



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO, PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN

Mario Giovanni Torres Fuhrer
Asesorado por el Ing. Francisco Ruiz Cruz

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE
PISOS DE CONCRETO, PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARIO GIOVANNI TORRES FUHRER

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO RUIZ CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Sergio Vinicio Castañeda Lemus
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE
CONCRETO, PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN,**

tema que me fuere asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 19 de enero de 2005.


Mario Giovanni Torres Fuhrer

Guatemala 12 de septiembre 2006

Ing. Ronald Galindo
Jefe del Departamento de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería USAC
Guatemala

Ing. Galindo:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil, **Mario Giovanni Torres Fuhrer**.

Considero este trabajo bien desarrollado; representa un aporte importante para los profesionales dedicados al diseño y construcción de pisos industriales, y me permito felicitar al estudiante por el trabajo desarrollado.

Habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,


Ing. Francisco Ruiz Cruz
Asesor

Ingeniero Civil
Francisco Estuardo Ruiz Cruz
Colegiado No. 3226

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Guatemala, 4 de octubre de 2006

Ingeniero
Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Escobar Álvarez.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Mario Giovanni Torres Fuhrer, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Estuardo Ruíz Cruz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

"TODO POR TI CAROLINGITA MÍA"
Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 aniversario de su nacimiento

/bbdeb.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Ruiz Cruz y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Mario Giovanni Torres Fuhrer, titulado CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO, PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


a.i. Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez



Guatemala, octubre 2006.

/bbdeb.

"TODO POR TI CAROLINGLA MÍA"
Dr. Carlos Martínez Durán, 2006 centenario de su nacimiento

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.429.2006

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CRITERIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PISOS DE CONCRETO PARA CUARTOS DE REFRIGERACIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Mario Giovanni Torres Fuhrer**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, Octubre 26 de 2006

/gdech

Foto por ti, Carolingia Ma
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

Dios Por estar conmigo en todo momento, darme fuerza, sabiduría, y guiarme para poder culminar mi carrera.

Gracias por darme la oportunidad de realizar una meta de mi vida.

DEDICATORIA A:

MI PATRIA	Guatemala
LA UNIVERSIDAD	San Carlos de Guatemala
MIS PADRES	Mario R. Torres Mejía. A. Teresa Fuhrer de Torres. Quienes con su amor, apoyo y enseñanza, han logrado hacer de mí, lo que soy.
MI ESPOSA	Ana Marleny Bances de Torres. Quien con su amor, apoyo y dedicación, me fortaleció para concluir mi carrera.
MI HIJO	Esteban Javier Torres Bances Quien con su amor y alegría, me estimuló a llevar a cabo mi meta.
MI FAMILIA EN GENERAL	Por su apoyo incondicional.
LA FAMILIA DE MI ESPOSA	Por su apoyo y consejos.
MIS AMIGOS	Por su amistad y momentos compartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CUARTOS REFRIGERADOS	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Aplicaciones de la refrigeración	2
1.3 Parámetros importantes para el diseño de cuartos fríos	4
1.4 Tamaño de la unidad de enfriamiento	8
1.5 Capacidad de almacenamiento	10
1.6 Ubicación y disposición de la instalación	11
2 PREPARACIÓN DEL TERRENO DE APOYO	
2.1 Preparación de la subrasante	13
2.2 Formaleta	14
2.3 Colocación de formaleta y guías maestras	14
2.4 Barreras de vapor	15

3	 AISLAMIENTO	
3.1	Valor R	21
3.2	Efectos de la humedad	23
3.3	Elección de aislantes	23
3.4	Materiales aislantes más comunes	24
3.4.1	El corcho	25
3.4.2	Lana de vidrio	25
3.4.3	Madera aislante	25
3.4.4	Poliestireno expandible	26
3.4.5	Poliuretano	26
3.5	Aislamiento recomendable	27
4.	 CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA PISOS	
4.1	Clases de pisos	32
4.2	Espesor	34
4.2.1	Pisos y losas sobre el terreno de apoyo	34
4.2.1.1	Espesor mínimo	35
4.2.1.2	Espesor de diseño	36
4.3	Losas de concreto	38
4.3.1	Concreto con aire incluido	39
4.3.1.1	Cemento Pórtland	61
4.3.1.2	Agua de mezclado y revenimiento	63
4.3.1.3	Agregados	64
4.3.1.4	Aditivos	66
4.3.2	Colado y tendido del concreto	73
4.3.3	Consolidación del concreto	73
4.3.3.1	Vibración	75
4.3.4	Nivelación	80

4.3.5	Aplanado	81
4.3.6	Bordeado y junteado	82
4.3.7	Emparejado	83
4.3.8	Acabado	84
4.3.9	Curado	86
4.4	Acero de refuerzo	87
4.5	Juntas	88
4.5.1	Juntas de aislamiento	89
4.5.2	Juntas de contracción	90
4.5.3	Juntas de construcción	93
5.	PISOS DE CUARTOS FRÍOS	
5.1	Método de construcción	99
5.2	Problemas en losas	102
	CONCLUSIONES	121
	RECOMENDACIONES	123
	REFERENCIAS	125
	BIBLIOGRAFÍA	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Gráfica de diseño para ejes con ruedas sencillas	36
2	Sección pulida de un concreto con aire incluido, vista a través del microscopio	41
3	Relación entre el contenido de aire y la expansión de especímenes de prueba, durante 300 ciclos de congelación y deshielo, para varios tamaños máximos de agregado	43
4	Efecto que el aire incluido tiene en la resistencia a la congelación-deshielo del concreto en pruebas de laboratorio	47
5	Efecto del intemperismo sobre las losas de piso en el terreno de pruebas al aire libre, para estudios a largo plazo	48
6	Efecto de la inclusión de aire y del contenido del cemento, en el comportamiento de especímenes de concreto expuestos a un suelo con sulfatos	54
7	Comportamientos de concretos con aire incluido y sin aire incluido, expuestos a un suelo con sulfatos según el tipo y el contenido de cemento	55
8	Efecto que el contenido de aire tiene en la reducción de la expansión, debida a la reacción álcali-sílice	56
9	Relación típica entre la resistencia a compresión a 28 días, y la relación agua-cemento para una amplia variedad de concretos con aire incluido usando cemento Tipo I	57

10	Reducciones en los contenidos de agua y de arena, obtenidas a distintos niveles de contenidos de aire y de cemento	58
11	Relación entre el contenido de aire y la resistencia a compresión a 28 días, para concretos con contenidos de cemento constantes	59
12	Relación entre el tamaño del agregado, el contenido de cemento, y el contenido de aire del concreto	62
13	Relación entre el porcentaje de agregado fino, y el contenido de aire del concreto	66
14	Localización de juntas	89
15	Juntas de aislamiento en columnas	90
16	Tipos de juntas de contracción	92
17	Junta con pasajuntas liso	94
18	Detalle de la cimbra en juntas de construcción	95
19	Placa de carga con forma de diamante, aplicada en una junta de construcción	95
20	Placa de carga con forma de diamante, aplicada en una intersección de losas	96
21	Sistema de aireación natural	100
22	Sistema de calefacción artificial	101

TABLAS

I	Valores de R para aislantes comunes	22
II	Especificaciones Elastopor serie 400	28
III	Espesores mínimos recomendables para aislamiento en pisos, con paneles prefabricados de poliuretano	29
IV	Clasificación de pisos	31
V	Espesores mínimos	35

VI	Contenido total de aire para concreto resistente a la congelación	42
VII	Requisitos para condiciones de exposición especial	44
VIII	Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes	45
IX	Consecuencias que provoca la inclusión de aire, en las propiedades del concreto	46
X	Tamaño y espaciamiento de los pasajuntas lisos	94
XI	Tamaño y espaciamiento de las placas de carga con forma de diamante	97

LISTA DE SÍMBOLOS

ACI	Instituto Americano del Concreto
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas de Materiales
f'_c	Resistencia a la compresión del concreto
F_y	Resistencia del acero a la fluencia
e_s	Porcentaje de acero requerido
F	Factor de fricción entre la losa de concreto y la subrasante
L	Longitud de la losa entre juntas
R	Medida de la resistencia que el aislante ofrece al movimiento del calor

GLOSARIO

Aditivo	Ingrediente opcional del concreto que modifica sus características.
Aislamiento	Método que reduce la transmisión de calor, humedad, sonido, luz, etc.
Aplanado	Proceso que consiste en eliminar los puntos altos y bajos de las losas, e incrustar las partículas grandes de agregado.
Barrera de vapor	Membrana impermeable que evita el paso de vapor.
Columna	Elemento con una razón entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres.
Concreto	Mezcla de cemento hidráulico, agregados, agua y una mínima cantidad de aire.
Curado	Proceso en el cual se mantiene la humedad del concreto nuevo por medio de agua o químicos, mientras el concreto fragua.
Formaleta	Molde diseñado para resistir distintos esfuerzos en el proceso de colocación de concreto. Éste da la forma al elemento fundido.

Junta de aislamiento	Separa estructuralmente un elemento de otro para permitir movimientos diferenciales, tanto horizontales como verticales.
Junta de contracción	Soporta los movimientos diferenciales producidos por la contracción por secado, haciendo que la grieta aparezca en la junta.
Junta de construcción	Se utiliza en la unión de concreto endurecido con concreto fresco.
Nivelación	Proceso que consiste en retirar el exceso de concreto de la superficie superior de una losa para dejarla en el nivel apropiado.
Sistema de aireación	Permite la ventilación del subsuelo, evitando que el mismo se congele.
Sub-rasante	Suelo preparado para resistir cargas distribuidas, por parte de algún elemento apoyado sobre el mismo.
Trabajabilidad	Grado de simplicidad con la cual se puede trabajar un concreto determinado.
Vibrado	Método por el cual se consolida o compacta el concreto en el momento de la fundición.

RESUMEN

Este trabajo de tesis inicia con una breve introducción sobre cuartos fríos. Se detalla acerca de las aplicaciones, antecedentes, y también algunos aspectos generales que se deben considerar, para la construcción de dichos cuartos.

Posteriormente, se describen algunas consideraciones para la preparación del terreno de apoyo, ya que, éste es el que soporta finalmente toda la carga. También se explica la importancia y función de la barrera de vapor, que es de gran ayuda en todos los pisos apoyados sobre el terreno.

Después se menciona el desempeño e importancia del aislamiento, que mejora la eficiencia y economía del proceso de enfriamiento en un cuarto refrigerado. Se presentan los materiales aislantes más comunes, describiendo las ventajas y desventajas de cada uno.

Se detallan las consideraciones para el diseño y construcción de pisos. Se hace énfasis en el concreto con aire incluido, ya que es una importante solución en pisos de cuartos fríos.

Por último, se recomienda un método de construcción, presentando distintas opciones en cada proceso constructivo. Esta recomendación resultó de recopilar información bibliográfica y de campo. Se realizaron visitas a empresas dedicadas al tema, y a obras que estaban en proceso de construcción o ya terminadas. Se tomaron en cuenta los problemas surgidos en varias obras.

OBJETIVOS

GENERALES

1. Presentar los criterios básicos para el diseño de pisos de concreto para cuartos de refrigeración.
2. Generar una guía del proceso de construcción de pisos de concreto para cuartos fríos, para que los profesionales de la Ingeniería los apliquen y obtengan como resultado pisos con alta durabilidad.

ESPECÍFICOS

1. Describir las aplicaciones de cuartos fríos.
2. Presentar la función e importancia del sistema de aireación, además, describir ciertos tipos del mismo.
3. Detallar el empleo y función de la barrera de vapor en pisos de cuartos fríos.
4. Señalar el funcionamiento y particularidades del aislamiento, así como los distintos tipos del mismo.
5. Describir las características y consideraciones del piso final.

6. Presentar un método constructivo para pisos de concreto, para cuartos de refrigeración.

INTRODUCCIÓN

Mediante la construcción y el mantenimiento de cuartos fríos, los productores, empaques y expendedores de ciertos productos alimenticios, pueden almacenar y conservar la calidad del producto fresco hasta el consumidor final, brindando al mercado cierta flexibilidad que permite el aumento en las ventas del producto en un mayor tiempo.

Actualmente, en Guatemala no existen normas de diseño y construcción acerca de pisos para cámaras frías, por lo cual, los constructores utilizan diferentes métodos de construcción y distintos criterios. Es necesario contar con documentación accesible a los profesionales de la construcción, que presente las consideraciones de diseño de pisos en áreas expuestas a condiciones severas, como lo son temperaturas bajo cero y el ataque de químicos.

La economía guatemalteca requiere una importante cantidad de cámaras de enfriamiento y refrigeración, y se conoce de muchas fallas en este tipo de construcción, por lo que se ha considerado necesario, ofrecer a los profesionales de la Ingeniería Civil, lineamientos que permitan mejorar la metodología de diseño, y prácticas constructivas de este tipo de obras civiles.

El piso debe tener las características apropiadas, para no permitir que se congele el subsuelo, evitar la infiltración de calor en el cuarto, resistir las acciones térmicas y químicas, y soportar las distintas cargas.

Dependiendo del uso o de la temperatura a la cual estará expuesto el piso de la cámara, recomiendo en este trabajo diferentes criterios y procesos constructivos.

1. CUARTOS REFRIGERADOS

1.1 Antecedentes

Por miles de años, el agua y el hielo fueron los únicos medios de enfriamiento. Es hasta en la historia de la antigua China, que se encuentra referencia al uso de estos fenómenos naturales de refrigeración, para mejorar la forma de vida de las personas. Ellos recolectaban y almacenaban el hielo, sólo para enfriar bebidas en estación de verano.

A través del desarrollo de la humanidad, al llegar a la época colonial, ya en el siglo XIX, el hielo era un artículo importante en el comercio con países extranjeros, y los empacadores de carne, carnicerías, cervecerías y otras industrias comenzaron a utilizar refrigeración mecánica lo que lejos de ser un lujo ya era una necesidad.¹

Las civilizaciones antiguas utilizaban la refrigeración cuando se disponía de ella en forma natural. Los emperadores romanos hacían que los esclavos transportaran el hielo y la nieve desde las montañas, con el fin de utilizarlos para preservar alimentos y disponer de bebidas frías en la estación cálida. Estas fuentes naturales de refrigeración eran extremadamente limitadas, si se piensa en su ubicación, temperaturas y la distancia a que se podía transportar. Alrededor del año 1850, se empezaron a desarrollar los medios para producir refrigeración, utilizando maquinaria; a estos se les dio el nombre de refrigeración mecánica.

Se emplea el término refrigeración para indicar el mantenimiento de un cuerpo a una temperatura menor que la de sus alrededores. Para mantener o producir esta baja temperatura, es necesario transferir calor desde el cuerpo o espacio por enfriar. Un refrigerador es un dispositivo que se emplea para lograr este efecto a base de gastar energía del exterior en forma de trabajo o de calor, o de ambos. Para que el refrigerador opere continuamente, es necesario, además, que ceda calor a un sumidero externo, por lo general, la atmósfera. De esta manera, se puede considerar a los refrigeradores como máquinas de calor que trabajan en sentido inverso; para efectos de comparación, con el criterio de Carnot.

1.2 Aplicaciones de la refrigeración

Es conveniente clasificar las aplicaciones de la refrigeración en las siguientes categorías: doméstica, comercial, industrial y de aire acondicionado. A veces se considera a la refrigeración aplicada al transporte como una categoría aparte; la refrigeración doméstica se utiliza en la preparación y conservación de los alimentos, fabricación del hielo y para enfriar bebidas en el hogar. La refrigeración comercial se utiliza en las tiendas de venta al menudeo, restaurantes e instituciones, con los mismos fines que en el hogar. La refrigeración industrial es necesaria en la industria alimenticia para el procesamiento, preparación y preservación en gran escala. Aquí se incluye su utilización en las plantas de enfriamiento y congelación de alimentos, cuartos refrigerados, cervecerías y lecherías, para citar sólo unas pocas aplicaciones. Cientos de otras industrias utilizan la refrigeración, entre ellas se encuentran las plantas para la fabricación de hielo, refinerías de petróleo y plantas de la industria farmacéutica. La refrigeración también se utiliza extensamente, tanto

en el aire acondicionado para el confort de las personas, como en el aire acondicionado para uso industrial.

Los diversos tipos de refrigeración moderna aplicados en almacenes, bodegas, aeroplanos, barcos y camiones, hacen posible hoy en día el almacenamiento y transporte de todo tipo de artículos. Y eso ha coadyuvado a mejorar la economía de muchos sectores como: agrícolas, lecheras y ganaderas entre otras. Al ser un medio de preservar los productos en tránsito a consumidores lejanos.

La refrigeración de productos alimenticios o perecederos, es probablemente una de las aplicaciones más grandes de la refrigeración industrial. Tomando en consideración que el proceso inicia desde la recepción de las materias primas y se extiende al consumo.

Para desarrollar la disciplina frigorífica propiamente dicha, y antes de citar los cuartos refrigerados cabe aclarar que en vez de usar las expresiones de “refrigeración comercial” y de “refrigeración industrial”, se hará mas bien una primera y fundamental clasificación, como reflexión en el más amplio sentido de la palabra. Esta se presenta de la forma siguiente:

➤ **Refrigeración para conservación o de alta temperatura.**

Se escogen, en esta denominación, todas aquellas instalaciones que en mayor o menor medida se adapten a las actividades siguientes:

- Cámaras de conservación para productos alimenticios, en mercados y comercios al público.
- Vitrinas de exposición para grandes almacenes al público, como también a pequeños y medianos comercios.

- Armarios para bares y cafeterías, almacenamientos de bebidas en general, también furgones de reparto.

- Bancos de sangre y de productos clínicos, así como también depósitos de cadáveres, etc.

➤ **Refrigeración para congelación o de baja temperatura.**

- Frigoríficos mayoristas de distribución y camiones de transporte desde las macro producciones.

- Recepción y almacenamiento de pescados en general.

- Mataderos de reses en general y almacenaje en grandes cuartos.

- Fabricación de hielo en barras, pistas de patinaje.²

1.3 Parámetros importantes para el diseño de cuartos fríos

Son varios los factores que deben considerarse para la instalación de una bodega refrigerada y todos son de mucha importancia, para lograr un porcentaje elevado de eficiencia y eficacia.

a. Producto: cada producto tiene características intrínsecas, por lo que sus requerimientos de enfriamiento y congelamiento distan de un producto con otro.

La variedad o tipo de cada producto, el propósito para el cual está siendo almacenado y también las condiciones bajo las cuales se almacena, dictan las condiciones requeridas para el más deseable medio ambiente de almacenamiento.

- b. Dimensiones de cuarto: las dimensiones de un cuarto frío dependen principalmente de la cantidad de carga en libras a enfriar. Y dependiendo de lo anterior se calcula la capacidad del equipo.

Cuando en la planta no se cuenta con el espacio horizontal requerido, se hace uso del espacio vertical, para lograr la capacidad de almacenaje necesaria.

- c. Capacidad de enfriamiento: depende de la cantidad de producto a almacenar. Debe tomarse en cuenta cual es el requerimiento del cliente, si necesita su producto para mantenerlo (conservación) o para proporcionar más tiempo de vida (congelamiento).
- d. Uso para cuarto frío: como existen cuartos fríos para enfriamiento, preparación, empaque, congelamiento rápido, almacenamiento y distribución entre otros. Dependiendo de eso deben contemplarse los accesos como lo son: puertas y ventanas.
- e. Capacidad eléctrica instalada: es necesario conocer cual es la capacidad eléctrica instalada del área donde se instalará el cuarto frío, para conocer si cubrirá la demanda y para determinar las especificaciones de los equipos.
- f. Soportería para el techo y anclaje de pared: cuando se utiliza 3 o más paneles en línea en el techo, se debe instalar soportería con tabloncillo de madera tratada, forrada con lámina (stringer), largo 2.50 a 3 metros, con agujeros internos de $\frac{3}{8}$ de pulgada. Instalado el tabloncillo, dentro de los agujeros se introduce una varilla roscada, la cual será suspendida de una costanera o un joist de carga.

El anclaje en el piso se realiza, instalando un angular galvanizado de 1/16 de pulgada, el cual va interno como externo al piso del panel.

- g. Unidad condensadora: el tipo de unidad condensadora depende principalmente de ambiente donde debe instalarse. Cuando se cuenta con una terraza al aire libre o un espacio en el piso bien ventilado, se puede utilizar unidades condensadoras enfriadas por aire. En caso contrario se deberán utilizar unidades condensadoras enfriadas por agua, teniendo que instalarse al exterior sobre techos una torre de enfriamiento.
- h. Unidad evaporadora: generalmente para cuartos fríos son utilizadas las unidades de aire forzado con expansión directa; pero también pueden ser enfriadas por agua, enfriadas por soluciones de glicol y agua o glicol puro; eso depende de la temperatura que se requiera.
- i. Iluminación: la cantidad de lámparas y el tipo de iluminación depende de la actividad a desarrollar en el interior del cuarto frío. En un cuarto de empaque de producto terminado se necesita más iluminación, comparado con un cuarto de almacenamiento.
- j. Diámetro de tubería de cobre: para un equipo de refrigeración, en la línea de líquido y en la línea de succión va a depender principalmente de la capacidad en toneladas del condensador, distancia entre condensador y evaporador y viceversa, cantidad de codos de 45 y a 90 grados y accesorios que serán utilizados en la instalación de la tubería.
- k. Tipo y espesor de la insulación de la tubería: existen dos tipos de insulación, cañuelas de rubatex y con poliuretano. En la tubería de succión, es aconsejable, utilizar cañuela de rubatex con pared de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ de pulgada para conservación y pared de 1 a $1\frac{1}{2}$ pulgadas para congelamiento.

- I. Sistema de control a utilizar: son varios los dispositivos de control en lo que se refiere a una instalación de cuarto frío, podemos mencionar los dispositivos de control del refrigerante, dispositivos eléctricos de control.

Los dispositivos de control del refrigerante, tienen como fin obtener un funcionamiento económico y eficaz. Los sistemas pequeños de control manual o automático simple de “encendido y apagado” pueden precisar únicamente uno o dos controles.

Sin embargo, los grandes sistemas con más controles automáticos pueden tener una multitud de controles, siendo el adecuado funcionamiento de cada uno para que la operación del sistema sea satisfactoria.

Dentro de los controles de refrigerante se encuentran, válvulas termostáticas de expansión, válvulas de expansión de otros tipos (expansión a presión constante, expansión automática, expansión manuales), distribuidores, tubos capilares, válvula de flotador, válvulas reguladoras de presión del carter, válvula reguladora de presión del evaporador, válvula de inversión, válvulas desviadoras de gas caliente, válvulas de 4 pasos, válvulas de una sola dirección, válvulas de paso manuales, válvulas de servicio al compresor, válvula tipo schrader, válvulas de alivio, válvulas reguladoras de agua.

Los dispositivos de control que existen en los sistemas de aire acondicionado y refrigeración pueden ser controles eléctricos y controles neumáticos. Los controles neumáticos se utilizan de preferencia en grandes sistemas centrales, mientras que los controles eléctricos se utilizan en sistemas de todos tamaños.

Dentro de los dispositivos de control eléctricos se pueden mencionar: diferencial de control, controles de alto y bajo voltaje, controles de baja y alta presión, control para el ciclo del ventilador del condensador, termostatos, control de seguridad de presión de aceite, relojes para descongelamiento, transformadores, entre otros.³

1.4 Tamaño de la unidad de enfriamiento

La capacidad de enfriamiento y la de almacenamiento dependen del tamaño de la estructura y de la capacidad del sistema de refrigeración, así que es básico determinar la cantidad de producto que se desea enfriar y almacenar. Un sistema de refrigeración puede semejarse a una bomba que mueve calor de una parte a otra. La capacidad de enfriamiento es una medida de la velocidad a la que un sistema puede transferir energía calórica y es expresada normalmente en toneladas. Una tonelada de refrigeración es la que puede transferir el calor necesario para disolver una tonelada de hielo en un período de 24 horas (288,000 BTU). Dicho de otra manera, un sistema de refrigeración de una tonelada es, teóricamente, capaz de congelar una tonelada de agua en 24 horas, es decir que puede transferir 288,000 BTU en 24 horas o 12,000 BTU por hora.

El tamaño correcto de una unidad de refrigeración es determinada por tres factores, el primero de los cuales es el volumen de producto a ser enfriado y su empaque, ya que muchos productos son vendidos en cajas o bolsas. Obviamente, a mayor cantidad de producto a enfriar, mayor será la unidad de refrigeración.

