

01121
77



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
PISOS INDUSTRIALES DE
CONCRETO HIDRAÚLICO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :
OMAR JUÁREZ GUTIÉRREZ**

**DIRECTOR DE TESIS:
ING. LUIS CANDELAS RAMÍREZ**



2003



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

**A MIS PADRES POR SU
ETERNO APOYO**

**A MIS HERMANAS SANDRA Y
VERÓNICA POR SU
COMPRESIÓN Y CARIÑO**

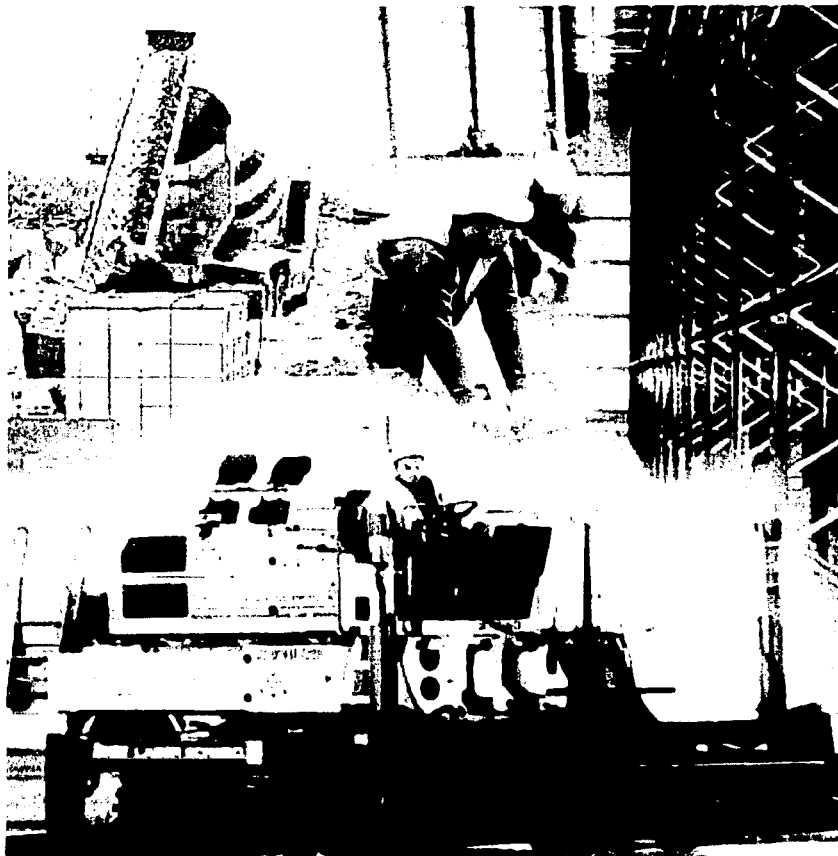
**A MIS PROFESORES DE TODA MI
ETAPA DE APRENDIZAJE QUE SIN
ELLOS NO SERÍA LO QUE HASTA
AHORA, AMIGOS Y FAMILIARES.**

FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM

**A MI DIRECTOR DE TESIS Y SINODALES:
ING. LUIS CANDELAS RAMIREZ
ING. HUGO HAAS MORA
ING. LOPEZ RUIZ
ING. ROBERTO SANCHEZ TORRES
ING. ERNESTO BERNAL**

CEMEX CONCRETOS

**ING. CARLOS GÓMEZ SÁNCHEZ
ING. RICARDO ALATORRE BELTRAN
ING. CÉSAR ARRIOLA CAMPOS**



**TESIS: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS
INDUSTRIALES DE CONCRETO HIDRÁULICO**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

d

Introducción

La presente investigación no sólo se circunscribe en apoyo a la titulación profesional, por el contrario, contribuye al conocimiento y fomento a la investigación científica. Que en la mayoría de los casos, las fuentes de investigación y el uso de tecnología, sobre todo en la rama de la ingeniería civil, provienen de países industrializados. Es por ello, que en ciertas áreas la aplicación de éstas teorías deberán ser analizadas minuciosamente sobre la conveniencia o no, en nuestras comunidades.

Como sabemos hoy en día, nuestra sociedad requiere de profesionistas especializados en una, de tantas ramas de aplicación; la tendencia mundial en el conocimiento estriba desde el estudio de lo mas pequeño, hasta lo más grande (mecánica cuántica-teoría de la relatividad) sin dejar pasar que todo lo anterior no sería posible sin darle un trato humano, social y ético a los campos del conocimiento (mesocosmos). Es por ello, que la presente publicación de tesis no sólo corresponde como trabajo final para lograr el título de ingeniero civil; contribuye además en el conocimiento en las áreas de la investigación y docencia universitarias, así mismo puede ser empleado por diseñadores, contratistas y/o cualquier otro interesado con bases en el campo de la ingeniería civil.

El estudio en el diseño y construcción de los pisos industriales desplantados sobre el terreno natural no es un tema que resulte popular, incluso en el mismo campo de la ingeniería civil. Debido a que en los países industrializados (principalmente Estados Unidos) las teorías son de reciente creación (ACI Comité 332-1962 y Método de la PCA-1983) y como consecuencia en nuestro país éstas teorías no sean del todo conocidas. Sin embargo, hoy en día como resultado del avance de la tecnología en la información, los nuevos procedimientos de diseño y constructivos están a nuestro alcance a través del internet, revistas especializadas, libros y conferencias de carácter internacional que constatan la labor en la investigación en las diversas ramas del conocimiento.

En México, la construcción hasta hace unos años de un piso industrial, se realizaba empleando las viejas técnicas de a mediados del siglo pasado. Esas antiguas técnicas en el diseño y construcción resultan ahora inaceptables, tomando en consideración el mayor conocimiento en el comportamiento suelo-estructura y la tecnología del concreto hidráulico; así mismo los nuevos requerimientos del

cliente en el manejo de cargas más pesadas en el mínimo de tiempo y un máximo de seguridad de la carga y las instalaciones. Todo ello ha contribuido a la creación de nuevos sistemas de almacenamiento, transporte y disposición de las mercancías, asegurando su calidad y la vida útil del piso. Por ende, las características inherentes de un piso industrial, están dadas por su resistencia a la tensión, abrasión, durabilidad, una superficie plana, nivelada y con bajos costos de mantenimiento. Todo ello, será posible si se toman en consideración las recomendaciones en su diseño y construcción que hacen los institutos especializados en dicha materia; así mismo, se requerirá de la asesoría de un especialista de mecánica de suelos, de estructuras, en colaboración con un supervisor de obra calificado y laboratorios de prueba-ensaye en la verificación de la calidad del diseño de mezcla y del concreto.

En el presente trabajo de tesis, he analizado de manera ordenada la información necesaria para los requerimientos en un piso industrial, sus componentes, métodos de diseño, construcción y el equipo y maquinaria necesarios; así mismo, hago recomendaciones del uso alternativo del acero de refuerzo, tipo de fibras y tiempo de corte en juntas; ya que resulta altamente probable el agrietamiento superficial de un piso industrial, ya sea debido al tipo de concreto (dosificación, revenimiento, etc.) tipos y configuraciones de las cargas estáticas y dinámicas actuantes, el grado de acabado superficial y curado, así como también las condiciones específicas del lugar, por temperatura, humedad relativa, viento, etc. Cabe mencionar, que los métodos de diseño mostrados en el capítulo IV, son los más comúnmente empleados ya que su grado de complejidad y precisión resultan adecuados. Las herramientas y equipos mostrados en el capítulo VI, son los básicos, por lo que su recomendación también deberá ser tomada en cuenta y su denominación corresponde al país de origen (Estados Unidos).

De ésta manera, la presente publicación abarca una serie de investigaciones realizadas siguiendo los alcances potenciales en nuestro país y los diversos factores que inciden en su completa construcción de un piso industrial.

INDICE

CAPÍTULO

TEMA

Introducción

I.	CLASIFICACIÓN Y USO DE LOS PISOS INDUSTRIALES	2
	1.1 Clasificación de pisos del Instituto Americano del Concreto (ACI)	2
	1.2 Características de los Pisos Industriales	8
	1.3 Criterios en el Desempeño del Piso	9
	1.4 Especificaciones y recomendaciones generales	10
	1.4.A Pisos de uso residencial	11
	1.4.B Oficinas y edificios públicos	12
	1.4.C Pisos industriales	13
	1.4.D Pisos especiales	17
II.	COMPONENTES DEL CONCRETO	19
	2.1 Cemento Portland	19
	2.1.A Clasificación de los cementos	20
	2.1.B Cementos con características especiales	23
	2.1.C Recomendaciones prácticas para la utilización de los cementos	24
	2.1.D Cemento de contracción compensada	29
	2.2 Agregados para el concreto	33
	2.2.A Clasificación de los agregados	34
	2.2.a1) Clasificación de origen	34
	2.2.a2) Clasificación por composición	35
	2.2.a3) Clasificación por color	35
	2.2.a4) Clasificación por tamaño de la partícula	35
	2.2.a5) Clasificación por modo de fragmentación	36
	2.2.a6) Clasificación por peso específico	37
	2.2.B Otras consideraciones en la clasificación de agregados	37
	2.2.C Características específicas de los agregados para Pisos Industriales	37
	2.2.c1) Agregado fino - efecto en el agregado	38
	2.2.c2) Efecto de la resistencia a la abrasión	38
	2.2.c3) Consideraciones para el agregado grueso	39
	2.2.D Recomendaciones del tamaño para Pisos Industriales	39
	2.3 Uso del agua	40
	2.3.A Clasificación del agua	40
	2.3.B Características físicas y químicas para la elaboración de concretos	41
	2.4 Acero de refuerzo	42
	2.4.A Antecedentes	42
	2.4.B Casos en el uso del acero de refuerzo	42
	2.5 Componentes adicionales	44
	2.5.A Aditivos	44
	2.5.B Fibras	45
	2.5.b1) Fibras metálicas	46
	2.5.b2) Polipropileno	47
	2.5.b3) Vidrio	48
	2.5.C Colorantes	50
	2.6 Propiedades del concreto	51
	2.6.A Relación agua-cemento	51
	2.6.B Trabajabilidad (revenimiento)	52

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.6.b1) Prueba de cono	52
2.6.b2) Prueba K	54
2.6.b3) Prueba de penetración de la pelota	55
2.6.b4) Prueba fluidez	55
2.6.C Sangrado	56
2.6.D Flujo plástico	57
2.6.E Resistencia del concreto	58
2.6.e1) Compresión	58
2.6.e2) Flexión	60
2.6.e3) Tensión	62
2.6.e4) Cortante	62
2.6.e5) Resistencia al impacto	63
2.6.F Módulo de elasticidad	63
2.6.G Contracción por secado	64
2.6.H Fatiga	65
III. PREPARACIÓN DEL SITIO	67
3.1 Subrasante y Material de Base	67
3.1.A Características y función de las subrasante	67
3.1.B Suelos	68
3.1.b.1) Clasificación	68
3.1.b.2) Densidad o peso volumétrico	69
3.1.b.3) Índice de Plasticidad	69
3.1.b.4) Suelos Problemáticos	70
3.1.b.5) Pruebas Comunes de Mecánica de Suelos	70
3.1.C Preparación de la la subrasante	76
3.1.c.1) Suelos expansivos	76
3.1.c.2) Áreas rígidas y áreas blandas	77
3.1.c.3) Rellenos	77
3.1.D Resistencia del Conjunto Base-Subrasante	78
3.1.d.1) Capacidad de carga	78
3.1.d.2) Compresibilidad	78
3.1.d.3) Módulo de reacción k	78
3.1.d.4) Incremento del módulo de reacción k	80
3.1.E Capa de Base o Subbase	81
3.1.e.1) Prueba de rodado	82
3.2 Barrera de vapor	83
3.3 Juntas	83
3.3.A Tipo de juntas	84
3.3.a1) Juntas de aislamiento	85
3.3.a2) Juntas de contracción	87
3.3.a3) Juntas de construcción	92
3.4 Transferencia de carga	93
3.4.A Por trabazón de agregados	94
3.4.B Mediante pasajuntas	96
3.4.C Juntas machimbradas	98
IV. DISEÑO DEL ESPESOR	99
4.1 Objetivos de diseño	100
4.2 Esfuerzos de flexión y factores de seguridad	101
4.3 Consideraciones de diseño	102
4.3.A Factores de seguridad y sistema de clasificación de cargas	104
4.3.B Área de carga	106
4.3.C Posición de la carga	107
4.4 Métodos de diseño	107

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

h

4.4.a1) Método PCA	108
4.4.a2) Método "Instituto del Acero de Refuerzo" (WRI)	108
4.4.a3) Método del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (COE)	108
4.4.a4) Método del Instituto del Postensado (PTI)	108
4.4.a5) Método del Instituto Americano del Concreto (ACI)	109
4.4.a6) Otros métodos	109
4.4.B Correlación entre el tipo de construcción, método de diseño y condiciones de carga	109
4.5 Diseño para vehículos con ejes cargados (montacargas)	110
4.5.A Método de diseño usando las gráficas de la PCA	113
4.5.B Método de diseño usando las gráficas del WRI	118
4.5.C Método del COE	121
4.6 Cargas en los Racks	125
4.6.A Factores de seguridad para carga en postes	128
4.6.B Factores de juntas debido a cargas en postes	129
4.7 Cargas Distribuidas	132
4.7.A Cargas máximas y ancho crítico de pasillos	133
4.7.B Cargas permisibles para prevenir la falla en un pasillo	134
4.8 Cálculo del Acero de Refuerzo	136
4.8.A Propósitos básicos del diseño	136
4.8.a1) Control de la Contracción	136
4.8.a2) Por temperatura	136
4.8.a3) Capacidad de momento	137
4.8.B Procedimientos para el diseño del acero de refuerzo	137
4.8.b1) Procedimiento por fricción de la subrasante	137
4.8.b2) Capacidad confirmada	139
4.8.b3) Temperatura	140
4.8.a3) Por resistencia equivalente	141
4.8.a3) Por restricción de grietas	141
4.9 Fibras metálicas	146
4.10 Pérdida de soporte por erosión	146

V.

CONSTRUCCIÓN Y ACABADO DEL PISO

148

5.1 Diseño de mezcla	149
5.1.A Mezclas nominales	149
5.1.B Mezclas pre-escritas	149
5.1.C Mezclas especialmente diseñadas (especiales)	150
5.2 Mezclado del Concreto	151
5.2.A Concreto premezclado	151
5.2.B Mezclas de concreto en obra	152
5.3 Transportación	152
5.4 Vaciado del Concreto	154
5.4.A Secuencia del colado	154
5.4.B Descarga del concreto	156
5.4.C Vaciado del concreto sobre la base	157
5.5 Extendido	157
5.6 Enrasado	158
5.7 Nivelación	160
5.8 Flotado	161
5.9 Acabado Superficial de los Pisos Planos	163
5.10 Allanado	164
5.11 Corte en Juntas	165
5.12 Curado	166

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.13 Tolerancias Superficiales	170
5.14 Sellado de juntas	175

VI.

HERRAMIENTAS Y EQUIPO 177

6.1 Extendido del concreto	177
6.2 Compactación o vibración	178
6.3 Herramientas para el acabado	179
6.3.A Herramientas para el perfilado o enrasado	179
6.3.a1) Regla vibratoria	179
6.3.a2) Rodillos vibratorios	180
6.3.a3) Regla láser	180
6.3.a4) Regla tipo escantillón o Straightedge	181
6.3.a5) Otros casos	182
6.3.B Herramientas para el flotado	182
6.3.b1) Uso de flotas previo al sangrado del concreto	182
6.3.b2) Uso de flotas posteriores al sangrado del concreto	184
6.3.C Herramientas para el allanado o pulido	184
6.4 Equipos de corte en el concreto	186
6.5 Equipos para la medición de pisos super planos	186

CONCLUSIONES 188

Diseño	188
Construcción	189

BIBLIOGRAFÍA 191

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I. CLASIFICACIÓN Y USO DE LOS PISOS INDUSTRIALES

En los proyectos de obra de ingeniería civil (edificación y vivienda, presas, plantas de tratamiento de aguas residuales, carreteras, sistemas de riego y de agua potable, puertos y aeropuertos, etc.) es frecuente pensar que lo trascendente radica en la sub-estructura, superestructura e instalaciones; pero nunca pensamos en el diseño del piso de concreto y aún en los proyectos de edificación de las naves industriales, la construcción del piso se deja a manos del contratista.

Hoy en día, los requerimientos en el manejo de mercancías con altos índices de servicialidad, nivelación y planicidad son temas que requieren del estudio minucioso de especialistas en la materia. Los propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas deberán trabajar en equipo para satisfacer las necesidades del proyecto, tomando en consideración el espacio disponible, su funcionamiento, objetivo del inmueble, tipo de acabado y presupuesto.

Un piso industrial de concreto hidráulico, es una superficie de rodamiento que comprende estructuras en la parte inferior a la losa de concreto como son la base y sub-base, con determinadas características de los materiales y condiciones de compactación y humedad, etc. Es decir, su diseño se basa a partir de la consideración de las propiedades de las capas inferiores de la losa, espesores, propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos, las acciones a las que se someterá todo el cuerpo de la estructura, configuraciones de las cargas, y las propiedades mecánicas de la losa de concreto. Mas adelante detallo en los capítulos III y IV, las propiedades que deberán obtenerse en los suelos, así mismo las consideraciones de diseño para el cálculo del espesor de la losa de concreto.

Existen en los Estados Unidos organizaciones, institutos y centros de investigación dedicados al estudio de las estructuras y específicamente al caso que nos compete, al estudio de las estructuras de concreto (pavimentos y pisos industriales) dando a conocer las teorías del diseño y el procedimiento que se deberá llevar a cabo para lograr un adecuado piso industrial. Los métodos de diseño mostrados en éste trabajo de tesis, comprenden un estudio de las condiciones a las que normalmente opera el piso. El método de la PCA (Pórtland Cement Association), ACI (American Concrete Institute), COE (U.S Army Corps of Engineers) y la WRI (Wire Reinforcement Institute) son las instituciones más reconocidas a nivel mundial por sus investigaciones y documental gráfico, ayudando a la comprensión en el comportamiento de las estructuras de concreto y reforzadas. Cabe mencionar además que la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México, reconoce también estos trabajos de investigación, brindando a su personal docente y alumnos publicaciones para su análisis y estudio.

1.1 Clasificación de Pisos del Instituto Americano del Concreto

El uso de un piso industrial se basa principalmente en la disposición, transportación y manejo de productos industriales o comestibles que requieren la rapidez en los servicios de acomodo y entrega a diversos proveedores y clientes, ya que el factor tiempo puede ocasionar retrasos en entregas, y pérdidas al dueño por las mercancías en el almacén.

Por consiguiente, será necesario contar con equipos de transporte llamados montacargas con características especiales en el manejo de mercancías, altas especificaciones de planicidad y nivelación en la losa de concreto (se hará referencia en el capítulo V) produciendo una eficiencia en

la transportación y acomodo de los insumos, aumentando el volumen transportado en el mínimo de tiempo. Es por ello, la razón de contar con un piso libre de fallas por agrietamientos, fracturas o despostillamientos en las juntas, retrazando las operaciones de carga y descarga.

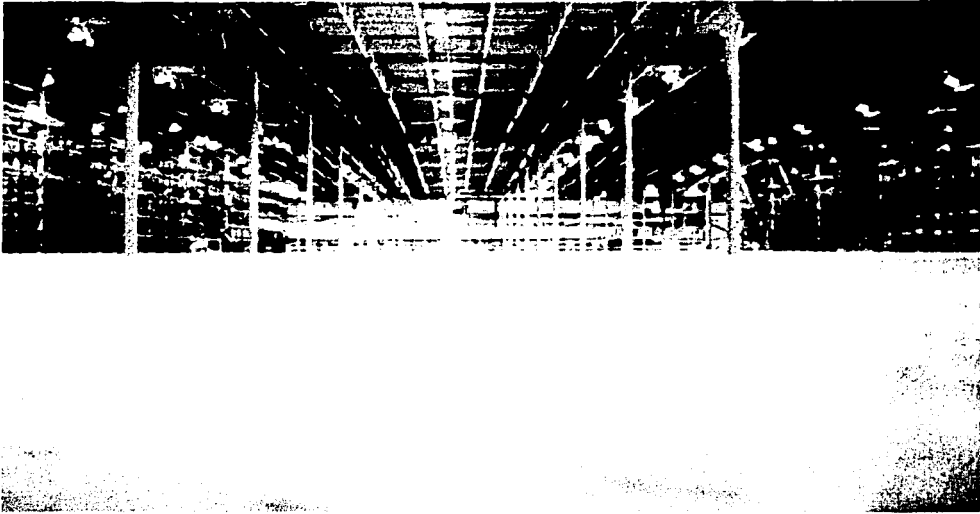


Fig. 1.1-1 Características en el acabado de un piso industrial.

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



Fig. 1.1-2^a) Muestras de los diversos usos de los pisos de concreto: industriales y comerciales en interiores.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

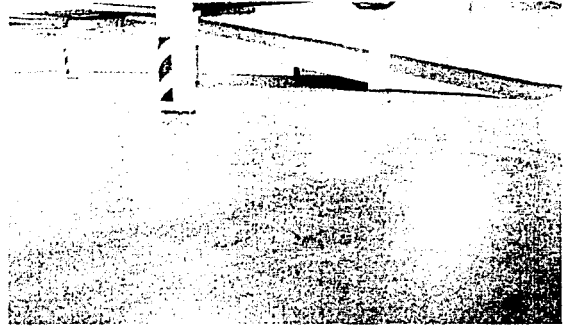


Fig. 1.1-2b) Muestras de los diversos usos de los pisos de concreto: comerciales en interiores con sobrelosa ligada.



Fig. 1.1-2c) Muestras de los diversos usos de los pisos de concreto: industriales y comerciales exteriores.

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

ESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.1 Clasificación de Pisos

No. De Capas	Tipo de Tráfico	Uso	Consideraciones Especiales	Acabado
1.- Sencilla	Peatonal. Superficie expuesta.	Comercial, institucional, residencial, en oficinas, en templos.	Terminado uniforme, antiderrapante, mineral coloreado, agregado expuesto, estampado, decorativo.	Allanado normal y acabado antiderrapante donde sea requerido.
2- Sencilla	Peatonal. Superficie recubierta.	Comercial, institucional, residencial, en oficinas, en templos y gimnasios.	Planicidad y nivelación para recibir recubrimientos. Coordinación de juntas con el recubrimiento.	Allanado ligero.
3- Doble	Peatonal. Superficie expuesta o recubierta.	Comercial o en edificios no industriales. Capas ligadas o no ligadas sobre piso anterior.	Losa base. - superficie uniforme y nivelada. Sobrelosa no ligada: al menos 75mm (3") de espesor, reforzada y es necesaria una superficie antiadherente. Sobrelosa ligada: espesor mínimo de 19mm (3/4"), seleccionar adecuadamente el tamaño del agregado.	Losa base: allanado normal para capas no adheridas y acabado limpio y rugoso para capas adheridas. Sobrelosa: Para superficie expuesta, allanado normal y para superficie cubierta, allanado ligero.
4- Sencilla	Peatonal y tráfico vehicular ligero. Superficie expuesta o recubierta.	Comercial o institucional.	Planicidad y nivelación adecuadas, superficie antiderrapante en algunas áreas. Coordinación de juntas con el recubrimiento.	Allanado normal.
5- Sencilla	Tráfico vehicular industrial (llantas neumáticas y/o llantas suaves sólidas). Superficie expuesta.	En pisos industriales (para manufactura, procesos, y almacén).	Subrasantes uniformes y de buena calidad, sistema de juntas, resistencia a la abrasión.	Allanado intenso.
6- Sencilla	Tráfico vehicular industrial pesado (llantas duras y/o llantas con cargas pesadas). Superficie expuesta.	En pisos industriales, sujetos a tráfico pesado y posiblemente a cargas de impacto.	Subrasantes uniformes y de buena calidad, sistema de juntas, transferencia de carga, resistencia a la abrasión.	Endurecimiento superficial mineral o metálico. Allanado intenso repetitivo.
7- Doble	Tráfico vehicular industrial pesado (llantas duras y/o llantas con cargas pesadas). Superficie expuesta.	En pisos industriales sujetos a cargas vehiculares pesadas e impactos. Cargas ligadas	Losa base. - Subrasantes uniformes y de buena calidad, refuerzo, sistema de juntas, nivelación de la superficie. Capa externa. - agregado mineral o metálico. Espesor mínimo de 19 mm (3/4"). Endurecedor superficial.	Losa base. - Acabado limpio y rugoso en la losa base, para mejorar la adherencia con la sobrelosa. Capa externa. - allanado intenso, se pueden utilizar flotados especiales (mecánicos).
8- Doble	Igual al de pisos tipo 4, 5 ó 6. Superficie expuesta o recubierta.	Capas no ligadas sobre pisos viejos o nuevos.	Superficie rompedora de la adherencia. Espesor mínimo de la sobrelosa de 100 mm (4"), resistencia a la abrasión.	Igual al de los pisos tipo 4, 5 ó 6.
9.- Sencilla o doble	Tráfico de vehículos con características especiales para el manejo de materiales, o vehículos robotizados.	En pasillos de áreas de almacenaje, en áreas definidas de bodegas, en estudios de televisión, en pistas de patinaje	Concreto de alta calidad. Los endurecedores superficiales no se deben utilizar a menos que se haga una aplicación especial y se tenga mucho cuidado. F150 a F125 (pisos	Operaciones estrictas de terminado.

	Superficie expuesta, pisos súper planos o con tolerancias críticas requeridas.	sobre hielo.	super planos).	
--	--------------------------------------------------------------------------------	--------------	----------------	--

Descripción general

En la tabla 1.1, muestra una clasificación de pisos de acuerdo al tipo de tráfico esperado y su uso, en la tabla también se mencionan algunas consideraciones especiales y los posibles tipos de acabado que se pudieran emplear en cada clase de piso.

El uso esperado para cada piso, deberá considerarse cuando se seleccione el tipo de concreto a utilizar.

Es necesario considerar la resistencia al desgaste; sin embargo, a pesar que en la actualidad no existe un criterio definido para la evaluación de ésta propiedad en los pisos, tampoco es práctica común especificar el tipo de concreto en relación a ello. Por durabilidad, los concretos desarrollados son específicamente para alta resistencia al desgaste, con resultados muy favorables tanto en laboratorio como en campo, en comparación con muestras de concretos convencionales. La resistencia al desgaste del concreto depende directamente de las proporciones de la mezcla, del tipo de agregado y de la técnica de construcción utilizada.

Pisos de una capa (monolíticos): Clases 1, 2, 4, 5 y 6

Se construyen cinco clases de pisos utilizando concreto monolítico; cada uno implica diferentes variaciones en resistencia y técnicas de acabado.

Cuando se estime que la abrasión de materiales sobre el piso pueda ser severa, será necesaria la construcción de una superficie de mejor calidad a fin de proporcionar un nivel de servicio satisfactorio. Bajo estas condiciones, se recomienda utilizar: un piso de una Clase mejor; un tratamiento superficial monolítico, de tipo mineral o metálico; y/o un concreto de mayor resistencia.

Pisos de dos capas: Clases 3, 7 y 8

Sobrelosa no ligada

Para los pisos de Clase 3, el concreto utilizado en la sobrelosa, es similar al utilizado en la losa base; mientras que para los pisos de Clase 8 el concreto utilizado en la sobrelosa generalmente tendrá una resistencia mayor que el utilizado en la losa base, además la sobrelosa requerirá un allanado intenso.

Los pisos de Clase 3 (no ligados) y Clase 8, se utilizan cuando no se requiera ligar la sobrelosa con la losa base, por ejemplo, cuando se desea que ambas capas puedan moverse de manera independiente, o cuando se desea facilitar el trabajo de remplazar la sobrelosa después de cierto tiempo.

Los pisos de dos capas, se emplean también para rehabilitar pisos dañados, por ejemplo, cuando la contaminación impide una adherencia completa, o cuando se desea evitar escarificar la losa base, siempre y cuando, el nivel final de la sobrelosa sea compatible con los niveles de los pisos adyacentes.

Los pisos de Clase 3 se emplean para usos comerciales y usos no industriales, mientras que los pisos de Clase 8 se utilizan principalmente en aplicaciones de tipo industrial.

Es necesario utilizar una membrana plástica o un compuesto antiadherente, para prevenir la liga de la sobrelosa con la losa base. También será necesario reforzar la sobrelosa, ya sea con barras de acero deformado, malla electrosoldada, rejillas de barras o fibras, para reducir la aparición de grietas de contracción.

La sobrelosa deberá tener un espesor mínimo de al menos 75 mm (3"). Se deberá tener cuidado al seleccionar el tipo de concreto a utilizar. La separación de las juntas en la sobrelosa, se efectuarán coordinadamente con el sistema de juntas de la losa base.

Sobrelosas ligadas

Los pisos de Clase 3 y 7, utilizan una sobrelosa ligada a la losa base. Los pisos de Clase 3 se emplean principalmente para usos comerciales y usos no industriales, mientras que los pisos de Clase 7 se utilizan para aplicaciones de tipo industrial y plataformas de trabajo pesado, donde las losas estarán sujetas a tráfico pesado e impactos.

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

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

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

En los pisos Clase 7, la sobrelosa generalmente requiere de un concreto de mayor resistencia que el utilizado en la losa base, además requiere de un múltiple allanado intenso. Podrá además ser necesario utilizar en la sobrelosa, un endurecedor superficial mineral o metálico.

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

Pisos planos y superplanos: Clase 9

En algunos complejos, donde el manejo de los materiales requiera de características muy estrictas de nivelación y planicidad, será necesaria la construcción de pisos planos y/o superplanos. Estos pisos podrán construirse en una capa; o en dos capas, ligadas (similar a los pisos Clase 7) o no ligadas (similar a los pisos Clase 8).

Pisos especiales

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

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

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

1.2 Características de los Pisos Industriales

Como características generales, los pisos industriales son a menudo relacionados con pesadas cargas, tráfico de llantas y largos racks de almacenamiento. Donde la losa de concreto es diseñada para soportar cargas concentradas de mas de 25 toneladas en cada pata del rack.

Cabe mencionar que las cargas que se consideran como críticas son las cargas puntuales, pues se ha mencionado que ejercen un esfuerzo cortante de hasta 25 toneladas sobre un área muy pequeña. Solo basta recordar que el concreto a pesar de ser diseñado a la flexión, no garantizará la posible falla estructural de la losa. A continuación se mencionan los diversas tipos de cargas actuantes en un piso industrial.

- Cargas móviles (entre los que podemos citar vehículos pesados, montacargas y cualquier vehículo con ruedas en contacto con la superficie de la losa).
- Cargas puntuales a través de los soportes de maquinarias o estructuras de almacenamiento, como racks o anaqueles.
- Cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.



Fig. 1.2-1 Bodega con altas especificaciones técnicas en un piso industrial

1.3 Criterios en el desempeño del piso

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

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

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

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

El equipo de construcción incluye al propietario, el diseñador, la constructora o contratista general, el subcontratista de las terracerías, el proveedor del concreto, el subcontratista responsable de la colocación y la supervisión. Todo el equipo en general, es responsable de construir un piso duradero y libre de problemas.

Una vez que los criterios de operación del piso son definidos e incorporados al diseño y a las especificaciones, dependerá del equipo de construcción el entregar el piso requerido.

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

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

Todos estos factores son mencionados a detalle más adelante. La tecnología y detalles aplicados a pisos de todos los tamaños, abarca una gran variedad de usos. Desde pequeñas áreas de pisos en

residencias o industrias ligeras, pisos de tamaño medio en almacenes a pesadas plantas industriales que cubren grandes áreas, todos cuentan una tecnología similar.

1.4 Especificaciones y recomendaciones generales

1.4.A Pisos de uso residencial

Estos tipos de pisos son encontrados en casas privadas y residencias. Son caracterizados por losas cortas sometidas a cargas ligeras debidas a tráfico peatonal principalmente. En algunas ocasiones los pisos en residencias son recubiertos con hojas de materiales diversos como plástico, alfombra y madera. Es precisamente en ésta categoría que, los pisos funcionan como parte estructural.



Fig. 1.4-1 Aplicaciones de pisos de concreto en residencias

Cargas

Los pisos en ésta categoría soportan una variedad de cargas tales como de sus propios ocupantes, muebles, muros divisorios, y diversas aplicaciones. Muchas de éstas cargas son muy ligeras si se comparan con las cargas a las que son sometidos los pisos industriales.

Los estructuristas frecuentemente no consideran las acciones debidas al efecto suelo-estructura, ya que éstos pisos son diseñados con un espesor mínimo, es decir, un estudio de mecánica de suelos generalmente no se lleva a cabo. Suficientemente con 10.0 cms (4 in) de espesor en la losa y aún considerando empíricamente una razonable capacidad de carga en la subrasante, sería suficiente para las ligeras cargas a las que se verá sometida la losa residencial.

Ocasionalmente un piso residencial soportará cargas pesadas debidas a chimeneas y bares principalmente. En este caso el piso, debe ser diseñado de acuerdo al tipo de cargas a las que se verá sometido; por sencillez frecuentemente se dispondrá de una cimentación aislada para estos casos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.4.A Valores comparativos de cargas vivas máximas en losas de entre piso y losas desplantadas sobre terreno natural (kg/m²)

Destino del piso o cubierta	Carga viva máx. (losas desplantadas sobre terreno natural) ACI	Carga viva máx. (losas de entrepiso) R.C.D.E.
a) Habitación (casa habitación, departamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares)	200	170
b) Oficinas, despachos y laboratorios.	400	250
c) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público)	300	350
d) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	----	450
e) Otros lugares de reunión (templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, bibliotecas, aulas, salas de juego y similares)	300	350
f) Comercios, fábricas y bodegas.	especial	Wm
g) Cubiertas y azoteas con pendiente no mayor de 5%.	----	100
h) Cubiertas y azoteas con pendiente mayor a 5%.	----	40
i) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300	300
j) Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente)	200	250

*Fuente: Reglamento de Construcciones para el D.F. Cap. V. Art. 199

Juntas y agrietamientos

Las juntas y el agrietamiento aleatorio crean mucho problema en la construcción de un piso de tipo residencial, debido a que las losas de concreto van siempre cubiertas. Es por tal motivo, que se hace necesario el uso de juntas para el alivio de esfuerzos, excepto para juntas de aislamiento para separar la losa de concreto de elementos estructurales. Más adelante especificaré con detalle los tipos de juntas y dimensionamiento entre losas.

Las grietas en un piso de éste tipo, generalmente no necesitan de selladores a menos de que éstas estén lo suficientemente anchas y visibles sobre los elementos de cubierta.
Acabado

Como se ha mencionado anteriormente, éste tipo de pisos generalmente son cubiertos con materiales de diversas características que ahora en día aparecen en el mercado dependiendo de su textura, color, apariencia y costo principalmente. Por lo que el acabado en éstos casos, no requiere de ningún tratamiento especial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

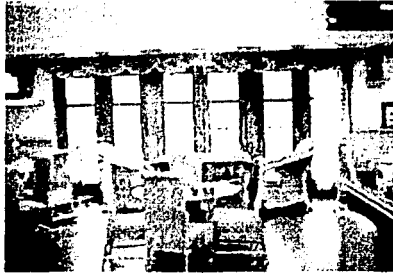


Fig. 1.4-2 Variantes en el acabado de los pisos de concreto de uso residencial

Consideraciones especiales

Los pisos de tipo residencial, usualmente son fáciles de diseñar y construir, aún así existen algunos factores a considerar que determinan un adecuado funcionamiento como:

- El humedecimiento: en algunas ocasiones, aunque no sea visible a simple vista o que los recubrimientos presenten buen estado, el humedecimiento puede deberse a fallas en las instalaciones hidráulicas e hidrosanitarias, o por efectos de flujos de agua debidos a la existencia de jardines, fuentes, aljibes, albercas, etc.
- Escasa supervisión: generalmente durante la construcción de residencias, elementos tales como, columnas, vigas, muros, losas de entrepisos, e instalaciones, concentran la atención del constructor; dejando a un lado, los pisos. De tal manera, que no se tiene constante cuidado sobre el curado de las losas de concreto, determinando así la resistencia y por ende la vida útil del elemento.
- Suelo de baja capacidad portante (pobre): Es común que para el diseño de un piso de ésta clase, no se revisen los índices de la capacidad de carga del suelo, ya no se diga, la realización de pruebas de mecánica de suelos. Por lo que, se recomiendan técnicas efectivas que contrarresten éste factor como, una estabilización a base de cemento, vibro-compactación y un adecuado curado. En algunos casos, podrá recomendarse el uso de losas post-tensadas, en función del uso y economía principalmente.

1.4.B Pisos para oficinas y edificios públicos

Estos tipos de pisos son muy similares a los pisos de tipo residencial, con la diferencia que soportarán cargas más pesadas. La mayoría de las características y cuidados se aplican de igual manera que en los descritos anteriormente.

Como se muestra en la tabla 1.4.A., los pisos de oficinas son diseñados para soportar cargas vivas de 400 kg/cm^2 . Sin embargo se deja a criterio del diseñador dichos valores.

Para el caso de los pisos en edificios públicos o institucionales, como escuelas, hospitales, bibliotecas, etc. Además de ser diseñados para soportar cargas más pesadas en las losas desplantadas sobre terreno (debidas al peso muerto y al tránsito peatonal) requieren de una mayor calidad en el acabado superficial, ya que de ello depende de la seguridad de los usuarios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Acabado

Las características en el acabado de los pisos en oficinas y/o en edificios públicos generalmente no requieren de especificaciones muy altas en el concreto, una vez que sean terminadas las instalaciones, se verán cubiertas las losas de materiales de diversos tipos, como alfombras, losetas, linoleums, madera, etc.

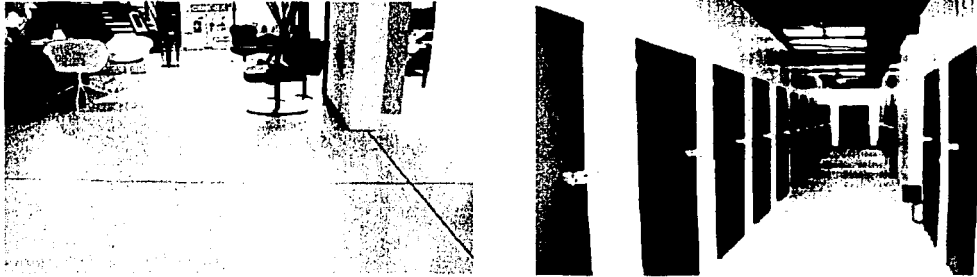
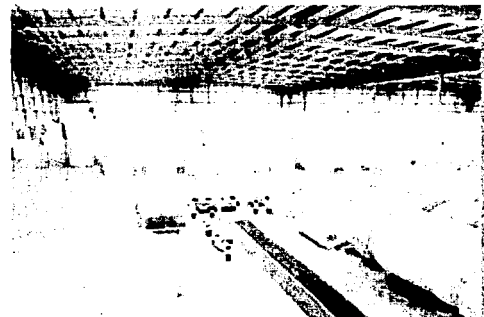


Fig. 1.4-3 Tipos de acabado en pisos de concreto en oficinas y edificios públicos.

1.4.C Pisos industriales

Los sistemas de almacenamiento comúnmente utilizados en las naves industriales son los siguientes:

1. **Apilamiento:** Es el sistema más sencillo de almacenamiento y consiste en la colocación de la carga en contacto directo con la losa de concreto mediante el uso de tarimas metálicas o de madera, aunque éste último método es el más empleado hoy en día. La altura estará limitada por la estabilidad del apilamiento y se recomienda que sea menor de los 9 metros. Para el análisis, se realiza como carga uniformemente distribuida expresada en Kg/m^2 o lb/in^2 . Los valores de éste tipo de almacenamiento por unidad de área, dependerán en gran medida de la densidad de los materiales y altura principalmente.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig. 1.4-4 Almacenamiento de mercancías por medio de tarimas (palets) o en contacto directo con la losa de concreto

2. **Anaqueles o racks:** Son estructuras metálicas capaces de soportar las cargas y su configuración consiste en la unión de largueros horizontales y verticales formando marcos de acero rígidos. Este sistema de almacenamiento producirá cargas concentradas en un área pequeña de losa. En una configuración estándar, cada pata del rack (excepto en las esquinas), soportará un peso igual a la carga de un rack por cada nivel de éste. Valores típicos de carga por pata varían de 2 a 8 ton, pero sin lugar a dudas, pueden ser éstas mayores.

Condiciones de carga extremas pueden presentarse cuando los racks soporten parte del peso muerto de las cubiertas de las naves y se le sumen las condiciones de viento; para esta modalidad, los racks son diseñados para soportar cargas mayores de 25 ton en cada pata.

La distribución de los racks en una nave industrial, puede presentarse en pares de espalda con espalda y separados por una distancia muy corta (escape de humo). Este patrón de acomodamiento pone a 2 patas de cada rack muy cerca una de la otra (aproximadamente 30 centímetros), ésta concentración de cargas a menudo será un factor importante en el diseño estructural de la losa de concreto.

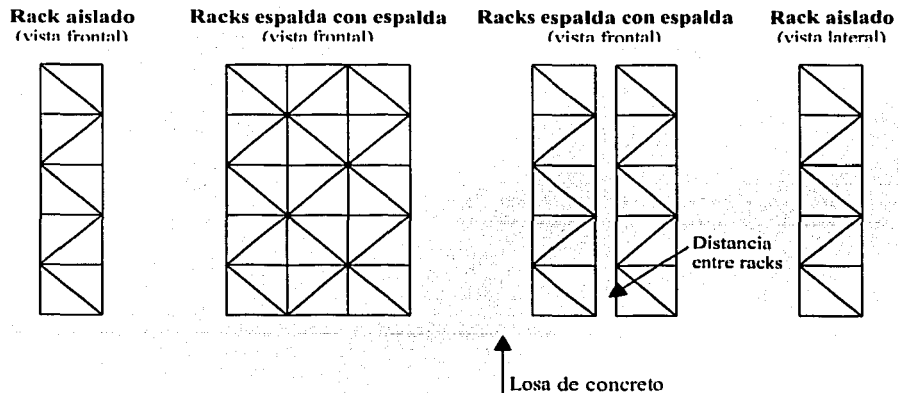


Fig. 1.4-5 Distribución de los racks en una nave industrial

Debido a que las cargas en los racks son puntuales, evidentemente se requerirá un mayor espesor de la losa de concreto. Con el objeto de reducir los esfuerzos cortantes y los espesores de la losa, los ingenieros especifican el uso de bases o placas metálicas en cada pata de rack, con el objeto de distribuir la carga en una mayor área.

En el Reino Unido, en la práctica se considera que la carga concentrada de dos racks espalda con espalda, se maneje como una carga única, ubicando la junta de construcción en medio de las patas traseras y frontales del rack.

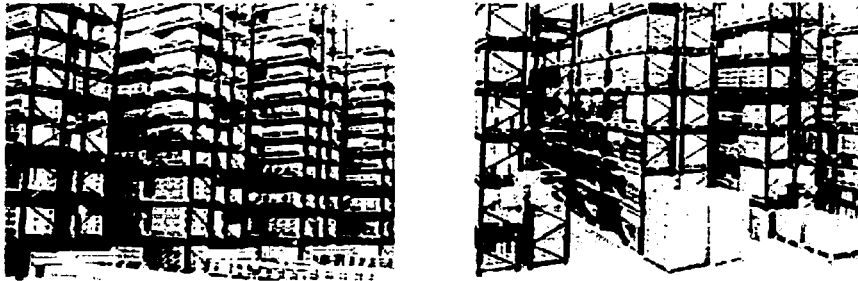


Fig. 1.4-6 Almacenamiento por medio de anaqueles o racks

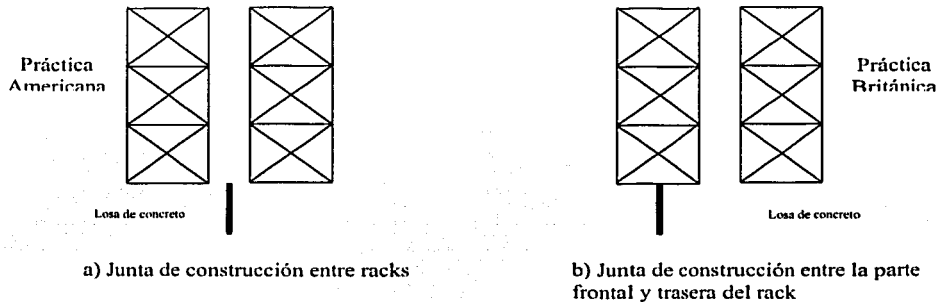


Fig. 1.4-7 Juntas de construcción en racks espalda con espalda: práctica americana y británica

3. **Estantes:** Resulta un caso similar al almacenamiento en los estantes o racks, con la diferencia que éstos actúan a una menor escala. Inclusive, la capacidad de carga y altura pueden ser equiparables a los racks convencionales. Una característica de éstos tipos de racks, es que la distancia entre patas (frontales y traseras) son pequeñas, alrededor de unos 60 centímetros en promedio, y en algunas ocasiones la distancia entre racks en su acomodo de espalda con espalda, puede ser casi cero. Este tipo de distribución de esfuerzos debe ser considerado por el ingeniero proyectista y constructor. Aquí se mencionan algunos requerimientos para el almacenamiento en ésta categoría:

- Cargas: usualmente menores a las 3 toneladas por pata

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Juntas: no requieren de ser selladas, pero la transferencia de cargas necesita ser considerada en el diseño estructural.
- Regularidad superficial: no crítica
- Resistencia a la abrasión: no crítica.

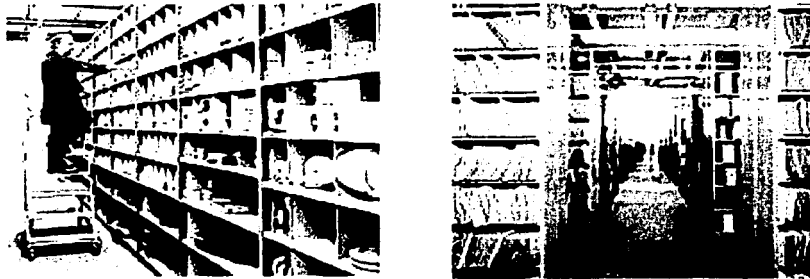
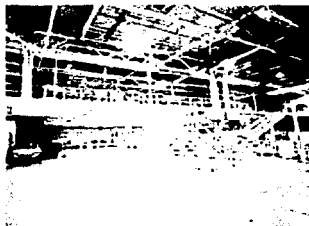
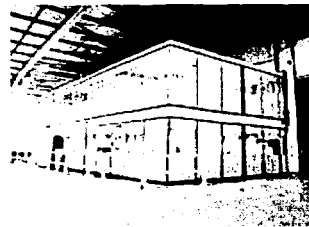
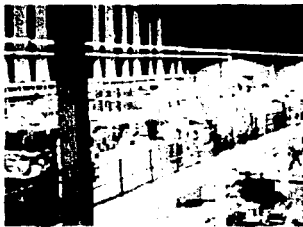


Fig. 1.4-8 El uso de estantes para almacenamiento en bodegas

4. **Mezzanines:** Son pequeñas plataformas elevadas construidas de acero. Con éste tipo de almacenamiento, se consideran dos maneras de almacenaje: la carga apoyada por la estructura y la carga debajo de ella (sobre la losa de concreto). Los postes generalmente se diseñan de 3-4 metros de altura, en ambas direcciones y se diseñan para soportar de 3.5-12 ton de carga por poste. Una diferencia entre racks y mezzanines, estriba en que los primeros aunque son estructuras sólidas y estructuralmente estables, la influencia que se ejerce de un poste a otro es grande, así mismo las dimensiones de los perfiles son más pequeños soportando cargas menores. En los segundos, dada su estructura presentan una estabilidad y capacidad de carga mayores, por lo que su uso debe ser debidamente analizado para evitar daños por agrietamientos.



3-4 m de altura

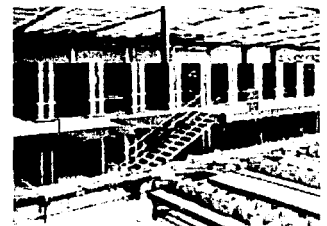
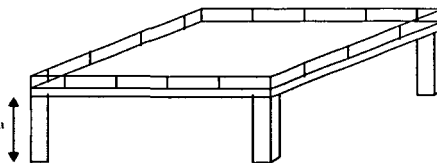


Fig. 1.4-9 Diversas configuraciones de Mezzanines en bodegas industriales

5. **Racks móviles:** Son racks metálicos con la capacidad de movimiento horizontal por medio de rieles. La ventaja que ofrece este método de almacenamiento, consiste en que se pueden agrupar con la posibilidad de movimiento en cualquier dirección.

Se mencionan a continuación los requerimientos para los racks móviles:

- Carga: de acuerdo con la ACI, las líneas de carga deben ser del orden de 250 kg/m.
- Juntas y agrietamientos: no presentan ningún daño al respecto.
- Acabado: la planicidad resulta no crítica, pero deberá tenerse cuidado con la nivelación. (se detallará más adelante)

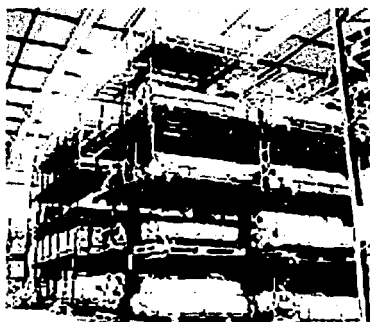


Fig. 1.4-10 Elevadores de carga en racks con movimiento

1.4.D Pisos especiales

Se denominan pisos especiales a aquellos que serán sometidos a tratamientos fuera de lo que comúnmente se someten las losas de concreto, es decir, a grandes gradientes térmicos, a sustancias corrosivas y tóxicas o configuraciones especiales de los ejes de carga en los montacargas; por lo que será necesario un acabado superficial intensivo o la adición de sustancias endurecedoras y protectoras en las juntas y el concreto hidráulico. A continuación se citan ejemplos de pisos especiales:

- Hornos y calderas en la industria
- Sistemas de congelación en bodegas
- Laboratorios químicos
- Estudios de televisión

Las recomendaciones generales en éstos tipos de pisos son las siguientes:

- La superficie debe ser diseñada por durabilidad para soportar la reacción contra ácidos y sulfatos principalmente, o contar con una capa protectora contra éstos agentes.
- Una supervisión rigurosa en el sellado y juntas, ya que la inclusión de aire puede provocar la dilatación y/o contracciones excesivas en las losas de concreto.
- El acabado superficial deberá estar rigurosamente plana y nivelada.
- Se recomiendan superficies de F₁50/F₁30 (más tarde se explicará en el capítulo V)
- Adecuada resistencia a la abrasión.

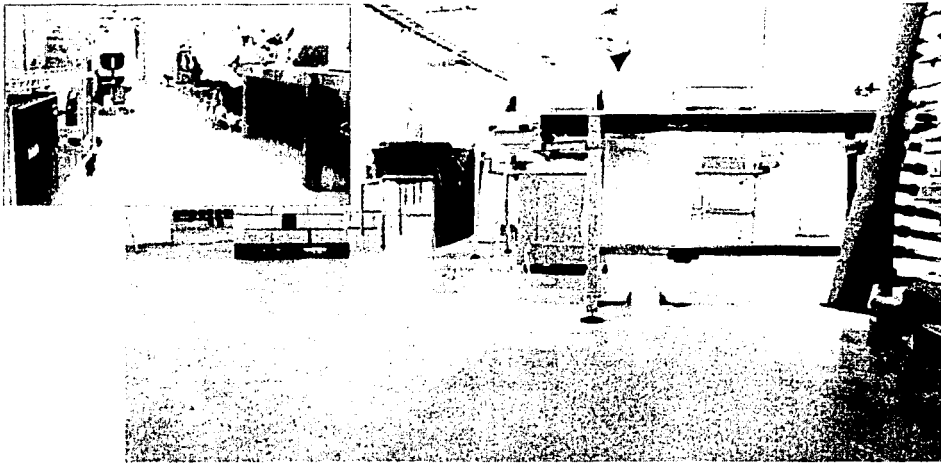


Fig. 1.4-11 Aplicaciones de pisos en laboratorios y bodegas de comestibles

En el caso de bodegas refrigeradas para el almacenamiento de comestibles, se requerirá un cuidado especial en el diseño de las losas de concreto. En primer lugar, éste tipo de pisos se verá sometido a condiciones de contracción más bruscas que en los pisos convencionales. Supongamos que deseamos hacer una losa de 100 metros de largo y ancho unitario, en una superficie congelada a -20°C y la temperatura del concreto a 20°C . Se presentará un fenómeno de contracción térmica del concreto, que hará reducir la losa 45 mm ($1\frac{3}{4}$ ") de longitud. Este acortamiento tendrá que llevarse a cabo en alguna parte—en las juntas, en los agrietamientos aleatorios y/o en los bordes de la losa, dependiendo de su diseño.

El segundo factor más importante en éste tipo de bodegas refrigeradas, es que no puede ser tan fácilmente reparada una vez que esté en operación. En el caso de un piso ordinario, se acepta en algún momento de su vida útil requerirá mantenimiento; si las juntas presentan despostillamiento, pueden ser selladas; y si la superficie presenta desmoronamiento, puede ser revestida. Resulta desastroso pensar que será reparada la losa en condiciones de congelamiento, ya que muchos de los químicos resultan inútiles en la reparación. Por lo que la única opción es de tener un diseño minucioso y una estricta supervisión de los trabajos durante la construcción, es decir, prever al máximo el mantenimiento.

