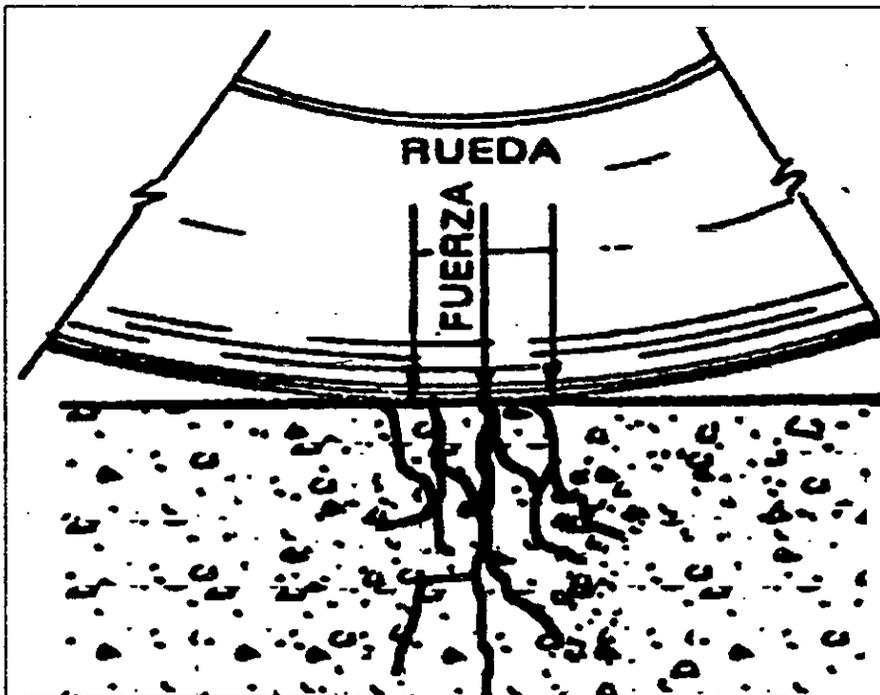
- a) Cambios de temperatura. El calor de hidratación y la temperatura del pavimento que generalmente alcanzan su nivel máximo poco tiempo después que a ocurrido el fraguado final. Después de llegar al máximo, la temperatura del concreto disminuye debido a la menor actividad de hidratación y por el descenso de temperatura durante la primera noche del pavimento que provoca esfuerzos de compresión y tensión.
- b) Reducción de Volumen por pérdida de agua. Otro factor que contribuye a la contracción inicial se debe a la reducción de volumen inducida por la pérdida de agua de mezclado, que su vez se ve reducida por la fricción con la sub-base. Esta resistencia induce esfuerzos de tensión dentro del concreto que si no es considerada provocara un patrón de agrietamiento.

2. Gradientes de Temperatura.

Los esfuerzos inducidos por gradientes de temperatura y de humedad dentro del concreto, también pueden contribuir al agrietamiento. Estos esfuerzos generalmente ocurren después del endurecimiento del concreto. La parte superior expuesta al aire presenta variaciones diarias bastante grandes de temperatura y de contenidos de agua. Los cambios diarios de temperatura y de humedad son mucho menores en o cerca de la parte inferior del piso.

La ondulación de una losa se produce como resultado de los gradientes de temperatura a través del espesor de la estructura del piso.

3.1.2.2. Cargas Excesivas.



Las cargas excesivas son un factor importante en el agrietamiento de las losas, ya que el espesor de una losa está propuesto para soportar un nivel de esfuerzo de flexión conocido, al aumentar el nivel de esfuerzo en la losa, se producen fracturas que disminuyen gradualmente la resistencia de la losa.

Figura 3.5. Cargas excesivas sobre una losa de concreto simple.

3.2. Ataque Químico.

El concreto normal con una f_c de más de 300 kg/cm^2 , tiene buena resistencia a el contacto con ácidos débiles. Este tipo de contacto no causa problemas que puedan considerarse como perjudiciales al concreto, los ataque químicos que se considerarán son los que ocurren en plantas químicas, rastros o en donde los pisos están sujetos a una desintegración lenta y se recomienda protegerlos con otros materiales resistentes a es tipo de daño.

En general, la VULNERABILIDAD DE CONCRETO AL ATAQUE QUÍMICO ES DEBIDA A POR LO MENOS TRES DE SUS CARACTERÍSTICAS MÁS IMPORTANTES:

1. Su PERMEABILIDAD. La permeabilidad es la cantidad de traslado de agua a través del concreto o la capacidad del concreto a resistir la penetración del agua y otras sustancias. Generalmente las propiedades que hacen al concreto menos permeable lo hacen más hermético.
2. Su ALCALINIDAD. El ligante alcalino del cemento portland, es reactivo con las sustancias ácidas presentes en su medio ambiente.
3. LA CAPACIDAD DEL CONCRETO PARA EXPERIMENTAR REACCIONES QUÍMICAS INDESEABLES. Como la hidrólisis del concreto por aguas suaves, reacciones entre fluidos agresivos y por último las reacciones que forman productos expansivos.

Las causas de la degradación del concreto por ataque químico se han agrupado como lo indica la figura 3.6.

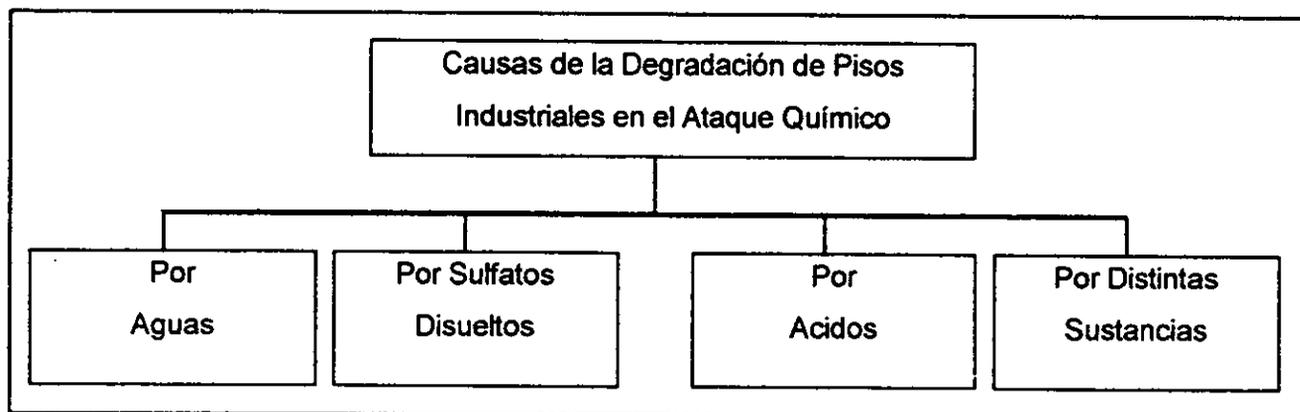


Figura 3.6. Causas de la Degradación del Concreto por Ataque Químico

Según el tipo de químico y sus acciones, podemos distinguir tres tipos clásicos de acción, que son:

- I. Corrosión por lixiviación. Es la acción extractiva o de lavado que sufren los componentes de la pasta de concreto endurecida. Puede ser:
 - a) Corrosión por lixiviación externa del primer tipo. Sucede por la acción del agua poco carbonatada o por agua que contenga ácidos o ácido carbónico. Esta corrosión sucede por la acción del agua absorbida por el concreto, pero también puede ser causada porque la superficie del concreto se ponga en contacto con aguas excesivamente blandas. En este caso la velocidad de corrosión es dada por la velocidad de desaparición del hidróxido cálcico disuelto. La corrosión de este tipo se puede desarrollar intensamente cuando el agua agresiva posee un gran poder disolvente y existe la posibilidad de que esa agua circule.
Este tipo de corrosión puede desarrollarse intensamente en concretos porosos, mientras que en los concreto compactos, especialmente en los puzolánicos, nunca o casi nunca es observada.
 - b) Corrosión por lixiviación externa del segundo tipo. Esta reacción es debida a una reacción de cambio iónico entre los componentes del concreto endurecido y las sustancias existentes en el agua agresiva, se forman combinaciones fácilmente solubles, que posteriormente son arrastradas en disolución por una corriente de agua, o permanecen en el lugar de su formación sin capacidad aglomerante.
 - c) Corrosión por lixiviación externa del tercer tipo. Es el resultado del ataque de distintas sales. En el momento inicial, los poros y huecos del concreto se rellenan de cristales de nueva formación, aumentando su compacidad. Pero como estos cristales continúan creciendo, ejercen una acción expansiva y acaban destruyendo al concreto.
 - d) Corrosión Interna. Es la que se produce cuando un exceso de yeso en el cemento se pone en contacto con una solución de cal. También puede deberse a la adición excesiva de ceniza volante al cemento.
- II. Corrosión por reacción de cambio iónico y separación de las combinaciones fácilmente solubles de la pasta de cemento endurecida.
- III. Corrosión por expansión, debida, en general, a la formación de nuevos compuestos estables en la masa del cemento endurecido.

3.2.1. Ataque por Aguas.

Una degradación al concreto no es solo provocada por aguas que contengan ácidos o sulfuros en solución, sino también puede ser provocada por aguas totalmente puras, libres de sales, por aguas blandas que tengan pocas impurezas o por aguas de condensación industrial.

La dureza de un agua se determina por la dureza de los iones Ca y Mg o de sus combinaciones. La suma de estos valores nos da la dureza total (GH). Los bicarbonatos de estos metales y en primer lugar el $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, dan al agua la dureza de carbonatos, también llamada dureza temporal; sus otras sales (sulfatos, cloruros) constituyen la dureza permanente, llamada así por permanecer después de la ebullición.

Mecanismo de ataque.

La agresividad que presentan las aguas blandas está en función de la dureza de carbonatos y parte en función de la dureza total, estas aguas (pobres en Ca y Mg) atacan generalmente la superficie del concreto. La corrosión causada consiste en la disolución y consiguiente lixiviación del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado. La lixiviación se produce rápida al principio y luego con velocidad progresivamente menor.

La magnitud de la lixiviación producida por la acción de las aguas blandas depende de los siguientes factores:

1. Dureza del agua.
2. Movimiento o estancamiento del agua.
3. Cantidad de agua introducida a presión.
4. Temperatura del agua.
5. Clase de cemento.
6. Compactación del concreto.
7. Estado de la superficie del concreto.
8. Dimensiones y edad del elemento.

3.2.2. Ataque por Sulfatos.

Los sulfatos son sales derivadas del ácido sulfúrico. Algunos sulfatos de sodio, potasio, calcio y magnesio están disueltos en el suelo de forma natural o en suelos que han sido rellenados con escoria o ceniza de altos hornos. Los sulfatos pueden llegar a encontrarse alrededor de estructuras de concreto susceptibles a sus efectos perjudiciales. Por ejemplo cuando una cara del concreto está expuesta a evaporaciones, los sulfatos (sales disueltas), pueden acumularse sobre dicha cara, incrementando su concentración y por lo tanto sus posibilidades de deterioro.

Mecanismo de ataque.

Existen 2 reacciones químicas que intervienen en el ataque al concreto y son:

1. La combinación de los sulfatos con hidróxido de calcio (cal hidratada) liberada durante el proceso de hidratación del cemento. Esta combinación forma el sulfato de calcio (yeso).
2. La combinación de yeso y aluminato de calcio para formar sulfoaluminato de calcio (etringita).

Como consecuencia a las reacciones químicas anteriores, tenemos los siguientes resultados:

- a) Químico. Produce un aumento del volumen de sólidos en el concreto .
- b) Físico. Formación de cristales de sales de sulfato dentro de los poros del concreto.

La tabla 3.1. muestra el mecanismo de ataque de los sulfatos más comunes.

Tabla 3.1 Mecanismo de ataque de los sulfatos más comunes

Material	Efecto
Sulfato de aluminio	Desintegra rápidamente al concreto. En poros o cuarteaduras en el concreto, ataca al acero.
Sulfato de amonio	Desintegra. En poros o cuarteaduras, ataca al acero.
Sulfato de calcio	Desintegra el concreto con una inadecuada resistencia a los sulfatos
Sulfato de cobalto	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de cobre	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de fierro	Ver sulfato férrico y ferroso.
Sulfato de magnesio	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de manganeso	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de níquel	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de potasio	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de potasio aluminio	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos.
Sulfato de Sodio	Desintegra el concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos
Sulfato de zinc	Desintegra lentamente al concreto
Sulfato férrico	Desintegra el concreto con una inadecuada calidad
Sulfato ferroso	Desintegra de inadecuada resistencia a los sulfatos
Sulfito de amonio	Desintegra.
Sulfito de Sodio	Si está presente desintegra el concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos
Sulfito en solución	Ver Bisulfito de Calcio
Sulfito líquido	Desintegra lentamente al concreto
Sulfuro de amonio	Desintegra.
Sulfuro de cobre	Dañino solo si contiene sulfato de cobre.
Sulfuro de fierro	Ver sulfuro ferroso.
Sulfuro de potasio	Inofensivo a menos que este presente el sulfato de potasio.
Sulfuro de sodio	Desintegra lentamente al concreto
Sulfuro férrico	Peligroso si contiene sulfato férrico.

3.2.3. Ataque por Ácidos.

La acidez o alcalinidad de una solución acuosa está definida por la concentración de iones H. Matemáticamente el pH es el valor con signo cambiado del logaritmo natural de la concentración de iones de hidrogeno. La abreviatura pH significa "cantidad de iones". El pH del agua

absolutamente neutra es 7, por lo tanto pH menor a 7 indica acidez, por el contrario pH mayor a 7 indica reacción alcalina.

Los ácidos poseen la característica de descomponer a aquellas sustancias que entran en contacto con él. En general el concreto no posee una "alta" resistencia al ataque de los ácidos fuertes y solo tolera el ataque de ácidos débiles.

Los ácidos están presentes en los productos de la combustión de un gran número de carburantes ya que contienen gases sulfurosos que se combinan con la humedad y forman ácido sulfúrico. También las aguas residuales o de albañal pueden ser colectadas de tal forma que produzcan ácidos. El agua de algunas minas y algunas aguas industriales pueden contener o formar ácidos que atacan al concreto.

Algunas veces las corrientes de agua de regiones montañosas son ácidas debido a que contienen bióxido de carbono disuelto y solo atacan en la superficie. Algunas aguas minerales con altos contenidos de bióxido de carbono o de sulfuro de hidrogeno o de ambas sustancias, atacan a cualquier concreto.

Los suelos que contengan turbas pueden contener sulfuro de hierro (pirita) que al oxidarse produce ácido sulfúrico. Una reacción posterior puede producir sales sulfatadas que a su vez provocarán ataque por sulfatos.

En el caso del sulfuro de hidrogeno las bacterias pueden transformarlo en ácido sulfúrico.

Los ácidos orgánicos de los ensilajes agrícolas o de industrias manufactureras tales como fermentadoras, destilerías, procesamiento de productos de alimentos y productos de pulpa de madera, pueden producir daños superficiales.

Mecanismo de ataque.

La principal característica del ataque de los ácidos es la de deteriorar y lixiviar los compuestos de calcio de la pasta del concreto por medio una reacción entre el ácido y el hidróxido de calcio del concreto. En la mayoría de los casos los compuestos de calcio resultantes de la reacción química son solubles en agua, excepto los ácidos formados por el ácido oxalico y fosfórico. En el caso del ácido sulfúrico el deterioro es más rápido porque el sulfato de calcio formado por la reacción química produce sulfatos que atacan al concreto.

La tabla 3.2. muestra el mecanismo de ataque de los ácidos más comunes en la industria.

Tabla 3.2 Mecanismo de ataque de los ácidos más comunes en la industria

Material	Efecto
Ácido Acético <10%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Acético Al 10%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Acético Al 30%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Arsénico	No daña al concreto
Ácido Bórico	Efectos negativos

Tabla 3.2 (Continuación). Mecanismo de ataque de los ácidos más comunes en la industria

Material	Efecto
Ácido Carbónico	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Crómico A 10%	Ataca al acero por poros y cuarteaduras del concreto
Ácido Crómico A 5%	Ataca al acero por poros y cuarteaduras del concreto
Ácido Crómico A 50%	Ataca al acero por poros y grietas del concreto
Ácido Crómico A 60%	Ataca al acero por poros y cuarteaduras del concreto
Ácido Fénico	Ver fenol
Ácido Fórmico Al 10%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Fórmico Al 30%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Fórmico Al 90%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Fosfórico Al 10%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Fosfórico Al 85%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Hidroclorídrico Al 10 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidroclorídrico Al 30 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidroclorídrico Al 37 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidrofluórico Al 10 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidrofluórico Al 30 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidrofluórico Al 40 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hidrofluórico Al 75 %	Desintegra rápidamente al concreto incluyendo el acero
Ácido Hipoclorurico Al 10%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Láctico Al 25%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Láctico Al 5%	Desintegra lentamente al concreto
Ácido Muriático	Ver ácido hidroclorídrico
Ácido Nítrico Al 10%	Desintegra rápidamente al concreto
Ácido Nítrico Al 2%	Desintegra rápidamente al concreto
Ácido Nítrico Al 20%	Desintegra rápidamente al concreto
Ácido Nítrico Al 30%	Desintegra rápidamente al concreto
Ácido Nítrico Al 40%	Desintegra rápidamente al concreto
Ácido Nítrico Al 5%	Desintegra rápido al concreto
Ácido Oleico Al 100%	No daña al concreto
Ácido Oxalico	No daña al concreto, protege tanques contra el ataque del ácido acético, Dióxido de carbono y aguas saladas. Venenoso hay que procurar no ponerlo en contacto con agua potable o alimentos.
Ácido Perclorico Al 10%	Desintegra al concreto
Acido Sulfúrico (Concentrado)	Desintegra al concreto
Acido Sulfúrico Al 10%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 100% (Oleoso)	Desintegra al concreto
Acido Sulfúrico Al 30%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 50%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 60%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 70%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 80%	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Sulfúrico Al 93%	Desintegra al concreto
Acido Sulfuroso	Desintegra rápidamente al concreto
Acido Tánico	Desintegra lentamente al concreto

3.2.4. Ataque por Distintas Sustancias.

Además de las aguas, los ácidos y los sulfatos, el concreto está en contacto con sales, álcalis, solventes orgánicos y otras sustancias como: hidrocarburos, leche, jugo de frutas, gases y aceites.

El mecanismo de ataque para cada tipo de sustancia está en función del tipo y de la concentración de la sustancia que produce el ataque.

Muchos productos atacan al concreto, alterando su composición química por medio de mecanismos de reacción. El agua de mar a causa de su alto contenido de sulfatos, puede ser destructiva para concretos elaborados con cementos de alta concentración de aluminato tricálcico (C_3A). Algunas sustancias como compuestos orgánicos polihidroxidos tales como glicoles, gliceroles y azúcares, atacan al concreto. Los desperdicios animales contienen sustancias que pueden oxidarse en contacto con el aire, formando ácidos que atacan al concreto. La reacción de saponificación (transformación de materias grasas en jabón a causa de su descomposición) entre las grasas animales y los productos de hidratación del cemento portland, consumen los productos de hidratación, produciendo alcoholes y sales, en una reacción analógica a la de los ácidos. Algunas sales amoniacaes son destructivas debido a que en el medio ambiente alcalino del concreto, estas liberan gases amoniacaes e iones de hidrogeno, que deben ser reemplazados por calcio disuelto del concreto; el resultado es una acción de lixiviación mucho más dañina que el ataque ácido. Además de ácidos orgánicos como el acético(vinagre o sidra), el butírico, el fénico, el láctico o el tánico y ácidos minerales como el carbónico, el sulfúrico o el fosfórico, existen otras sustancias que contienen y forman ácidos, tal como los desperdicios industriales ácidos, jugos de fruta, leche agria y mantequillas, sales de bases débiles y algunas aguas naturales, que causan deterioro al concreto.