El segundo factor es el tiempo mínimo requerido de enfriamiento desde el comienzo al final del mismo, para prevenir la degradación rápida del producto. El enfriamiento rápido debe evitarse, ya que puede ocasionar daños en el fruto y se requerirán equipo de altos costos y consumos de energía eléctrica. Enfriar una carga de producto en dos horas, en vez de hacerlo en cuatro horas, puede requerir dos veces la capacidad de refrigeración y el costo de consumo de energía puede ser tres veces el inicial o más.

El tercer factor es la naturaleza del diseño constructivo de la unidad de refrigeración, es decir su tamaño, el sistema de manejo del aire y su operación.

Ya que, en una instalación típica, aproximadamente la mitad de la capacidad de refrigeración es usada para retirar el calor ganado por los pisos, las paredes, el techo y las puertas, es importante saber manejar este tipo de “pérdidas” de frío.

La capacidad de enfriamiento de un sistema de refrigeración muchas veces se mide en toneladas de refrigeración. Una tonelada de refrigeración es la capacidad para eliminar calor del cuerpo frío con una rapidez de 200 BTU/min. (840 cal/seg.).

Se tiene entonces:

1 Ton. de refrigeración	=	288,000 BTU de refrigeración/día
1 Ton. de refrigeración	=	12,000 BTU de refrigeración/hr.
1 Ton. de refrigeración	=	200 BTU de refrigeración/min.

El término “tonelada” se deriva del hecho de que para fundir una tonelada de hielo a 32° F (0° C) en 24 hrs., se necesitan aproximadamente 288,000 BTU (72,576,000 cal.).

En unidades del sistema internacional, SI

1 Ton de refrigeración = 211 kJ/min.

1 Ton de refrigeración = 3516 kW

1.5 Capacidad de almacenamiento

La decisión de enfriar y embarcar el producto inmediatamente o almacenarlo por un tiempo, muchas veces no depende sólo del tipo de producto y de sus condiciones de mercadeo; también depende del aprovechamiento del espacio de la instalación, los cuales serán determinados por el tipo de producto y su desarrollo. Obviamente, productos altamente perecederos requieren menor ubicación espacial de almacenamiento que frutos menos perecederos, simplemente porque los primeros no pueden ser almacenados por largos periodos de tiempo sin ocasionar pérdidas en su calidad.

Si el presupuesto de la construcción lo permite, se aconseja construir un espacio de almacenamiento suficiente para mínimo un día de cosecha de los productos más perecederos. Es mucho más fácil construir inicialmente un espacio de almacenamiento adecuado, que tratar de acondicionarlo posteriormente. El costo por metro cuadrado disminuye y la eficiencia del consumo de energía aumenta con el tamaño del cuarto frío, hasta cierto punto. El espacio de almacenamiento no puede ser pasado por alto, ya uno de los mayores beneficios de la instalación de enfriamiento poscosecha es la flexibilidad que se puede dar al mercado, lo cual permite largos periodos de almacenamiento.

De otro lado, un exceso en el dimensionamiento del espacio de almacenamiento ocasionará gastos innecesarios de energía y de dinero. Debemos recordar que el techo debe tener mínimo 18 pulgadas más, que la altura de apilamiento de los productos que se van a enfriar.

1.6 Ubicación y disposición de la instalación

La ubicación de la estructura para el enfriamiento refleja su función primaria. Si se planea llevar el producto fresco directamente al consumidor, la estructura debe estar cerca de la carretera, ya que un cuarto y una sede administrativa que no se vea, puede tener problemas obvios de mercadeo. Debe, además tener sitios de estacionamiento para compradores y empleados, de ser necesario. Si la empresa va a usar la estructura de refrigeración como una conexión con el mercado, es decir con los intermediarios, se debe incentivar la publicidad y realizar contactos personales, al fundar la empresa.

Ya que la función primaria de la instalación de enfriamiento es precisamente enfriar y reunir lotes de ventas al por mayor, la facilidad de acceso al público no es menos importante. En ese caso, la mejor ubicación del cuarto frío, puede ser adyacente a la zona de selección y empacado. Todas estas estructuras, junto con los cuartos fríos deben estar convenientemente cercanas al cultivo, con el fin de disminuir el tiempo que transcurra desde el momento de la cosecha hasta el enfriamiento.

Conociendo como se va a usar, la estructura requiere instalaciones eléctricas e hidráulicas y para grandes cuartos fríos, que generalmente requieren más de 10 toneladas de refrigeración en una sola unidad, debe disponerse de instalaciones trifásicas.

La ubicación de estas instalaciones debe ser planeada cuidadosamente, debe considerarse su costo para las zonas rurales y por tanto deben realizarse los contactos necesarios con las empresas electrificadoras y de acueductos locales. Además, es útil considerar crecimientos futuros de la estructura cuando diseñe y se disponga su ubicación. Antes de comenzar la construcción, debemos conocer las normas, leyes y códigos pertinentes a la construcción y disposición de sistemas eléctricos, de salud de los trabajadores y el manejo y almacenamiento de productos comestibles.⁴

2. PREPARACIÓN DEL TERRENO DE APOYO

Los pisos de cuartos fríos, no están apoyados directamente sobre el suelo, aunque sí transmiten su carga hacia él, por lo tanto, en este caso es necesario una buena compactación.

2.1 Preparación de la subrasante

Las grietas, los asentamientos de las losas, e incluso la falla estructural a menudo se pueden ir rastreando hasta descubrir una subrasante preparada de una manera inadecuada y pobremente compactada. La subrasante sobre la cual se vaya a fundir una losa deberá estar bien drenada, con una capacidad de soporte uniforme, a nivel o con una pendiente apropiada, y libre de césped, materia orgánica y hielo. Las tres principales causas de soportes no uniformes son: (1) la presencia de puntos suaves y duros, (2) el relleno sin la compactación adecuada, y (3) los suelos expansivos. El soporte uniforme no se puede lograr con el puro volteo de material granular sobre un área suave. Para evitar los agrietamientos por falta de soporte y por asentamiento, las áreas suaves o con turba y los puntos duros (rocas) deberán ser excavados y rellenos con un suelo similar al resto de la subrasante o con material granular tal como la arena, la grava, o la piedra triturada, si no se llegara a conseguir el suelo. Todos los materiales de relleno deberán compactarse para suministrar uniformemente el mismo soporte que el resto de la subrasante.

Durante la preparación de la subrasante se deberá recordar que un suelo sin alterarse generalmente es superior que el material compactado para

soportar losas de concreto. Los suelos expansivos, compresibles y potencialmente problemáticos deberán ser evaluados por un ingeniero geotécnico; también podría requerirse un diseño especial de las losas.

2.2 Formaleta

La formaleta de los bordes o franjas laterales y las maestras intermedias deberán fijarse firmemente y con exactitud a la elevación y perfil especificados para la superficie acabada. Las formaletas para losas comúnmente son de metal o de madera apuntaladas firmemente con estacas de madera o de metal para que conserven su alineamiento vertical y horizontal. La formaleta deberá estar derecha y no tener combaduras y tener además la suficiente resistencia para soportar la presión del concreto sin pandearse. También deberán ser lo suficientemente fuertes para sostener cualquier equipo mecánico de colocación y de acabado que se llegue a emplear.⁵

2.3 Colocación de formaleta y guías maestras

La parte superior de la formaleta de los bordes debe estar al nivel determinado previamente. La formaleta puede ser de piezas de madera de 2 pulgadas (50 mm) de espesor, pedazos de tubo o barras “T”, cuya parte superior sea igual al nivel del concreto terminado, sin cambiar la elevación de diseño del acero de refuerzo. El nivel de piso para losas con pendiente puede determinarse colocando estacas de nivel en la subrasante, a intervalos determinados previamente, por lo general, en una cuadrícula. La parte superior de estas estacas debe estar al nivel requerido del concreto.

Si se va a utilizar formaleta mojada, ésta se deberá mojar en el momento del colado. En las operaciones anteriores a su instalación, se colocan estacas a nivel u otras señales fijas, mientras se prepara el terreno.

Cuando se desea un drenaje adecuado, la formaleta deberá colocarse a fin de obtener una pendiente de 1 pulgada por 4 pies (20 mm/m) y así evitar las posibles inundaciones. El drenaje siempre deberá ser seguro para las losas exteriores y, en ocasiones, también es conveniente para algunas losas interiores. Las entradas de garaje y las banquetas pueden tener pendiente hacia una dirección, o bien, con bombeo a lo largo de la línea longitudinal central, con drenaje en ambos lados.⁶

2.4 Barreras de vapor

Muchos de los problemas de humedad asociados con las losas sobre el terreno o pisos en espacios cerrados, se pueden minimizar o eliminar de varias maneras (1) alejando de los edificios la pendiente del paisaje que le rodea, (2) utilizando una sub – base granular de 10 cm. para formar un freno capilar entre el suelo y la losa, (3) proporcionando un drenaje adecuado a la sub – base granular para evitar que el agua se acumule bajo la losa, (4) instalando desagües interiores de tubos de arcilla cocida en la cimentación, (5) instalando una barrera de vapor, que consiste, en una membrana impermeable con una permeabilidad menor que 0.3 perms (0.2 perms métricos), determinada de acuerdo con la norma ASTM E 96, a menudo, se utiliza una lámina de polietileno.

Se deberá colocar una barrera de vapor debajo de todos los pisos de concreto sobre el terreno, que aparentemente vaya a recibir un acabado de piso

impermeable o que vaya a ser usados para cualquier proyecto en que resulte indeseable el paso del vapor de agua a través del piso.

Un concreto de buena calidad, bien consolidado con al menos 10 cm. de espesor es prácticamente impermeable al paso de agua en estado líquido a menos que el agua se encuentre bajo una presión considerable; sin embargo, tal concreto – aún los concretos con varias veces ese espesor – no es impermeable al paso del vapor del agua.

El vapor de agua que pasa a través de las losas de concreto se evapora en la superficie si no está sellada. Las cubiertas de los pisos, como el linóleo, las losetas de vinil, las alfombras, la madera, y las superficies sintéticas sellan la humedad dentro de la losa de manera efectiva, pudiéndose eventualmente aflojar o encorvar la cubierta del piso o también formarse burbujas en la cubierta del mismo.

Además, para prevenir problemas con los materiales de cubierta de piso causados por la humedad del mismo concreto, las siguientes medidas deberán ser adoptadas: (1) utilizar un concreto con una relación agua – cemento baja, (2) aplicar un curado húmedo a la losa que dure de 5 a 7 días, (3) permitir a la losa un periodo de secado de 2 meses como mínimo, y (4) probar la condición de humedad de la losa antes de instalar la cubierta del piso. En una prueba comúnmente utilizada, se pega en el piso con cinta una hoja cuadrada de polietileno de 1.20 m. de lado; si después de 24 horas o antes de que el material del piso o su adhesivo cure, no se acumula la humedad en la parte inferior de la hoja de plástico, la losa se considerará lo suficientemente seca para colocar el material de piso. Los fabricantes de materiales para pisos a menudo recomiendan aplicar una prueba antes de instalar su producto.

A veces se instala un aislante sobre la barrera de vapor para ayudar a mantener la temperatura de un piso de concreto por encima del punto de condensación; esto ayuda a evitar que la humedad en el aire se condense en la superficie de la losa. Esta práctica también crea un piso cálido para obtener un cierto confort térmico. Los reglamentos y especificaciones exigen a menudo que se aisle el perímetro de una losa de piso. Usualmente no se puede justificar la colocación de aislantes bajo toda la losa sobre el terreno teniendo como único fin la conservación de energía.

Las barreras de vapor agravan el problema del agrietamiento plástico y del agrietamiento por contracción, debido a que aumentan el tiempo de retraso antes de aplicar el acabado final debido a la lenta evaporación del agua, particularmente en climas fríos. También pueden aumentar las combaduras o alabeos y agravar el desarrollo de agrietamientos por contracción en la superficie de la losa. Su empleo deberá evitarse cuando lo permitan las condiciones de humedad del terreno. Con la finalidad de minimizar estos efectos, se puede colocar una capa de arena de 7.5 cm. sobre la barrera de vapor, o sobre el aislamiento si existe. La arena debe compactarse antes de colar el concreto, una manera sencilla de hacerlo es mojarla un día anterior al colado; sin embargo, la arena debe estar libre de agua no sometida a tensión capilar en el momento del colado, de manera que dicha arena pueda actuar como secante. Cuando se usa arena para este propósito, la subrasante debe ser excavada a una profundidad mayor, para colocar la arena y mantener el espesor deseado en la losa de concreto. Si el concreto se coloca directamente sobre una barrera de vapor, la relación agua – cemento deberá ser baja, es decir, menor o igual a 0.45.

En terrenos bien drenados y en áreas donde el nivel freático permanece constantemente muy debajo de la superficie del terreno, un relleno granular

grueso, colocado bajo la losa y con espesor de por lo menos 100 mm., ha dado resultados satisfactorios al usarlo en lugar de la barrera de vapor, cuando la cubierta del piso, o el adhesivo de ésta, no se daña por los efectos de humedad.

Cuando se usan barreras de vapor, éstas deben traslaparse 150 mm. en las juntas, y deben ajustarse con sumo cuidado alrededor de las aberturas de servicio. Si es necesario colocar un relleno granular, y éste es grueso y rugoso, y además se coloca una barrera de vapor, la membrana utilizada puede ser perforada fácilmente por el paso de los trabajadores, y puede ser necesario colocar una capa de arena sobre el relleno y bajo la membrana, con el objeto de evitar esta situación.

3. AISLAMIENTO

La energía térmica siempre fluye desde los objetos cálidos a los fríos. Todos los materiales, hasta los buenos conductores como los metales, ofrecen una resistencia al paso de energía y muchos materiales pueden ser empleados como aislantes con buenos efectos, pero ya que la selección del aislante adecuado es una de las características que, desde el punto de vista constructivo deben tomarse, es importante que el material no sea costoso, pero si, que sea eficiente para esta labor. Las características de estos materiales varían considerablemente y su eficiencia para la conducción debe ser más importante en la elección que su precio. Algunas características importantes a mencionar son el valor de resistencia R, su costo y comportamiento en presencia de humedad.

El aislamiento es el método más eficaz de reducir la transmisión de calor. Existen varios productos que se acomodan a los requerimientos de cada aplicación, aunque unos son mejores que otros. Las clasificaciones generales, de las formas disponibles de aislamientos son:

- Material flojo
- Flexible
- Rígido o semirígido
- Reflectivo, y
- En forma de espuma.

El aislamiento con material flojo se usa principalmente en estructuras residenciales. Los aislamientos flexibles, tales como fibra de vidrio en mantas o

en rollos, tal como el papel kraft, que actúa como barrera de vapor. En algunas aplicaciones, se encuentra disponible también con un material reflectivo para reducir los efectos del calor radiante. Los aislamientos rígido y semirígido son hechos de materiales, como lámina de corcho, polietileno, espuma de vidrio, poliuretano, los cuales son fabricados en varias dimensiones y formas, como placas, láminas o bloques. Algunas tienen cierto grado de fuerza estructural, otras no. En esta categoría, se encuentra la más amplia aplicación a la refrigeración: enfriadores, congeladores, vitrinas, etc. A causa de su densidad y composición celular, ofrecen una barrera de vapor incorporado, contra la penetración de humedad. El aislamiento tipo espuma se usa junto con los aislantes rígidos, en la construcción de cuartos refrigerados.

El control de la humedad en el aislante es muy importante, ya que el agua es un buen conductor de calor; alrededor de 15 veces más que la fibra de vidrio. Así, si hay agua en el aislamiento, su resistencia estará gravemente reducida, sin mencionar el problema físico que causa en la construcción. Por consiguiente, el aislamiento debe estar seco cuando se instala y debe sellarse perfectamente, para que permanezca seco. Los sellos de vapor pueden hacerse de varios materiales: carcasa de metal, lámina de metal, película plástica, recubrimiento con asfalto, etc. Algunos son más eficaces que otros y la selección depende de la aplicación.

La eficacia del aislamiento y la barrera de vapor se reducen grandemente si existen aperturas, no importa cuán pequeñas sean. Tales aperturas pueden ser causadas por trabajo deficiente durante la construcción o por sellado negligente alrededor de aperturas para líneas de refrigerante, líneas de drenaje, alambrado eléctrico, etc., todos los cuales son parte de la responsabilidad del técnico de refrigeración.

3.1 Valor R

Una medida de la resistencia que el aislante ofrece al movimiento del calor se denomina factor de resistencia o valor R, el cual está asociado con su ancho. Cuanto mayor sea este valor, mayor será la resistencia y mejor serán las propiedades de este material como aislante. El valor R generalmente se representa en pulgadas de ancho o en términos del ancho total del material. La resistencia total al flujo de calor en cualquier pared con aislantes, es simplemente, la suma de las resistencias totales de los componentes individuales, es decir la suma de las resistencias de los aislantes, de los pegantes, de las paredes e inclusive, algunas veces es importante considerar la resistencia de las capas de pintura. Así que será importante tomar la mejor combinación de estos materiales para obtener un valor económico de la estructura aislada. En la tabla I, se presentan los valores de R para los materiales más comunes empleados como aislantes. De los materiales comúnmente utilizados en cuartos fríos, la celulosa es la de menor costo, seguida de las cubiertas rígidas, según la forma de instalación de este material y finalmente, los materiales de rociado o aislantes líquidos. Estos últimos presentan la ventaja de sellar completamente la estructura a cualquier posible filtración de agua o entradas y/o salidas de aire.

Tabla I. Valores de R para aislantes comunes

Material	Valor de R	
	Ancho: 1"	Ancho característico del material
Cubiertas rígidas		
Fibra de vidrio	3.50	
Aislantes de capa delgada		
Celulosa	3.50	
Fibra de vidrio o mineral	2.50 – 3.00	
Vermiculita	2.20	
Madera con pegantes	2.22	
Aislantes rígidos		
Poliestireno	5.00	
Tableros flexibles	4.55	
Poliestireno expandido		
Pequeñas piezas moldeadas	3.57	
Poliuretano	6.25	
Fibra de vidrio	4.00	
Polisociruanato	8.00	
Aislantes inyectados o espumas		
Formaldehído	4.20 – 5.50	
Materiales de construcción		
Concreto sólido	0.08	
Bloques de concreto (8")	1.11	
Bloque de ligeros concretos (8")	2.00	
Bloques de concreto con partes de Vermiculita	5.03	
Metal		< 0.01
Tableros de madera (3/8")	1.25	0.47
Tableros de madera (1/2")	1.25	0.62

Fuente: www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/cuartos.htm

3.2 Efectos de la humedad

En muchos tipos de aislantes, el flujo de energía calórica es impedido por pequeñas celdas que hacen la función de trampas de aire en todo el material. Cuando éste absorbe humedad, el aire es reemplazado por agua y el valor de aislamiento disminuye. Es por esta razón que el aislante debe ser almacenado en lugares secos. Con excepción de muchas espumas plásticas, que son a prueba de agua, todos los materiales aislantes deben ser usados junto con una adecuada barrera contra el vapor. Generalmente se instalan películas de 4 milímetros de polietileno en el lado interior del aislante (por fuera), contrario a lo que se recomienda en los códigos para construcciones de casas. Esta práctica previene la condensación en el aislante. Esta película puede ser continua desde el piso al techo y donde existan uniones de 2 películas debe realizarse un recubrimiento de 12 pulgadas, con lo cual, aseguramos un sello total.

3.3 Elección de aislantes

La elección de un aislante térmico cualquiera, se relaciona siempre, por norma general, con una de las tres razones siguientes:

- Economía en los consumos de combustible.
- Exigencias térmicas de mantener una determinada temperatura o de hacer llegar un fluido (vapor, agua caliente, etc.) con la mínima pérdida de calorías, a puntos a menudo muy alejados de la fuente de calor.
- Necesidad de obtener una conveniente protección contra reverberaciones caloríficas excesivas, con relación al ambiente, entre distintas partes de una instalación. Refiriéndose esto al reflejo de calor entre una superficie luminosa y otra pulida.

El prevalecer de uno u otro punto determina las características funcionales del revestimiento aislante, cuyo tipo y espesor quedan luego establecidos por el cálculo, de acuerdo con los factores específicos que puedan presentarse al efecto, entre ellos:

- Valor de las temperaturas que se va a considerar.
- Recuperación de calor o pérdida de temperatura admitida.
- Ubicación en recinto cerrado o a la intemperie.
- Disposición, forma, destino y dimensiones de los equipos e instalaciones, etc.

Aún cuando resulte prácticamente imposible alcanzar la eficiencia ideal, esto es, 100 %, existiendo un límite de saturación más allá del cual de nada serviría aumentar los espesores (pues la misma masa aislante logra siempre transmitir una parte, aunque mínima, de calor latente que va paulatinamente acumulándose en su interior); dicho límite será, sin embargo, técnica y económicamente tanto más alto, cuanto menor resulte el coeficiente de conductividad calorífica, y el calor específico propios del material aislante que se adopte.

Lo que verdaderamente aísla es el aire encerrado, impedido de circular, es decir que ha de considerarse mejor y más eficaz el que más impida la circulación del aire.

3.4 Materiales aislantes más comunes

Entre los materiales aislantes más comunes se encuentran:

3.4.1 El corcho

El corcho natural es la corteza del alcornoque, que crece en los países del mediterráneo. La corteza es una sustancia orgánica consistente en un gran número de pequeñas células, cuyas finas paredes son de madera. Las paredes separan las células, y éstas están rellenas de aire.

El corcho natural puede mojarse considerablemente, calentándolo en una caldera cerrada, algunas veces con la adición de asfalto. A temperaturas altas, el corcho se ablanda, y la caldera se pone entonces bajo vacío, para que el aire de las células se expanda e infle el corcho. Aún bajo vacío, se deja enfriar y la pequeña cantidad de resina del corcho, ayudada por algún asfalto, mantendrá el corcho en estado expansionado. El producto de este proceso es el corcho expandido, y sus propiedades son mejores que las del corcho natural.

3.4.2 Lana de vidrio

Consiste en fibras de vidrio muy finas, tiene muy buena capacidad como aislante, no absorbe agua, pero es aconsejable protegerlo contra ésta.

3.4.3 Madera aislante

Consiste en fibras de maderas seleccionadas por sus mayores propiedades aislantes, tratadas químicamente e impermeabilizadas. Gracias a este procedimiento librador especial, estas fibras son transformadas en grandes y resistentes hojas o tablas de peso liviano, dotadas de altas propiedades aisladoras contra el calor, frío y ruidos.

3.4.4 Poliestireno expandible

Conocido comercialmente como “styropor” que es la perla o materia prima antes de ser procesada, y por “duropor” las láminas o material ya listo para su utilización; éste es un derivado del petróleo, que se presenta en formas de moléculas o perlas que tienen en su interior un gas interno, generalmente pentano, el cual por medio de un tratamiento de vapor a una temperatura de 212°F (100°C) aproximadamente, ocurre una reacción que tiende a desalojar el gas produciendo una expansión de la molécula; el poliestireno es preparado por polimerización.

Tiene la gran ventaja de que puede ser moldeado, y es excelente aislante térmico y eléctrico, de baja densidad, excelente estabilidad dimensional y baja absorción de humedad. Tiende mucho a la rajadura y al agrietamiento.

3.4.5 Poliuretano

El poliuretano, por sus múltiples posibilidades de producción y sus excelentes propiedades, lo han convertido en el material preferido para el aislamiento en refrigeradores, congeladores, cuartos refrigerados, hieleras, termos, paneles para construcción, etc.

Para la construcción de cuartos fríos, se utilizan paneles prefabricados con aislamiento. Estos paneles están compuestos por dos láminas de acero galvanizado y prepintado Pintor, unidos por un núcleo de espuma rígida de poliuretano, formando un elemento tipo sándwich.

Los uretanos, aunque constituyen tan sólo una pequeña parte de la gran familia de los plásticos, son sin lugar a duda el grupo de polímeros más espectacular y revolucionario hasta hoy conocido, pues reúnen las mayores posibilidades de variación y difícilmente plástico alguno pudiera comparársele.

Los isocianatos, de donde básicamente se derivan los uretanos, fueron descubiertos en Alemania a finales del siglo pasado.

Uretano es el nombre común con que se conoce el etil carbamato. Cuando las moléculas poliméricas se unen entre sí a través de puentes de uretano, al polímero resultante se le da el nombre poliuretano.

Para la formación de las espumas de poliuretano, se aprovecha el calor generado en la reacción exotérmica entre el poliol y el disocianato para volatizar un agente de soplado de bajo punto de ebullición previamente mezclado, y así proporcionan el efecto espumante. La formación de celdas dentro del polímero implica el uso de agentes tensoactivos que determinan el tamaño y fórmula de la misma, y al mismo tiempo las estabilizan.