Otra consideración importante, es que no sólo la superficie de la losa estará sometida a bajas temperaturas, sino que la totalidad de la losa, inclusive las estructuras de soporte se verán también congeladas. Por lo que será necesario un sistema de aislamiento entre estructura de soporte y losa de concreto, ya que cualquier cantidad de agua por mínima que sea, se congelará y producirá una expansión y por ende una ruptura en la losa. Más adelante detallo estas consideraciones en el estudio de mecánica de suelos.

II. COMPONENTES DEL CONCRETO

En un concreto convencional existen 5 elementos básicos, que con determinadas características físicas, químicas y mecánicas; al ser mezclados forman una masa altamente plástica, que con el tiempo irá enfriándose y endureciéndose y logre una resistencia de diseño. Los componentes básicos del concreto son:

- Cemento
- Agregado fino (arenas)
- Agregado grueso (gravas)
- Agua y
- Aire

2.1 Cemento Pórtland

El cemento Pórtland, uno de los componentes básicos para la elaboración del concreto, debe su nombre a Joseph Aspdin, un albañil inglés quien en 1824 obtuvo la patente para este producto. Debido a su semejanza con una caliza natural que se explotaba en la Isla de Pórtland, Inglaterra, lo denominó Cemento Pórtland.

Los Cementos Pórtland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando le son adicionados arena y grava, se forma lo que se conoce como el concreto. La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de resistencia se logra a lo largo de los primeros 28 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período de mayor tiempo.

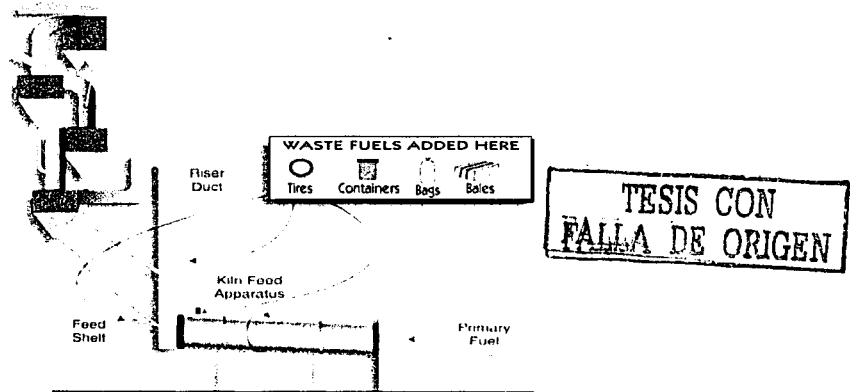


Fig. 2.1-1 Procesos para la fabricación del Cemento Portland

En la fabricación del cemento se utiliza normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos (fierro cuando es necesario) y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producen un material nodular de color verde oscuro denominado clinker.

El Clinker, la materia prima para producir el cemento, se transporta hacia los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de estos materiales produce cemento. La variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir.

En suma, podemos decir que el cemento es un aglomerante hidráulico que resulta de la pulverización de clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le agrega sulfato de calcio natural y agua. Pueden agregársele otros materiales que no sean nocivos para su comportamiento posterior, con el fin de auxiliar a la molienda o bien, para proporcionar determinadas propiedades al cemento.

2.1.A Clasificación de los Cementos

Existen diversos tipos de cementos para satisfacer las necesidades propias de un proyecto de obra. En algunas ocasiones, será necesario contar con cementos que resistan al ataque del medio ambiente o de sulfatos. Por tal motivo, se tienen diversos tipos de cementos que cumplan con las características deseadas.

En México, existe un organismo denominado ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación) donde acordaron cambiar el enfoque de la norma para los cementos, a fin de facilitar el entendimiento de la norma para los consumidores.

El cambio hacia la nueva norma significa fundamentalmente referirse al cemento por sus características y desempeño esperado. Desde ahora los cementos se conocerán por: los componentes básicos que definen el tipo de cemento y la resistencia mecánica a la compresión, que establece los valores mínimos y máximos en las clases 20,30 y 40; así como las características especiales de durabilidad ante agentes agresivos como sulfatos, agregados reactivos y calor de hidratación. A continuación se presentan los diferentes tipos de cementos en la tabla 2.1.A-1) por siglas y su denominación

Tabla 2.1.a-1) Tipos de Cemento (NMX-C-414-ONNCCE-1999)

TIPO	DENOMINACION
C P O	Cemento Portland Ordinario
C P P	Cemento Portland Puzolánico
C P E G	Cemento Portland con escoria granulada
C P C	Cemento Portland Compuesto
C P S	Cemento Portland con Humo de Sílice
C E G	Cemento con escoria granulada de alto horno

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

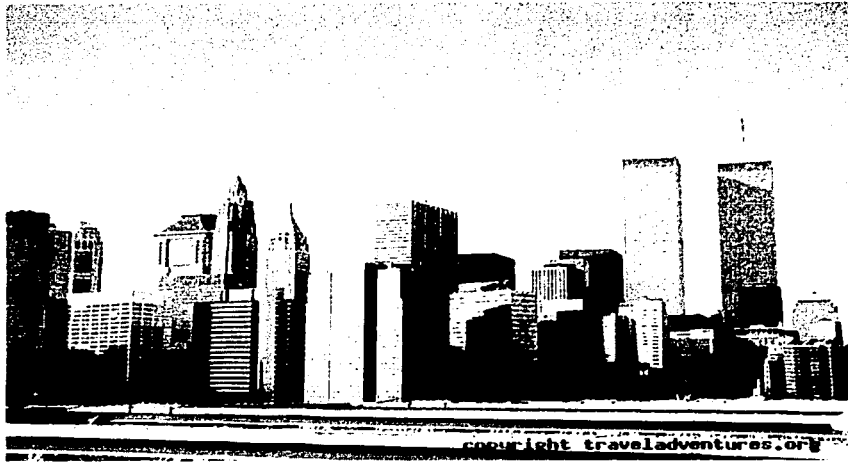


Fig. 2.1-2 Aplicación del Cemento Portland Ordinario CPO; en obras de edificación (Torres de Nueva York, EU)

La selección de un cemento para un fin determinado no es difícil. En tal sentido, es aconsejable, utilizar siempre que se pueda, un cemento de uso general, de producción uniforme y condiciones de funcionamiento conocidos y acreditados. Por ejemplo, de acuerdo a la Norma Mexicana C-414, los cementos CPP y CPO, se recomiendan en la mayoría de los proyectos de obra, a menos que las exigencias que se presentan a continuación lo requieran:

- La exigencia de altas temperaturas iniciales.
- La resistencia a sulfatos del terreno, al agua de mar o a otros medios agresivos químicos.
- La reactividad de los agregados con los álcalis.
- Algunas obras masivas de concreto en las que la temperatura pueda ocasionar tensiones de tipo térmico.
- La resistencia del concreto a muy altas temperaturas.
- El color blanco del concreto.

El objetivo de estas recomendaciones es informar y ayudar al usuario a utilizar los cementos para su uso general, y a distinguir cuando debe usar otros cementos especiales, en función de sus efectos en las propiedades, comportamiento y prestaciones a las que se verán sometidas las estructuras de concreto. Otras propiedades y comportamientos dependerán más de la cantidad de cemento, que de sus características.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

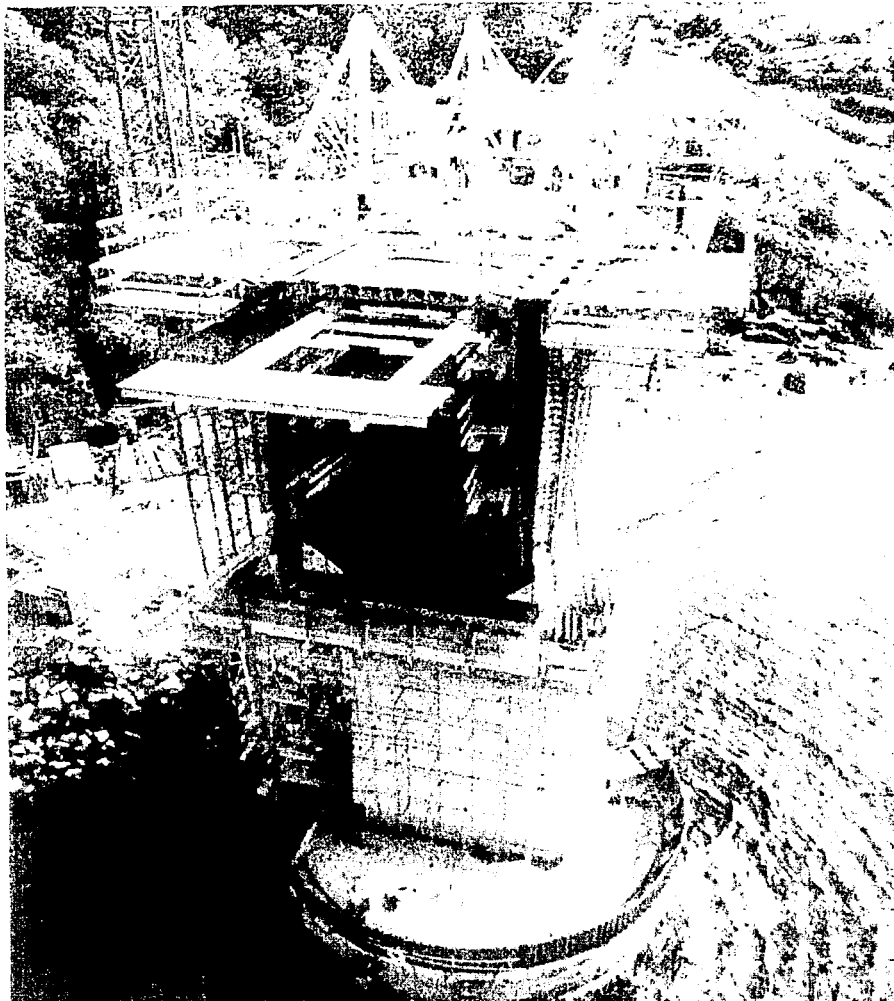


Fig. 2.1-3 Aplicación del Cemento Portland Puzolánico y Cemento Pórtland escoria granulada (CPP y CPEG)

Los tipos de Cemento definidos en la tabla 2.1.A-1. pueden presentar adicionalmente una o más características especiales, mismas que se clasifican de acuerdo a la tabla 2.1.B-1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

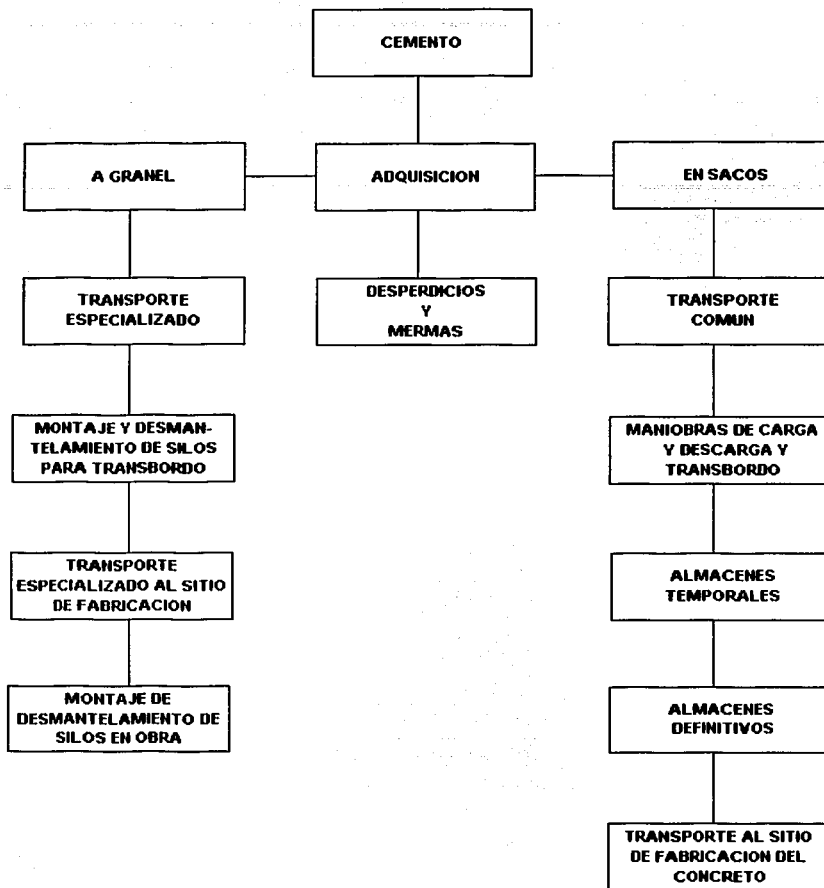


Fig. 2.1-4 Procesos de disposición final del cemento

2.1.B Cementos con Características Especiales

Tabla 2.1.b-1) Cementos con características especiales (NMX-C-414-ONCCE-1999)

Nomenclatura	Características especiales de los Cementos
RS	Resistente a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali-agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Cemento Blanco

Los cementos se identificarán por el tipo y clase resistente (tabla 2.1.a-1 y 2.1.b-2 respectivamente). Si el cemento tiene especificada una resistencia inicial, se añadirá una letra. En el

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

caso de que un cemento tenga una de sus características especiales señaladas en la tabla 2.1.b-1, su designación se completará de acuerdo a la nomenclatura indicada en dicha tabla; de presentar 2 o más características especiales, la designación se haría siguiendo el orden ascendente de la tabla 2.1.b-1) separándolas con una diagonal.

Tabla 2.1.b-2) Especificaciones mecánicas y físicas

Clase Resistente	Resistencia a la compresión			Tiempo de fraguado (min)		Estabilidad de volumen	
	3 días	28 días		Inicial	Final	Expansión autoclave	Contracción autoclave
	mínimo	mínimo	Máximo	mínimo	Máximo	(%)	(%)
20	--- (*)	20	40	45	600	0.8	0.2
30	--- (*)	30	50	45	600	0.8	0.2
30R	20	30	50	45	600	0.8	0.2
40	--- (*)	40	--	45	600	0.8	0.2
40R	30	40	--	45	600	0.8	0.2

* Ver la resistencia de diseño

La resistencia normal de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los 28 días y se indica por las clases resistentes 20, 30 ó 40. La resistencia inicial de un cemento es la resistencia mecánica a la compresión a los 3 días. Para indicar que un tipo de cemento debe cumplir con una resistencia inicial especificada, se le agrega la letra R después de la clase. Sólo se definen valores de resistencia inicial a 30 R y 40 R. Para todos los tipos de cemento, clases resistentes y estabilidad de volumen se debe cumplir con los valores mostrados en la tabla.

2.1.C Recomendaciones prácticas para la utilización de los cementos

Tabla 2.1.c-1) Recomendaciones prácticas para la utilización de los cementos

Tipo de cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para	Precauciones
C P O	20	<ul style="list-style-type: none"> Obras de concreto en masa, de pequeño o mediano volumen. Obras de concreto armado. Algunas obras o elementos de concreto pretensado. Prefabricación con tratamientos higrotérmicos Pavimentación y firmes en carreteras. Estabilización de suelos. 	<ul style="list-style-type: none"> Obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos. Obras de concreto en masa, de gran volumen, especialmente con dosificaciones altas. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuidar el almacenamiento, tratando de que no se prolongue más de tres meses.
	30 y 30R	<ul style="list-style-type: none"> Obras de concreto armado en las que se requiera un endurecimiento más rápido de lo normal. Obras o elementos de concreto pretensado, prefabricación incluso con tratamientos hidrotérmicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos. Obras y piezas de concreto armado, de mediano o de gran volumen o espesor, y estructuras fácilmente fisurables por retracción, tanto plástica como térmica e hidráulica. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuidar el almacenamiento, tratando de que no se prolongue más de dos meses. Cuidar la dosificación (en peso), el amasado y, especialmente, el curado. Tomar las medidas necesarias para evitar fisuraciones por retracción, particularmente durante las primeras horas.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

	40 y 40R	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto armado de endurecimiento muy rápido y de muy altas resistencias a toda edad. • Obras o elementos de concreto pretensado en los que se da la misma circunstancia. • Prefabricación muy cuidada. • Fabricación de concreto en tiempo o clima muy frío. • Descimbrado, desencofrado y desenmoldado muy rápidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos. • Obras de concreto armado de mediano volumen o espesor, y estructuras fisurables por retracción, tanto térmica como hidráulica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuidar el almacenamiento, tratando de que no se prolongue más de un mes. • Cuidar la dosificación (en peso), el amasado y, muy especialmente, el curado. • Tomar medidas para evitar fisuraciones por retracción, particularmente durante las primeras horas (retracción plástica)
--	-----------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tipo de cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
CPP	20	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto en masa y armado. • Pavimentaciones y cimentaciones. • Morteros en general. • Prefabricación con tratamientos higrotérmicos. • Concretos más susceptibles a ataques por aguas puras, carbónicas agresivas o con débil acidez. • Obras de concreto en masa en grandes volúmenes (presas, cimentaciones masivas, muros de contención, etc.) • Obras en las que se requiera impermeabilidad, a condición de que la dosificación sea la adecuada. • Obras de concreto en masa, con áridos sospechosos de reactividad frente a álcalis. • Obras marítimas masivas que no requieran resistencias mecánicas elevadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto pretensado con alambres adherentes. • Fabricación de concreto en tiempo de heladas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las normales en la dosificación y en el almacenamiento, tratando de que nos se prolongue más de tres meses. • Curar adecuada y prolongadamente, en especial en climas secos y fríos, evitando desecaciones durante el primer periodo de endurecimiento, en climas cálidos y secos.
	30, 30R, 40 y 40R	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que en el tipo CPP clase resistente 20. • Obras de concreto en masa o armado en ambientes ligeramente agresivos por aguas puras, carbónicas o con débil acidez mineral. • Obras de concreto en masa o armado con áridos sospechosos de reactividad frente a álcalis. • Obras de gran impermeabilidad, con dosificaciones adecuadas. • Prefabricación con tratamiento hidrotérmico e higrotérmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que en el tipo CPP clase resistente 20. • Obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que en el tipo CPP clase resistente 20, reduciendo el periodo de almacenamiento a no más de 2 meses.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tipo de Cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
C P E G	20	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto en masa, incluso de gran volumen, que requieran de un bajo calor de hidratación. • Pavimentaciones y cimentaciones. • Obras subterráneas. • Estabilización de suelos, suelocemento y gravacemento. • Morteros de recubrimiento, agarre y juntas, salvo problemas de colocación. • Obras de concreto en masa en ambientes débilmente agresivos por salinidad en general (zonas litorales) o por sulfatos. • Obras marítimas de mediana resistencia. • Concreto armado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto pretensado con alambres adherentes. • Fabricación de concreto a bajas temperaturas o en tiempo de heladas. • Obras en que importe el aspecto exterior del concreto (manchas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Las normales en la dosificación y en el almacenamiento, tratando de que éste no se prolongue más de tres meses. • Curar adecuada y prolongadamente, en especial en climas fríos a temperaturas bajas, evitando al máximo la desecación prematura y empleando productos de curado, si es preciso.
	30, 30R, 40 y 40R	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CPEG clase resistente 20, en empleos que exijan resistencias aún más altas y además en: prefabricación con tratamientos higrotérmicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CPEG, clase resistente 20. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las mismas prácticamente que para el Tipo CPEG, clase resistente 20, reduciendo el periodo de almacenamiento a no más de dos meses. • Curado y desecación.

Tipo de cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
C P C	20	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente todos los fines de los tipos CPEG y CPP, de las clases resistentes correspondientes, habida cuenta de que sus propiedades u comportamientos se pueden considerar como suma ponderada, según sea la composición, de las propiedades y comportamientos de dichos tipos de cemento y clases resistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente los mismos casos limitativos de los tipos CPEG y CPP, de las correspondientes clases resistentes, por los mismos motivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente las mismas que para el resto de los Tipos CPEG y CPP, de las clases resistentes correspondientes por razones análogas.
	30 y 30R	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente todos los fines de los tipos CPEG y CPP, ya que sus propiedades y comportamientos se pueden considerar como suma ponderada, según sea la composición, de las propiedades y comportamientos de dichos tipos de cemento y clases resistentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente los mismos casos limitativos de los tipos CPEG y CPP, de las correspondientes clases resistentes, por los mismos motivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente las mismas que para el resto de los Tipos CPEG y CPP, de las clases resistentes correspondientes por razones análogas.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tipo de cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
CPS	20	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto en masa y armado. • Pavimentaciones y cimentaciones. • Morteros en general. • Prefabricación con tratamientos higrotérmicos. • Obras donde se requiera impermeabilidad, a condición de que la dosificación sea la adecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto pretensado con alambres adherentes. • Fabricación de concreto en tiempo de heladas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las normales en la dosificación y en el almacenamiento, tratando de que no se prolongue más de tres meses. • Curar adecuada y prolongadamente, en especial en climas secos y fríos, evitando desecaciones durante el primer período de endurecimiento, en climas cálidos y secos.
	30 y 30R	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CPS, clase resistente 20. Obras de gran impermeabilidad, con dosificaciones adecuadas. Prefabricación con tratamiento hidrotérmico e higrotérmico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CPS, clase resistente 20, excepto concreto pretensado. Obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CPS, clase resistente 20, reduciendo el período de almacenamiento a no más de dos meses.

Tipo de cemento	Clase resistente	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
CEG	20	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto en masa, incluso de gran volumen, que requieran de un bajo calor de hidratación. • Obra de concreto en masa en ambientes húmedo o agresivos por salinidad en general (zonas litorales) o por sulfatos de aguas y terrenos. • Pavimentaciones, cimentaciones y obras subterráneas. • Estabilización de suelos, suelo-cemento y gravacemento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto armado y pretensado. • Concreto a bajas temperaturas. • Obras de gran superficie y poco espesor, en las que importe el aspecto externo del concreto (manchas). • Concreto en ambientes muy secos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las mismas que las de Tipo CPEG, clase resistente 20, sobre todo en lo referente al curado y a la desecación. • Precauciones relativas a las dosificaciones mínimas y a la compacidad. • Evitar su empleo, salvo precauciones extremas de curado, en ambientes muy secos. • Fabricación de concreto en tiempo frío y desecación, en el caso de concreto armado.
	30 y 30R	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CEG clase resistente 20, siempre que se requieran resistencias mecánicas aún mayores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos fines que el Tipo CEG, clase resistente 20. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las mismas que para el Tipo CEG, clase resistente 20.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 2.1.c-2) Recomendaciones prácticas para la utilización de los cementos especiales

RESISTENTE A LOS SULFATOS (RS)			
Tipo de cemento	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
RS	<ul style="list-style-type: none"> • Concretos en contacto con aguas y terrenos yesíferos o que contienen otros sulfatos y concretos en contacto con aguas marinas o en ambientes marítimos. Concretos sometidos a la acción de los sulfatos (cálcico y/o magnésico) de aguas o terrenos. Concretos sometidos a la acción del agua de mar (sulfatos y cloruros alcalinos y alcalinotérreos). 	<ul style="list-style-type: none"> • No existen contraindicaciones para estos cementos, distintas de las que corresponden a los de su mismo tipo y clase resistente, en cada caso, siempre que se tengan en cuenta las precauciones respectivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear siempre los materiales y las dosificaciones adecuadas en cada caso. • Cuidar todas las etapas de la tecnología del concreto, y muy especialmente el curado, y en su caso, la protección adicional o complementaria del material. • Tener en cuenta que, a efectos de durabilidad es un caso imprescindible en este tipo de estructuras sometidas a la agresión de sulfatos. • Un cemento que no sea el más idóneo para un determinado medio agresivo, un concreto muy compacto e impermeable resistente mas y mejor que otro compacto y más vulnerable, aunque éste se haya hecho con el cemento adecuado.

BAJA REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO (BRA)			
Tipo de cemento	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
BRA	<ul style="list-style-type: none"> • Obras de concreto en masa con sospecha de reactividad frente a álcalis. 	<ul style="list-style-type: none"> • No existen contraindicaciones para estos cementos, distintas de las que corresponden a los de su mismo tipo y clase resistente, en cada caso, siempre que se tengan en cuenta las precauciones respectivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear siempre los materiales y las dosificaciones adecuadas en cada caso. • Cuidar todas las etapas de la tecnología del concreto, y muy especialmente el curado, y en su caso, la protección adicional o complementaria del material.

BAJO CALOR DE HIDRATACIÓN (BCH)			
Tipo de cemento	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
BCH	<ul style="list-style-type: none"> • Obras en las que intervienen grandes masas de concreto susceptibles de experimentar fuertes retracciones por variaciones térmicas con peligro de fisuración y agrietamiento, tales como grandes macizos de presas, cimentaciones, grandes losas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Concreto en tiempo frío y prefabricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuidar mucho el curado, evitando al máximo evaporaciones y desecaciones. Proteger el concreto cuando sea necesario.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

BLANCO (B)			
Tipo de cemento	Uso	No recomendables salvo precauciones especiales para:	Precauciones
B	<ul style="list-style-type: none"> Los mismos usos que los cementos Portland ordinarios de las respectivas clases resistentes. Concretos estructurales de color diferente al tradicional – de tipo arquitectónico. 	<ul style="list-style-type: none"> Obras en ambiente agresivos, especialmente en contacto con aguas o terrenos acuíferos o que contengan sulfatos. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuidar el almacenamiento, evitando que se prolongue demasiado, no debiendo pasar de dos meses (30 y 30 R) o de un mes (40 y 40 R). Cuidar la dosificación en peso, del mezclado y curado particularmente de las primeras horas en el caso de piezas o elementos voluminosos. En el caso de utilizar agregados pigmentados para obtener morteros y concretos coloreados, asegurarse de su idoneidad y compatibilidad con el cemento, así como su resistencia mecánica, estabilidad de volumen y durabilidad.

2.1.D Cemento de contracción compensada (Cemento expansivo tipo K)

Ahora sabemos porqué el concreto se contrae, pero porqué se agrieta? En condiciones ideales, el concreto debería estar libre de movimientos naturales, y podría contraerse. El hecho es que, el concreto no tiene esa facilidad de movimiento ya que se encuentra siempre empotrado. Como nosotros sabemos, la mayoría de los concretos se encuentran reforzados, y cuando la mezcla de concreto se endurece, se adhiere al acero. Entonces cuando trata de contraerse, el acero se lo impide ya que se encuentra fuertemente adherido al refuerzo, impidiendo su movimiento de contracción.

La restricción del concreto al agrietamiento, lo induce a esfuerzos de tensión. Cuando se empuja el concreto por la acción de dos fuerzas de sentido opuesto, se le llama compresión, de tal manera que cuando se especifica la resistencia del concreto, nos referiremos su resistencia a los 28 días. Una vez colocado el concreto empezará a contraerse, eventualmente, los esfuerzos de tensión en el concreto se sobrepondrán a la contracción y forzará al concreto a agrietarse.

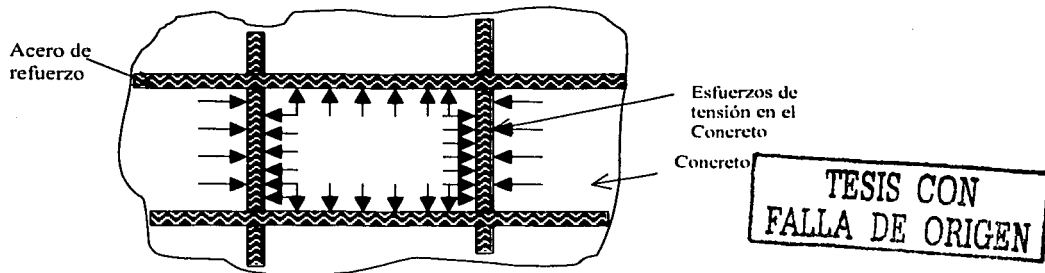


Fig. 2.1-5 Esquematación del proceso de tensión en el concreto reforzado

El cemento reacciona con el agua en un proceso llamado hidratación, la pasta se endurece y gana resistencia conforme transcurre el tiempo. Un mínimo de 0.24 kg de agua por cada kilogramo de cemento son necesarias para hidratarlo completamente. Cuando más agua es adicionada a la mezcla, dos cosas pueden suceder:

- La primera, es que la mezcla sea menos resistente
- Cuando la mezcla empieza a secarse, es porque el agua ya hidrató por completo a la molécula de cemento, entonces ocurre la evaporación ocasionando la contracción masiva del concreto. El agua extra causará que el concreto se contraiga o tienda a contraerse cuando el agua deje al concreto.

¿Pero que hace el cemento tipo K para la reducción del agrietamiento por contracción? El cemento tipo K o cemento de contracción compensada, es un cemento exactamente igual a los cementos tipo Pórtland después de los 7 días del colado. En otras palabras, el cemento de contracción compensada se contraerá tanto como un concreto de cemento Pórtland. La diferencia radica en el comportamiento inicial del cemento tipo K durante sus primeros 7 días.

De acuerdo al ACI 223, el cemento tipo K, de contracción compensada, que mezclado con el agua, forma una pasta que después de colado, tiende a incrementar un volumen controlado, a diferencia de los cementos "convencionales" tipo Pórtland.

Este tipo de cemento contiene un compuesto adicional con respecto a los cementos ordinarios tipo Pórtland. Este compuesto es llamado Sulfato-Trialuminato-Tetracálcico-Anhidro. Lo importante es saber, que éste compuesto origina la expansión del concreto, mediante la formación de etringita. Cuando el cemento tipo K es mezclado con el agua, el cemento empieza a hidratarse formándose cristales de etringita. Estos cristales son estructuras molecularmente sólidas y químicamente resistentes. Es por ello, que la etringita es la causa del mecanismo que la masa de concreto se expanda, empujando a los agregados y otras partículas de cemento en todas direcciones. Después de los siete días, todo el poder expansivo de la etringita habrá terminado y por ende parará el proceso de expansión del concreto.

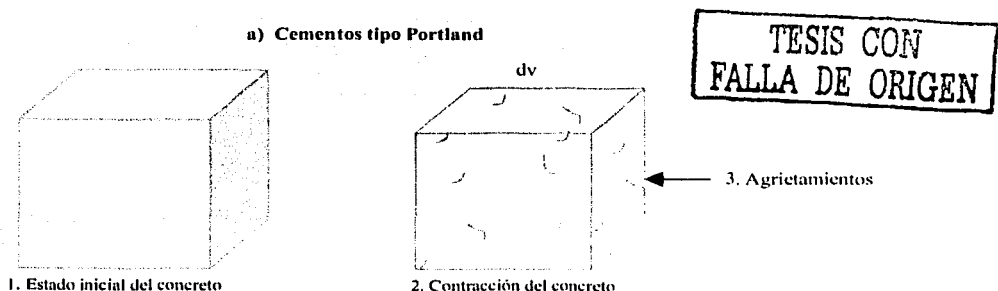


Fig. 2.1-6a Comportamiento de una estructura con el uso de Cemento Pórtland

b) Cemento de contracción compensada (tipo K)

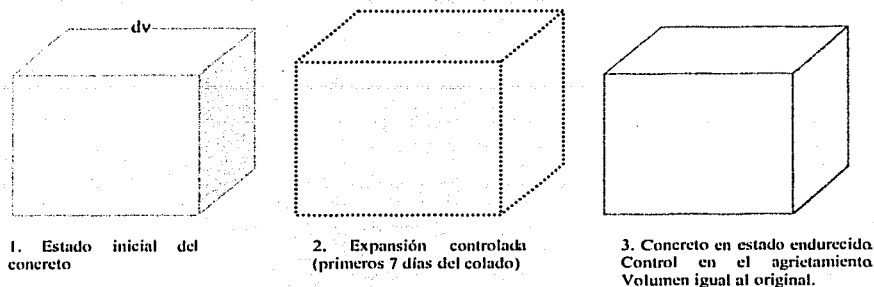


Fig. 2.1-6b Comportamiento de una estructura con Cemento de contracción compensada

Para concretos ordinarios, la dosificación de agua y cemento nunca podrán ser mayores a las especificadas de acuerdo al diseño de mezcla. En el caso del cemento tipo K, resulta lo contrario. El comportamiento de los concretos elaborados de cementos tipo K, resulta similar a un concreto reforzado. El concreto se expande, se endurece, adhiriéndose al acero de refuerzo y cuando el concreto trate de expandirse, no podrá debido a que está restringido su movimiento por el acero. El concreto entrará a compresión, debido a que tenderá a aumentar de tamaño, pero no podrá. Este proceso durará alrededor de 7 días y luego parará. Después de los 7 días, empezará a contraerse tal y como lo hace un concreto convencional. Lo interesante de esto, resulta que debe contraerse la misma cantidad que trató de expandirse antes que entre a tensión.

Los concretos convencionales para pisos industriales, son diseñados de acuerdo a su módulo de ruptura (capacidad del concreto a resistir esfuerzos por tensión por flexión) y durabilidad. En el caso de los concretos de contracción compensada, hay tres propiedades en los cuales son diseñados:

1. Módulo de ruptura
2. Durabilidad
3. Expansión

En la práctica debe tomarse en consideración que todos, absolutamente todos los concretos sufrirán contracción y por ende producirán agrietamientos, pero lo que se pretende con éste tipo de cementos es minimizar al máximo éste fenómeno.

Ventajas del uso de cemento de contracción compensada:

1. Mayores tableros de entre losas, permitiendo mayores áreas de colado (sin exceder la proporción 3:1 la longitud con el ancho)
2. Reducción en las juntas de contracción. Para pisos externos, se consigue un máximo de espaciamiento entre juntas de 30 metros, y en el caso de pisos cubiertos, las juntas de construcción pueden colocarse hasta 45 metros; incrementando la capacidad de maniobra y una reducción debido a mantenimientos en juntas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. Secuencia de colocación. Con el cemento tipo K, losas pueden ser colocadas adyacentes a losas previamente colocadas.
4. Reducción en el alabeo. En el caso de concretos reforzados, se desarrollará un alabeo en sentido contrario al ejercido por el peso de la losa. Esta condición reduce el cambio de alabeo que puede ocurrir en un cemento tipo Pórtland, mejorando en todo sentido la ejecución de la losa.
5. Incremento en el revenimiento, permitiendo en el cemento tipo K, la adición de agua. El concreto puede ser colocado con mayores revenimientos, produciendo una mayor trabajabilidad, sin el problema de la segregación o contracción.
6. Reducción del agua de sangrado. A pesar de los colados con altos revenimientos, el sangrado es reducido, permitiendo una eficiente hidratación del cemento. Esta es un importante consideración ya que se reduce la permeabilidad, produciendo un menor tiempo para las maniobras de acabado y por ende una disminución en la mano de obra.

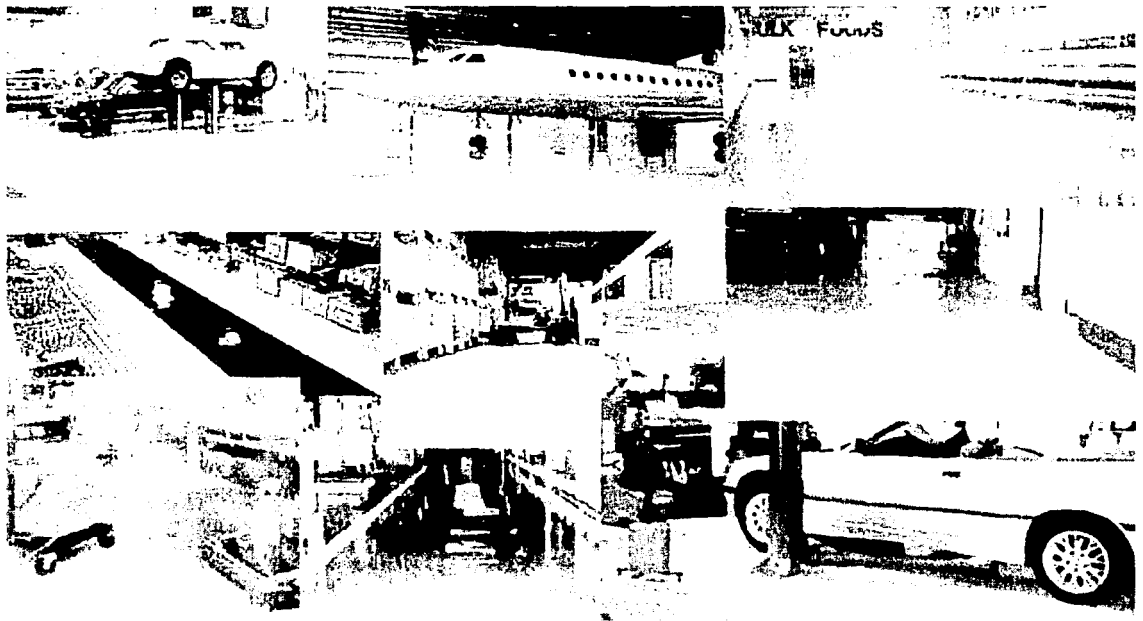


Fig. 2.1-7 Aplicaciones del cemento de Contracción Compensada en Pisos desplantados sobre el terreno.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2 Agregados para el Concreto

Uno de los problemas más triviales; pero más difundidos en relación con los agregados para los concretos, es la terminología que se utiliza para su identificación; esto se puede deber a que en forma indiscriminada se generan diferentes definiciones y clasificaciones. También se debe destacar la influencia que genera la procedencia de los diferentes términos utilizados, que tienen alguno de los siguientes orígenes y alcances:

Origen o procedencia	Alcance o influencia
Asociaciones tipo ASTM o ACI	Continental o mundial
Normas, reglamentos, leyes, etc.	País
Costumbres, denominación de origen, práctica local, etc.	Ciudad o región

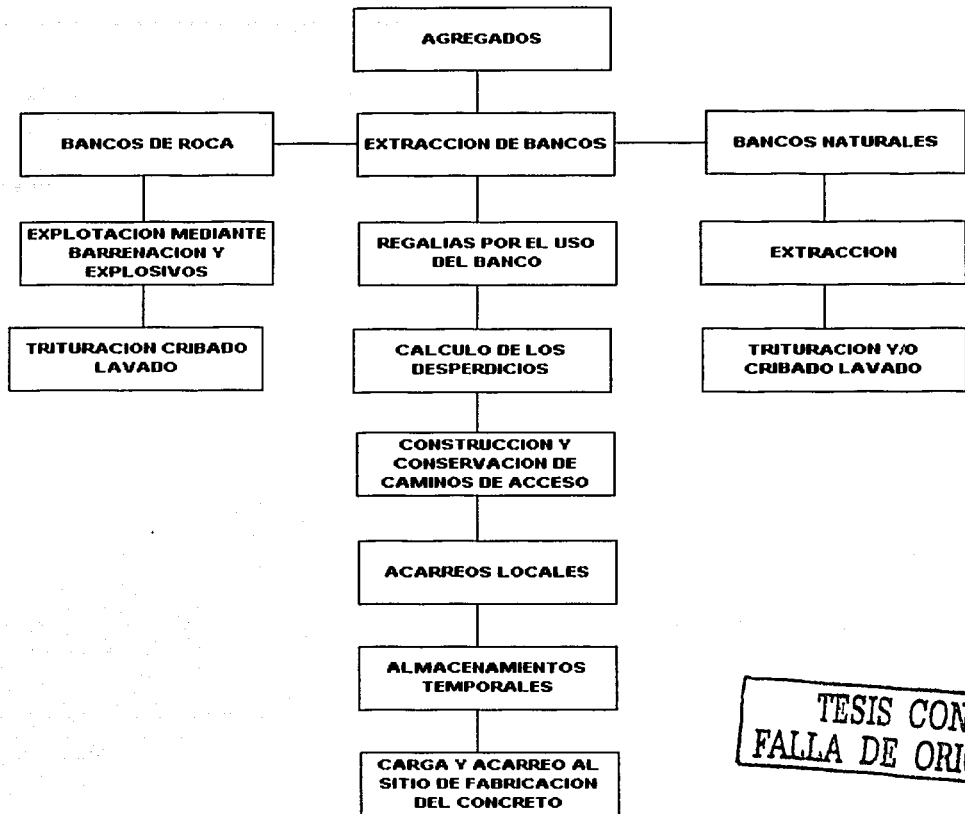
Más del 60% de cada metro cúbico de concreto fabricado, está constituido por los agregados, condición que destaca la importancia que tienen estos materiales en la elaboración de este producto. Las características de los materiales que los conforman y los efectos de su uso en el concreto, se han estudiado con mucho mayor detalle, de tal forma que se pueda producir un concreto de mejores características en estado fresco y con una mayor durabilidad.

El agregado fino, o comúnmente se le conoce como arena natural o manufacturada, su función es llenar los espacios vacíos formado por el agregado grueso (gravas). Además forma parte de la pasta del mortero que hace que el piso de concreto tenga mejor acabado. A continuación mencionaré algunas de las propiedades más importantes que tienen una relación directa en las propiedades, comportamiento y acabado de los pisos de concreto hidráulico.

Tabla 2.2.A. Características de los agregados que son convenientes a evaluar antes de ser empleados en la fabricación de concreto

Características	Pruebas Aplicables	
	NOM	ASTM
• Granulometría	C-111	C 33
• Limpieza	C-111	C 33
◦ Finos indeseables		D 2419
◦ Materia orgánica	C-88	C 40
• Partículas inconvenientes	C-84, C-71, C-75, C-172	C 117, C 142, C88, C 123
• Densidad	C 164, C 165	C 127, C 128
• Sanidad	C 75	C 88
• Absorción y porosidad	C 164, C 165	C 127, C 128
• Forma de partícula	C 265, C 165	C 295, C 128
• Textura superficial	C 265	C 295
• Reactividad con los álcalis		
◦ Examen petrográfico	C 265	C 295
◦ Método químico	C 271/C 272	C 289/ C 586
◦ Barras de mortero	C-180	C-227/ C 1105

**TESIS CON
ETIQUETA DE ORIGEN**



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.2-1 Procesos de disposición final de los agregados

2.2.A Clasificaciones de los agregados

A continuación se mencionan las clasificaciones más comunes que se emplean para este tipo de materiales.

2.2.A.1 Clasificación de Origen

Esta clasificación toma como base la procedencia natural de las rocas y los procesos físico-químicos tomando en cuenta desde su formación y se dividen en tres grandes grupos:

- a) Igneas
- b) Sedimentarias
- c) Metamórficas

2.2.A.2 Clasificación por composición

Esta división tiene como fundamento la composición químico-mineralógica de cada roca, además de llevar en forma implícita una denominación de origen. A continuación se mencionan algunos ejemplos de este tipo de clasificación:

Caliza	Tezontle	Caliche
Andesita	Tepojal	Granito
Basalto	Riolita	Mármol

Al ser las características químicas y mineralógicas las únicas que intervienen en este tipo de agrupación, se tiene el fuerte inconveniente de no considerar las características físicas del material, que son tan importantes en la evaluación de los agregados para concreto.

Para puntualizar lo anterior se pueden mencionar dos ejemplos:

- a) La caliza, el mármol y el caliche tienen la misma composición química, pero no la misma resistencia física, es muy común que entre las calizas se observen diferentes grados de calidad física.
- b) El basalto y el tezontle tienen la misma composición química, pero al tener el tezontle una gran cantidad de espacio poroso lo hace un agregado ligero y de menor resistencia.

2.2.A.3 Clasificación por Color

Es la clasificación más común que existe y la más fácil de generar, o utilizar, ya que sólo considera el color del material. Para casos prácticos resulta una manera de clasificar a los minerales; por ejemplo existen una variedad extensa de cuarzos, aunque presenten el mismo grado de dureza, su composición química es diferente y por consiguiente sus tonalidades también lo serán; es por ello, que a primera vista una clasificación de acuerdo a la pigmentación de los minerales y rocas resulta una manera más sencilla y rápida de clasificarlos.

2.2.A.4 Clasificación por Tamaño de la partícula

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Clasificación	Intervalo Nominal (mm)	Malla correspondiente	
		NOM	ASTM
Agregado fino	0.075 – 4.75	F 0.075- G 4.75	No. 200 - No. 4
Agregado grueso	4.75 - variable	G 4.75 – (+)	No. 4 – (+)

(+) El límite superior en el intervalo nominal del agregado grueso y la designación de la malla correspondiente, dependen del tamaño máximo de la grava que se utilice. (Mena, 1994)

Esta identificación de los materiales, se deriva de la condición mínima del concreto convencional de dividir a los agregados en dos fracciones principales cuya frontera nominal es 4.75 mm (malla No. 4 ASTM), dando por resultado lo siguiente:

Se considera **agregado fino** (arena) cuando:

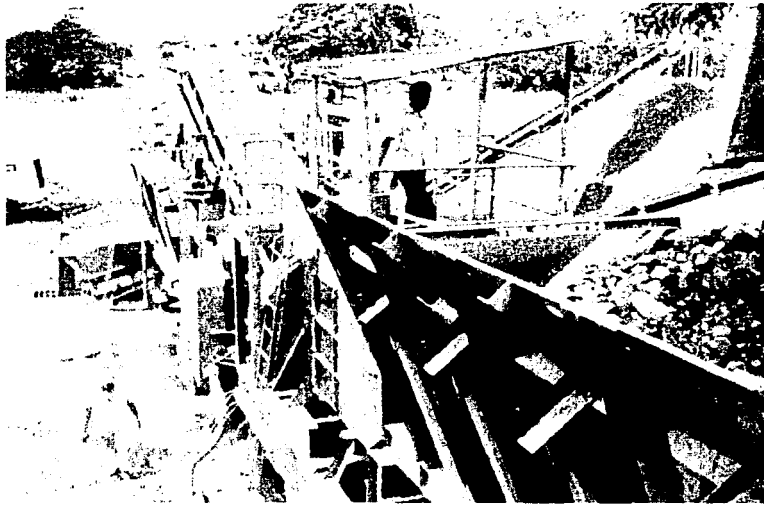
1. Agregado que pasa la malla 3/8" (9.5 mm) y casi totalmente pasa la malla no. 4 (4.75 mm) y es predominantemente retenido en la malla no. 200 (0.075 mm); o

2. Es la porción de un agregado que pasa la malla no. 4 (4.75 mm) y es retenido en la malla no. 200 (0.075 mm).

Es importante comentar que si bien es útil que el agregado fino cumpla con la continuidad granulométrica, resulta poco prudente el especificar la arena con base a esta característica, ya que un adecuado diseño de mezclas o bien el uso de aditivos en el concreto, permite disminuir los posibles efectos no deseados por una deficiencia de esta característica en el agregado.

Se considera **agregado grueso** (gravas) cuando:

1. Agregado predominantemente retenido en la malla no. 4 (4.75 mm) hasta la dimensión máxima que contenga el concreto, magnitud que define el tamaño máximo en cada caso. Al igual que en el agregado fino, es deseable que exista una continuidad granulométrica de la fracción. Por lo anterior, es claro que el límite superior del agregado grueso es el que rige la curva granulométrica a especificar para cada tipo de concreto, de acuerdo a sus necesidades constructivas.
2. De igual forma que en el agregado fino, los efectos de una deficiente composición granulométrica pueden ser disminuidos, vía la aplicación adecuada de la tecnología de concreto.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.2-2 Proceso de trituración, cribado y lavado de los agregados para su disposición final

2.2.A.5 Clasificación por Modo de Fragmentación

Esta clasificación de agregados, se soporta por la forma en que ocurre el proceso de fragmentación de los materiales, la cual puede ser:

- Natural: fragmentación por procesos naturales (erosión)
- Manufacturados (triturados): fragmentación por procesos artificiales (mecánicos).

- **Mixtos:** son la combinación de materiales fragmentados tanto por procesos naturales como artificiales.

2.2.A.6 Clasificación por Peso Específico

Esta clasificación de agregados se genera de una característica básica del concreto que es su peso unitario, el cual a su vez depende del peso específico de los agregados que se utilizan en su fabricación. La división básica que existe es:

- Ligero
- Normal
- Pesado

La clasificación de agregados valora la correspondiente aptitud de los mismos para producir concreto con diferentes pesos unitarios, pero no considera sus características físico-químicas en forma detallada.

2.2.B Otras consideraciones en la clasificación de agregados

Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a diferentes características (modo de fragmentación, tamaño de partícula, origen, composición, forma de partícula y color).

La eliminación de las otras clasificaciones (origen, composición, forma de partícula y color) se debe a que presentan los siguientes inconvenientes:

- Clasificaciones creadas con un objetivo diferente a la identificación de agregados para concreto (ejemplo: la división de rocas en ígneas, sedimentarias y metamórficas se realizó de acuerdo con las condiciones naturales de formación de las rocas y no calificando sus características físicas particulares asociables al uso en concreto).
- Conceptos ambiguos (ejemplo: desde el punto de vista de la composición química, basalto y tezontle son lo mismo, aunque es reconocido que pueden tener una diferencia significativa en color y peso volumétrico)
- No califican ninguna característica física de las que se evalúan en los agregados para concreto (ejemplo: origen)
- Miembros de familias diferentes o iguales pueden tener características físicas distintas o similares, generando confusión en las propiedades del material (ejemplo: hay calizas de muy diversa calidad física)
- Clasificaciones simplistas que inducen a interpretaciones erróneas (ejemplo: el color)

2.2.C Características específicas de los agregados para los Pisos Industriales

Cabe mencionar que en el caso de los pisos industriales, a pesar de que la mezcla de concreto cuente con todas las especificaciones mostradas en la tabla 2.2.A, se deberá de tener un especial cuidado de los agregados; ya que un gran porcentaje del contenido de la mezcla, influirá de manera decisiva para un adecuado desempeño de un piso industrial. A continuación se hace mención de las características adicionales para el caso específico de un piso industrial.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig. 2.2-3 Ilustración de un inadecuado diseño de mezcla del concreto, debido a la ausencia del agregado fino.

2.2.C.1 Agregado fino - Efecto en el acabado

El agregado fino facilita las maniobras en el acabado superficial, evidentemente el tamaño de las partículas tendrá mucho que ver con esto, es decir, un agregado con forma redondeada facilitará el trabajo para un adecuado acabado.

En el caso de los pisos industriales, se deja a consideración del ingeniero proyectista y constructor las especificaciones del agregado fino, en base a la experiencia en trabajos previos, a decir verdad, hoy en día las empresas premezcladoras realizan el diseño de mezcla a partir de las condiciones ambientales, diseño estructural (módulo de ruptura, espesor, etc.) y costo principalmente. En algunas ocasiones, será necesario que el contratista haga uso de agregados de la localidad, en el caso de no tener conocimiento de sus propiedades y comportamiento en la combinación con otros elementos, se sugiere realizar losas de prueba previas al colado formal de los pisos industriales.

2.2.C.2 Efecto de la resistencia a la abrasión

Un factor importante de la resistencia a la abrasión en un concreto, es el agregado fino. Pruebas hechas en laboratorios muestran que los concretos hechos con arena natural, son más resistentes a la abrasión que los concretos hechos con finos de roca triturada. También se ha mostrado que no hay una relación directa entre la resistencia a la abrasión y el tamaño de la partícula del agregado fino.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.C.3 Consideraciones para el Agregado grueso

Al agregado grueso se le denomina piedra, grava natural o roca triturada. El agregado grueso es un elemento imprescindible en el diseño de mezclas de concreto. Sin la presencia de las gravas, el costo del concreto sería mucho mayor, además sufriría el concreto mayores contracciones por el efecto de secado.

En los pisos industriales, se recomienda que no aparezca el agregado grueso en la superficie, debido a que no sería tan factible de darle el acabado necesario para que transiten en él montacargas con altos índices de especificación, dejando sólo a la mezcla de mortero de cemento, agregado fino y agua. Una propiedad vital del agregado grueso, es la de limitar la contracción en el concreto y por ende la presencia de grietas en las losas de concreto, ya que es de suma importancia en la construcción de los pisos de concreto.

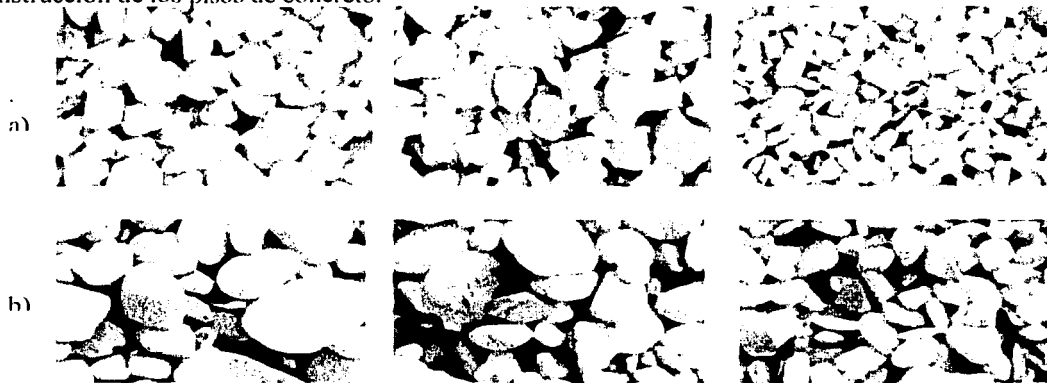


Fig. 2.2-4 a) Gravas de canto angulado propicio para el diseño de mezclas en pisos industriales b) gravas de canto redondeado idóneas para estructuras con bajos índices de especificación.

2.2.D Recomendaciones del tamaño para pisos industriales

En la mayoría de los pisos de concreto son construidos con agregado no mayor de 20 mm (3/4"). La consideración de un tamaño mayor en el agregado representa las siguientes condiciones:

- Se reduce la contracción por secado, debido a que el agregado grueso no tiene la propiedad de contracción.
- Se reduce el asentamiento plástico.
- Se reduce también el costo del concreto, debido a que una menor cantidad de cemento es requerida para lograr la resistencia de diseño.