Es importante puntualizar que el estado físico del producto químico es importante, ya que los que se encuentran en estado líquido atacaran al concreto con mayor rapidez que los que están en estado sólido.

Por el contrario existe una gran variedad de productos químicos que no atacan al concreto; pero algunos de éstos pueden ocasionar un decoloramiento indeseable, ellos son:

- a) Sales Neutras. Como las sales carbonatadas y las sales de nitratos, algunos cloruros, fluoruros y silicatos.
- b) Agua de cal. Es beneficiosa para el concreto porque eleva la hidratación sin la remoción de la cal del concreto.
- c) Soluciones alcalinas.
- d) Productos derivados del petróleo. Solo cuando están libres de aditivos y de otros materiales ácidos.

La tabla 3.3. muestra el mecanismo de ataque de distintas sustancias comunes en la industria.

Tabla 3.3 Mecanismo de ataque de los distintas sustancias comunes en la industria

Material	Efecto
Abono	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Almendras	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Ballena	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Cacahuaté	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Cacao	Desintegra especialmente en presencia de aire
Aceite De Coco	Desintegra al concreto especialmente en presencia de aire
Aceite De Hígado De Bacalao	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Nogal	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Oliva	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Pescado	Desintegra lentamente al concreto
Aceite De Petróleo	Perdida de líquidos por la penetración. Si están presentes aceites grasos desintegran lentamente al concreto.
Aceite De Soya	Líquido desintegra al concreto lentamente. Capas secas o en secado son inofensivas
Aceite Para Maquinas	Si están presentes aceites grasos, desintegran lentamente al concreto.
Aceites Lubricantes	Si están presentes aceites grasos, desintegran lentamente al concreto.
Acetona	Perdida de líquidos por la penetración y puede contener ácido acético como impurezas
Agua Cargada De Sal	Ver cloruro de sodio u otras sales
Agua De Mar	Desintegra al concreto de inadecuada resistencia a los sulfatos. Desintegra al concreto por los poros o por cuarteaduras en el concreto.
Agua Gaseosa	Sales amoniacales rara vez presentes en cantidades suficientes pueden desintegrar al concreto.
Agua Gaseosa	Ver ácido carbonico
Aguarrás	Ataque medio. Perdida de líquidos por la penetración.
Aguas Ácidas Ph De 6 O Menos	Desintegra lentamente al concreto. En poros o cuarteaduras en el concreto, ataca al acero
Aguas Negras	Usualmente no dañinas. Ver sulfuro de hidrogeno.
Alcohol	Ver alcohol etílico y metílico
Alcohol Etílico	Perdida de líquidos por la penetración
Alcohol Metílico	Perdida de líquidos por la penetración
Amonia Líquida	Daño solo si contiene sales amoniacales dañinas
Azúcar	Desintegra lentamente al concreto
Benzol (Benzeno)	Perdida de líquidos por penetración
Bicarbonato De Sodio	No daña al concreto
Carbonato De Amonio	No daña al concreto
Carbonato De Potasio	No daña al concreto hasta que el sulfato de potasio se presenta.
Carbonato De Sodio	No daña al concreto, excepto el cemento con aluminato de calcio
Carbón	Sulfuros lixiviados del carbón mojado, pueden oxigenar al ácido sulfúrico y sulfuroso.
Ceniza	Desintegra lentamente al concreto
Cenizas Calientes	Causa expansión térmica.
Cerveza	Puede contener productos de fermentación como ácido acético, carbónico o tánico.
Cianuro De Potasio	Desintegra lentamente al concreto
Cloruro De Aluminio	Desintegra rápidamente al concreto. En poros o cuarteaduras en el concreto, ataca al acero.
Cloruro De Amonio	Desintegra. En poros o cuarteaduras, ataca al acero.
Cloruro De Calcio	En poros o cuarteaduras del concreto ataca al acero. La corrosión puede causar en el concreto puede causar astillamiento

Tabla 3.3 (Continuación) Mecanismo de ataque de los distintas sustancias comunes en la industria

Material	Efecto
Cloruro De Cobre	Desintegra lentamente al concreto
Cloruro De Estroncio	No daña al concreto
Cloruro De Fierro	Ver cloruro férrico y ferroso.
Cloruro De Magnesio	Desintegra lentamente al concreto
Cloruro De Mercurio	Desintegra lentamente al concreto.
Cloruro De Mercurio	Desintegra lentamente al concreto
Cloruro De Potasio	Cloruro de magnesio, si se presenta, ataca al acero por los poros o por cuarteaduras en el concreto.
Cloruro De Sodio	Si el cloruro de magnesio está presente ataca al acero por los poros o por cuarteaduras. La corrosión en el acero puede causar astillamiento al concreto.
Cloruro De Zinc	Desintegra lentamente al concreto
Desechos De Curtido	Desintegra lentamente al concreto al concreto si están húmedos
Desperdicios Animales	Los ácidos orgánicos causan desintegración lenta al concreto.
Desperdicios De Carnicería	Los ácidos orgánicos causan desintegración lenta al concreto.
Dióxido De Azufre	En presencia de humedad forma Acido Sulfuroso
Dióxido De Carbono	El gas puede causar contracciones, ver ácido carbónico
Ensilaje	Ácidos acéticos, butíricos y lácticos, en algunos casos agentes de fermentación o ácidos sulfúricos desintegran el concreto lentamente.
Escorias	Dañinas si están húmedas, cuando lixivian sulfuros y sulfatos.
Escorias Calientes	Causa expansión térmica.
Excrementos	Ver abono
Extractos De Frutas, Granos O Vegetales Fermentados	El proceso industrial de fermentación produce ácido láctico que desintegra lentamente el concreto. Ver ácido láctico.
Fertilizantes	Ver sulfato de amonio, amonio superfosfatado, nitrato de potasio y nitrato de sodio.
Fluoruro De Amonio	Desintegra lentamente al concreto
Fosfato De Sodio (Monobásico)	Desintegra lentamente al concreto
Fosfato Trisódico	No daña al concreto
Gas Cloro	Desintegra lentamente al concreto húmedo
Gases De Combustión	Gases calientes(200-600°C) causan esfuerzos de contracción. Gases fríos condensan sulfuros y ácidos hidroclohidricos que desintegran al concreto lentamente.
Gases De Automóviles	Pueden desintegrar al concreto húmedo por la acción del ácido carbónico, nítrico o sulfúrico.
Gases De Diesel	Ver gases de combustión de automóviles y diesel.
Gases De Locomotora	Pueden desintegrar al concreto húmedo por la acción del ácido carbónico, nítrico o sulfúrico. Ver también gases de combustión de automóviles y diesel.
Gasolina	Perdida de líquidos por penetración
Glicerina	Desintegra lentamente al concreto
Glucosa	Desintegra lentamente al concreto
Granos	Ver fermento de frutas, granos, vegetales y extractos.
Grasa De Caballo	Grasas sólidas desintegran lentamente, grasas fundidas más rápido.
Grasa De Cordero	Grasas sólidas desintegran lentamente, grasas fundidas más rápido.
Grasa De Res	La grasa sólida Desintegra lentamente al concreto, la grasa fundida lo hace más rápidamente.
Hidróxido De Amonio	No daña al concreto
Hidróxido De Bario	No daña al concreto
Hidróxido De Calcio	No daña al concreto
Hidróxido De Potasio Al 15%	No daña al concreto

Tabla 3.3 (Continuación) Mecanismo de ataque de los distintas sustancias comunes en la industria

Material	Efecto
Hidróxido De Potasio Al 25%	Desintegra al concreto.
Hidróxido De Potasio Al 95%	Desintegra al concreto.
Hidróxido De Sodio Al 1%	No daña al concreto
Hidróxido De Sodio Al 10%	No daña al concreto
Hidróxido De Sodio Al 20%	Desintegra al concreto
Hidróxido De Sodio Al 25%	Desintegra al concreto
Hidróxido De Sodio Al 40%	Desintegra el concreto
Hipoclorito De Sodio	Desintegra lentamente al concreto
Jarabe De Maíz	Desintegra lentamente al concreto
Jugo De Frutas	Hidrofluoruros, otros ácidos y el azúcar causan desintegración. Ver también jugo de frutas y extractos.
Leche	No daña al concreto, sin embargo ver leche aria.
Leche Agria	El ácido láctico puede desintegrar el concreto lentamente.
Líquido De Curtido	Desintegra si es ácido
Manteca De Cacao	Desintegra especialmente en presencia de aire
Margarina	Margarinas sólidas desintegran lentamente, margarinas fundidas más rápido.
Melazas	A temperatura de más de 50°C desintegran al concreto lentamente.
Miel	No daña al concreto
Nitrato De Amonio	Desintegra
Nitrato De Calcio	No daña al concreto
Nitrato De Magnesio	Desintegra lentamente al concreto
Nitrato De Plomo	Desintegra lentamente al concreto
Nitrato De Potasio	Desintegra lentamente al concreto
Nitrato De Sodio	Desintegra lentamente al concreto
Nitrato De Zinc	No daña al concreto
Nitrato Ferrico	No daña al concreto
Nitrito De Sodio	Desintegra lentamente al concreto
Orina	Ataca al acero por poros y cuarteaduras del concreto
Oxido De Amonio	No daña al concreto
Parafina	No daña al concreto cuando penetra poco
Permanganato De Potasio	No daña al concreto hasta que el sulfato de potasio se presenta.
Pulpa De Madera	No daña al concreto
Queroseno	Perdida de líquidos por la penetración
Sales De Descongelamiento De Caminos	Ver cloruro de magnesio, de calcio y de sodio.
Sales De Zinc	Desintegra al concreto y algunas veces es formado sulfato de zinc por la oxidación.
Sales Descongelantes	Sucede un escamamiento del concreto cuando no tiene aire incluido o cuando no tiene la edad suficiente.
Salitre	Ver nitrato de potasio.
Sedimentos De Aceite	Desintegra lentamente al concreto
Soluciones De Refinamiento De Plomo	Desintegra lentamente al concreto
Soluciones De Refinamiento Del Zinc	Si están presentes ácidos clorhídricos o sulfúricos desintegran el concreto.
Suero	Desintegra lentamente al concreto
Suero De Manteca	Desintegra lentamente al concreto
Tabaco	Si se presenta el ácido orgánico desintegra lentamente al concreto.
Tuoleno	Perdida de líquidos por la penetración.
Urea	No daña al concreto
Vapor De Amonia	Puede desintegrar lentamente al concreto o puede atacar al acero por los poros o por cuarteaduras en el concreto

Tabla 3.3 (Continuación) Mecanismo de ataque de los distintas sustancias comunes en la industria

Material	Efecto
Vinagre	Desintegra lentamente al concreto
Vino	No daña al concreto
Yodo	Desintegra lentamente al concreto

3.2.5. Factores que Influyen en la Agresividad de los Agentes.

La naturaleza química del agente no es el único factor que determina el grado y efectividad del ataque. La efectividad de ataque en cualquier ejemplo determinado depende de:

1. Temperatura.

La temperatura tiene un efecto importante, ya que la actividad química se duplica o triplica por cada 10°C de aumento de temperatura. De esta forma la temperatura también puede afectar indirectamente a la efectividad de ataque, ya que el aumento de temperatura reducirá el contenido de humedad dentro del concreto mermando el ataque, pues el medio de transporte se reduce.

2. Presión.

Si la soia presencia de líquidos es dañina al concreto, debido a su porosidad y su permeabilidad, la acción de la presión aumenta la velocidad del ataque, ya que el agua y el agente llegan en mayor cantidad y a mayor profundidad del piso.

3. Humedad Cíclica.

La humedad cíclica es nociva ya que las sustancias disueltas pueden emigrar en el concreto y depositarse cerca de la superficie donde la evaporación ocurre. El depósito puede ser la sustancia original o algún producto de reacción formado en el concreto, la acumulación progresiva puede ser disociadora.

4. Calidad del concreto.

Usando un cemento adecuado, con aire incluido y una mezcla bien dosificada se obtendrá un concreto resistente a los sulfatos del suelo, a las aguas freáticas, a las aguas blandas o a las de mar. El concreto de muy buena calidad podrá resistir los ataques de ácidos ligeros, pero hay que aclarar que ningún concreto puede resistir el ataque de ácidos fuertes.

5. Tipo de solución.

El estado físico de la solución es un factor importante que modifica la velocidad de desintegración.

- Los agentes químicos sólidos secos no atacan al concreto seco, pero si al concreto húmedo.
- Los agentes químicos sólidos húmedos atacan al concreto.
- Los agentes químicos líquidos atacan con mayor rapidez que los húmedos.
- Los gases secos pueden entrar en contacto con la humedad suficiente dentro del concreto para hacer posible el ataque; pero los gases húmedos tenderán a ser más destructivos.

6. Concentración del ácido.

Si el pH de una solución tiene un valor más bajo a 7, la solución, es más ácida, en consecuencia tiende a ser más agresiva en su ataque al concreto. La efectividad del ataque será aun más acentuada si se incrementa la concentración del ácido.

7. Velocidad del fluido.

La velocidad del fluido es un factor importante ya que determina en principio el grado de abrasión que provoca a la superficie del piso y después el daño que le provoca al introducirse en él.

Después del diseño del espesor de la losa de concreto y del diseño de sus juntas, la construcción de la misma, sigue en el orden, pero este tema se tratará en el capítulo final, se da paso entonces a las condiciones y características de ataque que la losa presenta en su vida de servicio.

La losa dependiendo de su uso esta expuesta a condiciones normales de servicio (sin la presencia de agentes altamente agresivos), pero en otros usos las condiciones a las que esta expuesta son altamente agresivas y degradantes, podemos entonces definir que una losa esta expuesta a un ataque mecánico y a un ataque químico o a la acción combinada de ambos, en condiciones normales o en condiciones altamente degradantes.

El **ataque mecánico** esta presente en losas industriales y en cualquier estructura que este sometida al transito de vehículos y a la disposición de materiales de gran peso, la causa de la degradación mecánica esta dada por: El **uso de la superficie** (abrasión e impacto) y por **fracturamiento** (cambios volumétricos por temperatura y cargas excesivas).

La velocidad y grado de la **abrasión y el impacto** esta determinado por la forma de la orilla, por la dureza de la llanta, de la frecuencia de transito y por la velocidad del vehículo. Los **cambios volumétricos** están determinados por los cambios de volumen por contracción y por gradientes de temperatura, de la misma manera las **cargas excesivas** están determinadas por la frecuencia con la que cargas de mayor magnitud a las de diseño, se presenten.

El **ataque químico** se presenta en cualquier estructura que este en contacto con distintas sustancias como el agua, los desperdicios orgánicos, grasas animales, etc. sustancias presentes en cualquier piso industrial, pero existen otras sustancias o agentes de mayor agresividad como las aguas (blandas y duras), ácidos, sulfatos, sus soluciones o sustancias que los forman, de esto podemos concluir que el ataque químico esta dado: **Por aguas** (blandas y duras), **por sulfatos disueltos, por ácidos o por distintas sustancias.**

El ataque químico se presenta en el concreto por sus características de permeabilidad y alcalinidad, pero al igual que en el ataque mecánico la velocidad y grado del ataque esta determinado por varios factores como: Temperatura, presión, humedad cíclica, calidad del concreto, por el tipo de solución y por la concentración del ácido.

Capítulo Cuarto.

**Protección de los Pisos Industriales de Concreto contra
el Ataque Mecánico y Químico.**

Capítulo Cuarto. Protección de los Pisos Industriales de Concreto contra el Ataque Mecánico y Químico.

Objetivo: Describir los tipos de protección existente para moderar el ataque de los distintos agentes mecánicos y químicos.

4. Protección contra el Ataque Mecánico y Químico.

Cuando se construyen losas de concreto para la industria, es necesario proveer protección contra ataques mecánicos o químicos en los lugares donde se espere la presencia de éstos, tal como sucede con el ataque químico en los pisos de laboratorios, en los pisos de plantas alimentarias, en los pisos de plantas de proceso químico, en tanques químicos de almacenaje, en muelles de carga y descarga, en silos, en chimeneas industriales, en alcantarillados, en túneles de tránsito y en plantas de tratamiento de aguas residuales. En las mismas circunstancias una protección especial podría ser necesaria en lugares donde se espere la presencia del ataque mecánico como en las losas y en las juntas de las mismas.

Donde el ataque químico o mecánico se pueda advertir con anticipación, una protección adecuada antes de que inicie el ataque, minimizará la vulnerabilidad del concreto. Es por esa razón la importancia de considerar el uso al que estará sometida y prever su protección con anticipación. Es fundamental prever la protección contra ataques en una estructura nueva, ya que el proceso para recuperar una estructura dañada puede ser demasiado complicado y oneroso.

4.1. Protección contra el Ataque Mecánico.

Una adecuada calidad del concreto, es suficiente para tolerar el ataque mecánico, ya que el concreto por su resistencia a los esfuerzos de tensión y compresión, por sus características de rigidez, por su módulo de elasticidad, trabajabilidad, etc. lo hacen el material adecuado para la construcción de estructuras que serán sometidas a una carga de trabajo fuerte y concentraciones grandes de esfuerzo, como sucede en las losas de piso.

La figura 4.1. de la siguiente pagina muestra las causas de la degradación por ataque mecánico así como su protección.

4.1.1. Calidad del Concreto.

Los pisos industriales de concreto están sujetos a un desgaste gradual y permanente durante toda su vida de servicio, por lo tanto deben tener una suficiente resistencia a la acción de cualquiera de los agentes que lo ataquen. LA RESISTENCIA AL DESGASTE ESTA RELACIONADA CON LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, DEBIDO A ESTO UN CONCRETO CON UNA ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN TENDRÁ UNA ALTA RESISTENCIA AL DESGASTE.