El proceso de fabricación del poliuretano es en principio sumamente sencillo. Para producir espuma de poliuretano utilizada en el campo de la refrigeración, se utiliza un sistema de poliuretano de dos componentes.

Los componentes se determinan generalmente como "A" y "B". El componente "A" estará compuesto por una mezcla de polioles, agente de espumado, los catalizadores metálico y amínico, un agente tensoactivo, pigmentos y algunos otros aditivos, según sea el caso. El componente "B" estará constituido, en su mayor parte, por disocianatos mezclados ocasionalmente con otros productos.

A continuación, se presentan los datos técnicos del poliuretano utilizado para refrigeración y distribuido por un representante de una empresa que se dedica a producir estos químicos.

Tabla II. **Especificaciones Elastopor serie 400**

Componente A	441/A	443/A	445/A	447/A
Componente B	441/B	443/B	445/B	447/B
Relación de mezcla A:B:	100:95 a 100:95	100:95 a 100:105	100:95 a 100:105	100:95 a 100:105
Tiempo de inicio (s):	24-28	13-15	15-16	12-13
Tiempo de ascenso (s):	130-170	90-110	150-155	125-140
Tiempo de "Tocte-Free"/Hilo (s):	130-170	100-120	160-165	72-77
Densidad "Core" libre: (kg/m ³)	26-28	17-19	25-26	19-20
Viscosidad (Ops) @ 25 C				
Componente A:	450±10	150±20	450±50	300±100
Componente B:	200±30	200±30	200±30	200±30
Peso específico:	1.1300±0.	1.1600±0.	1.1000±0.	1.1900±0.
Componente A:	05	05	05	05
Componente B:	1.2200±0.	1.2200±0.	1.2200±0.	1.2200±0.
	02	02	02	02
Agente de soplado:	CFC 11	CFC 11	CFC 11	CFC 11

Fuente: David Noriega, Consideraciones para el diseño de cuartos refrigerados para alta y baja temperatura. Pág. 10

Muchos materiales aislantes no son convenientes para cuartos refrigerados, pues absorben humedad en mayor o menor grado, pero a pesar

de este hecho se usan frecuentemente, e incluso con excelentes resultados, si se proporciona protección adecuada contra la humedad, evitando que dicha humedad del aire circundante penetre en el aislamiento y se condense dentro de él.

3.5 Aislamiento recomendable

El material más utilizado para pisos de cuartos fríos en Guatemala es el poliuretano, siguiéndole el poliestireno extruido. En la tabla III, se muestran los espesores recomendados por un fabricante de paneles prefabricados de poliuretano.

Tabla III. **Espesores mínimos recomendables para aislamiento en pisos, con paneles prefabricados de poliuretano**

Tipo de cámara	Rango de temperatura °C	Cámara interior	Cámara exterior
Conservador	10 a 15	No	No
	4 a 10	No	No
Conservador a baja temperatura	2 a -4	2"	2"
Congelador	-4 a -10	2 ½"	2 ½"
	-10 a -18	3"	3"
	-18 a -26	4"	4"
	-26 a -40	4"	4"
Congelador de ráfaga	-40 a -46	5"	5"

Nota: las cámaras interiores se caracterizan por instalarse adentro de una bodega o edificio techado y no están expuestas a los efectos climatológicos.

Fuente: www.multypanel.com/productos/boletín_refripanel.pdf

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN PARA PISOS

Tabla IV. Clasificación de pisos

Capas	Clase	Tránsito	Uso	Consideraciones especiales	Técnicas de acabado del concreto
Una capa	1	Peatonal ligero	Residencial o cubierto con mosaico	Pendiente para drenaje; nivelación para colocar el mosaico	Llana de acero mediana
	2	Peatonal	En oficinas, iglesias, escuelas, hospitales. De ornato residencial	Agregado antiderrapante; mezcla en la superficie. Color mezclado, especial	Llana de acero, acabado especial antiderrapante. Llana de acero, color, agregado expuesto; lavar, si el agregado va a estar expuesto
	3	Peatonal ligero y vehículos ligeros	Para las entradas de autos, pisos de garajes y banquetas de residencias	Corona, bombeo, juntas, inclusión de aire	Llana de madera, de acero y escoba
	4	Peatonal y vehículos ligeros	Comercial e industrial ligero	Curado cuidadoso	Llana de acero duro y cepillado para antiderrapantes
	5	Peatonal y de vehículos. Uso abrasivo	Industria de una capa, superficie de desgaste integral	Curado cuidadoso	Agregado especial metálico o mineral, llana de madera y de acero
Dos capas	6	Peatonal y de vehículos (con ruedas duras). Abrasión considerable	Industrial pesado de dos capas ligadas	Superficie texturizada y ligada Capa de desgaste: Agregado especial y/o tratamiento superficial metálico o mineral	Superficie nivelada por medio de maestras. Aplanadoras mecánicas especiales y aplanado repetido con llana de acero
	7	Clases 3, 4, 5, 6	Capas de desgaste no ligadas	Refuerzo de malla, lubricante sobre superficies de concreto antiguas: 2.5 pulgadas (64 mm. nominales)	

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 18

4.1 Clases de pisos

En la tabla IV se clasifican los pisos de acuerdo con el uso al que están destinados. Estos requisitos deberán tomarse en cuenta cuando se seleccionen las proporciones para el concreto. Ahora bien, debido a que actualmente no existe un criterio definido para evaluar la resistencia que tiene un piso al desgaste, aún no es posible especificar su calidad en tales términos. Sin embargo, la resistencia de un piso al desgaste está relacionada, en forma directa, con las técnicas empleadas en su construcción.

➤ Pisos monolíticos de una sola capa.

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

➤ Pisos de dos capas.

La capa inferior de los pisos 6, a excepción del acabado, es muy semejante a la de los pisos de clase 2, 3, 4 y 5. No obstante, la capa superior requiere de un aplanado con llana de acero duro, y por lo general tiene mayor resistencia y contenido de cemento que la capa inferior. En la superficie también se puede utilizar un agregado duro o un material premezclado, o bien, ambos.

Los pisos clase 7 se utilizan cuando es preferible no adherir a él la superficie de la capa inferior, debido a algunos movimientos originados a ella, tal como ocurre en los elementos prefabricados, o para facilitar su substitución posterior. Los pisos de dos capas no ligadas, también pueden usarse para recubrir pisos gastados o dañados, cuando es imposible obtener completa adherencia, debido a la contaminación, o cuando es conveniente evitar la escarificación y el cincelado de la capa inferior, y la elevación de la rasante en el piso resulta aceptable.

Con el propósito de evitar una adherencia con la losa inferior, se utiliza una capa de plástico, de fieltro, o bien, un colchón de arena. Del mismo modo, para reducir la abertura de las grietas de contracción, es necesario colocar una malla adecuada en la superficie de desgaste. Ahora bien, la superficie de desgaste debe tener un espesor mínimo de 2.5 pulgadas (64 mm. nominales) de concreto. Finalmente, debido a que la capa superior de desgaste contiene una malla, el concreto deberá tener un revenimiento menor de 1 pulgada (25 mm.).

➤ **Pisos sujetos a cambios térmicos rápidos o de gran magnitud.**

Los pisos sujetos a cambios de temperatura de gran magnitud o muy rápidos, deben fabricarse con agregados de bajos coeficientes térmicos de dilatación. También debe asegurarse un movimiento libre y adecuado, por medio de un correcto diseño y espaciamiento de las juntas.

➤ **Pisos para aplicaciones especiales.**

Los pisos que están expuestos a los ácidos ligeros, sulfatos u otras sustancias químicas, necesitan preparación o protección especiales. El Comité ACI 201 ha hecho mención a varios informes acerca de los procedimientos para aumentar la resistencia del concreto al ataque químico. Cuando éste es

considerable, será necesario emplear una protección resistente al desgaste, y que además sea adecuada para soportar la exposición a las sustancias químicas.

En un informe del Comité 515 del ACI, se discuten estas condiciones y los métodos para proteger los pisos de ellas. Por otra parte, en algunas plantas químicas y de alimentos, así como en los mataderos, los pisos están sujetos a una desintegración lenta. En diversos casos es preferible proteger los pisos con otros materiales, tales como el ladrillo o el mosaico resistente al ácido, o los morteros resinosos.

4.2 Espesor

Los requisitos del espesor pueden variar de acuerdo con el uso determinado que tendrá el piso; sin embargo, las siguientes recomendaciones propuestas son válidas.

4.2.1 Pisos y losas sobre el terreno de apoyo

Pueden construirse diversas losas según las recomendaciones de espesor mínimo, pero aquellas sujetas a cargas considerables deberán diseñarse tomando como base el espesor de diseño.

4.2.1.1 Espesor mínimo

Tabla V. **Espesores mínimos**

Clase de piso	Uso proyectado	Espesor mínimo	
		Pulgadas	m m.
1	Residencial o cubierto con mosaico	4.0	100
2	En oficinas, escuelas, iglesias, hospitales, y ornamental residencial	4.0 ^a	100 _a
3	Para las entradas y pisos de garajes y para banquetas de residencias	4.0 ^b	100 _b
3	Para las banquetas residenciales	5.0 ^c	130 _c
4	Comercial e industrial ligero	5.0	130
5	Industrial de una capa	6.0	150
6	Industrial pesado de dos capas ligadas (capa inferior)	5.0	130
6	Industrial pesado de dos capas ligadas (capa de desgaste)	0.75 ^d	20 ^d
7	Capas de desgaste no ligadas para las clases 3, 4, 5, 6	2.5 ^e	65 ^e

^a Preferiblemente 5 pulgadas (130 mm.).

^b Las entradas de garajes residenciales, que normalmente sirven para camiones, deben tener un espesor de 5 o 6 pulgadas (130 o 150 mm.).

^c Es preciso destacar que este espesor es el mínimo y que puede ser necesario recurrir a un espesor mayor.

^d Máximo 1.5 pulgadas (40 mm.).

^e Es preferible un espesor mayor.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 22

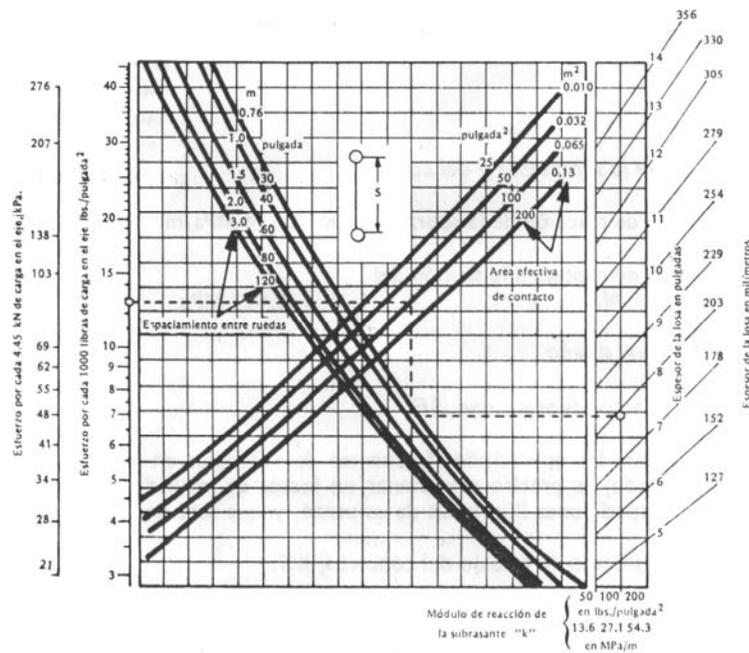
En la tabla V se señalan los espesores mínimos, los cuales deberán substituirse por los espesores determinados, de acuerdo con el subinciso 4.2.1.2 (espesor de diseño), en caso de que los espesores determinados con base en las cargas de diseño sean mayores.

4.2.1.2 Espesor de diseño

El diseño de pisos colocados directamente sobre el terreno de apoyo depende del tipo y de la magnitud de las cargas a aplicar. La figura 1 se utilizará para determinar el espesor requerido por las cargas producidas por las ruedas. Otro tipo de cargas que deberán ser incluidas son: las cargas uniformes, lineales y concentradas.

La subrasante debe compactarse a fin de proporcionar un apoyo uniforme.

Figura 1. Gráfica de diseño para ejes con ruedas sencillas



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 24

➤ **Procedimiento de diseño utilizando la figura 1**

Para elaborar el diseño tomando en cuenta las cargas de vehículos, se requiere conocer los siguientes datos:

- Carga máxima por eje
- Número de repeticiones de carga
- Área de contacto entre rueda y pavimento
- Espaciamiento entre las ruedas de los ejes más pesados
- Valor soporte de la subrasante
- Resistencia a la flexión del concreto

Los datos sobre el tránsito y sus cargas, para las condiciones de operación pasadas y futuras, pueden obtenerse en los departamentos de mantenimiento de las plantas, en los departamentos de planeación y operaciones, y por medio de los fabricantes de vehículos, con esta información se seleccionarán los factores de seguridad y se utilizarán para determinar el esfuerzo de trabajo permisible en el concreto, para entrar a la gráfica de diseño.

El factor de seguridad (resistencia a la flexión dividida entre el esfuerzo de trabajo) se elige con base en la frecuencia esperada, de las cargas aplicadas por los vehículos más pesados. Se sugieren factores de seguridad entre 1.7 y 2.0 para pisos de uso comercial e industrial. Estos valores deben usarse cuando el tránsito de carga pesada sea frecuente y esté canalizado. Cuando el tránsito sea ligero y no esté canalizado pueden usarse factores de seguridad menores, es decir, entre 1.4 y 1.7.

Se entra a la gráfica de diseño para camiones industriales de ejes con ruedas sencillas, con un número calculado para el esfuerzo de trabajo permisible por cada 1,000 libras (4.45 kN) de carga en el eje. Este número se obtiene dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el factor de

seguridad y, posteriormente, dividiendo ese resultado entre la carga por eje en kilolibras o kN.

Para ejes equipados con ruedas dobles, se incluye una gráfica para convertir las cargas por ejes con ruedas dobles, a ejes equivalentes de carga con ruedas sencillas, pudiéndose así utilizarse la figura 1 para determinar el espesor de losa requerido.

El área efectiva de contacto, utilizada en las gráficas, es el área corregida del contacto de la llanta con la losa. Si no se cuenta con datos disponibles sobre el tipo de llanta, el área de contacto para llantas neumáticas podrá estimarse dividiendo la carga de la rueda entre la presión de inflado. Para llantas sólidas o de cojín, el área de contacto podrá estimarse multiplicando el ancho de la llanta por 3 o por 4. Los datos con respecto a las llantas también pueden obtenerse a través de los fabricantes.

4.3 Losas de concreto

A las losas de concreto se les puede dar acabado de distintas maneras, dependiendo del uso que vayan a brindar. Se pueden solicitar diferentes colores y texturas, con agregado expuesto o con una superficie estampada según un cierto patrón. Para tener un perfil y una elevación apropiados, algunas superficies pueden requerir solamente nivelación y enrasado, mientras que para otras superficies se pueden llegar a especificar acabados de emparejado, alisado o escobillado.

Se debe coordinar cuidadosamente el mezclado, el transporte y el manejo del concreto para las losas junto con las operaciones de acabado. El concreto

no se debe colocar sobre la subrasante o dentro de la formaleta a una velocidad mayor de la que pueda ser extendido, nivelado, consolidado, y aplanado. En efecto, el concreto no deberá tenderse en un área demasiada grande antes de ser nivelado, ni deberá nivelarse un área extensa y permitirse que se acumule el agua de sangrado antes de aplanarlo.

Las cuadrillas de acabado deberán ser lo suficientemente grandes para colar, darle acabado, y curar correctamente las losas de concreto, con las debidas consideraciones a los efectos de la temperatura del concreto y a las condiciones atmosféricas en cuanto al tiempo de fraguado del concreto y al tamaño del colado por completar.

Debido a las condiciones a las que están expuestas las losas de pisos de cuartos fríos, éstas requieren concreto con aire incluido y otros aditivos, que se detallan en los siguientes incisos.

4.3.1 Concreto con aire incluido

Uno de los mayores avances en la tecnología del concreto fue el desarrollo del concreto con aire incluido, a mediados de la década de los años 30. Hoy día, la inclusión de aire se recomienda en casi todos los concretos, especialmente para mejorar su resistencia contra la congelación, cuando el concreto queda expuesto al agua y a los productos químicos descongelantes. Sin embargo, se obtienen otros importantes beneficios con la inclusión de aire en el concreto ya sea que se encuentre en estado fresco o endurecido.

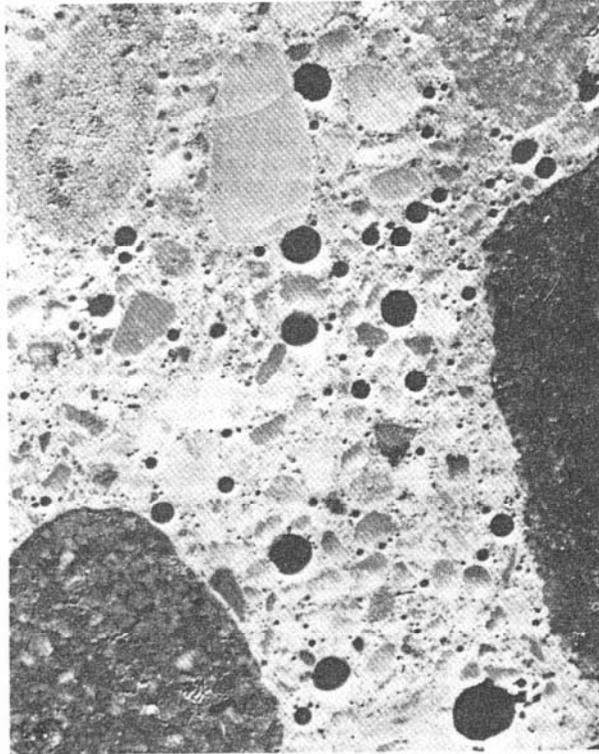
El concreto con aire incluido se produce utilizando un cemento inclusor de aire que estabilizada las burbujas formadas durante el proceso de mezclado. El

agente inclusor de aire mejora la incorporación de las burbujas de diversos tamaños disminuyendo la tensión superficial del agua de mezclado.

Los agentes inclusores de aire aniónicos son hidrófobos (repelen al agua) y están cargados eléctricamente. La carga eléctrica negativa es atraída hacia los granos de cemento cargados positivamente, lo que ayuda a estabilizar las burbujas. El agente inclusor de aire forma una fuerte película repelente al agua – similar a una película de jabón – con la resistencia y la elasticidad suficiente para encerrar y estabilizar las burbujas de aire y evitar que se fusionen. La película hidrófoba también impide que el agua penetre en las burbujas. La acción revolvedora y amasadora del mezclado mecánico dispersa las burbujas de aire. Las partículas de agregado fino también actúan como una rejilla tridimensional para ayudar a mantener las burbujas en la mezcla.

A diferencia de los vacíos de aire atrapado, que ocurren en todos los concretos y que dependen en gran medida de las características del agregado, las burbujas de aire intencionalmente incluidas son extremadamente pequeñas y tienen un diámetro de entre 10 y 1,000 micras. Los vacíos de aire atrapado tienen diámetros de 1,000 micras (1 mm.) o más. En un concreto normal la mayor parte de los vacíos de aire incluido son de entre 10 y 100 micras de diámetro. Como se muestra en la figura 2, las burbujas están bien distribuidas y no se encuentran interconectadas. El concreto sin inclusión de aire con un tamaño máximo de agregado de 25 mm tiene un contenido de aire de aproximadamente 1.5 %. Esta misma mezcla con aire incluido para soportar una exposición severa al congelamiento requeriría un contenido de aire de aproximadamente 6 %.

Figura 2. **Sección pulida de un concreto con aire incluido vista a través del microscopio**



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 49

El reglamento de construcciones de concreto reforzado ACI 318 señala que un concreto que vaya a quedar expuesto a congelamiento y deshielo en estado saturado o a productos químicos descongelantes, deberá tener una inclusión de aire dentro de los límites mostrados en la tabla 6 para condiciones de exposición moderada y severa. La tolerancia en el contenido de aire al entregarse, debe ser de $\pm 1.5\%$. Para una resistencia a la compresión especificada, f'_c , mayor de 350 kg/cm^2 , el aire incluido en la tabla VI puede reducirse en 1%.

Tabla VI. Contenido total de aire para concreto resistente a la congelación

Tamaño nominal máximo del agregado* cm (plg)	Contenido de aire, porcentaje		
	Exposición severa**	Exposición moderada**	Exposición ligera**
1.0 ($\frac{3}{8}$)	7½	6	4½
1.3 ($\frac{1}{2}$)	7	5½	4
1.9 ($\frac{3}{4}$)	6	5	3½
2.5 (1)	6	4½	3
3.8 (1½)	5½	4½	2½
5.1† (2)	5	4	2
7.6† (3)	4½	3½	1½

* Véase la norma ASTM C 33 para tolerancias de tamaños mayores para diversas designaciones de tamaños nominales máximos.

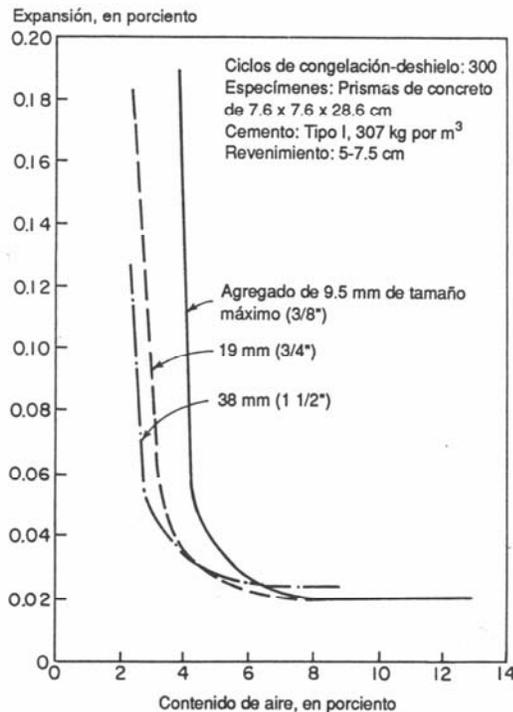
** Se considera exposición severa al medio en el cual el concreto queda expuesto a condiciones húmedas de congelación-deshielo, a productos descongelantes o a otros agentes agresivos. La exposición moderada es el medio en el cual el concreto queda expuesto al congelamiento, pero sin encontrarse siempre húmedo, ni expuesto al agua durante periodos prolongados antes de que ocurra el congelamiento, y no estará en contacto con otros productos químicos agresivos ni con descongelantes. La exposición ligera es el medio en el cual el concreto no está expuesto a condiciones de congelación, productos descongelantes o a agentes agresivos.

† Estos contenidos de aire se aplican a la mezcla total, al igual que para los tamaños precedentes de agregado. Al probar estos concretos, sin embargo, se retira el agregado mayor de 3.8 cm (1½”) tomándolo con la mano o mediante cribado, y se determina el contenido de aire en la fracción de la mezcla de menos de 3.8 cm (1½”). (La tolerancia en el contenido de aire a la entrega se aplica a este valor). El contenido de aire de la mezcla total se calcula del valor determinado en la fracción de menos de 3.8 cm (1½”).

Fuente: Reglamento ACI 318-95. Tercera parte, Capítulo 4. Pág. 13

La figura 3 ilustra el efecto del aumento del aire en la reducción de la expansión ocasionada por la congelación-deshielo en estado saturado y también muestra la necesidad de cumplir con los requisitos de la tabla 5 para condiciones de exposición severa.

Figura 3. Relación entre el contenido de aire y la expansión de especímenes de prueba durante 300 ciclos de congelación y deshielo para varios tamaños máximos de agregado



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 63

Quando no es necesaria la inclusión de aire para la protección contra el congelamiento-deshielo o contra los productos descongelantes, se hace uso de los contenidos de aire para exposición ligera dados en la tabla 6. Se pueden emplear también mayores contenidos de aire siempre y cuando se logre la resistencia de diseño. El aire incluido ayuda a reducir el sangrado y la segregación y mejora la trabajabilidad y las cualidades para efectuar los acabados en el concreto.