Por lo que sería obvio pensar que un tamaño mayor del agregado grueso presenta las mejores condiciones, pero éstas están limitadas por los siguientes factores:

- El tamaño del agregado no debe exceder la distancia media entre el espaciamiento entre barras del acero de refuerzo (si fuese necesario). Mas adelante se detalla la conveniencia del uso del acero de refuerzo.
- El tamaño del agregado no debe exceder la mitad del espesor de la losa de concreto.
- Debe preverse el tamaño del agregado en función del método constructivo elegido.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3 Uso del agua

En el caso del agua que se emplea en la fabricación de concreto, se considera que puede tener dos funciones principales en el proceso, la primera como agua de mezclado y la segunda como agua de curado. Ambas funciones son evaluadas por la norma NMX C-122, estableciendo los parámetros que deben cumplir las aguas no potables, así como una clasificación de los diversos tipos de agua que existen y sus efectos y limitaciones para ser usadas en concreto.

2.3.A Clasificación del agua

Cuando el agua funciona como un ingrediente en la fabricación de concreto, es decir como agua de mezclado, se puede estimar que el agua ocupa entre el 10 y 25 por ciento de cada metro cúbico de concreto que se fabrica.

Tabla 2.3.A Clasificación del agua (NMX C-122)

Aguas puras	Acción disolvente e hidrolizante de compuestos cálcicos del concreto.
Aguas ácidas naturales	Disolución rápida de los compuestos del cemento.
Aguas fuertemente salinas	Interrumpe las reacciones del fraguado de cemento. En el curado, disolución de los componentes cálcicos del concreto.
Aguas alcalinas	Produce acciones nocivas para cementos diferentes al aluminoso
Aguas sulfatadas	Son agresivas para concretos fabricados con Cemento Pórtland en especial el tipo I.
Aguas cloruradas	Produce una alta solubilidad de la cal. Produce disolución en los componentes del concreto.
Aguas magnesiadas	Tienden a fijar la cal, formando hidróxido de magnesio y yeso insoluble. En la mezcla, inhibe el proceso de fraguado del cemento.
Agua de mar	Produce eflorescencias. Incrementa la posibilidad de generar corrosión del acero de refuerzo.
Aguas recicladas	El concreto puede acusar los defectos propios del exceso de finos
Aguas industriales	Por su contenido de iones sulfato, ataca cualquier tipo de cemento
Aguas negras	Efectos imprevistos



Fig. 2.3-1 Características del agua para la mezcla de concreto

2.3.B Características físicas y químicas del agua para la elaboración de concretos (NMX C-122)

El agua no potable empleada para el concreto, en cualquiera de las dos funciones anteriormente mencionadas, y dependiendo del cemento que se utilice, puede clasificarse de acuerdo a las siguientes características:

Impurezas	Cemento	
	Ordinario	Resistente a Sulfatos
Sólidos en suspensión		
• Limos y arcillas	2,000	2,000*
• Finos de cemento y agregados	50,000	35,000*
Cloruros como Cl (a)		
• Concreto con acero de refuerzo	400 ©	600 ©*
• Concreto reforzado en ambientes húmedos	700 ©	1000 ©*
Sulfato como SO_4^{-2} = (a)	3000	3500*
Magnesio como Mg^{2+} (a)	100	150*
Carbonatos como CO_3^{-2}	600	600*
Dióxido de carbono disuelto, como CO_2	5	5*
Alcalis totales como Na^+	300	450*
Total de impurezas en solución	3,500	4,000*
Grasas o aceites	0	0*
Materia orgánica	150 (b)	150 (b)*
pH	no<6	no<6.5

*Límites máximos en ppm.

- (a) Las aguas que excedan los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrán emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no excede dichos límites.
- (b) El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea inferior a 2 de acuerdo con el método de la NMX C-88.
- (c) Cuando se use cloruro de calcio ($CaCl_2$) como aditivo acelerante, debe tomarse en cuenta el dosificado para no exceder el límite de cloruros establecido (ACI 318).

En el caso de agua potable, si no se le aprecia olor, color y/o sabor, puede ser utilizada para la fabricación de concreto sin aplicar verificación de calidad alguna. En forma oficiosa, ya que no existe reglamentación alguna al respecto en el área de concreto, puede realizarse alguna revisión de calidad de este tipo de agua, aplicando para ello un análisis de agua potable del tipo que verifica 32 diferentes parámetros.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.4 Acero de refuerzo

2.4.A Antecedentes

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

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

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

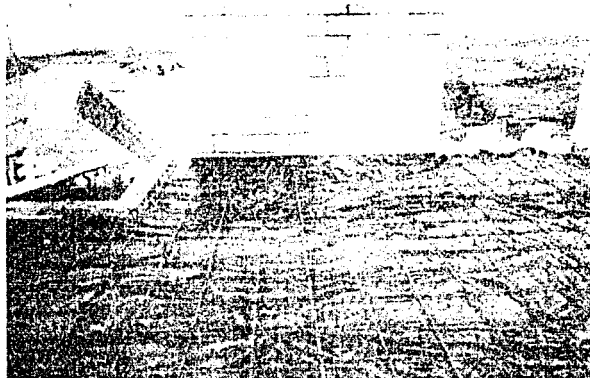


Fig. 2.4-1 Refuerzo de una losa de concreto con varillas comerciales

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.4.B Casos en el uso del acero de refuerzo

La cantidad relativamente pequeña de refuerzo en una losa de concreto, tiene la función de mantener lo más posible unidas las fracturas o grietas cuando éstas aparecen en la losa de concreto.

En los proyectos que se diseñen con espaciamientos normales entre juntas (digamos menores a 4 o 4.5 metros), el acero de refuerzo no es necesario al menos que se busque mantener cerradas las grietas lo mayor posible. Convencionalmente losas de dimensiones normales o pequeñas lograrán controlar de manera adecuada el agrietamiento, reduciendo la contracción total en la losa a un valor lo suficientemente pequeño de manera que la junta de contracción también presente una adecuada trabazón de agregado.

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

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

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

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

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

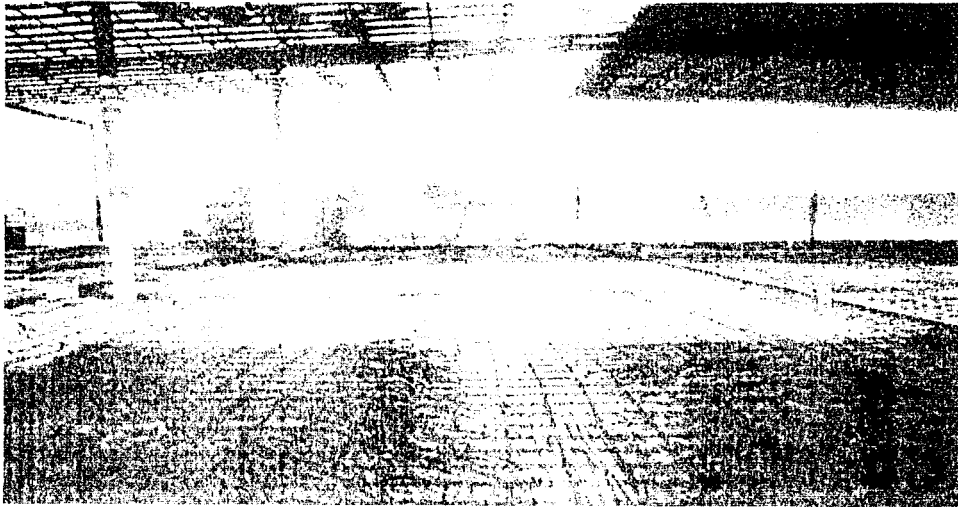


Fig. 2.4-2 Uso del acero de refuerzo en varillas comerciales y pasajuntas en una losa de concreto.

2.5 Componentes adicionales

2.5.A Aditivos

Definición de aditivo: es un material distinto del agua, los agregados o el cemento hidráulico, que se utiliza como ingrediente del mortero o concreto, y que se añade a la revoltura inmediatamente antes o después del mezclado (ASTM C 125).

El uso de aditivos cumple con diversos objetivos que pueden ser los siguientes: modificar a conveniencia las propiedades del concreto en estado fresco, influir en beneficio de algunas características y/o propiedades del concreto endurecido y beneficios de costo.

Para obtener las máximas ventajas en el uso de aditivos, es conveniente tener precauciones con su uso, ya que este tipo de productos puede afectar una o más propiedades del concreto, o bien contribuir a la aparición de efectos indeseables en el mismo. Por estas razones, es importante realizar las verificaciones de calidad antes de utilizarlos, ya que existen situaciones en que ésta evaluación se convierte en una práctica vital, como son los siguientes casos: Tipos especiales de cemento donde está especificada la combinación de dos o más aditivos en una mezcla, o cuando la mezcla y colocación del concreto se realizan en condiciones de temperatura por encima o debajo de las temperaturas recomendadas para la fabricación de concreto.

Tipo de Aditivo	Efectos sobre el concreto
➤ ACELERANTES	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aceleran el desarrollo de la resistencia
➤ INCLUSORES DE AIRE	<ul style="list-style-type: none"> ○ Usualmente mejoran la manejabilidad ○ Disminuyen el sangrado ○ Inducen control de los efectos por congelamiento y deshielo.
➤ REDUCTORES DE AGUA Y CONTROLADORES DE FRAGUADO	
A) Reductor de agua simple	<ul style="list-style-type: none"> ○ Disminuye el contenido de agua
B) Retardantes	<ul style="list-style-type: none"> ○ Inducen un retardo controlado sobre el tiempo de fraguado.
C) Retardante y reductor de agua	<ul style="list-style-type: none"> ○ Induce retardo en el tiempo de fraguado de agua ○ Reducción en el contenido de agua
D) Acelerante y reductor de agua	<ul style="list-style-type: none"> ○ Acelera el desarrollo de la resistencia ○ Reducción en el contenido de agua
E) Reductor de agua de alto rango (plastificantes)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Reduce radicalmente la demanda de agua ○ Puede incrementar el revenimiento sin incremento del agua ○ Incrementa la fluidez de la mezcla
➤ MINERALES FINAMENTE DIVIDIDOS	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mejora la resistencia contra el ataque por sulfatos ○ Reduce la permeabilidad ○ En algunos casos controla la reacción álcali-agregado ○ Disminuye los efectos por lixiviación ○ Producen disminución del calor de hidratación
➤ DIVERSOS	
Formadores de gas	<ul style="list-style-type: none"> ○ Para producir concretos celulares
Para mezclas de inyección	<ul style="list-style-type: none"> ○ Induce estabilidad, reduce la contracción en la mezcla

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Para control de expansión	o Regula la expansión
Adhesivos integrantes	o Aumenta la adherencia de concreto nuevo con endurecido
Auxiliares de bombeo	o Incrementan la cohesión y viscosidad de la mezcla
Repelentes de humedad	o Reducen la velocidad de penetración del agua en el concreto
Reductores de permeabilidad	o Reducen la permeabilidad
Inhibidores de reacción tipo álcali-agregado	o Reducen las expansiones causadas por esta reacción
Inhibidores de corrosión	o Crean bloques electroquímicos para impedir la corrosión del acero de refuerzo.

2.5.B Fibras

A partir de 1960 se incorporaron las fibras metálicas- las de acero principalmente- y las de vidrio para fabricar un concreto consolidado de elementos discontinuos y distribuidos aleatoriamente. Sin embargo, no fue sino en 1971, cuando en Estados Unidos se hicieron los primeros estudios e investigaciones dirigidos al uso del concreto consolidado con fibras, las que desde entonces han sido elementos indispensables en la construcción de pisos industriales de alto desempeño, pavimentos, cubiertas para puentes, concretos lanzados para la estabilización de taludes, revestimientos de túneles, elementos estructurales prefabricados, bóvedas y refractarios, entre otros usos.

Pero aún hay más; nuevas investigaciones han abierto la posibilidad de utilizar otros materiales como son las fibras de polipropileno, las microesferas de poliestireno, la fibra de vidrio y los polímeros, los cuales pueden agregarse al concreto en la planta dosificadora o bien en la revolvedora cuando ésta haya llegado a la obra, después de que se obtiene el revenimiento.

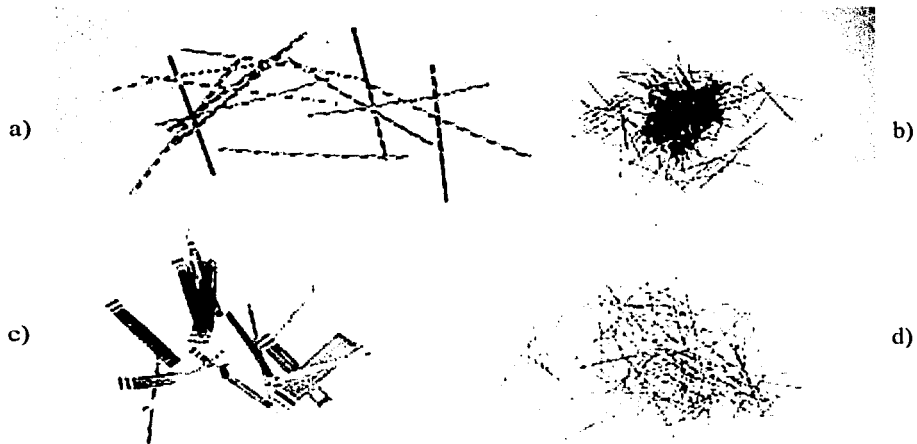


Fig. 2.5-1 Diversos tipos de fibras para el refuerzo de un piso industrial a) metálicas b) plástico, c) carbón, d) vidrio

2.5.B.1 Fibras metálicas

En la actualidad existe en el mercado una gran variedad de marcas de fibras metálicas, dependiendo de su longitud, espesor, ductilidad y sobre todo características propias del proyecto. Sin embargo, las fibras metálicas en general se emplean en el refuerzo de concreto hidráulico, en elementos de concreto lanzado (Shotcrete), y para sustituir el acero de refuerzo convencional en pisos industriales. Lo refuerzan proporcionándole una gran resistencia al agrietamiento, fragmentación, astillado y desgaste por abrasión, así como una mayor resistencia a las fuerzas de tensión y de flexión.



Fig. 2.5-2 Variedad en la forma de las fibras metálicas a) laminadas b) onduladas

Cuando se somete una viga de concreto a grandes esfuerzos, su deflexión aumenta proporcional a la carga, hasta el punto en que ocurre la ruptura. Esto se demuestra en la gráfica, en donde la viga no reforzada falla en el punto A; en cambio, la viga reforzada con fibras metálicas soportará una mayor carga antes de que ocurra la primera grieta, confiriendo a la viga una mayor ductilidad.

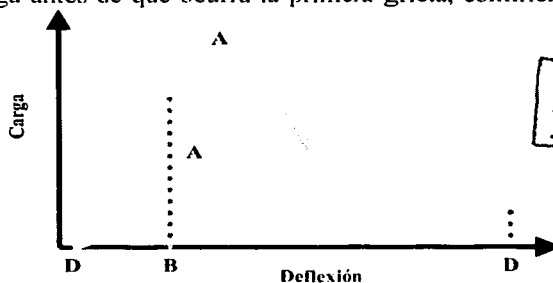


Tabla 2.5.b- 1) Proporcionamiento con fibras metálicas

Pisos industriales	48 a 72
Pavimentos de aeropuertos	80 a 160
Pavimentos de concreto en carreteras	60 a 78
Capas superpuestas para puentes	60 a 95
Lechos amortiguadores de represas	72
Tubos de concreto	60 a 72
Tanques sépticos	24
Muros de retención	24 a 36
Pavimentos de asfalto	12 15

Al reforzar un concreto con fibras de acero, éstas actúan como pequeñas barras de refuerzo, atravesando las grietas y soportando una carga entera aún más grande que la que se necesita para romper una viga. La resistencia a la flexión aumenta de 25 a 100%, dependiendo de la proporción de fibras agregadas a la mezcla, las cuales oscilan en un rango de 0.2 a 2.0% del volumen del compuesto. Su resistencia a la compresión aumenta aproximadamente en 10%. Estas resistencias dependen del espacio entre las fibras (número de fibras por volumen), del grado de adhesión con la mezcla (geometría y deformación de las fibras) y del área de la superficie de la fibra.

Las fibras metálicas con un grado bajo en carbono laminadas en frío, con resistencias a la tensión que varían de 34.5 a 69 kg/cm², con la ductilidad suficiente para permitir dobleces de 180 grados de la fibra sin romperse. Por cada medio kilogramo acero se obtienen 21,000 fibras derechas de 2 centímetros de longitud, o 16,000 fibras derechas de 2.5 centímetros de longitud / m³ de concreto.

Las dimensiones nominales de las fibras estándares son de: 0.25 x 0.69 x 19 mm y de 0.25 x 0.56 x 25 mm de largo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.5.B.2 Fibras de polipropileno

Tiene forma de multifilamentos (fibras individuales) que actúan como un refuerzo tridimensional en el concreto para disipar los esfuerzos dentro de una masa, reduciendo los agrietamientos por contracción plástica en estado fresco, y los agrietamientos por temperatura en estado endurecido. También reducen la segregación de los materiales y la filtración de agua.

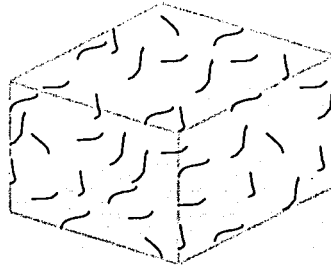


Fig. 2.5-3 Esquematización del mezclado de fibras en concreto

Las fibras actúan dentro de un elemento de concreto, transmitiendo todas las fuerzas de carga y de flexión radialmente, evitando que se generen microgrietas por esfuerzos internos o por gradientes térmicos. Pueden sustituir a la malla electrosoldada en sistemas constructivos como losas de viguetas y bovedillas, capas de compresión en sistemas de losas metálicas, pisos industriales, pavimentos, en elementos prefabricados, en aplanados de mezcla sobre muros de tabique, block o bien, sobre paneles de poliestireno con enrejado metálico. Es muy importante tomar en cuenta el número de fibras por unidad de volumen de concreto.

Si el elemento de concreto requiere además una protección contra la formación de hongos, microbios y bacterias, como es el caso de hospitales, fábricas de alimentos, laboratorios, tanques de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales, granjas, comedores y cocinas, puede usarse

un tipo de fibras en el mercado se conocen como *microbac*, que es una fibra de polipropileno en forma de multifilamentos, diseñada para proteger el concreto contra el ataque de microorganismos. Estas fibras de polipropileno 100% virgen, con un agente antimicrobiano que forma parte integral de su composición, la cual altera la función metabólica de los microorganismos impidiendo su crecimiento y reproducción.



Fig. 2.5-4 Fibras de polipropileno

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

El aditivo de poliestireno, para la fabricación de concreto ligero, se utilizan las esferas de poliestireno expandido llamadas en el mercado *Styrencret*, las cuales están recubiertas con un aditivo especial que mejora su adherencia con el concreto. Estas esferas se distribuyen homogéneamente, obteniéndose un concreto ligero con propiedades termoacústicas que puede llegar a pesar hasta una quinta parte de su peso normal, lo que se reduce el diseño de las secciones de los elementos estructurales. Es impermeable y no es atacado por animales y microorganismos.

Tabla 2.5.b.2-1) Proporcionamiento de concreto ligero con Styrencret y consumo por metro cúbico

Resistencia de compresión (kg/cm ²)	100	200	300	400	500	600	700	800
Resistencia de tracción (kg/cm ²)	100	200	300	400	500	600	700	800
Styrencret	100	300	500	700	800	1000	1200	1500
Cemento (kg/cm ³)	150	300	400	350	500	500	575	600
Arena (kg/cm ³)	100	300	420	570	570	585	500	560
Agua (lit/cm ³)	180	220	235	230	235	235	300	300

2.5.B.3 Fibras de vidrio

Existen en el mercado diversas marcas de fibras de vidrio, pero a continuación comentaré sus características generales y para su mejor comprensión me referiré como ejemplo a una en particular.

La empresa Pilkington ofrece para la construcción una fibra de vidrio resistente a los álcalis llamada Cem-FIL, que fue descubierta por el Building Research Establishment del Reino Unido y se comercializó, bajo la licencia de la Nacional Research Development Corporation.

La fibra Cem-FIL consiste en una especie de hebras entrelazadas o hilos desmenuzados con una longitud que oscila entre 12 y 50 mm que se integran a una mezcla de cemento y arena para fabricar un mortero. Los cementos Pórtland, blanco y de endurecimiento rápido son los más utilizados; se les incorpora arena para reducir el agrietamiento por secado y aditivos fluidificantes, acelerantes, retardantes o incluso de aire, los cuales pueden utilizarse dentro de ciertos límites sin afectar adversamente las propiedades del producto final. Las mezclas con fibra de vidrio ofrecen una alta resistencia al fuego, a la corrosión y al ataque biológico de microorganismos, sin importar las condiciones ambientales a las que se someta el concreto.

Mediante el método de Rocío Pulverizado, se pueden hacer piezas prefabricadas con una mezcla de cemento, arena y fibra de vidrio colocada dentro de moldes, utilizando una pistola manual de pulverización dual de aire comprimido y una bomba dosificadora. Durante el colado, el espesor de cada pieza se controla con pernos calibradores y se compacta con rodillos manuales, para que el material adopte la forma del molde y se suprima el aire atrapado en la mezcla. Los productos fraguados se desmoldan al día siguiente y se curan en un cuarto húmedo durante siete días. Otros métodos importantes pero menos utilizados son el colado en moldes abiertos, moldeo por deslizamiento y moldeo a presión.

Tabla 2.5.B.3-1) Mortero de Cemento Portland y CEM-FIL

Estructura	Arreglos bidimensionales tridimensionales
Proporción de mezcla	8% en peso y 6% en volumen
Niveles de refuerzo de trabajo	6N/mm ² (61kg/cm ²) a flexión y 3N/mm ² (30.5kg/cm ²) a tensión.
Fluencia	Idéntica a la de una mezcla normal de cemento y mortero de arena.
Comportamiento a baja temperatura	No existe efecto negativo después de 48 horas de inmersión en agua seguida por 25 ciclos entre los 250 y 200°C
Permeabilidad en ambientes secos	3 perms métricos después de un almacenamiento de un año.
Permeabilidad en ambientes húmedos	0.51 perms métricos después de un almacenamiento de un año.
Contracción	104 ciclos en punto superior de flexión y mas de 106 ciclos de tensión.
Vidas de fatiga	Mayores de 10 ⁵ ciclos para un nivel de esfuerzo igual al límite de proporcionalidad y mayores a 10 ⁶ ciclos en los niveles normales de esfuerzo de trabajo en flexión.
Peso volumétrico	Entre las 1.7 y las 1.9 ton/m ³
Expansión térmica	10 - 60 k para el material normalmente seco.
Conductividad térmica	Entre 0.5 w/mk para 1.7 ton/m ³ y 1.3w/mk para 2.2 ton /m ³
Sonido	Una sola capa de 10 mm de mortero de cemento y fibra de vidrio de 20 kg/m ² , dá unos índices de reducción del sonido de 22db para 350 hz y de 39db para 4999 hz.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.5.C Colorantes

El uso de pigmentos en pisos industriales es común hoy en día, ofrecen una gran variedad de colores que hará que el usuario y el propietario entren en armonía y confort en las instalaciones. El objetivo del pigmento, es de brindar un color al concreto diferente al gris natural que estamos acostumbrados. La pigmentación para losas de concreto desplantadas sobre el suelo, es una labor que requerirá de un cuidado en el diseño de mezcla y una adecuada supervisión de los trabajos, ya que en algunos casos puede resultar lamentable la adición de éstos compuestos, principalmente debido a los tres factores siguientes:

- Un problema es que los pigmentos sólo le dan el color al mortero (pasta cemento-agregado fino) más no al agregado grueso, dejándolo sin pigmentar; presentando de ésta manera una variación entre pasta y agregados. Esto se debe en gran medida, debido a que los colorantes no son intensos como para dar un color uniforme al concreto.
- Un segundo problema asociado al uso de los colorantes que deberá tomarse muy en cuenta, es la aparición de la eflorescencia. La eflorescencia es la aparición de manchas salitrosas superficiales en las losas de concreto, debido principalmente a la reacción química entre agregados y cemento, más no por la adición de colorantes. Aunque su uso hace más notorio este fenómeno.
- El tercer problema, es conseguir un color uniforme y constante durante todos los colados del concreto para el piso industrial. Pequeñas variaciones de color en el concreto debidas a un deficiente mezclado o una inconsistencia en la pigmentación, resultarán evidentes en el concreto endurecido, dando la apariencia de manchas por suciedad, oxidación y/o humedad en los pisos industriales.

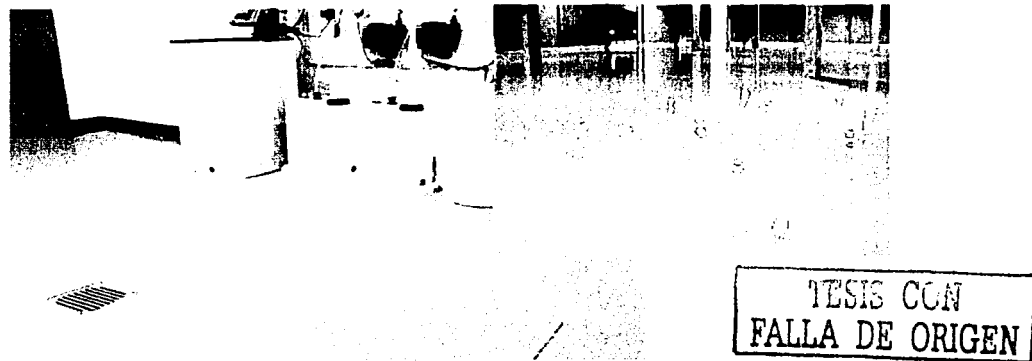


Fig. 2.5-5 Diseño de la mezcla de concreto con el uso de colorantes para un laboratorio químico

El uso de colorantes en los concretos, debe ser estudiado cuidadosamente por parte del diseñador, constructor, propietario y empresas concreteras en conjunto, ya que evidentemente resultará un sobrecosto por su uso y una supervisión adicional durante la construcción de los pisos industriales.

Se recomiendan colados previos en losas prueba, con el objeto de verificar: revenimiento, temperatura y color del concreto endurecido. Esto puede proveer un aseguramiento de la pigmentación del concreto entre el propietario principalmente y un ahorro sustancial por demoliciones y reparaciones.

2.6 Propiedades del Concreto

Debido a que muchas de las propiedades del concreto afectan de manera directa la calidad y comportamiento de los pisos industriales, se deben estudiar con mucho cuidado las propiedades del concreto en su estado plástico (fresco) y endurecido.

En éste capítulo hablaré de éstos dos estados del concreto, tanto en la primera o segunda condición son importantes ya son las mismas para todos los tipos de concretos. Por citar un ejemplo, una importante propiedad de los concretos se debe al coeficiente de dilatación térmica, que es la tasa de expansión y contracción del concreto debido a un gradiente térmico, por lo que no importa el tipo de concreto, el valor siempre será de $13 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ ($6.5\text{-}7.5 \times 10^{-6}\text{ } ^\circ\text{F}$).

Las siguientes son las variables más importantes para la construcción de un piso:

Propiedades en Estado Fresco	Propiedades en Estado Endurecido
<ul style="list-style-type: none"> > Relación agua-cemento > Trabajabilidad (revenimiento) > Sangrado > Flujo plástico (consolidación) > Acabado (ver cap. V) 	<ul style="list-style-type: none"> > Resistencia (compresión, tensión, flexión, esfuerzo cortante e impacto) > Módulo de elasticidad > Contracción por secado > Fatiga

El acabado del concreto se describirá a detalle en el capítulo V.

FALLA DE ORIGEN

2.6.A Relación agua-cemento

Esta relación se debe a la proporción de agua a cemento en peso en el concreto en su estado fresco. Para la construcción de pisos industriales, la relación usualmente varía de 0.40 a 0.60, evidentemente variará en razón de las cargas máximas dinámicas y estáticas de diseño, con módulos de ruptura variables.

Para relaciones agua-cemento muy altos, es decir, de 0.70 a 0.80, se tendrán concretos pobres, con muy baja capacidad de resistencia a la flexión y una elevada probabilidad a la contracción. A decir verdad, se cree que una baja relación agua cemento resulta el mejor diseño de mezcla, puede ser hasta cierto punto contradictorio en ciertos casos, sobre todo en el factor económico, cuya finalidad sea la maximización de los materiales a un menor costo.

En contraparte, para relaciones agua-cemento bajos, produce un menor revenimiento y en consecuencia deriva en la dificultad de colocación y compactación. Además éste tipo de mezclas son difíciles de darles un acabado superficial y a menudo producen superficies con deficiente nivelación y resistencia a la abrasión. Y si nos vamos a relaciones aún más bajas, corremos el riesgo que la mezcla no contenga la suficiente agua para hidratar la cemento por completo.

Distinto a muchas estructuras hechas de concreto, los pisos industriales tienen una enorme área expuesta al secado al momento de que es colado el concreto. Debido a ello, la relación agua cemento variará con respecto al diseño de mezcla, principalmente por los factores ambientales in situ. Por lo tanto, la relación agua-cemento "ideal" variará, tomando en consideración tipo de agregados, aditivos, factores ambientales, equipos de acabado superficial y experiencia del constructor. Pero aún así, ésta relación se recomienda por lo general de 0.50. El Instituto Americano del Concreto (ACI), recomienda una relación agua-cemento de 0.50 para concretos sujetos a periodos de

congelamiento y descongelamiento y 0.45 para concretos sujetos a condiciones extremas, como por ejemplo, la presencia de minerales de sal en la estructura de soporte. Sin embargo, como sabemos la mayoría de los pisos no estarán sujetos a estas condiciones.

2.6.B Trabajabilidad (revenimiento)

De acuerdo al Instituto Americano del Concreto, la trabajabilidad es la propiedad de la mezcla de concreto fresco, que determina la facilidad en las operaciones de mezclado, colocación, compactación y terminado el concreto.

La definición del ACI es buena para casi todos los tipos de concretos. Pero para la construcción de pisos industriales, la trabajabilidad y el acabado son distintas propiedades. La trabajabilidad del concreto es la facilidad que se logra en la colocación, compactación y perfilado del concreto; mientras que para las operaciones del terminado es la facilidad que se logra durante el perfilado, flotado y allanado, que más tarde hablaré de ellas en el capítulo V.

Además un factor importante en la trabajabilidad es la facilidad que se tenga para una fácil compactación, la cual indica que se conserve al mínimo el aire atrapado en la mezcla. Las mezclas de concreto definidas con un alto grado de trabajabilidad, a menudo son descritas como "húmedas" y por el contrario las mezclas de baja trabajabilidad, son denominadas como "duras o secas".

La trabajabilidad es usualmente referida a diversas pruebas de normalización estándar, ya que no todos los concretos se adecúan a una determinada prueba. El siguiente listado de pruebas comienza en forma ascendente el grado de trabajabilidad del concreto.

- Prueba de factor de compactación
- Prueba de revenimiento
- Prueba de penetración de la pelota
- Prueba de revenimiento K
- Prueba de fluidez

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.6.B.1 Determinación del revenimiento en estado fresco NMX C-156-88

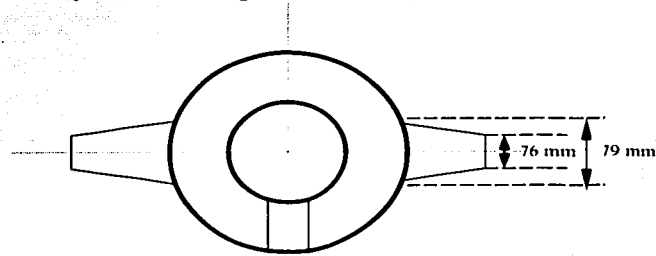
Sin lugar a dudas, es la prueba más conocida para la determinación de la trabajabilidad del concreto. Así como el sólo hecho de mencionar la resistencia del concreto es sinónimo a su resistencia a compresión, así mismo equivale a decir la trabajabilidad del concreto, es sinónimo de la prueba de revenimiento. Esto es erróneo, pero mucha gente así lo refiere.

Equipo:

1. Se realiza por medio de un cono metálico o cualquier otro material no absorbente y no susceptible de ser atacado por la pasta de cemento. El cono debe tener la forma de un cono truncado de 20 cms de diámetro en la base inferior, 10 cms en la base superior y 30 cms de altura. La base y la parte superior deben ser paralelas entre sí y deben formar un ángulo recto con el eje longitudinal del cono. Debe estar provisto de 2 estribos para apoyar los pies y de dos asas para levantarlo. La superficie interior del molde debe ser lisa, libre de protuberancias, o remaches; el cuerpo del cono no debe tener abolladuras y puede estar fabricado con junta o costura. El molde puede estar provisto de

abrazaderas o bridas en la parte inferior para sujetar a una base de material no absorbente.

2. La varilla de compactación, es una barra de acero de sección circular, recta, lisa de 16 mm (5/8 de pulgada aproximadamente) de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, con uno de los dos extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
3. Equipo auxiliar: pala cucharón, guantes de hule y cinta métrica.



Cono de revenimiento, vista en planta

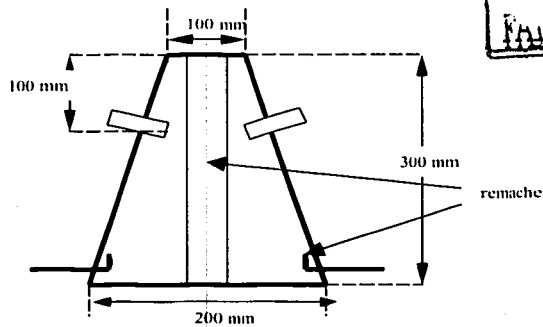


Fig. 2.6-1 Cono metálico para la prueba de revenimiento

Preparación de la muestra NOM C- 161

1. Después de haber obtenido la muestra, remezclar el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer la prueba inmediatamente.
2. Se humedece el molde y se coloca sobre una superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente. El operador lo debe mantener firme en su lugar durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde. A continuación se llena el molde en tres capas de aproximadamente el mismo volumen. La primera capa corresponde a un volumen de aproximadamente el mismo volumen. La primera capa corresponde a un volumen de aproximadamente 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente de los 15 centímetros y la tercera al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla, introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidas uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla

- ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro.
3. Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor de manera que la varilla penetre en la capa interior aproximadamente 2 centímetros, para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima y/o vigésima penetración se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical. La operación de levantar completamente el molde los 30 centímetros de su altura, debe hacerse en 5 más-menos 2 segundos, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torcional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 minutos. Se mide inmediatamente el revenimiento, determinado el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen. Si alguna porción del concreto se desliza y cae hacia un lado, se desecha la prueba y se efectúa otra con una nueva porción de la misma prueba.
 4. Si dos pruebas consecutivas hechas de la misma prueba presentan fallas al caer parte del concreto a un lado, probablemente el concreto carece de la necesaria plasticidad y cohesividad; en este caso no es aplicable la prueba de revenimiento.
 5. El revenimiento se debe medir con una aproximación de 1 centímetro. En esta prueba, se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 a 20 centímetros.

2.6.B.2 Prueba de revenimiento K

La prueba de revenimiento K, consiste en un tubo de acero perforado y en su interior una varilla graduada permitiendo que el mortero entre en los orificios del tubo hasta la punta de éste. Un tope o pestaña indica el límite al cual se introducirá el tubo en el concreto. La varilla graduada es de plástico ligero calibrado a lo largo de su longitud en centímetros.

El operador inserta el muestreador en el concreto fresco por encima de la pestaña, un gancho mantiene la medida de la varilla, asegurándose que quede por encima de la superficie. Se deja esperar 60 segundos, con el objeto que el concreto fluya a través de los agujeros y el nivel sea verificado por la varilla. Una alta trabajabilidad significará una mayor filtración. Una vez cumplido los 60 segundos, se introducirá la varilla para verificar el nivel de mezcla; a ésta medición se le llama, la prueba de revenimiento K.

La prueba de revenimiento K es reportada en centímetros. Para lecturas grandes, significará que el concreto tendrá una mayor manejabilidad. En la construcción de pisos industriales, la prueba de revenimiento K, comúnmente se encuentra entre los 2 y 6 centímetros. La prueba medida en centímetros, es a grandes rasgos, equivalente a su medición en pulgadas. Las siguientes expresiones, expresan mejor estas condiciones:

$$S = 1.52 + 24.9 K \quad \text{revenimiento en milímetros}$$

S = revenimiento en milímetros, medido.
K = revenimiento K en centímetros

$$S = 0.06 + 0.98 K \quad \text{revenimiento en pulgadas}$$

S = revenimiento en milímetros, medido.

K = revenimiento K en centímetros

Las tres ventajas de esta prueba sobre la de cono son las siguientes:

- Es ligeramente más fácil de usar
- Es más rápida
- Puede ser elaborada ya colocado el concreto, en carretillas, o en los camiones revolvedores.

2.6.B.3 Prueba de penetración de la pelota

Al igual que la prueba de revenimiento K, la penetración de la pelota es un método alternativo de fácil aplicación y rapidez.

La pelota tiene una forma hemisférica con una masa de 14 kg (30 lb) y un radio de 76 mm (3 in). Un marco mantiene la forma vertical del balón.

Esta prueba consiste en la penetración de la pelota en la superficie del concreto en forma gradual, midiendo el desplazamiento que se tenga sobre la mezcla. La penetración, en milímetros o pulgadas es el resultado de la prueba. Evidentemente, al igual que la prueba K, una penetración grande significará una gran trabajabilidad en el concreto.

2.6.B.4 Prueba de fluidez

Ninguna de las pruebas mencionadas anteriormente son útiles con el uso de superfluidizantes. Si el diseño de la mezcla, requiere revenimientos mayores a 15 centímetros (6 in), la prueba de fluidez es la mejor manera para obtener su revenimiento.

Esta prueba es originaria de Alemania y consiste en los siguientes pasos:

1. Coloque el cono de revenimiento truncado al centro de la tabla de 70 x 70 centímetros
2. Llene el cono de concreto en dos capas, apisonando cada capa 10 veces con una varilla de madera.
3. Espere 30 segundos
4. Eleve el cono y colóquelo a un costado de la tabla
5. Eleve la tabla 4 centímetros y déjela caer. Repita la operación 15 veces en 15 segundos.
6. Mida el promedio del diámetro del concreto.

En conclusión se puede decir, que existen varios métodos para la determinación del revenimiento en la mezcla de concreto. Pero cuál debería ser el revenimiento esperado para la construcción de pisos industriales? Las recomendaciones estándares de revenimiento son bajas, de 5 a 7.5 centímetros, ya que en muchos de los casos se ha visto que producen un buen acabado en los pisos.

En la práctica, la trabajabilidad es a menudo controlada por una determinada especificación en el acabado. Aunque el concreto haya sido bien cuidado durante los procesos de mezclado, vaciado y colado, y aún teniéndose un bajo revenimiento, será necesario de un adecuada mano de obra y supervisión estricta de los trabajos. El acabado y sus procesos, se verán mas adelante en el capítulo V.

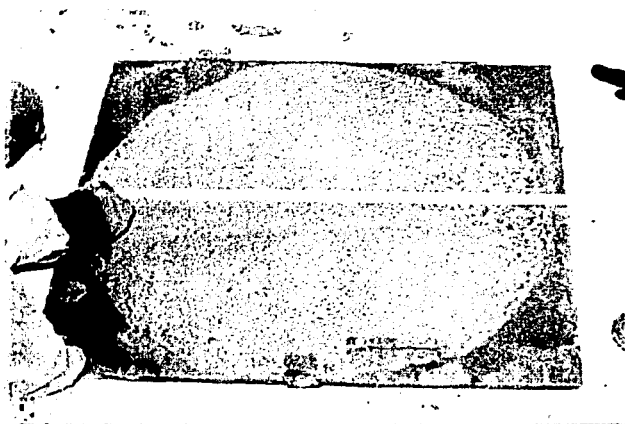


Fig. 2.6-2 Características de los concretos fluidos o de bajo revenimiento, prueba de fluidez.

2.6.C Sangrado

El sangrado se debe, a la acumulación del agua en la superficie de la mezcla de concreto en su estado plástico. El concreto “sangra” debido a que el agua es el componente más ligero en la mezcla y los componentes más pesados tenderán a asentarse en el fondo. Si el agua sube a la superficie del piso más rápido que lo que pueda evaporarse, entonces se dice que el concreto está sangrando.

Unas de las inconveniencias del sangrado en los pisos industriales, es que no se puede llevar a cabo el acabado a menos que el agua de la superficie desaparezca. Si el piso es flotado o allanado en presencia de agua, se producirá una superficie con baja resistencia a la compresión y abrasión.

Un excesivo sangrado, puede causar problemas en la construcción de los pisos industriales, es por ello, que resultará un factor muy importante la experiencia del constructor, el decidir cuando deba iniciarse el acabado superficial del piso, aún en presencia de agua. A continuación se presentan dos maneras para tratar un sangrado excesivo:

- a) Una manera consiste, en remover el agua superficial de la losa de concreto, ya sea en forma manual, arrastrando una manguera rugosa a lo largo de la superficie; o en forma mecánica, mediante el calentamiento del aire, induciendo así la evaporación del agua. El uso de ventiladores de aire caliente, es un buen método aunque resulte un poco difícil evaporar toda la superficie de concreto en forma homogénea.
- b) La segunda opción es la modificación en el diseño de mezcla del concreto.

Para casos de emergencia extrema, se puede salvar la superficie del piso, espolvoreando una mezcla 1:1 de cemento y arena (nunca cemento sólo) y trabajando la superficie con una flota. Aunque cabe aclarar que éste método no se recomienda debido a ser netamente empírico y el alcance radica en el operador.

2.6.D Flujo plástico

Es el movimiento natural descendente que tiene el concreto, causado por la reducción de volumen. Se debe principalmente al tiempo de mezclado del concreto, la evaporación del agua y la pérdida del aire atrapado. Ocasionalmente, se puede presentar un diferencial de volumen debido a la existencia de una zona blanda en la capa base o sub-base, además por una mala compactación o la presencia de un lente de material compresible en el lugar.

El flujo plástico, es diferente a la contracción por secado. Ambos presentan variaciones volumétricas en el concreto, pero el asentamiento es una propiedad innata del concreto en su estado fresco, mientras que la contracción por secado, ocurre solo en el material endurecido. La contracción por secado ocurre en todas direcciones, mientras que el flujo plástico o consolidación del concreto, ocurre en dirección vertical descendente. Es importante aclarar, el flujo plástico, es diferente al asentamiento estructural, ya que éste último es debido a largo plazo con la condición de carga.

Se han realizado investigaciones demostrando que la consolidación o flujo plástico, es proporcional al espesor de la losa de concreto. Para losas menores a 15 cms (6 in), raras veces éste fenómeno causará problemas. Los problemas comienzan cuando las losas tengan espesores mayores a los 30 cms (12 in) y sean coladas monolíticamente.

Los problemas que se pueden presentar debido a la consolidación (asentamiento plástico) son los siguientes:

- Agrietamiento en la losa
- Un deficiente acabado superficial, una superficie no plana.

Ocurre más continuamente el agrietamiento en pisos industriales con acero de refuerzo, debido a que el concreto se consolida, mientras que el acero no. Este fenómeno hace que la superficie de la losa resulte menos plana, debido a que no siempre resulta homogénea la consolidación a largo del colado. Un problema adicional debido a la planicidad, ocurre en los bordes; estos por lo general no resultan al igual que la superficie además se presenta el alabeo natural de la losa por efecto del secado, incrementando la falla en éstos sitios.

Como el flujo plástico se debe en gran parte a deformaciones de la pasta de cemento, la cantidad de ésta por unidad de volumen es una variable importante.

En la figura 2.6-3, se observa que la deformación debida al flujo plástico aumenta con la duración de la carga. También se ha observado que, para un mismo nivel de carga, las deformaciones disminuyen al aumentar la edad a que ésta se aplica.

Otros factores que afectan a las deformaciones por flujo plástico son las propiedades de los materiales constituyentes del concreto, las proporciones de la mezcla y la humedad ambiente.

Es interesante mencionar que, como el flujo plástico aumenta con el nivel de carga, este fenómeno tiende a aliviar las zonas de máximo esfuerzo y, por lo tanto, a uniformar los esfuerzos en un elemento.

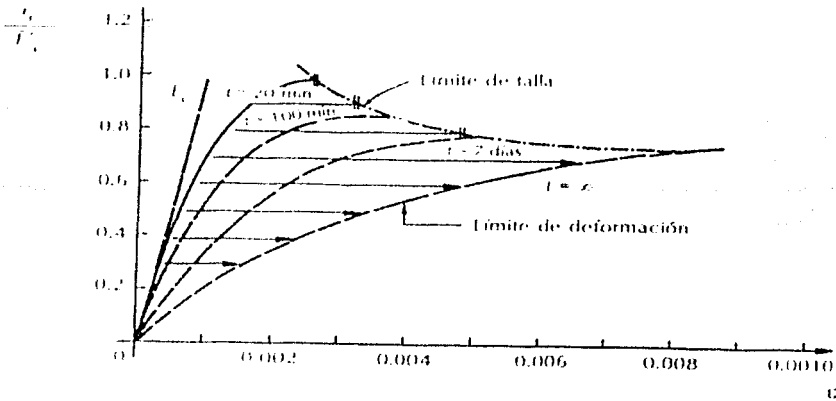


Fig. 2.6-3 Efecto de la permanencia de la carga'



2.6.E Resistencia del concreto

Una de las propiedades más importantes de los materiales, es debido a su resistencia. Debido a que el concreto usado en los pisos industriales es más que un material estructural, no debe considerarse esta propiedad en forma aislada de las demás. La resistencia es definida como el esfuerzo necesario para hacer que el concreto falle. Sus unidades más comúnmente usadas son los mega pascales MPa. (1 MPa = 1 N/mm²), aunque en Norteamérica se describe la resistencia en libras sobre pulgada cuadrada, abreviadas psi.

Para el diseño de piso industrial, se siguen los siguientes tipos de resistencia del concreto:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la tensión
- Resistencia al esfuerzo cortante

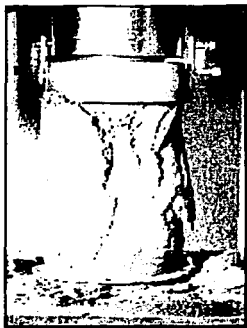
2.6.E.1 Resistencia a la compresión

Comúnmente se habla del concreto o de la resistencia que tiene éste, pero en la mayoría de los casos, a ésta propiedad también se le denomina "la calidad del concreto o grado del concreto", aunque lo único cierto es que se refiere a la capacidad del elemento a soportar cargas axiales por aplastamiento a lo largo de su vida útil sin llegar a la falla.

En el Reino Unido, las pruebas necesarias en la medición de la resistencia a la compresión, se realizan mediante cubos de concreto endurecido de 15 cms (6 pulgadas). En Norteamérica, el cubo es reemplazado por un cilindro de 15 cms (6 pulgadas) de diámetro y 30 (12 pulgadas) de alto. Debido a que un cilindro con éstas características, es más débil a la compresión que un cubo del

' Rüsçh, H "Researchers Toward a Flexural Theory for Structural Concrete" Journal of the American Concrete Institute, Detroit, Julio 1980

mismo material. La mayoría de los valores de las resistencias en los cubos o cilindros a compresión se obtienen a los 28 días después del colado, aunque en algunos casos, se recomiendan ensayos a los 90 días, representando un 10% más que en los primeros. En el caso de concretos de alta resistencia a edad temprana, la variación de 10% puede ser aún menor.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.6-4 Falla en compresión de un cilindro de concreto.

En el caso de los pisos industriales se alcanzan resistencias a los 28 días de, 20-40 Mpa (2500-5000 psi). Para resistencias superiores a los 40 MPa (5000 psi) son raramente usadas en losas de gran espesor, debido principalmente a su costo y a la contracción por secado que se presenta de manera evidente en estos tipos de losas.

En el diseño de pisos resulta de suma importancia el conocimiento de esta propiedad, aunque cabe aclarar que los pisos se diseñarán especificando un módulo de ruptura, que más adelante especificaré.

Evidentemente existe una relación, entre la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura o resistencia a la flexión del concreto. Para tener una idea de las relaciones entre ambas propiedades, se dice que el módulo de ruptura o la capacidad del concreto a la flexión, resulta entre un 10-12% de su capacidad a la compresión. Es decir, el diseño se basará en la capacidad que tendrá la losa de soportar cargas dinámicas por efectos de los montacargas, traduciéndose en deformaciones por flexión a lo largo de su trayectoria. Resulta evidente aclarar que la resistencia a la compresión no será el único valor estimado para el cálculo, además se tomarán en cuenta el módulo de ruptura y su capacidad al cortante principalmente.

Las curvas esfuerzo-deformación se obtienen del ensayo de cilindros sujetos a carga axial repartida uniformemente en la sección transversal mediante una placa rígida. Los valores de esfuerzo resultan de dividir la carga total aplicada, P , entre el área de la sección transversal del prisma, A , y representan valores promedio obtenidos bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme y de que las características esfuerzo-deformación del concreto son constantes en toda la masa. El valor de la deformación unitaria, ϵ_c , es la relación entre el acortamiento total, a , y la longitud de medición, l .

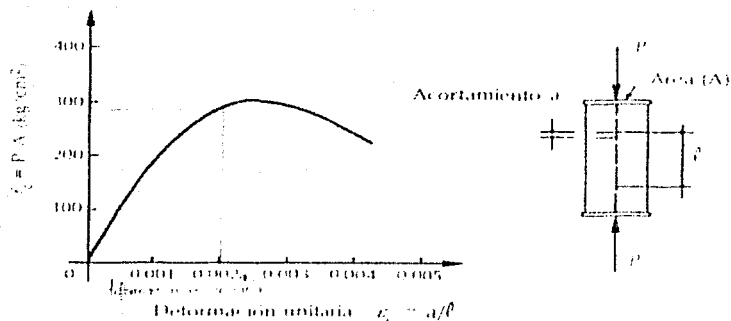


Fig. 2.6-5 Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración.

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente, después del colado. Por lo tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo. La figura 2.7-6 muestra curvas esfuerzo-deformación de cilindros de 15x30 cm, fabricados de un mismo concreto y ensayados a distintas edades. Todos los cilindros fueron curados con las mismas condiciones hasta el día del ensaye. Las curvas se obtuvieron aplicando incrementos de deformación constantes.

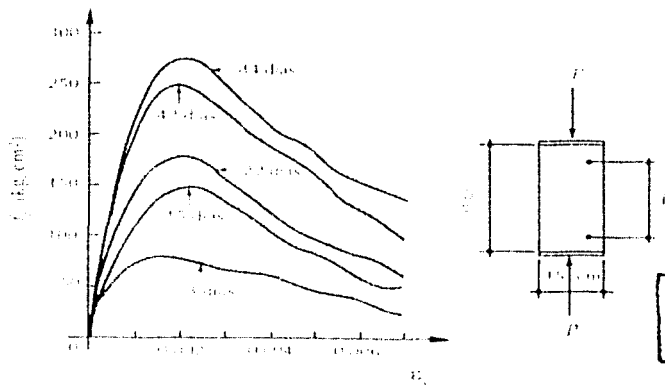


Fig. 2.6-6 Efecto de la edad al ensaye de la resistencia en cilindros de concreto.

2.6.E.2 Resistencia a la flexión

Es la habilidad del concreto a resistir deformaciones por la aplicación de cargas. La prueba comúnmente usada para probar la flexión de un elemento de concreto, se realiza colocando una viga apoyada en sus extremos y colocando cargas a los tercios de ésta. Las dimensiones de la viga son de 15x15x60 cms (6 x 6 x 24 in) pero también pueden usarse otros tamaños para la realización de la

prueba. Como habíamos mencionado anteriormente la resistencia a la flexión está expresado por el módulo de ruptura, tomado de la siguiente expresión:

$$MR = M c / I$$

donde:

MR= módulo de ruptura o resistencia a la tensión por flexión,
 M= momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada,
 C= el medio peralte
 I= momento de inercia de la sección transversal del prisma

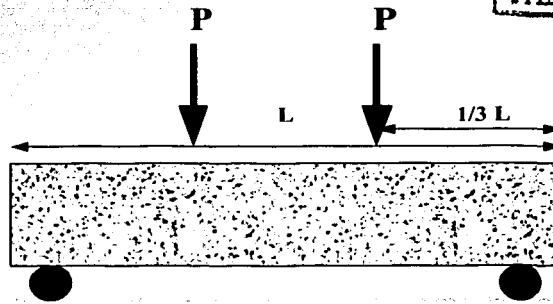


Fig. 2.6-6 Prueba estándar del concreto a la resistencia a la flexión

En ésta prueba se puede observar que se generan esfuerzos de compresión y tensión en la viga, de igual manera pasaría en una losa de concreto. La falla a flexión, siempre ocurre en las fibras de tensión, debido a que el concreto resiste esfuerzos a compresión pero no a tensión, de ésta manera el esfuerzo a flexión es algunas veces llamado “esfuerzo de flexión por tensión”. Se ha observado que el esfuerzo máximo de rotura 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 módulo de ruptura como medida de la resistencia a la tensión, tiene varias desventajas. La principal es que el punto de tensión máxima se presenta en la superficie externa del espécimen, que está sujeta en forma importante a esfuerzos de contracción originados por cambios en el ambiente. El ACI recomienda utilizar la siguiente ecuación para calcular la resistencia a flexión en términos de la resistencia a compresión

$$f_r = g_r [W_c f'_c]^{1/2}$$

donde:

W_c = peso volumétrico del concreto en kg/m^3

g_r = factor que puede variar de 0.04 a 0.07 dependiendo del tipo de concreto (0.012 a 0.021 para W_c en kg/m^3 y f_r y f'_c en Mpa). Un valor usual aproximado es $\zeta = 2 f'_c$

2.6.E.3 Resistencia a la Tensión

Es la habilidad que tiene el concreto de soportar fuerzas actuantes de sentido contrario, que tiendan a alargar el elemento de concreto. Aunque no es común que se prueben cilindros de concreto sujetos a la tensión axial, ya que es difícil de obtenerlos. El esfuerzo de tensión es en algunas ocasiones definido en términos de las pruebas del esfuerzo a flexión.