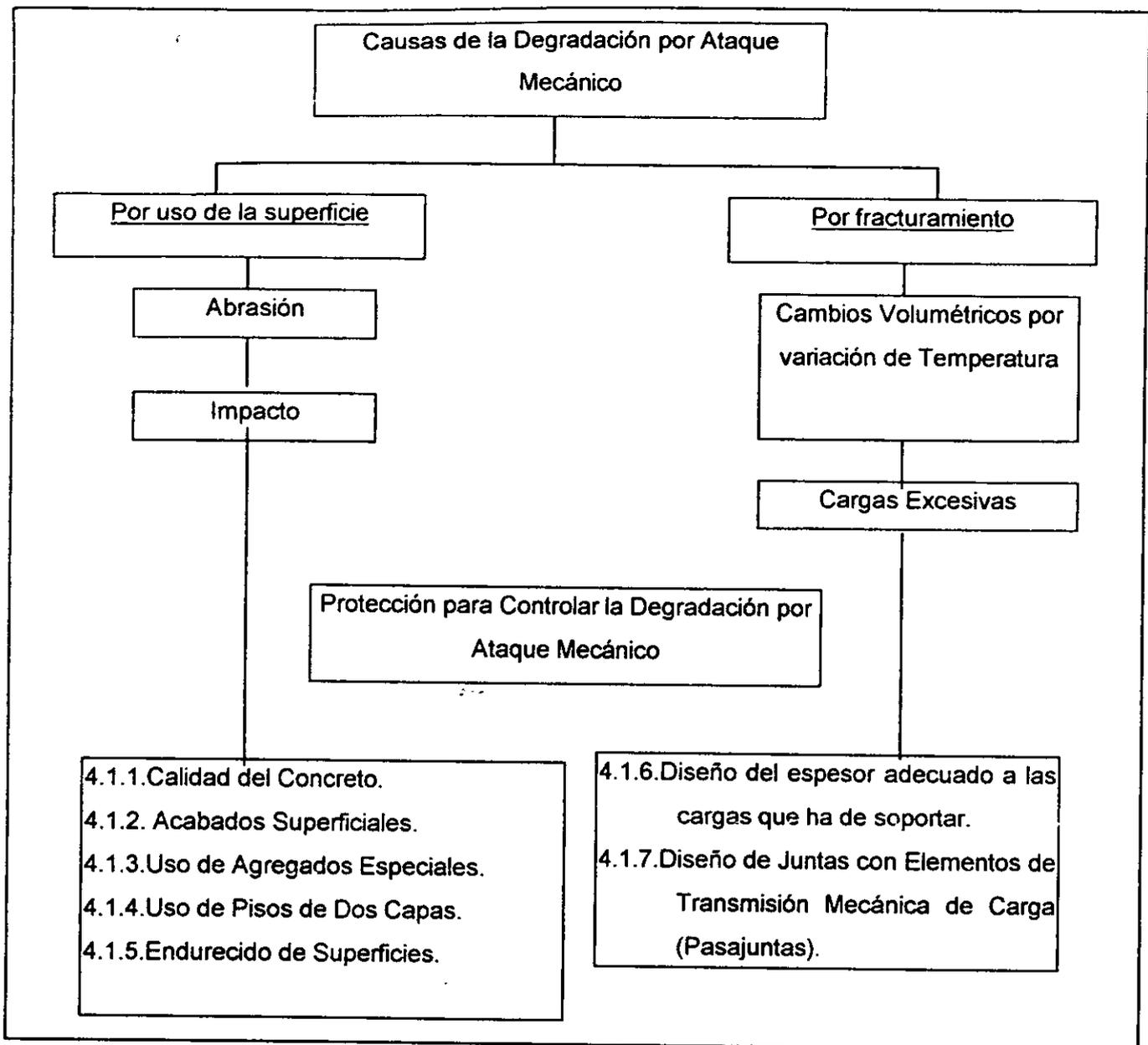


Figura 4.1. Causas de la degradación por ataque mecánico así como su protección.

La selección de la calidad del concreto depende de los requerimientos de durabilidad y características de uso (algunas veces bajo condiciones severas) el comité 302 del A.C.I. recomienda a 28 días esfuerzos de compresión de 300 kg/cm^2 (4,000 psi) para pisos de concreto clase 1(industrial ligero/comercial) y 330 kg/cm^2 (4,500 psi) para pisos de concreto clase 2 (sencillo/industrial) . Estos valores pueden ser considerados como mínimos. Además los esfuerzos en compresión a los tres días deben de ser de por lo menos de 130 kg/cm^2 (1,800 psi), para evitar daños provocados por el tráfico subsecuente al termino de la construcción.

Utilizando pruebas de resistencia, T.C. Liu encontró una correspondencia entre la relación agua-cemento y la resistencia a la abrasión, así para obtener resistencia a la abrasión, el A.C.I. recomienda que en ningún caso la resistencia a la compresión del concreto sea de menos de 290

kg/Cm². Y para lograr estas resistencias, el primer paso es seleccionar una relación agua-cemento adecuada. Y deben llevarse a cabo las siguientes recomendaciones:

1. Relación agua-cemento. La resistencia a la compresión se relaciona inversamente con la relación agua-cemento siendo esta el peso del agua dividido entre el peso del cemento.

PARA EL DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES EN DONDE ES DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA LA DURABILIDAD, SE RECOMIENDA UNA RELACIÓN AGUA-CEMENTO MENOR A 0.5.

2. Granulometría. Los agregados deben ser duros, duraderos y estar limpios. Los agregados deben cumplir con la norma A.S.T.M. C 33, "Especificación para los Agregados en el Concreto", o la norma A.S.T.M. C 330, "Especificación para Agregados Livianos para el Concreto Estructural". El tamaño máximo de agregado debe ser tan grande como sea factible pero no mayor de 1½ pulgadas.

3. Aire Incluido. Con respecto a el aire incluido que debe ser ocupado en losas que estén expuestas a congelación y deshielo o a la acción de productos químicos descongelantes, se recomienda que el contenido de aire sea de 4% a 6%.

El aire incluido debe cumplir la norma A.S.T.M. C175, "Especificación estándar para el contenido de aire en el Cemento Portland."

4. Revenimiento. El revenimiento es una medida de la trabajabilidad del concreto, de su consistencia y de su plasticidad, para losas de concreto industriales, un revenimiento máximo de 7 cm. es recomendable.

5. Estudios de laboratorio muestran que la temperatura del concreto fresco tiene una influencia importante sobre su estabilidad y fortaleza definitiva. Por eso, se recomienda que la temperatura del concreto fresco se mantenga entre 20.5°C y 35°C.

6. Contenido de agua. Está en relación directa con el revenimiento y :

TAMAÑOS MÁXIMOS DE LOS AGREGADOS (CONT DE AGUA EN KG/M³)

Rev.(cm)	9.5 MM	12.7 MM	19.00 MM	25.4 MM	38.1MM	50.8 MM	76.2 MM	152.4MM
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO								
2.5a5.00	208	199	187	178	163	154	130	113
7.5a10.0	228	217	202	193	178	169	145	125
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO								
2.5a5.00	181	175	166	160	148	142	122	107
7.5a10.0	202	193	181	175	163	157	134	119

Así el contenido máximo efectivo de agua no debe exceder de 22.6 lts. por saco de cemento.

7. Cantidad y tipo de cemento. El Cemento debe cumplir con la norma A.S.T.M. C150 "Especificaciones Estándar para el Cemento Portland". La cantidad de cemento está dada en

relación al tamaño máximo del agregado. Pero no debe ser menor de 6 sacos por metro cúbico de concreto. Según se observa en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Cantidad de cemento en relación al tamaño máximo del agregado

Tamaño Máximo del Agregado (mm)	Cemento (kg por metro Cúbico)
38.1	270
25.4	309
19.0	320
12.7	350
9.5	362

8. Procedimientos de acabado adecuados. Se debe demorar la realización del proceso de aplanado y pulido hasta que el concreto haya perdido el brillo provocado por el agua superficial, hasta que el agua libre haya desaparecido o hasta que haya sido retirada cuidadosamente. El periodo de espera es de aproximadamente dos horas, después de la colocación del concreto; pero este tiempo esta en función de la temperatura ambiente, proporcionamiento de la mezcla y contenidos de aire.
9. Curado adecuado. Hay que curar durante 7 días, después de colocado el concreto. No se recomienda los procesos de membranas de curado.

Considerando estos parámetros podemos proporcionar un concreto de manera adecuada y con resistencia suficiente para resistir el ataque mecánico.

4.1.2. Acabados Superficiales.

La importancia de mencionar el acabado radica en que para evitar la abrasión sobre una superficie de concreto, en ésta se debería dar un acabado LISO con llana de metal, pero en el caso de losas donde se presenta el rodamiento de vehículos se necesitan acabados antiderrapantes, y se recomiendan los siguientes procedimientos:

1. **Escobillado**. Se utiliza para producir una superficie resistente contra patinamientos, éste se realiza con un cepillo de cerdas suaves antes de que concreto se haya endurecido completamente, aunque debe estar lo suficientemente dura como para retener la impresión del rayado.
2. **Empleo de cepillos de alambre o cepillos de plástico**. En algunos casos pueden requerirse altas resistencias al derrapamiento y esto puede lograrse dando al piso una textura más profunda

que la obtenida con el escobillado, el empleo de cepillos se realiza antes de que concreto se haya endurecido completamente.

3. Empleo de los agregados especiales. Donde sea necesario se debe incorporar a la superficie del concreto óxido de aluminio, carburo de silicio u otros materiales resistentes al desgaste. Estos agregados se aplican sobre la superficie del concreto recién aplanado, posteriormente se aplanara mezclando los agregados con la superficie húmeda.
4. Esmerilado Mecánico. Con este método se producen superficies antiderrapantes, con textura semejante al papel de lija, este método se realiza de 2 a 7 días después de haber terminado el curado, para emplear esta técnica se usan esmeriles de baja velocidad con partículas hechas con arena angulosa y dura de 1.70. No se recomienda el uso de esmeriles de alta velocidad ya que pueden pulir la superficie de concreto.

Para los tipos de acabado descritos se deben lograr superficies dentro de las tolerancias tanto como sea posible. La superficie acabada debe estar libre de marcas de llana y ondulaciones y debe tener una textura uniforme y debe cumplir con la tolerancia de acabado siguiente:

Tolerancia "A"

Las depresiones entre puntos altos de los pisos no deben ser superiores a 1/8 " (3 mm), bajo un escantillón de 10 pies (3 m) de largo. Resulta difícil y costoso lograr una tolerancia de acabado de este tipo en áreas extensas. Estas tolerancias se solicitan sólo para áreas críticas, las cuales son imprescindibles para las operaciones de servicio que se van a llevar a cabo en ellas.

4.1.2.1. Acabado en puntos característicos.

Entronques e Intersecciones

En estas zonas, la frecuencia de tránsito es mayor que la que se presenta en cualquier otra área de la planta industrial, debido a lo anterior estas áreas tienden a mostrar signos de deterioro mucho antes que el resto de la obra, es por esto que debe realizarse un esfuerzo especial para lograr las tolerancias del tipo A, se recomienda un acabado con cepillos de cerdas duras, ya que se requiere de mayor agarre debido a que en estas áreas se realizan cambios de dirección, no se recomienda recurrir a revenimientos altos u otras soluciones como el "mejoramiento de la calidad

del concreto". Debe procurarse también estandarizar lo más que sea posible los anchos de calzada en los entronques, de conformidad con las condiciones del tránsito.

Pisos en líneas principales.

En estas zonas la frecuencia de tránsito es menor que la presentada en los entronques y los requerimientos son menos estrictos que los anteriores, se requiere que en estos tramos la superficie del piso se encuentre dentro de una tolerancia de 3 mm, se recomienda que el acabado sea un escobillado con cerdas suaves. determinada aplicando una regla recta de 3 m, en el sentido longitudinal. Las variaciones mayores de 3 mm, deben corregirse por esmerilado, pero sin que se obtenga una superficie pulida. Si la variación es mayor de 13 mm, el piso debe removerse o colocársele una nueva capa encima, si resulta factible. En el sentido transversal, pueden permitirse tolerancias un poco mayores, hasta de 6 mm en 3 mts.

4.1.3. Uso de Agregados Especiales (Protección Integral).

Protección integral es la protección proporcionada a la losa por el uso de algún tipo de agregado o compuesto especial, incorporado durante la elaboración del concreto para mejorar su resistencia al desgaste.

Con frecuencia se usan agregados duros integrados al concreto para dar mayor resistencia que la propia del concreto, para la construcción de pisos de tránsito pesado se utilizan materiales como cuarzo, esmeril o agregados metálicos. También se usan agregados minerales, ya sean mezclados con cemento en la obra o adquiridos ya premezclados, para así obtener superficies monolíticas resistentes al desgaste. Si son premezclados, están compuestos por una combinación de agregados minerales o metálicos y cemento, y a menudo, contienen también aditivos u otros ingredientes para hacer más eficaz su aplicación y acabado. Estos se aplican a la superficie después del aplanado inicial.

4.1.4. Uso de Pisos de Dos Capas.

Una protección extra puede ser dada a los pisos de concreto, esta protección es llamada "segunda capa o capa de desgaste no ligada", se utiliza cuando es preferible no adherir a la superficie de la capa anterior, otra capa de concreto, para facilitar una sustitución posterior. Puede ser colocada sobre una capa de concreto nuevo para evitar el desgaste de la primera capa o sobre capas gastadas o dañadas donde es imposible obtener una adherencia completa o donde es conveniente evitar la escarificación y el cincelado de la capa inferior. La capa inferior, ya sea nueva o vieja, debe estar libre de hundimientos, ya que la segunda capa se puede cuartear; además debe estar cubierta con un colchón de arena, plástico o fieltro extendido, humedecido antes de comenzar la construcción, para evitar la pérdida del agua de mezclado.

La segunda capa debe ser de concreto normal y debe tener un espesor mínimo de 3" (7.9 cm.); pero se recomienda utilizar capas de mayor espesor, para el aplanado es necesario usar aplanadoras y llanas mecánicas, pero el aplanado final debe hacerse en forma manual con llana, en esta superficie también se puede utilizar un agregado duro. Es necesario, colocar suficiente tela de alambre para limitar el ancho de las grietas, pero en ningún caso debe ser menor de 13Kg/10m², el concreto deberá tener un revenimiento no menor de 25mm.

4.1.5. Endurecido de Superficie.

Algunas losas de concreto no son lo suficientemente duras, como resultado de esto pueden tener una superficie relativamente permeable y suave que se desgasta o produce polvo en forma rápida. La durabilidad de las losas de concreto puede alargarse mediante tratamientos en la superficie con soluciones de productos químicos, entre los cuales están los *fluosilicatos de magnesio y zinc, silicato de sodio, gomas y ceras*. Cuando estos compuestos penetran en la superficie del concreto, forman depósitos cristalinos o gomosos que tienden a hacer que el piso sea menos permeable y haciendo más dura la superficie.

Los tratamientos de superficie deben considerarse como medidas urgentes para el tratamiento de imperfecciones. Su propósito no es proporcionar resistencia adicional al desgaste en pisos nuevos, bien diseñados, adecuadamente contruidos y curados, ni permitir el uso de concreto de menor calidad. La aplicación más eficaz de los endurecedores es en pisos viejos o de baja calidad, que ya hayan empezado a degradarse. Los pisos nuevos deben tener la calidad suficiente para que no sea necesario hacer uso de estos tratamientos. Sin considerar la presencia de daños por ataque químico.

Nota. Si por cualquier razón se desea aplicar endurecedores a pisos nuevos de concreto, hay que tomar en cuenta que el piso debe ser curado con agua y no deben usarse membranas de curado ya que evitan la penetración del endurecedor. Los tratamientos con *fluosilicato de magnesio o de zinc, o con silicato de sodio*, sólo deben aplicarse en pisos de concreto a los 28 días de edad por lo menos, cuando ya hayan sido curados completamente y a los cuales se les ha permitido secar al aire libre.

4.1.6. Uso de Pasajuntas.

La trabazón entre agregados por si misma, no proporciona suficiente transferencia de carga para lograr un buen comportamiento a largo plazo, en la mayoría de los pisos industriales sometidos a tráfico pesado. Se deberán usar pasajuntas para proporcionar una transferencia mecánica adicional de carga.

Las pasajuntas son varillas redondas lisas que colocan a través de las juntas para transferir las cargas sin restringir el movimiento horizontal de la junta. También sirven para mantener el alineamiento horizontal y vertical de las losas.

Las pasajuntas disminuyen la deflexión y los esfuerzos en la losa de concreto y reducen el potencial de falla, efecto de bombeo de finos y rotura en las esquinas. Esto es válido en el caso de tableros cortos y separaciones mayores entre juntas. Las evaluaciones del comportamiento de pisos de concreto industriales en servicio, han mostrado que el empleo de pasajuntas de hecho reduce la falla.

Las pasajuntas también aumentan la vida útil del piso, al reducir las deflexiones y los esfuerzos en la losa al transmitir eficientemente la carga a través de la junta. Por ejemplo, una losa de 25 cm con pasajuntas con 80% de transferencia de carga, tendrá la misma deflexión que una losa de 30 cm sin pasajuntas, con sólo el 40% de transferencia de carga.

Se deberán usar barras pasajuntas de 38 mm (1 ½") en pisos de 30 cm o más de espesor. Se requiere un diámetro mínimo de pasajuntas de 32mm a 38 mm para controlar la falla en pisos de concreto.

Las cargas transmitidas por pasajuntas de menor diámetro, inducen mayores esfuerzos y originan que la matriz de concreto alrededor de la barra se deteriore o se alargue. El alargamiento del barrenado de las pasajuntas reduce la capacidad de transferencia de carga.

La longitud de las pasajuntas varían generalmente entre 38 y 45 cm (15"-18") pero se usan barras más cortas en losas de menor longitud. Resulta adecuada una longitud de empotramiento de seis veces el diámetro de la barra para la transferencia de la carga.

Movimiento de las Pasajuntas

La aplicación de un lubricante a base de parafina, de una emulsión asfáltica, de aceite desmoldante para cimbra, o de grasa constituyen una lubricación excelente en los sistemas de pasajuntas. Se recomienda que la lubricación proporcione una resistencia a la extracción máxima de 2000 libras por pasajunta. Sin embargo, con frecuencia varían las condiciones reales de campo. Se recomienda un espesor máximo de lubricación (antiadherente) de 0.13 mm o menos, esto proporcionará un ajuste suficiente y una buena consolidación del concreto alrededor de la barra pasajuntas.

Las barras pasajuntas deben ser anticorrosivas. Se recomienda la especificación AASHTO M254 para recubrimientos anticorrosivos. El espesor del recubrimiento debe ser mayor de 0.13 a 0.38 mm.

4.2. Protección contra el Ataque Químico.

El grado de protección requerido para cualquier tipo de exposición a productos químicos depende de:

1. Naturaleza del agente químico.
2. La Temperatura.
3. La Concentración.
4. El volumen del agente por unidad de superficie de concreto.
5. Ya se trate que el agente sea estacionario o corriente.
6. Suceda que la exposición sea continua o intermitente.

Como ya se mencionó , el ataque químico al concreto es originado por la presencia de agua, ya sea por la degradación que le producen o bien por las reacciones con sus elementos o por los residuos que dejan, sin embargo una exposición continua al vapor es menos severa que la continua exposición al líquido. Pero existen algunas excepciones, por ejemplo, si las condiciones permiten que en una alcantarilla, las aguas negras lleguen a ser sépticas y nulas de oxígeno disuelto, puede producirse en el albañal sulfuro de hidrógeno y ser liberado a la atmósfera del alcantarillado. Este sulfuro de hidrógeno puede disolverse en las gotitas condensadas de agua sobre el alcantarillado arriba el nivel del líquido. La acción bioquímica puede oxidarlo y formar el ácido sulfúrico que atacará las paredes del tubo arriba del nivel del líquido.

La figura 4.2. describe las causas de la degradación en los pisos industriales y su protección.