El concreto que estará sujeto a condiciones de exposición especial, deberá cumplir con las relaciones máximas correspondientes agua-materiales

cementantes, y a los requisitos mínimos especificados en la tabla VII, para la resistencia a la compresión del concreto. Además, para el concreto que esté expuesto a productos químicos descongelantes, el peso máximo de ceniza volante, otras puzolanas, ceniza de sílice, o escorias que se incluyan en el concreto no excederán los porcentajes del peso total de materiales cementantes de la tabla VIII.

Tabla VII. Requisitos para condiciones de exposición especial

Condiciones de exposición	Concreto de agregado de peso normal; relación máxima agua/materiales cementantes	Concreto de agregado normal ó ligero, f'_c mínima (kg/cm²)
Concreto que se pretenda tenga baja permeabilidad en exposición al agua	0.50	280
Concreto expuesto a congelación y deshielo en condición húmeda ó en descongelación por medio de químicos	0.45	315
Para proteger de la corrosión al refuerzo en concretos expuestos a sales descongelantes agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	0.40	350

Fuente: Reglamento ACI 318-95. Tercera parte, Capítulo 4. Pág. 13

Tabla VIII. **Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes**

Materiales Cementantes	Porcentaje mínimo de materiales cementantes total por peso*
Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplan con ASTM C 618	25
Escorias que cumplan con ASTM C 989	50
Ceniza de sílice que cumpla con ASTM C 1240	10
Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escorias, y cenizas de sílice	50†
Total de cenizas volantes u otras puzolanas y ceniza de sílice	35†

* El total de material cementante también incluye cemento ASTM C 150, C 595, y C 845.

Los porcentajes máximos arriba indicados deberán incluir:

- a) Ceniza volante u otras puzolanas presentes en cemento mezclado Tipo IP o I(PM), ASTM C 595
- b) La escoria utilizada en la elaboración de un cemento mezclado IS o I(SM) ASTM C 595
- c) Ceniza de sílice, ASTM C 1240, presente en un cemento mezclado

† La ceniza volante u otras puzolanas y ceniza de sílice, deberán de constituir no más de 25 y 10 por ciento respectivamente, del peso total de los materiales cementantes.

Fuente: Reglamento ACI 318-95. Tercera parte, Capítulo 4. Pág. 14

➤ **Propiedades del concreto con aire incluido.**

Las características de mayor importancia en el concreto donde influye la inclusión de aire, son la resistencia a la congelación-deshielo, resistencia a los productos descongelantes y a las sales, resistencia a los sulfatos, resistencia a la reactividad álcali-sílice, resistencia y trabajabilidad, las cuales se presentan a continuación. En la tabla IX, se presenta un breve resumen de otras características que no han sido tratadas.

Tabla IX. Consecuencias que provoca la inclusión de aire en las propiedades del concreto

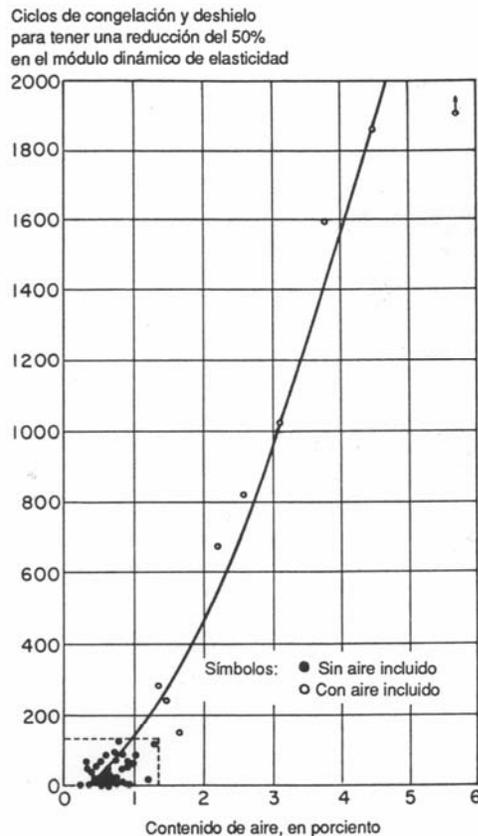
Propiedades	Consecuencias
Abrasión	Poco efecto
Absorción	Poco efecto
Reactividad álcali-sílice	La expansión disminuye conforme aumenta el contenido de aire
Sangrado	Se reduce de manera importante
Adherencia al acero	Disminuye
Resistencia a la compresión	Se ve reducida aproximadamente de 2% a 6% por cada punto porcentual de aumento en el contenido de aire
Fluencia	Poco efecto
Descascaramiento por productos descongelantes	Reducido notablemente
Resistencia a la flexión	Se reduce aproximadamente de 2% a 4% por cada punto porcentual de aumento en el contenido de aire
Resistencia a la congelación-deshielo	Aumenta significativamente contra el deterioro por descongelación-deshielo en estado saturado
Calor de hidratación	Sin efecto considerable
Módulo de elasticidad (estático)	Disminuye con el aire incluido aproximadamente de 7400 a 14000 kg/cm ² por punto porcentual de aire incluido
Permeabilidad	Poco efecto
Descascaramiento	Se reduce de manera importante
Contracción (secado)	Poco efecto
Revenimiento	Aumenta con la inclusión de aire aproximadamente 2.5 cm por cada medio a un punto porcentual de aire
Calor específico	Sin efecto
Resistencia a los sulfatos	Mejora apreciablemente
Temperatura del concreto fresco	Sin efecto
Conductividad térmica	Disminuye de 1% a 3% por cada punto porcentual de aumento de aire
Difusividad térmica	Disminuye aproximadamente 1.6% por cada punto porcentual de aumento de aire
Peso volumétrico	Disminuye con el aire incluido
Demanda de agua del concreto fresco para obtener un mismo revenimiento	Disminuye con el aire incluido; aproximadamente de 3 a 6 kg por metro cúbico por punto porcentual de aire
Hermeticidad	Aumenta ligeramente
Trabajabilidad	Aumenta con la inclusión de aire

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 50

- **Resistencia a la congelación-deshielo.**

La resistencia a la congelación y deshielo del concreto endurecido en condiciones de humedad se ve mejorada significativamente con el empleo de aire incluido intencionalmente aún cuando se encuentren involucrados varios agentes descongelantes. En las Figuras 4 y 5, se presenta una prueba convincente del mejoramiento logrado en la durabilidad con la inclusión de aire.

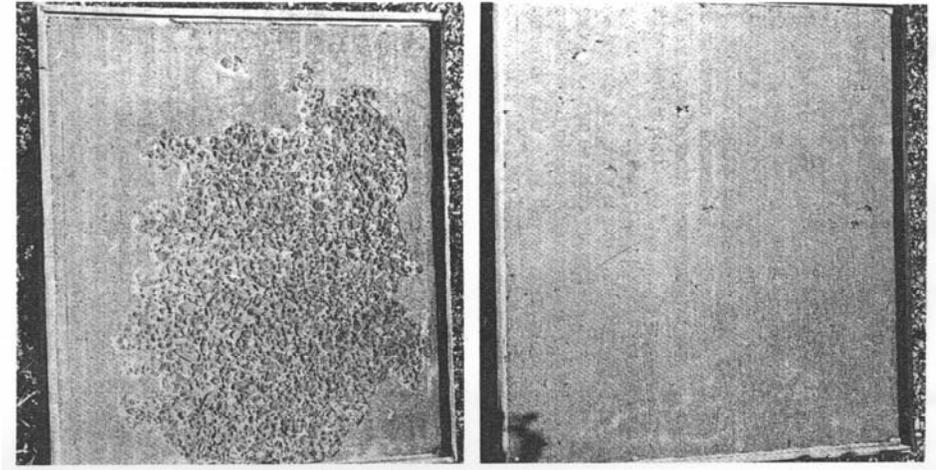
Figura 4. Efecto que el aire incluido tiene en la resistencia a la congelación-deshielo del concreto en pruebas de laboratorio



Nota: Los concretos se elaboran con cementos de diferente finura y composición química y con varios contenidos de cemento y distintas relaciones agua-cemento.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 50

Figura 5. Efecto del intemperismo sobre las losas de piso en el terreno de pruebas al aire libre para estudios a largo plazo



Nota: El espécimen de la derecha tiene aire incluido; el espécimen de la izquierda, mismo que muestra un descascaramiento severo, no tiene aire incluido. Ambos fueron elaborados con 335 kg de cemento Pórtland Tipo I por metro cúbico. Se aplicó periódicamente 0.5 kg de cloruro de calcio por metro cuadrado de espécimen cada invierno. Los especimenes tenían 20 años de edad en el momento que fueron fotografiados.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 51

A medida que se va congelando el agua en el concreto húmedo, produce presiones osmóticas e hidráulicas en los capilares y poros de la pasta de cemento y del agregado. Si la presión sobrepasa la resistencia a tensión de la pasta o del agregado, la cavidad se dilatará y llegará a romperse. El efecto acumulativo de ciclos sucesivos de congelación-deshielo junto con la fractura de la pasta y del agregado causarán eventualmente una expansión y deterioro del concreto considerables. El deterioro es visible en forma de agrietamiento, descascaramiento, y desmoronamiento.

Las presiones hidráulicas son causadas por la expansión del 9 % del agua al congelarse, en la cual los cristales de hielo que se van formando, desplazan

al agua que no se ha congelado. Si un capilar se encuentra por encima de la saturación crítica (91.7 % lleno de agua), las presiones hidráulicas irán produciéndose a medida que progresa la congelación. Con menores contenidos de agua no debe existir presión hidráulica alguna. A saturación crítica, todo el espacio vacío del capilar quedará lleno de hielo al congelarse, teóricamente sin desarrollo de presión.

Las presiones osmóticas se desarrollan a partir de concentraciones diferenciales de soluciones de álcalis en la pasta. A medida que se forma el hielo, se crea una solución adyacente de alta concentración de álcalis. La solución de alta concentración de álcalis, a través del mecanismo de ósmosis, extrae agua de las soluciones menores de álcali en los poros. Esta transferencia osmótica de agua prosigue hasta que se alcanza el equilibrio en la concentración de álcalis en los fluidos. La presión osmótica se considera un factor de menor importancia, si acaso se encuentra presente, en la acción de congelación del agregado, mientras que puede ser dominante en algunas pastas de cemento. Las presiones osmóticas, tal como se ha descrito anteriormente, se consideran un factor principal en el “descascamiento por sal”.

El hielo existente en los capilares (o cualquier hielo presente en los vacíos de gran tamaño o grietas), extrae agua de los poros para avanzar en su crecimiento. También, como la mayoría de los poros en la pasta de cemento y en algunos agregados son demasiado pequeños para que en ellos se formen cristales de hielo, el agua trata de emigrar hacia los lugares donde pueda congelarse.

Los vacíos de aire incluido actúan como cámaras huecas en la pasta para que penetre el agua que se congela, liberando así las presiones anteriormente

descritas y evitando que el concreto sufra daños. Con el deshielo, la mayor parte del agua regresa a los capilares debido a la acción capilar y a la presión del aire comprimido en las burbujas. De esta manera, las burbujas quedan listas para proteger al concreto del siguiente ciclo de descongelación.

La presión ejercida por el agua a medida que se expande durante la congelación, depende en gran medida de la distancia que el agua debe viajar hacia el vacío más cercano para desahogarse. En consecuencia, los vacíos deben quedar espaciados lo suficientemente cerca para que la presión quede por debajo de la que excede la resistencia a tensión del concreto.

El espaciamiento y tamaño de los vacíos de aire son factores de importancia que contribuyen a la efectividad de la inclusión de aire en el concreto. La norma ASTM C 457 describe una forma de evaluar el sistema de vacíos de un concreto endurecido. Casi todas las autoridades consideran las siguientes características de los vacíos, como representativas de un sistema con una adecuada resistencia a la congelación-deshielo:

1. Factor calculado de espaciamiento, \bar{L} , (distancia máxima promedio a partir de cualquier punto en la pasta de cemento hasta el borde del vacío más cercano) – menor que 0.20 mm.
2. Superficie específica, a , (superficie de los vacíos) – 24 cm² por cm³ de volumen de vacío de aire, o mayor.
3. Número de vacíos por cada 2.5 cm. lineales de dimensión transversal, n , - al menos una y media a dos veces mayor que el valor numérico del porcentaje de aire en el concreto.

La práctica usual de control en el campo solamente involucra la medición del volumen de aire en el concreto fresco. Aunque la medición del volumen de

aire por sí sola no permite una evaluación completa de las características importantes del sistema de vacíos, la inclusión de aire generalmente se considera efectiva para la resistencia contra la congelación-deshielo cuando el volumen de aire en la fracción del mortero en el concreto (el material que pasa la malla número 4), es de aproximadamente 9 ± 1 %. El contenido total de aire requerido por durabilidad aumenta conforme se reduce el tamaño del agregado grueso y se vuelven más severas las condiciones de exposición.

La resistencia a la congelación-deshielo también aumenta de manera significativa con el uso de un agregado de buena calidad, una relación agua-cemento baja, un contenido mínimo de cemento de 335 kg. por metro cúbico, y con el empleo de técnicas apropiadas de acabado y de curado. Los elementos de concreto deberán estar drenados adecuadamente y estar lo más secos posible puesto que a mayor grado de saturación aumenta la probabilidad de falla ocasionados por los ciclos de congelación-deshielo. El concreto que está seco o que sólo contiene una pequeña cantidad de humedad, no se ve afectado sustancialmente aún cuando quede sujeto a un gran número de ciclos de congelación de deshielo.

- **Resistencia a los productos descongelantes y a las sales.**

Los productos químicos empleados para la remoción del hielo y de la nieve pueden agravar y ser causa de descascaramientos en las superficies del concreto. El daño se debe primordialmente a una acción física. Se cree que el descascaramiento provocado por los productos descongelantes en aquellos concretos con una inadecuada inclusión de aire o sin aire incluido es causado principalmente por la elevación de las presiones osmótica e hidráulica, excediendo las presiones hidráulicas producidas, cuando se congela el agua en el concreto. Estas presiones llegan a ser críticas y, a menos que se cuente con vacíos de aire incluido que actúen como válvulas de alivio, se producirán los

descascamientos. Las propiedades higroscópicas (absorbentes de humedad) de las sales también atraen el agua y mantienen más saturado al concreto, aumentando el potencial de deterioro por congelación-deshielo. Un concreto con aire incluido diseñado y colocado adecuadamente resistirá a los productos descongelantes durante muchos años.

Se ha mostrado mediante estudios que la formación de cristales de sal en el concreto puede contribuir al descascamiento del concreto y a un deterioro similar al desmoronamiento que ocurre en las rocas por el intemperismo a las sales. Los vacíos de aire incluido en el concreto dejan espacio para que los cristales de sal crezcan, liberando así el esfuerzo interno de manera similar a como los vacíos liberan el esfuerzo causado por el agua al congelarse en el concreto.

Los productos descongelantes pueden tener muchos efectos sobre el concreto y el medio inmediato. El cloruro de sodio, el cloruro de calcio y la urea son los productos más comúnmente empleados. Cuando no hay congelamiento, el cloruro de sodio casi no tiene un efecto químico en el concreto, pero sí daña a las plantas y corroe el metal. El cloruro de calcio en soluciones débiles tiene poco efecto químico en el concreto y en la vegetación pero corroe al metal. Se ha demostrado que las soluciones concentradas de cloruro de calcio pueden atacar químicamente al concreto. La reacción se acelera cuando se aumenta la temperatura. La urea no daña químicamente al concreto, ni a la vegetación ni al metal. El uso de productos descongelantes que contengan nitrato de amonio y sulfato de amonio debe prohibirse estrictamente porque atacan y desintegran rápidamente al concreto.

El grado de descascamiento depende de la cantidad empleada de producto descongelante y de la frecuencia en su aplicación. Las

concentraciones de producto descongelante relativamente bajas (del orden de 2 % a 4 % en peso), producen más descascaramientos superficiales que las concentraciones mayores o incluso la ausencia de productos descongelantes.

Los productos descongelantes pueden alcanzar las superficies de concreto de manera distinta a su aplicación directa, como por las salpicaduras de los vehículos y por el goteo de las caras inferiores de los vehículos. El descascaramiento es mucho más severo en las áreas pobremente drenadas porque la solución descongelante queda retenida en la superficie del concreto durante la congelación y el deshielo.

La inclusión de aire es efectiva para prevenir al descascaramiento de las superficies y se recomienda para todos los concretos que pudieran entrar en contacto con los productos descongelantes. Para proporcionar una durabilidad y una resistencia al descascaramiento adecuadas bajo exposiciones severas estando presentes los productos descongelantes, el concreto con aire incluido deberá estar compuesto de materiales durables y tener (1) una relación agua-cemento baja (máximo 0.45), (2) un revenimiento de 10 cm. o menos, (3) un contenido de cemento de 335 kg/m³ ó más, (4) un acabado adecuado luego que el agua de sangrado se haya evaporado de la superficie, (5) un drenaje adecuado con una pendiente de 1 cm. por metro lineal o más, (6) un curado húmedo mínimo durante 7 días a 10°C ó arriba de este valor, (7) una resistencia a compresión a 28 días mínima de 280 kg/cm², y (8) un periodo mínimo de secado de 30 días luego del curado húmedo si el concreto se ha colocado en otoño y va a quedar expuesto a ciclos de congelación-deshielo y a productos descongelantes cuando se sature.

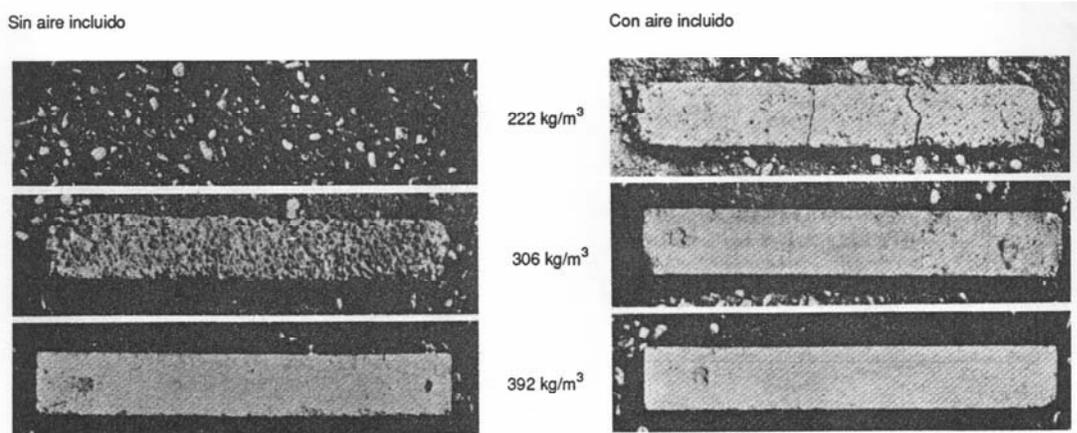
Cuando las temperaturas bajan hasta cerca de los 4°C, puede ser necesario un periodo de curado de 14 días si se usa cemento normal, Tipo I.

Sin embargo, el periodo de curado requerido se puede reducir a 7 días si se usa un cemento de alta resistencia temprana Tipo III o un mayor contenido de cemento en el concreto.

- **Resistencia a los sulfatos.**

La resistencia del concreto a los sulfatos se ve mejorada con la inclusión de aire porque se aprovecha la reducción en la relación agua-cemento, tal como se muestra en las Figuras 6 y 7. El concreto con aire incluido elaborado con una relación agua-cemento baja y con un factor de cemento adecuado empleando cemento de bajo contenido de aluminato tricálcico, será resistente al ataque de los suelos y de las aguas sulfatadas.

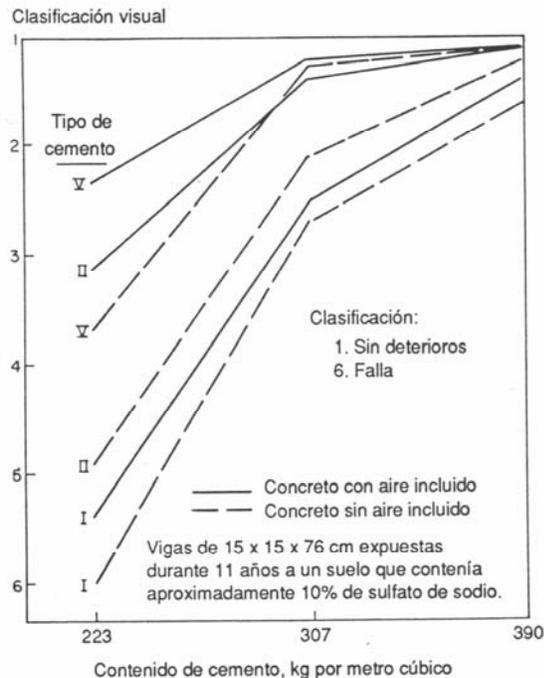
Figura 6. Efecto de la inclusión de aire y del contenido del cemento en el comportamiento de especímenes de concreto expuestos a un suelo con sulfatos



Nota: Los especímenes sin aire incluido elaborados con menores cantidades de cemento se deterioraron extremadamente. Los especímenes elaborados con mayor cantidad de cemento, y la menor relación agua-cemento, fueron todavía mejorados con la inclusión de aire. Los números indican el contenido de cemento. Cuando se les fotografió, los especímenes tenían 5 años de edad.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 53

Figura 7. Comportamientos de concretos con aire incluido y sin aire incluido expuestos a un suelo con sulfatos según el tipo y el contenido de cemento



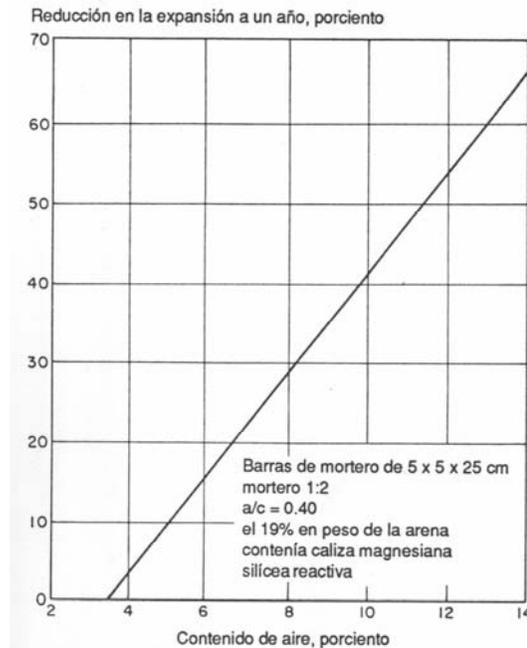
Nota: La resistencia a los sulfatos se ve incrementada en el uso de cementos Tipo II y Tipo V, con un mayor contenido de cemento, con una menor relación agua-cemento y con la inclusión de aire.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 54

- **Resistencia a la reactividad álcali-sílice.**

La falla por expansión provocada por la reactividad álcali-sílice, se reduce con la inclusión de aire. Los álcalis del cemento reaccionan con la sílice de los agregados reactivos para formar productos de reacción expansivos, lo que provoca que el concreto se expanda. La expansión en extremo hará que el concreto se deteriore y falle. Como se muestra en la Figura 8, la expansión de las barras de mortero hechas con materiales reactivos se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Figura 8. Efecto que el contenido de aire tiene en la reducción de la expansión debida a la reacción álcali-sílice.

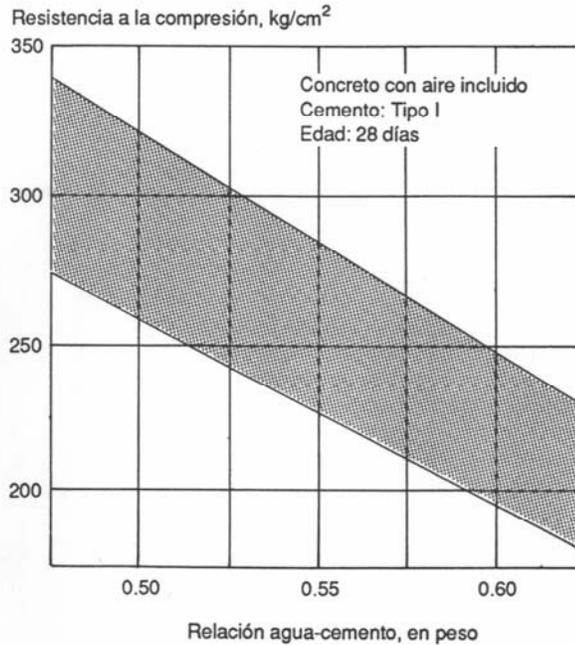


Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 55

- **Resistencia.**

Cuando el contenido de aire se mantiene constante, la resistencia varía de manera inversa con la relación agua-cemento. La Figura 9 muestra una correlación típica entre la resistencia a la compresión a los 28 días y la relación agua-cemento para un concreto que tiene los porcentajes recomendados de aire incluido. A medida que aumenta el contenido de aire, generalmente se puede mantener la resistencia si se conserva constantemente la relación vacíos-cemento; no obstante, puede ser necesario algún aumento en el contenido de cemento en las mezclas más ricas.

Figura 9. Relación típica entre la resistencia a compresión a 28 días y la relación agua-cemento para una amplia variedad de concretos con aire incluido usando cemento Tipo I

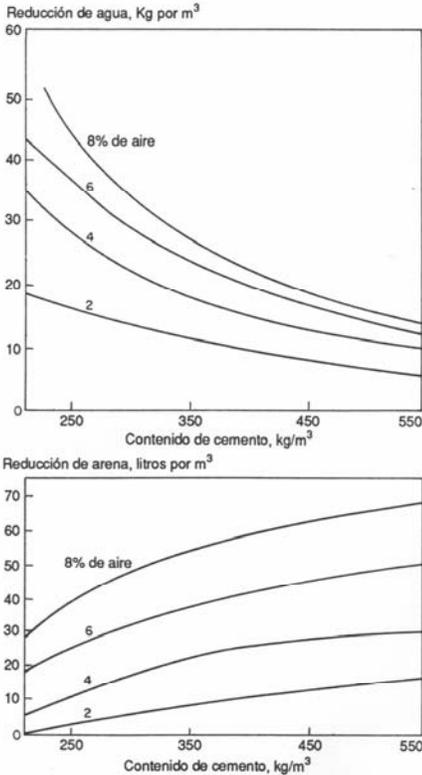


Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 55

Tanto el concreto con aire incluido como el concreto sin aire incluido pueden ser proporcionados adecuadamente para suministrar resistencias moderadas similares. Ambos contienen generalmente la misma cantidad de agregado grueso. Cuando el contenido de cemento y el revenimiento se mantienen constantes, la inclusión de aire reduce los requisitos de arena y de agua, como se ilustra en la Figura 10. De esta manera, los concretos con aire incluido pueden tener menores relaciones agua-cemento que los concretos sin aire incluido, lo que a su vez minimiza las reducciones en resistencia que acompañan generalmente a la inclusión de aire. Si se mantiene constante la relación agua-cemento, los aumentos en el contenido de aire reducirán la resistencia en forma proporcional. No obstante, ciertas reducciones en la

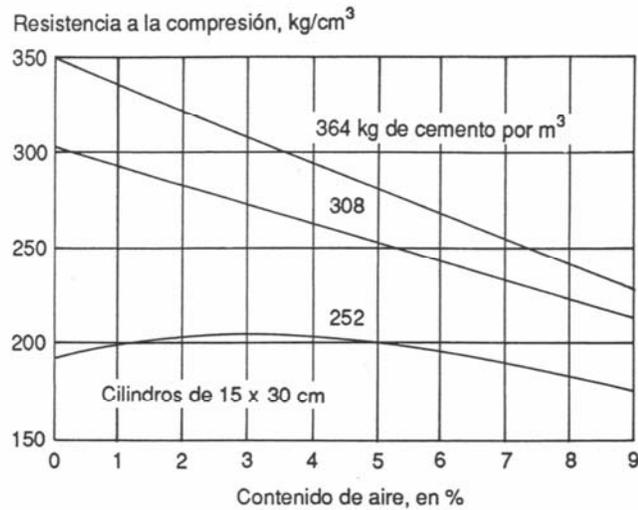
resistencia pueden ser tolerables en vista de los demás beneficios del aire con la mejora de la trabajabilidad. Las reducciones en la resistencia se vuelven de mayor importancia únicamente en las mezclas de alta resistencia (de mayor contenido de cemento), como se ilustra en la Figura 11. En las mezclas ásperas y de menor contenido de cemento, generalmente aumenta la resistencia gracias a la inclusión de aire en cantidades adecuadas debido a la disminución en la relación agua-cemento y a la mejora en la trabajabilidad. Para los concretos de resistencias moderadas, cada punto porcentual de aire incluido reduce la resistencia a compresión aproximadamente de 2 % a 6%. La resistencia real varía y se ve afectada por la fuente de suministro del cemento, por los aditivos, y por otros ingredientes del concreto.

Figura 10. Reducciones en los contenidos de agua y de arena obtenidas a distintos niveles de contenidos de aire y de cemento



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 55

Figura 11. **Relación entre el contenido de aire y la resistencia a compresión a 28 días para concretos con contenidos de cemento constantes**



Nota: El contenido de agua se redujo aumentando el contenido de aire para conservar el mismo revenimiento.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 56

La adquisición de resistencias altas en el concreto con aire incluido puede ser en ciertas ocasiones difícil de lograr. Aún cuando una reducción en el agua de mezclado se puede asociar con la inclusión de aire, las mezclas con contenidos elevados de cemento necesitan más agua de mezclado que las mezclas con contenidos bajos de cemento; por esto el contenido esperado en la resistencia debido al cemento adicional se compensa en cierta forma con el agua adicional.

- **Trabajabilidad.**

El aire incluido mejora la trabajabilidad del concreto. Resulta efectivo particularmente en las mezclas pobres (de bajo contenido de cemento) que de otra manera serían ásperas y difíciles de trabajar. En un estudio se encontró que una mezcla con aire incluido hecha con un agregado natural, con 3 % de aire, y un revenimiento de 4 cm. tenía casi la misma trabajabilidad que un concreto sin inclusión de aire con 1 % de aire y un revenimiento de 7.5 cm., a pesar de que se había requerido menos cemento para la mezcla con aire incluido. Similarmente, se mejora la trabajabilidad de las mezclas con agregados granulares y pobremente graduados. Gracias a esta mejora en la trabajabilidad, el contenido de agua y de arena se puede reducir de manera muy notoria. Un volumen de concreto con aire incluido necesita menos agua que el volumen de concreto sin aire incluido de igual consistencia y tamaño máximo de agregado. El concreto fresco que contiene aire incluido es cohesivo, se ve y se siente trabajable o grasoso, y se le puede manejar y dar acabado con facilidad. El aire incluido también reduce la segregación y el sangrado en el concreto fresco recién colocado.

- **Materiales inclusores de aire.**

La inclusión de aire en el concreto se puede lograr agregando un aditivo inclusor de aire en la mezcladora, empleando un cemento inclusor de aire, o mediante la combinación de ambos métodos. Sin importar el método empleado, es preciso contar siempre con un control y seguimiento adecuados para asegurar el contenido de aire.

Los dos métodos, el de cemento inclusor de aire y el del aditivo inclusor de aire, se detallarán en los subíndices 4.3.1.1 y 4.3.1.4 respectivamente.

4.3.1.1 Cemento Pórtland con inclusores de aire

En Guatemala, no es comercial el cemento con inclusión de aire, por lo tanto, generalmente se utiliza cemento Tipo I, añadiéndole a la mezcla aditivos inclusores de aire para obtener un concreto con inclusión de aire.

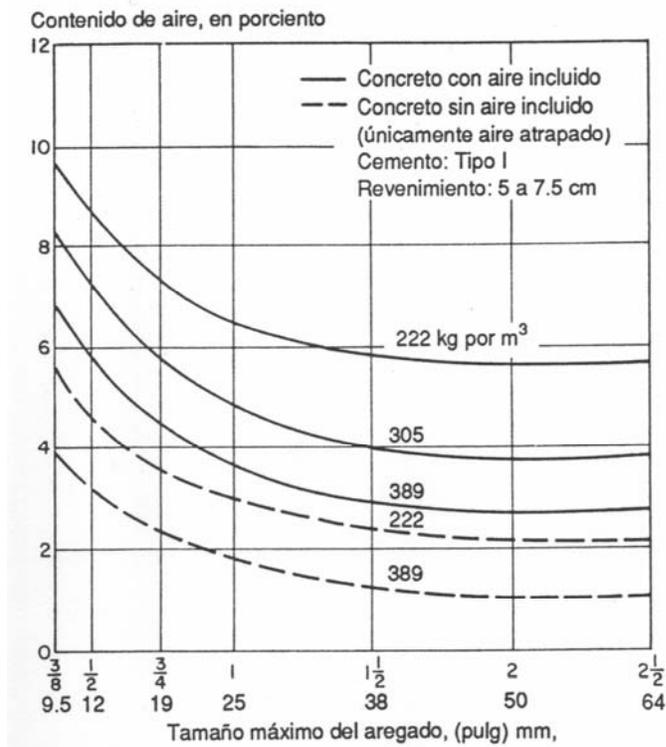
Los cementos inclusores de aire deben cumplir las especificaciones en las normas ASTM C150 y C595. En la norma ASTM C 150 aparecen las especificaciones para los tres tipos de cemento inclusor de aire (Tipo IA, IIA, y IIIA). Corresponden a su composición a los Tipos ASTM I, II Y III respectivamente, con la salvedad que pequeñas cantidades de material inclusor de aire han sido mezcladas junto con el clínker durante su fabricación, acordes con la norma ASTM C226. Estos cementos producen concretos con resistencias mejoradas contra la acción de la congelación-deshielo y contra la descamación provocada por la aplicación de productos químicos para remover hielo o nieve. Semejantes concretos contienen diminutas burbujas de aire uniformemente distribuidas, y totalmente separadas entre sí. Los cementos inclusores de aire generalmente proporcionan una cantidad adecuada de aire incluido para cubrir la mayoría de requisitos de trabajo; sin embargo, probablemente no se pueda obtener en el concreto un cierto contenido especificado de aire. Si se ha incluido un volumen de aire insuficiente, también podría ser necesario agregar algún agente inclusor de aire en la mezcladora.

En los trabajos donde no es práctico un control cuidadoso, los cementos inclusores de aire son especialmente útiles para asegurarse que siempre se obtenga una porción importante del contenido de aire requerido.

Dentro del rango normal de los contenidos de cemento, a medida que aumenta el contenido de cemento, el contenido de aire disminuye si se cuenta

con una dosificación fija de aditivo inclusor de aire por unidad de cemento, como se muestra en la Figura 12. Al variar de 240 a 350 Kg. de cemento por metro cúbico, la razón de dosificación podría llegar a duplicarse para mantener un contenido de aire constante. Sin embargo, algunos estudios indican que cuando esto se hace, el factor de espaciamiento de vacíos normalmente disminuye con el aumento en el contenido de cemento; y para un contenido de aire dado aumenta la superficie específica, mejorando así la durabilidad.

Figura 12. **Relación entre el tamaño del agregado, el contenido de cemento, y el contenido de aire del concreto**



Nota: La dosificación de aditivo inclusor de aire por unidad de cemento fue constante para el concreto con aire incluido.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 57

Un aumento en la finura del cemento dará como resultado una disminución en la cantidad de aire incluido. El cemento Tipo III, un material muy fino, podría necesitar hasta el doble de la cantidad de agente inclusor de aire requerida para un cemento Tipo I de finura normal.

Los cementos con alto contenido de álcalis tal vez incluyan más aire que los cementos de bajo contenido de álcalis con la misma cantidad de material inclusor de aire. Para lograr obtener un contenido de aire equivalente, un cemento con bajo contenido de álcalis podría requerir una cantidad extra de agente inclusor de aire de 20 % a 40 % (y en ocasiones hasta de 70 %). Por lo anterior, es necesario tomar precauciones cuando se emplea más de una fuente de cemento en una planta dosificadora y asegurarse que se han determinado los requisitos de aditivo adecuados para cada cemento.

4.3.1.2 Agua de mezclado y revenimiento

Con el aumento en el agua de mezclado se aprovecha más agua para la generación de burbujas de aire, de este modo se incrementa el contenido de aire, y además los revenimientos aumentan hasta cerca de 15 a 18 cm. Un aumento en la relación agua-cemento de 0.40 a 0.10 puede elevar el contenido de aire en cuatro puntos porcentuales. Una porción en el incremento de aire se debe a la relación entre el revenimiento y el contenido de aire (el contenido de aire aumenta con el revenimiento aún cuando se mantenga constante la relación agua-cemento). El factor de espaciamiento, L , el sistema de vacíos se vuelven más grandes con mayores relaciones agua-cemento, reduciendo con ello la durabilidad del concreto a la congelación-deshielo.

La adición de cinco litros de agua por metro cúbico de concreto puede aumentar el revenimiento en 2.5 cm. aproximadamente. Un incremento de 2.5 cm. en el revenimiento eleva el contenido de aire en aproximadamente de medio a un punto porcentual en los concretos con un revenimiento bajo a moderado y con dosificación constante de aditivo inclusor de aire. Sin embargo, esta aproximación se modifica severamente con la temperatura del concreto, con el revenimiento, y con el tipo y la calidad del cemento y aditivos presentes en el concreto. Un concreto de revenimiento bajo con una dosificación elevada de aditivos reductores de agua e inclusores de aire puede experimentar fuertes aumentos en el revenimiento y en el contenido de aire con una pequeña adición de agua. Por otro lado, una mezcla de concreto muy fluida (con revenimiento de 20 a 25 cm.) puede perder aire con la adición de agua.

El agua de mezclado empleada también puede afectar el contenido de aire. Las aguas contaminadas con algas aumentan el contenido de aire. Las aguas de enjuague fuertemente alcalinas provenientes de los camiones mezcladores también pueden ser causa de problemas. El efecto de la dureza del agua en la mayoría de suministros municipales generalmente es insignificante; sin embargo, las agua muy duras pueden disminuir el contenido de aire en el concreto.

4.3.1.3 Agregados

➤ Agregado grueso.

El tamaño del agregado grueso tiene un efecto pronunciado en el contenido de aire en el concreto, ya sea que éste tenga o no aire incluido, como se muestra en la Figura 11. Cuando el tamaño del agregado aumenta por encima de aproximadamente 38 mm., ocurre poca variación en el contenido de

aire. Para tamaños de agregado menores, si se tiene una proporción constante de dosificación de aditivo, el contenido de aire aumenta severamente a medida que el tamaño del agregado disminuye de 38 mm. debido al mayor aumento en el volumen del mortero.

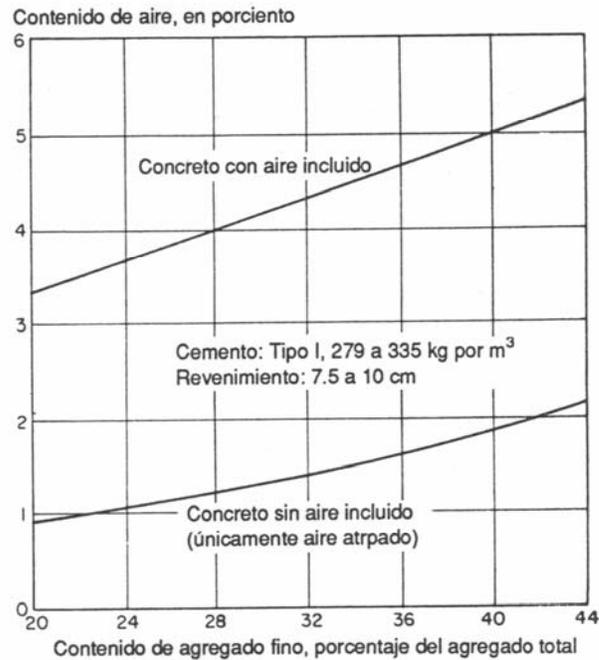
➤ **Agregado fino.**

El contenido de agregado fino de una mezcla afecta el porcentaje de aire incluido. Como se muestra en la Figura 13, el aumento de la cantidad de agregado fino provoca la inclusión de más aire para una cantidad dada de cemento incluso de aire o de aditivo.

Las partículas de agregado fino que pasan de la malla de 0.60 mm. (No. 30) a la de 0.15 mm. (No. 100) incluyen más aire que las partículas muy finas o más gruesas. El material que pasa la malla No. 100 en cantidades apreciables producirá como resultado una reducción considerable en el aire incluido.

Los agregados finos procedentes de distintas fuentes pueden incluir diferentes cantidades de aire aún cuando tengan granulometrías idénticas. Esto se puede deber a las diferencias en cuanto a su forma y textura superficial o a la contaminación en pequeñas cantidades de materiales orgánicos.

Figura 13. **Relación entre el porcentaje de agregado fino y el contenido de aire del concreto**



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño y Control de Mezclas de concreto. Pág. 57

4.3.1.4 Aditivos

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto además del cemento pòrtland, del agua y de los agregados, que se agregan a la mezcla inmediatamente antes del mezclado o durante el mismo. Por su función, se les puede clasificar a los aditivos como:

- Aditivos inclusores de aire
- Aditivos reductores de agua
- Aditivos retardantes
- Aditivos acelerantes
- Superplastificantes

- Aditivos minerales finamente divididos
- Aditivos diversos, para mejorar la trabajabilidad, la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadeado, formadores de gas, colorantes, inhibidores de la corrosión, y ayudas para bombeo

Existen aditivos que son combinación de los anteriormente descritos. Para la construcción de pisos expuestos a bajas temperaturas, se recomienda usar los aditivos inclusores de aire, los retardantes y reductores de agua, los superplastificantes, y los aditivos minerales finamente divididos.

➤ **Aditivos inclusores de aire.**

Los aditivos inclusores de aire se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. La inclusión de aire mejorará drásticamente la durabilidad de los concretos que estén expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. También se ve mejorada de manera importante la trabajabilidad del concreto fresco, y la segregación y el sangrado se reducen o se llegan a eliminar.

El concreto con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente en toda la pasta de cemento. La inclusión de aire en el concreto, se puede producir utilizando un cemento inclusor de aire, o con la introducción de un aditivo inclusor de aire, o con una combinación de ambos métodos. Un cemento inclusor de aire es un cemento Pórtland con una adición inclusora de aire molida conjuntamente con el clínker durante su fabricación. Por otra parte, los aditivos inclusores de aire se agregan directamente a los componentes del concreto antes o durante el mezclado. Entre los principales ingredientes que se utilizan en los aditivos inclusores de aire se encuentran; las

sales de resinas de madera (resina Vinsol), algunos detergentes sintéticos, sales de lignina sulfonatada, sales de ácidos de petróleo, sales de material proteináceo, ácidos grasos y resinosos y sus sales, sulfonatos de alquilbenceno y sales de hidrocarburos sulfonados. Las especificaciones así como los métodos de ensaye para los aditivos inclusores de aire se presentan en las normas ASTM C 260 y C 233. Las adiciones inclusoras de aire que se emplean en la fabricación de los cementos inclusores de aire, deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 226. Los requisitos aplicables a los cementos inclusores de aire se presentan en la norma ASTM C 150.

➤ **Aditivos retardantes.**

Los aditivos retardantes se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto. Las temperaturas en el concreto fresco (30° a 32°C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento, lo que provoca que el colado y acabado del concreto sea difícil. Uno de los métodos más prácticos de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

Los retardantes se emplean en ocasiones para: (1) compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto, (2) demorar el fraguado inicial del concreto cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño, cementar pozos petroleros, o bombear concreto a distancias considerables, o (3) retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

Debido a que la mayoría de los retardantes también actúan como reductores de agua, se les denomina frecuentemente retardantes reductores de agua. Los retardantes también pueden incluir un poco de aire en el concreto.

En general, el empleo de retardantes va acompañado de una cierta reducción de resistencia a edades tempranas (uno a tres días). Los efectos de estos materiales en las demás propiedades del concreto, tales como la contracción, pueden ser impredecibles. En consecuencia, se deberán efectuar pruebas de recepción de los retardantes con los materiales con que se va a trabajar en condiciones anticipadas de trabajo.

➤ **Aditivos superplastificantes (reductores de agua de alto rango).**

Los aditivos superplastificantes son aditivos reductores de agua de alto rango que cubren las especificaciones ASTM C 1017 y C 494 Tipos F y G, que se agregan a los concretos de revenimiento y relación agua-cemento bajos a normales para producir concretos fluidos de alto revenimiento. Los concretos producidos son concretos muy fluidos pero trabajables, los cuales se pueden colocar con poca o ninguna vibración o compactación, pudiendo quedar todavía libres de sangrado o segregación excesivos. El concreto fluido se emplea (1) en colados de secciones delgadas, (2) en áreas que tengan el acero de refuerzo cercanamente espaciado o muy congestionado, (3) en colados con tubo-embudo (bajo el agua), (4) como concreto bombeable para disminuir la presión de la bomba, obteniendo con ello un aumento en la distancia de bombeo horizontal y vertical, (5) en las áreas donde los métodos convencionales de consolidación no se puedan emplear o resulten poco prácticos, y (6) para aminorar los costos de manejo. Con la adición de un superplastificante a un concreto con revenimiento de 7.5 cm. se puede producir fácilmente un concreto con 22.5 cm. de revenimiento. El concreto fluido queda definido por la especificación ASTM C 1017 como aquel concreto que tiene un revenimiento

mayor de 19 cm. y que todavía conserva sus propiedades cohesivas. Los revenimientos excesivamente altos, mayores o iguales a 25 cm., pueden provocar que el concreto se segregue.

Los reductores de agua de alto rango, también se pueden emplear para fabricar concretos de baja relación agua-cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con el uso de estos aditivos se puede obtener una reducción de agua del 12 al 30%. Esta reducción en el contenido de agua y en la relación agua-cemento permiten producir concretos con: (1) resistencias últimas a compresión arriba de 700 Kg./cm², (2) mayores adquisiciones de resistencia a edad temprana, y (3) una menor penetración del ión cloruro así como otras propiedades favorables que están asociadas con los concretos que tienen relaciones agua-cemento bajas.

Los reductores de agua de alto rango normalmente son más efectivos, aunque más costosos, que los aditivos reductores de agua normales para producir concretos trabajables. En la mayoría de los superplastificantes, el efecto para elevar la trabajabilidad o para producir concretos fluidos es de corta duración, de 30 a 60 minutos, y va seguido de una pérdida muy rápida de trabajabilidad. Debido a esta pérdida de revenimiento, la adición de estos aditivos frecuentemente se hace en la obra. Los reductores de agua de alto rango de revenimiento prolongado que se adicionan en las plantas dosificadoras ayudan a reducir los problemas de pérdida de revenimiento. El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar dependiendo de la composición química individual del aditivo, de la proporción dosificada, y en la interacción de los demás aditivos presentes en la mezcla del concreto.

Se ha demostrado mediante pruebas que algunos concretos que contienen aditivo superplastificante sangran más que los concretos testigo de igual relación agua-cemento, pero sangran mucho menos que los concretos testigo con el mismo revenimiento elevado. El concreto con superplastificante de alto revenimiento y bajo contenido de agua experimenta una menor contracción por secado que un concreto convencional de alto revenimiento y alto contenido de agua, aunque experimenta una contracción por secado similar o mayor que un concreto convencional de bajo revenimiento y bajo contenido de agua.

La efectividad del superplastificante se eleva con el aumento en la cantidad de cemento y finos del concreto. También se modifica con el revenimiento inicial del concreto.

El concreto con superplastificante tiene vacíos de aire incluido de mayor tamaño que un concreto normal con aire incluido. Esto indicaría una menor resistencia a la congelación y deshielo en condiciones normales; sin embargo, las pruebas de laboratorio han mostrado que un concreto con superplastificante tiene una muy buena durabilidad a la congelación-deshielo, aún con sus mayores factores de espaciamiento. Esto puede ser resultado de las menores relaciones agua-cemento que se asocian frecuentemente con el concreto con superplastificante. Los componentes primarios de los superplastificantes son los condensados de formaldehído de melamina sulfonatados, condensados de formaldehído de naftaleno sulfonatados, y lignosulfonatos. Las especificaciones así como los métodos de ensaye para los aditivos superplastificantes se presentan en las normas ASTM C 1017, Tipo 1.

➤ **Aditivos minerales finamente divididos.**

Los aditivos minerales finamente divididos son materiales pulverizados que se agregan al concreto antes del mezclado o durante éste para mejorar o

transformar algunas de las propiedades del concreto de cemento p rtland en estado plástico o endurecido. Estos aditivos son generalmente materiales naturales o subproductos. De acuerdo con sus propiedades químicas o físicas, se clasifican como (1) materiales cementantes, (2) puzolanas, (3) materiales puzolánicos y cementantes, y (4) materiales nominalmente inertes.

- **Materiales cementantes.**

Los materiales cementantes son sustancias que por sí solas tienen propiedades hidráulicas cementantes (fragan y endurecen en presencia del agua). Los materiales cementantes incluyen a la escoria granulada de alto horno molida, al cemento natural, a la cal hidráulica hidratada, y a las combinaciones de estos y de otros materiales.

- **Materiales puzolánicos.**

Una puzolana es un material silíceo o aluminosil ceo que por sí mismo posee poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente molida y en presencia del agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

- **Materiales puzolánicos y cementantes.**

Algunas escorias granuladas de alto horno molidas y también algunas cenizas volantes, exhiben propiedades tanto puzolánicas como cementantes. Las cenizas volantes con un contenido de óxido de calcio de aproximadamente 15 a 30% en peso son las predominantes dentro de esta clasificación. Al exponerse al agua, muchas de estas cenizas se hidratan y endurecen en menos de 45 minutos.

- **Materiales nominalmente inertes.**

Los materiales nominalmente inertes tienen pocas o nulas propiedades cementantes. Algunos de los materiales nominalmente inertes son el cuarzo en bruto finamente dividido, las dolomitas, muchas calizas, el mármol, el granito, y otros materiales. Los materiales inertes frecuentemente se emplean como adición al cemento y como una sustitución parcial de la arena en el concreto para mejorar las trabajabilidades pobres causadas frecuentemente por la falta de finos en la arena. A veces se agrega a los concretos, caliza pulverizada para reducir la reactividad álcali-sílice.

4.3.2 Colocación y tendido del concreto

La colocación deberá empezar en el punto más lejano e ir avanzando hacia la fuente de suministro del concreto; éste deberá vaciarse lo más cerca posible de su posición final, rebasar ligeramente la formaleta y ser nivelado de manera aproximada con palas cuadradas o con rastrillos para concreto. Los vacíos grandes de aire atrapados en el concreto durante la colocación deberán removerse por medio de la consolidación.

4.3.3 Consolidación del concreto

La consolidación es el proceso que consiste en compactar al concreto fresco para amoldarlo dentro de la formaleta y alrededor de los artículos insertos y del refuerzo a fin de eliminar los depósitos de piedras, las ratoneras y las cavidades de aire atrapado. En los concretos con aire incluido, la consolidación no deberá retirar cantidades importantes de aire intencionalmente incluido; pues la consolidación se obtiene por medio de métodos manuales o mecánicos. El método elegido dependerá de la consistencia de la mezcla y de

las condiciones de colado, como lo son la complejidad de la formaleta y la cantidad y el espaciamiento del refuerzo.

Las mezclas fluidas y trabajables se pueden consolidar por varillado manual, es decir, introduciendo repetidamente una varilla apisonadora u otra herramienta adecuada dentro del concreto. La varilla deberá ser lo suficientemente larga para llegar hasta el fondo de la formaleta y lo suficientemente delgada para pasar entre el acero de refuerzo y la formaleta. Los concretos de bajo revenimiento se pueden transformar en concretos más fluidos que faciliten su consolidación con el uso de aditivos superplastificantes sin que se tenga que agregar agua a la mezcla del concreto.

Para mejorar la apariencia de las superficies con formaleta, se puede usar la consolidación con azadón. Una herramienta plana, similar a un azadón se inserta repetidamente y se retira dejándolo junto a la formaleta. Esto aleja de la formaleta a los agregados gruesos de mayor tamaño y ayuda a que el aire atrapado se desplace hacia la superficie superior para que pueda escapar. Una mezcla que se pueda consolidar adecuadamente con herramientas manuales no deberá consolidarse con métodos mecánicos, porque existiría la tendencia a segregarse bajo una acción mecánica intensa.

Una consolidación mecánica adecuada posibilita la colocación de mezclas rígidas con relaciones agua-cemento bajas y con contenidos elevados de agregado grueso, características que normalmente se asocian con concretos de alta calidad, incluso en los elementos altamente reforzados. Algunos de los métodos mecánicos son la centrifugación, usada para consolidar concretos de revenimiento moderado a alto que se emplean para fabricar tubos, postes y pilotes; las mesas de golpeo o de caída, empleadas para compactar concretos

muy rígidos de bajo revenimiento utilizados en la manufactura de unidades precoladas arquitectónicas; y por último la vibración interna o externa.

4.3.3.1 Vibración

La vibración, ya sea interna o externa, es el método comúnmente más usado para consolidar concreto. Al vibrar al concreto, la fricción interna de las partículas de agregado se destruyen temporalmente y el concreto se comporta como un líquido; se asienta en la formaleta por acción de la gravedad y los vacíos grandes de aire atrapado suben más fácilmente a la superficie. La fricción interna se restablece en el momento en que la vibración se detiene.

Los vibradores, ya se trate de vibradores internos o externos, se caracterizan normalmente por la frecuencia de vibración, expresada como el número de vibraciones por minuto, vpm, y por la amplitud de la vibración, que es la desviación en centímetros desde el punto de apoyo.

Siempre que se consolide el concreto por vibración, se deberá contar con un vibrador de repuesto para usarlo en caso de que se presente alguna falla mecánica.

➤ Vibración interna

Los vibradores internos o de inmersión, llamados a menudo vibradores machos, se utilizan normalmente para consolidar concreto en muros, columnas, vigas y losas. Los vibradores de flecha flexible consisten de una cabeza vibratoria conectada a un motor por medio de una flecha flexible. Dentro de la cabeza se encuentra un peso desbalanceado conectado a la flecha, el cual gira a alta velocidad, provocando que la cabeza gire en una órbita circular. El motor

puede ser accionado con electricidad, gasolina o aire. Las cabezas vibratorias son normalmente cilíndricas y sus diámetros pueden variar de 2 a 18 cm. Algunos vibradores tienen un motor eléctrico construido dentro de la cabeza, mismo que en general tiene 5 cm. de diámetro. El comportamiento del vibrador se ve afectado por las dimensiones de la cabeza del vibrador así como por su frecuencia y amplitud.

Los vibradores de diámetro pequeño tienen frecuencias elevadas, variando de 10,000 a 15,000 vpm, y amplitudes bajas, que varían entre 0.38 y 0.76 mm. A medida que el diámetro del vibrador aumenta, la frecuencia disminuye y la amplitud aumenta. El radio de acción efectivo del vibrador aumenta conforme aumenta el diámetro. Los vibradores con diámetros de 2 a 4 cm. tienen un radio de acción en el concreto fresco que varía entre 7.5 y 15 cm., mientras que los radios de acción de los vibradores con diámetros de 5 a 9 cm. varían entre 18 y 36 cm.

Para obtener los mejores resultados, es importante darle un uso adecuado a los vibradores. Los vibradores no se deben utilizar para mover horizontalmente el concreto, ya que esto provocará segregación. Siempre que sea posible, el vibrador se deberá introducir verticalmente en el concreto a intervalos regulares y se le permitirá descender por gravedad. Deberá penetrar rápidamente hasta el fondo de la capa que se esté colando y por lo menos 15 cm. dentro de cualquier capa colocada previamente. Cada capa o colada deberá ser de aproximadamente de la misma longitud de la cabeza del vibrador o en formaletas comunes normalmente de 30 cm. como máximo.

En las losas delgadas, el vibrador se deberá insertar con un cierto ángulo casi horizontalmente de modo que se mantenga completamente sumergida la cabeza del vibrador. En las losas sobre suelos, el vibrador no deberá entrar en

contacto con la subrasante. La distancia entre inserciones deberá ser de aproximadamente 1.5 veces el radio de acción de manera que el área afectada visiblemente por el vibrador traslape con el área adyacente previamente vibrada varios centímetros.

El vibrador deberá mantenerse estacionario hasta lograr una consolidación adecuada y luego se deberá retirar lentamente. Un tiempo de inserción de 5 a 15 segundos proveerá normalmente de una consolidación adecuada. El concreto se deberá mover para rellenar los huecos dejados al retirar el vibrador. Si un agujero no se ha rellenado, el problema se resolverá reinsertando el vibrador en algún punto cercano.

La adecuación de la vibración interna se juzga por la experiencia y por los cambios en la apariencia de la superficie del concreto. Los cambios a cuidar son la inserción de partículas grandes de agregado, la nivelación de la superficie del concreto, la aparición de una película delgada de pasta brillante alrededor de la cabeza del vibrador, y que cese el escape de burbujas grandes de aire atrapado en la superficie.

El permitir que un vibrador permanezca sumergido luego de que se acumule pasta en la cabeza es una práctica poco recomendada y puede acarrear falta de uniformidad. El período en que se deberá dejar al vibrador dentro del concreto dependerá del revenimiento del concreto, de la potencia del vibrador, y de la naturaleza de la sección por compactar.

La revibración de concretos previamente compactados se puede efectuar de manera intencional o también puede ocurrir sin darse cuenta cuando la capa inferior haya endurecido parcialmente. La revibración se utiliza para mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo, para liberar el agua

atrapada debajo de barras horizontales de refuerzo, y para remover vacíos adicionales de aire atrapado. Por lo general, si el concreto se vuelve trabajable durante el revibrado, este no es perjudicial y puede resultar benéfico.

➤ **Vibración externa**

Los vibradores externos pueden ser para formaleta, mesas vibratorias, o vibradores de superficie como lo son las plantillas vibratorias, las placas vibratorias, las plantillas de rodillos vibratorias, o las llanas manuales vibratorias. Los vibradores para formaleta, diseñados para quedar asegurados en la parte exterior de la formaleta, son útiles especialmente para: (1) consolidar el concreto en elementos que sean muy delgados o que estén muy congestionados de refuerzo, (2) complementar la vibración interna, y (3) mezclas rígidas en las que no se puedan usar vibradores internos.

Por lo general no se recomienda fijar directamente a la formaleta un vibrador para formaleta. Es mejor fijar el vibrador a una placa de metal la cual a su vez quede fijada a vigas I de metal o a canales que pasen a través de los atiesadores de la formaleta en tramos continuos. Las fijaciones que queden sueltas producirán pérdidas importantes de energía de vibración y en consecuencia, consolidaciones adecuadas.

Los vibradores para formaleta pueden ser operados eléctrica o neumáticamente. Deberán estar espaciados de manera que distribuyan uniformemente la intensidad de vibrado en toda la formaleta; el espaciamiento óptimo se obtiene por experimentación. En ocasiones puede ser necesario operar algunos vibradores para formaleta a diferentes frecuencias para lograr mejores resultados; por lo tanto, se recomienda que los vibradores para formaleta estén equipados con controles que regulen su amplitud y frecuencia.

La duración de la vibración externa es considerablemente mayor que para la vibración interna, por lo general, entre uno y dos minutos.

Los vibradores para formaleta no deberán aplicarse en los 75 cm. superiores de la formaleta vertical. La vibración en la parte superior de la formaleta, particularmente si la formaleta es delgada o si ha quedado atiesada de manera inadecuada, producirá un movimiento hacia adentro y hacia afuera que puede crear un vacío entre el concreto y la formaleta. Para esta parte de la formaleta vertical se recomienda el uso de vibradores internos.

En las secciones densamente reforzadas donde no se pueda insertar un vibrador interno, a veces es útil vibrar las varillas de refuerzo fijando un vibrador para formaleta a las partes expuestas de las varillas. Esta práctica elimina el aire y el agua atrapados bajo las barras de refuerzo y mejora la adherencia entre las varillas y el concreto que las rodea, siempre y cuando el concreto se mantenga aún trabajable bajo la acción del vibrado. Los vibradores internos no se deberán fijar a las varillas de refuerzo para lograr el mismo propósito porque los vibradores se pueden dañar. Las mesas vibratorias se emplean en las plantas de elementos precolados. Deberán estar equipadas con controles tales que permitan variar la frecuencia y la amplitud de acuerdo con el tamaño del elemento a colar y con la consistencia del concreto. Las mezclas trabajables generalmente requieren de mayores frecuencias que las mezclas rígidas. La consolidación mejorará si se va aumentando la frecuencia y se va disminuyendo la amplitud conforme el vibrado vaya progresando.

Los vibradores de superficie tales como las plantillas vibratorias se emplean para consolidar al concreto en los pisos y en otros trabajos en plano. Las plantillas vibratorias proporcionan un control efectivo a las operaciones de nivelación y ahorran una gran cantidad de trabajo; sin embargo, este equipo no

se debe usar para concretos con revenimientos mayores de 7.5 cm. La vibración superficial de tales concretos tendrá como resultado la acumulación excesiva de mortero y de material fino en la superficie, y con ello se reducirá la resistencia al desgaste. Por la misma razón, los vibradores de superficie no se deberán operar después de que el concreto haya sido consolidado adecuadamente. Los pisos, las calzadas, y las banquetas se cuelean a menudo con concretos de 7.5 a 12.5 cm. de revenimiento, consistencia en la cual las operaciones normales de acabado proporcionan una consolidación adecuada. Cuando se requieren superficies más durables, resistentes a la abrasión, se emplean mezclas más ásperas que necesitan ser vibradas.

Como la vibración superficial de las losas de concreto es menos efectiva a lo largo de sus bordes, se podrá usar un vibrador de inmersión a lo largo de tales bordes inmediatamente antes de que la plantilla vibratoria entre en operación.

Las plantillas vibratorias se utilizan para consolidar las losas hasta de 25 cm. de espesor, siempre y cuando esas losas no estén reforzadas o sólo tengan refuerzo muy sencillo. Para las losas reforzadas se recomienda el vibrado interno o una combinación de vibrado interno con vibrado superficial.

4.3.4 Nivelación

La nivelación o enrasado es el proceso que consiste en retirar el exceso de concreto de la superficie superior de una losa para dejarla en el nivel apropiado. La plantilla que se usa en el método manual es una regla que puede tener el borde inferior recto o ligeramente curvo, dependiendo de los requisitos que deba satisfacer la superficie. Se deberá mover sobre el concreto con un

movimiento de vaivén o de aserrado avanzando una pequeña distancia en cada movimiento. Deberá existir un exceso o sobrecarga de concreto contra la cara frontal de la regla para ir rellenando las partes bajas a medida que la regla pase sobre la losa. Una losa de 15 cm. necesita una sobrecarga de aproximadamente 2.5 cm. Algunas veces las reglas están equipadas con vibradores que consolidan el concreto y ayudan a reducir el trabajo de enrasado, esas combinaciones se denominan plantillas vibratorias. La nivelación y la consolidación deberán haber sido terminadas antes de que el agua de sangrado se acumule sobre la superficie.

4.3.5 Aplanado

Inmediatamente después del enrasado se deberá usar una alizadora con el propósito de eliminar los puntos altos y bajos de las losas e incrustar las partículas grandes de agregado. La alizadora de mango largo se utiliza en áreas demasiado extensas que no se pueda tener acceso con alguna alizadora de mango corto. Para los concretos sin aire incluido estas herramientas deberán ser preferentemente de madera; para concretos con aire incluido deberán ser de aluminio o de aleación de magnesio.

El aplanado se deberá completar antes de que el agua de sangrado se acumule sobre la superficie; también se deberá tener la precaución de no sobre trabajar al concreto porque con eso se obtendría una superficie menos durable.

Las operaciones precedentes deberán nivelar, amoldar y alisar la superficie, también pueden llegar a consumir una pequeña cantidad de pasta de cemento. Aunque a veces no se necesita un acabado posterior, en la mayoría de las losas el aplanado se complementa con algunas de las siguientes

operaciones de acabado: bordeado, junteado, emparejado, alisado y escobillado. Se necesita contar con un ligero endurecimiento en el concreto antes de poder iniciar cualquiera de estas operaciones. Cuando el brillo del agua de sangrado haya desaparecido y el concreto sostenga la presión provocada por los pies de una persona hundiéndose solamente medio centímetro, se considerará que la superficie está lista para proseguir las operaciones de acabado. Emparejar y alisar el concreto antes de que el proceso de sangrado se haya completado podría también atrapar el agua de sangrado bajo la superficie terminada produciéndose zonas debilitadas o vacíos, que ocasionalmente acabarán en forma de láminas. El uso de concretos con aire incluido y bajos revenimientos, con un contenido de cemento adecuado y con una granulometría correcta de su agregado fino minimizará el sangrado y contribuirá a asegurar la construcción de losas libres de mantenimiento.

4.3.6 Bordeado y junteado

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

En la operación de bordeado, el concreto se debe quitar de la formaleta hasta una profundidad de 2.5 cm. haciendo uso de una cuchara de albañilería puntiaguda. Después se deberá mantener un rebordeador casi plano sobre la superficie y correrlo con el frente ligeramente levantado para evitar que el

mismo rebordeador deje una impresión demasiado profunda, se puede necesitar bordear después de cada operación de acabado subsecuentemente.

Las prácticas adecuadas de junteado pueden eliminar agrietamientos aleatorios de mal aspecto. Las juntas de contracción se hacen con un ranurador manual o insertando dentro del concreto aún sin endurecer tiras de plástico, madera, metal, o algún material preformado para juntas. Cuando se utilizan métodos manuales para formar juntas de control, la losa deberá juntarse durante la operación de bordeado o justo después de ella. Las juntas de contracción también se pueden hacer en el concreto endurecido utilizando una sierra.

4.3.7 Emparejado

El concreto se puede emparejar con una llana de madera o de metal o con una máquina para acabado que esté equipada con cuchillas de emparejar.

El propósito de emparejado se debe a tres razones: (a) para insertar las partículas del agregado justo debajo de la superficie; (b) para eliminar pequeñas imperfecciones, salientes y vacíos; y (c) para compactar el mortero en la superficie como preparación de otras operaciones adicionales de acabado. No se deberá trabajar en exceso al concreto, porque con eso se acarrearía un exceso de agua y de material fino a la superficie, produciendo defectos posteriores en la superficie.

Las llanas de mano normalmente son de madera o de metal. Las llanas de metal abrevian el trabajo porque el rastreado se reduce y la llana se puede deslizar más fácilmente sobre la superficie de concreto. Para emparejar

manualmente concretos con aire incluido es esencial contar con una llana de aluminio o de magnesio porque una llana de madera tiende a adherirse a la superficie y a rasgarla. Las llanas de metal ligero también conforman superficies más lisas que las llanas de madera.

La llana de mano deberá mantenerse plana sobre la superficie de concreto y se moverá con un ligero movimiento de vaivén en un arco tendido para rellenar vacíos, abatir protuberancias, y alisar abultamientos. Cuando se practique el acabado en áreas extensas, se pueden emplear llanas mecánicas para reducir el tiempo de acabado.

El emparejado produce una textura relativamente pareja pero no lisa, que posee una buena resistencia contra resbalones y patinamientos y por eso se usa a menudo como acabado final, especialmente en las losas exteriores. Cuando el acabado final que se desee obtener sea un acabado como éste, puede llegar a hacerse necesario emparejar una segunda vez la superficie después de que haya endurecido parcialmente.

Las marcas dejadas por los rebordeadores y ranuradores manuales comúnmente se eliminan durante el emparejado, a menos que se desee que su permanencia con propósitos decorativos, en cuyo caso deberán volverse a usar estas herramientas luego del emparejado final.

4.3.8 Alisado

El alisado es opcional, dependerá del uso que se dará a la losa. En cuartos fríos se acostumbra a realizar el alisado, ya que se obtiene una superficie densa, dura, y lisa, a la vez, y también mejora la impermeabilidad.

El alisado metálico deberá proseguir al emparejado. El alisado no se deberá ejecutar en una superficie que no haya sido emparejada previamente: alisar después de solo haber aplanado no es un proceso adecuado de acabado.

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

El esparcir cemento seco sobre una superficie húmeda para absorber el exceso de agua no es una práctica recomendada y puede provocar agrietamientos irregulares. Se deberá evitar la aparición de tales manchas de humedad dentro de lo posible, por medio de la adopción de ajustes en la granulometría del agregado, en las proporciones de las mezclas, y en la consistencia. Cuando estas manchas lleguen a ocurrir, se deberá retrasar las operaciones de acabado hasta que el agua se evapore o se remueva con una barredora de goma para pisos. Si esta barredora de goma para pisos se llega a emplear, se deberá tener el cuidado de no remover cemento junto con el agua.

El primer alisado puede producir la superficie deseada libre de defectos. No obstante, la resistencia al desgaste, la densidad y la tersura de la superficie se pueden mejorar con alisados adicionales. Deberá transcurrir un cierto tiempo

entre los alisados sucesivos para permitir que el concreto se vaya endureciendo. A medida que la superficie se endurece, cada alisado sucesivo deberá efectuarse con llanas de menor tamaño, usando progresivamente una mayor inclinación y presión sobre la hoja de la llana. En la pasada final se deberá producir un sonido metálico cuando la llana se pase por la superficie.

Una llana mecánica para alisar es similar a una llana mecánica normal, salvo que va equipada con hojas de acero individuales de menor tamaño en las que se pueden ajustar la inclinación y la presión sobre la superficie de concreto. Cuando la primera alisada se reduce a máquina, se deberá efectuar al menos una alisada a mano adicional para eliminar las pequeñas irregularidades.

4.3.9 Curado

Todas las losas de concreto recién coladas y acabadas deberán curarse y protegerse contra un secado rápido, contra cambios violentos de temperatura, y contra daños provocados por el tránsito y las construcciones subsecuentes.

El curado deberá comenzar lo más pronto posible después del acabado. El curado es necesario para asegurar la continua hidratación del cemento y el desarrollo de resistencia del concreto.

Cuando el trabajo con el concreto continúa durante periodos en condiciones ambientales adversas, se hace necesario tomar precauciones especiales, por ejemplo a) En climas fríos, se deberán hacer arreglos anticipados para calentar, cubrir, aislar o encerrar al concreto. b) El trabajo en climas cálidos podría requerir precauciones especiales contra secados y evaporaciones rápidas y contra temperaturas excesivamente altas.

4.4 Acero de refuerzo

Frecuentemente, los pisos apoyados directamente sobre el terreno, diseñados como secciones no reforzadas, contienen una cantidad mínima de acero con el propósito de limitar el ancho de las grietas causadas por la contracción debida a cambios de temperatura. Si es posible, el acero debería colocarse aproximadamente a 2 pulgadas bajo la superficie y debería llegar a una distancia de 2 pulgadas de los bordes de la losa pero no mayor que 6 pulgadas de ellos.

Si el acero se extiende a través de juntas de contracción, será mejor cortar alternadamente los alambres que se encuentran en las juntas, a fin de garantizar que la losa se va a fracturar en la junta de contracción; si el acero atraviesa las juntas, deberá incrementarse la longitud de la losa entre las juntas.

Cuando el acero pasa a través de las juntas de contracción, debe tenerse presente que las juntas de construcción se abrirán más que las juntas de contracción intermedias. En este caso, puede ser necesario el uso de pasajuntas lisos para la transmisión de cargas. Las juntas deben estar selladas adecuadamente para evitar la producción de astillamiento por acuífamiento de cuerpos extraños en ellas.

La siguiente “fórmula de arrastre” se ha empleado para calcular la cantidad de acero necesaria para limitar la abertura de las grietas; sin embargo, en ningún caso la cantidad de acero deberá ser menor que 27 libras por 100 pies², si se considera conveniente el uso de acero.

$$e_s = 69.5 FL / f_y$$

e_s = porcentaje de acero requerido (en cuanto al área de la sección transversal)

L = longitud de la losa entre juntas, en pies

f_y = resistencia del acero a la fluencia, en libras/pulgadas²

F = factor de fricción entre la losa de concreto y la subrasante

El equivalente de esta fórmula en unidades del sistema métrico internacional es:

$$e_s = 1.57 FL / f_y$$

L = longitud de la losa entre juntas, en metros

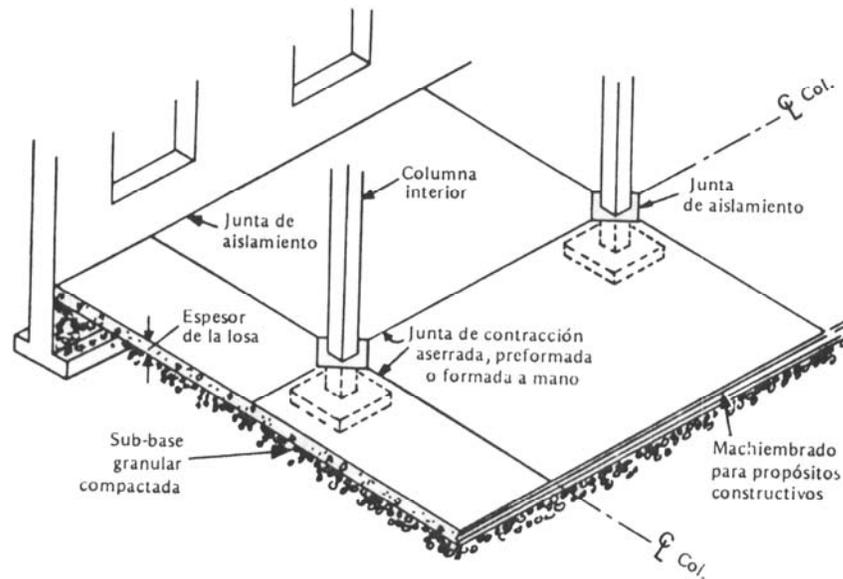
f_y = resistencia del acero a la fluencia, en MPa

Generalmente, se usan valores del factor de fricción entre 1.5 y 2.0 para la mayoría de las subrasantes o para sub-bases granulares con superficie lisa.

4.5 Juntas

Las juntas son necesarias en pisos no estructurales, como lo es en pisos de cuartos fríos. Por lo general, se usan tres tipos de juntas: juntas de aislamiento, juntas de contracción y juntas de construcción. La ubicación apropiada de las juntas de aislamiento y las juntas de contracción se muestran en la Figura 14. El sello de las juntas en pisos de cuartos fríos, deberá ser especial para resistir bajas temperaturas.

Figura 14. Localización de juntas

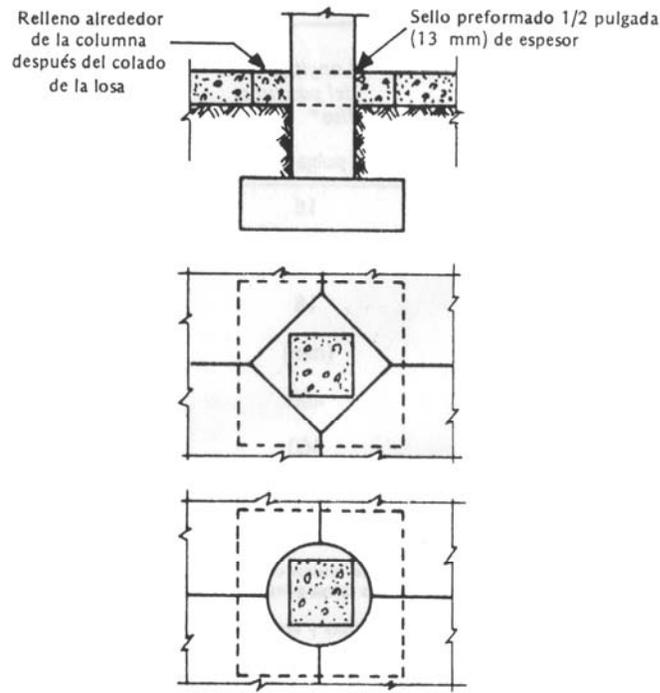


Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 30

4.5.1 Juntas de aislamiento

El piso debe estar separado estructuralmente de otros elementos de construcción, a fin de permitir que se presenten movimientos diferenciales, tanto horizontales como verticales. Las juntas de aislamiento deben usarse en las uniones con muros, columnas, cimentaciones de máquinas y zapatas, o en otros puntos de restricción, como son los tubos de drenaje, las chimeneas, los colectores de agua, las escaleras, etcétera. Estas juntas pueden lograrse insertando relleno para juntas de expansión antes o durante las operaciones de colado y, en el caso de columnas, pueden colocarse como se indica en la Figura 15. El relleno de juntas deberá ocupar toda la profundidad de la junta y no deberá sobresalir de ella.

Figura 15. Juntas de aislamiento en columnas



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 32

En el caso de que se transiten vehículos sobre las juntas de aislamiento que no están diseñadas para transmitir cargas, como las juntas en los vanos de puertas, el espesor de la losa deberá aumentarse en un 25% y deberá disminuirse según una pendiente no mayor de 1 a 5 hasta obtener el espesor requerido.

4.5.2 Juntas de contracción

Los movimientos diferenciales en el plano de la losa son producto de la contracción por secado, por los cambios térmicos o por la contracción de carbonatación; de las causas mencionadas, la primera es la más importante. Es

probable que se presente determinada cantidad de contracción, la cual puede ser tolerada. La cantidad tolerable dependerá del diseño y de la exposición de los elementos estructurales, del anclaje de la losa, del contenido de agua, de la exposición al secado, etcétera. Cuando es probable que se presente una contracción por secado, que no es conveniente, será necesario poner especial atención al proporcionamiento, al mezclado y a la selección de materiales. En una losa, la contracción se presenta en forma más rápida, en la superficie expuesta, y esto provoca un alabeo de los extremos hacia arriba. Si la losa se encuentra fija para evitar dicho alabeo, se presentarán agrietamientos donde la fijación imponga un esfuerzo mayor que la resistencia a la tensión.

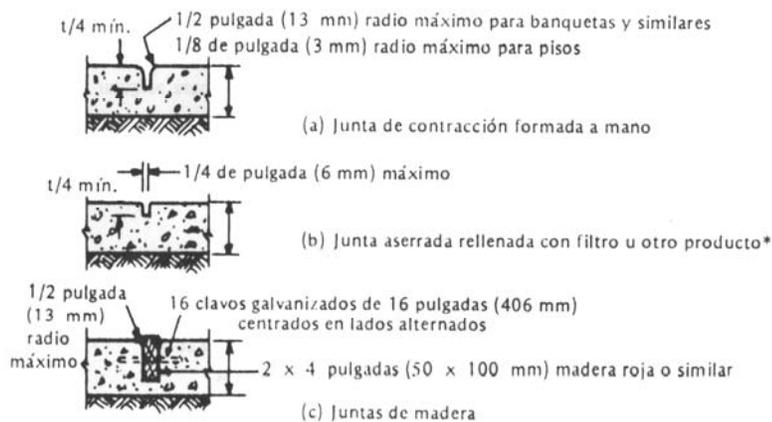
Los movimientos diferenciales en los pisos deben ser soportados por juntas de contracción separadas por espacios de 15 a 20 pies, en ambas direcciones, a menos que las grietas intermedias sean aceptables.

Deben usarse espacios menores cuando exista alguna razón para esperar una gran contracción o cuando la variación en la temperatura pueda ser de gran magnitud. El acero por temperatura puede usarse para restringir el ancho de las grietas.

Si las columnas están ubicadas a más de 20 pies de distancia entre sí, será necesario colocar juntas intermedias para así evitar las fracturas entre las columnas. Los tableros resultantes deben ser casi cuadrados y deberán evitarse los tableros alargados o en forma de "L". Por otra parte, es muy probable que los tableros con una relación largo-ancho excesivamente grande (mayor que 1.5), se agrieten con facilidad. Como regla general, cuanto más pequeño sea el tablero, menor será la probabilidad de que se presenten agrietamientos accidentales. Todas las juntas de contracción deben ser continuas, no escalonadas ni alternadas.

Un método para formar juntas de contracción es cortar mediante aserrado una ranura continua a una profundidad de $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa (pero no menos de una pulgada), para formar un plano debilitado bajo el cual se producirá una grieta, como se observa en la Figura 16. La trabazón de las losas superficialmente agrietadas en forma irregular es, por lo general, suficiente para transmitir cargas a través de la junta.

Figura 16. Tipos de juntas de contracción



Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 32

En losas de gran peralte, es necesario utilizar una sierra mecánica con cortadora de mampostería, cortando por lo menos $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa. El corte debe hacerse lo más pronto posible, después de que el concreto ha sido compactado. El concreto deberá estar lo suficientemente duro para que la sierra no quite el agregado y los bordes del corte no se desmoronen. Si se presenta un agrietamiento antes del corte, significa que la operación se ha retardado

demasiado. Las sierras mecánicas también pueden usarse en losas delgadas. Una mala elección de la hoja de la sierra puede dar como resultado un corte muy lento y un desgaste excesivo de la hoja. Por lo tanto, será necesario consultar al fabricante con respecto al tipo de hoja de sierra que debe utilizarse, de acuerdo con el agregado empleado.

Existen unas tiras prefabricadas de plástico o de metal para formar juntas de contracción y se insertan en el concreto fresco. Antes de que la inserción se lleve a cabo, debe colocarse una cuerda a lo largo de cada línea de junta, para ayudar a que las líneas sean rectas. Debe hacerse una ranura en el concreto fresco con una llana, o con cualquier otra herramienta afilada, antes de insertar dichas tiras. Si es necesario quite la parte superior del aditamento para la junta, esto debe hacerse antes de aplanar con llana.

En pisos para uso industrial, sujetos a poco tránsito de llantas duras, las juntas deben estar rellenas o protegidas con un material epóxico, que proporcione un apoyo adecuado a la junta y que tenga suficiente resistencia al desgaste.

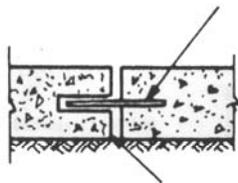
4.5.3 Juntas de construcción

Las juntas de construcción se colocan en la losa cuando las operaciones de colado han concluido en una jornada, y de acuerdo con un esquema de juntas, determinado previamente. Si el colado se interrumpe durante bastante tiempo, de tal manera que se endurezca el concreto ya colado, deberá usarse una junta de construcción.

Las juntas de construcción, cuando sea posible, no deberán colocarse a una distancia menor de 5 pies de la junta paralela más cercana, siguiendo los detalles de las Figuras 17 o 18, según sea más apropiado.

Figura 17. Junta con pasajuntas liso

Pasajuntas liso con manguillo o membrana de polietileno para asegurar la lubricación. Las dimensiones del pasajuntas se obtienen de la tabla 10.



Pintura con un compuesto que rompa la adherencia, antes de colar la siguiente losa

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 35

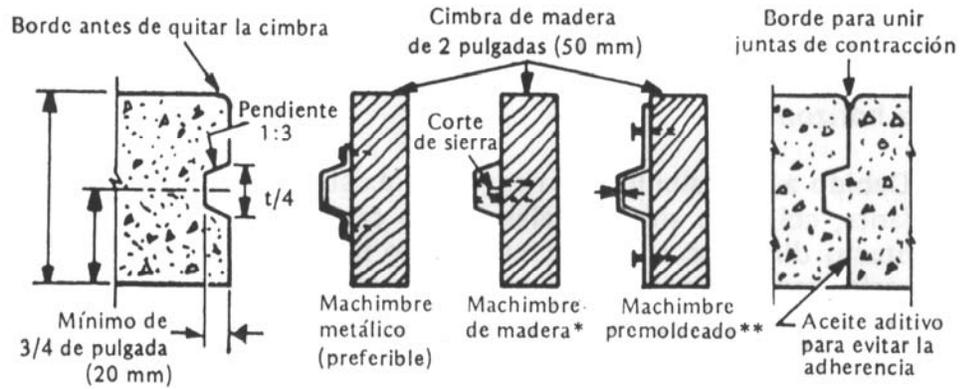
En la tabla X se indican las dimensiones del pasajuntas:

Tabla X. Tamaño y espaciamento de los pasajuntas lisos

Espesor de la losa		Diámetro del pasajuntas liso		Longitud total del pasajunta liso		Separación entre los centros de los pasajuntas lisos	
Plg.	mm.	plg.	mm.	plg.	mm.	plg.	mm.
5-6	120-150	¾	20	16	400	12	300
7-8	180-200	1	25	18	460	12	300
9-11	230-280	1-1/4	35	18	460	12	300

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 35

Figura 18. Detalle de la cimbra en juntas de construcción



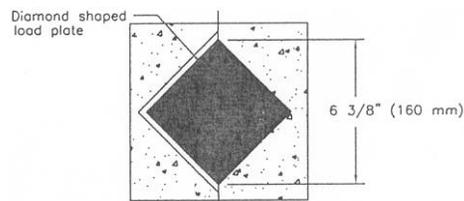
* Una tira biselada de 1 x 2 pulgadas (25 x 50 mm) es la adecuada para una losa con espesor de 4 a 5 pulgadas (100 a 125 mm)

** Puede dejarse permanentemente en la losa, si se clava a la cimbra

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Construcción de losas y pisos de concreto. Pág. 36

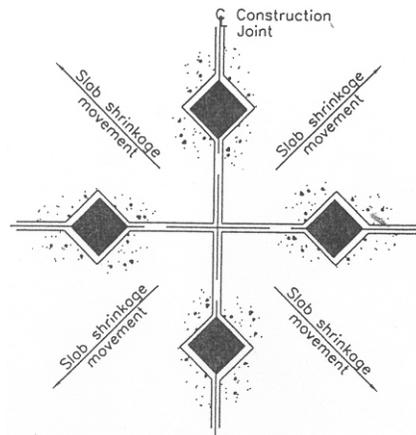
Las placas de carga con forma de diamante (giradas alineando dos esquinas con la junta, como se muestra en la Figura 19), pueden ser usadas reemplazando los pasajuntas en juntas de construcción. La forma de diamante permite que la losa tenga movimiento horizontal sin restricción, cuando la losa se contrae y las juntas se abren, como se puede observar en la Figura 20.

Figura 19. Placa de carga con forma de diamante aplicada en una junta de construcción



Fuente: Comité ACI 302, Guía para la construcción de pisos y losas de concreto. Pág. 13

Figura 20. **Placa de carga con forma de diamante aplicada en una intersección de losas**



Fuente: Comité ACI 302, Guía para la construcción de pisos y losas de concreto. Pág. 14

La Tabla XI nos muestra los tamaños y espaciamientos recomendados para las placas de carga con forma de diamante. Este dispositivo de transferencia de carga puede colocarse a 150 mm. de una intersección. Las placas y las dovelas rectangulares mejoran el soporte en los lados verticales por medio de un material compresible, también permiten el movimiento paralelo y perpendicular a la junta. Estos dispositivos de transferencia de carga son útiles en otros tipos de losas donde la junta debe tener la capacidad de transferir la carga mientras permite algún movimiento diferencial en la dirección de la junta, también podría ser necesario en pisos con pasajuntas en dos sentidos.

Tabla XI. Tamaños y espaciamientos para las placas de carga con forma de diamante

Espesor de Losa, plg. (mm)	Dimensiones de la placa de carga con forma de diamante, plg. (mm)	Espaciamiento de centro a centro de las placas de carga con forma de diamante, plg. (mm)
5 a 6 (125 a 150)	1/4*4-1/2*4-1/2 (6*115*115)	18 (450)
7 a 8 (175 a 200)	3/8*4-1/2*4-1/2 (10*115*115)	18 (450)
9 a 11 (225 a 275)	3/4*4-1/2*4-1/2 (19*115*115)	20 (500)

Fuente: Comité ACI 302, Guía para la construcción de pisos y losas de concreto. Pág.

5. PISOS DE CUARTOS REFRIGERADOS

5.1 Método de construcción

Los suelos de las cámaras o cuartos de congelación se deben aislar con una o varias capas de aislamiento térmico, para reducir parte del calor que por conducción atraviesa el suelo hacia el interior de la cámara, enfriando el subsuelo.

A pesar del aislamiento térmico del suelo, debe compensarse la cantidad del calor que lo atraviesa, para evitar que se congele el subsuelo. Si esto ocurre, el subsuelo se expandiría hacia arriba levantando y agrietando el piso de la cámara, llegando incluso a debilitar la cimentación del edificio.

Por lo tanto, se recomienda el siguiente proceso constructivo, para evitar el congelamiento del subsuelo:

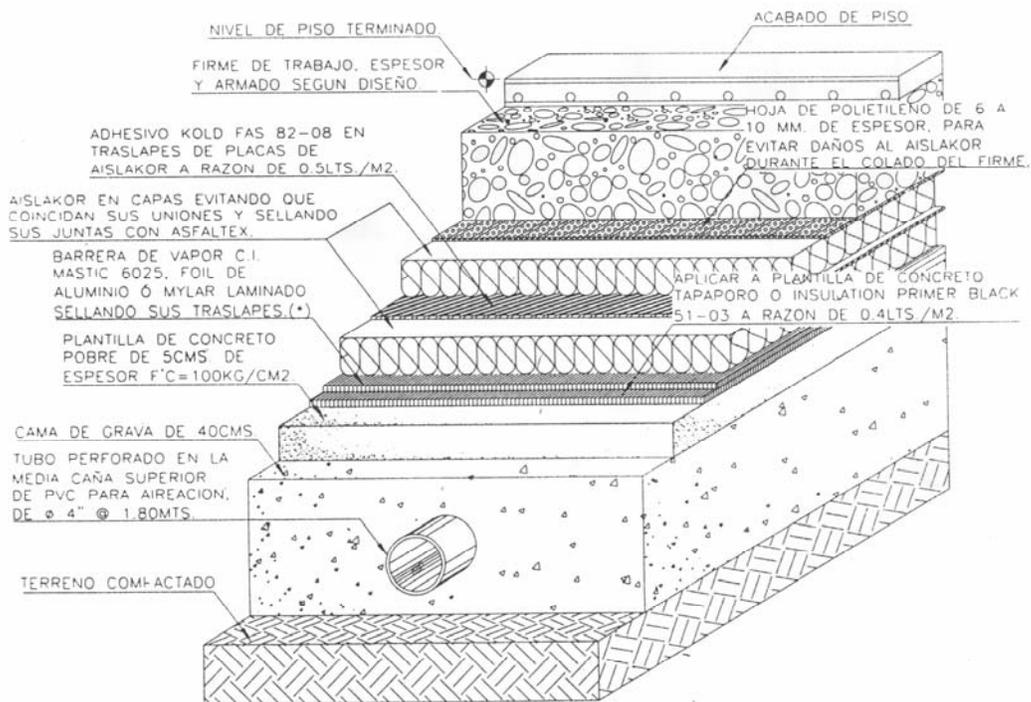
1. Preparación del terreno de apoyo, según lo descrito en el inciso 2.1.
2. Si el cuarto o cámara operará con temperaturas de congelación (menor a 0 °C), se deberá realizar un sistema de aireación; ya sea natural o de calefacción artificial, para evitar que la temperatura del subsuelo baje de 0 °C.

➤ **Sistema de aireación natural.**

Este sistema es el más económico. Se instala una red de tubería bajo el suelo permitiendo la ventilación del subsuelo, como se muestra en la figura 19. El aire puede fluir por fuerza natural o por medio de un ventilador que lo inyecte.

Los tubos forman focos de calor que se disipa fácilmente en el subsuelo frío; deben estar previstos de algún sistema para drenaje ubicado a ambos extremos, o bien, tener agujeros perforados a todo lo largo. La cama de grava en donde se entierran los tubos, hace que la cantidad de aire existente sea mayor.

Figura 21. Sistema de aireación natural

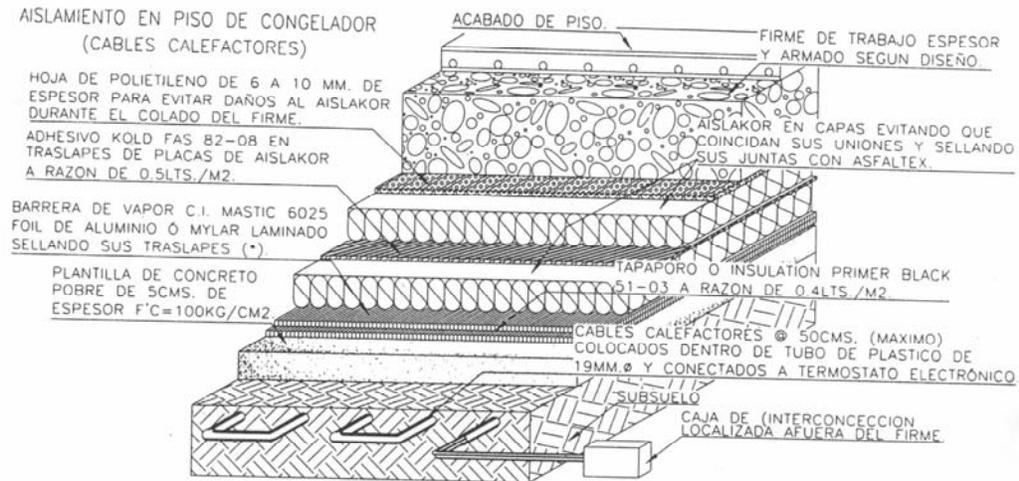


Fuente: www.multypanel/refripanel/boletintecnico3.com

➤ **Sistema de calefacción artificial.**

Mediante cables calefactores, glicol y aire caliente, como se muestra en la figura 20.

Figura 22. Sistema de calefacción artificial.



Fuente: www.multipanel/refripanel/boletintecnico3.com

El sistema recomendado dependerá de las condiciones particulares y de diseño de cada proyecto.

3. Colar una plantilla de concreto pobre $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ de 5 cm. de espesor.
4. Crear una barrera de vapor. Se aplica un tapaporo (material asfáltico), y luego se adhiere una capa plástica (nylon). Esta barrera de vapor es necesaria debido a que el concreto es un material permeable y se debe evitar que migre la humedad hacia arriba.
5. Colocar el aislamiento requerido, según tabla 2.
6. Colocación de hoja de polietileno para evitar daños al aislante (si es necesario).
7. Colado del piso final y aplicación del acabado.

El espesor del piso final deberá cumplir con lo descrito en el inciso 4.2, en cuartos refrigerados, generalmente, el espesor es de 15 cm. y se le coloca electromalla para el refuerzo por temperatura. El tipo de concreto para el piso final, deberá cumplir con los requisitos de la Tabla 7; deberá tener una relación agua-cemento igual o menor a 0.45, una resistencia a compresión de por lo menos $f'c = 315 \text{ Kg/cm}^2$, y se le deberán aplicar los siguientes aditivos; incluso de aire, retardante, superplastificante y minerales finamente divididos.

En el caso de cuartos de congelación que operen con temperaturas por debajo de $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, podrá utilizarse un concreto sintético a base de poliéster, vinyl ester o grout epóxico, debido a que no contiene agua y los agregados no son pétreos. Puede resistir adecuadamente las contracciones y dilataciones provocadas por la baja temperatura de las cámaras y por los ciclos de congelación y deshielo.⁷

5.2 Problemas en losas

Uno de los principales problemas en losas de cuartos fríos, es el congelamiento de la humedad contenida en el suelo debajo del piso, lo cual, hace que el subsuelo se expanda hacia arriba levantando y agrietando el piso del cuarto, llegando incluso a debilitar la cimentación del edificio. Otro problema es la infiltración de calor en el cuarto, provocando un consumo eléctrico elevado y costoso, así como un mayor esfuerzo por parte de los equipos. Para evitar los problemas mencionados anteriormente, se recomienda utilizar el método constructivo descrito en el inciso 4.6.

También pueden ocurrir los problemas existentes en cualquier losa. Al revisar las causas de imperfección en pisos y losas, resulta evidente que los

detalles encontrados con más frecuencia, se derivan al realizar el aplanado mecánico en un momento inadecuado. Cualquier operación de acabado que se realice cuando haya exceso de humedad o agua de sangrado en las superficies, causará superficies polvorosas, la producción de escamas, redes de fisuras y reduce la resistencia al desgaste. El acabado no se debe realizar hasta que el concreto soporte la presión del pié, dejando cuando mucho una huella de sólo $\frac{1}{4}$ de pulgada de profundidad.

El concreto debe trabajarse en cualquier condición que se encuentre en el momento del colado, pero si contiene demasiada humedad, el revenimiento debe reducirse al mínimo. Además de las fallas enumeradas, trabajar demasiado el concreto excesivamente húmedo, llevará al mortero fluido a las áreas bajas; este mortero fluido se asentará más que las áreas circundantes y, como resultado, dejará zonas bajas.

Otra causa muy común es la falta de curado rápido. La palabra clave es “rápido” y el grado de rapidez en que pueda completarse el curado mejorará en mucho la calidad de la superficie de pisos y losas, sobre todo en clima seco. El curado con agua es el mejor método, siempre que la losa se mantenga húmeda continuamente.

El concreto tiene la capacidad de proporcionar una superficie muy durable, útil y de aspecto agradable. Cuando esto no sucede, se debe a algunas causas que orillaron a esta situación, las cuales, se describen a continuación. Teniendo esto presente, es posible evitar resultados no satisfactorios. Cuando la corrección de una causa particular no sea tan obvia, se hará referencia al procedimiento más adecuado y prometedor.

Casi nunca habrá una causa única para que exista una determinada falta; por lo general, éstas suceden por una combinación de causas. La influencia de cualquier causa variará de acuerdo con el grado de desviación del método correcto, en las propiedades de los materiales empleados, al igual que con la temperatura ambiente y otras condiciones en el clima, que prevalecen durante el trabajo. Por lo tanto, el número de combinaciones posibles de causas, es infinito. Si se evitan las mencionadas, que provocan diversas fallas, se podrá estar seguro de la obtención de resultados satisfactorios.

➤ **Agrietamiento**

• **Restricción**

El agrietamiento se produce por la restricción a los movimientos originados por la contracción térmica o por el secado. La proporción de la contracción por secado se reducirá un poco al poner en práctica todos los medios conocidos para minimizar el contenido de agua, de mezclado en el concreto y con menor revenimiento. La disminución del contenido de agua por medio de aditivos e inclusión de aire, tiene poco efecto en la contracción por secado. Sin embargo, un potencial considerable de contracción por secado, continuará ocasionando agrietamientos de aspecto desagradable cuando se presenten las siguientes prácticas inadecuadas:

- a. Si las juntas de contracción o ranuras y las de construcción, están muy separadas entre sí.
- b. Las ranuras de las juntas de contracción sólo son superficiales y no fueron trabajadas para tener una profundidad igual a $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa, o más.
- c. Las losas están demasiado restringidas en su perímetro.
- d. No hay juntas de aislamiento alrededor de las columnas.

- e. Omisión de juntas en ángulos entrantes.
- f. El concreto es una mezcla de baja resistencia que contiene muy poco cemento, demasiada agua, o ambos.
- g. Un curado deficiente permite una considerable contracción por secado, antes de que el concreto desarrolle la resistencia suficiente para soportarla. Esto es muy común en climas secos y calientes, o en climas fríos cuando la humedad es baja y también se incluye la contracción térmica.
- h. Las losas están ligadas por su parte inferior a una estructura subterránea, como por ejemplo a las zapatas.

- **Otras causas de agrietamiento**

El agrietamiento también puede ser resultado de otros fenómenos diferentes de la contracción. Entre las causas de más importancia están:

- a. Soporte no uniforme, proporcionado por una subrasante preparada en forma inadecuada, falta de drenaje, debido al alabeo.
- b. Arcilla expansiva en la subrasante.
- c. Sulfatos húmedos en la subrasante.
- d. Concreto colado sobre el relleno de juntas existentes.
- e. Relleno y sellado inadecuado de juntas.
- f. Cargas excesivas.
- g. Algún impacto.
- h. Fractura causada por la reacción álcali-sílice.
- i. Fractura por corrosión del acero de refuerzo.
- j. Congelación y deshielo a lo largo de los bordes y en las esquinas.
- k. Movimientos de tierra causados por construcciones contiguas.

- **Agrietamiento a edad temprana**

Cierto tipo de agrietamiento puede ocurrir antes de que el concreto haya fraguado. Esto puede complicar considerablemente las operaciones de acabado. Como por ejemplo:

- a. Agrietamiento por contracción plástica.
- b. Agrietamiento por asentamiento del concreto, alrededor de las varillas de refuerzo y de otros elementos empotrados.
- c. Agrietamiento a lo largo de los bordes, cuando la formaleta no es firme.
- d. Daños causados al retirar la formaleta.

Dichos agrietamientos en el concreto no endurecido pueden cerrarse apisonándolo y golpeándolo. Estas operaciones pueden llevarse a cabo, pero deben tomarse las precauciones necesarias para eliminar las causas de agrietamiento en el trabajo restante.

- **Agrietamiento superficial sin patrón definido o en forma de mapa.**

El agrietamiento superficial sin patrón definido o en forma de redes o mapa es otra forma de agrietamiento por contracción, pero este tipo no es muy profundo. Esto se debe a una contracción mucho mayor de la superficie, en todas las direcciones, que del concreto que se encuentra bajo ella. La restricción ejercida por el concreto del fondo, produce como resultado grietas en todas direcciones con separaciones cortas. Este agrietamiento consiste en pequeñas grietas, casi invisibles, que rodean áreas contiguas con dimensión menor de 1 o 2 pulgadas. El agrietamiento en forma de mapa es similar, pero las grietas son más visibles y las áreas circundadas por las grietas son mayores. Las condiciones que favorecen estos tipos de agrietamiento son:

- a. Ocurre el secado en lugar de hacer el curado antes de que se desarrolle suficiente resistencia, sobre todo después del aplanado con llana metálica dura.
- b. Curado con agua mucho más fría que el concreto.
- c. Condiciones alternadas de mucha y poca humedad a edades tempranas.
- d. Agitado excesivo, uso de maestras vibradoras y aplanadoras mecánicas.
- e. Trabajar demasiado el concreto y aplanarlo con llana en forma excesiva, en especial cuando la superficie está demasiado mojada.
- f. Aplanado preliminar y de acabado, realizado antes de tiempo.
- g. Cemento seco espolvoreado sobre la superficie, antes del aplanado con llana metálica.
- h. Demasiada arcilla e impurezas en los agregados.
- i. Los operarios encargados del acabado aplican agua a la superficie.

➤ **Baja resistencia al desgaste**

Esto se debe principalmente al empleo de morteros o concretos de baja resistencia, especialmente en la superficie. Estas bajas resistencias surgen de:

- a. Demasiada agua de mezclado.
- b. Cantidad insuficiente de cemento.
- c. Relación agua/cemento superior a 0.50.
- d. Revenimiento excesivo, causante del sangrado y de llevar el material suave, más ligero, a la superficie.
- e. Trabajar demasiado el concreto excesivamente mojado.
- f. Aplanados preliminar y de acabados prematuros, causando que el agua de sangrado penetre en el mortero de la superficie.
- g. Excesivo uso de agua por parte de los peones encargados del acabado.
- h. Excesiva cantidad de aire incluido en el mortero de la superficie.

- i. Curado deficiente.
- j. Carbonatación de la superficie causada por calentadores sin escape, utilizados para la protección contra clima frío.
- k. Deterioro del potencial de resistencia de la superficie a causa de congelamiento a edad temprana.
- l. Apertura demasiado rápida al tránsito abrasivo; es decir, antes de que se desarrolle la suficiente resistencia.

➤ **Superficie susceptible a desprender polvo**

La superficie polvorosa es otro aspecto importante que pone de manifiesto la existencia de un concreto débil en la superficie. Es causada por:

- a. Mezclas demasiado húmedas.
- b. Aplanados preliminar y de acabado, en presencia de agua de sangrado, ocasionando que ésta penetre en la superficie.
- c. Arcilla, impurezas y materias orgánicas en los agregados.
- d. Uso de polvo de cemento para secar la superficie y darle un acabado a edad temprana.
- e. Se aplica agua a la superficie durante el acabado.
- f. Calentadores sin escape utilizados para la protección contra clima frío.
- g. Curado inadecuado, especialmente en clima seco.

➤ **Descascaramiento**

La presencia de descascaramiento provoca una apariencia áspera de algunas superficies después de estar expuestas al congelamiento y deshielo.

Por lo general, la profundidad del descascaramiento es inferior a ½ pulgada. Las principales causas de este problema son las siguientes:

- Permeabilidad y baja calidad, debidas a:
 - a. Bajo contenido de cemento.
 - b. Elevada relación agua/cemento (superior a 0.50).
 - c. Revenimiento excesivo.
 - d. Trabajar en exceso el concreto húmedo.
 - e. Operaciones de acabado prematuras.
 - f. Curado inadecuado.

- Poco o ningún contenido de aire incluido debido a:
 - a. Omisión del uso de un aditivo inclusor de aire.
 - b. Aire extraído por trabajar demasiado el concreto excesivamente húmedo en operaciones de acabado prematuras.
 - c. Bajo contenido de aire debido a demasiado tiempo de mezclado, o a temperatura del concreto demasiada alta para una dosificación particular del aditivo inclusor de aire, o a distribución inadecuada del aditivo inclusor de aire.

- Contenido de aire demasiado bajo para resistir el efecto de sales usadas para eliminar el deshielo.

- Protección térmica inadecuada, permitiendo la congelación de la superficie a edad muy temprana.

- Exposición de concreto nuevo al congelamiento y deshielo, antes de que haya sido curado en forma adecuada y se haya permitido que seque. La

aplicación de sales descongelantes a una edad temprana aumenta, en gran parte, la probabilidad de que se presenten escamas.

- Las causas de la presencia de burbujas o ampollas, lo cual aumenta la vulnerabilidad a la formación de escamas.

➤ **Burbujas reventadas**

La apariencia característica de este problema es la presencia de huecos, de forma casi cónica, en la superficie de partes planas, dejados por la expulsión de una pequeña porción de concreto, la cual fue causada por la presión interna. Esta presión puede haber sido generada por la expansión permanente de un pedazo de sílice amorfa en calizas o calizas de grano fino, pizarra, caliza quemada, dolomita quemada, pirita o carbón mineral. Los dos primeros son ingredientes naturales de algunos agregados, los demás se encuentran, en ocasiones, como impurezas de los mismos. En algunos materiales, la expansión es provocada por la absorción de la humedad, y en otras, por un cambio químico. El diámetro de los agujeros dejados por el desprendimiento, varía de 3/8 a 2 pulgadas o más.

Debido a que las burbujas reventadas no disminuyen demasiado la integridad del concreto, algunas veces son tolerables. Sin embargo, no proporcionan un aspecto agradable e interfieren en la textura de la losa.

La presencia de impurezas en el concreto puede estar fuera del control del constructor de pisos, ya que con frecuencia ocurre inesperadamente en la producción y en el manejo de concreto premezclado o de sus ingredientes. Sin embargo, la presencia de sílice amorfa o en calizas o calizas de grano fino,

contenidas en los agregados, puede ser un problema local continuo. Estas son algunas de las medidas que se pueden aplicar para solucionar el problema:

- a. Si es posible cambiar de banco de agregados, utilizando aquéllos que no sean perjudiciales para un trabajo sin problemas.
- b. Construir pisos de dos capas, utilizando agregado seleccionado o importado, sin probabilidad de desprendimiento para la capa superior.
- c. Si es económicamente posible, el productor del agregado no adecuado debe hacerlo útil, utilizando un medio de separación.
- d. Prohibir la aplicación de capas o membranas impermeables, tales como coberturas epóxicas, de cera u otro tipo, agrava los problemas de desprendimiento.
- e. Utilizar el menor revenimiento posible para evitar que floten las partículas potenciales causantes de los problemas de desprendimiento.
- f. Es posible que en algunas áreas y situaciones estas medidas no sean prácticas. Se han desarrollado métodos particulares que han sido útiles para minimizar los desprendimientos.

➤ **Ampollas o burbujas**

Las burbujas pueden presentarse cuando la superficie no permite que el agua y/o el aire escapen a la atmósfera. Esto se produce si se “cierra” la superficie demasiado pronto. Este “cierre” temprano de la superficie se hace con frecuencia cuando la superficie del concreto endurece, seca o fragua de manera más rápida que el resto del concreto. Las situaciones que conducen a la presencia de burbujas son:

- En la mezcla del concreto, los factores que generalmente hacen la mezcla más pegajosa son:

- a. contenido excesivo de aire incluido en el concreto.
- b. granulometría inadecuada y/o impurezas en los agregados.
- c. exceso de finos.

- Exceso de finos llevados a la superficie por:
 - a. alto revenimiento.
 - b. exceso de vibración durante el colado y la compactación.
 - c. Enrase excesivo; demasiadas pasadas de enrasadores manuales o vibratorios.
 - d. excesivo aplanado para compensar la compactación, enrase y nivelación inadecuados.
 - e. técnica inadecuada en el manejo de aplanadoras mecánicas o manuales, tales como un exceso de empleo de la llana o uso de llanas con ángulos muy inclinados.

- Condiciones de clima y de trabajo:
 - a. rápido secado y fraguado de la superficie.
 - b. fraguado lento del concreto de las capas inferiores.
 - c. realización demasiado temprana del acabado, originada por un reducido número de operarios para el área, en condiciones existentes y cambiantes que se presentan en el trabajo.
 - d. iluminación inadecuada durante las operaciones de aplanado con llana y cerrado de la superficie.

Evitando las causas mencionadas, se reducirá la posibilidad de la presencia de burbujas.

➤ Astillado

A diferencia de las escamas y de las burbujas, las astillas constituyen una falla por desprendimientos más profundos de la superficie, a menudo separándose el concreto en el primer emparrillado del acero de refuerzo. Además de la mala apariencia, las astillas pueden producir grandes deterioros en la utilidad de diversas superficies estructurales expuestas al aire libre. Es más probable que la presencia de astillas en pisos interiores se deba a fallas en la adherencia de pisos de dos capas pero, por supuesto, esto también puede suceder en pisos exteriores.

Entre las causas de las diferentes clases de astilleo se encuentran las siguientes:

- Espesor insuficiente del recubrimiento sobre el acero de refuerzo.
- Concreto y mortero de baja calidad en el recubrimiento sobre el acero de refuerzo. Ese mortero de baja calidad falla al proteger el acero de la corrosión destructora, ya que tiene baja densidad y alta permeabilidad debida a:
 - a. demasiada manipulación del concreto excesivamente húmedo durante el acabado.
 - b. pérdida considerable de aire durante las operaciones de acabado del concreto excesivamente húmedo.
 - c. Problemas de sangrado excesivo durante el acabado, especialmente en clima frío.
 - d. curado inadecuado o retardado.
 - e. junteo y sellado inapropiados.
 - f. grave agrietamiento en forma de mapa, lo que permite que el agua y las sales ataquen al acero a través de las grietas.
- Adherencia inadecuada en pisos de dos capas, debida a:

- a. baja calidad del concreto en el lecho superior de la capa inferior.
- b. contaminación no eliminada de la superficie de la capa inferior.
- c. diferencia de contracción entre las capas superior e inferior.
- d. secado de la lechada de adherencia antes del colado de la capa superior.
- e. presión excesiva en las juntas donde el material prefabricado de junteo fue cubierto con concreto.
- f. restricción al movimiento de las losas de plataformas sobre muros de carga y muelles, debido a la prevención inadecuada de tales movimientos.

➤ **Áreas claras u oscuras**

Las áreas oscuras no necesariamente indican calidad inferior, a menos que exista evidencia del uso de cemento seco, aplanado con llana, sobre la superficie, el cual absorbería el exceso de agua de curado. A continuación se enumeran las causas de áreas oscuras que, por lo general, no deterioran la calidad de servicio:

- Uso de cloruro de calcio en el concreto. Cuando se utiliza este compuesto en la mezcla, afecta a los ingredientes que contienen hierro, dando como resultado el color más oscuro. Las áreas oscuras y el color más oscuro de las mezclas que contienen cloruro de calcio, se exageran por un curado inadecuado.
- Depresiones en las cuales el agua permanece más tiempo antes de evaporarse.
- Aplanado extra con llana metálica en áreas de fraguado avanzado.

- El curado con plástico puede causar una variación en el color en los lugares en donde la lámina plástica está en contacto con la superficie y otro color donde no hay contacto.
- Mayor contenido de cemento o menor relación agua/cemento en el área oscura, en comparación con el área más clara que se encuentra adyacente a ésta
- Cambio en la fuente de abastecimiento o en el tipo de cemento.
- Aplicación no uniforme de aditivos secos. Las áreas de color claro pueden contrastar con las áreas oscuras adyacentes; se puede decir que esto no deteriora el servicio. Si las áreas de color claro son causadas por demasiado trabajo local o por concreto excesivamente húmedo, la superficie se debilitará y el servicio resultará afectado. Esto puede originarse por un concreto de alto revenimiento o por un acabado realizado mientras hay exceso de humedad o agua de sangrado sobre la superficie.

➤ **Charcos y drenaje inadecuado**

Los charcos o “fuentes de pájaros”, sobre una losa exterior de concreto después de una lluvia, o en una losa interior después de regar con manguera, indica un drenaje deficiente de la superficie del piso de losa. Entre las principales causas de esto se encuentran las siguientes:

- Pendiente inadecuada. Un drenaje apropiado exige una pendiente de una pulgada por pie.
- Inexactitud al establecer los niveles de las guías maestras.
- Alteración de la colocación del nivel de las guías maestras durante el colado.

- Operación de enrase en la cual las zonas bajas se rellenan con mortero y concreto extra húmedo. El mortero y concreto más húmedos se asientan más que las áreas circundantes, durante el intervalo entre el enrase y las operaciones de aplanado.
- Concreto fresco demasiado húmedo o con humedad variable. El trabajar escasamente este concreto dará como resultado áreas con cantidad excesiva de mortero en la superficie, las cuales se asentarán más que las áreas circundantes.
- Omisión de la revisión regular y frecuente de niveles e inclinaciones con escantillones durante el aplanado, y arreglo de las zonas bajas, localizadas de esa manera.
- Rasurado de juntas sin eliminar la pequeña cantidad de mortero desplazada. El saliente de mortero puede actuar como presa.
- Concreto mal acabado cuando se utilizan guías maestras mojadas.
- Colado del concreto en la parte inferior de una pendiente donde se acaba de colar concreto fresco.

➤ **Ondulación y alabeo**

Algunas losas se alabean hacia arriba en las esquinas y en el perímetro. Esta condición es muy común en losas inclinadas. Cuando esto sucede, las esquinas y los bordes no quedan apoyados y tienden a fallar bajo carga.

Las losas también pueden estar alabeadas en el centro porque los operarios del acabado dan al centro un acabado más bajo que las guías maestras. Esto puede notarse con facilidad al enrasar con escantillones después del acabado.

El alabeo es causado por contracción diferencial entre las partes superior e inferior de una losa, principalmente, por la contracción por secado. La parte superior se seca y se contrae, mientras que la parte inferior permanece húmeda y sufre pocos cambios de dimensión.

Existen cinco elementos básicos para la reducir el alabeo:

- Tratar de igualar el contenido de humedad y temperatura de las partes superior e inferior de la losa.
- Usar una mezcla de concreto con características de baja contracción.
- Colocar las juntas con separaciones más pequeñas entre ellas, de manera que el movimiento total de cada losa sea menor.
- Usar concreto compensador de contracción.
- Colocar el refuerzo en el tercio superior de la losa.

Algunas de las medidas que pueden reducir las diferencias de humedad, entre las partes superior e inferior de la losa, son las siguientes:

- Dar un buen curado a la losa, sobre todo a edades tempranas. De preferencia, se debe curar con un compuesto de curado en vez de hacerlo con agua, especialmente después del primer día. Esto puede reducir el contenido total de agua en el concreto y, así, ayudar a disminuir las diferencias de humedad.
- Reducir la pérdida de humedad de la parte superior de la losa, utilizando cubiertas, selladores y ceras. Esto también ayuda a reducir la carbonatación, lo cual fomenta la contracción de la superficie.
- Usar rellenos de grava o roca triturada bajo las losas, en lugar de barreras de humedad. Esto permitirá alguna pérdida de humedad en la parte inferior de la losa. El espesor de los rellenos debe ser de 5 pulgadas a 1 pie o más. El relleno debe estar diseñado de manera que no retenga agua.

Entre las medidas para reducir la contracción potencial de una mezcla de concreto, se encuentran las siguientes:

- Reducir el contenido total de agua de la mezcla, mediante algunas de estas medidas:
 - a) manteniendo bajos revenimientos.
 - b) reduciendo la temperatura del concreto en el momento del mezclado.
 - c) evitando las largas demoras en el colado, lo cual exige grandes cantidades de agua para mantener trabajable el concreto.
 - d) seleccionando agregados que estén bien graduados, para así obtener una buena trabajabilidad con un contenido de agua mínimo de finos de menor tamaño. Por lo general, los agregados deben ser redondos o cúbicos, con cantidades mínimas de partículas planas o alargadas.
 - e) aumentando el agregado máximo del agregado.
 - f) reduciendo el contenido de arena al mínimo, compatible con una adecuada trabajabilidad, y cumpliendo con los requisitos de agua de mezclado.
 - g) utilizando un aditivo reductor de agua.

- Evitar el uso de los agregados de los cuales se conozca que presentan gran potencial de contracción.

- Evitar aditivos o ingredientes que aumenten la contracción por secado. A menos que el concreto contenga niveles muy bajos de cloruro de calcio, de otro cloruro o de trietanolamina, casi siempre se incrementa la contracción por secado. Los cloruros pueden llegar al concreto por medio de aditivos, agua, agregados o cemento.

- La deshidratación por vacío de las superficies de concreto fresco, efectúa reducciones considerables en el contenido de agua y puede ayudar a disminuir el alabeo de las losas. Puesto que las mallas no se extienden hasta las cimbras y guías maestras, es posible que las juntas en los puntos de cimbras y guías maestras, sean ligeramente más altas que en el resto del área de la losa después de que se haya completado la deshidratación. Cuando vaya a darse servicio al tránsito de vehículos con ruedas, debe considerarse este factor para las operaciones de enrase, nivelación y aplanado.

El colado de concreto a temperaturas menores puede reducir la contracción térmica por enfriamiento. Además, las temperaturas menores permitirán un contenido de agua más bajo en el concreto.

A menudo, la ondulación tiende a disminuir con el paso del tiempo, pues los contenidos de humedad y las temperaturas tienden a igualarse en las losas. Además, es probable que el escurrimiento plástico reduzca dicha ondulación después de un período de varios meses.

La resistencia del concreto debe ser lo bastante alta para que la losa o el piso cumplan su función de manera satisfactoria. Una resistencia excesivamente alta reduce el escurrimiento plástico, lo cual puede acentuar las ondulaciones.⁸

CONCLUSIONES

1. Uno de los principales problemas en losas de cuartos fríos, es el congelamiento de la humedad contenida en el suelo debajo del piso. Principalmente en Guatemala, que en muchas partes del país, el nivel freático está a muy poca profundidad del terreno natural.
2. La barrera de vapor es indispensable, debido a que evita el paso de vapor hacia el piso final.
3. Otro problema es la infiltración de calor en el cuarto, jugando un papel importante el aislamiento, ya que si éste no es eficiente, causará un consumo eléctrico elevado y costoso, así como un mayor esfuerzo por parte de los equipos.
4. Cumpliendo las consideraciones descritas en este trabajo de graduación, se mejora la eficiencia del piso. El costo inicial puede ser alto, pero si no se invierte en los materiales adecuados y se omiten procesos constructivos, posiblemente el costo sea mayor, ya que se tendrá que invertir en reparaciones, o simplemente el costo de operación será mayor, poniendo en riesgo el equipo de enfriamiento y el producto almacenado.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar el sistema de aireación, para evitar que la humedad contenida en el subsuelo se congele.
2. La buena selección del aislamiento, impide la infiltración de calor en el cuarto. El espesor de éste, dependerá del uso y temperatura a la que estará sometida la cámara de refrigeración.
3. Se debe contar con un medio de drenaje dentro del sistema de aireación, para desaguar la pequeña cantidad de agua acumulada dentro del mismo.
4. Con el cumplimiento de especificaciones para el piso final, descritas en este trabajo de graduación, se minimizan los riesgos de fisuras y fallas de la losa, y se prolonga el tiempo de vida útil de la misma.

REFERENCIAS

1. Carrillo Barrera, Estuardo. **Diseño y montaje de una bodega refrigerada para el almacenamiento de embutidos en la compañía Perry, S.A.** Guatemala. 2002.
2. Noriega Guzzardi, David José. **Consideraciones para el diseño de cuartos refrigerados para alta y baja temperatura.** Guatemala. 1999.
3. Ídem. Ref. 1.
4. www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/cuartos.htm
Agosto 2004.
5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Diseño y control de mezclas de concreto.** México. 1992.
6. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Construcción de losas y pisos de concreto.** Editorial Limusa, 1990.
7. www.multypanel.com/productos/boletín_refripanel.pdf
Marzo 2006.
8. Ídem. Ref. 6.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Construcción de losas y pisos de concreto**. México: Editorial Limusa, 1990. 131 pp.
2. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. **Diseño y control de mezclas de concreto**. México: Editorial Limusa, 1992. 225 pp.
3. Noriega Guzzardi, David José. Consideraciones para el diseño de cuartos refrigerados para alta y baja temperatura. Tesis Ing. Mecánica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 163 pp.
4. Carrillo Barrera, Estuardo. Diseño y montaje de una bodega refrigerada para el almacenamiento de embutidos en la compañía Perry, S.A. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 63 pp.
5. Huertas Recinos, Jorge Luis. Introducción al estudio de cuartos de refrigeración. Tesis Ing. Mecánica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1971. 145 pp.
6. American Concrete Institute. **Guide for Concrete Floor and Slab Construction**. ACI 302.1R-04
7. American Concrete Institute. **Guide for Measuring, Mixing, Transporting and Placing Concrete**. ACI 304-85
8. American Concrete Institute. **Admixtures for Concrete**. ACI 212.1R-96
9. American Concrete Institute. **Building Code Requirements for Reinforced Concrete**. ACI 318-95

10. www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/cuartos.htm
Agosto 2004

11. www.multypanel.com/productos/boletín_refripanel.pdf
Marzo 2006