Para concreto en tensión axial, tanto las resistencias como las deformaciones correspondientes son aproximadamente del orden de una décima parte de los valores respectivos en compresión axial. Sin embargo, la relación no es lineal para toda la escala de resistencias.

Para la realización de la prueba, se requiere de un cilindro de concreto de 15 cms de diámetro y 30 cms de alto, del mismo modo que se obtienen para las pruebas a la compresión. El esfuerzo a tensión es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$f_{ct} = 2 P / dl$$

Donde:

- f_{ct} = concreto sujeto a tensión, en Mpa (o psi)
- P = carga necesaria, en N (o lb)
- d = diámetro del cilindro, en cms (o in)
- l = longitud del cilindro, en cms (o in)

Existe además una relación estrecha entre la capacidad que tiene el concreto a soportar cargas a compresión con los esfuerzos a tensión. Tal relación se describe a continuación:

$$f_{ct} = 1.5 f'c \quad \text{para concretos de clase 1}$$

$$f_{ct} = 1.2 f'c \quad \text{para concretos de clase 2}$$

donde:

- f_{ct} = concreto sometido a la tensión, en Kg/cm²
- $f'c$ = concreto a la compresión, en Kg/cm²

En realidad, el concreto no es elástico y, además, la resistencia en tensión que se mide no es la resistencia en tensión uniaxial como la que se obtendría en el ensaye mostrado. Sin embargo, lo que se pretende es tener una medida de la resistencia del concreto a la tensión por medio de un ensaye fácil y reproducible por muchos operadores.

2.6.E.4 Resistencia al esfuerzo cortante

Es la habilidad que tiene el concreto a soportar esfuerzos en forma perpendicular al plano de tal manera que tiendan a cortar la superficie de concreto en 2 partes, sin sufrir falla alguna.

La determinación de la resistencia del concreto simple a un estado de esfuerzo cortante puro, no tiene mucha importancia práctica, porque dicho estado implica siempre la presencia de tensiones principales de la misma magnitud que el esfuerzo cortante, las cuales originan la falla cuando el elemento podría aún soportar esfuerzos cortantes mayores.

Aunque no existe una prueba estándar para la medición al esfuerzo cortante, algunas expresiones asumen que la capacidad de un elemento de concreto sometido a tensión resulta cuantitativamente similar a la resistencia al cortante y que ambas son proporcionales a la raíz cuadrada del esfuerzo a la compresión. Algunos procedimientos indirectos indican que la resistencia al esfuerzo cortante es del orden del 20% de la resistencia a la compresión.

Cabe mencionar que las losas de concreto para pisos industriales, se verán sometidas a éstos tipos de esfuerzos, debido a las cargas actuantes en los racks.

2.6.E.5 Resistencia al impacto

En todas la pruebas mencionadas anteriormente, para lograr las resistencias máximas permisibles las cargas son aplicadas en forma gradual, de tal manera que las losas no se verán sometidas a cambios bruscos por la acción de carga. Pero en realidad, es que en algunas ocasiones, la carga será colocada en forma casi instantánea. Por citar un ejemplo, como ya es bien sabido, el uso de los pisos industriales, es el almacenamiento de mercancías, pues bien, en los procesos de carga y descarga de racks los efectos que se producen en las losas son de cargas instantáneas sobre un área determinada; así mismo, se presentan accidentes como caídas de pesadas mercancías en las maniobras de estiba. Ante tales condiciones de carga el ingeniero estructurista y de mecánica de suelos, deberán de tomar en consideración estos factores para el diseño de la losa de concreto sometida al impacto.

Existe una prueba no muy común para la determinación de la resistencia al impacto en estructuras de concreto. Esta prueba consiste en dejar caer un martillo de 4.5 kg (10 lb) a una altura de 46 cms (18 in) golpeando una bola de acero en contacto con el cilindro de concreto de 15 centímetros de diámetro. El cilindro es golpeado repetidamente hasta la falla. El operador registra el número de impactos sobre el cilindro al momento de la aparición de la primera grieta y el número de impactos hasta alcanzar la falla.

Una elevada resistencia a la compresión del concreto, no siempre implicará una buena resistencia al impacto, es decir, no existe una relación estrecha entre ambas propiedades. Un concreto de alta resistencia puede no ser adecuado para soportar cargas por impacto. Se ha demostrado, en casos prácticos que un adecuado diseño de los pisos industriales ante dicha condición de carga, no se verá afectado si es diseñado adecuadamente por flexión por tensión o módulo de ruptura (MR).

2.6.F Módulo de elasticidad

Se refiere a la propiedad del concreto endurecido a soportar cargas con deformaciones elásticas. En otras palabras, si nosotros graficamos esfuerzos contra deformaciones, encontraremos que a medida que aumentan los primeros se tendrá en forma gradual deformaciones hasta cierto punto, es entonces que se dice que se ha llegado a la línea recta del límite elástico del concreto. El módulo de elasticidad o elástico del concreto, es la tangente de la recta de la gráfica. Su expresión es la siguiente:

$$E = f'c / DL$$

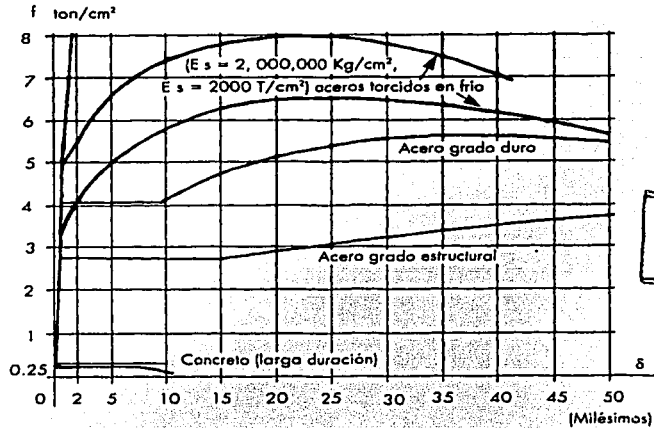
donde:

E = módulo de elasticidad, en kg/cm^2 (o psi)

F'_c = resistencia del concreto a la compresión, en kg/cm^2 (o psi)

D = cambio longitudinal de un espécimen de concreto, mm (o in)

L = longitud inicial del espécimen de concreto, mm (o in)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.6-7 Curvas comparativas para la obtención de módulos elásticos del acero y concreto.

Es común que en los pisos industriales, tengan módulos de elasticidad entre 25,000 MPa y 33,000 MPa (3.6×10^6 psi y 4.8×10^6 psi).

2.6.G Contracción por secado

La contracción del concreto aparece inmediatamente después de que haya terminado el período de curado. Este comienza a secarse y posteriormente se contrae. La contracción por secado tiene un enorme efecto sobre las losas desplantadas en el terreno natural, causando agrietamiento, alabeos o ambos.

Es por ello, que es muy fácil que aparezcan agrietamientos en las losas de concreto en pisos industriales, ya sea por las características de las capas base y concreto, diversas acciones de carga y la calidad en la construcción. La mayor parte de la contracción anticipada del concreto ocurre a muy temprana edad. El calor de hidratación y temperatura normalmente alcanza su valor máximo muy poco tiempo después de su colocación y una vez alcanzado, la temperatura del concreto baja, debido a la reducción de la actividad de hidratación y también debido al efecto de la baja temperatura ambiente durante la primera noche del colado del concreto.

Otro factor que contribuye a la contracción inicial es la reducción de volumen por la pérdida de agua en la mezcla. Durante la consolidación y el fraguado, la mayor parte del agua en exceso sangra a la superficie y se evapora provocando que el concreto ocupe menos volumen.

La fricción de la subrasante o terreno de apoyo se resiste a la contracción del concreto, por lo que se presentan en el interior algunos esfuerzos de tensión, los cuáles, de no ser considerados, pueden provocar grietas transversales.

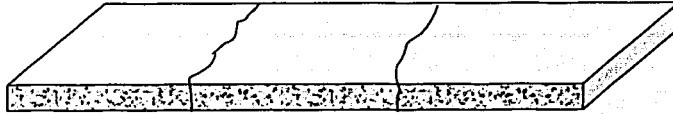


Fig. 2.6-8 Agrietamiento inicial del concreto sin el uso de pasajuntas

Los valores de la contracción por secado varían del orden de 0.004% a 0.10% de longitud y ancho de la losa de concreto. Un consideración importante es, que el fenómeno de contracción nunca podrá ser eliminado, pero si minimizado. A continuación se hace referencia a algunas recomendaciones para lograrlo:

- Usando un tamaño mayor de agregado
- Evitar agregados reactivos
- Uso del agua en cantidades menores en el diseño de mezcla (afectará la trabajabilidad y operaciones en el terminado superficial)
- Uso de menos cemento (afectará la resistencia y la trabajabilidad)

En algunos casos, resultará útil conocer cuanto se contraerá el concreto y en base a ello, optar por la más conveniente técnica de construcción. Se podrán utilizar las siguientes ecuaciones para estimar el porcentaje de contracción última por secado. Estas ecuaciones asumen que el concreto es colado con un revenimiento de 10 centímetros o menos y que la losa de concreto tendrá un espesor menor a 15 centímetros.

$$\begin{aligned}
 s &= 100 t / (35 + t) && \text{para } H = 40 \\
 s &= (1.40 - 0.001 H) [100 t / (35 + t)] && 40 < H \leq 80 \\
 s &= (3.0 - 0.3 H) [100 t / (35 + t)] && 80 < H \leq 100
 \end{aligned}$$

donde:

s= porcentaje de contracción total

t= días contados a partir de la terminación del curado

H= humedad relativa del aire, en %

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.6.H Fatiga

Se han hecho diversos estudios sobre elementos de concreto sujetos a repeticiones de carga. Cuando un elemento falla después de un número muy grande de repeticiones de carga, se dice que ha fallado por fatiga. Este tipo de sollicitación tiene importancia práctica, ya que para el caso de los pisos industriales como he mencionado, están sujetos a la fatiga, otro ejemplo de la fatiga la podemos encontrar en elementos como vigas de puentes, durmientes de ferrocarril o cimentaciones de maquinaria, etc.

Se mencionó anteriormente que un elemento de concreto en compresión no puede soportar indefinidamente fracciones de su resistencia estática mayores que un 70 por ciento. Cuando a un elemento de concreto se le aplican compresiones del orden de la mitad de su resistencia estática, falla después de aproximadamente diez millones de repeticiones de carga. Se ha encontrado también que si la carga se aplica intercalando periodos de reposo, el número de ciclos necesario para producir la falla aumenta considerablemente. Para el caso de los pisos industriales, resulta de manera importante resaltar esta consideración, ya que se verán sometidos a ciclos de carga y descarga por efecto de los montacargas vacíos y cargados; por lo que para el diseño se debe considerar la fatiga. En el capítulo IV se verá el procedimiento de diseño.

Los estudios experimentales se han hecho aplicando los ciclos de carga y descarga a velocidades bastante más rápidas que las que se presentan en la práctica y, por lo tanto, sus resultados en general son conservadores.

Se puede estimar que el concreto simple en compresión, toma diez millones o más repeticiones de carga al 50 por ciento de su resistencia estática. En flexión, el mismo número de aplicaciones puede alcanzarse con ciclos de carga y descarga con valor máximo del orden de 35-50 por ciento de su resistencia estática.

Para ciertos materiales, como el acero, se ha encontrado que, aplicando ciclos de carga y descarga y llevando el esfuerzo máximo hasta un cierto valor, existe un límite de este esfuerzo por debajo del cual se puede soportar un número indefinido de ciclos. En concreto, se han llevado los ensayos hasta diez millones de aplicaciones de carga, sin que se haya comprobado la existencia de límites semejantes.

III. PREPARACIÓN DEL SITIO DE TRABAJO

3.1 Subrasante y Material de Base

Para asegurar que un piso industrial soporte exitosamente y sin asentamientos las cargas para las que fué diseñado, es de vital importancia diseñar y construir la subrasante para recibir la losa de concreto. El material de base o subbase, será un material granular de calidad controlada que pueda proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso. Ver figura 3.1-1

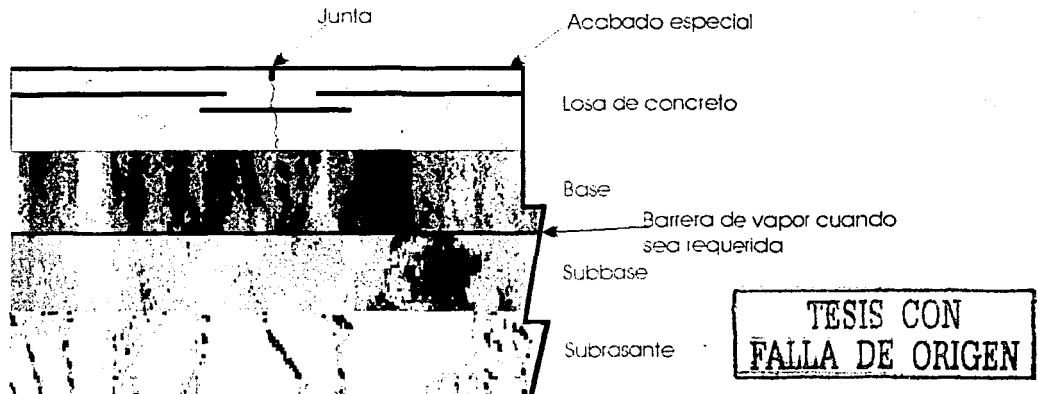


Figura 3.1-1 Vista en sección que muestra la relación entre la subrasante, la base y la losa.

3.1.A Características y función de la subrasante

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

En caso de un suelo extremadamente pobre, la remoción y reemplazo de la subrasante con un material compactable, es la mejor opción para estos casos. El soporte de la subrasante, deberá ser uniforme, sin cambios bruscos de dureza, (áreas suaves o blandas) buscando además que la capa superior de la subrasante sea uniforme en cuanto a material y densidad.

Debido a que las losas de concreto son estructuras rígidas, las cargas concentradas de las llantas de los montacargas o de los postes de los racks, son repartidas uniformemente a lo largo de grandes superficies, teniendo como consecuencia, que las cargas en la subrasante sean normalmente bajas. Por tal motivo, los pisos de concreto no necesitan necesariamente soportes muy rígidos en la subrasante. Sin embargo, el soporte de la subrasante y del material de base, contribuyen a tener un sólido soporte en los bordes, lo cual es muy benéfico para las juntas en losas expuestas a pesadas cargas debido a montacargas. Si el soporte de la subrasante es débil o blando, es muy probable que

ocurra un fenómeno de consolidación del terreno, provocado por la repetición de pesadas cargas sobre la losa, induciendo la pérdida de soporte en los bordes.

Las presiones transmitidas al suelo de la rasante en ocasiones pueden ser muy significativas, tal es el caso cargas pesadas como productos de acero o pesados rollos de papel almacenados en contacto directo al piso. En estos casos, los efectos a largo plazo del suelo, tales como consolidación, deben ser considerados en el comportamiento de la subrasante.

3.1.B Suelos

3.1.b.1 Clasificación

La correcta clasificación del suelo de la subrasante deberá hacerse para identificar sus posibles problemas potenciales en la estructura de soporte. Un sistema de clasificación en suelos comúnmente usado es "La clasificación de los suelos con propósitos "ingenieriles", de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM D 2487) que muestra la mayor clasificación de los suelos, con nombres descriptivos y símbolos, indicando sus principales características (Tabla 3.1-1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos). Cuando la combinación de un suelo sea de 2 tipos, esta es descrita con la combinación de ambos nombres. Por ello, arenas arcillosas, son predominantemente consideradas como arenas, pero sin olvidar que contienen una considerable cantidad de arcillas. Por el contrario, el nombre de una arcilla arenosa representa un suelo predominantemente arcilloso con una cantidad apreciable de arena.

Tabla 3.1.B-1 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), incluyendo su identificación y descripción

DIVISION MAYOR		Simbolo	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO	
SUELOS DE PARTICULAS GRANES Más de la mitad de materia sólida en el tamaño 200. 200.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa retenida por la malla No. 10.	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de limo.	Coeficiente de uniformidad C_u mayor de 4 Coeficiente de curvatura C_c entre 1 y 3 $C_u \times [D_{60}/D_{10}]$ $C_c = [(D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})]$	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa retenida por la malla No. 40.	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de limo.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW	
ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa retenida por la malla No. 40.	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	G-CL	Mezclas bien graduadas, mezclas de grava, arena y limo.	Límites de Atterberg abajo de la "línea A" o P menor que 4	
	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	GC	Gravas en bloques, mezclas de grava, arena y arcilla.	Límites de Atterberg arriba de la "línea A" o P mayor que 7	
ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de limo.	$C_u \times [D_{60}/D_{10}]$ mayor que 6 $C_c = [(D_{50})^2 / (D_{10} \times D_{60})]$ entre 1 y 3	
	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de limo.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW	
ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	S-M	Arenas bien graduadas, arenas y limo.	Límites de Atterberg abajo de la "línea A" o P menor que 4	
	ARENAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	SC	Arenas en bloques, mezclas arenas-arcilla.	Límites de Atterberg arriba de la "línea A" o P mayor que 7	
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad de materia sólida en el tamaño 200. 200.	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	ML	Suelos orgánicos, suelos de limo, arenas finas o arcillas, ligeros, plásticos.	EQUIVALENCIA DE SÍMBOLOS $G =$ Gravas $M =$ Limo $O =$ Suelos orgánicos $W =$ Bien graduados $S =$ Arenas $C =$ Arcilla $P =$ Turbo $P =$ Baja compresibilidad $H =$ Alta compresibilidad	
	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	CL	Arcillas orgánicas de baja plasticidad, arenas con grava, arenas arenosas, arenas limosas, arcillas orgánicas.	CARTA DE PLASTICIDAD Para la Clasificación de Suelos en Partículas Finas en el Lab.	
	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	OL	Suelos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.		
	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	MH	Suelos orgánicos, arenas limosas, arcillas orgánicas, suelos plásticos.		
	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	CH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad, arenas limosas, arcillas orgánicas.		
	ARCILLAS CON POCOS CEMENTOS PARTICULAS FINES	OH	Arenas orgánicas de alta plasticidad, arenas limosas, arcillas orgánicas.		
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	PT	Turba o arena arenosa altamente orgánica.			

* Clasificación de frontera: Los suelos que poseen las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de arena y grava bien graduada con cemento arcilloso.
 * Todos los tamaños de las mallas en esta Lista son los U.S. Standard.
 * La subdivisión de los grupos GM y MH en subclases G y U. Sin paréntesis y se arrojan únicamente la subdivisión está basada en los límites de Atterberg. El subgrupo es cuando L es de 26 o menos y el P es de 6 o menos. El subgrupo es usado cuando el L es mayor que 26.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.1.b.2 Densidad o Peso Volumétrico

La resistencia de un piso, es decir su capacidad de carga y resistencia a la consolidación, es un factor importante en el comportamiento de los pisos desplantados sobre el terreno, particularmente cuando el piso deba soportar cargas extremadamente pesadas. La resistencia del suelo, es afectada por el tipo de suelo, grado de compactación y contenido de humedad.

La compactación, tiene como propósito la alteración de manera artificial de la densidad o peso volumétrico y un incremento en el peso unitario de una masa de suelo, siendo el medio más económico para el mejoramiento estructural de las propiedades del suelo.

El peso volumétrico es medido en términos de la masa por unidad de volumen y cuando un suelo presenta un elevado índice de peso volumétrico, usualmente presenta una mejor capacidad de carga.

Las pruebas ASTM D 698 y D1557 (conocidas como Prueba Proctor y como Proctor modificada respectivamente) determinan el peso volumétrico máximo y su correspondiente contenido óptimo de humedad del suelo (ver figura 3.1-2 Curva típica de peso volumétrico y contenido de humedad). El contenido de humedad del suelo se expresa como porcentaje de la relación entre la masa de agua dividida entre la masa de suelo seco.

3.1.b.3 Índice de Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. La mayoría de los suelos que contienen arcilla son plásticos. Para conocer la plasticidad de un suelo, se hace el uso de los límites de Atterberg. Estos límites son: el límite líquido (LL), límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC) y mediante ellos se puede conocer el tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pasa por la malla No. 40.

El límite plástico (LP), es la cantidad de humedad presente cuando un suelo cambia de un estado semisólido a estado plástico, mientras que el límite líquido (LL) es la cantidad de humedad presente cuando el suelo cambia de estado plástico a estado líquido.

El grado de plasticidad lo expresa el índice plástico (IP), obtenido la diferencia numérica del límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

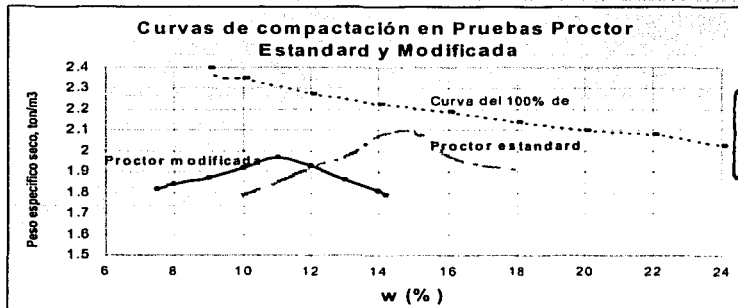


Fig. 3.1-2 Curva típica de peso volumétrico y contenido de humedad

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

3.1.b.4 Suelos Problemáticos

Un suelo es considerado problemático cuando presente alguna de las siguientes características:

- Sea extremadamente expansivo.
- Sea extremadamente compresible.
- No proporcione un soporte uniforme.

Suelos cohesivos que adquieren humedad después de ser compactados, pueden causar problemas en los pisos de concreto. Los suelos con índice de plasticidad (IP) de 5 o mayor, pueden deformarse plásticamente cuando el contenido de humedad se incrementa. Si esto ocurre, las cargas sobre el piso pueden ocasionar deflexiones, y en consecuencia, la pérdida en la capacidad de carga. Las partes del piso más sensibles serán los bordes de la losa y esquinas expuestas a repeticiones de carga. Suelos cohesivos con un alto índice plástico IP (mayor a 20), ganan humedad y pueden volverse expansivos, generando de este modo, grandes presiones en la parte inferior de la losa.

El diseño de los pisos industriales desplantados sobre el terreno, se basa en la suposición de un soporte uniforme. La clave radica en la "uniformidad"; por esta razón el método más económico y eficiente para la corrección o mejoramiento de las condiciones del piso cuando el suelo no sea homogéneo, es a través de una subrasante.

3.1.b.5 Pruebas Comunes de Mecánica de Suelos

En el diseño de pavimentos, es fundamental conocer algunas propiedades de los suelos que nos permiten conocer sus características generales y sus comportamientos. Algunas de estas propiedades se obtienen mediante las pruebas que se describen a continuación:

Plasticidad

La plasticidad es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse. Por medio de ella se mide el comportamiento de los suelos en todas las épocas. Las arcillas presentan esta propiedad en grado variable. Para conocer la plasticidad de un suelo, se hace uso de los límites de Atterberg.

Estos límites son: Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y Límite de Contracción (LC) y mediante ellos se puede conocer el tipo de suelo en estudio. Todos los límites de consistencia se determinan empleando suelo que pasa por la malla No. 40. La diferencia entre los valores del límite líquido y del límite plástico, da como resultado el índice plástico (IP) del suelo.

Límite Líquido

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. De esta forma, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy pequeña al esfuerzo de corte y según Atterberg es de 25 g/cm². Para determinar el límite líquido de un suelo se hace el siguiente procedimiento.

- a) Se toman unos 100 g de material que pasa la malla No 40, se colocan en una cápsula de porcelana y con una espátula se hace una mezcla pastosa, homogénea y de consistencia suave agregándole una pequeña cantidad de agua durante el mezclado.

- b) Se coloca una poca de esta mezcla en la copa de Casagrande, formando una masa alisada de un espesor de 1 cm en la parte de máxima profundidad.
- c) El suelo colocado en la copa de Casagrande se divide en la parte media en dos porciones, utilizando un ranurador.
- d) Se acciona la copa a razón de dos golpes por segundo, contado el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura hecha se cierre precisamente a 1.27 cm (1/2"). Si no se cierra entre los 6 y 35 golpes, se recoge el material y se le añade agua y se vuelve a mezclar.
- e) Cuando se ha obtenido un valor consistente del número de golpes, comprendido entre 6 y 35 golpes, se toman 10 g aproximadamente de suelo de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina el contenido de agua de inmediato. Se repite el ensaye y si se obtiene el mismo número de golpes que el primero o no hay diferencia en más de un golpe, se repite el ensaye hasta que tres ensayos consecutivos den una conveniente serie de números.
- f) Se repiten los pasos del 2 al 5, teniendo el suelo otros contenidos de humedad. De este modo se deben tener, por lo menos, dos grupos de dos a tres contenidos de humedad, uno entre los 25 y 35 golpes y otro entre los 6 y los 10 golpes con el fin de que la curva de fluidez no se salga del intervalo en que puede considerarse recta, según lo indica Casagrande.
- g) Se unen los tres puntos marcados par el intervalo de 6 a 20 golpes con una línea recta y se señala el punto medio. Se repite para los dos o tres puntos dentro del intervalo de 25 a 35 golpes.
- h) Se conectan los puntos medios con una línea recta que se llama curva de fluidez. El contenido de humedad indicado por la intersección de esta línea a 25 golpes es el límite líquido del suelo.

Límite Plástico

Es el contenido de humedad, expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra secada al horno, para el cual los suelos cohesivos pasan de un estado semisólido a un estado plástico. El límite plástico se determina con el material sobrante del límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta obtener una mezcla plástica que sea moldeable. Se forma una pequeña bola que deberá rodillarse enseguida aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos.

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, se debe de continuar rodillando hasta cuando la bola de suelo rompa el filamento con diámetro de 1/8"; se toman los pedacitos, se pesan, se secan al horno en un vidrio, vuelven a pesarse ya secos y se determina la humedad correspondiente al límite plástico.

$$L.P. = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

L.P. = Humedad correspondiente al límite plástico en %

P_h = Peso de los filamentos húmedos en gramos

P_s = Peso de los filamentos secos en gramos.

Pruebas de Compactación

Prueba Proctor

La prueba Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Su objetivo es:

- Determinar el peso volumétrico seco máximo w_{max} que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima w_o que deberá hacerse la compactación.
- Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

La prueba Proctor está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla No 4, o que cuando mucho tengan un retenido de 10 % en esta malla, pero que pase dicho retenido totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8" debe determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo con la prueba de Porter Estándar. También debe efectuarse la prueba Porter Estándar en arenas de río, arenas de minas, arenas producto de trituración, tezontles arenosos y en general en todos aquellos materiales que carezcan de cementación.

Procedimiento:

Se obtienen 3 kg de material previamente secado al sol. Se tamiza por la malla No 10, y los grumos que se hayan retenido se disgregan perfectamente y se vuelve a tamizar por la misma malla, continuándose este proceso hasta que las partículas que se retengan en la malla no se puedan disgregar. Terminada esta operación se mezcla perfectamente todo el material y se adiciona el material y se adiciona la cantidad de agua necesaria para iniciar la prueba. La cantidad de agua que se adiciona deberá ser la necesaria para que una vez repartida uniformemente presente el material una consistencia tal que al ser comprimido en la palma de la mano no deje partículas adheridas a ella ni la humedezca, y que a la vez el material comprimido pueda tomarse con dos dedos sin que se desmorone.

El material que contiene ya la humedad necesaria para iniciar la prueba se tamiza por la malla No 4, se mezcla para homogeneizarlo y se compacta en el molde cilíndrico en tres capas aproximadamente iguales.

El pisón metálico de 2.5 kg se deja caer desde una altura de 30 cm. Deberán de darse 30 golpes repartidos uniformemente para apisonar cada capa. Una vez apisonada la última capa se remueve la extensión y se elimina el excedente de material del molde cilíndrico y se pesa éste con todo y su contenido. A continuación se extrae la muestra compactada del cilindro y se pone a secar una pequeña cantidad del corazón de la muestra para determinar su humedad.

La muestra que ha sido removida del molde cilíndrico se desmenuza hasta que pasa la malla No 4, se añaden 60 cc (2% en peso de agua) y se repite el procedimiento descrito. Esta serie de determinaciones continúan hasta que la muestra esté muy húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo compactado.

El peso volumétrico húmedo para cada contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

γ_h = Peso volumétrico húmedo en g/cm³
 P_h = Peso del material húmedo compactado en el molde, en gramos.
 V_t = Volumen del molde en cm³

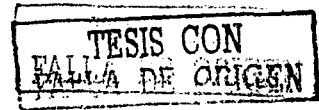
El contenido de humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$w = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

El peso volumétrico seco para cada peso volumétrico húmedo y su correspondiente humedad se calculan por la siguiente fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$

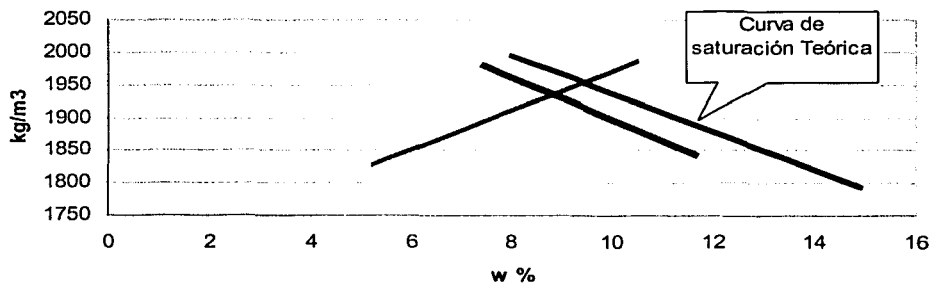
w = Contenido de la humedad en porcentaje
 P_w = Peso de la muestra húmeda, en gramos
 P_s = Peso de la muestra seca, en gramos
 γ_s = Peso volumétrico seco, en g/cm³
 γ_h = Peso volumétrico húmedo, en g/cm³



Los peso volumétrico secos y las humedades correspondientes se utilizan para trazar la curva peso volumétrico seco - humedad, marcando en el eje de las abscisas los contenidos de humedad. La humedad que genera mayor peso volumétrico es la que permite la mayor compactación del material y se le conoce como humedad óptima de compactación.

En la misma gráfica se dibuja la curva de saturación teórica. Esta curva representa la humedad para cualquier peso volumétrico, que sería necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estuvieran llenos de agua.

Prueba Proctor



El peso volumétrico seco correspondiente a la curva de saturación teórica para la humedad dada se calcula con la fórmula:

$$\gamma_{scs} = \frac{100 D_a}{100 + wDr} \times 100 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

γ_{scs} = Peso volumétrico seco de la curva de saturación (kg / m³)
 D_a = Densidad absoluta del material que pasa la malla No 400 en g/cm³
 Dr = Densidad relativa del material que pasa por la malla No 40

La curva de saturación teórica tiene por objeto comprobar si la prueba Proctor fué correctamente efectuada, ya que la curva de saturación y la curva Proctor nunca deben cortarse dado que es imposible en la práctica llenar totalmente con agua los huecos que dejan las partículas del suelo compactado.

La curva de saturación teórica sirve para determinar si un suelo, en el estado en que se encuentra en el lugar, es susceptible de adquirir mayor humedad o mayor peso volumétrico fácilmente.

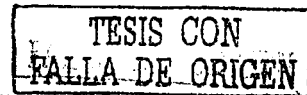
Así, una vez hecha la determinación del peso volumétrico y humedad en el lugar se calcula el por ciento de huecos llenos de aire con la siguiente fórmula:

$$V_a = \frac{\gamma_{scs} - \gamma_s}{\gamma_s} \times 100$$

V_a = Volumen de huecos llenos de aire %

γ_{scs} = Peso volumétrico seco de suelo compactado correspondiente a la humedad w

γ_s = peso volumétrico de la curva de saturación teórica correspondiente a la humedad w



Si este valor es mayor de 6.5%, el suelo se encuentra en condiciones de adquirir un peso volumétrico mayor con la humedad que contiene, o bien, sin variar su peso volumétrico seco, incrementar su humedad.

Prueba Porter Estándar

Esta prueba tiene como finalidad determinar el peso volumétrico seco máximo de compactación Porter y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les puede hacer la prueba Proctor. Esta prueba sirva también para determinar la calidad de los suelos en cuanto a valor de soporte se refiere, midiendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y sujeto a un determinado periodo de saturación.

Esta prueba se lleva a cabo de la siguiente forma:

La humedad óptima de Porter es la humedad mínima requerida por el suelo para alcanzar su peso volumétrico seco máximo cuando es compactado con una carga unitaria de 140.6 kg/cm². Para obtener la humedad óptima y el peso volumétrico seco máximo se obtiene una muestra de 4 kg de material secado, disgregado y cuarteado. Cuando se ha logrado la disgregación de los grumos se tamiza la muestra por la malla 3/4". Se le incorpora cierta cantidad de agua, cuyo volumen se anota, y una vez lograda la distribución homogénea de la humedad se coloca en tres capas dentro del molde de prueba, y cada una de ellas se les da 25 golpes con la varilla metálica. Al terminar la colocación de la última capa se compacta el material aplicando cargas uniformes y lentamente procurando

alcanzar la presión de 140.6 kg/cm² en un tiempo de 5 minutos, la que debe mantenerse durante 1 minuto, e inmediatamente hacer la descarga en otro minuto.

Si al llegar a la carga máxima no se humedece la base del molde, la humedad de la muestra es inferior a la óptima. A otra porción de 4 kg de material se le adiciona una cantidad de agua igual a la anterior más 80 cc y se repite el proceso. Si al aplicar la carga máxima se observa que se humedece la base del molde, el material muestra una humedad ligeramente mayor que la óptima de Porter. Para fines prácticos es conveniente considerar que el espécimen se encuentra con su humedad óptima cuando se inicia el humedecimiento de la base del molde, siendo esta la más adecuada para su compactación.

Se determina la altura del espécimen restando la altura entre la cara superior de éste y el borde del molde de la altura total del molde, y con este dato se calcula el volumen del espécimen. Se pesa el espécimen con el molde de compactación, se le resta el peso del molde y se calcula el peso volumétrico.

$$\gamma_h = \frac{P_h}{V_t}$$

γ_h = Peso volumétrico húmedo, en g/cm³ o kg/m³

P_h = Peso del material húmedo compactado dentro del cilindro Porter, en gr o Kg

V_t = Volumen del espécimen en cm³ o m³

Se extrae el material del molde y se pone a secar a una temperatura constante de 100 a 110 °C hasta peso constante. Se deja enfriar el material y se pesa y se calcula la humedad y el peso volumétrico seco máximo.

$$w = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

$$\gamma_s = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}}$$



Valor Relativo de Soporte

Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad, y se expresa como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. Por lo tanto, si P_2 es la carga en kg necesaria para hacer penetrar el pistón en el suelo en estudio, y $P_x=1360$ kg, la que se precisa para penetrar la misma cantidad en la muestra tipo de piedra triturada, el valor Relativo de Soporte del suelo es de

$$VRS = (P_2 / 1360) * 100$$

Módulo de Reacción (k)

Es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo. Su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo. La determinación de k se hace mediante una placa circular de 30" de diámetro bajo una presión tal que produzca una deformación del suelo de 0.127 cm (0.05"). En general se puede decir que el módulo de reacción k es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por

la placa entre la deformación correspondiente producida por este esfuerzo. Mas adelante se hace referencia a esta propiedad tan importante para el diseño de los pisos industriales.

3.1.C Preparación de la subrasante

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

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

3.1.c.1 Suelos Expansivos

La mayoría de los suelos expansivos se muestran en la tabla 3.1.c-2. Basados en la clasificación de suelos ASTM, como arcillas de alta plasticidad (CH), limos de alta plasticidad (MH) y arcillas orgánicas (OH). Existen además pruebas sencillas de mecánica de suelos, útiles para la identificación de cambios volumétricos en una masa de suelo. La tabla 3.1.c-2 presenta valores aproximados de la relación entre expansión y plasticidad.

Tabla 3.1.c-2 Expansión vs Plasticidad

Grado de Expansión	% de Expansión	Valor Aproximado de Índice de Plasticidad (IP)
No Expansivo	2 o menos	de 0 a 10
Moderadamente Expansivo	de 2 a 4	de 10 a 20
Altamente Expansivo	Mayor a 4	Mayor a 20

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La variación volumétrica de la subrasante debido a grandes expansiones y contracciones de una masa de suelo, provocará superficies no uniformes, ocasionando una mayor deformabilidad en el piso de concreto.

La compactación de un suelo muy seco y altamente expansible, puede expandirse y ablandarse si se presentan las condiciones de humedad para que esto suceda. Además si la subrasante con características de un material expansivo, se encuentra muy húmedo previo a la colocación del concreto, puede ocurrir que la futura contracción del suelo en el proceso de secado, deje partes de la losa sin soporte.

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

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

3.1.c.2 Áreas rígidas y áreas blandas

Si la subrasante tiene la característica de ser un apoyo no uniforme; la losa al momento de ser cargada tenderá a actuar como un puente sobre las áreas suaves y a montarse sobre el material duro, como se muestra en la figura 3.1-3.

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

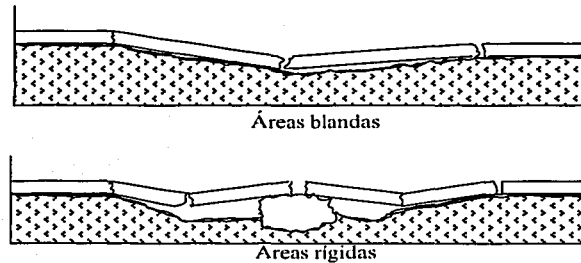


Figura 3.1-3 Áreas blandas y rígidas en los suelos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.c.3 Rellenos

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

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

En la actualidad existen diversos productos en el mercado que contribuyen a un eficiente proceso constructivo de las terracerías, por citar un ejemplo, rellenos con una gran manejabilidad, sin necesidad de nivelación, compactación o curado ya su relación contenido de cemento es bajo, permitiendo un ahorro en mano de obra y equipos.

3.1.D Resistencia del Conjunto Base-Subrasante

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

3.1.d.1 Capacidad de Carga

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

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

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

3.1.d.2 Compresibilidad

Otra característica es la compresibilidad de suelos cohesivos, la cuál determina la cantidad de asentamiento a largo plazo bajo una carga. El método convencional para predecir el asentamiento es mediante la realización de pruebas de consolidación y la determinación del índice de compresibilidad a usar en los cálculos de asentamiento.

3.1.d.3 Módulo de Reacción k

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

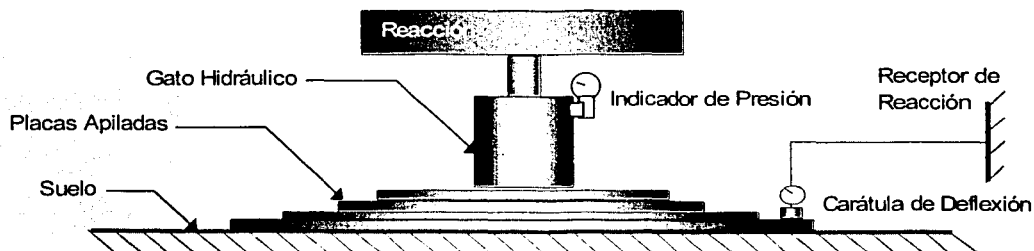
No existe una correlación confiable entre las tres medidas de propiedades de un suelo, (módulo de reacción k de la subrasante, la capacidad de carga y la compresibilidad del suelo) debido a que las propiedades anteriores representan características completamente diferentes del suelo. El valor de K ,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

Muchas investigaciones de pavimentos de concreto han demostrado que las deformaciones en el estado elástico y los esfuerzos en la losa se pueden predecir de muy buena manera cuando se emplea

el módulo de reacción k representando la respuesta de la subrasante. Por esta razón el control de los esfuerzos de la losa basándose en el módulo de reacción k , ha sido aceptado dentro del procedimiento de diseño.

A pesar que el módulo de reacción k no refleja el efecto de la compresibilidad del suelo a alguna profundidad de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas y otras cargas concentradas, debido a que no son excesivos los esfuerzos transmitidos al suelo debajo de una losa con un espesor adecuado, sin embargo, en el caso de cargas distribuidas muy pesadas, la presión permitida en el suelo y la magnitud de los asentamientos deberán estimarse para determinar si puede o no ocurrir la falla por esfuerzo cortante.

Generalmente no existen condiciones muy adversas en los suelos, por lo que, los análisis en el diseño requieren solamente la determinación de la resistencia en la subrasante en términos del módulo de reacción k . En campo, el módulo k se determina mediante la prueba conocida como "Prueba de Placa" que ilustra la figura 3.1-4. La prueba está estandarizada por la norma ASTM D 1196 (*Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*) y consiste en la aplicación de una carga estática sobre una serie de placas de acero apiladas una encima de otra, formando una especie de pirámide, en donde la placa inferior tiene un diámetro de 76 cms (30 pulg). Las placas son cargadas hasta provocar una deflexión en el suelo al centro de la placa de 1.25 mm y el valor del módulo k se determina dividiendo el esfuerzo aplicado (la carga aplicada, entre el área de la placa) entre la deflexión obtenida, por lo que se expresa en unidades de psi/pulg (libras sobre pulgada cuadrada sobre pulgada) o como comúnmente se llama pci (libras sobre pulgada cúbica) o en sistema métrico, kg/cm^3 .



$$k \text{ (psi/in)} = \text{carga unitaria por placa} / \text{deflexión de la placa}$$

Fig. 3.1-4 Croquis esquemático de la prueba de placa

Sin embargo no siempre se pueden realizar las pruebas de placa en el sitio de los trabajos por diversas razones, en estos casos, el módulo de reacción k puede ser supuesto correlacionándolo con propiedades y pruebas más sencillas de mecánica de suelos, como la prueba de Valor Relativo de Soporte. (ASTM D 1883) o la clasificación del suelo. Para estos casos la tabla 3.1.d-3 y la figura 3.1-5 pueden ser usadas para tal efecto.

ESTA TESIS NO SALIÓ
 TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.1.d-3 Estimación del módulo de reacción k.

Tipo de suelo	Resistencia	VRS ²	Valor K de Diseño	
			pci	Mpa/m
Limos y arcillas de alta compresibilidad en estado natural ¹	Baja	2 o menos	50	13.6
Limos y arcillas de alta compresibilidad ¹ compactados. Limos y arcillas de baja compresibilidad ¹ Limos arenosos y arcillas, limos gruesos y arcillas. Arenas escasamente graduadas.	Promedio	3	100	27.1
Gravas, arenas bien graduadas y mezclas de arenas-gravas, relativamente libres de finos.	High	10	200	54

3.1.d.4 Incremento del Módulo de Reacción (k)

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

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

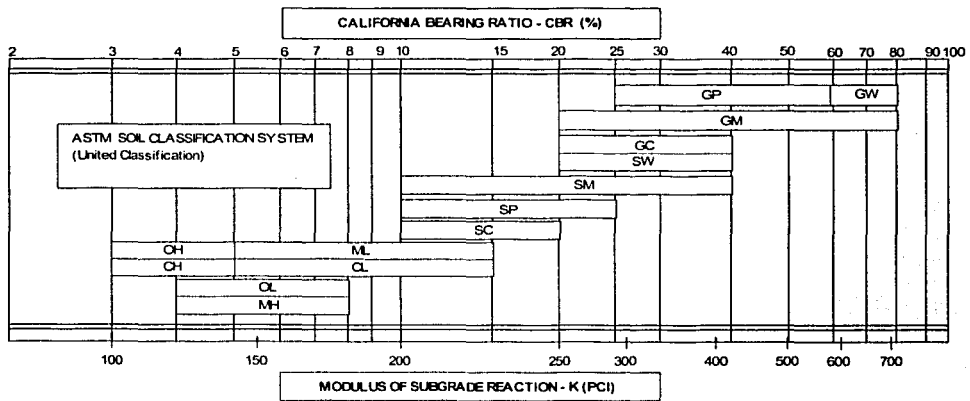


Fig. 3.1-5 Correlación entre Valor Relativo de Soporte (VRS) y Módulo de Reacción k.

La figura 3.1-6 muestra el efecto de la presencia de una capa de material granular calidad base sobre la subrasante, lo que permite conocer el “k efectivo” de diseño al entrar a la gráfica con el espesor en pulgadas de la base en el eje de las abscisas, subiendo en línea vertical hasta las curvas que representan diferentes valores del módulo de reacción k de la subrasante en pci y saliendo en línea horizontal en el eje de las ordenadas con el valor del módulo de reacción k efectivo a nivel de la base.

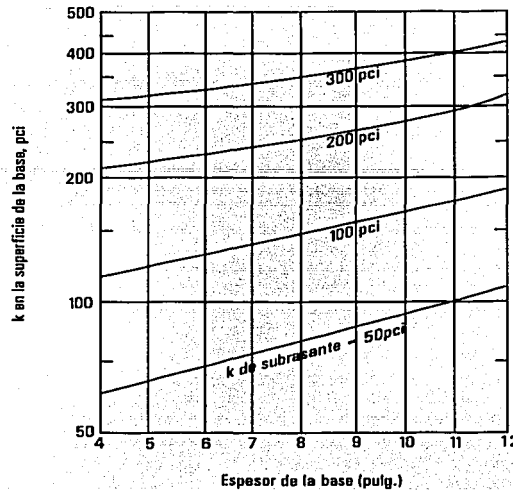


Fig. 3.1-6. Efecto de base granular en la estimación del módulo de reacción k efectivo

Para el caso de bases granulares cementadas sobre la subrasante, la Asociación del Cemento Pórtland nos presenta la tabla 3.1-4 para el cálculo k efectivo a nivel de base.

Tabla 3.1.d-4 Incremento en el valor de k del suelo, según el espesor de una base granular cementada

k Suelo - Subbase (pci)				
k del Suelo (pci)	Espesor Subbase			
	4"	6"	8"	10"
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	--

3.1.E Capa de Base o Subbase

La base o subbase es la capa de material granular colocada en la parte superior de la subrasante. A pesar que se dice ser opcional, la base puede proporcionar beneficios durante el proceso constructivo y posteriormente al desempeño del piso terminado. Durante la construcción, la base funciona como una plataforma de trabajo estable para equipos pesados, cuando las operaciones de despalme y compactación de la subrasante no producen una subrasante uniforme, una base granular proveerá una especie de colchón para un mayor soporte de la losa, minimizando los defectos existentes en la subrasante. El efecto de "acolchonamiento" y el mejoramiento de la uniformidad será muy importante para suelos cohesivos, ya que son susceptibles en la disminución de la

capacidad de carga, en presencia de un mayor contenido de humedad. Otra función de la base o subbase, es la de servir como rompedora de la capilaridad, reduciendo la migración de la humedad de las capas inferiores al interior de la losa.

El incremento en el módulo de reacción k por bases granulares de espesor mayor a 10 cms se muestra en la figura 3.1-6. En términos del diseño del espesor de la losa los efectos del incremento del módulo de reacción k , son más significativos cuando tenemos una subrasante o terreno natural de bajo módulo k , dicho de otra manera es que el espesor resultante por unas ciertas condiciones de carga no se ve considerablemente reducido al incrementar el espesor de la base cuando tenemos valores altos del módulo k en la subrasante.

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

Tamaño máximo de partícula	No mayor de 1/3 del espesor de la sub-base
Material que pasa la malla no. 200	15% máximo de masa en un material seco.
Índice plástico	Máximo 6
Límite plástico.	Máximo 25

3.1.c.1 Prueba de Rodado

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

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

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

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

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

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

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

3.2 Barrera de Vapor

Capa retardadora de vapor

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

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

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

El concreto colocado directamente sobre una capa retardadora de vapor, presenta mayores cambios de dimensión en el sentido longitudinal en las primeras horas, en comparación con el concreto colocado sobre una base granular. Esta y otras diferencias mas se presentarán al colocar el concreto en contacto directo con un producto retardador del vapor, por lo que se recomienda se estudie muy bien cada caso en específico para tomar una decisión correcta del empleo de éste sistema.

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

3.3 Juntas

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

La aparición del agrietamiento aleatorio en el concreto debe de ser controlado y existen varias maneras efectivas de lograrlo. Como primera consideración tenemos que minimizar los cambios volumétricos en el concreto endurecido y otras maneras de lograrlo incluyen la utilización de juntas, el uso de acero de refuerzo y el uso de fibras que ayuden a controlar el agrietamiento plástico. También pueden ser usado el sistema de postensado o concretos de contracción compensada para controlar la aparición de agrietamiento aleatorio.

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

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

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

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

3.3.A Tipos de Juntas

Los tipos de juntas comúnmente utilizados en pisos industriales son:

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

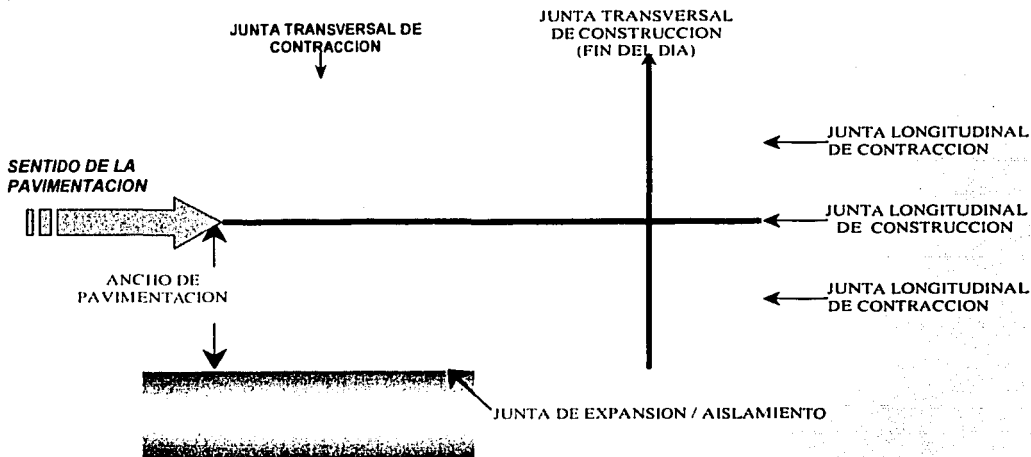


Fig. 3.3-1 Croquis de los tipos de juntas en un piso industrial

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

3.3.a.1 Juntas de Aislamiento

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

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

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

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

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

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

Otra alternativa es utilizar un material preformado de relleno, que cuente con una tira superior desprendible. En la Figura 3.3-2 se muestra una junta de aislamiento para la cimentación de un equipo y en la Figura 3.3-3 se ilustran varias alternativas para el aislamiento de columnas.

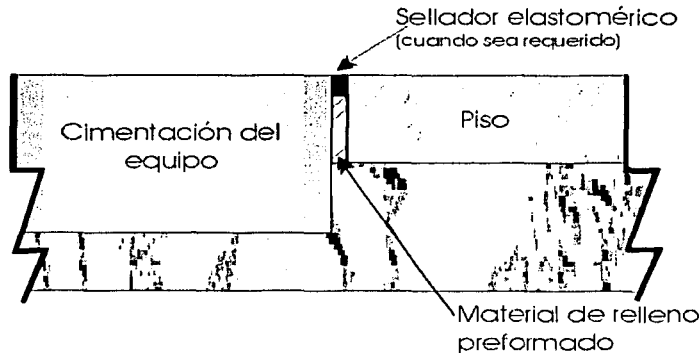
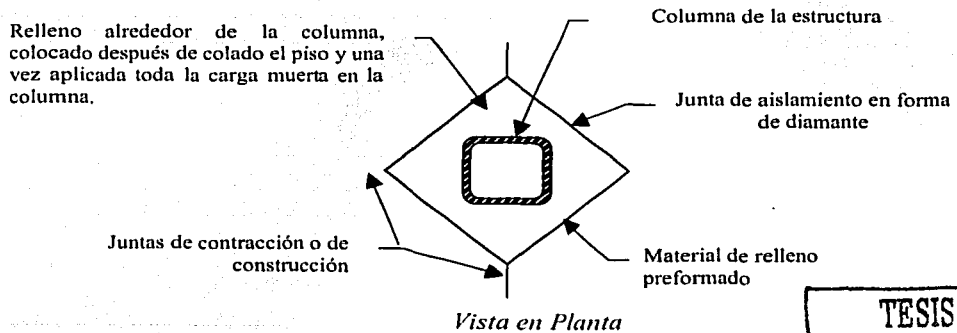


Fig. 3.3-2 Junta de aislamiento en la base de un equipo



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Relleno alrededor de la columna, colocado después de colado el piso y una vez aplicada toda la carga muerta en la columna.

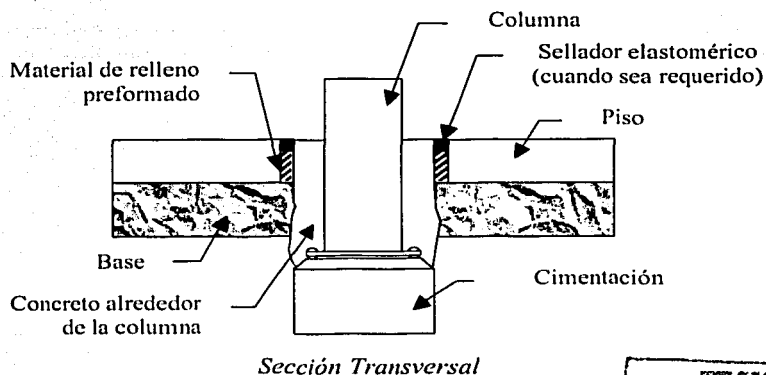
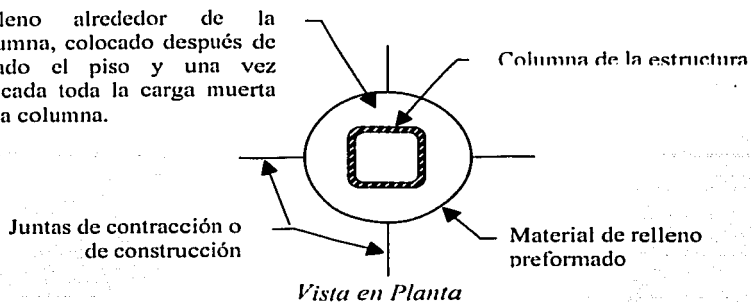


Fig. 3.3-3 Juntas de Aislamiento en columnas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.a.2 Juntas de Contracción

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

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

- Mediante el corte temprano de concreto semi-endurecido.
- Mediante el corte convencional de concreto endurecido.
- Una ranura de concreto fresco durante el proceso de terminado (no es práctica para pisos de más de 10 cm de espesor).