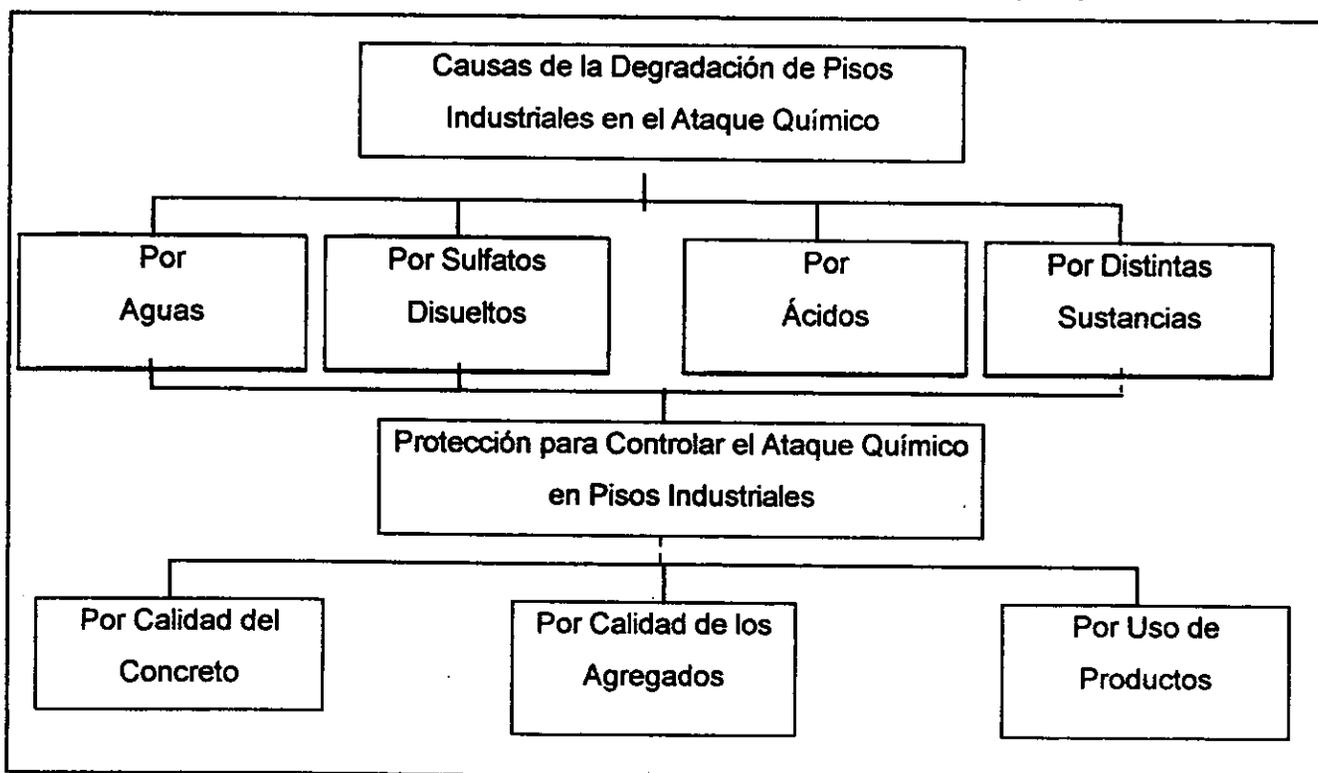


Figura 4.2. Causas de la degradación en los pisos industriales y su protección.

4.2.1. Calidad del Concreto.

Hay muchos ejemplos en que un concreto de cemento portland es más apropiado para el servicio con exposiciones a ciertos químicos mejor que la resina* más costosa o que los morteros de silicato. Por ejemplo, los morteros de cemento portland se "proporcionan" para dar un mejor servicio en condiciones alcalinas mejor que los poliésteres, que los morteros de sulfuro o que los morteros de silicato. Así mismo, los concretos de cemento portland son químicamente resistentes a una amplia gama de solventes y por lo tanto son durables en la mayoría de los ambientes naturales. Pero se deben seguir las recomendaciones que a continuación se dan:

1. Resistencia a los sulfatos.

- a) Se debe de usar una relación agua-cemento baja (menos de .5).
- b) Usar contenidos de cemento bajos a moderados (280 a 390 kg/cm³).
- c) Se debe usar cementos del tipo V "Cementos resistentes a sulfatos o el tipo II "Cemento moderadamente resistente a los sulfatos.
- d) Se deben lograr resistencias en compresión mayores a 300 Kg/m³
- e) Se deben adicionar puzolanas. En cantidades de 15 a 25% del peso del cemento ya que reducen el ataque por sulfatos.
- f) Se debe adicionar cloruro de calcio. Solo en los casos de exposición suave y moderada.

2. Resistencia a los ácidos moderadamente agresivos.

- a) Se debe de usar una relación agua-cemento baja (menos de .5), pero teniendo en cuenta que el concreto de cemento portland no resiste el ataque de ácidos fuertes.
- b) Uso de recubrimientos que protejan al concreto del ataque.

4.2.2. Calidad de los Agregados.

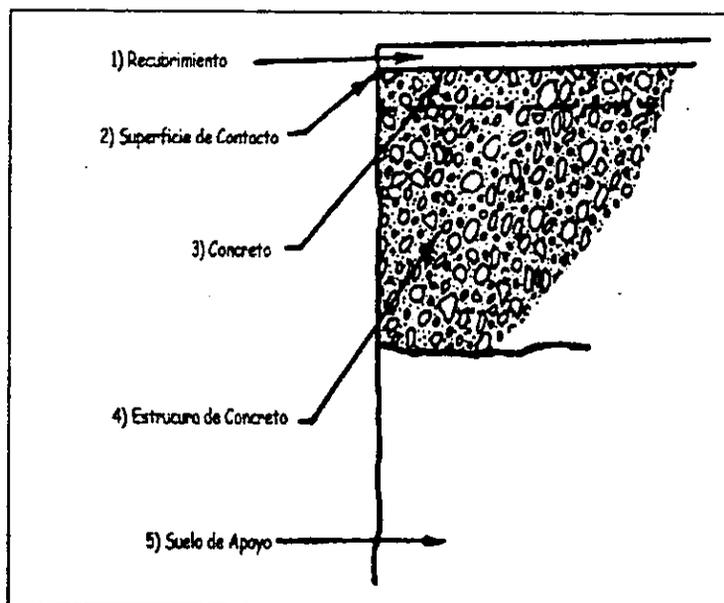
También para el ataque químico se deben considerar algunas medidas con respecto a la calidad de los agregados, entre estas se encuentran:

- No se recomienda el uso de agregados calcáreos ya que reaccionan fácilmente con los ácidos.
- Se recomienda usar agregado de sílice cuando no se encuentren presentes soluciones fuertes de hidróxido de sodio, pues atacan a este tipo de agregados.
- Los ácidos atacan fuertemente a los agregados calizos y dolomíticos.

*Material orgánico sólido, generalmente no soluble en agua, que tiene poca o ninguna tendencia a cristalizarse.

4.2.3. Productos para Protección del Concreto Contra Ataque Químico.

Los productos químicos de protección, trabajan bajo todas las condiciones que le imponga su uso, pueden dar protección ante el ataque de ácidos, sulfuros, aguas y otras sustancias. El espesor de un sistema de protección depende de que la exposición sea continua o intermitente. La exposición intermitente puede ser ocasionada por la salpicadura, rocío o mojadura accidental con el líquido o por estar en contacto con el gas. Sin embargo, el espesor requerido depende de la resistencia del material a los químicos involucrados y puede ser más grueso que el que se necesita en otras situaciones como se puede observar en la figura 4.3. Cualquier regla existente con respecto al espesor de la protección debe estar sujeta a modificación con respecto a los materiales usados y con el tipo de exposición.



El espesor del material de protección se mide en pulgadas. Los sistemas de protección de espesores de .12mm (0.005") se usan donde es requerida una protección mínima contra la exposición ocasional e intermitente, pero el espesor que realmente se coloca en cada protección depende del método de aplicación, valor de cobertura, viscosidad, contenido solventes volátiles y de las características superficiales del concreto.

Figura 4.3. Esquema de colocación de un sistema de protección a base de productos químicos.

Los sistemas de protección deben prepararse para ser compatibles con el coeficiente térmico de expansión de concreto.

Donde se requiera una protección completa deben utilizarse, los sistemas de protección más gruesos como resinas o morteros químicos, materiales laminados.

La presión y la humedad del vapor, así como presiones hidráulicas pueden despegar del concreto los sistemas de protección ordinarios; en estos casos deben utilizarse sistemas de protección más gruesos como concretos que contengan una resina con un agregado fino o arena, ladrillos químicamente resistentes o azulejos con morteros químicos, éstos también son efectivos donde el efecto combinado de la abrasión y acción química ocasionarían un deterioro rápido.

Para poder facilitar la consulta de esta parte del capítulo se ha dividido en:

1. Protección "Tipo Pintura".
2. Protección "Tipo Tratamientos Inorgánicos de Superficie".
3. Protección "Tipo Morteros".
4. Protección "Tipo Barreras Protectivas".

4.2.3.1. Protección "Tipo Pintura".

Con protección tipo pintura debemos referirnos a la protección que se coloca después de terminado el piso de concreto, para mejorar así la calidad del concreto endurecido y teniendo una protección extra contra el ataque químico.

1. REVESTIMIENTOS TERMOPLÁSTICOS.

1.1. CERAS Y GRASAS.

VENTAJA: Bajo costo y facilidad de aplicación.

DESVENTAJA: No son resistentes a la abrasión.

OBSERVACIONES: Solo se usan donde se requiere una protección temporal ya que deben removerse por completo antes de que algún otro sistema de protección se aplique.

1.2. EMULSIONES**.

VENTAJA: Facilidad de aplicación, sin el olor a solventes y la conveniencia de poderse limpiar con agua

DESVENTAJA: El sistema se seca por la evaporación de agua, por lo tanto el secado puede demorarse bajo condiciones de alta humedad, además de que la película permanece sensible al agua y es dañada por la lluvia.

OBSERVACIONES: Las superficies sobre las que aplican no necesitan estar secas, aunque que deben estar libres de agua encharcada.

1.2.1. ACRÍLICOS

DESCRIPCIÓN: El término "acrílico" incluye una familia grande de polímeros con base en ácidos metilacrílicos y esteres acrílicos.

VENTAJA: Resisten a ácidos, a álcalis, a aceites, al calor, a la luz del sol y al intemperismo.

DESVENTAJA: Solo resisten el contacto intermitente de los agentes anteriores, aunado a su baja resistencia a hidrocarburos aromáticos, acetonas, ésteres, éteres y alcoholes de éter ya que se disuelven en ellos

OBSERVACIONES: La adhesión con el concreto es buena.

*Material que puede ablandarse repetidas veces por calentamiento. Por lo general los termoplásticos tienen poca a nula unión química.

** Dispersión de partículas finas en agua.

1.3.CAUCHOS Y RESINAS

1.3.1.CAUCHOS CLORADOS.

DESCRIPCIÓN: Son producidas por el clorado del caucho natural, el producto resultante es un material resinoso y duro, sin la resistencia y la elasticidad del caucho

VENTAJA: Resisten al álcalis, a la humedad, a la abrasión, a los alcoholes rebajados y a una amplia gama de ácidos débiles comunes.

DESVENTAJA: No resisten los ácidos nítricos, los acéticos y los de sulfuro, ni a las soluciones concentradas de amoníaco, se descomponen cuando se usan arriba de los 107°C, además se disuelven o se suavizan con hidrocarburos aromáticos, ácidos grasos, aceites animales y vegetales.

OBSERVACIONES: Se usan en pisos de concreto ya que pueden ser recubiertos en cualquier momento sin la disminución de la adhesión de la capa intermedia; pero se encuentran dificultades en aplicaciones de caucho clorado sobre sistemas anteriormente pintados y añejados, en bases de aceites o alquidálicas, los solventes activos de los cauchos clorado pueden levantar los sistemas anteriores.

1.3.2.ACRÍLICOS

DESCRIPCIÓN: Están basadas en el etil o metil metacrilato y en un solvente orgánico, con una proporción considerable de nitrocelulosa y un plastificante.

VENTAJA: Resisten el calor, la luz del sol, al intemperismo, a los ácidos, a los álcalis y a los aceites.

DESVENTAJA: Es difícil obtener películas libres de pequeñas grietas razón que los hace inapropiados para la protección en donde estén en contacto continuo con líquidos agresivos, además que se disuelven en esteres, alcoholes de éter, éter esteres, acetonas, e hidrocarburos aromáticos y aumentan su volumen con éteres.

OBSERVACIONES: Son recubrimientos de secado rápido que se aplican por rocío.

1.4.VINILOS

1.4.1.ALCOHOL POLIVINILICO.

DESCRIPCIÓN: Son materiales incoloros y duros, que son impermeables a la mayoría de los gases y no se ven afectados por los solventes orgánicos comunes.

VENTAJA: Tienen resistencia sobresaliente a aceites y grasas, conjuntamente tiene altos niveles de resistencia a la tensión, de resistencia a la abrasión, de dureza, de flexibilidad y de elongación, además conservandose constantes aún en presencia de solventes orgánicos, aceites y grasas.

DESVENTAJA: Los tipos parcialmente hidrolizados son solubles en agua.

Los tipos completamente hidrolizados son atacados solo por el agua muy caliente.

OBSERVACIONES: Los sistemas de alcohol de polivinil tienen buena adherencia al concreto.

1.4.2.POLIVINILO PURO.

VENTAJA: Resisten álcalis diluida e hidrocarburos.

DESVENTAJA: No resisten solventes orgánicos.

OBSERVACIONES: Se usan para promover sistemas flexibles y duros con buena resistencia al calor y a la abrasión.

2.SISTEMAS DE FRAGUADO TÉRMICO.

2.1.ACEITES .

DESCRIPCIÓN: Forman buenas películas, solo varían en la rapidez del secado, en la dureza, en su flexibilidad y su resistencia al agua, se usan para sellar poros en el concreto, actuando como penetradores de superficie.

VENTAJA: Son rápidos en su secado, tienen buena rigidez y durabilidad; pero la ventaja principal está en su poca preparación de superficie para el revestimiento.

Resisten a los cloruros, a los sulfatos, a los aceites ligeros de petróleo, a las grasas y a los ácidos grasos.

DESVENTAJA: Requieren revestimientos periódicos a causa de la erosión, además antes de recubrirlos con pinturas de emulsión se requieren primers especiales, conjuntamente cualquier álcalis presente en el concreto destruye a un sistema a base de aceite.

Los aceites pueden oscurecer la superficie

OBSERVACIONES: Los aceites más usados son la linaza, el aceite de tung, el aceite de madera de China, el aceite de soya, el aceite de pescado y los aceites deshidratados de ricino. Pero el aceite de linaza es el que se usa con mayor frecuencia. Los aceites pueden ser aplicados por todos los métodos convencionales.

El concreto deberá curarse y secarse antes de la aplicación.

2.2.ACEITES FENÓLICOS.

DESCRIPCIÓN: Son fabricados por la combinación de sustitutos de resinas fenólicas y aceites vegetales no saturados , para su uso en concreto pueden producirse aceites claros o pigmentados, los aceites mas usados son el tung, la linaza y el aceite deshidratado de ricino.

VENTAJA: Tienen buena resistencia al agua, a los ácidos diluidos, a exposiciones cortas de soluciones diluidas de álcalis, resisten a gamas de aceites que van desde concentrados a pobres, la resistencia al intemperismo oscila de buena a muy buena, la resistencia al impacto es buena, la resistencia a la abrasión es favorable, poseen excelente retención de color y pueden resistir 1hr a 177° C o varias semanas a 94°C.

Su absorción de agua es muy baja .

DESVENTAJA: No resisten los hidrocarburos aromáticos y los solventes fuertes tales como acetonas y ésteres, además los sistemas blancos se amarillean

OBSERVACIONES: Los sistemas fenólicos son aplicados en el concreto con cepillo, rodillo o por rocío. Cada capa tendrá un espesor de película de .025 a .050mm.

2.3. ESTERES EPÓXICOS.

DESCRIPCIÓN: Son hechos reaccionando resinas epóxicas con aceites vegetales. Al producto resultante se le agrega un secador convencional que es curado por la exposición con el aire. Los ésteres epóxicos son parecidos a muchos ésteres alquidáticos convencionales; pero ofrecen tres ventajas adicionales : su adhesión al concreto, su flexibilidad y su resistencia química

VENTAJA: Poseen la ventaja de bajo costo, tienen vida indefinida en almacenamiento y son fáciles de aplicar. Las películas tienen buen lustre, buena retención del color, con buena flexibilidad y resistencia a solventes, mejor que las películas alquidáticas

DESVENTAJA: Son vulnerables al ataque cáustico y tienden a degradarse y erosionarse por el intemperismo como sucede con los recubrimientos con base en aceites.

OBSERVACIONES: Son aplicados con todas las técnicas empleadas con sistemas basados en resinas, están disponibles en todos los colores.

2.4. URETANO* O POLIURETANO.

DESCRIPCIÓN: Uretano o poliuretano son los nombres que describen sistemas hechos de productos de reacción de un isocianato con cualquiera de una amplia variedad de otros compuestos que contienen un grupo hidrógeno activo.

VENTAJA: Resisten la abrasión, la humedad, los álcali, los ácidos débiles y fuertes.

DESVENTAJA: Su retención de lustre no es buena y los sistemas pigmentados muestran manchas tempranas que puede menoscabar su aspecto, pero no su función protectora; pero las desventajas principales se relacionan con la preparación de la superficie antes de la aplicación y con la dificultad de recubrir las películas.

OBSERVACIONES: La dureza de las películas es tan grande que, a menos de que se tomen precauciones en la preparación de la superficie, la película se puede desgarrar en largas láminas.

Para mejor adhesión se recomienda, la remoción de

todos los sistemas de protección previos ya que los sistemas de uretano contienen solventes fuertes que pueden suavizar y levantar muchos sistemas de protección anteriores.

Hay dos tipos de sistemas de uretanos sencillos reconocidos para su uso en el concreto. Estos son los curados con humedad y los aceites modificados.

3. SISTEMAS DOBLES.

ESTOS SISTEMAS SON CURADOS POR LA REACCIÓN DE DOS O MÁS COMPONENTES, POR ESTO SE CONOCEN COMO SISTEMAS DOBLES.

Los sistemas dobles contienen pequeñas cantidades de agente para curado. Este agente puede ser: un catalizador (sustancia que se agrega para acelerar la reacción) o un endurecedor

* Familia de polímeros que varían desde elásticos a frágiles.

(sustancia que entra en la combinación química con uno o más sustancias y llega a ser parte integral de la película o del sólido curado).

La reacción química que tiene lugar al mezclar los dos paquetes, genera gran cantidad de calor que si no es disipada puede causar el endurecimiento antes de que puedan removerse de la mezcladora, debido a esto los sistemas dobles se abastecen en "unidades" de tamaño pequeño; para permitirles ser mezclados sin el peligro de sobrecalentamiento.

El intervalo de tiempo después del mezclado durante el cual la mezcla es trabajable sin dificultad es conocido como "vida de olla" . Este es solo influenciado por el tamaño de la mezcla y temperatura del sistema y de la atmósfera. La "vida de olla" puede a veces ser prolongada congelando la mezcla.

Muchos sistemas dobles se deterioran en el almacenamiento mediante la descomposición o polimerización lenta. El período de tiempo que pueden almacenarse con poco o ninguno deterioro es conocido como "vida de almacenamiento".

3.1.EPOXY

DESCRIPCIÓN: Las películas de resina epóxica doble son duras, rígidas y químicamente resistentes a la mayoría de los agentes agresivos.

VENTAJA: La resistencia al intemperismo es buena, resiste la abrasión y son útiles donde se requiere resistencia a manchas, ataque por ácidos o cáusticos.

OBSERVACIONES: Existen siete tipos básicos de resinas epóxicas y algunos tipos de agentes de curado, debe aclararse que aunque algunos de estos que tipos no son prácticos para el uso sobre el concreto. Los 7 tipos de resinas epóxicas son:

- 1.La resina epóxica más común es el producto de reacción del bisfenol A y el epícloridrin. Es el más versátil, tiene un alto grado de resistencia química y es muy duro. Puede producirse para tener un alto grado de resistencia al impacto, flexibilidad y buena adhesión.
- 2.Las resinas Novolac son un segundo tipo de resinas epóxicas muy duras y quebradizas.
- 3.El tercero tipo se constituye de resinas epóxicas flexibles base glicerol, raramente usadas solas a causa de su baja fortaleza y la pobre resistencia a la abrasión. Las resinas se usan como agentes modificadores para el bisfenol A-epíclorohidrin tienen pobre resistencia al agua y no deberán usarse donde vayan a estar inmersos en soluciones o en agua.
- 4.El cuarto tipo de resina epóxica, patentada como resina "Oxiron", son reactivos mediante a los grupos hidróxil y el enlace de vinilo así como también los grupos epóxicos. Los agentes de curado no son muy reactivos con aminas⁷ y poliamidas típicas, pero el ácido anhídridos líquidos y los ácidos más turbios reaccionan con a la temperatura de ambiente.
- 5.El quinto tipo son las diepoxinas, con un bajo en peso molecular y alta reactividad epóxica, que
 Compuestos orgánicos nitrogenados obtenidos del amoniaco por sustitución de uno o más átomos de hidrogeno por radicales alquílicos o arílicos.

producen estructuras estrechamente ligadas que deben aplicarse con cuidado porque reaccionan muy rápido con agentes de curado a temperatura ambiente además despiden mucho calor y hace la reacción difícil de controlar.

6 y 7. Dos tipos de resinas epóxicas desarrolladas son el "Eponols" y el "Phenoxies," con alto peso molecular, estas resinas son usadas como componentes simples del sistema.

Los agentes de curado para el uso a temperaturas ordinarias son a:

1. Las aminas primarias se usan en sistemas para secado al aire, su "vida de olla" va desde ocho horas a algunos días a temperatura ambiente. El producto curado tiene alta fortaleza y buena resistencia a la abrasión y al ataque químico, pero con la desventaja que es quebradiza.
2. Las polaminas alifáticas reaccionan con resinas epóxicas a temperaturas arriba 15.5°C. Se usan a razón de 10 a 15 partes por 100 partes de resina líquida en peso, producen sistemas que son duros con buena adhesión, resistencia química y alta resistencia a los esfuerzos de tensión. Tienen la desventaja de ser tóxicas, de tener "vidas de olla cortas" y de producir resinas de curado que son quebradizas.
3. Las resinas de poliamidas pueden llenar el papel del agente de curado para resinas epóxicas, a causa de su reactividad y a otras características valiosas como:
 - a) Curado a la temperatura ambiente.
 - b) No son tóxicas, ni irritantes.
 - c) Son fáciles de preparar.
 - d) Las mezclas tienen largas "vidas de olla" .
 - e) Humedecen superficies mejor que otras resinas.
 - f) Proveen adhesión al concreto.
 - g) Proveen resistencia al impacto y dureza.
 - h) Resisten la abrasión.

4. Los polisulfuros son empleados como agentes de curado para producir sistemas flexibles y resistentes al impacto, aunque se tenga que usar un catalizador.

Los sistemas de resina Epoxy son aplicados por todos los medios convencionales. Los sistemas 100 % sólidos son aplicados con calor en superficies sensitivas al solvente. Para su uso es aconsejable seguir las instrucciones del fabricante, se recomienda esto porque se deben conocer las propiedades como la "vida de olla", la cantidad de calor liberada y el valor de cambio de viscosidad con la temperatura.

El contacto con resinas epóxicas o endurecedores puede ocasionar una variedad de síntomas alérgicos y un cuidado considerable deberá tomarse para evitar estos problemas.

Existen sistemas epóxicos de fortaleza adhesiva alta, pero cualquier lechada anterior, debe removerse antes de aplicar el sistema .

3.2. NEOPRENO

DESCRIPCIÓN: La viscosidad, el espesor de película, la resistencia al agua, la resistencia a los ácidos y el costo varían con el grado de neopreno y tipo de acelerador usado en la fórmula

VENTAJA: Proveen un grado alto de resistencia al agua, a los aceites, a los alcoholes, a la mayoría de los ácidos fuertes y débiles, a los álcalis y soluciones salinas y resisten el ataque mecánico.

DESVENTAJA: No son recomendados para el servicio de inmersión en ácido nítrico o en ácidos clorhídricos y otros medios fuertemente oxidante.

Con la mayoría de los aceites se hinchan, al igual que con los hidrocarburos aromáticos, algunos ésteres y acetonas.

OBSERVACIONES: Los sistemas dobles de neopreno se usan donde se requieren películas con anchos de .254mm a 1.78mm (0.010 a 0.070 pulgadas). Los antióxidantes usados en los sistemas ocasionan manchas a la superficie del concreto.

Se recomienda un período de espera entre el mezclado de las dos de partes y la aplicación. Antes de aplicar la segunda capa, la primera debe estar seca de solventes , si ésta capa no esta curada se puede hinchar y perder adhesión.

4.2.3.2. Protección "Tipo Tratamientos Inorgánicos de Superficie".

1. TRATAMIENTOS ENDURECEDORES.

Si apropiados métodos de construcción no se han llevado a cabo, los tratamientos mencionados a continuación no serán suficientes para prevenir el desgaste y la formación de polvo. Son usadas para este propósito Fluosilicato de magnesio, fluosilicato de zinc, silicato de sodio, sulfato de aluminio, sulfato de zinc, varios aceites, resinas y parafinas.

Es esencial que el piso de concreto este limpio y libre de aceites, pinturas o de otras sustancias aplicadas anteriormente.

1.1. SILICATOS Y FLOUROSILICATOS.

DESCRIPCIÓN: Las soluciones de silicato de sodio, magnesio y de fluosilicatos de zinc se usan como tratamientos de superficie, para aumentar la dureza de la superficie y para reducir el pulverizamiento del piso. Los tratamientos de superficie reaccionan con los compuestos de calcio solubles presentes en el cemento portland convirtiendolos en silicato o fluosilicatos de calcio, que son compuestos insolubles.

VENTAJAS: Provee protección contra el ataque leve por salpicado de ácidos o por la penetración de aceites, con la facilidad de que se remueve fácilmente de la superficie de concreto.

DESVENTAJAS: El tratamiento del concreto con silicato de sodio o flurosilicatos de magnesio no es considerado efectivo para reducir la penetración de queroseno y solo se reducen ligeramente la penetración y absorción de agua.

Se requiere que el tratamiento penetre en el concreto y no solo forme una película de superficie.

OBSERVACIONES: La profundidad de penetración del líquido en el concreto puede ser baja si la primera aplicación bloquea los poros en el concreto, limitándose la penetración de las aplicaciones subsiguientes. Por esto la primera capa se diluye y las subsiguientes capas se concentran más.

1.2. TRATAMIENTOS CON ACEITE.

DESCRIPCIÓN: El aceite de linaza, el aceite de madera de china y el aceite de soya son usados para este tratamientos de superficie.

DESVENTAJAS: El tratamiento oscurece la capa de concreto y deben ser aplicadas dos o tres capas.

OBSERVACIONES: El aceite debe diluirse en thinner cerca del 50 % para la primera aplicación y debe irse reduciendo para las capas subsiguientes, dejando secar la capa anterior antes de aplicar la capa siguiente.

Puede ser aplicado con trapeadores o brochas.

Este sistema debe usarse en lugares bien ventilados y debe tenerse cuidado con las condiciones de explosividad.

4.2.3.3. Protección "Tipo Morteros".

Los pisos industriales de concreto algunas veces son acompañados con morteros especiales. La utilidad de los morteros en pisos han aumentado mucho, en su mayor parte como resultado del desarrollo y disponibilidad de una amplia gama de morteros químicos. Algunos de estos se usan, como resinas o emplastos aplicados con llanas.

1. MORTEROS CON AZUFRE.

DESCRIPCIÓN: Los morteros de azufre son usados en trabajos de recubrimiento en plantas de almacenamiento y en pisos de plantas químicas.

VENTAJAS: Son de bajo costo y tienen un buen nivel de resistencia química. Son usados para la protección contra muchos ácidos oxidantes. Otra ventaja es que después de derretirlos y vertidos en el lugar endurecen por frío.

DESVENTAJAS: La resistencia al calor es baja, la temperatura límite es de 88°C, la resistencia a soluciones alcalinas y a muchos solventes orgánicos es pobre.

2.MORTEROS DE RESINA DE POLIÉSTER.

DESCRIPCIÓN: Los morteros de este tipo son producidos con base en resinas no saturadas de poliéster con estireno, un coreaccionante, en un componente único. Cuando se usa, un segundo componente, conteniendo un promovedor y un catalizador de peróxido, es mezclado con la resina. Esto promueve la reacción entre el poliéster y el estireno.

VENTAJAS: Se usan donde se requiere resistencia a agentes oxidantes leves tal como dióxido de cloro y otros blanqueadores o donde se necesita mayor adhesión con el concreto o a otras superficies alcalinas.

DESVENTAJAS: Los morteros de resina de poliéster están limitados por la falta de resistencia a álcalis fuertes y a muchos solventes, su resistencia al calor es baja y no debe considerarse su uso a temperaturas arriba de 122°C ya que solo resisten condiciones químicas y térmicas leves.

Su contracción es alta en comparación con otros morteros químicos y las técnicas de aplicación deben modificarse para manejar los poliésteres.

3.MORTEROS DE RESINA EPÓXICA

DESCRIPCIÓN: Los Morteros de Resina epóxica se han usado en la albañilería cerca de 10 años. Ha habido una amplia aplicación de estas fórmulas combinadas con el uso de fibra de vidrio, reforzándolos y obteniéndose sistemas monolíticos y cubiertas para pisos.

VENTAJAS: Los Morteros de Resina epóxica tienen excelente resistencia química, baja contracción al endurecerse y poseen excelente adhesión a superficies barnizadas, metales y superficies alcalinas tal como las superficies producidas con cemento portland hidratado. Resistencia a ácidos no oxidantes y álcalis.

DESVENTAJAS: La resistencia a los solventes y al calor no es sobresaliente, por esto la temperatura máxima de operación por ningún caso debe ser mayor de 122°C y se debe limitar a una temperatura de 94°C.

OBSERVACIONES: El mortero patentado usual del tipo epóxico se ha compuesto para el uso general y para su fácil manejo.

4.2.3.4. Protección "Tipo Barreras Protectivas".

1.MATERIALES LAMINADOS

1.1.LAMINAS DE RESINA

Las resinas sintéticas son disponibles como materiales laminados reforzadas con fibra de vidrio.

LAS LÁMINAS DE RESINA DE POLIÉSTER SE USAN DONDE NO ESTÉN SUJETAS AL ATAQUE DE ÁLCALIS O ÁCIDOS .

LAS LÁMINAS DE RESINA EPÓXICA SON RESISTENTES A MUCHOS QUÍMICOS, PERO NO A ÁCIDOS MINERALES OXIDANTES FUERTES, A EL ÁCIDO ACÉTICO GLACIAL Y A DIVERSOS MATERIALES ORGÁNICOS COMO EL FENOL, ANILINA, BENCINA O CLORADOS O SOLVENTES CARBÓNICOS.

LA LÁMINA DE CLORURO DE POLIVINILO SE USA EN LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PARA PROTEGER TUBOS Y OTRAS ESTRUCTURAS EXPUESTAS A ÁCIDOS SEVEROS. La resistencia de las resinas de cloruro de polivinilo a ácidos y a sales es buena, aunque que la adición de plastificadores y otros flexibilizadores reduzca la estabilidad química. LA RESISTENCIA AL IMPACTO Y AL INTEMPERISMO SON EXCELENTES. Las películas de cloruro de polivinilo y las láminas se han usado para tanques de combustible de concreto.

Dos de tipos de láminas de fluorocarbónos son disponibles: tetrafluoruroetileno y el clorotrifluoruroetileno. LOS FLUOROCARBÓNOS SON RESISTENTES A CASI TODOS LOS QUÍMICOS EXCEPTO METALES ÁLCALINOS FUNDIDOS Y FLÚOR CALIENTE, HASTA RESISTEN ÁCIDO NÍTRICO CONCENTRADO A 205°C (400°F). Su uso como barreras protectoras se limita, a causa de la vulnerabilidad de sus adhesivos.

1.2.LÁMINAS DE PLOMO

LA LÁMINAS DE PLOMO PUEDE USARSE PARA RESISTIR A MUCHAS DE LAS SOLUCIONES DE SOLVENTES ORGÁNICOS, SALMUERAS, ÁLCALIS HASTA CERCA DEL 30% DE CONCENTRACIÓN, A LOS ÁCIDOS SULFUROSOS, SULFÚRICOS, HIDROFLUORICOS Y ÁCIDOS CROMICOS. LA RESISTENCIA A LOS ÁCIDOS FOSFÓRICOS EN CONCENTRACIONES HASTA CERCA 80 % ES BUENA. LOS ATAQUES POR ÁCIDOS HÍDROCLOHIDRICOS SON LENTOS , PERO SE USA A VECES CON EL ÁCIDO CLORHÍDRICO EN CONCENTRACIONES DE HASTA CERCA DE 30 %. RESISTE LOS ÁCIDOS ACÉTICOS, FORMICOS Y TARTARICOS PERO MUCHOS OTROS ÁCIDOS ORGÁNICOS LO ATACAN .

Donde existan altas temperaturas, los ladrillos o losetas resistentes a químicos deberán ponerse encima de la lámina de plomo. Esto reduce tensión térmica.

En el apéndice se puede encontrar una tabla de materiales recomendados en cada tipo de ataque.

4.3. Elección de la Protección.

La correcta elección del procedimiento de protección tiene como resultado un piso que soporta el trabajo y las condiciones que se le impongan.

Para la elección iniciar, el primer paso es conocer que tipo de ataque se esta dando sobre el área que se debe proteger, verificar si el ataque es mecánico o químico o una combinación de ambos, conociendo esto podemos comenzar a descartar algunos tipos de protección que no se adecuen al ataque.

Como segundo paso es necesario conocer el tipo de agente degradante que se esta presentando, si el ataque es mecánico los agentes pueden ser abrasión, impacto, fractura por contracción o fractura por gradientes de temperatura, de la misma manera para un ataque químico el piso puede ser atacado por ácidos, sulfatos, aguas o algún material que los forme.

El tercer paso incluye lo que se denomina la **adecuación del sistema de protección** contra el agente degradante, esto es colocar el sistema de protección adecuado en las áreas en las que se espere el ataque, por ejemplo, algunas protecciones solo resisten el ataque de ácidos débiles, algunos otros solo resisten el ataque de sulfatos. Por esta razón es necesaria la correcta adecuación del sistema de protección.

Resumiendo, en la elección de la protección contra ataque mecánico, se debe tener en cuenta que la correcta construcción de un piso incluye todas los tipos de protección mencionados y solo aclararemos, donde y cuando, se usan:

1. Se usan pisos de dos capas no ligadas, cuando:

- Es necesaria la sustitución del piso, debido a una abrasión extrema.
- Es importante evitar el desgaste de la primera capa.
- La capa anterior esta gastada o dañada.
- No es recomendable cincelar ni descascarar la capa anterior.

2. Se usa el endurecido de superficie, cuando:

- La calidad del concreto es baja y se esta comenzando a pulverizar la superficie de concreto.
- El piso es viejo.

Hay que hacer notar que para la elección de la protección contra ataque mecánico no es necesario considerar una lista numerosa de factores para encaminar o descartar el uso de alguna protección, la elección se limita a proyectar y construir un piso adecuadamente y observar si la calidad del concreto es suficiente para resistir el ataque, sino lo es se debe de considerar mínimas recomendaciones anteriores.

Caso contrario con el ataque químico en donde, se deben considerar numerosos aspectos como el factor ambiental ya que estos de alguna forma modifican las características de resistencia, color y durabilidad de los sistemas de protección, además de todos los factores mencionados a lo largo de este capítulo como el tipo de ataque químico, condiciones de exposición, si se usarán materiales selladores, que tipo de juntas de trabajo, no dejando fuera lo más importante a las propiedades físicas del mismo sistema de protección.

Factores Físicos, Ambientales, y Otros que influyen en la elección de la protección contra Ataques Químicos.

Los factores ambientales también afectarán a la protección y en algunos casos eliminarán protecciones, ayudándonos ya que reducirán el número de posibles sistemas de protección o la encaminarán a un solo material.

La siguiente es una lista de factores que pueden ayudar en la selección de materiales disponibles; esta incluye características físicas del recubrimiento y el requerimientos especiales:

1. Las propiedades de aplicación

Revestimientos "tipo pintura".

Viscosidad: ¿Debe ser alta o baja?

Características de flujo: ¿Debe de ser aplicable con cepillo, con rodillo, con spray o con llana?, ¿Deberá ser aplicado en una superficie vertical u horizontal?.

"Vida de olla". Debe ser corta o larga.

Curado: ¿Qué límites son aceptables bajo las condiciones de aplicación?.

Continuidad de la película: ¿Qué problemas habrá en las juntas?.

Recubrimientos por capa: ¿Qué espesor de película es necesario?, ¿Qué tanto se necesita recubrir?.

Materiales laminados.

Tipo de adhesivo: ¿Será un tipo de adhesivo mecánico o químico el que satisfaga las condiciones de aplicación.

Morteros.

Consistencia: ¿Será posible aplicar el mortero con llana a la temperatura de colocación?.

Adhesión: ¿Se adherirá al concreto con un contenido de agua que prevalezca?

"Vida de olla": ¿Será satisfactoria?.

Tiempo de Curado: ¿Qué límite es requerido?.

2. Propiedades Físicas. Que requerimientos deben tomarse en cuenta:

Esfuerzos de tensión.

Módulo de elasticidad.

Extensibilidad.

Deslizamiento.

Permeabilidad.

Coefficiente de expansión térmica.

Características de envejecimiento.

3. Factores ambientales

Temperatura: ¿ A qué la temperatura máxima se requiere la resistencia química ?

Cambio dimensional: ¿Qué alcance tiene el sistema de protección para absorber el cambio dimensional? ¿ Cuan rápido puede acomodarlo?

Abrasión : ¿Debe resistir abrasión o erosión? ¿ Debe resistir abrasión por el tránsito u otro desgaste mecánico?

Intemperismo: ¿Que exposición al ambiente debe resistir?

Contaminación: ¿ Habrá contaminación por sabores, olores, calidad de alimentos o drogas?