- Mediante la instalación de plástico premoldeado o inserciones de metal durante la colocación y terminado (no es muy recomendable por la dificultad de crear una ranura perfectamente vertical).

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

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

Los pisos de uso industrial y comercial, son usualmente cortados mecánicamente. El tiempo de corte es importante, debido a que resulta un factor crítico durante su elaboración, ya que para minimizar los esfuerzos de tensión y el agrietamiento aleatorio causadas por alabeo o contracción por enfriamiento, el corte debe realizarse antes que la losa se enfríe de manera considerable. Las losas de concreto son muy vulnerables al alabeo y a esfuerzos de contracción en sus primeras 6 a 18 horas después de haberse colocado el concreto, cuando los esfuerzos de tensión son muy bajos. Por esta razón las juntas deberán cortarse lo mas pronto posible, en cuanto el concreto esté lo suficientemente duro para que la cortadora no despostille los bordes o desaloje partículas de agregado grueso.

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

La mayoría de las cortadoras de corte temprano tienen discos de diamante de diámetros pequeños que extienden una ranura en un plato de metal que se desliza en la parte superficial de la losa, creando una ranura angosta de 20mm a 25 mm (3/4" a 1") de profundidad. Muchos contratistas usan la cortadora de corte temprano para realizar el primer corte de control de grietas y posteriormente realizan un corte en la misma línea con un equipo convencional empleando discos de corte más grandes y alcanzando la profundidad de 1/3 del espesor de la losa a las 12 a 24 horas después de terminada la losa.

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

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

- Junta *abierta*: Corte el acero (y use pasajuntas se desea mejorar la transferencia de carga)
- Junta *cerrada*: Deje continuo el acero de refuerzo a través de la junta (esto puede inducir agrietamiento en las losas adyacentes por la restricción del acero de refuerzo)

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

Las juntas de contracción se sitúan generalmente en los ejes de las columnas, con juntas intermedias localizadas a distancias iguales entre los ejes de las columnas, tal y como se muestra en la figura 3.3.-4

Se recomienda el uso de acero en esquinas reentrantes.

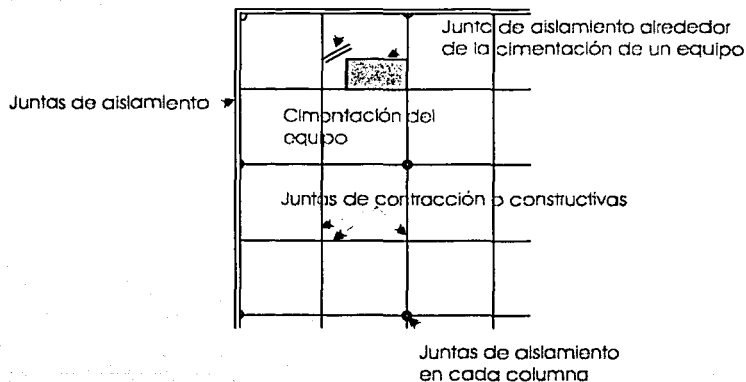


Fig. 3.3-4 Localización de Juntas

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

- Método de diseño de la losa.
- Espesor de la losa.
- Tipo, cantidad y localización del acero de refuerzo.
- Contracción potencial del concreto.
- Fricción de la base.
- Restricciones de la losa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Esquema de la cimentación, de los contenedores y la estantería, de las plataformas de los equipos, de las trincheras y de discontinuidades similares.
- Factores ambientales tales como: temperatura, viento y humedad relativa.
- Método y calidad del curado.

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

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

Las juntas de contracción pueden reducirse o eliminarse en las losas reforzadas con al menos un 0.5% de refuerzo de acero continuo, colocado dentro de los 50 mm (2") superiores de la losa o dentro del tercio superior del espesor, cualquiera que se encuentre mas cerca de la superficie. Esto típicamente produce numerosas grietas muy finas, con una separación muy reducida entre unas y otras, por toda la losa. Las juntas de contracción deben ser verticales, no escalonadas ni con desviaciones. El radio de aspecto de cada losa sin refuerzo, o con refuerzo por temperatura y contracción, deberá ser máximo de 1.4 a 1; sin embargo siempre que sea posible el radio de 1 a 1 deberá preferirse. Se deberán evitar losas con forma de L o T.

Los pisos alrededor de las zonas de carga, tienden a agrietarse debido a su configuración y la restricción del movimiento que se produce. En la Figura 3.3-6 se muestra un método para minimizar el agrietamiento de las losas ubicadas en las esquinas entrantes de un muelle de carga.

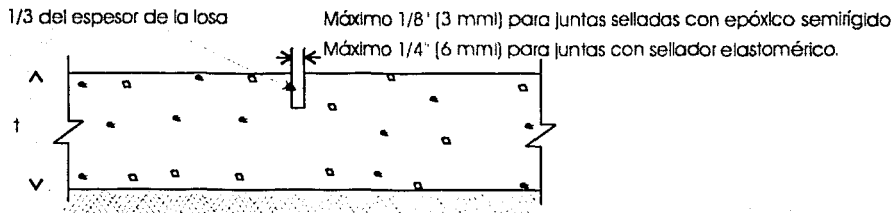


Fig. 3.3-5 a) Junta de contracción sin pasajuntas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

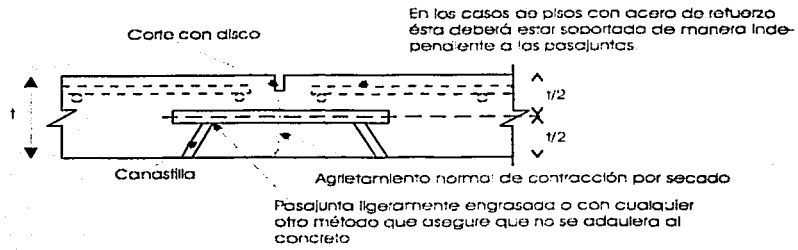


Fig. 3.3-5 b) Junta de contracción con pasajuntas

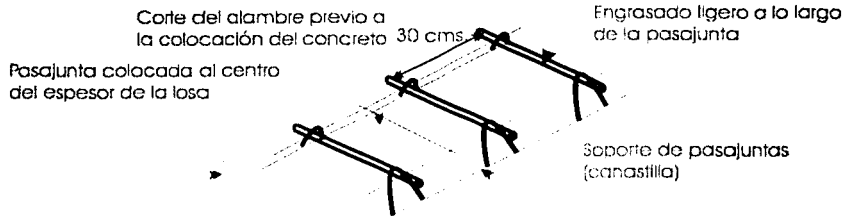
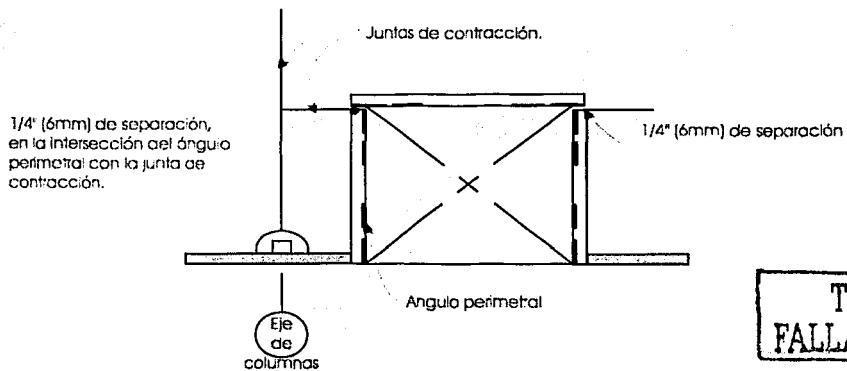


Fig. 3.3-5 c) Croquis de canastilla para la correcta alineación de pasajuntas en juntas de contracción



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

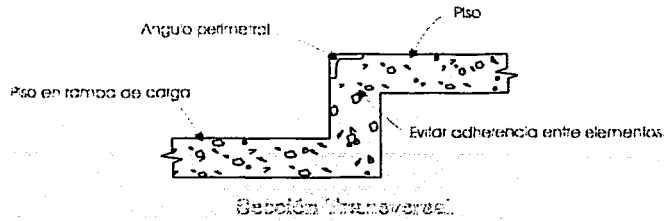


Fig. 3.3-6 Detalle de juntas en el área de carga

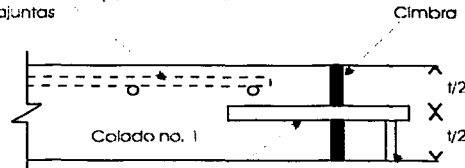
3.3.a.3 Juntas de Construcción

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

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

En áreas que no están sujetas al tráfico, se podrá utilizar una junta plana, sin embargo en las áreas sujetas a tráfico de vehículos con llantas duras, vehículos pesados o ambos, se recomienda utilizar pasajuntas para mejorar la transferencia de carga en la junta.

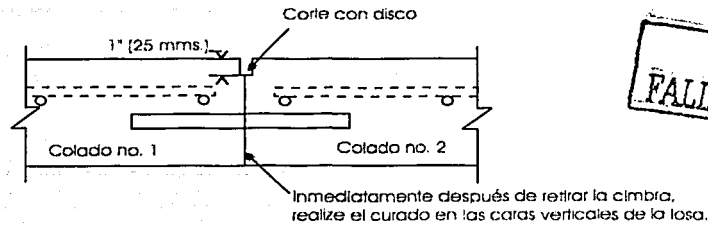
El refuerzo debe estar soportado de manera independiente a las pasajuntas



Pasajunta ligramente engrasada
(U otro método que asegure la no adhesión concreto)

Soporte de las pasajuntas para asegurar su correcta alineación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.3-7 Juntas de construcción con pasajuntas

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

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

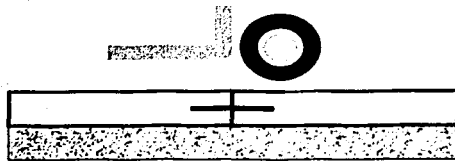
En el caso de juntas de construcción de emergencia, es decir en aquellas que no están alineadas como juntas de contracción y son necesarias por alguna emergencia, en este caso se recomienda el uso de barras de amarre en vez de barras pasajuntas y éstas deberán ser diseñadas en su diámetro, longitud y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

3.4 Transferencia de Carga

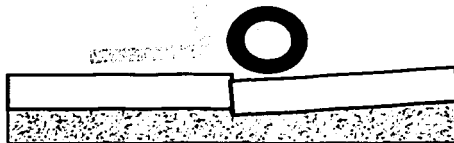
La transferencia de carga la podemos definir como la habilidad de la junta de transferir una parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta (figura 3.4-1) y el grado de transferencia se mide por lo que llamamos como "eficiencia de la junta".

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

La importancia de la transferencia de carga radica en que si logramos controlarla, los vehículos que circulen sobre la junta circularán de manera cómoda y sin provocar daños en la estructura, en el vehículo o en la carga.



a) Losa con un adecuado sistema de transferencia de carga (Junta 100% efectiva)



b) Losa sin sistema de transferencia de carga (Junta 0% efectiva)

Fig. 3.4-1 Eficiencia en transferencia de carga en juntas

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

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

$$E = \frac{2 \Delta_U}{\Delta_L + \Delta_U} \cdot 100$$

Donde:

Δ_L = Deflexión del lado cargado de la junta.

Δ_U = Deflexión del lado no cargado de la junta.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.A Transferencia de Carga Mediante Trabazón de Agregados

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

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

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

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

De acuerdo a los estudios de la Asociación del Cemento Pórtland hechos por Colley y Humphrey en 1967 y Nowlen en 1968, la efectividad de la transferencia de carga, disminuye cuando se abre la junta. Una apertura de la junta de 0.9 mm (0.035 pulg) o menores presentan buena efectividad de transferencia de carga y juntas con una apertura de 0.6mm (0.025 pulg) son casi 100% efectivas en términos de deflexión en los bordes de la losa.

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

Efecto del soporte de la subrasante

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

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

Efecto de la Carga

La eficiencia en la transferencia de cargas por trabazón de agregados disminuirá a medida que aumente la magnitud y frecuencia de cargas pesadas. Cabe mencionar que aún cuando se presenten buenas condiciones en la junta, ésta no será capaz de soportar cargas pesadas aún durante un corto período de tiempo.

Efecto de la forma del Agregado.

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

3.4.B Transferencia de Carga Mediante Pasajuntas

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

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

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

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

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

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

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

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

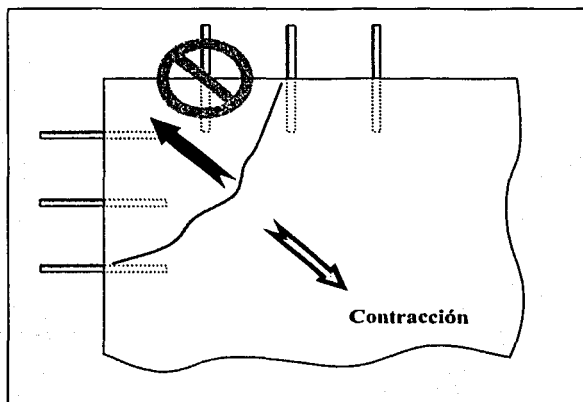
No se deben confundir las pasajuntas con las barras de amarre, recordemos que las pasajuntas son de acero liso que permiten los movimientos de expansión y contracción de la losa, mientras que

las barras de amarre, por ser varillas corrugadas que se adhieren al concreto en ambos lados de la losa, no permiten el movimiento de la misma y pueden llegar a causar agrietamientos

Tabla 3.4.b-1 Recomendaciones del ACI para diámetro, longitud y separación de pasajuntas.

Espesor de la losa (cm.)	Pasajuntas		
	Diámetro en mm.	Longitud en cm.	Separación en cm.
16	19	40	30
20	25	45	30
25	30	45	30

Así mismo se debe tener especial cuidado en alinear perfectamente las piezas para evitar que éstas puedan restringir los movimientos horizontales entre las secciones. De hecho, uno de los principales problemas de este sistema, es el garantizar la perfecta alineación de las piezas, y otro, es el riesgo que se corre cuando se colocan pasajuntas tanto en el sentido perpendicular, como en el sentido paralelo a la franja de colado, ya que unos no permiten el movimiento horizontal. Para estos casos normalmente se recomienda omitir las ultimas barras en la junta, dejando al menos una distancia libre entre pasajuntas igual a la longitud de una barra. (ver fig. 3.4-2)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 3.4-2 Pasajuntas en ambos sentidos y el agrietamiento típico si la restricción a la contracción es excesiva

Pasajunta en forma de diamante

Consiste en una camisa de plástico triangular que se fija a la cimbra, de manera que una vez retirada la cimbra, la camisa quede ahogada en el concreto, para después introducir una placa de acero cuadrada de 4.5", quedando alineada en forma de diamante. De tal manera que la placa proporciona una eficiente transferencia de carga, permitiendo en la camisa la presencia de movimientos horizontales entre las distintas secciones del colado. A su vez, este sistema garantiza la alineación horizontal y vertical de la placa, por lo que se elimina la necesidad de utilizar canastillas,

ya la restricción de utilizar sistemas de transmisión de carga en ambos sentidos, ya que su diseño permite que la placa se mueva en distintas direcciones.

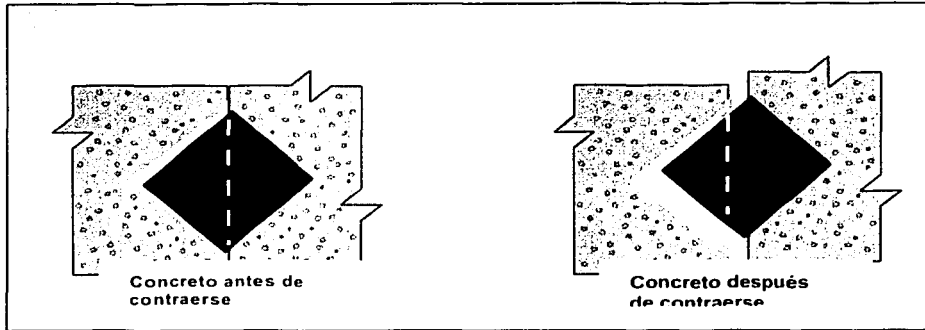


Figura 3.4-3 Pasajuntas en forma de diamante

La equivalencia entre el sistema de pasajuntas en forma de diamante y los pasajuntas redondas, se detalla en la tabla siguiente

Tabla 3.4.b-2 Equivalencia en el sistema placa vs pasajunta para la transmisión de cargas

DIMENSIONES DE LA PLACA	ESPACIAMIENTO PASAJUNTAS REDONDAS ¾"		ESPACIAMIENTO PASAJUNTAS REDONDAS 1"		ESPACIAMIENTO PASAJUNTAS REDONDAS 1 ¼"	
	12"	18"	12"	18"	12"	18"
¼" X 4 ½"	18"	24"	12"	18"		10"
3/8" X 4 ½"	24"	24"	18"	24"	12"	18"
¾" X 4 ½"	24"	24"	24"	24"	20"	24"

3.4.C Transferencia de Carga en Juntas Machimbradas

En la práctica, la mayoría de las juntas machimbradas no permanecen debidamente unidas, a consecuencia de la contracción natural del concreto. El machimbre pierde contacto con su contraparte (unión tipo hembra – macho), por lo que si las cargas son fuertes, provocarán que la parte superior del machimbre al ya no estar en contacto con su parte inferior (que le daba el soporte para la transferencia de carga) trabaje sin apoyo, por lo que la mayoría de las juntas machimbradas resultan con una grieta paralela a la junta. Este tipo de junta, sólo se menciona como una alternativa para la transferencia de cargas, más no para su recomendación en el caso de un piso industrial.

Por esta razón este tipo de juntas no se recomienda al no ofrecer buena transferencia de carga al estar sometidas a tráfico vehicular.

IV. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA

Con el objeto de tener una mayor seguridad en el diseño de un piso industrial, se explicará en éste capítulo las consideraciones principales que involucran el diseño de una losa de concreto desplantada sobre el terreno. El diseño estructural está basado en gran medida de la capacidad del concreto de transferir cargas por flexión a la subrasante en ausencia de grietas. (Esto no significa que el concreto no se agrietará, pero lo más importante es que no se presenten grietas ante aplicaciones de carga). En este contexto, el diseño es definido como el proceso de decisión de planear, medir, detallar y desarrollar especificaciones generales previas a la construcción. Otros aspectos de la información, tales como materiales, métodos constructivos, colocación del concreto, técnicas de acabado, se incluyen solamente cuando sea necesario un método alternativo en la toma de decisiones.

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

El Comité ACI 360 define a un piso industrial como: una losa continuamente soportada en el terreno, en el cual la carga total se distribuye uniformemente a razón del 50% de la capacidad de carga del terreno. La losa debe considerarse como isotrópica, de espesor uniforme, plana y nivelada.

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

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

- Capacidad portante de la subrasante y la subbase.
- Resistencia del concreto.
- Ubicación y frecuencia de cargas impuestas.
- Magnitud de las cargas, incluyendo las de construcción.

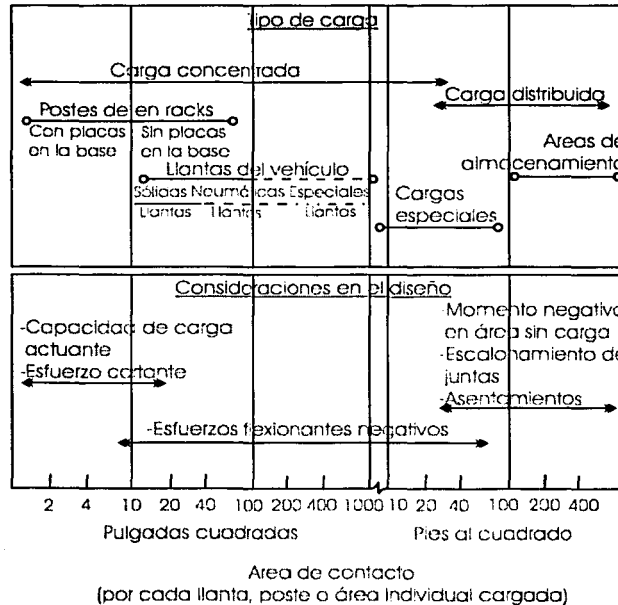
Existen dos propiedades del concreto que para efectos del método de diseño de la PCA se mantienen fijas o constantes, sabiendo de antemano que ambas propiedades tienen poca influencia en el diseño del espesor de la losa. Los valores que se usaron para desarrollar las gráficas de diseño fueron de módulo de elasticidad $E = 2'760,000 \text{ kg/cm}^2$ (4,000,000 psi) y módulo de poisson $\nu = 0.15$

Se menciona a continuación el diseño de las losas soportadas sobre el terreno por la aplicación de cargas uniformemente distribuidas, cargas puntuales por racks y dinámicas por montacargas.

4.1 Objetivos del Diseño

Pueden ocurrir varios tipos de fallas en la losa provocados por un exceso de carga, por ejemplo, grietas y alabcos debido a un exceso de esfuerzo a flexión, asentamientos debido a un exceso de presión al suelo y fracturas por efecto de aplicación de grandes esfuerzos por cortante.

La estrategia del diseño de pisos es mantener todos estos factores dentro de los límites de seguridad. Sin embargo el factor más crítico de éstos, es decir, la consideración que rige el diseño, varía dependiendo del área de contacto de la carga como se muestra en la figura 4.1-1, por ejemplo, cuando una bodega esté sujeta a tráfico de montacargas, resultará crítico el diseño por flexión por tensión del concreto; por el contrario, para cargas distribuidas cubriendo grandes áreas de almacenamiento, el esfuerzo por flexión debajo de la carga no resultará tan crítico. Momentos negativos (esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa) pueden causar grietas en los pasillos, o la carga puede ocasionar que las juntas fallen como resultado de asentamientos diferenciales.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 4.1-1 Consideraciones de diseño críticas en función del tamaño del área de contacto de la carga

El área de contacto es crítica para el caso de pesadas cargas en los postes de las estructuras de almacenamiento o racks. Si el plato o base de los postes es muy pequeño, la falla de la losa debido a una carga excesiva o esfuerzos cortantes resultará importante en el diseño del espesor, ya que como se sabe, mientras exista una mayor área, el esfuerzo cortante aplicado a la losa será menor.

No está por demás mencionar que la figura 4.1.1 se presenta exclusivamente como guía, ya que obviamente las fronteras entre las diferentes consideraciones de diseño a controlar no son exactas y varían de alguna manera dependiendo de muchos factores, incluyendo el espesor de la losa, resistencia del concreto y la capacidad de soporte de la base.

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

4.2 Esfuerzos de Flexión y Factores de Seguridad

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

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

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

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

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

Debido a que el esfuerzo por flexión es 50% a 60% mayor en los bordes de la losa sin una adecuada transferencia de carga, el espesor de la losa se debe de incrementar en los casos de juntas

sin pasajuntas, aunque las juntas estén en la parte interna o en la periferia de la losa. El aumentar el espesor de la losa compensará la falta de transferencia de carga y mantendrá los esfuerzos por flexión en los bordes dentro de límites seguros.

Las gráficas de diseño de espesores de losa presentadas en este capítulo, fueron desarrolladas para cargas localizadas en el interior de la losa. Sin embargo, las mismas gráficas pueden ser usadas para condiciones de carga dinámicas con juntas sin la adecuada eficiencia de transferencia de carga.

Los esfuerzos en los bordes, se consideran ajustando el esfuerzo permisible de trabajo usando un apropiado factor de juntas, ante altos esfuerzos de flexión. Por ejemplo, para un módulo de ruptura de 39 kg/cm² (560 psi), usando un factor de seguridad (FS) de 2.2 para las cargas localizadas en el interior provee esfuerzos de trabajo de 18 kg/cm² (255 psi). Para cargas en los bordes, el factor de seguridad es ajustado por un factor de junta de 1.6 (60% más alto que para la condición de carga interior) para considerar el esfuerzo de flexión más grande del concreto, es decir en el borde. De esta manera el esfuerzo permisible de trabajo es más bajo: $39/(2.2 * 1.6) = 11$ kg/cm² [$560/(2.2 * 1.6) = 160$ psi]. Cuando la transferencia de cargas en las juntas (y así la transferencia de esfuerzos) puede ser asegurada – por ejemplo, por una buena trabazón de agregados o por pasajuntas – el ajuste del esfuerzo de trabajo por cargas frecuentes no es grande. Sin embargo, el diseñador deberá tener cuidado al saber que las grietas formadas en las juntas de control por la contracción del concreto, pueden llegar a ser lo suficientemente ancha para perder la transferencia de carga por trabazón de agregados.

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

4.3 Consideraciones de diseño

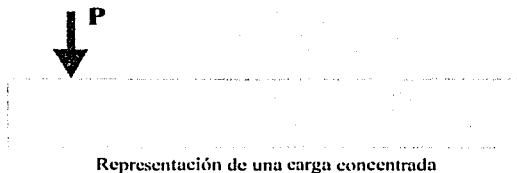
Como se ha mencionado anteriormente, las consideraciones para el diseño de un piso industrial son diversas. En él, están involucrados el diseñador, constructor, especialista de mecánica de suelos y desde luego, el propietario; para responder a todas las interrogantes y requerimientos que surjan durante cualquier etapa del proyecto. Así mismo, se requerirá de un listado de las características de los materiales, equipo y del personal técnico especializado.

En un piso industrial, al igual que cualquier otro elemento estructural, debe ser diseñado tomando en consideración la frecuencia, magnitud y tipo de carga aplicada. Es decir, se deberá contar con la suficiente información que nos permita estimar las condiciones de la losa de concreto durante su vida útil. Cuando un piso sea diseñado para un tipo de carga en específico, uno de los primeros pasos es identificar las características propias de la misma carga. A continuación, se mencionan los tipos de cargas.

1. Carga nominal: debida a una figura arbitraria usada para ciertos propósitos de diseño. Está usualmente expresada en términos de carga uniformemente distribuida en kg/m² o lb/ft². Es

decir, se utiliza solamente para efectos de estimación de carga para sus cálculos correspondientes.

2. **Cargas concentradas:** son aplicadas sobre pequeñas áreas del elemento, usualmente sobre áreas menores de 0.1 m^2 (1 ft^2). El área cargada es un importante factor en el análisis de las cargas concentradas. Este tipo de cargas, son muy frecuentes en bodegas, e industrias y a menudo controlan el diseño estructural de un piso de concreto, al igual, las cargas en las llantas de los vehículos también se consideran como cargas dinámicas concentradas. En el Reino Unido, las cargas concentradas están expresadas en toneladas, y ocasionalmente en (KN). En Estados Unidos, en libras o kips, pero en nuestro caso, en México, las expresamos en kg o ton.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

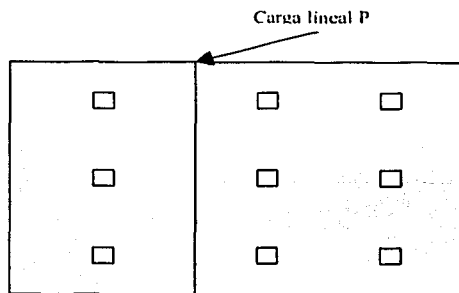
3. **Cargas uniformemente distribuidas:** cuando la carga se distribuya en un área mayor de 1 m^2 (10 ft^2) de piso, se dice que está uniformemente distribuida. Este término también es aplicable cuando se dispone del almacenamiento por tarimas o palets en contacto directo con el piso (Ver ilustración en el capítulo I). Generalmente en el caso de los pisos industriales, aún con la presencia de cargas concentradas y uniformes, la carga que regirá la condición máxima de diseño, se deberá a las cargas dinámicas de los montacargas. Su unidad es, presión por unidad de área o kg/m^2 o ton/m^2 .



donde $P_1 = P_2 = P_3 = P_n$

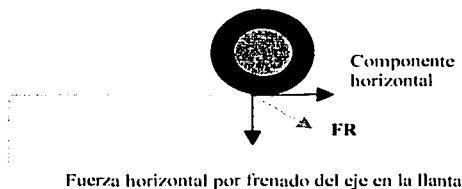
Representación de una carga uniformemente distribuida

4. **Cargas lineales:** resultan generalmente de las cargas debidas a muros perimetrales. Cuando las cargas sean excesivas, resultará conveniente el uso de cimentaciones aisladas para el alivio de cargas en contacto directo con la losa de concreto. Las cargas lineales o cargas por unidad de longitud, están expresadas en kg/ml o ton/ml .



Carga lineal por la presencia de muro divisorio (v. planta)

5. **Cargas horizontales:** todas las acciones de cargas al realizar un diagrama de cuerpo libre, se verá que están sometidas a cargas verticales tanto ascendentes (reacciones) y descendentes (acciones). Pero un factor, que a menudo se desconoce y descuida, es el de las cargas horizontales en el diseño de los pisos industriales. A decir verdad, no son tan grandes comparadas con las cargas verticales, mas bien son pequeñas, pero debieran tomarse en consideración para el diseño de cualquier piso. Se deben a la acción de frenado, aceleración y giro de las llantas de los montacargas. Los vehículos que viajan libremente sobre la superficie del piso, experimentan fuerzas horizontales y están limitadas por la fricción de la llanta y la superficie de la losa de concreto. Su unidad es de carga expresada en kilogramos.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.3.A Factores de seguridad y sistema de clasificación de cargas

Es bien sabido, que cualquier estructura tiene que ser diseñada para soportar las condiciones de carga a las que se verá sometida durante su vida útil, de tal manera que será necesario de un margen de seguridad que permita compensar errores en el diseño, construcción y/o imprevistos. Un factor de carga, es más que un valor numérico al cual se le afectan todas las acciones, se trata del aseguramiento y tranquilidad del diseñador y propietario ante posibles daños.

El manual de diseño Chandler, recomienda un factor de carga mínimo de 1.50. Esto significa que si se tiene una carga de 1 ton, el diseñador deberá afectarla por un 50% más de carga que la especificada en el proyecto, es decir, 1500 kilogramos o 1.5 ton. Pero en algunos casos, los pisos industriales requieren de factores de carga superiores a 1.5; se debe a numerosos ciclos de carga y descarga actuantes durante su vida útil de las losas en la prevención de la falla por fatiga. En la siguiente tabla, se muestran los factores de seguridad de acuerdo al número de ciclos de carga esperados. Una pregunta que surge ante tales condiciones es: ¿Qué tanto afecta un ciclo de carga en un piso industrial? La respuesta es que un ciclo consiste en un vehículo cargado (montacargas generalmente) viajando en diferentes direcciones y sentidos opuestos durante una jornada de trabajo, en tales circunstancias, existirán momentos positivos y negativos en la losa debidas a la flexión por tensión, produciéndose máximas deformaciones por efectos de cargas dinámicas y la posición del eje cargado con respecto a los bordes de la losa. Es por ello, que resulta de manera importante un adecuado diseño de las cargas concentradas dinámicas de los montacargas.

Tabla 4.3.A.1 Factores de seguridad

Máximo número de repeticiones de carga	Factor de seguridad
Más de 400 000	2.0
400 000	1.96
300 000	1.92

240 000	1.87
180 000	1.85
130 000	1.82
100 000	1.79
75 000	1.75
57 000	1.72
42 000	1.70
32 000	1.67
24 000	1.64
18 000	1.61
14 000	1.59
11 000	1.56
8 000	1.54
8 000	1.50

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando se evalúan los factores de seguridad, los diseñadores deberán recordar que "seguridad" implica un significado diferente para las losas desplantadas sobre el terreno natural, que para las losas de entrepiso. Cuando una losa en un edificio falla, resulta catastrófico pensar que pudiera ocurrir ante un colapso total de la misma; por el contrario, resulta imposible que una losa para un piso industrial sufra el mismo percance. La falla estructural para una losa desplantada sobre el terreno significa el agrietamiento. Lo anterior, no significa que resulta más importante el diseño y construcción de una losa de entrepiso, a pesar de las mayores consecuencias que se pudiesen presentar; sino que se deberá tener el mismo cuidado con una losa desplantada sobre el terreno, ya que pueden formarse fácilmente agrietamientos que originen una reducción de las maniobras de estiba en los racks y montacargas y a su vez, altos costos de reparaciones por mantenimiento.

Un método ideal para el diseño de pisos en bodegas de almacenamiento, es diseñarlo de acuerdo al peso específico de los productos a manejar. Esto no solamente asegura que el piso está destinado a ese propósito, sino que asegura una mayor vida útil de las losas de concreto. Pero en la práctica, esto no es siempre posible. Muchos pisos industriales, requerirán de un mayor grado de flexibilidad para en el manejo de diversas mercancías. Por lo que una limitación en su manejo derivará en pérdidas económicas, debido a que la estructura en general no fue del todo aprovechada.

El sistema estandarizado de clasificación de cargas de forma alternativa provee, de la información necesaria para el cálculo de cargas máximas permisibles de acuerdo a las características y disposición de los postes de los racks y montacargas, de tal manera que se hace posible conocer los alcances para el diseño y operación de un piso industrial. En la siguiente tabla, se mencionan 4 categorías de carga: ligera, media, pesada y muy pesada y sus diversas consideraciones de cada una de ellas. Por ejemplo, un piso diseñado para soportar cargas ligeras, debe soportar cualquiera de las siguientes cargas:

- Configuración de los racks: espalda con espalda, con 2.25 ton de carga en cada poste.
- Estantes: espalda con espalda, con carga de 2.0 tons en cada pata.
- Mezzanines: soportando una carga de 3.5 KN/m².
- Montacargas: con capacidad de 2.0 ton de carga en el eje.

Tabla 4.3.A.2 Sistema de Clasificación de Cargas^{4b}

CARGAS CRÍTICAS				
Clasificación de cargas	Anaqueles o racks	Estantes	Mezzanines	Montacargas
1. Ligera	4.5 ton (10,000 lb) por marco, ó 2.25 ton (5,000 lb) por poste del rack.	4.0 ton (8,800 lb) por marco, ó 2.0 ton (4,400 lb) por poste del rack.	35 kg/m ² (75 lb/ft ²) en mezzanine	2.0 ton (4,400 lb) de capacidad en el eje.
2. Media	6.0 ton (13,200 lb) por marco, ó 3.0 ton (6,600 lb) por poste del rack.	5.4 ton (11,800 lb) por marco, ó 2.7 ton (5,900 lb) por poste del rack.	50 kg/m ² (100 lb/ft ²) en mezzanine	3.0 ton (6,600 lb) de capacidad en el eje.
3. Pesada	10.0 ton (22,000 lb) por marco, ó 5.0 ton (11,000 lb) por poste del rack.	Rara vez crítica	72.5 kg/m ² (150 lb/ft ²) en mezzanine	Rara vez crítica
4. Muy pesada	12.0 ton (26,400 lb) por marco, ó 6.0 ton (13,200 lb) por poste del rack.	Rara vez crítica	95.0 kg/m ² (200 lb/ft ²) en mezzanine	Rara vez crítica

Una vez que el piso ha sido estructuralmente diseñado para una clase particular de carga, el propietario tendrá la confianza y seguridad de cambiar su uso, sin problema de daño alguno.

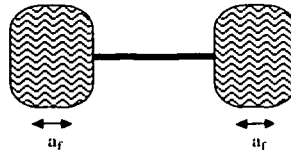
Cabe señalar que esta clasificación de cargas, no cubre todos los aspectos en el diseño de un piso industrial, por lo que se recomienda contar con la asesoría de un mecánico de suelos y asegurar por completo las características para las cuales será sometido el piso industrial.

4.3.B Área de carga

Debe tomarse en cuenta el caso de las cargas concentradas. Si una carga concentrada es aplicada a un área de losa grande (mayor a un lm²), entonces, estaremos hablando de una carga uniformemente distribuida; donde los esfuerzos a flexión serán menores conforme aumente el área de la sección cargada. Otros métodos emplean el término, *radio del área cargada*, esto es un círculo equivalente de área, con respecto al área original en contacto directo con la carga.

Lo anterior, se reduce en conocer el área efectiva de carga o de contacto, que en algunos casos difiere del área aparente. En algunas gráficas se hará mención de ello, en el caso de los montacargas, ésta será el área de la llanta en contacto con el piso entre la presión de inflado. En el caso de los racks, el área no se afectará, debido a que se coloca una base rectangular metálica que distribuye de mejor manera las cargas puntuales.

^{4b} Chandler JWE y Neal FR. The Design of Groundsupported Concrete Industrial Floor Slabs. British Cement Association, Wesham Springs, 1988.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4 3-1 Área efectiva de contacto de un eje cargado de un montacargas

4.3.C Posición de la carga

Las cargas concentradas son analizadas de diferente manera de acuerdo a su posición con la losa. Cuando se coloca una carga lejos del borde de la losa, se desarrolla una *carga interna*, originando el menor esfuerzo en la losa de concreto. La misma carga producirá un mayor esfuerzo, si se coloca cerca del borde, y producirá aún un mayor esfuerzo, si se coloca en la esquina de la losa.

Supongamos que nosotros aplicamos una carga de 1 ton a una losa de concreto de 15 centímetros de espesor. En este ejemplo, el concreto tiene un módulo de ruptura de 38 kg/cm^2 (550 psi) y una adecuada base de soporte. El radio de área de carga es de 10 centímetros (4 in). De acuerdo a la clasificación de Chandler, los esfuerzos de flexión en la losa serán de 7.17 kg/cm^2 , si la carga es interna, esto es, alejada de los bordes. Si la misma carga es aplicada en uno de los bordes, el esfuerzo será de 11 kg/cm^2 (160 psi), alrededor de un tercio de carga mayor. Por el contrario, si colocamos la carga en una esquina de la losa, los esfuerzos se verán incrementados a 12.8 kg/cm^2 o sea en un 83% más que en el interior de la losa.

Los diseñadores deberán planear todas estas consideraciones tales que eviten daños por grietas en los bordes y esquinas de las losas de concreto; y si pesadas cargas no pueden ser evitadas, se recomendará el aumento del espesor de la losa o una adecuada transferencia de cargas mediante pasajuntas (se explicará a detalle más adelante su funcionamiento).

4.4 Métodos de Diseño

Existen cinco métodos comúnmente empleados o procedimientos para el diseño de un piso industrial desplantado sobre el suelo.

1. **Método de la PCA** (Portland Cement Association) Asociación de Cemento Pórtland
2. **Método WRI** (Wire Reinforcement Institute) Método del Instituto del Acero de Refuerzo
3. **Método COE** (U.S. Army Corps of Engineers method) Método del cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos.
4. **Método PTI** (Post-tensioning Institute Method) Método del Instituto para el postensado
5. **Método ACI 223** (ACI Committee 223) Método del Instituto Americano del Concreto.

Todos los métodos mencionados, prueban ser efectivos cuando se siguen adecuadamente las recomendaciones de diseño. Es por ello, que no debe pasarse por alto las recomendaciones que cada instituto sugiere al diseñador. La selección de un método en particular, se hará en base de la experiencia y sensibilidad del ingeniero, así como de las condiciones propias del lugar y necesidades

del proyecto. La siguiente tabla provee algunas recomendaciones en la selección de un determinado método.

Tabla 4.4-1 Relación del tipo de construcción de la losa y métodos de diseño

	TIPO DE LOSA	Métodos de Diseño					
		PCA	WRI	COE	PTI	ACI	
A	Concreto simple;	X		x			<i>Espesor</i>
	Sin refuerzo; cemento portland	X		x			(t.r)
B	Refuerzo por temperatura y contracción;	X	x	x			<i>Espesor</i>
	cemento portland	X	x				t.r.
C	Refuerzo por temperatura y contracción;	X	x	x			<i>Espesor</i>
	cemento de contracción compensada					x	t.r.
D	Control del agrietamiento por medio de	X	x	x	x		<i>Espesor</i>
	postensado; cemento portland				x		t.r.
E	Uso de refuerzo postensado y/o por barras de	X	x		x		<i>Espesor</i>
	acero comerciales; cemento Pórtland				x		t.r.
F	Acero de refuerzo no preesforzado; cemento	X	x	x	x		<i>Espesor</i>
	portland		x	x	x		t.r.

Nota: t.r.: temas relacionados con el tema

4.4.A.1 Método PCA

Las gráficas y tablas del método de la PCA (Asociación del Cemento Pórtland) permite obtener el espesor de la losa de concreto para ejes sencillos y duales de carga en los montacargas. El acero de refuerzo es opcional y está orientado básicamente al control de la contracción y temperatura. Este método considera la posición de las cargas en el interior de la losa, es por ello que se recomienda que las juntas deben estar reforzadas.

4.4.A.2 Método "Instituto del Acero de refuerzo" (WRI)

El método provee una metodología para el cálculo del espesor para un eje sencillo cargado y para cargas uniformemente repartidas. Solamente se consideran cargas en el interior de la losa. Las gráficas del WRI, incluyen los efectos de la rigidez relativa de la losa, con respecto a la subrasante. El cálculo del acero de refuerzo se incluye directamente en éste método.

4.4.A.3 Método del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (COE)

El método del cuerpo de ingenieros de la armada de los E.U, está basado en las ecuaciones de Westergaard para esfuerzos en los bordes de la losa. Es por lo tanto, un método apropiado para cargas ubicadas en las juntas o bordes de la losa de concreto. Además se incluye el efecto de la transferencia de carga a través de la junta en términos del coeficiente de transferencia de carga de 0.75, el cual reduce los efectos de carga en la junta en un 25%. El acero de refuerzo es opcional, aunque su uso se especifica implícitamente.

4.4.A.4 Método del Instituto del Postensado (PTI)

El Instituto del Postensado, publica gráficas y tablas referentes al manejo de cargas en pisos permitiendo que los suelos presenten ligeras variaciones volumétricas por contracción y expansión.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Los tensores del postensado deberán tenerse en consideración para el diseño, además de la presencia de momentos y esfuerzos cortantes; el acero de refuerzo con barras comerciales puede también ser usada. Estos tensores pueden ser usados para el control de los efectos de la temperatura y contracción, además puede ser incluido para un efectivo incremento del módulo de ruptura de la subrasante.

4.4.A.5 Método del Instituto Americano del Concreto (ACI)

Este método no dispone de un diseño propio para el cálculo del espesor de la losa, sino que se basa en los métodos anteriores. Hace énfasis en el control a temprana edad de la expansión y contracción del concreto. El acero de refuerzo es necesario y su colocación resulta no del todo práctica. Una diferencia importante en éste método, resulta de una mayor modulación de las losas, como resultado en el control de la contracción del concreto.

4.4.A.6 Otros Métodos

Además de los cinco métodos mencionados anteriormente, existen algunos procedimientos de diseño enfocados a programas de computadora, que a continuación se mencionan:

- Ecuaciones de la teoría elástica para vigas y cimentaciones
- Ecuaciones para momentos negativos con carga uniformemente repartida junto a una columna
- Un programa de computadora llamado AIRPORT
- Un sofisticado programa de computadora llamado MATS.

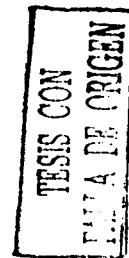
Sin dudar que las teorías y los programas de computadora, son perfectamente aplicables para el diseño y comportamiento de las losas de concreto para un piso industrial.

4.4.B Correlación entre el tipo de construcción, método de diseño y condiciones de carga

Cada uno de los métodos citados anteriormente, tiene una condición de carga en particular, para lo cual es más efectiva. Considerando varios tipos de cargas (ver tabla 4.4-2), se muestra cuál método de diseño es el apropiado para cada tipo de carga. En la tabla 4.4-1 como se ha mencionado anteriormente, correlaciona el método constructivo para una losa de concreto, con el método de diseño apropiado para cada caso; así mismo, muestra los métodos de ayuda para la selección del espesor y que métodos brindan información relacionada con los temas afines, tales como materiales y cuidados en las juntas, espaciamientos y requerimientos del acero de refuerzo.

Tabla 4.4-2 Métodos de selección del espesor de la losa de concreto, para diferentes tipos de cargas.

TIPO DE LOSA	Métodos de Diseño				
	PCA	WRI	COE	PII	ACI
• Cargas uniformes y pasillos	X	x			
• Cargas de almacenamiento en los postes de los racks	X				
• Llantas de los montacargas: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Cargas interiores ◦ Cargas en los bordes 	X	x	x		
• Cargas concentradas					
• Impactos de vehículos cargados			x		
• Preesfuerzo en losas postensadas				x	
• Concreto de contracción compensada					x



4.5 Diseño para vehículos con ejes cargados (montacargas)

El diseño de un vehículo de eje cargado, es comúnmente conocido como montacargas, aunque también puede ser cualquier vehículo que viaje en la superficie del piso y sus llantas estén en contacto directo con la superficie de concreto. Esto es un eje sencillo con una llanta o dos, en el extremo del eje. Esto produce un par concentrado de cargas en la losa de concreto y frecuentemente controla el diseño del espesor del piso industrial.

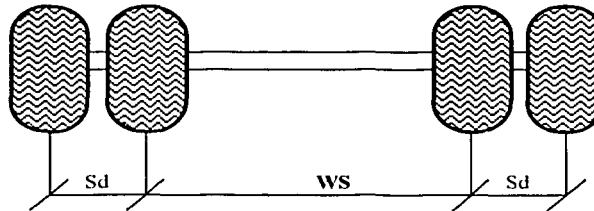


Fig. 4.5-1 Geometría de un eje cargado de un montacargas en maniobras de carga y descarga en una bodega industrial.

El procedimiento de diseño para cargas en vehículos requiere del conocimiento de las siguientes consideraciones:

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Figura 4.5-2 Diversas configuraciones de ejes y llantas de los montacargas

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

Si no se desea proveer transferencia de carga se puede incrementar el espesor de la losa en el área de la junta para mejorar su desempeño bajo la aplicación de la carga. Normalmente se recomienda incrementar el espesor un 20% , sin embargo esta práctica que era común en el pasado ya no lo es en la actualidad por lo complicado que esto resulta en la construcción.

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

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

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

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

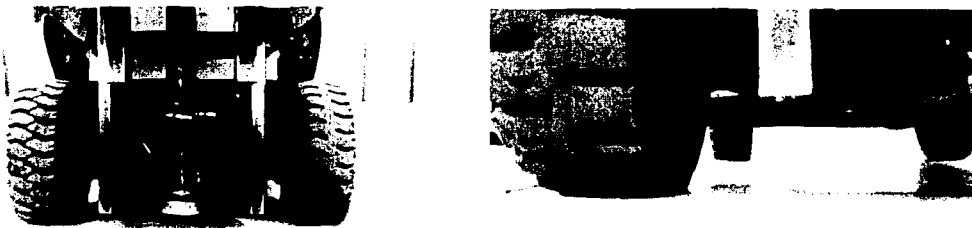


Figura 4.5-3 Gráfica de la separación de ruedas en el eje cargado e ilustración del área de las llantas en contacto directo con el piso (área de contacto)

El factor de seguridad es, la relación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura) entre el esfuerzo de trabajo a flexión, lo que puede entenderse como la capacidad total admisible que pueda ocurrir antes de la falla, con la resistencia utilizada. El inverso del factor de

seguridad (esfuerzo de trabajo dividido entre la resistencia a la flexión) se conoce como relación de esfuerzos, y éstos esfuerzos influyen en el número de repeticiones de carga permisibles.

Mientras la relación de esfuerzos se mantenga por debajo de 0.45, el concreto puede resistir un número ilimitado de repeticiones de carga sin presentar agrietamiento por fatiga (una relación de esfuerzos de 0.45 es equivalente a un factor de seguridad de 2.2). Para relaciones de esfuerzo mayores de 0.45 (factor de seguridad menor que 2.2), la tabla 4.5-A presenta el número máximo de repeticiones de carga que puede ser permitido sin causar agrietamiento por fatiga.

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

Tabla 4.5-A Relaciones de esfuerzo contra repeticiones de carga permitidas¹

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

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

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

4.5.A Método de Diseño usando las gráficas de la Asociación de Cemento Pórtland (PCA)

Este método de diseño es uno de los más empleados para el cálculo del espesor de la losa de concreto sometido a cargas dinámicas por montacargas. Su metodología se podrá observar en el ejemplo que se muestra. Una de las principales ventajas de éste método consiste en la simplicidad del cálculo del espesor, debido a que la mayoría de las operaciones matemáticas son sencillas, y a su vez que consiste en un método gráfico.

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

Debido a la gran variación de tamaños, cargas de ejes y espaciamiento de las llantas de los montacargas, no es práctico proveer de graficas de diseño para cada vehículo en específico. Por consiguiente, dos graficas de diseño, figuras 4.5-4 y 4.5-5, fueron preparadas y pueden ser usadas para configuraciones de carga y de ejes de la mayoría de los montacargas industriales que afectan el diseño de los pisos.

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

La figura 4.5-4 es empleada para montacargas de ejes sencillos, es decir ejes con una sola rueda de cada lado del eje, se entra a la gráfica con un esfuerzo de trabajo permisible por cada 1000 libras de carga en el eje. Este esfuerzo de trabajo permisible es calculado por la división de la resistencia a la flexión del concreto entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga del eje en kips (1 kips=1000lb). El factor de seguridad es obtenido por consideraciones de la relación de esfuerzos y las repeticiones de cargas, como provee la tabla 4.5-A

Para el caso de ejes dual, es decir ejes equipados con doble llanta, las figuras 4.5-5 y 4.5-4 son usadas para determinar el espesor de la losa del piso. Primero, se usa la figura 4.5-5 para convertir la carga del eje dual a un a carga equivalente de eje sencillo (el eje cargado es multiplicado por el factor F). Después, con la carga equivalente, se usa la figura 4.5-4 para determinar los esfuerzos de flexión en la losa.

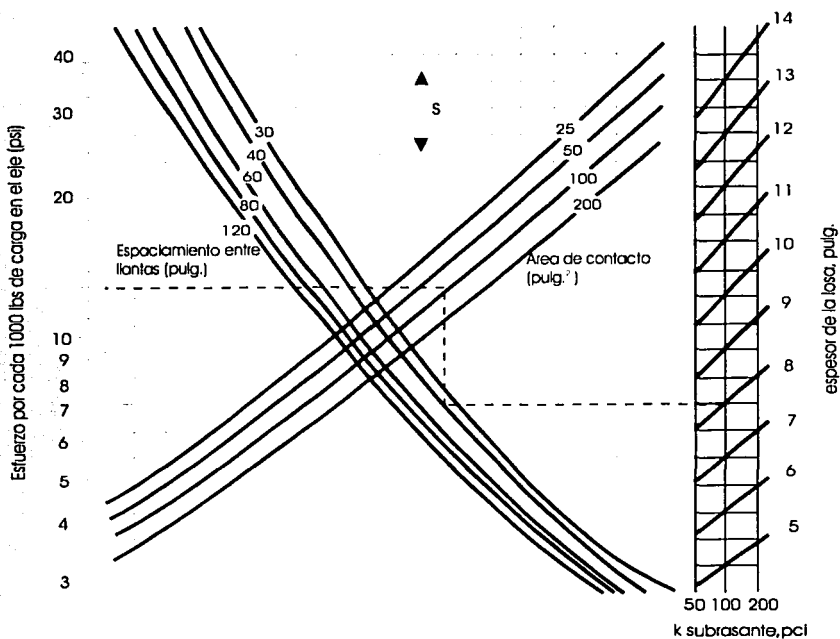


Figura 4.5-4 Gráfica de diseño para ejes sencillos

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

Una vez calculada el área en contacto directo con la losa de concreto, se usa la figura 4.5-6 para encontrar el área efectiva de contacto a usar en las graficas de diseño. Esta corrección se hace porque los esfuerzos en las losas provocados por pequeñas áreas de contacto son sobre-estimados cuando se calculan por las teorías convencionales. Las bases para este ajuste fueron dadas por la teoría de Westergaard en 1925. (estos mismos ajustes son usados para cargas en postes discutidos mas adelante). En el uso de la figura 4.5-6 es necesario suponer un espesor inicial de losa; esto es un proceso de prueba y error que se debe comprobar al final con el diseño de espesor requerido. El grado de corrección se incrementa a medida que el área de contacto llega a ser muy pequeña y el espesor de la losa incrementa.