4. Factores de Diseño

Consideraciones especiales pueden requerirse, dependiendo del diseño de la estructura. ¿ Se necesitan juntas de trabajo y están disponibles los selladores?, ¿ Hay esquinas filosas que son difíciles de cubrir estando sujetas al ataque químico y daño mecánico?.

La respuestas a tales preguntas ayudarán a encaminar la elección de algún material protector adecuado descrito con antelación, para la protección contra el ataque químico

4.4. Pruebas y Especificaciones.

Las pruebas son necesarias para escoger entre dos o más marcas de igual calidad o para evaluar el desempeño en el ambiente esperado. Hoy en día deben hacerse pruebas directas o por medio de la adaptación de los métodos de prueba usados para evaluar el ataque químico en el concreto.

Se debe recordar que ninguna prueba duplica las condiciones de servicio y ninguna prueba es una guía confiable. Es posible llegar a conclusiones erróneas si la prueba se elige mal con respecto a las condiciones de servicio o si se hacen demasiadas generalizaciones . La asistencia y el consejo de expertos en este campo puede impedir serios errores de juicio.

En cuanto a las especificaciones, cuando el sistema de protección o el tratamiento ha sido elegido, las especificaciones para el material y la aplicación deberán ser establecidas. Las guías de especificaciones pueden estar disponibles con el fabricante. El tratamiento protector deberá ser aplicado por mano de obra experimentada en el tipo de trabajo a realizar y el trabajo debe ser supervisado.

Ya descritos los casos en los que puede ser atacada un piso de concreto industrial, corresponde el turno a como se puede minimizar el grado y la velocidad de ataque. Para el **ataque mecánico**, la **protección** que se puede proveer es la **calidad del concreto** que es utilizado en la construcción, el **uso de acabados superficiales** como el escobillado, el uso de cepillos de alambre, uso de agregados especiales o incluso el uso de esmerilado mecánico; **uso de agregados especiales (protección integral)** como el cuarzo, el esmeril o los agregados metálicos al momento del mezclado del concreto, el **uso de pisos de dos capas**, el **endurecido de superficie** con productos químicos como los flurosilicatos de magnesio y zinc, silicato de sodio, gomas y ceras; así como el uso de **elementos de transmisión mecánica "pasajuntas"** que como su nombre lo indica son elementos de acero que refuerzan y aumentan la transmisión mecánica entre una losa y otra.

Para el ataque químico la lista de sistemas de protección se reduce y la protección puede darse por: la **calidad del concreto** que es utilizado en la construcción, por la **calidad de los agregados** y por el **uso de productos químicos**, que para mejor entendimiento se a dividido en cuatro tipos de protección que siempre son colocados después que el concreto se ha secado: los tipo **"pintura"** son los sistemas que por sus características de viscosidad y características de flujo pueden ser aplicados con cepillo, rodillo, en spray o con llana; los tipo **"tratamientos inorgánicos de superficie"** son los sistemas que tienen la misma característica de viscosidad y flujo pero son sistemas que solo endurecen la superficie; los tipo **"morteros"** es el sistema que se utiliza cuando se necesita mayor protección o una protección de mayor espesor por sus características de consistencia y adhesión, y los tipo **"barreras protectivas"** es el sistema que se utiliza cuando se necesita mayor espesor del sistema de protección, estos sistemas tiene la característica de que no se colocan sobre la superficie a proteger, sino que necesitan la ayuda de sustancias adhesivas para conservarse en el lugar.

Con lo que respecta a la elección de los sistemas de protección, se deben de puntualizar algunos aspectos:

1. El ataque mecánico siempre esta presente en la losa.
2. El ataque químico se va a presentar en áreas específicas de la losa.

Con esto podemos decir que **para elegir el sistema de protección contra el ataque mecánico** solo es necesario considerar que:

1. Se usan pisos de dos capas no ligadas, cuando:
 - Es necesaria la sustitución del piso, debido a una abrasión extrema.
 - Es importante evitar el desgaste de la primera capa.
 - La capa anterior esta gastada o dañada.
 - No es recomendable cincelar ni descascarar la capa anterior.

2. Se usa el endurecido de superficie, cuando:
 - La calidad del concreto es baja y se esta comenzando a pulverizar la superficie de concreto.
 - El piso es viejo.

3. Se usan sistemas de transmisión mecánica solo en el caso de losas de espesor mayor a 20 cm.

4. La calidad del concreto debe estar siempre implícita.

Caso contrario con el ataque químico en donde, se deben considerar numerosos aspectos como el factor ambiental ya que estos de alguna forma modifican las características de resistencia, color y durabilidad de los sistemas de protección, además de las condiciones de exposición, si se usarán materiales selladores, que tipo de juntas de trabajo, no dejando fuera lo más importante a las propiedades físicas del mismo sistema de protección.

Capítulo Quinto.

Recomendaciones Generales de Construcción para Pisos de Concreto Industriales.

Capítulo Quinto: Recomendaciones Generales de Construcción para Pisos de Concreto Industriales.

Objetivo: Proporcionar Recomendaciones Generales de Construcción de un Piso de Concreto Industrial, además de Generalidades sobre la Colocación de los Sistemas de Protección.

5.1.Construcción.

5.1.1.Preparación del Suelo Natural.

Al suelo natural es preciso desmontarlo o despalmarlo. Se debe tener presente las características que debe tener el suelo natural (mencionadas en el capítulo 1), pero la consideración más importante es que el suelo no sea lodoso.

5.1.2.Preparación de la Subrasante.

CUANDO SE EMPLEA UNA SUBRSANTE, SE DEBE DE COLOCAR Y COMPACTAR UNA CAPA DE 30 CM DE ESPESOR DE MATERIAL GRANULAR COMO LA ARENA, GRAVA O PIEDRA TRITURADA, HASTA LA DENSIDAD MÁXIMA (100% DE LA AASHTO T99). Con valores de "k" mayores a 3.

La subrasante sobre la cual se colocará la losa deberá:

1. Estar bien drenada y ser de naturaleza granular y uniforme para soportar las cargas.
2. La subrasante debe estar húmeda en el momento del colado.

Deben evitarse:

1. Presencia de puntos suaves y duros.
2. Suelos Lodosos.
3. Suelos expansivos.

El mejoramiento de un suelo se da solo sí:

1. No es posible obtener material de mejor calidad en un banco de material cercano.
2. Si el material que se obtuvo del banco, aún siendo de mejor calidad, no cumple con las características necesarias de soporte, o si el material obtenido es expansivo.

5.1.3.Preparación de la Sub-base.

CUANDO SE EMPLEA UNA SUB-BASE, SE DEBE DE COLOCAR Y COMPACTAR UNA CAPA DE 10.5 CM DE ESPESOR DE MATERIAL GRANULAR COMO LA ARENA, GRAVA O PIEDRA TRITURADA, HASTA LA DENSIDAD MÁXIMA (100% DE LA AASHTO T99). Si se requiere de una sub-base de mayor espesor para alcanzar el nivel deseado, se deberá compactar el material en capas de 10 cm. de espesor. Con valores "k" mayores a 5.

DESPUÉS DE QUE LA CAPA SUBRASANTE O LA SUB-BASE HA SIDO COLOCADA Y COMPACTADA AL GRADO REQUERIDO, LA SUPERFICIE SOBRE LA QUE VA A CONSTRUIRSE EL PISO DEBE NIVELARSE CORRECTAMENTE. Si las operaciones de nivelación afectan la compactación de la capa subrasante o de la sub-base, dicha compactación debe corregirse mediante tratamiento adicional, antes de colocar el concreto. La construcción de la capa subrasante o de la sub-base debe llevarse a cabo antes de la colocación del concreto, con un espaciamiento suficiente para que las dos operaciones no interfieran entre si.

Si se permite tránsito eventual sobre la sub-base o la subrasante terminada, debe verificarse y corregirse la nivelación antes de colocar el concreto.

Antes de que el concreto se coloque, la superficie terminada debe ser humedecida para evitar la absorción del agua procedente del concreto (debe estar húmeda pero no lodosa), de esta forma el ingeniero puede disponer que la superficie sea saturada con agua en la noche anterior o no menos de 6 hrs. antes de la colocación del concreto.

5.1.4.Cimbrado

DEBEN UTILIZARSE CIMBRAS CAPACES DE SOPORTAR LAS CARGAS IMPUESTAS POR LOS EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN. UNA PRUEBA PARA EVALUAR LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS CIMBRAS METÁLICAS RECTAS, EXIGE COMO REQUISITO QUE NO SE DEFORMEN MÁS DE 6MM CUANDO SE PRUEBEN COMO VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON UN CLARO DE 3 M Y UNA CARGA IGUAL AL PESO DEL EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN QUE OPERE SOBRE ELLAS.

El espesor de las cimbras puede ser de 6.4 mm y 8.0 mm. Si las cimbras van a soportar equipo de construcción pesado, deben tener un espesor mínimo de 8.0 mm.

SE RECOMIENDA QUE LA CIMBRA TENGA UN PERALTE MÍNIMO IGUAL AL ESPESOR DE LA LOSA DE CONCRETO Y UN ANCHO EN LA BASE IGUAL AL 75% DEL PERALTE, PERO NO MENOR DE 20 CM.

Las cimbras deben estar provistas de sistemas de sujeción adecuados que les permita permanecer en su sitio una vez colocadas y soportar, sin giros ni asentamientos apreciables a simple vista, el impacto y las vibraciones del equipo de acabado y de compactación del concreto.

Los puntales de las cimbras deben sobresalir un mínimo de 2/3 de la altura de la cimbra. Las cimbras aumentadas con piezas más pequeñas no son recomendables para obras donde el área total del piso sea mayor de 1,700 m². Si se emplean estas cimbras el incremento en el peralte no debe ser mayor del 25% del peralte de la cimbra original.

CUANDO SE REVISEN LAS CIMBRAS PARA VERIFICAR SU ALINEAMIENTO, NO DEBEN VARIAR MÁS DE 3MM EN 3M DEL PLANO REAL DE LA PARTE SUPERIOR, NI MÁS DE 6MM EN 3M A LO LARGO DE SU PLANO LATERAL. SE RECOMIENDA EL USO DE CIMBRAS FLEXIBLES O CURVADAS, CUANDO LA CURVA TENGA UN RADIO DE 30M O MENOR.

Colocación de las Cimbras.

ES INDISPENSABLE QUE SE COMPACTE Y SE NIVELE EL TERRENO BAJO LAS CIMBRAS PARA QUE AL COLOCARLAS SE APOYEN EN TODA SU LONGITUD Y QUEDEN EN LA ELEVACIÓN CORRECTA. Es preferible que la nivelación se dé cortando el terreno de apoyo que está abajo del nivel establecido, debe rellenarse en capas de 13 mm o menos, hasta 45 cm de cada lado de la cimbra y compactarse de acuerdo con las especificaciones de la obra.

El ingeniero debe comprobar el alineamiento y la nivelación de la cimbra, y hacer las correcciones necesarias antes de la colocación del concreto. LA COLOCACIÓN DE LAS CIMBRAS DEBE LLEVAR UN ESPACIAMIENTO SUFICIENTE CON RESPECTO AL FRENTE DEL CONCRETO, PARA PERMITIR EL AVANCE Y LA INSPECCIÓN DEL TRABAJO. UNA VEZ QUE LAS CIMBRAS SE HAN COLOCADO, LA CAPA SUBRASANTE O LA SUB-BASE DEBEN COMPACTARSE MECÁNICAMENTE O A MANO, EN AMBOS LADOS DE LA BASE DE LA CIMBRA. LAS CIMBRAS DEBEN FIJARSE CON ESTACAS, POR LO MENOS A CADA METRO. Los tramos de cimbra deben estar bien sujetos, libres de todo juego o movimiento en cualquier dirección.

Colocación de Guías Maestras

LA PARTE SUPERIOR DE LOS BORDES DE LAS CIMBRAS DEBEN ESTAR A NIVEL. LAS GUIAS PUEDEN SER PIEZAS DE MADERA, PEDAZOS DE TUBO O BARRAS "T", CUYA PARTE SUPERIOR ESTÉ AL NIVEL DEL CONCRETO TERMINADO. El nivel de piso para losas con pendiente puede determinarse colocando 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 del concreto.

5.1.5. Colocación de Pasajuntas.

Las pasajuntas se deben colocar por medio de inserción mecánica o de dispositivos de transferencia de carga (canastillas para pasajuntas). Los dispositivos de transferencia de carga constan de estructuras de alambre o silletas que guardan y sostienen las pasajuntas a la profundidad adecuada y con la alineación correcta.

Los dispositivos soldados para pasajuntas son marcos de alambre, que sostienen a las barras en el lugar previsto y se deben fijar a la capa de apoyo para evitar movimientos y volcamiento durante la construcción. Un dispositivo común de fijación es una estaca de acero con un gancho doblado. Generalmente, las estacas o taquetes tienen un diámetro mínimo de 0.3" y se hincan mecánicamente dentro de la capa de apoyo. Con un mínimo de seis a ocho taquetes se asegurará una canastilla de 3.60 m en forma efectiva a suelos granulares o a otro tipo de material no estabilizados.

Un mecanismo eficiente para fijar los pasajuntas a sub-bases estabilizadas (rígidas) es una grapa que se coloca sobre los alambres de cuerda inferior. La grapa se envuelve alrededor de los alambres de la cuerda inferior y se clavan en la sub-base. La capacidad del material de sub-base para sostener la grapa u otro dispositivo de sujeción será la que determine el número de grapas necesarias para fijar el armazón o canastilla.

5.1.6. Mezclado, Colado y Tendido 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 DURANTE LAS OPERACIONES DE MANEJO POSTERIORES.

5.1.6.1. Mezclado del Concreto.

TODO CONCRETO DEBE MEZCLARSE HASTA LOGRAR UNIFORMIDAD EN APARIENCIA Y CON TODOS SUS INGREDIENTES DISTRIBUIDOS EQUITATIVAMENTE, LOGRANDO CON ESTO LOS MISMOS PESOS VOLUMÉTRICOS, CONTENIDOS DE AIRE, REVENIMIENTOS Y CONTENIDOS DE AGREGADO GRUESO.

La dosificación debe estar basada en pruebas de laboratorio, excepto para el mezclado de pequeñas cantidades en la obra, el cemento debe ser pesado en otra báscula que no sea la empleada para pesar los agregados. Si el proporcionamiento se hace por bultos, no deben usarse fracciones de bulto.

El agregado debe proporcionarse en peso (no debe permitirse el proporcionamiento en volumen). Los pesos de proporcionamiento deben sujetarse para compensar la humedad absorbida o superficial. Cuando la mezcla contiene agregado especial, debe evitarse la segregación o la contaminación de los agregados.

El agua puede ser proporcionada en peso o volumen.

5.1.6.2. Secuencia de colado

EL COLADO DEL CONCRETO DEBE DE COMENZAR EN EL PUNTO MÁS LEJANO E IR AVANZANDO HACIA LA FUENTE DE SUMINISTRO DEL CONCRETO, EL CONCRETO DEBERÁ VACIARSE CERCA DE SU POSICIÓN FINAL, REBASANDO LIGERAMENTE LAS CIMBRAS Y SER NIVELADO DE MANERA APROXIMADA CON PALAS O RASTRILLOS PARA CONCRETO. LOS VACÍOS GRANDES DEBERÁN SER REMOVIDOS POR MEDIO DE LA COMPACTACIÓN.

En muchos casos LA MANERA MÁS EFICAZ DE COLAR GRANDES ÁREAS DE CONCRETO COMO LAS DE UNA LOSA DE PISO, ES EN FRANJAS LARGAS. Esto permite el acceso a las secciones que se están colando y el corte de juntas angostas, transversales al eje longitudinal de las franjas.

No se recomienda la secuencia de colocación en forma de tablero de ajedrez.

CUALQUIERA QUE SEA EL MÉTODO DE DESCARGA Y TRANSPORTACIÓN, EL CONCRETO DEBE DESCARGARSE LO MÁS CERCA POSIBLE DE SU UBICACIÓN FINAL Y DEL CONCRETO YA COLADO.

LAS OPERACIONES DE MEZCLADO Y COLADO DEBEN ESTAR COORDINADAS CON LAS OPERACIONES DE ACABADO. EL CONCRETO NO DEBE VACIARSE SOBRE LA CAPA DE APOYO MÁS RÁPIDO DE LO QUE PUEDA SER EXTENDIDO, ALINEADO EN LOS BORDES, COMPACTADO Y APLANADO, PUÉS ESTAS OPERACIONES DEBEN REALIZARSE ANTES DE QUE EL AGUA DE SANGRADO SE ACUMULE EN LA SUPERFICIE.

5.1.6.3. Compactado.

El acomodo mediante picado en las juntas y los bordes, la aplicación de una regla y el apisonado mecánico hasta cierto grado son procedimientos efectivos, pero no pueden asegurar la obtención de un concreto denso. Los vibradores, ya sean de inmersión o de superficie, producen buenos resultados. Toda el área del piso debe ser compactada con vibradores ya sean de inmersión o de superficie y debe ponerse especial atención en los bordes, la línea central y las juntas.

También debe ponerse especial cuidado para asegurar una compactación adecuada del concreto alrededor de los pasajuntas y las silletas de apoyo, en los bordes, en las esquinas y en zonas de forma irregular relacionadas con entronques e intersecciones.

5.1.6.4. Nivelación (enrasado).

La nivelación o enrasado es el proceso en el cual se retira el exceso de concreto de la superficie superior de una losa para dejarla en el nivel apropiado, el método que se utiliza es manual y consiste en una regla que puede tener el borde inferior recto o ligeramente curvo dependiendo de los requisitos de la superficie, el cual se balancea con movimientos de vaivén o de aserrado avanzando una pequeña distancia en cada movimiento, debe existir un exceso o sobrecarga de concreto contra la cara frontal de la regla para ir rellenando las partes donde exista desnivel.

Una losa de 15 cm de espesor necesita un sobrenivel de 2.5 cm.

5.1.6.5. Aplanado.

Inmediatamente después del enrasado se deberá usar una alisadora con el propósito de eliminar los puntos altos o bajos e incrustar las partículas grandes del agregado dentro de la masa de concreto. El aplanado se deberá completar antes de que el agua de sangrado se acumule sobre la superficie, teniendo precaución en no sobre trabajar al concreto ya que tendríamos una superficie menos durable.

Aunque en la mayoría de los pisos no se necesita un acabado algunas veces se complementa con: el bordeado, el junteado, el emparejado y con el escobillado. Antes de poder iniciar cualquiera de estas operaciones se necesita contar con un ligero endurecimiento del concreto.

Cuando el brillo del agua de sangrado haya desaparecido y el concreto sostenga la presión ejercida por los pies de una persona, hundiéndose solo medio centímetro, se considera que la superficie está lista para proseguir con las operaciones de acabado, se debe de tener precaución ya que una de las principales causas de la existencia de defectos en la superficie del concreto se debe a la aplicación del acabado mientras existe agua de sangrado sobre la superficie de la losa, ésta agua en la superficie provoca a la losa graves agrietamientos, superficie susceptible a la formación de polvo y descascaramientos. Una operación para reducir el tiempo de espera con el agua de sangrado es el uso de la deshidratación por vacío. En este sistema pueden usarse cojines de vacío, aplicados sobre la superficie de concreto recién colado, a fin de eliminar grandes cantidades de agua. Esta operación prepara a la superficie para el acabado y el aplanado; además, se mejora la resistencia al desgaste y se reduce la contracción por deshidratación, ya que se disminuye el contenido de agua.

5.2.Elaboración de juntas.

El método recomendable para la elaboración de juntas es el aserrado, todos los factores que intervienen en este inciso fueron tratados en el capítulo 3.

5.3.Curado

El curado evita la pérdida de humedad del concreto fresco y proporciona humedad de reserva para el curado. Antes del vaciado del concreto, el terreno de apoyo debe mojarse y después de terminar la losa debe iniciarse el curado lo más pronto posible.

La resistencia y la durabilidad del concreto se desarrollan, sólo si se cura de manera adecuada. Sin embargo, cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son favorables para el curado, no se requiere ninguna acción adicional.

Cuando las condiciones sean adversas y se contemple una gran pérdida de agua por evaporación, deben comenzarse un curado por rocío para devolver el agua perdida. El hecho de evitar ésta evaporación es que si se da puede causar grietas por contracción, además de una pérdida en la resistencia del concreto cercano a la superficie.

Los dos sistemas recomendados para mantener un contenido satisfactorio de humedad, en pisos que serán sometidos a tratamiento de protección contra el ataque de químicos, son los siguientes:

1. La continua o frecuente aplicación de agua por anegamiento, aspersion, vapor, o materiales de cubrimiento saturados, como carpetas de yute o algodón, alfombras, tierra, arena, aserrín, paja o heno.

2. Por medio de métodos naturales de curado: lluvia, neblina, humedad elevada, baja temperatura, relleno húmedo, etc., pueden considerarse suficientes para proporcionar un curado adecuado cuando su efecto es, por lo menos, el de conservar húmedo el concreto durante los primeros 14 días si está hecho con cemento tipo 1, o durante los primeros 3 días si está hecho con cemento tipo 2, siempre que se le haya conservado a una temperatura superior a los 10°C, a menos que se indique otra en las especificaciones de proyecto.

Para temperaturas ambientales promedio superiores a los 5°C, el período mínimo recomendado de conservación de humedad y temperatura de todos los procedimientos es de 7 días, o el tiempo necesario para alcanzar el 70 % de las resistencias a la compresión o a la flexión especificadas, cualquiera de los períodos que sea menor. Cuando el concreto se cuele a temperaturas ambientales promedio de 5°C o menos, deben tomarse precauciones para evitar daños por congelación.

5.4.Descimbrado

LA CIMBRA DEBE PERMANECER EN SU LUGAR EL TIEMPO QUE SEA NECESARIO PARA GARANTIZAR QUE LOS BORDES DEL PISO NO SERÁN DAÑADOS AL QUITARLAS O CUANDO MENOS OCHO HORAS DESPUÉS DE LA COLOCACIÓN DEL CONCRETO.

INMEDIATAMENTE DESPUÉS DE LA REMOCIÓN DE LAS CIMBRAS DEBE INICIARSE EL CURADO DE LOS BORDES EXPUESTOS DEL PISO.

5.5.Limpieza de las Juntas y de las Cajas.

Las paredes de la caja de sellado necesitan limpiarse perfectamente, para garantizar una buena adherencia del sellador y un buen funcionamiento a largo plazo. No se debe dejar polvo ni trazas visibles de suciedad en las caras de la junta durante la aplicación del sellador. A continuación se presentan los lineamientos de los procedimientos de limpieza recomendados (con selladores de compresión se pueden obviar los pasos b y c:

- a) Inmediatamente después del aserrado, se debe lavar con agua a presión (menos de 7 kg/cm² de presión) para eliminar el lodo que se formó durante la operación de corte.
- b) Una vez que la junta está lo suficientemente seca, la junta se deberá limpiar con chorro de arena para eliminar cualquier residuo sobrante. Una pasada a lo largo de cada una de las caras de la caja dará excelentes resultados. Esta operación, efectivamente limpia las paredes de la junta y también mejora la adherencia del sellador al impartir cierta textura a las caras de la ranura.
- c) Antes de aplicar el sellador, la junta se debe sopletear con aire a presión (con compresora equipada con un filtro para eliminar la humedad y el aceite) para extraer la arena, cualquier

basura y polvo que se hubiera depositado por el viento o el tráfico. La presión del aire deberá ser mayor de 6.3 kg/cm^2 .

5.6. Operación de Sellado de las Juntas.

Una vez concluida la limpieza, la primera etapa consistirá en instalar la tira de respaldo. Para esto se usa una rueda giratoria que introduce el injerto hasta la profundidad deseada. La barra de respaldo no se debe estirar, a fin de que pueda mantenerse en contacto con las paredes de la ranura.

Los selladores líquidos necesitan aplicarse uniformemente. La caja de la junta debe llenarse de la parte inferior hacia arriba, para evitar que queden atrapadas, burbujas de aire. No es recomendable rebasar ni llenar completamente la ranura. Una buena costumbre consiste en remeter el sellador cuando menos 3 mm por debajo de la superficie del piso. Esto permite que el sellador se expanda durante el rellenado de las juntas en verano. Si no se deja remetido, el sellador se puede extruir hacia la superficie del piso donde el tráfico lo puede desplazar de la ranura. En el caso de selladores rígidos, como los epóxicos, se recomienda que no se remeta y que se coloque al nivel del piso terminado.

Los selladores de silicón de bajo módulo que no son autoenrasables, necesitan trabajarse con herramientas para lograr los resultados esperados.

Una vez aplicado el sellador, un operario lo acomoda, haciendo pasar una herramienta sobre la superficie del sellador de silicón. Esto impulsa al sellador para que haga contacto con las paredes laterales en la parte superior de la junta y produce el factor de forma adecuada.

La operación de sellado para el caso de sellos de compresión preformados, implica la aplicación de un lubricante/adhesivo en las paredes de la ranura. A continuación se introduce el sello de compresión dentro de la caja (no se emplea barra de respaldo). El material lubricante/adhesivo facilita la inserción del sellador y forma un adhesivo débil que ayuda a mantener el sello en su lugar. Se necesita tener cuidado durante la instalación para evitar que se tuerza o se estire el sellador. Más del 5% de elongación es excesivo y se deberá evitar. La mayoría de los fabricantes de sellos de compresión proporcionan dispositivos para eliminar el estiramiento durante la instalación.

5.7. Aplicación de Materiales Protectores.

5.7.1. Generalidades de Aplicación.

Para la correcta aplicación de los materiales protectores contra ataque químico se deben considerar algunos factores básicos para su buena colocación y desempeño:

1. Precauciones de seguridad. Antes de comenzar la aplicación de sistemas de protección, la mano de obra debe estar familiarizado con las medidas de seguridad.
2. Naturaleza del riesgo. Muchos sistemas de protección contienen solventes que pueden incendiarse o explotar, muchos presentan riesgos de intoxicación por inhalación, ingestión o contacto con la piel. La respiración de cantidades excesivas de solventes tóxicos puede ocasionar inconsciencia y daño a órganos vitales. LOS SIGUIENTES SOLVENTES SON TÓXICOS Y NUNCA DEBEN ESTAR EN CONCENTRACIONES DE MÁS DE 100 PARTES POR MILLÓN: LA BENCINA, FORMATO DE BUTILO, DISULFURO DE CARBÓN, DIOXANO, CICLOEXANO Y TETRACHLOROETANO. LOS SIGUIENTE SON MODERADAMENTE TÓXICOS EN CONCENTRACIONES DE 100 A 200 PARTES POR MILLÓN: EL ALCOHOL DE METILO, CLORURO DE METILENO Y TRICLOROETILENO. Algunos solventes no tóxicos, no deben despreciarse porque al respirarlos pueden causar problemas fisiológicos leves como las náusea y el contacto directo ocasiona inflamación de la piel.
3. Almacenaje de sistemas de protección. Para el propósito de conservar el sistema de protección en buena condición y evitar peligros de incendio, explosión y toxicidad, los sistemas de protección deben almacenarse en un lugar fresco.
4. Ventilación. Para prevenir fuego o explosiones o para prevenir la formación de vapores tóxicos, todas las áreas de almacenaje , pesaje , medida , mezclado y el área de aplicado deben estar ventilados. Si una ventilación natural no esta disponible métodos mecánicos deben ser usados .
5. Prevención de Chispas. Todas las fuentes de electricidad estática como bujías o flamas deben ser eliminadas para eliminar el riesgo de explosión o fuego .

5.7.2.Preparación de superficie.

Uno de los métodos que se usa en la preparación de los pisos de concreto es el ácido muriático . Si se usan ácidos, los trabajadores deben usar goggles, guantes y ropa protectora. Un mejor método cuando es posible su aplicación, es la limpieza con chorro de arena (Sandblasting), en este método el operador debe de protegerse con goggles o con una mascara que le cubra la cara. Si están siendo usadas arenas sílicas en una área confinada el operador debe protegerse con una mascara contra el polvo.

Condiciones Internas y de Superficie.

Las propiedades del concreto que son mas desfavorables para la aplicación de revestimientos, resinas y adhesivos son algunas condiciones anormales como: la reactividad entre el cemento y el agregado , la transpiración del vapor de agua , varios tipos de deterioro físico y contaminación de la superficie por aceites y agentes de curado (si se ocuparon membranas de curado).

El concreto debe estar bien curado y seco antes de la aplicación del recubrimiento para asegurar una buena adherencia y prevenir presiones de vapor interno ya que estas presiones pueden causar astillamientos y escamamientos en las películas de curado.

Llenando poros

Se deben eliminar todos los poros de la superficie del concreto. PARA LLENAR POROS PEQUEÑOS EN EL CONCRETO O SUPERFICIES SIMILARES O PARA LLENAR RUPTURAS, DEBE APLICARSE UNA MEZCLA DE CEMENTO-ARENA EN RELACIÓN 1:1. La superficie debe limpiarse y ser humedecida completamente, la lechada debe mezclarse hasta alcanzar una consistencia cremosa, la superficie debe fregarse con un cepillo. Si LOS POROS SON GRANDES, PUEDE USARSE UNA MEZCLA DE CEMENTO-ARENA CON RELACIÓN 1:2 O 1:3. EL CONCRETO DEFECTUOSO Y LA SUCIEDAD SUELTA DEBEN QUITARSE. El concreto debe ser plástico, pero suficientemente seco para mantenerse firmemente en el lugar. LAS LECHADAS Y EL CONCRETO DEBEN CURARSE POR 2 O 3 DÍAS PARA MANTENERLO CONTINUAMENTE HÚMEDO ESTO PUEDE HACERSE CON EL MÉTODO DEL YUTE MOJADO O CON AGUA ROCIADA FRECUENTEMENTE SOBRE LA SUPERFICIE.

LAS DEPRESIONES Y ORIFICIOS SOMEROS PUEDEN REPARARSE CON UN MORTERO EPÓXICO DE DOS COMPONENTES EN RELACIÓN 1:4 PARA AFIANZAR LOS COMPUESTOS Y LA ARENA. LA ARENA DEBE ESTAR LIMPIA Y SECA.

LOS ORIFICIOS GRANDES DEBEN LLENARSE DE MORTERO DE CEMENTO-ARENA EN RELACIÓN 1:2.5 . LOS ORIFICIOS PARA SER LLENADOS NO DEBEN SER MENOS DE 2.6 CM (1 IN.) DE PROFUNDIDAD Y LOS BORDES DEBEN CUADRARSE. LOS MATERIALES YA SECOS DEBER COMPRESIONARSE EN CAPAS APROXIMADAMENTE 9.6MM (3/8 IN.) DE GRUESO. La superficie de cada capa debe rallarse para dar un buen agarre a las capas subsiguientes.

Limpieza de la Superficie.

CUALQUIER SUPERFICIE A SER REVESTIDA DEBE LIMPIARSE COMPLETAMENTE Y ESTAR SANA . SI EL PROCESO DE LIMPIEZA NO SE DA ADECUADAMENTE LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN NO CEMENTARÁN EFECTIVAMENTE Y LA ADHESIÓN SE PERDERÁ o inclusive deteriorará al concreto . El concreto deteriorado debe quitarse con martillos o herramientas de astillado. LA SUCIEDAD, EL POLVO Y LOS SISTEMAS DE PROTECCIÓN PREVIOS DEBEN SER QUITADOS POR SANDBLASTING O POR CEPILLADO. El concreto debe barrerse y soplarse para dejarlo limpio de cascajo y de polvos y todas las rupturas deben llenarse.

LAS GRASAS Y ACEITES DEBEN QUITARSE CON UNA SOLUCIÓN DE SOSA CÁUSTICA AL 10 %, FOSFATO TRISÓDICO O DETERGENTES ESPECÍFICAMENTE FORMULADOS PARA EL USO SOBRE EL CONCRETO, teniendo cuidado de seguir las instrucciones del fabricante. En seguida el concreto se debe

limpiar con agua para quitar todos los rastros de sosa cáustica, detergentes, grasas o aceites pero NO DEBEN USARSE SOLVENTES. Un método menos efectivo es limpiar con una solución de ácido muriático al 10 %. Para prevenir la penetración profunda del ácido, la superficie del piso debe ser humedecido antes de aplicarlo. Después de que la reacción del ácido con la superficie del concreto se ha terminado (evidenciado por la desaparición del burbujeo), la superficie debe cepillarse y enjuagarse completamente con la agua.

Antes de aplicar a los pisos una protección, cualquiera que sea su tipo, deben hacerse investigaciones para determinar que membranas de curado se han usado, ya que algunas de estas son claras y algunas otras son pigmentadas y su presencia no puede ser inmediatamente visible. Si están presentes deben ser quitados por arena a chorro, u otro proceso friccionante.

Se debe recordar, que es muy importante quitar toda protección anterior y suciedad ya que la nueva protección puede afianzarse débilmente al concreto y puede desarrollar a la vez poca o ninguna adhesión al concreto, inhibiendo la penetración efectiva de tratamientos líquidos de superficie tales como aceites o soluciones de silicatos, fluosilicatos, o silicios.

Pretratamiento.

Cuando los sistemas de protección susceptibles a álcali, van a ser aplicados, como las protecciones derivadas de aceite, es necesario que el concreto, sea viejo, para que la alcalinidad sea reducida en la superficie a través de secado y la carbonatación atmosférica, un plazo de 6 meses es recomendable. Cuando esto no es posible un tratamiento neutralizante de 3% de ácido fosfórico y 2% de cloruro de zinc es recomendable.

Sellado de juntas en el concreto

Las estructuras de concreto como los pisos necesitan apropiadas juntas de trabajo bien diseñadas y estratégicamente localizadas para reducir la potencia de los esfuerzos de los cambios de humedad, esfuerzos inducidos y fenómenos térmicos. Las juntas deben sellarse con materiales flexibles escogiéndolos también por su resistencia a ambientes químicos. Los selladores flexibles no deben utilizarse cuando se planea la colocación de sistemas de protección ya que no tendrán adhesión o tendrán extensibilidad baja. Cuando se planea la colocación de sistemas de protección se deben usar materiales de relleno epóxicos.

5.7.3. Manejo de los Productos.

Mezclado y manejo de los sistemas de Protección.

En el mezclado y manejo de los sistemas de protección es recomendable usar guantes, protectores de brazos y batas para prevenir el contacto con la piel ya que los materiales causan

reacciones alérgicas. En un contacto accidental , las áreas accidentadas deben ser lavadas pronta y fuertemente. Cualquier persona que sea sensible al material utilizado debe retirarse del lugar de trabajo.

Entibiamiento o Calentamiento .

Si los sistema de protección han sido almacenados en un lugar frío o si estos van a ser aplicados sobre una superficie fría deben ser entibiados antes de la aplicación, sin la aplicación de flamas abiertas o cualquier calefactor directo, ya que el calor excesivo puede causar deterioro de la protección. Los mejores métodos de entibiamiento son la inmersión en baños de agua o el colocarlos en un cuarto tibio. La temperatura puede ser variable hasta un punto de 33°C, pero nunca sobre los 38°C.

Manejo de los derretidos en Caliente.

La temperatura a la cual los materiales derretidos en caliente y los sulfuros se usan es muy alta, debido a esto todo el personal en el área debe protegerse con lentes, guantes y ropa protectora . La ropa debe ser retardante del fuego y no deben estar en contacto con el calor o las flamas o con flamas que vengan de cualquier material sulfuroso o bituminoso.

Antes de iniciar la flama para derretir el sulfuro , el asfalto o los bitúmenes de carbón , todas las áreas donde el trabajo va a ser hecho deben de ser inspeccionadas para evitar que puedan encontrarse gases inflamables o explosivos. Los equipos extintores de fuego deben tenerse a la mano. Cuando se prende el sulfuro , este arde con una flama baja y azul produciendo vapores sofocantes y ácidos . Los materiales bituminosos ardiendo producen humos pesados y vapores. Un sustituto de ropa premojada debe tenerse a la mano, para extinguir fuego o para prevenir su desarrollo.

Mezclando de sistemas de protección

El proporcionamiento de algunos sistemas de protección doble es muy importante, debido a esto las recomendaciones del fabricante deben ser estrictamente observadas. Un buen mezclado es necesario para obtener un material que pueda ser aplicado homogéneamente y curado uniformemente. Si los dos componentes son diferentes en color la diferencia en el mezclado puede detectarse visualmente.

5.7.4. Aplicación de los Sistemas.

Una buena practica para la aplicación de los sistemas de protección involucra seguir buenas recomendaciones, incluyendo las del fabricante. Con algunos de los nuevos sistemas de protección técnicas especiales involucran primers especiales, preparación especial de la superficie

o métodos inusuales de aplicación y esto requiere que las recomendaciones del fabricante sean seguidas. La aplicación de los sistemas de protección puede retrasarse de 7 a 28 días dependiendo de la humedad, temperatura y tipo de sistema de protección. La aplicación de sistemas de protección susceptibles a álcali debe ser retrasados lo mas posible hasta que la superficie este lista, aproximadamente 6 meses.

Muchos sistemas de protección son aplicados al concreto con brocha, rodillo o spray, aunque la naturaleza del sistema puede algunas veces sugerirnos una selección de uno de estos métodos o eliminar completamente algún otro. La aplicación con brocha es particularmente efectiva para los sistemas de protección con contacto intimo con el concreto y para trabajar en superficies irregulares y porosas. La aplicación con rodillo es algunas veces preferida por facilidad y rapidez. La aplicación con spray es adaptada a las soluciones de sistemas de protección termoplásticas debido a que este no esta combinado. Este es el mejor método de aplicación para los sistemas de protección de secado rápido los cuales no tienen apropiado espesor cuando son aplicados con brocha o rodillo. Los sistemas de protección de resinas adhesivas epóxicas deben ser aplicadas al concreto a temperaturas no mas bajas de 10°C y mínimo de 15.5°C, debido a que a temperaturas bajas, no son capaces de comenzar el curado. Cuando se esta aplicando al concreto algún sistema de protección epóxico o algún otro sistema de protección doble es deseable que la temperatura del sistema de protección este en un rango de 22 a 32°C, para asegurar el curado apropiado, no deben ser usados en temperaturas mas altas ya que su "vida de olla" baja y la vaporización de humedad del concreto puede ser grande y causar astillamiento. Una técnica efectiva para mejorar la penetración de resinas epóxicas dentro de la superficie del concreto e incrementar el rango de curado es la de calentar el concreto con lamparas de calor para piso (no son lamparas spot).