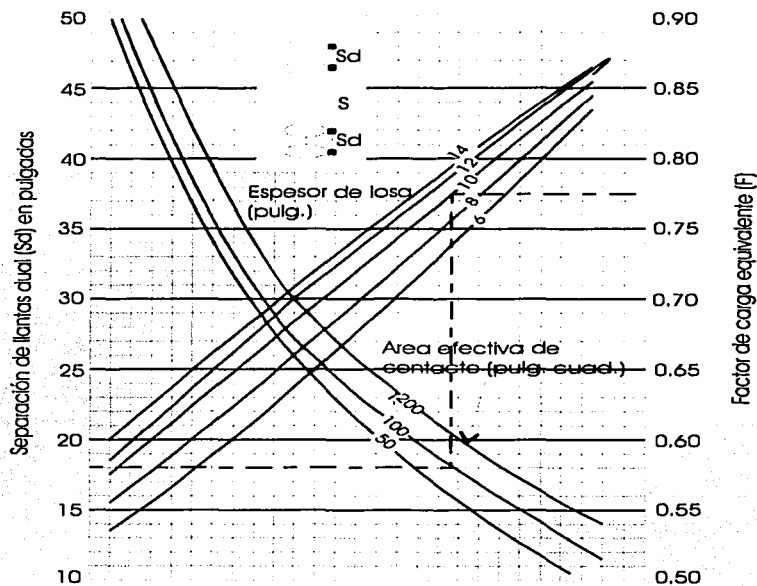
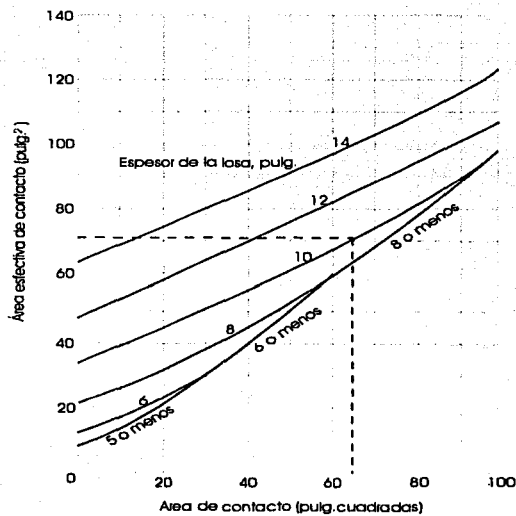


Figura 4.5-5 Gráfica de diseño para ejes dual



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 4.5-6 Área efectiva de contacto en función del espesor de la losa

Montacargas de eje sencillo

Datos del montacargas.

Eje cargado:	11.3 Tons (25 kips)
Espaciamiento de llantas:	94 cm (37 pulg.)
Número de llantas por eje:	2
Presión de inflado de la llanta:	0.76 Mpa (110 psi)

Área de contacto = cargas en las llantas / presión de inflado

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

Datos de la subrasante y concreto

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

Pasos de diseño

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

1.- Factor de Seguridad (FS):

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

2.- Factor de Junta (FJ):

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

3.- Esfuerzo de trabajo del Concreto:

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

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

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

5.- Entre por el eje de la parte izquierda de la figura 4.5-4 con un esfuerzo de 7.3 psi y muévase a la derecha para el área de contacto de 114 pulgadas². Desde ese punto, desplácese hacia arriba para el espaciamiento de llantas de 37 pulgadas. Desde ahí, muévase horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa de 11.2 pulgadas, Sobre la línea para subrasante con módulo de reacción k = 100 pci y use 11-1/4 pulgadas (29 cms) como espesor de la losa.

Si el uso de áreas mas bajas es identificable (instalaciones largas), cambie los factores de seguridad desde la tabla 4.5-A por los números estimados de repeticiones de cargas. Esto puede resultar en un espesor de piso reducido para otras áreas.

Montacargas de eje dual

Datos del montacargas:

Eje cargado:	22.7 Tons (50 kips)
Separación dual de llantas:	46 cm (18 in.)
Separación de llantas:	101.5 cm (40 in.)
Número de llantas por eje:	4
Presión de inflado de llantas:	0.86 Mpa (125 psi)

Área de contacto = Carga por llanta / presión de inflado

$$= \frac{50,000 / 4}{125} = 100 \text{ pulg}^2$$

Esta área de contacto es lo suficientemente grande como para no emplear la corrección de la figura 4.5-4

Datos de la subrasante y concreto

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

Pasos del diseño

1.- Factor de Seguridad:

Se sabe que el montacargas no circulará frecuentemente a su máxima capacidad de carga, solamente una o dos veces a la semana para un piso diseñado para una vida útil de 40 años, por lo que se espera una total de 4,000 repeticiones de carga y de acuerdo al criterio presentado en la tabla 4.5-A, para ese rango de repeticiones encontramos una relación de esfuerzos permisible de 0.67, lo que nos da un factor de seguridad de 1.5.

2.- Factor de Juntas:

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

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

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

4.- Entre en la figura 4.5-5 con una separación dual de llantas de 18 pulgadas, desplácese horizontalmente hasta cortar a la línea de área de contacto efectiva de 100 pulg², después desplácese verticalmente hasta cortar a la línea de espesor inicial de losa de 10 pulgadas, por último desplácese horizontalmente hasta cortar el eje de factor de equivalencia de carga F de 0.775. El factor de carga equivalente de eje sencillo es multiplicada por la carga en el eje dual, es decir $0.775 * 50 = 38.8$ kips, en el uso de estas figuras, es necesario suponer un espesor de losa y hacer la solución gráfica. El resultado (espesor diseñado) tendrá que ser comparado con el espesor supuesto, este es un proceso de prueba y error de los pasos 3 al 5, puede tener que ser repetido hasta que el espesor asumido y el espesor diseñado concuerden.

5.- Esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje.

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

6.- Entre en la figura 4.5-4 con un esfuerzo de 8.5 psi, desplácese horizontalmente a cortar a la línea de área de contacto de 100 pulg², después desplácese verticalmente a cortar a la línea de contacto de 100 pulg², y de este punto desplácese horizontalmente para encontrar un espesor de losa de 10.3 pulgadas sobre la línea de módulo de reacción k de la subrasante de 100 pci, use 10.5 pulgadas (27 cms) de espesor de losa, el espesor de losa de 10.5 in es aproximadamente el mismo espesor que fue asumido convirtiendo ejes dobles a ejes sencillos así, los pasos 4 al 6 no serán necesarios repetirlos.

4.5.B Método de Diseño usando las gráficas del Instituto del Acero de Refuerzo (WRI)

Para la aplicación de éste método, se requerirá del cálculo de la rigidez relativa de la subrasante y la losa de concreto, o relación D/k, determinadas en la siguiente figura. Así mismo, será necesario contar con 2 gráficas que también se muestran y explican. Ejemplo para la determinación del espesor de la losa usando las gráficas de la WRI.

Montacargas de eje sencillo (WRI)

Características del terreno natural y del concreto

- o Resistencia a la compresión del concreto: $f'c = 316 \text{ kg/cm}^2$ (4500 psi)
- o Módulo de ruptura: $MR = 42.47 \text{ kg/cm}^2$ (604 psi)
- o Módulo de reacción de la subrasante: 5.53 kg/cm^3 (k= 200 pci)
- o Factor de seguridad: F.S.= 2.0

Características del montacargas

- o Total de carga en el eje = 19,051 kg = 19 ton (42 kips = 42,000 lb)
- o Tipo de eje: Sencillo
- o Espaciamiento entre llantas = 106.5 cms (42 pulgadas)
- o Área de contacto de la llanta = 542 cm^2 (84 in²)
- o Diámetro efectivo de contacto = 26.26 cm^2 (10.34 pulgadas)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

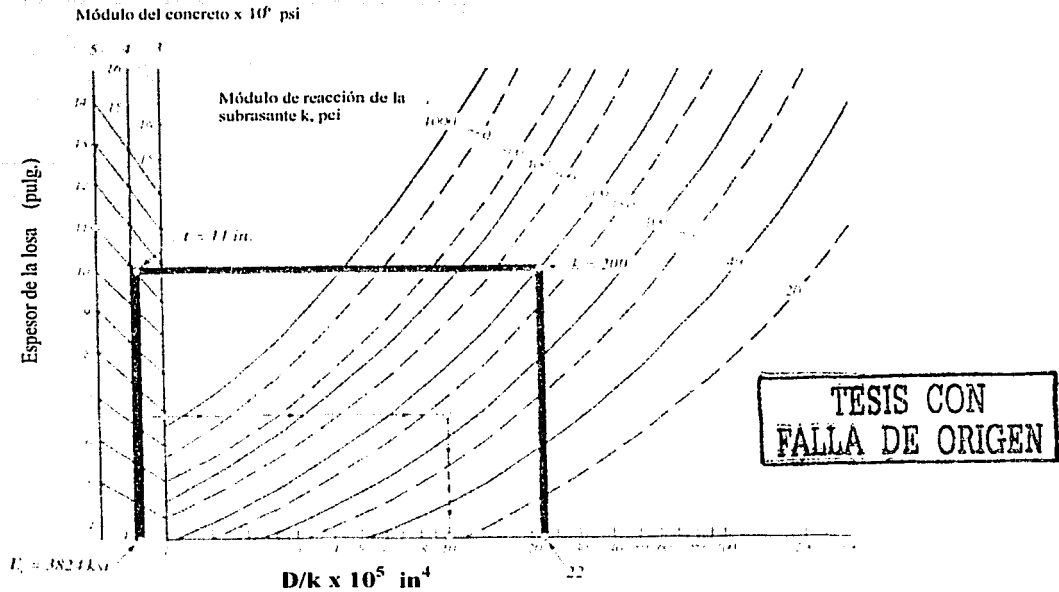


Fig. 4.5-7 Esquema del Instituto del Acero de refuerzo para la determinación del valor D/k

- 1.- Convertir todas las unidades de pesos y medidas al sistema inglés.
- 2.- El primer paso es suponer un espesor de losa.
Asumir un espesor $t_s = 11$ pulgadas
- 3.- Si el módulo de elasticidad es un valor no dado, puede calcularse de la siguiente fórmula:
$$E_c = W_c^{1.5} \times 33 f'c = 3824 \text{ ksi.}$$

(donde W_c = peso del concreto, tomado como 144 pcf)
- 4.- Use la figura 4.5-7, de la intersección de E_c y t_s , dibuje una línea horizontal hasta intersectar con la curva correspondiente a una reacción de la subrasante $k = 200$ pci. Inmediatamente después, baje con una línea recta al eje de las abscisas para obtener la relación D/k.
- 5.- Seleccione el valor $D/k = 22$
- 6.- Ahora utilice la figura 4.5-8 para determinar el momento aplicado que permita una determinada carga en el eje del vehículo. Esto incluye dos pasos: Con el valor del diámetro efectivo de carga igual a 10.34 pulgadas (dato) y el valor obtenido anteriormente $D/k = 22$, dibuje una línea recta vertical uniendo ambos puntos. Posteriormente, trace una línea horizontal hasta intersectar el eje de las ordenadas correspondiente al momento unitario por cada 1000 libras en la llanta, correspondiendo un valor de 255 pulgadas- libra por cada 1000 libras de carga en la llanta.

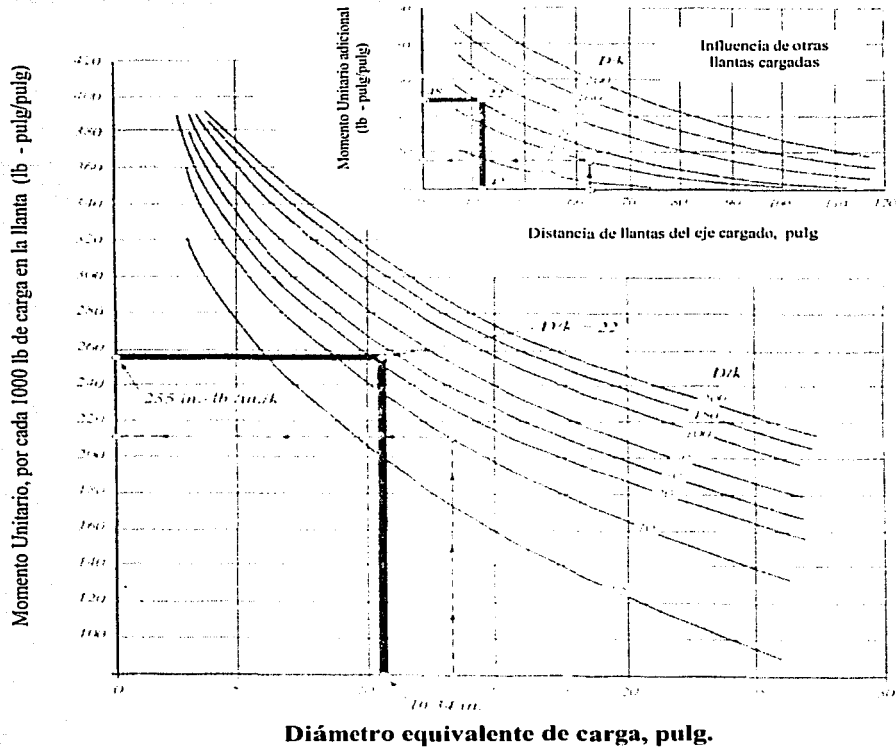


Fig. 4.5-8 Gráfica del WRI para la determinación del momento que permita un eje cargado de montacargas

7.- Ahora utilice la figura 4.5-8 para determinar el momento aplicado que permita una determinada carga en el eje del vehículo. Esto incluye dos pasos: Con el valor del diámetro efectivo de carga igual a 10.34 pulgadas (dato) y el valor obtenido anteriormente $D/k = 22$, dibuje una línea recta vertical uniendo ambos puntos. Posteriormente, trace una horizontal hasta cortar con el eje de las ordenadas, el valor obtenido es 255 pulg-libras/pulg.

8.- Utilice la gráfica de la parte superior de la figura 4.5-8 para encontrar el momento adicional permitido de la segunda llanta a la misma distancia.

9.- Con el valor de espaciamiento entre llantas de 42 pulgadas (dato) y el valor obtenido de la gráfica 4.5-7 el valor D/k igual a 22; ubique ambos valores en la gráfica. La distancia centro a centro de las llantas igual a 42, trace una línea recta vertical uniendo el valor D/k igual a 22, ahora trace una línea horizontal que intersekte con el eje de las ordenadas. El valor encontrado es 48 libras/pulg/pulg. de momento unitario adicional que produce la segunda rueda a la losa de concreto por efecto de un eje cargado.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

10.- Por lo tanto, el momento unitario total = $255 + 48 = 303$ pulgadas-libras por pulgada/kilolibra

11.- Calcule el momento total aplicado por el montacargas

Momento = $(303) (21 \text{ ,carga total del montacargas por llanta}) = 6,360$ pulg-libra/pulg.

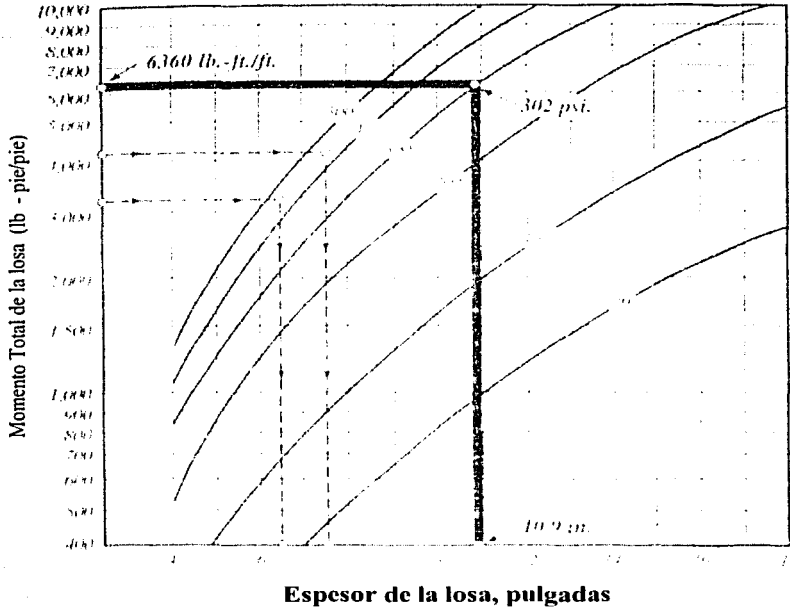


Fig. 4.5-9 Gráfica del WRI para la determinación del espesor de la losa de concreto

12.- De la fig. 4.5-9, trace una línea recta que una el momento total aplicado por el montacargas (6360), con la curva que representa el esfuerzo permisible (módulo de ruptura del concreto/ factor de seguridad, $604/2 = 302$ psi). Baje con una línea recta vertical que intersecte con el eje de las abscisas, para obtener el espesor de la losa de concreto.

13.- El espesor de la losa de concreto es de 10.9 pulgadas = 11 igual a 28 centímetros de espesor.

4.5.C Método del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (COE)

Este método de diseño difiere en gran medida de los mencionados anteriormente. Se basa en categorías de carga bajo condiciones específicas de los montacargas. Divide a los vehículos en tres clasificaciones generales:

1. Montacargas convencionales
2. Vehículos distintos a los montacargas de llantas neumáticas o sólidas
3. Vehículos de rodada especial (generalmente de uso militar)

En general, los métodos de diseño basan sus teorías ubicando las cargas en el interior de la losa, asumiendo que las juntas interiores están también unidas por pasajuntas y por consiguiente aportan cierto apoyo en la transferencia de cargas entre las losas adyacentes.

En la fig. 4.5-10 se emplea para montacargas con capacidad de carga hasta de 11.3 toneladas o 25 kips. Sin embargo, la gráfica hace uso de un índice de diseño para representar una clase común de vehículos como, coches, camionetas, autobuses y pequeños montacargas con aplicación de carga continua.

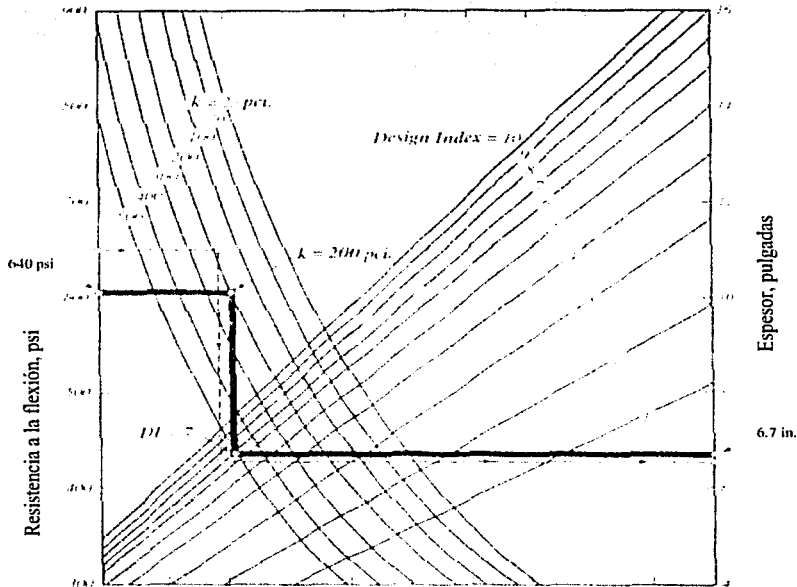


Fig. 4.5-10 Gráfica del COE para la determinación del espesor de la losa de concreto, por efecto del paso de vehículos con cargas ligeras (montacargas)⁹⁹

En la fig. 4.5-11, se emplea para montacargas con carga en el eje de 11.3 a 54.4 toneladas (25 a 120 kips) Así mismo, se considera un tipo de vehículo específico, asumiendo que el eje de carga tiene llantas duales con 148.6 centímetros de espaciamento y 34.29 centímetros la distancia entre las llantas duales (ver figura. 4.5-1) sin considerar el área de contacto efectiva. Estas variables también se consideran como parte de la solución al problema. Para obtener el espesor requerido, será necesario conocer el módulo de ruptura, la carga en el eje, el módulo de reacción de la subrasante y el número de pasadas de los vehículos cargados, esperados a lo largo de la vida útil de la losa.

⁹⁹ A pesar que las gráficas muestran de manera sencilla el cálculo del espesor del pavimento existen dos variables que no son tan fáciles de obtener. Para el uso de pisos industriales, el índice de diseño resulta difícil de seleccionarlo y varía de 1 a 10, donde los valores de 5 a 7 corresponderían a condiciones normales de operación en una bodega de almacenamiento. El tipo de vehículo no se especifica, por lo que representa una variable más para el diseñador.

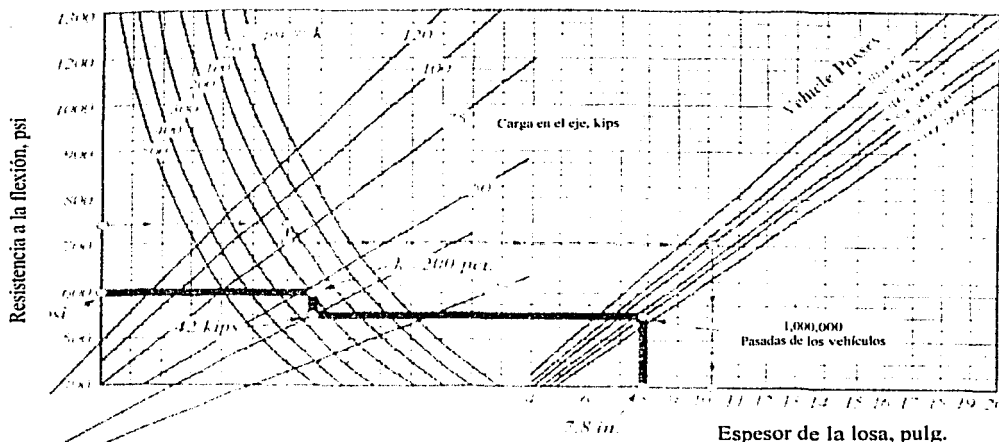
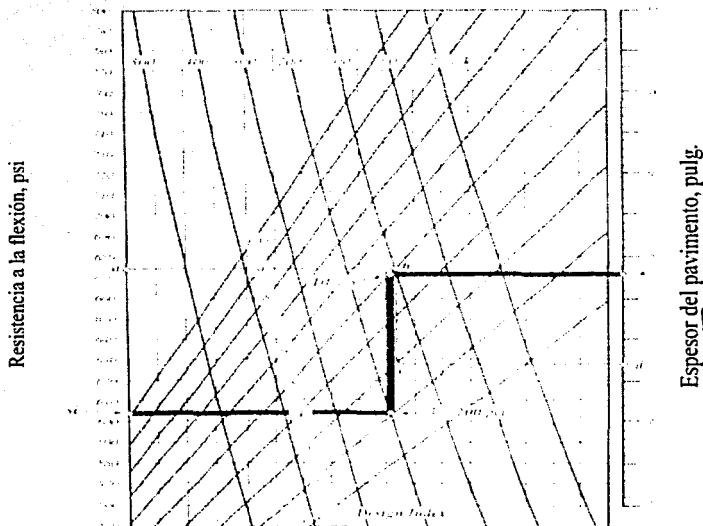


Fig. 4.5-11 Gráfica del COE para la determinación del espesor de la losa de concreto, considerando pesadas cargas dinámicas por montacargas con ejes duales*

En la fig. 4.5-12 se especifica para vehículos de uso general con áreas de pavimentación al aire libre (almacenamiento, estacionamiento, etc.) con un índice de diseño de 5, esto es para un tráfico ligero con no más del 25% del total del aforo para camiones y 10% para vehículos de tres ejes.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.5-12 Gráfica del COE para la determinación del espesor de la losa de concreto, considerando vehículos en general

* Nótese que el número total de pasadas de un vehículo, afectará de manera directa el espesor de la losa de concreto. Para 5,000,000 de pasadas, se requerirá un espesor de 7.8 pulgadas, mientras que para 10,000 pasadas, será necesario de 6.3 pulgadas de espesor. De tal manera, que repercutirá en la fatiga del concreto, es decir, en los ciclos de carga y descarga sobre el piso.

Montacargas de eje sencillo y capacidad de carga ligera (COE)

A continuación se ejemplifica el método de diseño con las consideraciones hechas paso a paso para el cálculo del espesor de la losa de concreto.

- o Módulo de ruptura del concreto: $MR = 4.49 \text{ kg/cm}^2$ (64 psi)
- o Módulo de reacción de la subrasante $k = 5.53 \text{ kg/cm}^3$ (200 pci)

1. Como primer paso se tendrá que hacer la conversión del sistema de unidades mks, al sistema inglés de medidas.
2. En el primer caso, para el uso de vehículos con cargas ligeras, con un eje cargado de 15 kips y asumiendo 100 veces el número de pasadas por día a lo largo de 25 años de servicio.
3. Entre a la figura 4.5-10, con el módulo de ruptura = 604 psi, dibuje una línea horizontal hasta intersectar a la curva correspondiente a una $k=200$ pci, posteriormente baje con una línea recta vertical hasta cortar con la curva índice de diseño igual a 7; trace una línea horizontal de ése punto hasta el extremo derecho.
4. El espesor encontrado es de 6.7 pulgadas = 7 o 18 cms.

Ejemplo de 1

Montacargas con eje dual y capacidad de carga pesada (COE)

1. Entre a la figura 4.5-11 con una resistencia a la flexión de 604 psi, dibuje una línea horizontal hasta intersectar a la curva $k=200$ pci, posteriormente baje con una línea vertical correspondiente a un eje de carga igual a 42 kips. Trace una línea horizontal para correlacionar el número de pasadas del montacargas y baje con una línea recta para encontrar el espesor de la losa.
2. El espesor encontrado es de 8 pulgadas, aunque una mejor opción resulta de 8,5 pulgadas o 21.59 cms.

Montacargas hasta de 3 ejes (especiales para pisos exteriores, COE)

1. El tercer ejemplo corresponde al uso de la figura 4.5-12, asociado a cualquier tipo de vehículo en pisos externos (zonas de almacenamiento al aire libre, estacionamientos, etc). Corresponderá a un índice de diseño de 5 para una categoría IV de vehículo. Esto es un tráfico ligero, por uso de montacargas hasta del 25% y 10% por montacargas de tres ejes.
2. Entre a la figura 4.5-12, con un módulo de ruptura igual a 604 psi, trace una línea horizontal hasta intersectar con la curva $k=200$ pci, posteriormente trace una línea vertical hasta coincidir con la curva índice de diseño igual a 5; de ése punto trace una línea horizontal hasta el extremo de la gráfica.
3. El espesor encontrado es de 7.8 pulgadas, 8 pulgadas o 20.32 cms.

4.6 Diseño por cargas en los racks

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

Para las cargas en postes el objetivo del diseño es mantener el esfuerzo por flexión dentro de los límites de seguridad de la losa. Resulta importante realizar un adecuado diseño del espesor del concreto y de las bases o placas de soporte, ya que de otro modo, se induciría a excesivas presiones sobre el suelo de soporte, dando origen a fallas superficiales y estructurales de los elementos.

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

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

La información específica para el diseño es:

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

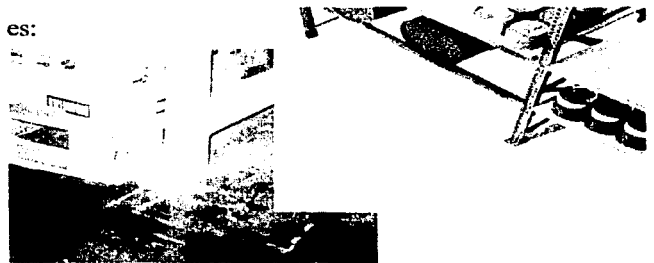


Figura 4.6-1 Aplicación de carga en postes o patas de los racks

Las figuras 4.6-1a, 4.6-1b, y 4.6-1c son usadas para determinar los requerimientos de espesor de losa, para valores de módulo de reacción k de 50, 100 y 200 pci. Las graficas fueron desarrolladas para estimar los esfuerzos en el interior de la losa para las dos configuraciones equivalentes de postes y condiciones de carga representadas esquemáticamente en la figura 4.6-2, que representan racks continuos. La figura 4.6-3 muestra un esquema similar para la condición de carga en el borde de las losas. La condición de carga en los bordes inducirá a mayores esfuerzos en los pisos, aumentando la probabilidad de aparición de grietas o fracturas de la losa. Una manera de controlar grandes esfuerzos por cortantes, puede ser modificando el esfuerzo de trabajo mediante el

factor de junta, (esto permite reducir los esfuerzos actuantes y se efectúa previo al uso de la figura 4.6.-1)

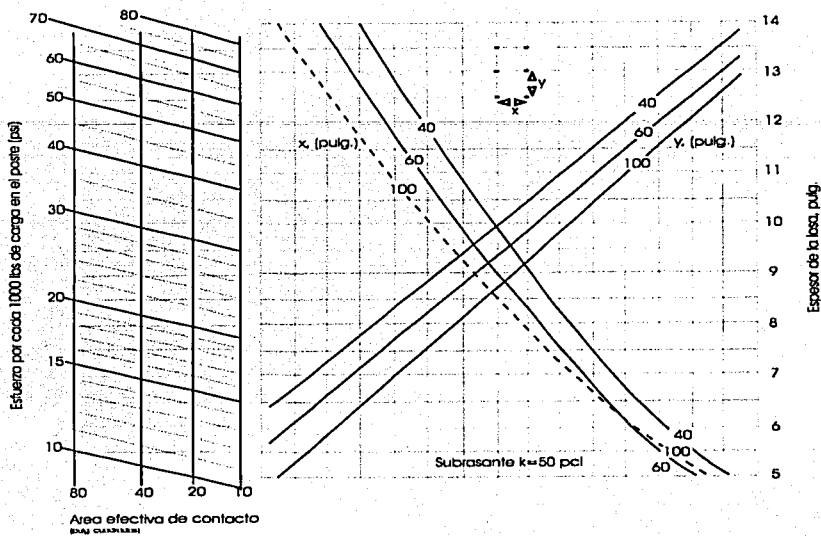


Figura 4.6-1a Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 50 \text{ pci}$

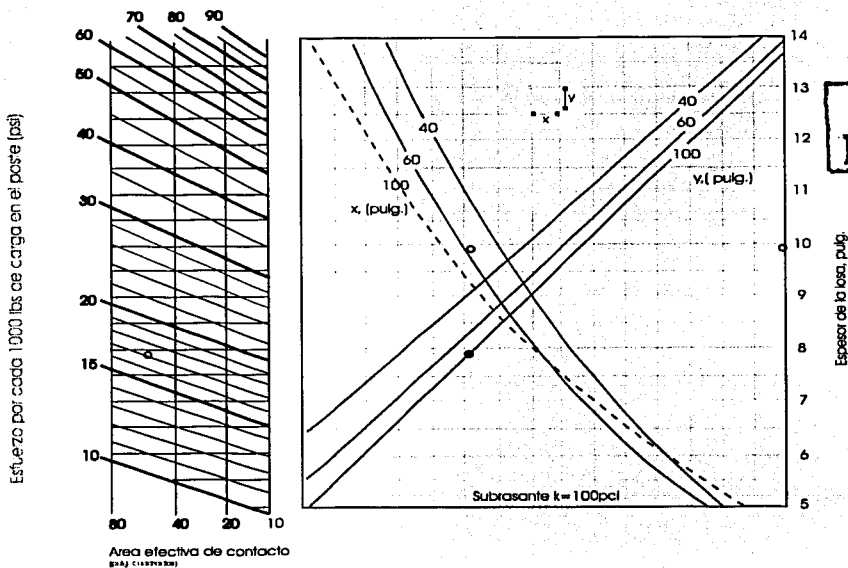


Figura 4.6-1b Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 100 \text{ pci}$.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

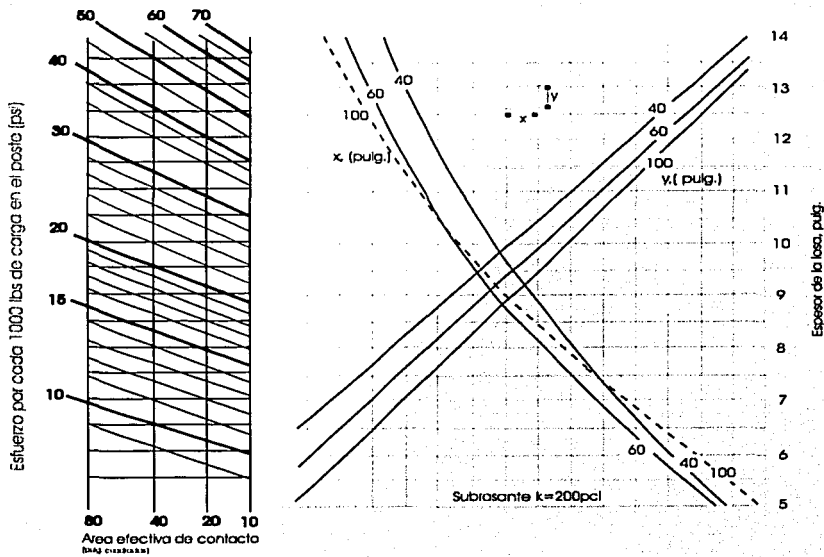
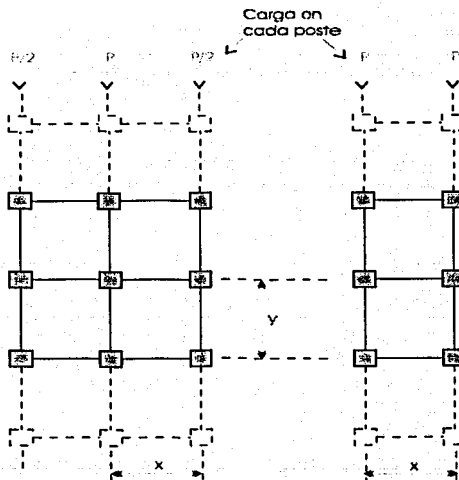
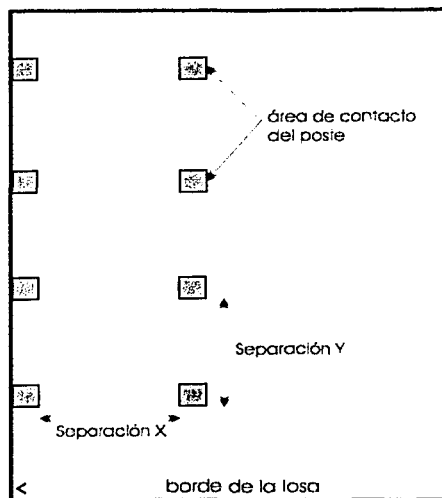


Figura 4.6- 1c Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k = 150 \text{ pci}$.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.6-2 Configuración de postes y cargas que aplican para las figuras 4.6-1a, 4.6-1b y 4.6-1c (Condición de carga interior)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.6-3 Configuración de postes y cargas a lo largo del borde de la losa.

En la figuras 4.6-1, el espaciamiento de postes Y es la separación en la dirección longitudinal de un rack continuo y X es el espaciamiento transversal. Las graficas comprenden espaciamientos de 40 a 100 pulgadas y los espaciamientos intermedios deberán ser interpolados en estas figuras. Si dos postes se encuentran lo suficientemente cercanos de manera que sus bases se traslapan o están en contacto una con otra (en racks de espalda con espalda), puede asumirse que actúan como uno equivalente a la suma de sus cargas combinadas.

4.4.A Factores de seguridad para carga en postes

Los factores de seguridad específicos para condiciones de carga estática no son un valor único, sino que se dejan al juicio del diseñador, en base a:

1. La variación del factor de seguridad puede ser bastante amplia; desde la calificación de bajo (1.5 o menor) con la condición de carga no crítica, o bastante alto (aproximadamente 5) en condiciones donde la falla de la losa sea bastante seria.
2. La experiencia del funcionamiento de pisos ya en operación y de datos experimentales para concentraciones estáticas de carga.

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

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

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

Dado que no se tiene mucha información sobre la experiencia del desempeño de racks cargados en pisos industriales, no es posible recomendar con mucha certeza los factores de seguridad en esta condición, como en el caso de cargas vehiculares. Esto hace que sea muy importante considerar cuidadosamente las características de este tipo de carga y las expectativas de desempeño.

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

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

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

4.4.B Factores de juntas debido a cargas en postes

En bodegas o áreas de almacenamiento de plantas industriales, los racks empleados normalmente son del tipo espalda con espalda y paralelo a la línea o eje de columnas.

La alineación de las líneas de columnas con frecuencia coincide con juntas de contracción o construcción. Si la separación de juntas de contracción no es grande y se emplean pasajuntas para la transferencia de carga, los esfuerzos en el borde de la losa se reducen de un 20 a un 25% (de acuerdo al estudio de Okamoto y Nussbaum en 1984), lo cual se traduce en que se puede incrementar el esfuerzo de trabajo en un 20%. Si se usan separaciones de juntas relativamente grandes, digamos de 4.5 metros y no se tienen pasajuntas para la transferencia de carga, el factor de juntas de 1.6 será el recomendado para la condición de carga en los postes.

El cálculo del esfuerzo de trabajo (WS) se hará dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el producto del factor de seguridad y factor de junta. Las figuras 4.6-1a, 4.6-1b y 4.6-1c (para condiciones de carga ubicada en el interior de la losa) pueden ser usadas para la condición de carga en los postes ubicadas en el borde la losa; siempre y cuando usemos el factor de junta al momento de calcular el esfuerzo de trabajo.

Una vez que el diseñador ha seleccionado un factor de seguridad y un factor de juntas apropiados basándose en las condiciones de carga críticas, se usan las figuras 4.6-1a, 4.6-1b o 4.6-1c

para establecer el espesor de diseño de la losa basado en esfuerzos de flexión. Los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de carga actuantes también deben ser calculados para determinar si los valores están dentro de los límites de seguridad. El siguiente ejemplo se ilustra el procedimiento para determinar los esfuerzos en la losa debidos a la carga en postes de los racks.

Ejemplo 13 **Determinación del espesor de la losa con cargas en los racks**

Datos para la configuración de postes y cargas

Espaciamiento de postes:	Longitudinal (Y): 2.50 m (98 pulgadas). Transversal (X): 1.70 m (66 pulgadas).
Carga en Poste:	5.9 Tons (13 kips), en cada poste
Dimensionamiento de la base del poste:	Cuadrada de 20.3 cms (8 pulg)
Área de contacto:	412 cm ² (64 pulgadas ²)

Datos de la subrasante y del concreto

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

Espaciamiento de juntas en el piso

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

Pasos de diseño

1. Factor de seguridad (FS):
Se selecciona un factor de seguridad de 2.0 ya que los racks son independientes de la estructura y su altura es menor a los 10.7 metros (35 pies)
2. Factor de junta (FJ):
Se selecciona el factor de junta de 1.6 debido a que la separación entre juntas es considerablemente grande y la trabazón de agregados en términos de transferencia de carga es despreciable.
3. Esfuerzos de trabajo en el concreto:
$$WS = (MR / FS \times FJ) = (640 / 2 \times 1.6) = 200 \text{ psi}$$
4. Esfuerzos en la losa por 1000 lb de postes cargados (WS):
$$= (WS / \text{carga por poste, kips}) = (200 / 13) = 15.4 \text{ psi}$$
5. Para el valor de k = 100 pci de la subrasante, se usa la figura 4.6-1b. En la parte izquierda de la gráfica se localiza el punto correspondiente a un esfuerzo de 15.4 psi y un área de contacto de 64 pulg², después se desplaza hacia la derecha en línea recta hasta el espaciamiento de postes Y de 98 pulgadas, en ese punto se mueve en línea vertical hasta encontrar el espaciamiento X de 66

pulgadas. De este punto se desplaza en línea recta hacia la derecha para encontrar el espesor de diseño resultante de 10.4 pulgadas.

6. Use ahora la figura 4.5-6 para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual. Para 10.5 pulgadas de espesor de losa y 64 pulg² de área de contacto el área efectiva de contacto es 72 pulg²; esta corrección no es un cambio significativo en el requerimiento del espesor de losa.
7. El siguiente paso es la revisión por capacidad de carga, comprobando que el esfuerzo de carga actuante y el esfuerzo cortante se encuentren dentro de los límites aceptables.

7.1 Revisión por capacidad de Carga

Capacidad de carga permisible:

De 4.2 veces el módulo de ruptura a los 28 días para la carga interior
 = 4.2 MR = 2690 psi

De 2.1 veces (la mitad que la aplicable para carga interior) el módulo de ruptura a los 28 días para cargas de borde o esquina.
 =2.1 MR = 1345 psi

Esfuerzos de carga actuante:

Cargas por poste / área de contacto = 13000 lbs / 64 pul² = 203 psi
 203 psi < 2690 psi
 203 psi < 1345 psi

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

7.2 Revisión por esfuerzos cortantes:

Esfuerzo cortante permisible.

= 0.27 * MR = 0.27 * 640 = 173 psi

Esfuerzo cortante actuante.

Para cargas interiores

Carga por Poste

$$= \frac{\text{Carga por Poste}}{\text{Espesor de losa} \times [(\text{perímetro}) + (4 \times \text{Espesor de losa})]}$$

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

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

Para cargas de borde:

Carga por Poste

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

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

Para cargas de esquina:

$$= \frac{\text{Carga por Poste}}{\text{Espesor de losa} \times [(0.5 \times \text{perímetro}) + (\text{Espesor de losa})]}$$

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

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

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

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

En el capítulo 3 se discute el diseño de las bases y la subrasante, así como los beneficios que pueden proveer a un piso de concreto, incluyendo: una mejor distribución de los esfuerzos y la eficiencia en la transferencia de carga a través de las juntas (especialmente para subbases tratadas con cemento bajo una losa diseñada para altas condiciones de carga).

4.6 Cargas distribuidas

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

Las cargas concentradas son las que normalmente controlan el diseño del piso, pues éstas producen esfuerzos a tensión mayores que las cargas distribuidas. Un ejemplo de cargas distribuidas es mostrado en la figura 4.6-1.

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

- Prevenir grietas en los pasillos o áreas no cargadas, debidas a la existencia de momentos negativos (tensión en la superficie de la losa).
- Evitar asentamientos debidos a la consolidación del suelo de soporte.

La colocación de cargas sobre la losa de concreto, por lo general no produce daños a una estructura de soporte bien compactada (subrasante y/o bases) para provocar asentamientos diferenciales. Sin embargo, el construir losas de concreto de mayor espesor podrá ayudar a controlar el agrietamiento, mas no a prevenir el asentamiento del terreno.

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

Deformaciones en la losa producirán esfuerzos de momento y podrían sumarse a los esfuerzos de momento negativo en los pasillos, provocando agrietamientos en las zonas no cargadas. El diseño de losas sujetas a asentamientos diferenciales no se incluye en la presente capítulo, por lo que también se recomienda consultar a un especialista en mecánica de suelos.



Figura 4.6-1 Cargas distribuidas en contacto directo con la superficie del piso

4.6.A Cargas máximas y ancho crítico de pasillos

Para un cierto espesor de losa y resistencia de la subrasante existe un ancho crítico del pasillo, para el cual se presenta el esfuerzo máximo en la losa. Esto significa que hacer pasillos ya sean más angostos o más anchos permitirá colocar cargas más pesadas sobre la losa. Ver tabla 4.9-1, de cargas admisibles para ancho crítico de pasillos.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para cualquier otro ancho de pasillo, diferente al crítico, el momento actuante máximo debido a las cargas en los extremos no coincide, produciendo que la carga de un lado contrarreste el esfuerzo causado por la carga en el otro extremo.

4.6.B Cargas permisibles para prevenir la falla en un pasillo

El momento negativo de flexión que se presenta en un pasillo con condición de carga uniformemente distribuida, puede llegar a ser hasta del doble del momento presentado bajo el área cargada. Como resultado de esto, uno de los objetivos del diseño es limitar este esfuerzo de momento negativo en el pasillo para que no se presente el agrietamiento.

La tabla 4.9-1 se usará cuando las distribuciones de carga y el dimensionamiento de los pasillos sean variables durante la vida útil del piso.

Si el arreglo de las cargas está perfectamente definido y permanecerá fijo durante toda la vida útil del proyecto, la tabla a usar será la tabla 4.9-2.

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

Almacenaje con arreglo variable de la carga distribuida

Los esfuerzos de flexión y deformaciones debido a cargas distribuidas pueden variar de acuerdo al espesor de la losa y la resistencia de la subrasante. También dependen del ancho del pasillo, ancho del área cargada, magnitud de la carga y de la existencia de juntas o grietas en el pasillo. Estas variables adicionales no siempre son constantes o predecibles durante la vida de servicio del piso. Por esta razón, las cargas admisibles que se muestran en la tabla 4.9-1, representando la condición de carga mas crítica, es la recomendable para el diseño cuando el arreglo de la carga y del pasillo no se puede predecir con certeza o puede variar con el tiempo.

Debido a que las cargas permisibles presentadas en la tabla 4.9-1 se consideran críticas, no hay restricciones en el arreglo de la carga o en la uniformidad de la misma. Las cargas superiores a éstas pueden colocarse de manera no uniforme o presentar una posición aleatoria durante la vida útil de la estructura. A decir verdad, se puede hacer la consideración de cargas aún mayores, siempre que se cumpla con los valores máximos, así como de las posiciones de las cargas.

Las cargas admisibles en la tabla 4.9-1 están basadas en un factor de seguridad de 2.0 (esfuerzo de trabajo admisibles igual a la mitad de la resistencia a la flexión del concreto). Si el diseñador juzga esto como un criterio conservador puede incorporar otros factores de seguridad al usar la siguiente fórmula para determinar la carga admisible:

$$W = (0.123) \times (f_1) \times (h \times k)^{1/2}$$

Donde:

W = Carga permisible, en libras sobre pie²

(1 libra/pie² es igual a 4.8824 kgs/m²)

f_i = Esfuerzo de trabajo permisible en psi (libras/pulg²), obtenido al dividir la resistencia a la flexión del concreto especificada a los 28 días entre el factor de seguridad.

h = espesor de losa en pulgadas

k = módulo de reacción de la subrasante, pci

Almacenaje con arreglo fijo de la carga distribuida

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

En un área de almacenamiento donde el arreglo es conocido y permanecerá fijo durante toda la vida de servicio del piso, las cargas distribuidas máximas admisibles se muestran en la tabla 4.9-2 (vea también la sección cargas máximas y ancho crítico de pasillo). Estas cargas admisibles tienen la función de limitar el momento negativo para que no se agriete un pasillo ó un área no cargada.

4.7 Cálculo del Acero de Refuerzo

Como se había mencionado anteriormente en el capítulo II, uno de los componentes adicionales en una losa de concreto diseñada para pisos industriales, puede ser el uso del acero de refuerzo, en él se detalla las ventajas y desventajas que se tiene en su uso. En éste capítulo, se analizarán los métodos de diseño para el cálculo del acero de refuerzo, así como la conveniencia en su uso, de acuerdo al Instituto Americano del Concreto (ACI).

4.7.A Propósitos Básicos del Diseño

Existen 3 propósitos principales para reforzar las losas de concreto:

1. Control de la contracción
2. Control de Temperatura
3. Capacidad de Momento

4.7.A.1 Control de la contracción

El control de la contracción es convencionalmente la preocupación más grande en el diseño de losas. El acero de refuerzo en conjunto con el espaciamiento entre juntas, ofrecen los dos elementos primarios que pueden ser eficaces en el control de las grietas por contracción, sin embargo todas las recomendaciones referentes al incremento de la separación entre juntas se debe tomar con mucha precaución, ya que son muchos los factores que afectan a la aparición de grietas por contracción y el simplemente correlacionar la separación de juntas con el espesor de la losa y la cantidad de refuerzo no cubren todos los factores que participan.

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

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

4.7.A.2 Control por temperatura

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

4.7.A.3 Capacidad de momento

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

4.7.B Procedimientos para el diseño del acero de refuerzo

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

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

4.7.B.1 Procedimiento por fricción de la subrasante

En el pasado, la industria del concreto ha sugerido el uso de la teoría de la fricción de la subrasante para losas. El procedimiento fue desarrollado principalmente para una relación baja de acero, generalmente menor que 0.1% y utilizándose ciertos estilos estandarizados de malla electrosoldada (espaciamiento de 4x4 y 6x6). También, el procedimiento consideraba espaciamientos de juntas de control de menos de 25' (7.50 mts), con la premisa que la colocación de franjas más grandes seguramente se presentarían agrietamientos intermedios. Debido a numerosas investigaciones y experiencia en campo, no se recomiendan espaciamientos tan grandes, sobre todo como se menciona en los párrafos anteriores, no se recomienda correlacionar los grandes espaciamientos de juntas exclusivamente a la cantidad de acero y al espesor, por lo que ahora el cálculo de acero con el método de fricción de la subrasante se usa con precaución, criterio y experiencia del diseñador.

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

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

donde

A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa.

f_s = Esfuerzo permisible en el refuerzo, psi, use 0.75 f_y

F = Coeficiente de fricción, use un rango de 1.5 a 2, normalmente se recomienda 2.

L = Distancia en pies entre juntas (la distancia entre los extremos libres de la losa puede moverse debido al acortamiento por la contracción o a la expansión térmica)

W = Peso muerto de la losa en libras sobre pie cuadrado (psf), usualmente se consideran 12.5 psf por cada pulgada de espesor (24 kg/m² por cada cm de espesor)

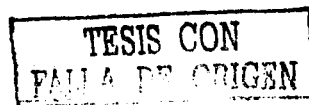
*Nota: el resultado de la fórmula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm²/m

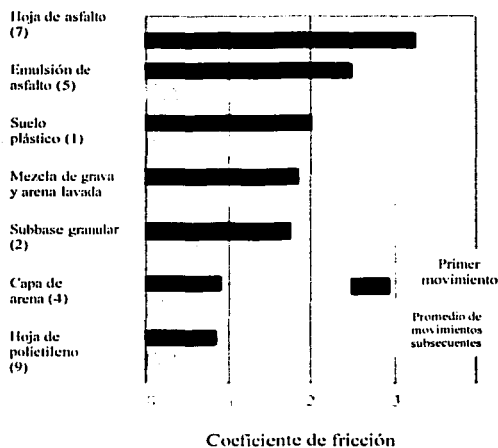
El coeficiente 2 en el denominador no es un factor de seguridad, está basado en la teoría de que el panel de losa se moverá una distancia igual desde cada extremo hacia el centro. F, el coeficiente de fricción, puede variar desde 0.5 en adelante; un valor de 2 debe ser usado cuando no se presente información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

Independientemente de si el refuerzo sea con malla electrosoldada, varillas de acero, etc, la fórmula de fricción de la subrasante frecuentemente resulta en áreas de acero menores al 0.10% del área de sección transversal de la losa. Algunos investigadores, diseñadores y contratistas sugieren el uso de un área mínima de acero de refuerzo alrededor de un 0.10%, argumentando que garantiza un adecuado funcionamiento del elemento.

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

Los valores del coeficiente de fricción pueden variar substancialmente según la figura 4.7-1. Para la selección de un valor, se recomienda ser conservador, puesto que las características de las subrasantes pueden a menudo ser desiguales, dando por resultado una mayor fricción de la subrasante.





TESIS CON
FALLA DE INGEN

Fig. 4.7.B.-1 Variación en los valores del coeficiente de fricción para losas de 5 pulgadas (12 cm) sobre diferentes bases y subbases.²

4.7.B.2. Procedimiento de capacidad confirmada

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

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

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

² Fuente: Diseño y Construcción de losas postensadas sobre el terreno, Post-Tensioning Institute, 1991.

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

donde

A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa

MR = Módulo de ruptura del Concreto (psi)

t = Espesor de la losa en pulgadas

f_y = Esfuerzo de fluencia en el refuerzo (psi)

SF = Factor de Seguridad, normalmente se usa 2.

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

El estructurista debe considerar que del procedimiento por capacidad confirmada se obtiene un área transversal mínima para el refuerzo de losas, asegurando una cierta capacidad de momento. Cabe mencionar que éste método no considera la localización de la junta de contracción o de la grieta.

4.7.B.3 Procedimiento por temperatura

Un procedimiento disponible para controlar el tamaño de las grietas en losas sobre terreno puede encontrarse en el método de control por temperatura. La limitación en el tamaño de las grietas se puede efectuar colocando una cantidad suficiente de refuerzo, para direccionar el cambio máximo de temperatura que la losa es susceptible de experimentar. Las losas industriales sobre terreno con clima controlado deberán ser diseñadas para un diferencial mínimo de temperatura o gradiente de temperatura de 40°F (4°C). Las losas sujetas a condiciones extremas deberán ser diseñadas para las temperaturas máximas predominantes en el lugar, produciendo un gradiente térmico de 100°F (38°C) o mayor. Este procedimiento no reduce el agrietamiento, sin embargo, contribuye significativamente a controlar los anchos de las grietas. El procedimiento de refuerzo por temperatura, se muestra a continuación:

$$A_s = \frac{f_r \cdot 12 \cdot t}{2(f_s - T \cdot \alpha \cdot E_s)}$$

donde

A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa

t = Espesor de la losa en pulgadas

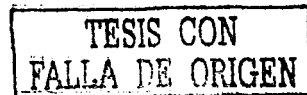
f_r = Resistencia a la tensión del concreto (psi)
(calculado como 0.4 x MR)

f_s = Esfuerzo de trabajo en el refuerzo (psi)

T = Rango de temperatura esperado al que la losa estará sujeta (°F)

α = Coeficiente térmico del concreto (in/in°F)

E_s = Modulo de elasticidad del acero (psi)



*Nota: el resultado de la formula deberá multiplicarse por 21.17 para obtener el valor en cm^2/m . El rango normal del coeficiente de expansión térmica (α) del concreto es de 5 a 7 x 10⁻⁶ in/in°F

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

4.7.B.4 Procedimiento por resistencia equivalente

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

$$A_s = \frac{36 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot t}{f_s}$$

donde

A_s = Área de acero en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa

t = Espesor de la losa en pulgadas

f'_c = Resistencia a compresión del concreto (psi)

f_s = Esfuerzo de trabajo en el refuerzo (psi)

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

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

4.7.B.5 Procedimiento por restricción de grietas

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

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

donde

A_s = Área de acero transversal en pulgadas cuadradas por pie lineal de ancho de losa

t = Espesor de la losa en pulgadas

f_y = Esfuerzo de fluencia del refuerzo (psi)

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

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

Es importante que el diseñador tenga presente que al menos que se mantengan espaciamientos normales de juntas, el concreto sufrirá agrietamientos. Por lo tanto es necesario brindar al

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

propietario la seguridad que el desempeño del piso será adecuado con un mínimo mantenimiento, al mantener la grietas y los anchos de las grietas en lo mínimo.

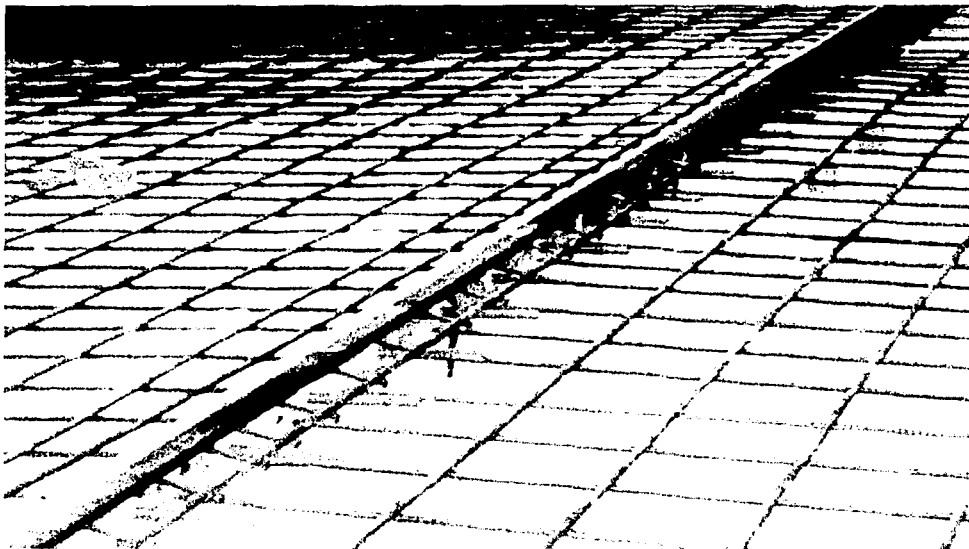


Fig. 4.7.B-2 Armado y separación del acero de refuerzo y uso de pasajuntas en un piso industrial


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.7.C Ejemplos de los diversos procedimientos para el cálculo del acero de refuerzo

El siguiente análisis tiene por objeto ejemplificar los diversos procedimientos para el cálculo de acero de refuerzo, así como presentar un comparativo de resultados que permitan al lector decidir sobre qué método deberá basar su análisis en función de las condiciones geométricas del elemento y acciones de carga dadas.

Para el siguiente análisis se tienen los siguientes datos:

F=2 W= 12.5x t ; Fy= 60,000 psi; α= 6.5 x 10⁻⁶; t(espesor) = 4 in; 7 T=50 ° F
 L=10ft MR= 568 psi ; F'c= 5,754.37 si; Es= 29 x 10⁶; F.S= 2 ; Factor_c= 21.17

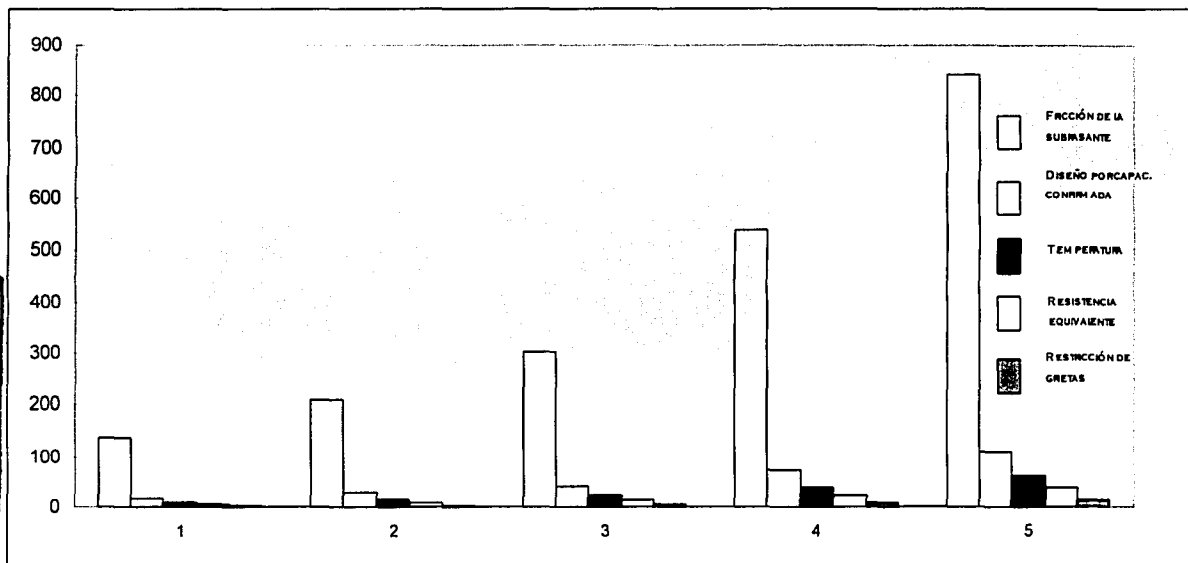
Concep.\Proced.	1- Fricción de la Subrasante	2.- Diseño por capacidad Confirmada	3.- Por Temperatura	4.- Por resistencia equivalente	5.- Por restricción de grietas
Fórmulas	$A_s = \frac{FLW}{2f_s}$	$A_s = \frac{4.4 \times MR \times t}{F_y \times FS}$	$A_s = \frac{f_r \cdot 12 \cdot t}{2(f_s - T \cdot \alpha \cdot E_s)}$	$A_s = \frac{36 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot t}{f_s}$	$A_s = \frac{9,360 t}{f_y}$
Procedimiento y sustitución de valores	$f_s = 0.75f_y$ $= 0.75 \times 60,000$ $= 45,000$ psi $A_s = \frac{2 \times 10 (12.5 \times 4)}{2 \times 45,000}$	$MOR = 7.5 \sqrt{f'_c}$ $= 7.5(5754.37)^{1/2}$ $= 568.93$ psi $A_s = \frac{4.4 \times MR \times t}{F_y \times FS}$ $= \frac{4.4 \times 568.93 \times 4}{60,000 \times 2}$	$f_s = 0.75f_y$ $= 0.75 \times 60,000 = 45,000$ $MOR = 7.5 \sqrt{f'_c} = 568.93$ psi $f_r = 0.4MR$ $f_r = 0.4 \times 568.93 = 227.57$ psi $A_s = \frac{227.57 \times 12 \times 4}{2(45,000 - 50 \times 6.5 \times 10^{-6} \times 29 \times 10^6)}$	$f_s = 0.75f_y$ $= 0.75 \times 60,000$ $= 45,000$ $A_s = \frac{36 (5754.37)^{1/2} \times 4}{45,000}$	$A_s = \frac{(9,300)(4)}{60,000}$ 
Resultado	$A_s = 0.0111$ in ² /ft	$A_s = 0.0834$ in ² /f	$A_s = 0.1535$ in ² /ft	$A_s = 0.2427$ in ² /ft	$A_s = 0.6240$ in ² /ft
Usando Malla electrosoldada	WWR14-12x12"	WWR7-12x12"	WWR15-6x4"	WWR12-6x6"	WWR18-3x3"
Factor de conversión (21.17)	$A_s = 0.2352$ cm ² /m	$A_s = 1.7664$ cm ² /m	$A_s = 3.2501$ cm ² /m	$A_s = 5.1388$ cm ² /m	$A_s = 13.21$ cm ² /m

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SEPARACIÓN DE LAS BARRAS DEL ACERO DE REFUERZO (CMS.), EN RELACIÓN A SU AREA NOMINAL

Area de varillas comerciales (cm ²)	0.2352	136.042	208.314	301.842	539.915	841.757
Método	1.7665	18.115	27.739	40.193	71.894	112.086
	3.2502	9.846	15.076	21.845	39.075	60.920
	5.1389	6.227	9.535	13.816	24.713	38.530
	13.2101	2.422	3.709	5.375	9.614	14.989
1.- Fricción de la subrasante	<u>0.2352</u>	<u>136.042</u>	<u>208.314</u>	<u>301.842</u>	<u>539.915</u>	<u>841.757</u>
2.- Diseño por capacidad confirmada	<u>1.7665</u>	<u>18.115</u>	<u>27.739</u>	<u>40.193</u>	<u>71.894</u>	<u>112.086</u>
3.- Por temperatura	<u>3.2502</u>	<u>9.846</u>	<u>15.076</u>	<u>21.845</u>	<u>39.075</u>	<u>60.920</u>
4.- Por resistencia equivalente	<u>5.1389</u>	<u>6.227</u>	<u>9.535</u>	<u>13.816</u>	<u>24.713</u>	<u>38.530</u>
5.- Por restricción de grietas	<u>13.2101</u>	<u>2.422</u>	<u>3.709</u>	<u>5.375</u>	<u>9.614</u>	<u>14.989</u>

$s = Ab * 100 / As$



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

4.8 Fibras Metálicas

Como se ha mencionado en el capítulo II. (Componetes del concreto), el uso de fibras es opcional para en el diseño de mezcla en un piso industrial. Debiéndose analizar las ventajas y desventajas que esto ocasiona. Como tema de investigación, resulta importante mencionar las consideraciones de diseño así como los beneficios y alcances que hoy en día hacen posible su recomendación. A continuación se explica con mayor detalle su uso.

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

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

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

4.9 Perdida de Soporte por Erosión

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

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

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

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

Tabla 4.9-1 Cargas distribuidas permisibles, con carga de arreglo no definido o fijo.¹

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE				Módulo de Ruptura (MR)							
Para cargas sin arreglos definidos				550	38.67	600	42.18	650	45.70	700	49.21
				psi	kg/cm2	psi	kg/cm2	psi	kg/cm2	psi	kg/cm2
Espesor		K		CARGA PERMISIBLE							
in	cm	pci	kg/cm3	psf	kg/m2	psf	kg/m2	psf	kg/m2	psf	kg/m2
5	12.7	50	1.39	535	2,612	585	2,856	635	3,100	685	3,344
		100	2.77	760	3,711	830	4,052	900	4,394	965	4,712
		200	5.54	1,075	5,249	1,175	5,737	1,270	6,201	1,370	6,689
6	15.24	50	1.39	585	2,856	640	3,125	695	3,393	750	3,662
		100	2.77	830	4,052	905	4,419	980	4,785	1,055	5,151
		200	5.54	1,175	5,737	1,280	6,249	1,390	6,787	1,495	7,299
8	20.3	50	1.39	680	3,320	740	3,613	800	3,906	865	4,223
		100	2.77	960	4,687	1,045	5,102	1,135	5,542	1,220	5,957
		200	5.54	1,355	6,616	1,480	7,226	1,603	7,826	1,725	8,422
10	25.4	50	1.39	760	3,711	830	4,052	895	4,370	965	4,712
		100	2.77	1,070	5,224	1,170	5,712	1,265	6,176	1,335	6,483
		200	5.54	1,515	7,397	1,655	8,080	1,790	8,739	1,930	9,423
12	30.5	50	1.39	830	4,052	905	4,419	980	4,785	1,055	5,151
		100	2.77	1,175	5,737	1,280	6,249	1,390	6,787	1,495	7,299
		200	5.54	1,660	8,105	1,810	8,837	1,965	9,594	2,115	10,326
14	35.6	50	1.39	895	4,370	980	4,785	1,060	5,175	1,140	5,566
		100	2.77	1,270	6,201	1,385	6,762	1,500	7,324	1,615	7,885
		200	5.54	1,795	8,764	1,960	9,570	2,120	10,351	2,285	11,156

Notas:

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

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

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

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹ Fuente: Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, 2001.

Tabla 4.9-2 Carga distribuida permisible, con arreglos de carga definido.²

Espesor		Esfuerzo de Trabajo (psi)	CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE (Para Arreglo fijo o definido de la carga)														
			Ancho Crítico de Pasillo		Al Ancho Crítico del Pasillo		En pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)		
			pies	mts	psf	kg/m ²	psf	kg/m ²	psf	kg/m ²	psf	kg/m ²	psf	kg/m ²	psf	kg/m ²	psf
Módulo de Reacción k de la subrasante = 50 pci																	
5	12.7	300	5.6	1.7	610	2,978	615	3,003	670	3,271	815	3,979	1,050	5,127	1,215	5,932	
		350	5.6	1.7	710	3,467	725	3,527	785	3,833	950	4,638	1,225	5,981	1,420	6,933	
		400	5.6	1.7	815	3,979	820	4,004	895	4,370	1,085	5,297	1,400	6,835	1,620	7,909	
6	15.2	300	6.4	2.0	670	3,271	675	3,296	695	3,393	780	3,808	945	4,614	1,175	5,737	
		350	6.4	2.0	785	3,833	785	3,833	810	3,955	910	4,443	1,100	5,371	1,370	6,689	
		400	6.4	2.0	895	4,370	895	4,370	925	4,516	1,040	5,078	1,260	6,152	1,570	7,665	
8	20.3	300	8.0	2.4	770	3,759	800	3,906	770	3,759	800	3,906	880	4,297	1,010	4,931	
		350	8.0	2.4	900	4,394	950	4,638	900	4,394	935	4,565	1,025	5,004	1,180	5,761	
		400	8.0	2.4	1,025	5,004	1,070	5,224	1,025	5,004	1,065	5,200	1,175	5,737	1,350	6,591	
10	25.4	300	9.4	2.9	845	4,126	930	4,541	855	4,174	950	4,638	885	4,321	960	4,687	
		350	9.4	2.9	985	4,809	1,085	5,297	1,000	4,882	990	4,834	1,035	5,053	1,120	5,468	
		400	9.4	2.9	1,130	5,517	1,240	6,054	1,145	5,590	1,135	5,542	1,185	5,786	1,285	6,274	
12	30.5	300	10.8	3.3	915	4,467	1,065	5,200	955	4,663	915	4,467	925	4,516	965	4,712	
		350	10.8	3.3	1,065	5,200	1,240	6,054	1,115	5,444	1,070	5,224	1,080	5,273	1,125	5,493	
		400	10.8	3.3	1,220	5,957	1,420	6,933	1,270	6,201	1,220	5,957	1,230	6,005	1,290	6,298	
14	35.6	300	12.1	3.7	980	4,785	1,225	5,981	1,070	5,224	1,000	4,882	980	4,785	995	4,858	
		350	12.1	3.7	1,145	5,590	1,430	6,982	1,245	6,079	1,170	5,712	1,145	5,590	1,160	5,664	
		400	12.1	3.7	1,310	6,396	1,630	7,958	1,425	6,957	1,335	6,518	1,310	6,396	1,330	6,494	
Módulo de Reacción k de la subrasante = 100 pci																	
5	12.7	300	4.7	1.4	865	4,223	900	4,394	1,090	5,322	1,470	7,177	1,745	8,520	1,810	8,837	
		350	4.7	1.4	1,010	4,931	1,050	5,127	1,270	6,201	1,715	8,373	2,035	9,936	2,115	10,326	
		400	4.7	1.4	1,115	5,444	1,200	5,859	1,455	7,104	1,920	9,545	2,325	11,352	2,415	11,791	
6	15.2	300	5.4	1.6	950	4,638	955	4,663	1,065	5,200	1,350	6,445	1,700	8,300	1,925	9,399	
		350	5.4	1.6	1,105	5,395	1,115	5,444	1,245	6,079	1,540	7,519	1,985	9,692	2,245	10,961	
		400	5.4	1.6	1,265	6,176	1,275	6,225	1,420	6,933	1,760	8,593	2,270	11,083	2,565	12,523	
8	20.3	300	6.7	2.0	1,095	5,346	1,105	5,395	1,120	5,468	1,240	6,054	1,465	7,153	1,815	8,862	
		350	6.7	2.0	1,280	6,249	1,285	6,274	1,305	6,372	1,445	7,055	1,705	8,324	2,120	10,351	
		400	6.7	2.0	1,460	7,128	1,470	7,177	1,495	7,299	1,650	8,056	1,950	9,521	2,420	11,815	
10	25.4	300	7.9	2.4	1,215	5,932	1,265	6,176	1,215	5,932	1,270	6,201	1,395	6,811	1,610	7,861	
		350	7.9	2.4	1,420	6,933	1,475	7,202	1,420	6,933	1,480	7,226	1,630	7,958	1,880	9,179	
		400	7.9	2.4	1,625	7,934	1,645	8,032	1,625	7,934	1,690	8,251	1,860	9,081	2,150	10,497	
12	30.5	300	9.1	2.8	1,320	6,445	1,425	6,957	1,325	6,469	1,330	6,494	1,400	6,835	1,535	7,494	
		350	9.1	2.8	1,540	7,519	1,665	8,129	1,545	7,543	1,550	7,568	1,635	7,983	1,880	9,179	
		400	9.1	2.8	1,755	8,569	1,900	9,277	1,770	8,642	1,770	8,642	1,865	9,106	2,050	10,009	
14	35.6	300	10.2	3.1	1,405	6,860	1,590	7,763	1,445	7,055	1,405	6,860	1,435	7,006	1,525	7,446	
		350	10.2	3.1	1,640	8,007	1,855	9,057	1,685	8,227	1,640	8,007	1,675	8,178	1,775	8,666	
		400	10.2	3.1	1,875	9,155	2,120	10,351	1,925	9,399	1,875	9,155	1,915	9,350	2,030	9,911	
Módulo de Reacción k de la subrasante = 150 pci																	
5	12.7	300	5.6	1.7	1,225	5,981	1,400	6,835	1,930	9,423	2,450	11,962	2,565	12,523	2,520	12,304	
		350	5.6	1.7	1,425	6,957	1,630	7,958	2,255	11,010	2,860	13,964	2,990	14,598	2,940	14,354	
		400	5.6	1.7	1,630	7,958	1,865	9,106	2,575	12,572	3,270	15,965	3,420	16,698	3,360	16,405	
6	15.2	300	6.4	2.0	1,340	6,542	1,415	6,909	1,755	8,569	2,395	11,693	2,740	13,378	2,810	13,720	
		350	6.4	2.0	1,565	7,641	1,650	8,056	2,050	10,009	2,800	13,671	3,200	15,624	3,275	15,990	
		400	6.4	2.0	1,785	8,715	1,890	9,228	2,345	11,449	3,190	15,575	3,655	17,845	3,745	18,285	
8	20.3	300	8.0	2.4	1,550	7,568	1,550	7,568	1,695	8,276	2,045	9,985	2,635	12,865	3,070	14,989	
		350	8.0	2.4	1,810	8,837	1,810	8,837	1,980	9,667	2,385	11,645	3,075	15,013	3,580	17,479	
		400	8.0	2.4	2,065	10,107	2,070	10,107	2,615	12,767	2,730	13,329	3,515	17,162	4,095	19,993	
10	25.4	300	9.4	2.9	1,730	8,447	1,745	8,520	1,775	8,666	1,965	9,594	2,330	11,376	2,895	14,135	
		350	9.4	2.9	2,020	9,862	2,035	9,936	2,070	10,107	2,290	11,181	2,715	13,256	3,300	16,112	
		400	9.4	2.9	2,310	11,277	2,325	11,352	2,365	11,547	2,620	12,792	3,105	15,160	3,860	18,846	
12	30.5	300	10.8	3.3	1,890	9,228	1,945	9,496	1,895	9,252	1,995	9,740	2,230	10,888	2,610	12,743	
		350	10.8	3.3	2,202	10,647	2,270	11,083	2,210	10,790	2,330	11,376	2,600	12,694	3,045	14,867	
		400	10.8	3.3	2,520	12,066	2,595	12,670	2,525	12,328	2,660	12,987	2,972	14,510	3,480	16,991	
14	35.6	300	12.1	3.7	2,025	9,887	2,150	10,497	2,030	9,911	2,065	10,082	2,210	10,790	2,480	12,108	
		350	12.1	3.7	2,360	11,306	2,510	12,255	2,365	11,547	2,405	11,742	2,580	12,597	2,890	14,110	
		400	12.1	3.7	2,700	12,725	2,870	14,012	2,705	13,207	2,750	13,427	2,950	14,403	3,305	16,136	

Notas:

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

² Fuente: Concrete Floors on Ground, Portland Cement Association, 2001

V. COLOCACIÓN Y ACABADO DEL CONCRETO FRESCO

Una de las diferencias más notables entre los pisos y otros elementos de un edificio o bodega industrial, es que los pisos requieren de ser minuciosamente terminados. Un piso industrial además de ser terminada la superficie de concreto, requerirá de la colocación de sellos en las juntas, así como un adecuado curado del concreto. El acabado, es el proceso de hacer una superficie lisa y con el mínimo de imperfecciones superficiales para un eficiente tránsito de los montacargas y disposición de mercancías.

El diseño involucra la determinación de cada uno de los parámetros como: las condiciones de exposición, la posición geográfica, las características del lugar y uso del inmueble. Las condiciones de servicio que generan los daños más comunes que afectan al concreto en su durabilidad, están expresadas por ataque de sulfatos, exposición al agua de mar, ataque ácido, carbonatación, abrasión, corrosión del acero de refuerzo, reacciones químicas; y por último, deben considerarse las prácticas constructivas recomendadas previas, durante y posteriores a la colocación del concreto.

En el caso del acabado, éste proceso es mucho más que un simple allanado o flotado de la superficie. Involucra un gran número de procesos para lograr una superficie técnicamente satisfactoria, así mismo se requerirá de mano de obra y equipos especializados. En éste capítulo se cubren los siguientes conceptos en el acabado: diseño de mezcla, mezclado, transportación, secuencia y pasos en el acabado, curado y como especificar el acabado de pisos super planos.

Puesto que el deterioro prematuro de un elemento de concreto puede tener como origen diversos factores, es necesario identificar las causas, conocer sus mecanismos de ocurrencia y la magnitud de los daños que pudiesen provocar, ya que el establecimiento de todas estas condiciones, será vital para el adecuado funcionamiento durante la vida útil de cualquier estructura.

Los problemas más frecuentes a los que se ven afectadas las estructuras, se deben en su mayoría a: la ignorancia o el desinterés en el diseño por durabilidad, la falta de evaluación de las condiciones de exposición y de servicio de los elementos; derivando en el deterioro acelerado de las estructuras, problemas operativos, mantenimiento, costos de reparación y disminución de su vida útil.

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

En el caso del diseño de mezclas, se mencionará una clasificación americana y una británica, pues como es bien sabido, la bibliografía existente para el diseño y construcción de un piso industrial está basado en las normas mencionadas anteriormente. Contratistas, ingenieros de cálculo y en general todo el personal involucrado, esta familiarizado no sólo con los términos, sistemas de unidades o métodos de diseño, sino con las especificaciones y recomendaciones del ACI, ASTM y

la BS de Inglaterra. Al estudiante de ingeniería, al especialista en el diseño y/o construcción de un piso industrial, pudiera preguntarse el motivo de la inclusión de términos, o recomendaciones internacionales, desatendiendo las propias. Resulta que el campo laboral requiere del conocimiento teórico y tecnicismos propios del ambiente, por lo que su inclusión resulta un factor bastante importante y necesario.

5.1 Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla es el proceso de decidir cuánto va será necesario de cada componente del concreto por cada metro cúbico y el mezclado es la acción de combinar dichos componentes para su correcta homogenización.

Hoy en día, para la construcción de un piso industrial, los diseñadores, contratistas y constructores en general, tienen que ver poco o casi nada, con el diseño de mezcla. Generalmente el concreto es contratado por una empresa que ofrezca el servicio del concreto premezclado, teniendo para ello, especialistas en el diseño y cuidados durante la transportación, pruebas de laboratorio y aseguramiento de la calidad de los diferentes concretos.

Pero a pesar de las recomendaciones de las empresas concreteras, el diseño de mezcla in situ continúa efectuándose sin un riguroso control de calidad, tanto de los componentes, como en la misma dosificación. Por cuestiones de los programas de obra, financieros y sobre todo, la experiencia de los constructores, será necesario conocer como está hecho el concreto, es decir, debieran tener el diseñador y contratista, los conocimientos sobre las características del concreto a emplear, sin la necesidad de ajustar el concreto a un determinado costo o "diseño empírico-al tacto" del contratista.

Existen tres formas básicas de los concretos:

- ✓ Mezclas nominales
- ✓ Mezclas pre-escritas
- ✓ Mezclas diseñadas

5.1.A Mezclas nominales

En este tipo de mezcla lo que se pretende conocer a primera instancia, es la relación cemento-agregados, ya sea por volumen o por peso. Esta clasificación es empleada principalmente para describir una manera estándar de las mezclas de concreto y es todavía usada para algunos concretos de alta resistencia.

5.1.B Mezclas pre-escritas

La característica de esta clasificación es que no es necesariamente una mezcla nominal, pero tampoco se encuentra como una mezcla bajo un diseño específico. Un diseño de mezcla pre-escrita, le dice al proveedor, la cantidad exacta de los componentes puestos para ser mezclados. Las dosificaciones son diseñadas a consideración del tipo del cemento, pero no garantiza la resistencia del concreto (MR) del proyecto.

Este tipo de mezclas se utilizan en trabajos considerados como "menores" (reparación de pequeñas oquedades, fisuras, agrietamientos, etc), donde no se requiera el uso de vigas de concreto para ser probadas en el laboratorio.

5.1.C Mezclas específicamente diseñadas (especiales)

Este tipo de mezclas son hechas a las necesidades específicas del proyecto. En la mayoría de los casos, los diseñadores de los pisos no tendrán que preocuparse de los detalles en el diseño de la mezcla. Basta con sólo especificar y probar en el laboratorio las condiciones deseadas del concreto. Pero para el cliente, en la mayoría de los casos, sólo se especifica el revenimiento, el módulo de resistencia a la flexión o ruptura, por lo que resulta insuficiente o casi inútil, sólo saber las mencionadas características, haciéndose indispensable el conocimiento de las siguientes propiedades:

1. Esfuerzo a la tensión por flexión o módulo de ruptura
2. Revenimiento máximo
3. Relación agua-cemento
4. Aire atrapado (expresado como porcentaje del volumen de concreto)
5. Contenido de cemento
6. Tipo de cemento
7. Tamaño del agregado grueso
8. Tipo de aditivo y función de éste
9. En algunos casos, la presencia de fibras (usualmente polipropileno y/o acero)

Así mismo, el personal de obra debe seguir cuidadosamente los cuidados previos a la colocación del concreto, es decir, un riguroso control de la temperatura ambiente del lugar y a la hora del colado, presencia de viento, programación del personal obrero y técnico, así como la maquinaria y equipos necesarios.

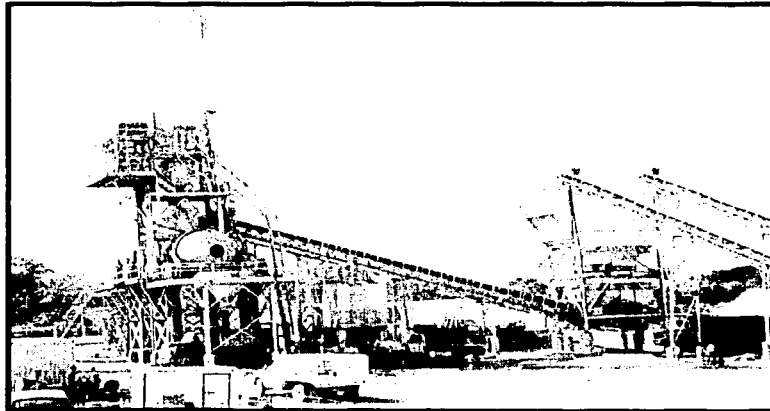


Fig. 5.1-1 Planta de mezclado central de las compañías concreteras, elaboración del concreto para proyectos de pavimentación (pisos industriales)

Para que el lector se familiarice con los requerimientos en el diseño de mezcla, se hace a continuación un ejemplo del diseño para un piso industrial desplantado sobre el terreno:

Para producir un metro cúbico de concreto, teniendo un revenimiento de 7.5-12.5 cms, una relación agua-cemento de 0.516, y un módulo de ruptura de 28 kg/cm² (40 psi) a los 28 días, cuando las condiciones de curado se realizan a los 21°C, será necesario de las siguientes consideraciones:

Por metro cúbico	Por yarda cúbica
354 kg de cemento	597 lb
736 kg de arena	1241 lb
1068 kg de agregado grueso	1800 lb
200 lt de agua	37.0 galones
0.71 lt de aditivo reductor de agua	17.91 onzas

Cambio del diseño de mezcla:

En algunas ocasiones no se podrán predecir las condiciones a las que se verá sujeta la mezcla de concreto y aunque las especificaciones en el papel resulten rigurosas, nunca van a ser iguales que el sitio de los trabajos.

Por ésta razón, los diseñadores deberán tener en consideración todos estos factores para un posible cambio en el diseño de la mezcla. Si la mezcla se endurece antes de lo programado o presenta agua de sangrado excesiva en la superficie, también deberá cambiarse el diseño. Lo recomendable siempre al comienzo de todo colado, es efectuar tramos de prueba para así observar el comportamiento del concreto en obra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2 Mezclado del Concreto

Existen dos opciones para esta consideración: concreto premezclado y mezclado in situ.

5.2.A Concreto Premezclado

Este es el tipo de concreto que se elabora en planta y es entregado en el lugar de los trabajos por medio de ollas. Existen dos maneras básicas de las plantas del concreto premezclado: planta de mezclado central y planta de elaboración del concreto en seco. En la primera, todos los componentes son mezclados en la planta y cuando se encuentre lista, la mezcla es vaciada a las ollas para su transportación. Mientras que en la segunda, el cemento y los agregados son vaciados a la olla mezcladora, posteriormente se le añade el agua y la mezcla en sí, toma lugar en el camión revolvedor.

La elaboración en seco, es recomendada cuando se tiene que transportar el concreto en largos recorridos, debido a ello, el agua de la mezcla puede ser retenida hasta que el camión se encuentre cerca del lugar de los trabajos. Pero esta ventaja se convierte en desventaja, cuando el sitio de los trabajos se encuentra cerca de la planta y tal vez no exista suficiente tiempo para un buen mezclado. De acuerdo a las recomendaciones, la olla debe de haber rotado por lo menos 100 veces después de la adición del agua a la mezcla. Cada olla mezcladora debe tener un contador de las revoluciones efectuadas. Sin embargo, no se debe dejar todo a un dispositivo como éste, la experiencia de los operadores juega un papel trascendente en este etapa.

El concreto puede ser mezclado por largos períodos. De acuerdo al estándar americano para el

concreto premezclado, la mezcla debe ser colocada en el sitio de los trabajos asegurándose que la olla halla realizado 300 revoluciones (o antes de 1 1/2 horas de haber cumplido el concreto en la olla). Un sobre-mezclado es menos dañino que un escaso o deficiente mezclado del concreto.

Una ligera variación en el contenido de humedad de los agregados, producirá seguramente un efecto notable en el comportamiento del concreto, así mismo, una mínima cantidad de agua de lavado de la olla mezcladora, producirá el mismo efecto.

Algunos contratistas prohíben de manera rotunda la adición de agua a la mezcla en el sito de los trabajos, de manera que produce mayores daños que beneficios. La adición de agua a la mezcla puede considerarse perfectamente recomendable, siempre y cuando:

- o Se encuentre presente un responsable del control de calidad del concreto y éste lo recomiende.
- o La cantidad de agua en la mezcla debe ser anotada en las notas de compra, debiéndose recomendar o especificar el uso de agua adicional a la mezcla para una determinada resistencia.

5.2.B Mezclas de concreto en obra

Algunos contratistas eligen realizar concretos hechos en obra cuando:

- o No existe una planta premezcladora cerca del sitio de los trabajos.
- o Es inaccesible el camino para un camión revolvedora.
- o Cuando se realizan trabajos de mantenimiento menor a las losas: reparación de grietas, fisuras, y/o colados de losas de concreto menores a un metro cúbico.

Los colados de un piso industrial, por lo general se requerirá colocar 25 m³ o más por hora y cuando se trata de sobrecarpentas el volumen requerido suele ser de 5 m³/hr. Por lo que los colados en el sito de los trabajos, ahora en día se considera un proceso primitivo. Aunque cabe aclarar, que pueden ser instaladas plantas de concreto móviles para satisfacer la demanda de concreto que requiera el proyecto.

Pero sin lugar a duda, en la construcción de un piso industrial, con o sin altas especificaciones, será indispensable contar con un proveedor de concreto que garantice las especificaciones de la mezcla.

5.3 Transportación

Una vez que el concreto ha sido mezclado, éste debe ser transportado y colocado. La transportación es el proceso de mover el concreto del punto de su elaboración hasta su vertido o tiro. Mientras que la colocación, es el proceso de poner, verter o tirar el concreto en su estado fresco hasta su disposición final, listo para el siguiente paso, el acabado.

Resulta más fácil para el contratista la colocación del concreto para un piso industrial que para una columna o un muro. Aquí no existirán cavidades que rellenar, aún cuando se trate de una losa reforzada, el mismo efecto de la gravedad y el uso de vibradores, cubrirán por completo todas los huecos posibles.

Se recomienda que éste paso evite lo más posible el contacto con otros cuerpos de depósito, es decir, se requerirá que la olla transportadora, descargue directamente sobre el sitio de los trabajos, evitando utilizar pequeños depósitos y bombas para su colocación, ya que puede causar la separación de los componentes del concreto, llamado éste fenómeno *segregación*.

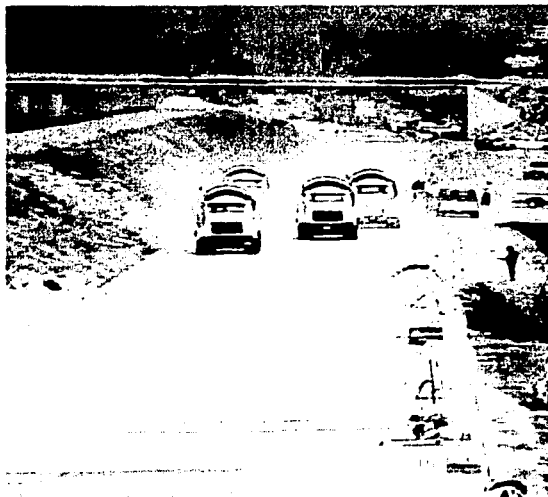


Fig. 5.3-1 Transportación del concreto por medio de ollas revolvedoras

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los siguientes métodos son los más usados para la transportación del concreto en la construcción de un piso industrial.

1. Ollas revolvedoras (ver figura 5.3-1) Una olla común permite transportar alrededor de 5m^3 a 7m^3 de concreto. Constan de un depósito rotatorio, mejor conocido como "trompo". En algunos casos, el concreto es mezclado en las ollas, en otros el concreto es vertido listo para ser depositado; el movimiento rotatorio mantiene la mezcla agitada previniendo su fraguado. Este tipo de vehículos deberán realizar el tiro directo, por lo que los diseñadores y contratistas considerarán el libre acceso de la olla. Este hecho en particular, simple y en algunos casos intrascendente, logrará el ahorro de tiempo y dinero significativo en el proceso constructivo, por lo que su uso se hace conveniente en todo tipo de proyectos.
2. Depósitos: Son pequeños tanques usados para transportar el concreto en lugares específicos del colado. También se les conoce en Estados Unidos como "buggies". Puede proveer de 0.3 a 0.8 m^3 y son frecuentemente usados para transportar el concreto de una olla premezcladora al sitio de tiro donde no es posible su acceso.
3. Carretones: Son equipos que hoy en día se siguen usando para la transportación del concreto con bastante eficiencia. El rendimiento de estos equipos es de 0.03 m^3 y se dice que 6 trabajadores pueden transportar $2.5\text{m}^3/\text{hr}$ a una distancia de 70 metros.
4. Bombas de concreto: Ningún piso industrial requerirá el bombeo del concreto, debido a que las losas de concreto se encuentran desplantadas sobre el terreno natural y no son elevadas.

5.4 Vaciado del Concreto

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

5.4.A Secuencia del colado

En la mayoría de los casos, la manera más común de colocar el concreto en un área grande, es mediante el colado de franjas, como se ilustra en la Figura 5.4-1

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

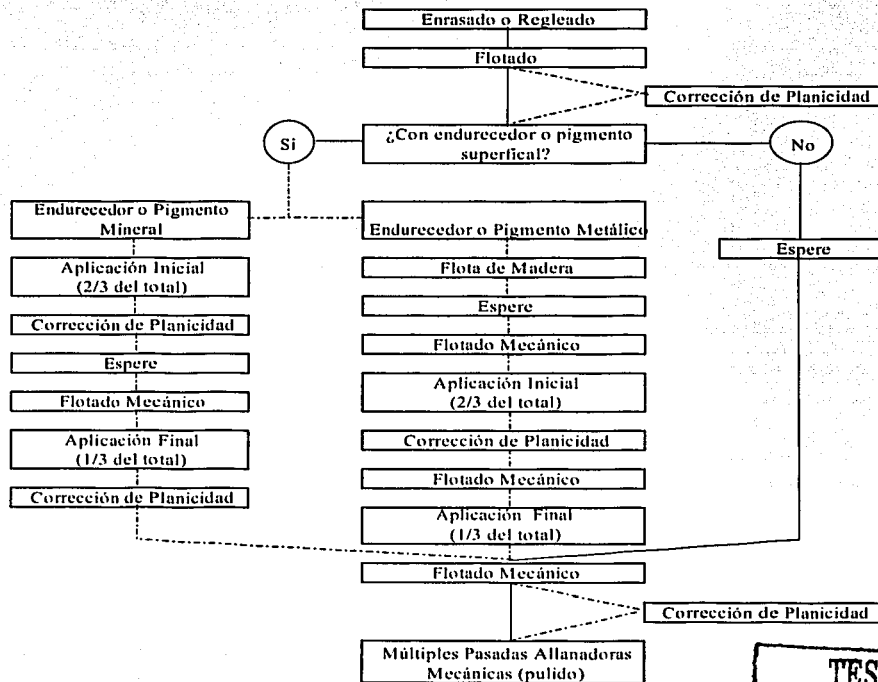


Fig 5.4-1

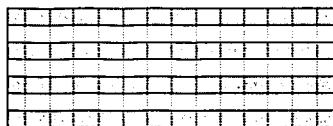
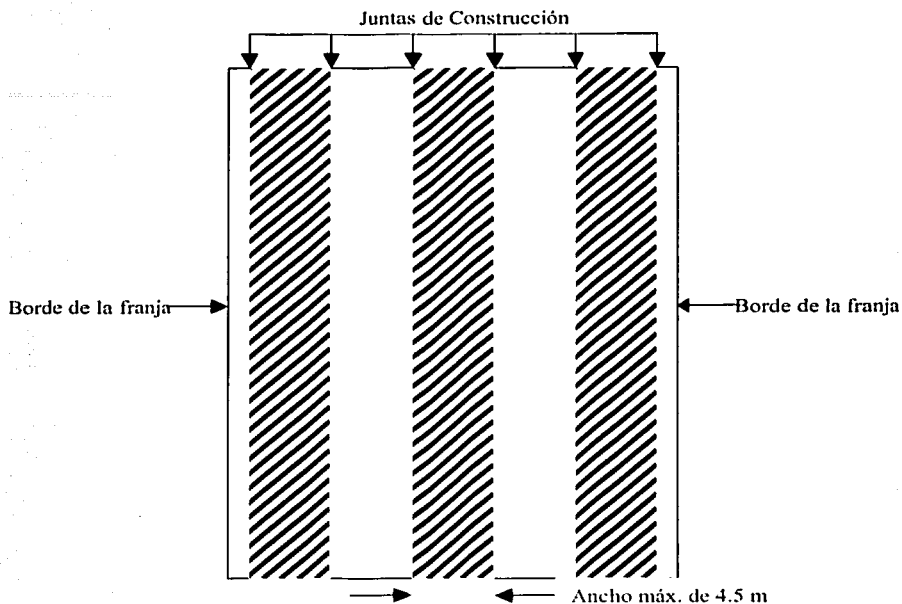
Procedimientos típicos de acabado¹

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

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

¹ Fuente ACI 302, Guide for Concrete Floor and Slab Construction

Cuando las juntas longitudinales se encuentren muy cerca una de otras, se recomendará el uso del refuerzo pretensado en el sentido transversal, con el objeto de evitar las grietas longitudinales en las losas.





- | | | | |
|-------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ----- | Junta de Contracción |  | Franjas coladas primero |
| ———— | Junta de Construcción |  | Franjas intermedias |

Fig. 5.4-2 Secuencia del colado en franjas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otra alternativa para la colocación del concreto, es la de realizar colados de grandes bloques, con sus respectivas juntas de contracción internas. Esta alternativa se utiliza principalmente con equipos de regla láser, gracias a su gran rendimiento, permitiendo reducir los tiempos en el programa de obra para los colados del concreto.

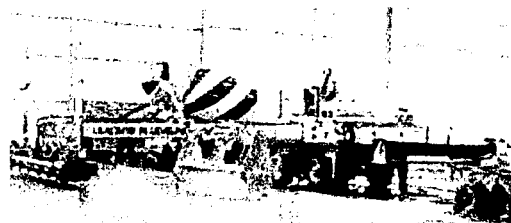
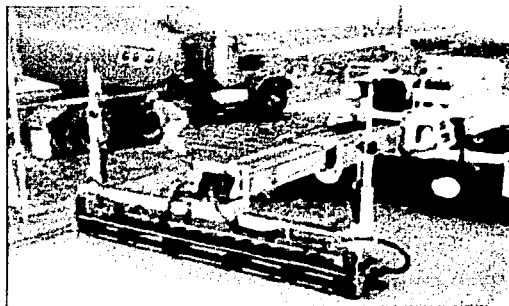


Fig. 5.4-3 Colados en áreas grandes con regla láser.

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

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

5.4.B Descarga del concreto

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

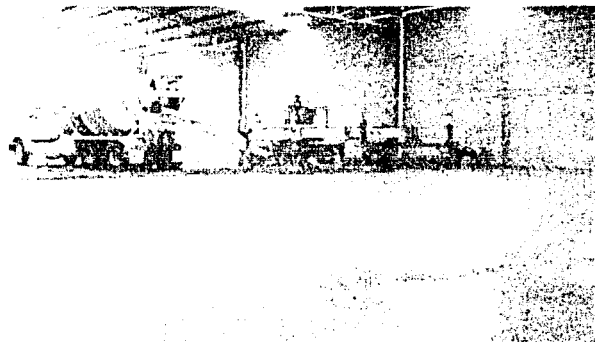


Fig. 5.4-4 Descarga del concreto en camión revolvedor

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La parte final de descarga del tobogán, debe permanecer cerca de la superficie del concreto previamente depositado. Cuando el concreto sea descargado directamente en la base, se deberá

desplazar el tobogán a ciertos intervalos, para impedir la acumulación de grandes cantidades de concreto. Una pendiente muy inclinada en el tobogán, puede ocasionar que el concreto se descargue con mucha velocidad y segregación.

5.4.C Vaciado del concreto sobre la base

Las operaciones de mezclado y colocación deben estar coordinadas cuidadosamente con las de acabado. El concreto no se debe vaciar sobre la subrasante más rápidamente de lo que pueda ser extraído, alineado en los bordes, compactado y aplanado, pues éstas operaciones deben realizarse antes de que el agua de sangrado se acumule en la superficie.

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

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

5.5 Extendido

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

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

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

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

La cabeza del vibrador debe introducirse en forma vertical durante el proceso. En losas de espesores menores, se debe tratar de utilizar vibradores cortos de 125 mm (5") para permitir la inserción vertical. Cuando la losa sea muy delgada para permitir la inserción vertical, el vibrador

deberá ser introducido inclinado u horizontal.

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

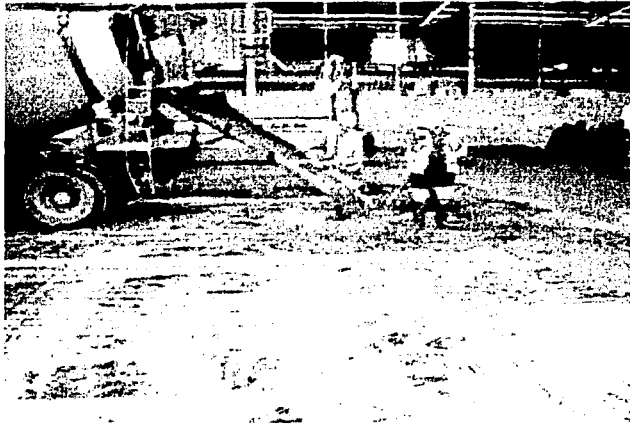


Fig. 5.5-1 Vaciado y extendido del concreto empleando palas cortas de bordes cuadrados

5.6 Enrasado

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

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

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

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

La colocación del concreto normalmente se realiza con colados en bloques o con colados en

franjas. Los colados en bloques generalmente tienen longitudes y anchos de más de 15 m, mientras que los colados en franjas tienen anchos de menos de 15 m y longitudes variables de cientos de metros. Para el caso de pisos súper planos, se recomiendan anchos de franjas menores a los 7 metros, con el fin de emplear de mejor manera las herramientas de corrección de planicidad como el bump cutter, el straightedge, etc. Sin embargo, hoy en día se realizan colados en bloques en las que se hace el enrasado del concreto con reglas láser para lograr pisos súper planos; desde luego contando con la vital experiencia del contratista para lograrlo.

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

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

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

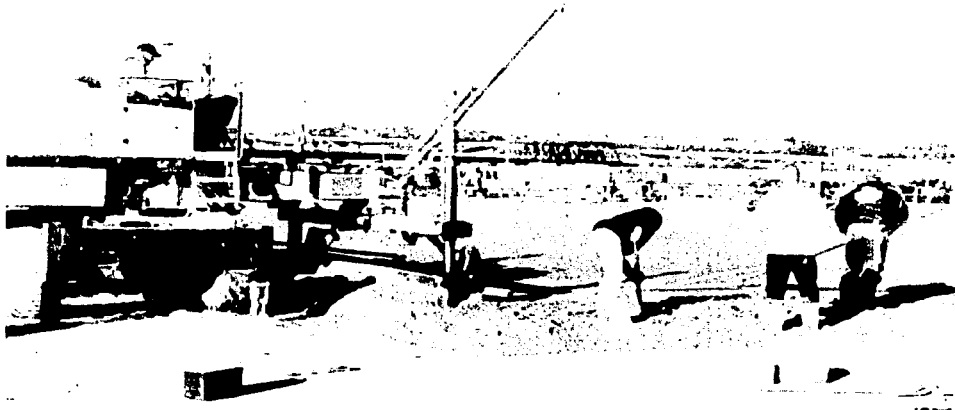


Fig. 5.6-1 Enrasado del concreto por medio de regla láser

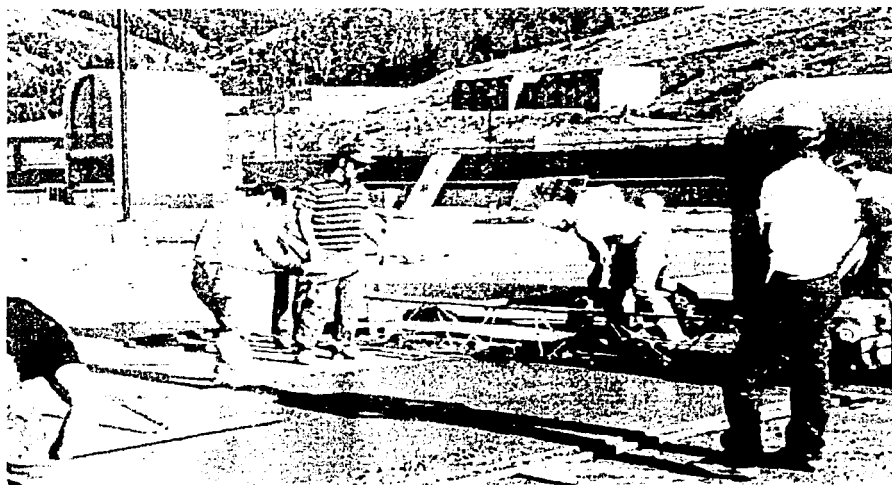


Fig. 5.6-2 Enrasado en forma manual mediante el uso de regla vibratoria

5.7 Nivelación

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

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

La exigencia de la especificación de planicidad y nivelación del piso (números f) normalmente viene de la mano con el tamaño de la flota a emplear, por ejemplo para proyectos con especificación promedio de planicidad 20 o menor, se puede usar una flota pequeña hasta de 1.5 metros de ancho. Para valores de planicidad entre 20 y 25, se recomiendan las flotas grandes de 2.4 a 3.0 metros (8 a 10 pies) de ancho y para proyectos con valores de planicidad superiores de 25 se recomiendan las herramientas conocidas como “bump cutter” o “straightedge-carretero” a partir de la segunda pasada de la flota.

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

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



Fig. 5.7-1 Nivelación de la superficie con herramientas que permiten ir corrigiendo la planicidad, como el check rod (izquierda) y el bump cutter (derecha).

5.8 Flotado

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

El flotado inicial (*bull-floating*), se realiza a mano inmediatamente después del enrasado, empleando una flota tipo "bull float", flota tipo "darby" o del tipo "straightedge" para corregir la planicidad. Este flotado debe terminarse antes de que cualquier exceso de humedad o agua de sangrado se presente en la superficie; ya que cualquier operación de acabado que se realice mientras exista un exceso de humedad o de agua por sangrado, ocasionará una superficie polvosa y/o con desprendimientos.



Fig. 5.8-1 Flotado inicial o manual de la superficie de concreto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

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

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

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

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

- El agua ha desaparecido de la superficie.
- El concreto pueda soportar el peso de una persona, con sólo un imperceptible hundimiento superficial (menor a 6 mm, ¼ in.)
- El mortero no sea lanzado por los discos o comales de flotado.

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

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

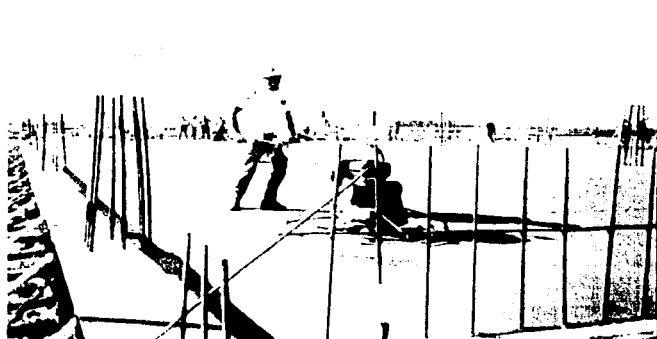


Fig. 5.8-2 Flotado de concreto con allanadora con discos de flotado

5.9 Acabado Superficial de los Pisos Planos

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

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

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

Pisos súper planos con especificación de F_F y F_I superior a 50, después del enrasado con regla vibratoria vienen varias pasadas de la herramienta de corrección de planicidad (straightedge, bumpcutter, etc). El flotado inicial puede realizarse con una flota ancha, pasándola a 45 grados con respecto al eje de colado; posteriormente viene el flotado mecánico, luego el corte y relleno de puntos altos y bajos con herramientas manuales. Cuando el concreto lo permita, se realizará el allanado mecánico y posteriormente, la corrección de planicidad una vez más y así sucesivamente hasta que el concreto endurezca, de tal manera que sólo podamos realizar el allanado mecánico superficial para lograr el pulido deseado.

Tabla 5.1 Relación de grietas entre la flota Straightedge, Números F, según la clasificación del piso ACI

Clasificación del piso ACI	Uso típico	Planicidad F_F	Equivalencia de la abertura con la flota Straight-Edge por cada 10- ft	Nivelación F_L
1 o 2	Uso no crítico: cuartos de máquinas, áreas no públicas, superficies que tengan sistemas de elevación por computadora y losas en áreas de estacionamiento.	20	$F_F 20 = 5/16''$	15
2	Uso comercial de oficinas, e industrias con moderado tráfico	25	$F_F 25 = 1/4''$	20
2, 3, 4, 5, 6, 7, u 8	Pisos en bodegas con moderada carga de tráfico.	35	$F_F 32 = 3/16''$	25
9	Bodegas industriales con sistema de almacenamiento paletizado y manejo de cargas por montacargas.	45	-	35
3 o 9	Estudios de televisión o cine. Condiciones extremas de temperatura.	>50	$F_F 50 = 1/8''$	>50

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

5.10 Allanado

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

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

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

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

El proceso de allanado o pulido debe hacerse siguiendo un cierto patrón sistemático. Normalmente se requieren 2 o más pasadas para incrementar la compactación de finos en la superficie para producir una mayor resistencia a la abrasión. Además, se deberá dar un cierto tiempo entre cada pasada para permitir endurecer el concreto, así como hacer desaparecer el brillo de agua.

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

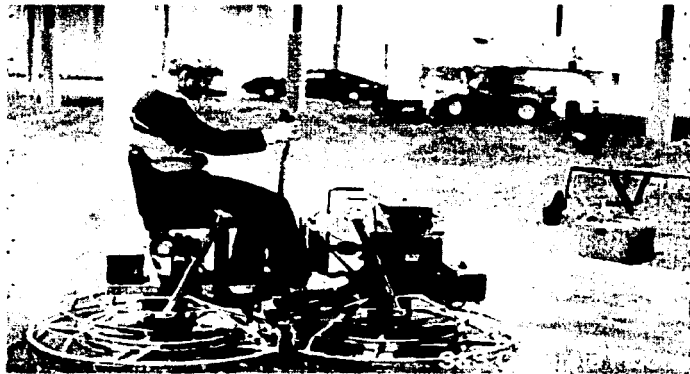


Fig. 5.10-1 Pulido de piso industrial con allanadora mecánica (comúnmente llamados helicópteros)

5.11 Corte de Juntas

Un adecuado sistema de juntas puede eliminar la posibilidad de agrietamientos aleatorios en el piso. Los aspectos del sistema de juntas que pueden llevar al éxito el proyecto, incluyen: escoger el tipo correcto de junta para cada ubicación, establecer un buen dimensionamiento de losas (arreglo en toda el área del piso) y por último, hacer el corte en el tiempo preciso.

A pesar que existen diversas maneras de crear la junta en un piso de concreto; (capítulo 2), la única manera aceptable de crear la junta en un piso industrial es mediante el corte con disco, para su posterior sellado.

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

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

El proceso de corte temprano en seco, se utiliza cuando se desea la formación de juntas a una edad temprana. Las juntas son formadas usando discos impregnados de diamante. El corte obtenido en este proceso, no es tan profundo como el corte obtenido en el proceso convencional, se obtiene una profundidad máxima de 32 mm (1¼") . Sin embargo un corte temprano, permite que las juntas se formen antes que se desarrollen esfuerzos de tensión significativos en el concreto, incrementando así, la posibilidad de que la grieta se forme en la junta, cuando se desarrollen esfuerzos suficientes.

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

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

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

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

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



Fig. 5.11-1 Corte empleando equipos de corte temprano y vista del corte temprano realizado en seco.

5.12 Curado

El objetivo del curado en pisos de concreto, es el de optimizar la hidratación del cemento, manteniendo un contenido de humedad y temperatura óptimos en la mezcla. Mediante la hidratación de las partículas de cemento, se desarrolla un incremento de resistencia a la compresión y por ende a la abrasión. Las condiciones óptimas para el curado están entre 10°C a los 21°C. A temperaturas menores de los 10°C el tiempo para el acabado superficial aumenta.

¿Cuándo empezar el concreto?

El curado debe empezarse tan pronto como se terminen las operaciones de colado y acabado superficial. Si las superficies de concreto se secan antes de que el concreto se endurezca, o están alternativamente húmedas y secas, pueden aparecer grietas en la superficie. Para evitar tales grietas, deben tomarse los pasos necesarios por varios días para reducir la evaporación durante las operaciones de acabado.

Importancia del curado

A medida que el concreto se endurece se hace más resistente y durable. El proveer las condiciones correctas para el curado del concreto, involucra tres factores: humedad, temperatura y tiempo.

a) Humedad

La hidratación del cemento se detiene cuando el concreto se seca. Esto significa que debe evitarse que el concreto se seque tanto tiempo como sea posible, para que alcance su máxima resistencia. Si el agua se mantiene en el concreto, continuará la hidratación, pero si toda el agua libre se evapora, la hidratación prácticamente se detiene.

b) Temperatura

El concreto caliente se endurece más rápidamente que el concreto frío, y durante los primeros días, gana resistencia más rápidamente que el concreto frío. Por ejemplo, si una mezcla de concreto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

empieza a fraguar en 2 horas a 21°C, puede fraguar en una hora o menos a 35°C. Cuando se requieran rápidamente altas resistencias, el concreto puede calentarse con vapor o por otros medios. Cuando se usa tal curado, deben tomarse las debidas precauciones para evitar dañar el concreto.

La “mejor” temperatura para hacer el concreto dependerá del curado, es decir de las condiciones y del tiempo máximo que pueda ser curado en obra. Si el concreto va a ser curado de manera natural por largos períodos, por ejemplo en presas o cimientos, el concreto hecho a bajas temperaturas (justo por encima de la congelación) eventualmente será más resistente que el concreto hecho a altas temperaturas. El calor de hidratación generado por la acción del fraguado del cemento también afecta la ganancia de resistencia del concreto.

c) Climas cálidos

Puesto que el concreto pierde revenimiento más **rápidamente cuando las temperaturas son altas**, existe la tendencia de agregar agua a la mezcladora para incrementar el revenimiento. En clima cálido se necesita más agua todavía para producir un concreto con un revenimiento dado que en clima frío. Por ejemplo, para producir 0.76m³ de concreto, con un revenimiento de 7.5cm, a una temperatura de 15°C, se necesitan 125 litros de agua y con las mismas condiciones de materiales a una temperatura de 29°C se necesitarían 7.6 litros más de agua.

Precauciones:

1. Use materiales y proporciones de concreto de diseño, bajo condiciones de clima caliente.
2. Use concreto que se haya enfriado. (ACI 305R).
3. Use revenimientos en el concreto, que permitan el colado rápido y la compactación efectiva.
4. Evite retrasos por: transporte, colocación, compactación y acabado del concreto.
5. Programe el colado nocturno o en otras horas donde las condiciones sean más favorables, con el fin de evitar contracciones plásticas.
6. Durante el colado y curado, proteja la superficie contra la pérdida de humedad.

Climas fríos

Como se ha mencionado, el concreto se expande cuando se calienta, de modo que el concreto que está frío al colarse se expandirá más tarde cuando se caliente. El colado de concreto cuando está frío, es menos propenso a tener grietas por contracción plástica que el colado en clima caliente, debido a que contiene menos agua por unidad de volumen. Para compensar el lento fraguado y endurecimiento del concreto en clima frío, se usa agua de mezclado con temperatura tibia y a veces agregados tibios para elevar la temperatura del concreto. Muy rara vez ocurre agrietamiento por contracción plástica en clima frío y esto ocurre cuando existe una combinación de concreto tibio y viento seco.

El colar concreto tibio sobre una rasante fría, puede dar como resultado algunos problemas que son muy difíciles de resolver. El concreto en contacto con la subrasante, se enfriará rápidamente mientras que el concreto en la superficie fraguará y empezará a endurecerse mientras el concreto de más abajo permanecerá plástico y podría todavía estar sangrando. Cuando esto sucede, se forma una “costra” superficial justo cuando la losa está lista para ser aplanada y allanada.

Precauciones:

1. Proteja el concreto cuando las temperaturas están por debajo de 4°C, así mismo, contra la congelación, hasta que su resistencia alcance cuando menos los 35kg/cm² o más.

2. Revisar cuidadosamente las esquinas y bordes de la losa de concreto, ya que son más vulnerables.
3. Prevenir que el concreto se congele ante bajas temperaturas.

Métodos de curado

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

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

1. Mediante una cubierta húmeda. La lona es el recubrimiento húmedo usado con mayor frecuencia. Este material y otros recubrimientos húmedos cuando se aplican en la forma correcta, proporcionan humedad constante y distribuida uniformemente sobre la superficie. Se deben colocar sobre el concreto tan pronto como esté lo bastante duro para que la superficie no se dañe. Todos los bordes expuestos del concreto deben ser cubiertos con sumo cuidado. Los recubrimientos deben mantenerse húmedos durante el periodo de curado, de manera que la superficie húmeda permanezca en contacto continuo con el concreto.
2. Mediante hojas de polietileno o papel impermeable. Las películas de polietileno y las hojas de papel impermeable son usadas como métodos de retención de humedad. Debe humedecerse previamente la superficie y colocar la capa tan pronto como sea posible, teniendo cuidado de no maltratar la superficie. Sin embargo, este método de curado no se recomienda para pisos de acabado aparente, debido a que el color de la superficie de concreto podrá no ser uniforme, de hecho las manchas son mas frecuentes si cubierta de polietileno esta expuesta directamente a los rayos del sol.
3. Compuestos de curado. Consiste en el sellado con aspersor de la superficie y bordes, mediante la aplicación de una membrana o un compuesto de curado. El compuesto de curado deberá ser tal, que no decolore o marque de manera permanente la superficie; previniendo las reacciones químicas que pudiesen presentarse por la aplicación de cualquier tratamiento superficial subsecuente.

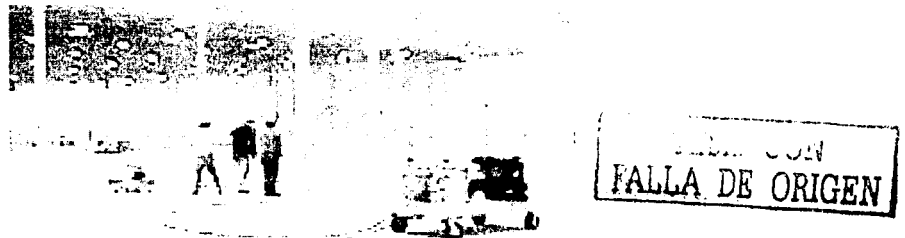


Fig. 5.12-1 Curado de losa de concreto, mediante la aplicación de membrana de curado

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

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

Causas y prevención del agrietamiento por contracción plástica

Ocurre cuando la superficie de concreto se está secando más rápido de lo que el agua de sangrado emerge a la superficie. Es más probable que las grietas por contracción plástica aparezcan cuando el concreto está tibio y el clima sea seco (baja humedad relativa), y/o con viento caliente.

El siguiente diagrama se basa en la evaporación de agua en la superficie. La gráfica toma en cuenta la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento y la temperatura del concreto. La temperatura del concreto puede tomarse fácilmente con termómetro; pero cuando la velocidad de evaporación exceda aproximadamente 0.9 litros de agua/m²/hr, puede ocurrir agrietamientos por contracción plástica.

Deben tomarse las medidas siguientes para minimizar el agrietamiento plástico:

1. Humedecer de manera mínima, la subrasante y cimbras, antes de colocar el concreto.
2. Proteger el concreto contra el secado, usando atomizadores u hojas de plástico; al momento en que el concreto esté siendo colado y a su posterior terminación.
3. Instalar rompevientos para proteger la superficie de concreto y pantallas contra el sol.
4. En el caso de climas calientes, baje la temperatura del concreto, agregando hielo como parte del agua de mezclado o rociando agua a los bancos de agregados (la evaporación ayudará a enfriarlos).
5. Asegúrese que el concreto sea colado tan pronto como sea posible después del mezclado.
6. Empiece el curado inmediatamente después de las etapas de acabado superficial.

Secado de las losas de concreto

Después que se termina el período de curado, antes de permitir cualquier tráfico sobre las losas de concreto, es recomendable permitir que la losa se seque por algunos días. El propósito del secado, es permitir que la superficie de concreto se carbonice.

El dióxido de carbono se combina con el hidróxido de calcio en los poros del concreto cerca de la superficie para producir carbonato de calcio. La carbonatación del concreto endurecido hace más duro al concreto. (Esto es diferente de la carbonatación que ocurre con el concreto fresco, que es una de las causas de la generación de polvo).

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

1. Evitar pisar el piso por al menos un día.
2. Evitar el tránsito de vehículos ligeros de llantas sólidas en un lapso de 7 días, a menos que las pruebas de laboratorio muestren que el concreto ha alcanzado una resistencia mínima de 210 kg/cm² a la compresión simple.
3. Dejar las hojas de papel o plástico el mayor tiempo posible en el piso.
4. Proteger la superficie de la losa con hojas de madera o con algún otro medio cuando se espere tráfico pesado.

5.13 Tolerancias Superficiales

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

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

El sistema de números F, ofrece una ventaja muy importante sobre el sistema tradicional para medir la planicidad con la regla de 3 metros; ya que la información es almacenada y guardada en una pequeña computadora, por lo que ahora se puede identificar específicamente que área del piso no esta cumpliendo con la especificación y cuál si lo hace.

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

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

Con el antiguo método, se podía conocer la profundidad de los valles en el perfil de la superficie del piso, sin embargo no era posible conocer la frecuencia de las "olas", por lo que prácticamente sus resultados no eran del todo útiles.

El sistema de números F, también conocido como "números face del perfil del piso", consta de 2 números que describen la calidad superficial del piso, el primero indica el valor de la planicidad (F₁) por sus siglas en inglés (floor flatness) y el segundo número indica la nivelación (F₂) (floor levelness). Los resultados se presentan ya sea en sistema inglés o métrico y como quiera que sea el resultado (números f) es adimensional. La manera correcta de anotarlos es siempre primero el valor

de la planicidad seguido del valor de la nivelación, divididos por una línea diagonal (F_1/F_2).

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

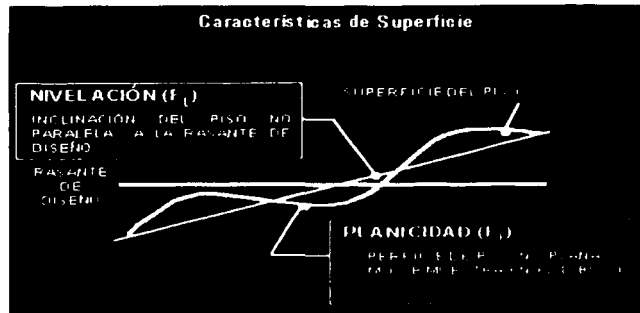


Fig. 5.13-1 Ilustración del concepto de planicidad (ondulación) y nivelación (inclinación) de la superficie del piso

La figura 5.13-1 presenta una comparación entre el método tradicional de medición de planicidad y el nuevo sistema de números F , para distintas clases de pisos.

El rango de valores de números F , para pisos convencionales tiene valores F_1/F_2 15/13 y para pisos súper planos los valores pueden ser superiores a 50/50. Obviamente el grado de complejidad de las técnicas de colocación y acabado se incrementa de acuerdo al requerimiento de planicidad y nivelación, lo que conlleva también al incremento en el costo de la colocación. Por ejemplo los pisos F_1/F_2 15/13, se pueden lograr enrasando el concreto con regla manual y empleando flotas convencionales para nivelar la superficie; mientras que un piso súper plano se logra normalmente haciendo franjas de colado no muy anchas, enrasándolo con regla vibratoria y empleando herramientas manuales para la corrección de planicidad. Para mayores detalles de técnicas constructivas recomendadas véase las tablas 5.13-2 y 5.13-3 o consulte la publicación del ACI 302 sobre Construcción de losas sobre el terreno.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 5.13-2 Medición de planicidad empleando el Dipstick, durante el proceso constructivo después del pulido de la superficie y antes del corte

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

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

Como conclusión, el sistema de números F no fue desarrollado para encontrar culpables, sino para contar con un método de medición de planicidad y nivelación que permita y facilite el contar con pisos planos y súper planos. Mediciones realizadas en cada colado, nos permitirá identificar las técnicas constructivas que en mayor medida mejoren los valores F. Adicionalmente en la actualidad el sistema no nada más es usado para pisos súper planos con áreas de almacén de pasillos angostos y racks altos, sino que también, es usado por diseñadores y propietarios de todo tipo de pisos industriales que buscan conocer el nivel de planicidad que sus contratistas ejecutan, y de esta manera cuantitativa se aseguran de cumplir con la especificación requerida.

Tabla 5.13-1 Correlación aproximada entre los métodos de medición de planicidad

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 5.13-2 Recomendaciones para valores de planicidad (Ft) en pisos industriales.

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

Tabla 5.13-3 Recomendaciones para valores de nivelación (FI) en pisos industriales

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.14 Sellado de Juntas

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

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

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

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

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

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

El sellado con productos epóxicos semi-rígidos deberá retardarse la mayor cantidad de tiempo posible para permitir que la junta abra por los efectos de la contracción por secado de la losa, lo que nos lleva a un mejor sellado y por ende a un mejor desempeño de la junta en operación. Para asegurar que el sellador no se vaya a levantar con el paso del tráfico, la aplicación del sellador se deja un poco más arriba de la superficie de la losa, para posteriormente cortar los excesos de sellador con el empleo de una herramienta tipo espátula, dejando el sellador al mismo nivel de la superficie de concreto.

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



a) Colocación de cintilla de respaldo



b) Aplicación con pistola sellador epóxico

Fig. 5.14-1 Procedimiento típico de sellado con la instalación de la cintilla de respaldo y del sellador epóxico semi-rígido

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

Las juntas de aislamiento, las cuales están diseñadas para acomodar movimientos pueden ser selladas desprendiendo la parte superior del material y después llenando el hueco formado con material elastomérico. También se pueden usar en este tipo de juntas materiales premoldeados que tienen un inserto removible que puede ser usado como depósito para el sellado posterior.

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

En este capítulo se mencionará las herramientas y equipos necesarios para la colocación y terminado de un piso industrial. Es común encontrar que los catálogos muestran docenas de herramientas para tal efecto, lejos de ello, se analizará el objetivo de cada herramienta y sus principales características que la hacen recomendable. Sin embargo, algunas de ellas se mencionan de manera opcional al lector dejándose a su consideración su uso.

La mayoría de estas herramientas se usan solamente para la colocación del concreto. Cada herramienta tiene un propósito específico, y no debe usarse para hacer trabajos para los cuales no fue diseñada. Estas son las herramientas necesarias para extender y compactar el concreto, para nivelarlo, para acabar la superficie tan lisa como se desee, para crear juntas y bordes, para el curado y especificaciones en la nivelación y planicidad del piso.

6.1 Extendido del Concreto

Para extender el concreto a mano, se usa generalmente alisadores de mango corto con extremos cuadrados, o extendedoras. La extendidora (o esparcidora) es una herramienta parecida a un azadón, con una hoja de aproximadamente 10 centímetros de largo, curvada desde la parte superior hasta la inferior.

Se recomienda el uso de palas de mango corto con extremos redondeados o rastrillos. Una pala redondeada, hace un pobre trabajo de nivelación del concreto, y las palas de mango largo no mueven bien el concreto. Así mismo, se recomienda no usar rastrillos de jardinería, ya que provocan la segregación en el concreto.

Para cubrir un área con más uniformidad, utilice esparcidores mecánicos para distribuir endurecedores integrales (esparcidos en seco), pigmentos, o agregados especiales durante el acabado del concreto. Estos extendedores usualmente consisten en:

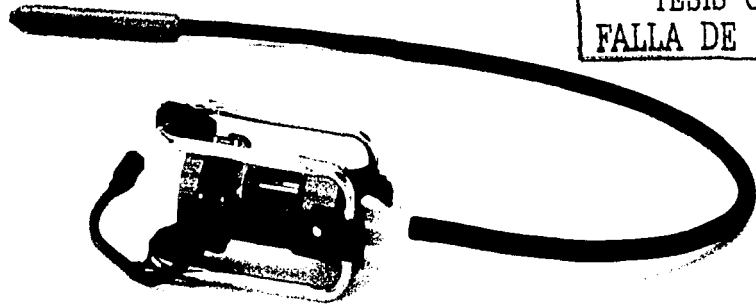
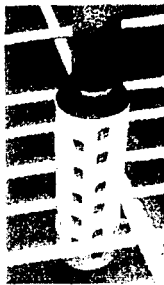
- Un depósito o tolva para contener el material
- Un vibrador motorizado para ayudar en la distribución
- Un marco de soporte, que permite que la tolva se mueva suavemente sobre la superficie del concreto. En lugares donde no pueda ser empleado el esparcidor mecánico, se tendrá que realizar manualmente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.2 Compactación o vibración

Una masa recién colocada de concreto generalmente posee huecos y aire atrapado. Si se le permite endurecerse en esta condición, el concreto no será uniforme, será débil y poroso. Es necesaria la consolidación o compactación por medio de la remoción del aire atrapado, si se desea que el concreto tenga las propiedades normalmente esperadas y deseadas para las losas de concreto. Es posible remover manualmente algo de vacíos por medio de regletas y apisonamiento, sin embargo, para el caso de los pisos industriales, se una compactación mecánica.

Los **vibradores internos** de alta frecuencia y baja amplitud se usan en ocasiones para consolidar y compactar el concreto en losas sobre el terreno, cuando la losa es lo suficientemente gruesa como para permitir la inmersión completa de la cabeza del vibrador.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 6.2-1 Ilustración de un vibrador interno y la recomendación de su localización en el caso de un piso reforzado.

La cabeza de un vibrador interno deberá estar completamente inmerso durante su operación. En el caso de losas de bajo espesor, deberá hacerse la inmersión horizontalmente o un cierto grado de inclinación. No permita que el vibrador esté en contacto con la subrasante, ya que puede contaminar el concreto. El vibrador debe permanecer inmerso hasta que empiece a brillar el concreto.



Fig. 6.2-2 Operación del vibrado interno

6.3 Herramientas para el acabado

En la vida práctica, es común que algunos ingenieros se comuniquen con los contratistas, diseñadores, o proveedores de maquinaria y equipos con términos en inglés. Pues como sabemos, la bibliografía para el diseño y construcción de los pisos industriales, debe su origen en Estados Unidos; por lo que a continuación haré mención de algunos términos y herramientas que en el ámbito de la construcción se conocen.

Las herramientas para el acabado superficial pueden dividirse en estos grupos.

1. Herramientas para el Perfilado o enrasado (striking off)
2. Para el flotado (floating)
3. Para el allanado o pulido (trowelling)
4. Otras herramientas



6.3.A Herramientas para el perfilado o enrasado

En este concepto se incluyen principalmente las reglas vibratorias, rodillos vibratorios, reglas láser y posteriormente reglas escantillón o straightedge. Para el caso de las **reglas vibratorias**, se realiza el perfilado del concreto, además le provee de cierta compactación. Existen diferentes modalidades de ésta herramienta: regla simple, doble y compuesta.

6.3.A.1 Regla vibratoria

La regla vibratoria simple, no es más que una estructura metálica con un vibrador anexo. Su longitud típica es de 1.50 metros. Una regla doble es similar, pero se soporta de dos estructuras metálicas unidas, la diferencia entre la sencilla es que abarca una mayor superficie de concreto y su eficiencia por ende, aumenta. Este tipo de equipos no son recomendables cuando se tienen grandes áreas en patios o bodegas industriales, ya que se limitan a una longitud máxima de 6 metros. Por el contrario, la regla vibratoria compuesta, está fabricada a base de tubulares con una estructura más compleja; esto permite una mayor superficie de contacto, tanto de ancho, como de largo. Los proveedores de éstos equipos tienen en existencia reglas de hasta 25 metros de longitud.

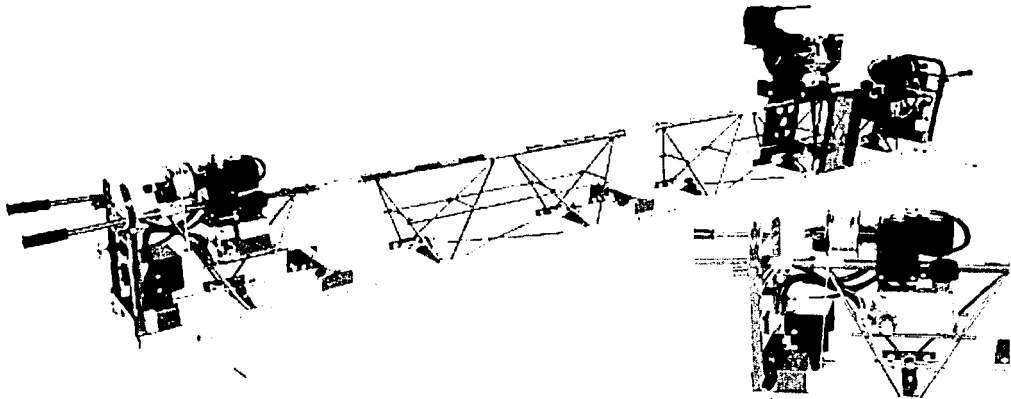


Fig. 6.3-1 Perfilado por medio de regla vibratoria

Es muy importante considerar una velocidad lo suficientemente baja para que la regla alcance a darle la planicidad requerida, de modo contrario, dejará puntos blandos en el concreto. Así mismo, si va demasiado lento segregará al concreto, transportando una mayor cantidad de mortero de la requerida a la superficie. La ACI recomienda un revenimiento para el concreto de 25-50 mm, cuando se use la regla vibratoria.

6.3.A.2 Rodillos vibratorios

El rodillo vibratorio es un tubo metálico que se desliza a gran velocidad sobre la superficie del concreto. Este equipo es jalado a ambos lados de la superficie y en una sola pasada permite que el concreto se acomode eficientemente por el paso de los tubos metálicos. Las dimensiones de los rodillos vibratorios son variables, dependiendo de sus marcas y necesidades del proyecto, sin embargo, se encuentran disponibles hasta longitudes de 9 metros de largo, haciéndolo más recomendable para colados donde no sea posible el acceso de una olla premezcladora, o en casos de franjas de colado muy pequeñas. Una desventaja del rodillo vibratorio, es que una vez colada una franja, todas las franjas tendrán el mismo ancho, por lo que el constructor tendrá que comprar rodillos vibratorios con anchos diversos.

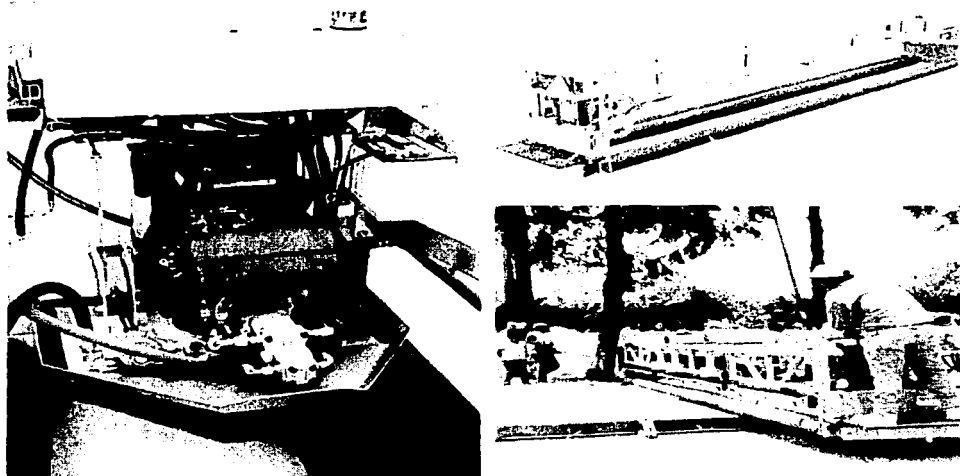


Fig. 6.3-2 Rodillo vibratorio.

6.3.A.3 Regla Láser

A pesar que el desarrollo de la tecnología de la regla láser ha sido creciente en los últimos 15 años, el campo de aplicación en nuestro país apenas empieza a conocerse éste método para el acabado de un piso industrial.

La regla láser nivela el concreto por medio de puntos de referencia muy parecidos a los usados en topografía, se ubican puntos fuera y dentro de la nave, que posteriormente tomará como nivel para la nivelación de la superficie de concreto. Las ventajas del uso de la regla láser son las siguientes:

ESTE CON
FALLA DE ORIGEN

1. Son altamente recomendables para áreas grandes de colados, ya que su eficiencia supera cualquier método para el perfilado o enrasado del concreto.
2. Requiere de una cantidad menor de mano de obra.
3. Debido a su sistema de nivelación por láser, resulta altamente recomendable para el caso de pisos super-planos.

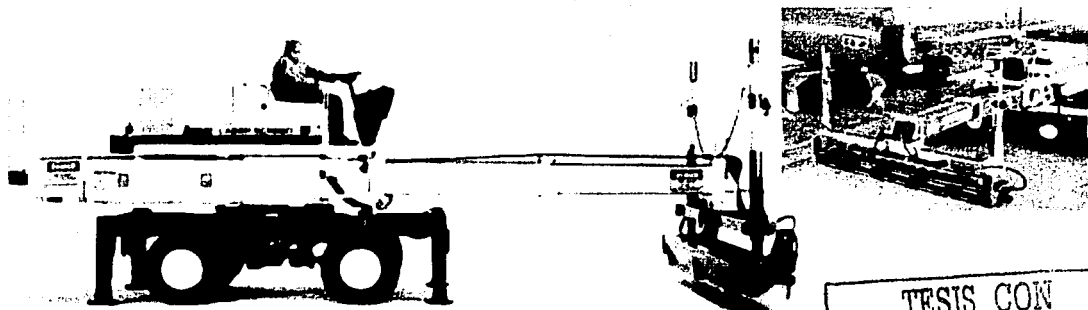


Fig. 6.3-3 Regla láser, dispositivos y aplicación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3.A.4 Regla tipo escantillón o Straightedge

Es quizás la herramienta más primitiva para la construcción de un piso industrial y la más usada en la actualidad inclusive para lograr pisos super planos. No es nada más que un perfil de magnesio con dimensiones típicas de 2.0-5.0 centímetros de ancho, 9.0-15.0 centímetros de alto y longitudes superiores a los 6.0 metros. Existe una controversia sobre su uso de aluminio contra la de magnesio. Algunos constructores americanos prefieren la de magnesio, creyendo que el aluminio puede dañar al concreto, a decir verdad, se dice que las partículas de aluminio dañan al concreto en su estado plástico, produciéndole ampollas en la superficie; aunque algunos contratistas británicos usan perfiles diariamente de aluminio y no reportan éstos problemas.

La regla escantillón se utiliza después del primer flotado atrás de la regla para corregir aún más los detalles que puedan ir dejando el rebosado si se buscan altos números F. Por otro lado, también puede usarse la flota straightedge o carretera, cuya diferencia es la adición de un mango para su operación (originalmente usado en la pavimentación de carreteras), pero su uso se enfoca más para el flotado del concreto que más adelante se explicará.



Fig. 6.3-4 Regla tipo escantillón en el perfilado del concreto

6.3.A.5 Otros casos

La regla tipo “Magic Screed” se utiliza en donde no podamos colocar cimbras, ya que ésta regla se desliza sobre muestras húmedas de concreto, permitiendo tener acceso a espacios reducidos o con obstáculos por su peso ligero y versatilidad de cambiar de tamaño de cuchillas de magnesio desde 1.2 a 4.8 metros. Su versatilidad se vuelve bastante recomendable tanto en su peso como en su funcionamiento a gasolina o accionada a aire. Su uso no se recomienda en proyectos grandes, ni con un nivel de especificaciones muy exigentes, sin embargo, puede resultar un equipo muy práctico para casos de emergencia o en áreas de difícil acceso.

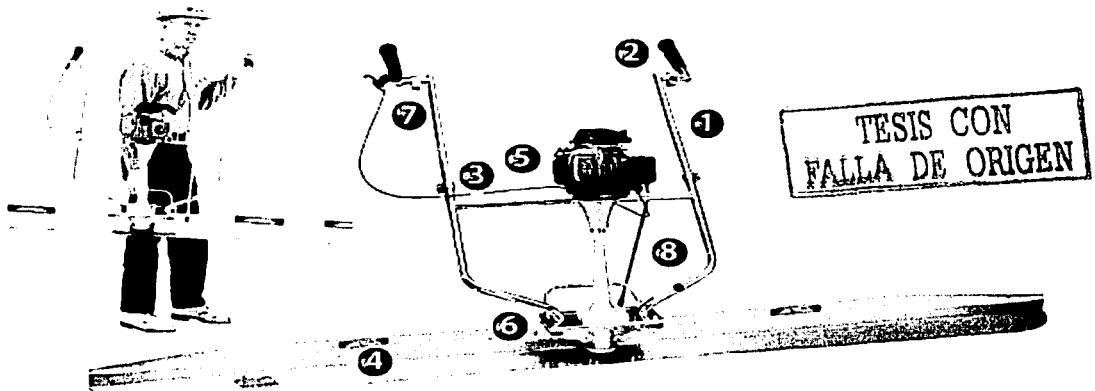


Fig. 6.3-5 Regla tipo “Magic Screed” recomendada para casos especiales.

6.3.B Herramientas para el flotado

Una flota es una herramienta con una superficie plana que es arrastrada a lo largo de la superficie del concreto. Los bordes son redondeados de tal manera que no permitan hundirse sobre el concreto fresco. Las flotas pueden dividirse en dos grupos de acuerdo a su función:

- Flotas denominadas **bull floats y darbies**, usadas inmediatamente después del perfilado y antes que aparezca el sangrado del concreto.
- Flotas **manuales y flotas mecánicas**, usadas posteriores al sangrado del concreto (la completa desaparición del agua en la superficie del concreto).

6.3.B.1 Uso de flotas previo al sangrado del concreto

La flota tipo “Bull float o Channel float” es una herramienta con dimensiones típicas de 20 centímetros de ancho y de 1.0 a 1.5 metros de ancho, la forma tipo canal evita que se deforme con el uso, lo que permite lograr mayor planicidad. La superficie de contacto baja el agregado grueso y arrastra mortero a la superficie lo que nos ayuda a poder trabajar mejor la superficie para las operaciones de corrección siguientes. Se utiliza después del paso de la regla y en el sentido transversal a la franja del colado, con un ángulo de inclinación sobre la superficie, permitiendo su deslizamiento sin clavarse en el concreto, gracias a la cabeza de ajuste de tornillo y las extensiones de magnesio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 6.3-5 Flota denominada "Bull float o Channel float"

Las flotas tipo "Darbies" como se ha mencionado en el capítulo V (Construcción y acabado del piso) tiene como propósito, eliminar las huellas y rellenar oquedades en la superficie causadas por el enrasado, además a diferencia de la flota tipo "Straightedge o Channel float, tiene un mango más corto que facilita el acabado en zonas donde la flota convencional no puede llegar. Las flotas darbies tienen a su vez la clasificación siguiente:

Flotas tipo
Darby

El **Check Rod** es una herramienta de magnesio de sección de 10 x 5 centímetros con aristas rectas, que permiten el primer corte en el estado fresco del concreto. Se utiliza para reducir los abultamientos y rellenar en los puntos donde existan baches en la superficie del concreto

El **Bump Cutter** es una herramienta de magnesio de sección de 5 x 10 centímetros con aristas rectas. Se utiliza con la cara de 5 centímetros sobre el concreto, cortando y rellenando valles y crestas con mortero. Se utiliza con extensiones de magnesio y cabezal de ajuste giratorio después de cada operación del flotado hasta que el concreto lo permita.

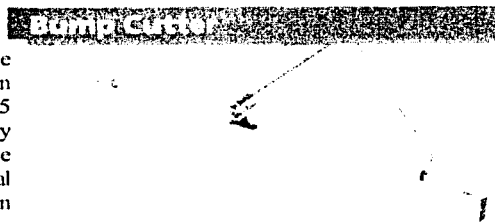
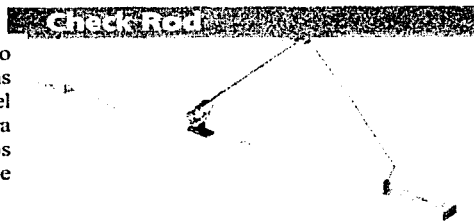


Fig. 6.3-6 Flota denominada "Bump Cutter", para cortar puntos altos y rellenar los puntos bajos del concreto.

6.3.B.1 Uso de Flotas posteriores al sangrado del concreto

Las flotas utilizadas después de que el agua en la superficie del concreto haya desaparecido, son manuales. Sus tamaños pueden variar grandemente, pero por lo general varían de 9 centímetros de ancho y de 30-60 centímetros de largo. Se utiliza para trabajar manualmente las orillas y áreas requeridas para flotar la superficie del concreto sin sellarla cuando el concreto está en estado plástico, nos permiten extraer humedad a la superficie para trabajarlo más tiempo o para recuperar áreas que han perdido humedad rápidamente. Son herramientas de aristas redondeadas de magnesio extruído o vaciado.

Las flotas mecánicas o allanadoras sencillas, consisten en discos metálicos de 0.76-1.20 metros de diámetro accionados a un motor a gasolina. Este tipo de flotado incorpora vibración así como una acción rotatoria que permite lograr una mayor planicidad (F_7).

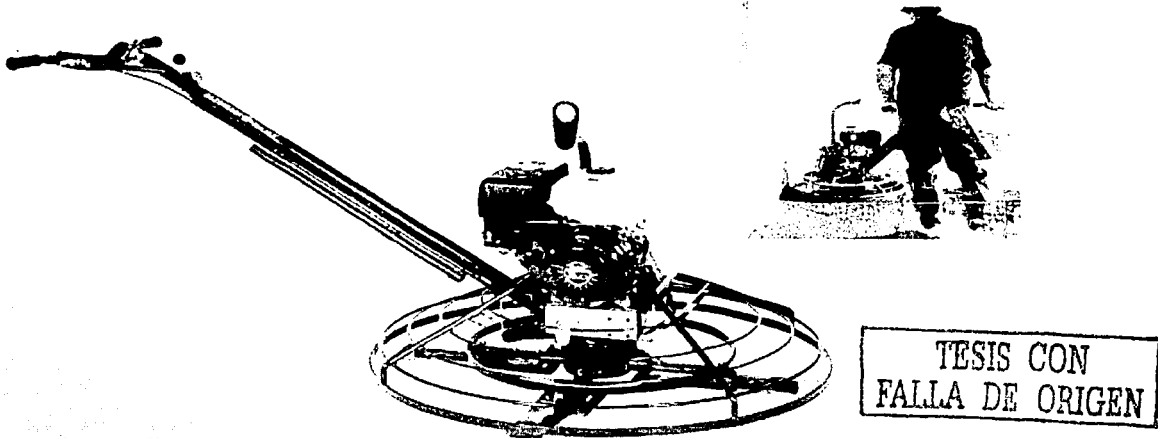


Fig. 6.3-7 Flotado mediante allanadoras sencillas para lograr una mayor planicidad (F_7)

6.3.C Herramientas para allanado o pulido

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

Existen dos opciones de allanadoras dobles:

- Con traslape de aspas (OL), recomendadas para pulir rápidamente grandes áreas de concreto.
- Y sin traslape de aspas (NOL), recomendadas para combinar el flotado y pulido simultáneamente. Estos tipos de allanadoras producen pisos con mayor planicidad cuando se utiliza con discos de flotado, logrando incrementar considerablemente los números F_r .

Los distribuidores tienen a la disposición del cliente varios tamaños desde 1.0 – 1.5 metros de diámetro las aspas, accionados con un motor de gasolina y diesel, transmisiones de engranes o hidráulicas, dos opciones de giro en los rotores, 8 o 10 aspas.

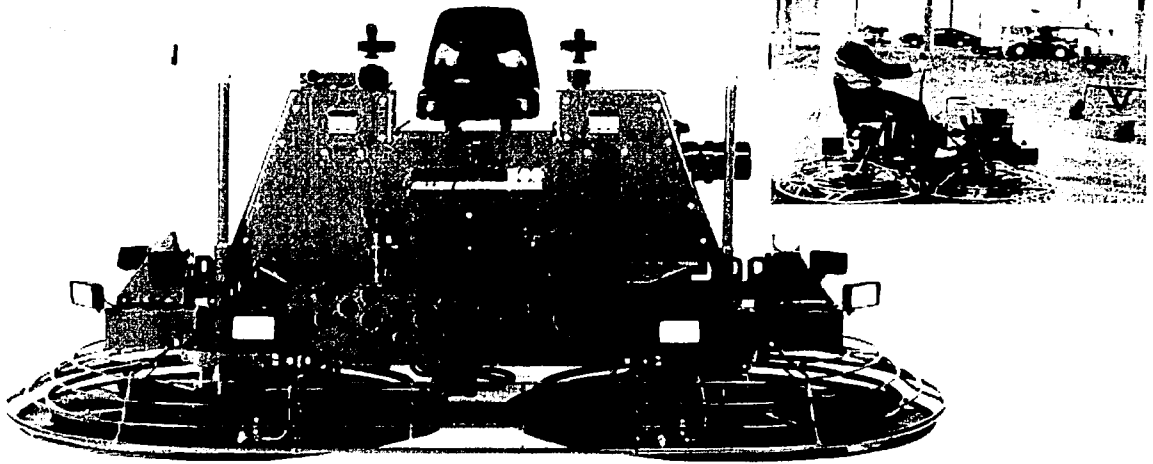


Fig. 6.3-8 Flotado mediante allanadoras dobles

Los accesorios para este tipo de allanadoras dobles, son platos o discos planos de acero mejor conocidos como “comales”, que se montan bajo las aspas de las allanadoras sencillas o dobles mediante clips para realizar las operaciones de flotado del concreto. Indispensables para lograr especificaciones de planicidad F_f en pisos industriales, ya que durante su operación ayudan a cortar las crestas y rellenar los valles en la superficie del concreto, con el mortero que se va arrastrando bajo su superficie y el movimiento giratorio de la allanadora. Son placas de acero calibre 10 , con un chaflán a 45° en el borde. Su rendimiento varía desde los 12,000 m² a 18,000 m² antes de su reemplazo.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 6.3-9 Discos de flotado “comales” . de una allanadora doble

6.4 Equipos de corte en el concreto

Es el sistema de corte en seco del concreto a su edad temprana, también se le conoce como concreto verde. El corte se realiza mediante equipos ligeros que permiten entrar cortar a muy poco tiempo después de pulido la losa de concreto y se realiza por medio de discos de diamante a altas velocidades, con la característica de contar con un sistema antidespostillamiento (plate ski), en el cual al momento del corte mantiene la superficie del concreto a presión en el punto donde se va realizando la ranura, evitando así despostillar la junta. Los discos giran en sentido contrario al avance y se fabrican 4 tipos diferentes de discos para diferentes agregados con diámetros de 13-35 centímetros. De acuerdo a la norma ACI 302-R96, la profundidad del corte requerida es mínima, especificándose 1" de profundidad o el 10% del espesor de la losa.

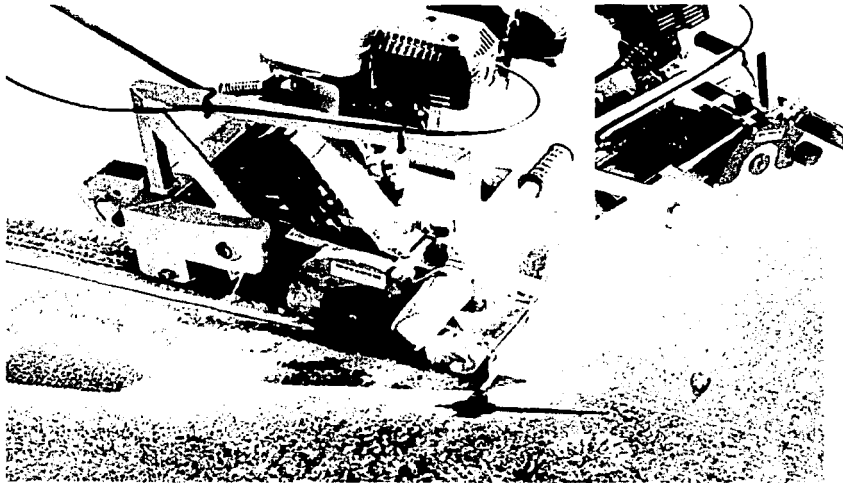


Fig. 6.3-10 Cortadora del concreto verde

6.4 Equipos para la medición de pisos super planos

El Dipstick Auto Read Floor Profiler, es un instrumento de recopilación de datos que provee un rápido y preciso método de medición de pisos para lograr la planicidad y nivelación bajo las especificaciones del ACI, ASTM y la CSA (Canadian Standard Association).

Es un equipo compacto, fácil de usar y de rápido análisis de resultados. Permite medir, analizar las condiciones superficiales y a su vez emite un reporte de los números Ff y Fl de una superficie de 10,000 pies cuadrados en 30 minutos o menos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig. 3.4-1 Equipo para la medición de los números F (Dipstick) y aparatos de reporte.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conclusiones

Los pisos industriales desplantados sobre el terreno, son estructuras que normalmente no se les presta la atención debida, como al resto de las estructuras en una nave industrial. Pues se han subdelegado funciones a los técnicos y maestros que supervisen la construcción y fallas ocasionadas por un mal funcionamiento.

Es por ello, que durante el presente trabajo de tesis se han estudiado los principales factores que intervienen en el diseño y construcción de un piso industrial, como son:

- **Diseño:**

1. Estudio de mecánica de suelos: Que comprende las propiedades y características del suelo natural y capas base, como son: la textura, compacidad, peso volumétrico seco máximo, espesores, grado de compactación, módulo de reacción de la subrasante, índice al esfuerzo cortante y otras pruebas de laboratorio. Todas éstas características son indispensables para determinar la capacidad portante de la estructura y predecir un adecuado funcionamiento ante la aplicación de cargas. En la mayoría de los casos, el estructurista basa su diseño en un sólo valor "el módulo de reacción de la subrasante" supuesto o estimado de acuerdo a una descripción genérica del suelo en cuestión, estimando un valor mínimo asociado a su capacidad por cortante. Esto resulta incorrecto, pues no se tiene conocimiento de la existencia de las variaciones del suelo y las consecuencias que esto conlleva. Por tal motivo, se deben planear visitas a obra con el objeto de verificar el tipo de suelo y/o la existencia de fallas geotécnicas. En caso de que el suelo no cumpla con las propiedades deseadas, verificar las características de los materiales de préstamo, así como su correcta colocación y compactación. Establecer mediciones estatigráficas en relación al área pavimentada, según lo establezca las normas complementarias para el diseño y construcción de cimentaciones de la localidad. Otro factor que comúnmente se olvida, es tener conocimiento de quién y con qué equipos contará la contratista de terracerías, así como su experiencia en dichos trabajos.

2. Estudio de estructural: Comprende la planeación y análisis de las cargas actuantes sobre la losa de concreto. Para el estudio de las cargas dinámicas es necesario conocer: tipo y magnitud de la carga, configuración del eje principal, tipo y espaciamiento entre llantas y presión de inflado principalmente. Para las cargas concentradas actuantes en los postes de los racks o estantes, se tendrá que analizar: la magnitud de la carga por cada poste, dimensiones transversales de los perfiles del rack, así como el acomodo de los mismos estantes. Para la carga uniformemente distribuída, se analiza la magnitud de la carga por metro cuadrado, área de contacto efectiva sobre la losa de concreto, pasillos o áreas no cargadas que provoquen momentos negativos, así como la altura máxima de estiba por unidad de área. Todo ello, con el fin de estimar el daño máximo que provoca la aplicación de una pesada carga sobre la losa de concreto, garantizando la seguridad de las mercancías, equipos y daños a los trabajadores por fallas graves en la losa, como son escalonamientos o baches. Por último, el diseñador y dueño, deberán tener cuidado en la previsión a futuro del crecimiento del inmueble; esto con el fin de no sobrecargar el piso con racks fuera del diseño original y pesadas cargas sobre la losa.

3. Estudio del tráfico: Aunque es bien sabido que en un piso industrial, el tráfico predominante es el uso de montacargas con diversas modalidades en su eje de carga. Estos montacargas son de vital importancia para el análisis del espesor de la losa de concreto, ya que producen esfuerzos de flexión por tensión en la losa, fatiga y momentos negativos máximos por la aplicación de una carga concentrada sobre un área reducida (llanta). El

estudio también comprende el análisis a futuro, es decir, la capacidad de las instalaciones a crecer, por el manejo intensivo de los montacargas sobre las losas, es por ello, que para el diseño bajo esta modalidad, se consideran factores de seguridad cercanos o superiores a dos. Mencionando además que el correcto estudio del aforo determinará en gran medida, la probabilidad de que se presenten problemas asociados a la fatiga del concreto y un deterioro acelerado de las instalaciones; produciendo altos costos por mantenimiento y atrasos por movimientos en la industria. Continuamente salen al mercado nuevos modelos de montacargas, las nuevas generaciones tienen la capacidad de maniobra con un mayor ángulo de giro, una mayor capacidad de carga y velocidad del transporte de mercancías. El dueño y el diseñador deberán planear que en el futuro sea necesario la adquisición de un vehículo de éstas características, por lo que se recomienda al diseñador que realice sus cálculos en modelos de montacargas con una mayor capacidad de carga a la actual, analizando la viabilidad de costos debidos a la construcción y mantenimiento.

4. Estudio de los concretos: Se analiza la conveniencia en el diseño de mezcla del uso o no de los concretos especiales (concreto de contracción compensada), tipo de agregados y dosificaciones en el uso de aditivos fluidisantes y reductores de agua principalmente. Así mismo, se analiza el uso de algún tipo de refuerzo para el concreto, como: varillas comerciales, malla electrosoldada o fibras metálicas en el estado endurecido del concreto, reduciendo de ésta manera el ancho de las grietas; y por el otro lado, el uso de fibras de polipropileno para evitar el agrietamiento del concreto en su estado plástico. El concreto además de revisarse sus condiciones en estado plástico, se deberá analizar en su estado endurecido, con el fin de evitar al máximo las fallas en la losa por la aparición de grietas no controladas, alabeo, o un módulo de ruptura mal especificado.

5. Estudio económico: Aunque en ésta publicación, no se realizó un análisis financiero o de factibilidad económica de la construcción de un piso industrial, siempre resulta evidente que deberán tomarse en cuenta todos los factores que produzcan un piso con las características a las cuales fué diseñado, garantizando su eficiente funcionamiento, seguridad y confort en el manejo de las mercancías. Es por ello, que dejo a consideración del diseñador y/o constructor a su elección todas las variables involucradas que permitan determinar un costo unitario por metro cuadrado de pavimentación, a consideración propia o condiciones y demandas del proyecto.

• **Construcción:**

1. Procesos constructivos: Bajo esta consideración, deberá tomarse en cuenta todas las etapas durante la transportación, vaciado, tendido, perfilado (regleado o enrasado), flotado inicial (mediante flotas tipo channel float o bull float), corrección de planicidad con flotas darby (check rod o bump cutter), allanado mecánico mediante allanadoras mecánicas sencillas y pulido mecánico. Todos estos procesos deberán supervisarse bajo un especialista en concretos, para evitar problemas por sobrevibrado que traduzca una segregación del concreto, superficies no planas y niveladas, así como problemas por superficies mal terminadas.

2. Uso de herramientas y equipo: Como se indicó en los capítulos V y VI, los equipos mostrados son los que normalmente se utilizan para la construcción de un piso industrial, aunque en algunos casos, los constructores manejan herramienta menor ya conocida por nosotros y que no se hace referencia en dicho trabajo. Es importante remarcar, que en el acabado de un piso, los equipos mostrados anteriormente son los que mejores resultados ofrecen para dejar superficies planas y niveladas, aunque se deja a consideración del constructor el uso herramienta y equipos alternativos.

3. **Experiencia del constructor:** Normalmente los constructores de naves industriales, tienen la suficiente experiencia en el diseño estructural de las naves y bodegas, así como el manejo eficiente del personal técnico-administrativo en obra. Pero a pesar de ello, se desconoce en gran medida el comportamiento de los concretos para pisos industriales, con el empleo de cementos especiales (resistentes al ataque químico o cemento de contracción compensada) y las posibles consecuencias que producen un inadecuado acabado superficial. Hoy en día, las empresas concreteras manejan una gran variedad de productos específicos para cada proyecto, por lo que el diseño de mezcla, la transportación y recomendaciones sobre la trabajabilidad y tiempos en los procesos de acabado, deberán ser tomados en cuenta por el diseñador, constructor, contratista y propietario. Aunque es importante conocer las características de los materiales, la influencia que se tiene en el concreto y su dosificación, siempre será importante recomendar un diseño alternativo o especificar el uso o no de fibras o acero de refuerzo. Con lo anterior, el diseñador y constructor tendrán un mejor conocimiento del concreto en sus 2 estados, y con ello, predecir un adecuado funcionamiento a lo largo de su vida útil, independientemente del proveedor de los materiales.

4. **Factores alternos:** No sólo resulta importante considerar los factores de diseño en el espesor de una losa de concreto o las propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido; sino que además deberán tomarse en cuenta las condiciones de operabilidad in situ, y condiciones ambientales como son: la humedad relativa, el viento, temperatura, así como las condiciones del colado, cerrado o al aire libre. Todo ello tendrá una gran influencia en los tiempos de ejecución para el acabado del piso industrial, dejándose hasta el final estas características, sin olvidar que resultan relevantes.

En todo proyecto independientemente del tipo de obra, se deberá realizar una minuciosa planeación de los trabajos, pues como hemos visto, algún factor que incida inadecuadamente durante el proceso de diseño o en la construcción, derivará seguramente en un deficiente o inadecuado terminado del piso.

Por último mencionar que la ausencia del acero de refuerzo resulta polémico hoy en día, ya que los constructores están familiarizados con ésta práctica, resultando para el caso de firmes y pavimentos el uso de la malla electrosoldada una tradición. Como se ha mencionado en los capítulos II y V, el empleo de componentes especiales (cemento de contracción compensada y fibras) para el caso de pisos resultan muy favorables en su funcionamiento, ya que mejoran su resistencia a la flexión por tensión, evitando el agrietamiento del concreto en el estado plástico y endurecido, así como sustanciales ahorros en la mano de obra y menores tiempos de ejecución. Este último punto, es importante, ya que un día de atraso de obra, reeditará en un alto costo por parte del propietario de tener inactivas las instalaciones y las mercancías no distribuidas.

Esta publicación es un trabajo de tesis que abarca los principales conceptos para el diseño y construcción de un piso industrial; podría abordarse en otra publicación el uso de losas postensadas y los costos referentes con las losas convencionales. Por lo que se recomienda para su posterior estudio.

Es un deber y un orgullo presentar un trabajo de tesis como el compendio mostrado; esperando que no sólo sea para beneficio propio, sino que aporte y contribuya al enriquecimiento técnico-científico para los estudiantes de ingeniería, diseñadores, constructores y demás interesados en los campos de aplicación.

Bibliografía

1. PCA "Concrete Floors on Ground" Portland Cement Association, 2001.
2. G. Garber, "Design and Construction of Concrete Floors" Halsted Press, Gran Bretaña 1991.
3. ACI, "Design of Slabs on Grade" ACI 360R-92, American Concrete Institute, Michigan-E.U., 1996.
4. CTS CEMENT COMPANY "Recommended Specifications for use of Type K Expansive Cement in making of Shrinkage-Compensating Concrete" Cypress, California-E.U., 2001.
5. ACI, "Guide for Concrete Floor and Slab Construction", ACI 302.1R-96, American Concrete Institute, Michigan-E.U., 1992.
6. ACI, "Practitioners Guide to Slabs on Ground" ACI-PP4, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan-E.U., 1998.
7. WRI, "Innovative ways to Reinforce Slabs on Ground" WRI-TF 705-R-01, Wire Reinforcement Institute, Ohio-E.U., 2001.
8. ACI, "Técnico y terminador de superficies planas de hormigón" Manual del Artesano, Publicación CP-10 (95), American Concrete Institute, Michigan-E.U., 1996.
9. Juárez Badillo-Rico Rodriguez "Mecánica de Suelos-Tomo I Fundamentos de Mecánica de Suelos" Editorial Limusa, México D.F, 1999.
10. ACI, "State of the Art Report on Soil Cement", ACI 230.1R-90, American Concrete Institute, Michigan-E.U., 1997.