La mano de obra debe permanecer fuera del perímetro mientras la resina es aplicada. Este método puede ser usado también para sistemas de protección o para capas adheridas por superficies de morteros epóxicos.

5.7.4.1. Aplicación de Tratamientos Líquidos Inorgánicos

Soluciones de magnesio o fluosilicato zinc o silicato sodio no debe ser aplicado a pisos de concreto hasta que ellos tengan por lo menos 28 días de edad y se hallan curado y permitido que se sequen completamente.

Cuando se utilizan capas de silicato o soluciones de fluosilicato se recomiendan mínimo tres capas. El primer sistema de protección es diluido más que los recubrimientos subsecuentes o capas sucesoras. Las concentraciones apropiadas de fluosilicato son .45 kg. por gal. para la primera aplicación y 1.2 kg. por gal. para la aplicación final. El endurecedor de superficie de

fluosilicato puede aplicarse a superficies horizontales con estropajos. Debe tenerse cuidado de no formar charcos, que producirán un mal aspecto. La superficie debe permitirse que seque, entre recubrimientos o capas. Después de la aplicación final la superficie debe fregarse con agua para quitar cristales solubles.

El silicato de sodio debe tener una relación de óxido de sodio a sílice de 1:3. El primer sistema de protección de silicato de sodio se diluye con cuatro veces su volumen de agua y capas progresivas deben ser más fuertes. Se debe aplicar libremente; puede verterse en la superficies extenderse con estropajos, escobas, o cepillos, pero debe tenerse cuidado para evitar la formación de charcos. Cada sistema de protección se le debe permitir un tiempo amplio de secado y endurecimiento y debe entonces ser fregado con la agua antes de la aplicación del sistema de protección sucesor.

Estos materiales pueden ser irritantes a la piel y tanto más a los ojos.

5.7.4.2. Aplicación de Tratamientos de Superficie con Aceites Secantes

El concreto para ser tratado con aceites secadores debe reposar una temporada de 6 meses. Los aceites secantes pueden ser aplicados con cepillo o rocío sobre los pisos, pero también se pueden aplicar con estropajo. El primer sistema de protección debe diluirse en una relación 1:1 con queroseno para mejorar la penetración. Los sistemas de protección subsiguientes pueden diluirse menos. Dos o tres de recubrimientos o capas se aplican comúnmente; a cada sistema de protección se le permitirá secar antes de la siguiente aplicación.

5.7.4.3. Aplicación de Tratamientos Derretidos por Calor.

Los materiales derretidos son vertidos en el lugar y colocados con llana o apisonados antes que se enfríen y tomen una consistencia sólida. Las lechadas pueden ser tiradas sobre la superficie de un sistema de protección primario en las capas siguientes se deben tirar en ángulos rectos el uno del otro. El concreto debe estar seco para impedir el ampollado.

Morteros del tipo sulfuros resistentes químicamente puede aplicarse en forma espesa. La aplicación y preparación de superficie y los procedimientos se describen en ASTM C386. Se debe esparcir y nivelar con una regla u otra apropiado herramienta alargadora.

5.7.4.4. Colocado de Ladrillo y Azulejos con Morteros Químicos.

Se han escrito prácticas recomendadas para el uso de cementos con resistencia química, con el uso de ladrillo y teja:

ASTM C 386— Uso de morteros tipo sulfuros con resistencia química.

ASTM C 397— Uso de morteros químicamente colocados de tipo silicato.

ASTM C 399— Uso de morteros tipo resina químicamente resistentes.

Las prácticas descritas deben seguirse.

5.7.4.5. Aplicación de los Materiales de Hoja.

Los materiales de hoja se afianzan al concreto con adhesivos diseñados para el propósito. Este adhesivo no debe ser expuesto al líquido contra el que la protección está siendo provista. Además, el adhesivo y la hoja deben elegirse con respecto a todos los solventes a los que pueda estar expuesto. Es importante evitar cualquier combinación que pueda permitir la difusión de solvente a través de la hoja y causar la disolución del adhesivo.

La superficie del concreto debe estar preparada para recibir el adhesivo de la misma manera con respecto a recibir un sistema de protección. Los sistemas de protección de hoja deben aplicarse mientras el adhesivo está todavía adherente y colocado firmemente sobre el adhesivo, siguiendo las instrucciones del fabricante, las juntas traslapadas pueden ser selladas con calor, o las cabezas de juntas por tiras, las juntas en resinas curadas térmicamente pueden ser selladas con la aplicación de resinas mezcladas del mismo tipo y colocadas con llana.

Juntas entre laminas pueden ser selladas con calor y en seguida se le coloca una tira

5.8. Secado

Algunos sistemas de protección endurecen por la evaporación del solvente, otros por enfriamiento y algunos por la evaporación de solvente así como también por curado. Algunos sistemas de protección pueden secar en 30 min. y estar listos para un sistema de protección adicional al final de ese tiempo. Es necesario para los sistemas de protección derivados del aceite dejar secar 24 a 48 hrs. antes de agregar otro sistema de protección. El tiempo de secado debe extenderse para la mayoría de los sistemas de protección si están expuestos al enfriamiento en atmósferas húmedas mientras secan o son curadas. Sin embargo, algunos sistemas de protección requieren que humedad los cure. Las capas de sistemas de protección calientes logran dureza por el enfriamiento y resisten el uso, minutos después que han solidificado.

5.9. Revestido

El revestido puede ser hecho sobre un superficie vieja todavía sana, aunque a veces se requieran medidas especiales. Áreas pequeñas deben ser elegidas para experimentar el revestido observando la adhesión antes de proceder con el trabajo entero. Hay, sin embargo, las combinaciones que obviamente no se usarían: por ejemplo, la aplicación de un recubrimiento epóxicos sobre una parafina o betún.

Si la superficie del sistema donde existió una protección, es sana, el nuevo sistema de protección puede aplicarse tan pronto como la superficie se ha limpiado con agua o detergente y se le ha permitido secar. Si el sistema de protección viejo se ha pelado, desescamado, gastado o disuelto,

el material suelto debe ser quitado con arena a chorro, lijando, raspando o astillando. Si hay una fuente continua de daño desde el concreto al sistema de protección, ocasionado por el movimiento de agua o sales desde una fuente exterior, la fuente del problema debe remediarse antes del revestido.

5.10. Apertura a Servicio.

Cuando el acabado de la superficie de concreto ha finalizado, el acceso al piso debe bloquearse con barricadas y no se debe permitir el paso, excepto a quienes van a realizar una operación necesaria, como la aplicación de cualquier procedimiento de curado.

Debe respetarse todo el período de curado y después de haber completado el período 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 período de secado adicional de dos días no es necesario ni aplicable en pisos curados con membrana.)

Para este período de secado de dos días se considera que la temperatura estará comprendida entre 10 a 27° C y que la humedad relativa estará entre 40 y 60 %. Si la temperatura es menor y la humedad relativa mayor, debe permitirse un período de secado más largo. Un día de secado será suficiente cuando la temperatura sea mayor y la humedad relativa menor; puede permitirse más pronto el tránsito de personas, pero el tránsito industrial pesado deberá posponerse un poco más. También se debe de prohibir el paso en el momento de estar aplicando los sistemas de protección; solo se permitirá el paso a el personal que hará la colocación, así como a sus vehículos, después de terminado la colocación de los sistemas de protección un tiempo de secado debe ser necesario, terminado este tiempo se levantan las barricadas y se permitirá el paso peatonal y de vehículos.

Para concluir, falta solo aclarar puntos sobre el proceso de construcción de las losas de concreto industriales, se incluyen procesos de colocación de materiales protectores, así como procesos de limpieza de las juntas, así como la colocación de los materiales de sellado.

Comenzamos por la **preparación de la capa de apoyo**, el suelo natural debe ser desmontado debe estar libre de hierbas y piedras de gran tamaño, la preparación de la sub-base o subrasante incluye la nivelación de la capa, el adecuado compactamiento y el humedecerlo antes de la colocación de la capa de concreto.

Punto que continua en el orden del proceso constructivo es el proceso de **cimbrado**, del cual se recomienda que las cimbras deben ser capaces de soportar las cargas impuestas por los equipos de construcción, de la misma forma se recomienda que deben tener un peralte igual al espesor de la losa y un ancho en la base igual al 75% del peralte, las cimbras en su alineamiento no deben variar más de 3mm en 3mts. en el plano superior y más de 6mm en 3mts. en el plano lateral. Parte importante en el proceso de cimbrado es la **colocación de las guías maestras** que determinarán el nivel máximo de la losa.

La **colocación de pasajuntas**, es un proceso importante en losas de más de 20cm de espesor, ya que aumentan la cantidad de transferencia de carga, aumentando la vida útil de la losa.

Habiendo concluido con estos puntos, podemos comenzar con el **mezclado, colado y tendido del concreto**; todas las operaciones de manejo del concreto deben tener como propósito evitar la segregación, ya que es difícil o imposible volver a mezclar el concreto durante las operaciones de manejo posteriores. El mezclado debe hacerse hasta lograr una uniformidad en apariencia y con todos sus ingredientes distribuidos equitativamente, la dosificación debe determinarse por pruebas de laboratorio, si la economía del proyecto lo permite. La secuencia de colado debe comenzar en el punto mas lejano e ir avanzando hacia la fuente de suministro, debe vaciarse cerca de su posición final.

El **compactado o acomodo** es el proceso que sigue en el orden, este debe hacerse picando en juntas y bordes de las losas o apisonando, los anteriores son procedimientos efectivos pero se recomienda el uso de vibradores ya sean de inmersión o de superficie.

La **nivelación o enrasado** es el proceso en el cual se retira el exceso de concreto de la superficie para dejarla a nivel, este proceso se lleva a cabo de forma manual con una regla de borde inferior recto. Inmediatamente después del enrasado se debe aplanar, el proceso de **aplanado** se lleva a cabo con una

alisadora, con el propósito de eliminar los puntos altos y bajos e incrustar las partículas grandes del agregado dentro de la masa de concreto.

Después de algún tiempo (que depende de las condiciones climáticas) sigue el proceso de la **elaboración de juntas** tema ya discutido en el capítulo 2.

El proceso de secado de la losa de esta llevando a cabo y es muy importante el proceso de **curado**

Este proceso de curado es la aplicación en forma frecuente de agua por medio de anegamiento, aspersión o cubrimiento con materiales saturados, durante un periodo no menor a 7 días después de colocado o hasta que haya logrado el 70% de la resistencia en compresión especificada.

El **descimbrado** es el proceso en el cual las cimbras son retiradas del lugar del colado, estas cimbras deben permanecer hasta que los bordes del piso no sufran daño al quitarlos o cuando menos ocho horas después de la colocación del concreto.

El proceso siguiente es la **limpieza de las juntas y de las cajas** se deben limpiar para garantizar una buena adherencia del sellador y un buen funcionamiento a largo plazo, este proceso puede llevarse a cabo por medio de lavado con agua a presión, terminado este proceso la junta o la caja debe limpiarse con chorro de arena (Sandblasting) y por último se debe sopletar la junta o caja.

La operación de **sellado de las juntas** puede hacerse inmediatamente después de terminar el curado, pero la **colocación de materiales protectores** se da por lo regular después de 7 a 28 días dependiendo de la humedad, temperatura y tipo de sistema de protección.

El proceso que finaliza la construcción de la losa es la **apertura al servicio** que por lo general es 9 días después de colocado el concreto.

CONCLUSIONES.

En "condiciones normales", es decir, sin la presencia de químicos altamente agresivos y excesivas concentraciones de carga, Los pisos de concreto simple se comportan de manera adecuada. Desafortunadamente en la industria, las condiciones "normales" no se presentan ya que existen grandes concentraciones de carga y dependiendo del giro industrial de que se trate pueden aparecer daños ocasionados por la presencia de ácidos, sulfatos o productos que en combinación con otros elementos los formen.

Para controlar el daño ocasionado por la gran concentración de cargas, como la que sucede con los vehículos de carga se procura un diseño basado en:

- Naturaleza y frecuencia de las cargas. La naturaleza de las cargas determina las características del vehículo y la frecuencia determina el factor de seguridad a utilizar.
- Esfuerzos en la capa de apoyo. Se valúan a través del módulo de Westergaard "k" ,donde se valor refleja las condiciones del terreno de apoyo, es decir, un "k" con un valor alto representa un terreno en buenas condiciones.
- Esfuerzos en el concreto. Se considera que la capa de apoyo no produce asentamientos, lo cual a su vez conduce a la no aparición de esfuerzos de tensión, haciendo solo necesaria la valuación del módulo de ruptura del concreto simple "fr".

El diseño de la capa de apoyo debe responder a las especificaciones establecidas, el resultado es una capa que provee de apoyo y sustento al piso de concreto, que no debe producir asentamientos que ocasionen esfuerzos de tensión en la losa, lo que conlleva a una estructura (la losa) de concreto simple. La forma en la que las cargas se transmitan a la capa de apoyo también estará determinada por el espesor de la losa.

Es conveniente lograr un espesor que proporcione una transmisión homogénea al sustento de la misma, de ahí la ventaja de tener una capa de apoyo adecuada y congruente con las condiciones de diseño.

De la misma forma, el manejo de las juntas ha de ser el establecido, en función de disminuir la presencia de fracturas o grietas, movimientos diferenciales de los tableros de la losa y de lograr una construcción funcional. El sellado de las juntas es indispensable, su función primordial es la de detener el paso de material incompresible y agua al espacio existente entre la losa y la sub-base. Cuando estos materiales logran colarse a través del sellado, la sub-base puede sufrir alteraciones de origen mecánico como pueden ser el bombeo y mal funcionamiento de juntas.

El diseño de la losa por si solo, no garantiza que el funcionamiento del piso sea *el de diseño* por un periodo de tiempo largo. Es lógico pensar que a lo largo de la vida útil del piso, éste se verá afectado por agentes agresivos que lo desgasten o lo destruyan.

Pueden distinguirse - en función de su naturaleza - dos grupos de agentes dañinos: los agentes mecánicos y los agentes químicos. La forma en la que actúan estos agentes es diferente en el grado y la velocidad de ataque, aunque esto no significa que solo pueda presentarse uno solo, es posible que se presente una combinación de ambos.

La selección de la protección de un piso industrial es el paso final hacia un funcionamiento seguro y por un periodo de tiempo razonable. Existen en el mercado diferentes opciones de protección que están en función del tipo de daño que se prevea.

- **Protección Mecánica:** Se debe mantener una calidad en el concreto óptima, se pueden utilizar productos que aumenten la dureza de la superficie o se pueden colocar pisos sobre el piso base.
- **Protección Química:** También es conveniente mantener una calidad del concreto óptima, además existen productos como resinas, materiales epóxicos o materiales laminados que se aplican sobre la superficie susceptible al daño.

El ramo industrial en México, es un sector de la economía que aporta la mayor parte de los ingresos al país. Las condiciones es las que debe de trabajar cualquier tipo de industria exigen la mejor infraestructura posible, sin embargo esto implica una gran inversión inicial que se recupera en el tiempo y con lleva a la minimización de los gastos derivados de un mantenimiento constante (preventivo o correctivo).

La garantía en la durabilidad y funcionalidad de un piso de concreto de tipo industrial yace en el buen diseño, basado en todas las consideraciones pertinentes (que se han venido mencionando a lo largo de este trabajo) y de la adecuada elección de la protección para el sistema.

Bibliografía.

Bibliografía ACI.

1. A.C.I. COMMITTE 332; "Guide for Construction of Concrete Floors on Grade", American Concrete Institute, titulo 59-46. 13 pag.
2. A.C.I. COMMITTE 515; "Guide to the use of Waterproofing, Dampproofing, Protective, and Decorative Barrier Systems for Concrete ", ACI Journal, Vol 63, num 12, Dic 66, titulo ACI 515.1R-79. 43 pag.
3. A.C.I. COMMITTE 504; "Guide to Sealing Joints in Concrete Structures ", American Concrete Institute, titulo ACI 504R-90. 44 pag.
4. A.C.I. COMMITTE 515; "Guide for the Protection of Concrete Against Chemical Attack by Means of Coatings and Other Corrosion-Resistant Materials ", American Concrete Institute, titulo 63-59 44 pag.
5. Construcción de losas y Pisos de Concreto. ACI 302 IR-80, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Editorial Limusa, México 1989.
6. Curado del Concreto. ACI 308, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Editorial Limusa, México 1989.
7. Durabilidad del Concreto. ACI 201, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Editorial Limusa, México 1989.

Bibliografía Portland Cement Association.

1. Diseño y Construcción de Juntas en Pavimentos de Concreto. 26 pag.
2. PCA, Concrete Information; Slab Thickness Design for Industrial Concrete Floors on Grade by Robert G. Packard 16pag. IS195.01D
3. PCA, Concrete Information; Subgrades and Sub-bases for Concrete Pavements.

Bibliografía General.

1. Ingeniería de Carreteras, Calles, Viaductos y Pasos a Desnivel, Clarkson H. Oglesby y Laurence I. Hews, Editorial Continental.
2. Mecánica del Suelo y Dimensionamiento de Firmes. R.L. Herminier, Editorial Blume Madrid.
3. Norma Oficial Mexicana, "Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto, usando una viga con cargas en los tercios del Claro. NMX-C-191-1986
4. Norma Oficial Mexicana, Elaboración y Curado de Especímenes en laboratorio. NMX-C-159-1985

Normas

Referencia AASHTO

AASHTO M155 Especificaciones Estándar para material granular para el control del bombeo debajo de pavimentos de concreto. .

AASHTO M254 Recubrimientos anticorrosivos para pasajuntas

AASHTO T99 Relaciones de humedad-densidad en suelos usando un pistón de prueba de 5.5lb (2.5 kg y un martinete de 12 plg o bien 305 mm.

AASHTO T119 Compactado del cemento Portland.

Referencia ASTM

ASTM A 615 Método estándar de prueba para "Especificaciones de pasajuntas"

ASTM C 31 Método para la fabricación y curado en el campo de muestras de concreto para pruebas de resistencia a la compresión y flexión".

ASTM C 78 Método estándar de prueba para resistencia a la flexión del concreto (usando viga simplemente apoyada con carga en el tercio medio del claro).

ASTM C 279 Método estándar de prueba para Especificación de ladrillos químicamente resistentes.

ASTM C 131 Método estándar de prueba de resistencia a la degradación con agregados de tamaño pequeño de cuarzo por abrasión e impacto en la maquina Los Angeles.

ASTM C 418 Método estándar de resistencia a la abrasión del concreto por Sand-Blasting.

ASTM C 535 Método estándar de prueba de resistencia a la degradación con agregados de tamaño grande de cuarzo por abrasión e impacto en la maquina Los Angeles.

ASTM C 944 Método estándar de resistencia en superficies de mortero o concreto por el método de corte rotacional.

ASTM D 3152 Método estándar de prueba para las relaciones capilaridad-humedad de sólidos, finos y texturizados con aparatos de membrana a presión.

ASTM D 4546 Método estándar de prueba para la expansión o el asentamiento potencial en suelos cohesivos.

Referencia NMX

NMX-C-160 Elaborado y Curado de especímenes de concreto para la industria de la construcción en el campo.

NMX-C-191 Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios.