



2016



BDM<sup>®</sup>  
LOSA PREFABRICADA

Manual de Diseño y Cálculo  
Estructural

*Nacemos con la inquietud de **romper paradigmas** arquitectónicos y constructivos.*



# Índice

01.00	Introducción	3
02.00	Referencias	6
03.00	Materiales	7
04.00	Acciones	14
05.00	Combinaciones	15
06.00	Análisis	16

---

Derechos Reservados 2016. Danstek® S. De R.L. de C.V.

*\*Todo el contenido gráfico y de texto en este manual es propiedad de Danstek® S. De R.L. de C.V. Sin embargo, cualquier uso inadecuado de este contenido no será imputable para Danstek® S. De R.L. de C.V.*

# 01.00

## Introducción

El siguiente manual ha sido elaborado por el Departamento de Ingeniería de **Danstek®**, con el propósito de brindar una guía práctica de diseño de la losa que integra la tecnología **BDM®** para los sistemas constructivos de edificaciones.

### Descripción del sistema

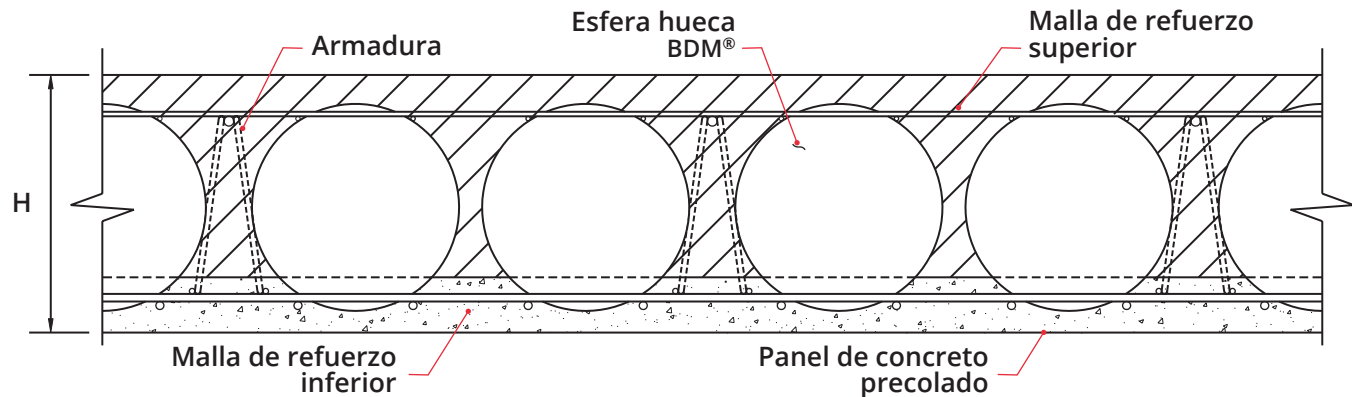
La tecnología **BDM®** es un sistema de piso prefabricado compuesto por tres elementos:

1. Base de concreto precolado
2. Refuerzo de fabricación en base a una doble parrilla de acero en los lechos superior e inferior, conectada por medio de una armadura.
3. Esferas huecas de plástico de diferentes diámetros, que elimina concreto no estructural.

En sitio es necesario una capa superior de concreto colado en sitio.

El proceso de fabricación consiste en colocar la malla de ingeniería (*parilla*) inferior posicionar las esferas, colocar y soldar la escalerilla, posteriormente se coloca la malla de ingeniería superior y se realiza los puntos de soldadura para conectar y dejar la jaula de acero y esferas listas para el siguiente paso.

Una vez que esta lista la jaula se coloca sobre la cama metálica de donde la espera la capa de 6 cm de espesor de concreto de acuerdo a diseño, donde se fraguara por 24 horas, para formar el Panel **BDM®** y ser enviado.



## 01.01

# Condiciones generales

El sistema de piso tipo **BDM**<sup>®</sup> es un sistema que trabaja como losa en dos direcciones, su análisis y diseño es por medio de métodos convencionales para losas macizas cumpliendo con los reglamentos de concreto reforzado vigentes y aplicables en México.

La carga intrínseca reducida se considera dentro del propio sistema. Las zonas macizas son definidas por medio de la capacidad de cortante resistida por el concreto sin la necesidad de ningún tipo de refuerzo.

La distribución de esferas huecas, mallas y módulos prefabricados pueden ser variables, lo que brinda una gran flexibilidad, permitiendo que los módulos se pueden adaptar a cualquier geometría de proyecto, con la posibilidad de integrar el ramaleo por losa instalaciones hidráulicas, eléctricas, voz y datos.

Además de poder realizar cualquier paso o ducto por losa para instalaciones sanitarias, aire acondicionado, hidrónica, etc.

## 01.02

# Variantes de ejecución

La losa que integra el Panel **BDM**<sup>®</sup> es diseñado como un módulo prefabricado donde la prelosa de 6 cm de concreto funge como cimbra y acabado, su versatilidad permite combinar con diferentes métodos de construcción como puede ser el presfuerzo. En este sistema se puede hacer uso de cualquier calidad y densidad de concreto, así como de acero de refuerzo. Todos los detalles de conexión y requerimientos del sistema pueden ser diseñados y ejecutados de la misma forma que una losa maciza de concreto reforzado convencional.

### 01.02.1 | Procedimiento

#### A. Diseño

- Se analizan la integración del sistema **BDM**<sup>®</sup> al proyecto.
- Se toma la decisión del sistema **BDM**<sup>®</sup>.
- Se realiza diseño estructural integrando el panel **BDM**<sup>®</sup> como losa tapa o estructural.

## B. Diseño

- La planificación de la estructura debe ser aprobada por el cliente.
- Presentación del plan como base para ejecución de la obra.
- Preparación de un plan propuesto para **BDM®**.

## C. Producción

- La aprobación del plan por el cliente.
- Preparación de los planos **BDM®** por el diseñador.
- Entrega de planos para la realización de módulos en planta.
- Supervisión de la producción y la entrega de módulos **BDM®** en obra.

## Ejecución

- Colocación de módulos **BDM®** por la empresa contratada en sitio de acuerdo al Manual de procedimientos generales.

## 01.02.2 | Definición de losa plana

Las losas planas son aquellas que se apoyan directamente sobre las columnas, sin la intermediación de vigas. Estas pueden tener ampliaciones en las partes inferiores en la conexión de losa-columna o ser de peralte uniforme, a este último se les denomina como placa plana. Las losas pueden ser macizas o aligeradas. El aligeramiento se realiza incorporando entre la losa bloques de materiales con menor densidad que el concreto pudiendo ser cartón, poliestireno, plástico, moldes de fibra de vidrio u otro material.

El sistema **BDM®** se puede utilizar como un sistema de piso de losa plana o como un sistema de piso apoyado sobre trabes y/o muros. El diseño de estos sistemas se puede analizar por métodos de análisis y diseño indicados en literatura o con ayuda de softwares para análisis y diseño de estructuras de concreto, como es el caso de **ETABS, SAP, ECOgcW, RAM ADVANSE** o softwares especializados en sistemas de piso como **SAFE o RAM CONCEPT**.

Los métodos de análisis utilizados para el diseño de losas planas son:

- a. Método directo
- b. Método de la estructura equivalente
- c. Líneas de fluencia
- d. Método de elemento finito

Para el diseño de losas apoyadas perimetralmente se puede utilizar los coeficientes de diseño de losas indicados en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

# 02.01

## Referencias

La tecnología **BDM®**, es un sistema que trabaja como una losa plana, y responde a los métodos convencionales de análisis y diseño. Los códigos, reglamentos y normatividad aplicada para el análisis, revisión y diseño utilizados en México

En esta parte se menciona toda la normatividad aplicada así como los códigos y boletines técnicos emitidos por Bubbledeck, cabe mencionar que el reglamento del Distrito Federal permite utilizar normatividad aplicable para la adecuada revisión de otros sistemas, siempre que garanticen la seguridad estructural y el buen comportamiento de las mismas.

- *Reglamento de Construcciones para el Departamento del Distrito Federal. RCDF 2004. México, 2004. Reimpresión 2007.*
- *Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones. 2004. (NTC-SCA-04).*
- *Normas técnicas complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. 2004. (NTC-C-04).*
- *Normas técnicas complementarias para Diseño por Sismo. 2004. (NTC-S-04).*

- *Normas técnicas complementarias para Diseño por Viento. 2004. (NTC-V-04).*
- *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, ACI 318S-08, American Concrete Institute. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, México, 1ª impresión 2008.*
- *Shear Reinforcement for Slabs. ACI 421 . 1R-99 (Reapproved 2006). Joint ACI-ASCE Committee 421. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1999, 15pp.*
- *Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings. December 2004.*
- *The Biaxial Hollow Deck. The way to new solutions. BubbleDeck® Design Guide, 5pp.*
- *Bubbledeck Design Guide for compliance with BCA using AS3600 and EC2. Kyng consulting pty ltd. Australia & New Zealand, October 2008. 18pp.*
- *Note on the Moment Capacity in a Bubble Deck Joint. Tim Gudmand-Hoyer. Lyngby 2003, 33pp.*
- *Technical Paper BubbleDeck® Span Guide, BubbleDeck Voided Flat Slab Solutions. BubbleDeck® UK, St. Saviour, Jersey, January 2009.*

## 03.00 Materiales

Los materiales utilizados para la construcción del sistema **BDM®** son los mismos utilizados para losas de concreto reforzado. En concreto estructural desde **F'c=250 kg/cm<sup>2</sup>** hasta **F'c=500 kg/cm<sup>2</sup>** y acero refuerzo desde **fy=4200 kg/cm<sup>2</sup>** o **fy=5200 kg/cm<sup>2</sup>**. Con revenimiento, vibrado y fraguado estandar.

## 03.01 Esfera

La esfera de plástico hueca utilizada está hecha de polietileno de media densidad reciclado. Manufacturada con once anillos en su geometría para darle una resistencia de 90 kg (*peso promedio de una persona*) y no tenga ninguna deformación en el momento de su transporte y el tránsito de personal en obra.

Los diámetros utilizados para las diferentes peraltes son:

Tabla 1. *Diámetros de esfera para diferentes peraltes de losa tipo BDM®*

Peralte	Espesor final de losa	Diámetro de esfera cm
BDM230	23 cm	18.0
BDM280	28 cm	22.5
BDM340	34 cm	27.0
BDM390	39 cm	31.5
BDM450	45 cm	36.0
BDM510	51 cm	41.0
BDM600	60 cm	50.0

## 03.02

# Concreto

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones de cemento, agregados y agua. Algunas veces se añaden aditivos los cuales mejoran o modifican las propiedades del concreto.

El concreto empleado para resistencia normal empleado para fines estructurales debe ser de clase 1 con un peso volumétrico superior a **2.4 t/m<sup>3</sup>**. (NTC-C-04. Sección 1.5.1).

En la fabricación del concreto se debe de emplear cualquier cemento que cumpla con la finalidad y características de la estructura, que cumpla con la norma **NMX-C-414-ONNCE**. Los agregados pétreos deberán cumplir con los requisitos de la norma **NMX-C-111**. Para la fabricación se considera agregados gruesos con peso específico superior **2.6 t/m<sup>3</sup>**. La arena debe ser andesítica u otra de mejores características.

El agua de mezclado deberá ser limpia y cumplir con los requisitos de la norma **NMX-C-122**. Si contiene sustancias en solución o en suspensión que la enturbien o le produzcan olor o sabor fuera de lo común, no deberá emplearse.

Pueden utilizarse aditivos de acuerdo a las especificaciones de proyecto siempre que se autorice por el Corresponsable de Seguridad Estructural o el Director Responsable de Obra. Los aditivos deberán cumplir con los requisitos de la norma **NMX-C-255**. (NTC-C-04. Sección 1.5.1.1).

### - Resistencia a compresión (NTC-C-04. Sección 1.5.1.2)

Los concretos clase 1 tendrán una resistencia especificada  $f'c$  igual o mayor a **250 kg/cm<sup>2</sup>**.

Para el diseño de elementos se usara el valor nominal de:

$$f_c^* = 0.8 f'c$$

### - Resistencia a tensión (NTC-C-04. Sección 1.5.1.3).

El esfuerzo resistente medio a tensión se puede estimar igual a:

$$1.5 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

La resistencia media a tensión por flexión o módulo de rotura  $\bar{f}_f$  se considera de acuerdo a **NTC-C-04 y ACI-318S-08** igual a:

$$2 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ (ACI-318S-08 Sección 9.5.2.3).}$$



- Para el diseño se debe de utilizar un valor nominal,  $f^*_t$ , igual a  $0.75 \overline{f_f}$   
También puede tomarse:

$$1.3 \sqrt{f^*c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

El módulo de rotura, se puede tomar igual a:

$$1.7 \sqrt{f^*c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

La magnitud del bloque equivalente de esfuerzos del concreto a compresiones,  $f''_c$ , se puede considerar igual a:

$$f''_c = 0.85 f^*c \text{ (NTC-C-04. Sección 2.1e).}$$

#### - Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad,  $E_c$ , se supondrá igual a:

$$E_c = 14\,000 \sqrt{f^*c} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ (NTC-C-04. Sección 1.5.1.4).}$$

$$E_c = 15\,000 \sqrt{f^*c} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \text{ (ACI-318S-08 Sección 8.5.1).}$$

De acuerdo a la experiencia obtenida de los equipos de suministro de concreto, es difícil obtener módulos de elasticidad cercanos a los descritos previamente, por estas fluctuaciones en campo, el diseño de BDM® considera el siguiente módulo de elasticidad:

$$E_c = 12\,000 \sqrt{f^*c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

En la siguiente cedula se indican las diferentes propiedades y valores de diseño de los esfuerzos utilizados y las diferentes resistencias en concreto:

Tabla 2. Valores de las resistencias de esfuerzos para concreto utilizado en BDM®, (kg/cm²).

$f'_c$	$f^*c$	$f''_c$	$f_t$	$f_t \text{ BDM}$	$E_c$ (práctica común)	$E_c$ (DDF-NTC-C-04)	$E_c$ (ACI-318S-08)
250	200	170	31.6	25.3	25.3	221,359	221,359
300	240	204	34.6	27.7	27.7	242,487	242,487
350	280	238	37.4	29.9	29.9	261,916	261,916
400	320	272	40.0	32	32	280,000	280,000

# 03.03

## Malla de ingeniería y acero de refuerzo

La malla de ingeniería es un armado prefabricado electrosoldado diseñado, fabricado y cortado en diámetros, separaciones y dimensiones a la medida de cada caso. El acero de refuerzo es la varilla corrugada o lisa la cual sirve para absorber esfuerzos y quedar ahogado en la masa de concreto.

Como refuerzo ordinario para concreto, puede utilizarse barras de acero y/o mallas de alambre soldado. Las barras serán corrugadas y deberán cumplir con las normas **NMX-C-407-ONNCE, NMX-B-294 o NMX-B457**. La malla cumplirá con la norma **NMX-B-290**. El acero de presfuerzo cumplirá con las normas **NMX-B-292 o NMX-B-293**.

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, **Es**, se supondrá igual a **2x106 kg/cm<sup>2</sup>**.

En el cálculo de resistencias se usarán los esfuerzos de fluencia mínimos, **f<sub>y</sub>**, establecidos en las normas citadas. (**NTC-C-04. Sección 1.5.2**).

Para el diseño de las losas **BDM<sup>®</sup>** se utilizará mallas de ingeniería con **f<sub>y</sub>= 5000 kg/cm<sup>2</sup> y 6000 kg/cm<sup>2</sup>**; que fungen como hojas de refuerzo

prefabricado las cuales ofrecen una amplia variedad de diámetros y separaciones, así como flexibilidad en la modulación para distintas geometrías.

Debido a que el sistema **BDM<sup>®</sup>** confina esferas en el armado, existen distintas separaciones para cada peralte utilizado, en la siguiente tabla se muestra el peralte y la separación entre varillas correspondientes a cada módulo.

**Tabla 3. Separación ente varillas para diferentes peraltes de BDM<sup>®</sup>**

<b>Peralte</b>	<b>Espesor de losa</b>	<b>Separación entre varillas</b>
<b>BDM230</b>	23 cm	10.0 cm
<b>BDM280</b>	28 cm	12.5 cm
<b>BDM340</b>	34 cm	15.0 cm
<b>BDM390</b>	39 cm	17.5 cm
<b>BDM450</b>	45 cm	20.0 cm
<b>BDM510</b>	51 cm	22.5 cm
<b>BDM600</b>	60 cm	27.5 cm

En la **tabla 4** indica las áreas de acero por metro lineal de los diferentes calibres que existen en el mercado, se muestran calibres de 4.11 mm a 12.00 mm indicando su peso por metro lineal y área transversal.

Cada columna muestra el número de varillas por ancho unitario y el área para cada calibre respecto a los peraltes **BDM®** correspondientes. Estas cantidades solo consideran el acero de una parrilla en un sentido. La resistencia del acero,  $f_y$ , es la correspondiente a **5,000 kg/cm<sup>2</sup>**.

El uso de cada tipo de varilla quea en función de los requerimientos de diseño de cada proyecto, donde el tipo de acero, costo y producción, están relacionados con el diseño.

Tabla 4. Áreas de acero para diferentes peraltes BDM.

Área de malla de ingeniería para losas tipo BubbleDeck ( $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$ )									
$\emptyset$	W	Área	BD230	BD280	BD340	BD390	BD450	BD510	BD600
mm	kg/ml	cm <sup>2</sup>	10 cm 10 varillas	12.5 cm 8 varillas	15.0 cm 7 varillas	17.5 cm 6 varillas	20 cm 5 varillas	22.5 cm 4 varillas	27.5 cm 4 varillas
4.11	0.10	0.133	1.33	1.06	0.88	0.76	0.66	0.59	0.48
4.88	0.15	0.187	1.87	1.50	1.25	1.07	0.94	0.83	0.68
5.60	0.19	0.246	2.46	1.97	1.64	1.41	1.23	1.09	0.90
5.72	0.20	0.257	2.57	2.06	1.71	1.47	1.28	1.14	0.93
6.07	0.23	0.289	2.89	2.32	1.93	1.65	1.45	1.29	1.05
6.35	0.25	0.317	3.17	2.53	2.11	1.81	1.58	1.41	1.15
7.01	0.30	0.386	3.86	3.09	2.57	2.21	1.93	1.72	1.40
7.57	0.35	0.450	4.50	3.60	3.00	2.57	2.25	2.00	1.64
7.76	0.37	0.473	4.73	3.78	3.15	2.70	2.36	2.10	1.72
7.95	0.39	0.496	4.96	3.97	3.31	2.84	2.48	2.21	1.81
8.11	0.41	0.517	5.17	4.13	3.44	2.95	2.58	2.30	1.88
8.23	0.42	0.532	5.32	4.26	3.55	3.04	2.66	2.36	1.93
8.44	0.44	0.559	5.59	4.48	3.73	3.20	2.80	2.49	2.03
8.74	0.47	0.600	6.00	4.80	4.00	3.43	3.00	2.67	2.18
9.21	0.52	0.666	6.66	5.33	4.44	3.81	3.33	2.96	2.42
9.50	0.56	0.709	7.09	5.67	4.73	4.05	3.54	3.15	2.58
9.91	0.61	0.771	7.71	6.17	5.14	4.41	3.86	3.43	2.80
10.28	0.65	0.830	8.30	6.64	5.53	4.74	4.15	3.69	3.02
10.64	0.70	0.889	8.89	7.11	5.93	5.08	4.45	3.95	3.23
11.01	0.75	0.952	9.52	7.62	6.35	5.44	4.76	4.23	3.46
11.46	0.81	1.031	10.31	8.25	6.88	5.89	5.16	4.58	3.75
12.00	0.89	1.131	11.31	9.05	7.54	6.46	5.65	5.03	4.11

## 04.00 Acciones

### 04.01 Acciones

Son todas aquellas cargas que no varían con el tiempo como son: el peso de todos los elementos estructurales, trabes, losas, columnas, etcétera, así como de acabados y de todos los elementos no estructurales que ocupan una posición permanente. Su valor se estima de acuerdo a sus pesos volumétricos, máximos probables correspondientes y tomando como base los planos arquitectónicos proporcionados por el cliente.

### 04.02 Cargas vivas

Todas las acciones consideradas como cargas vivas son las fuerzas producidas por el uso y ocupación de las edificaciones y cuya intensidad puede variar significativamente con el tiempo.

Los pesos generados por muros divisorios de mampostería o de otros materiales, muebles, equipos u objetos de peso fuera de lo común se consideran como tal.

Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga viva específica. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en planos estructurales. **(NTC-SCA-04. Sección 6.1.1).**

Para la aplicación de las cargas vivas unitarias se deberá tomar en consideración las siguientes disposiciones:

La carga viva máxima  **$W_m$**  se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como para el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales;

La carga instantánea  **$W_a$**  se deberá usar para diseños sísmico y por viento. Así como cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área;

La carga media  **$W$**  se deberá emplear en el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas.

Cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en el caso de problemas de flotación, volteo y de succión

por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área. (NTC-SA-04. Sección 6.1.2).

El Reglamento de Construcción para el Distrito Federal en las NTC-SCA-04 la clasifica según su uso y ocupación en la estructura proponiendo las mínimas intensidades de carga. Así tenemos que las cargas vivas utilizadas de acuerdo a su uso son:

$W_m$  = Son cargas necesarias debido a los requerimientos específicos de cada proyecto y que no se encuentran especificadas en la tabla. Estas cargas deberán establecerse en base a procedimientos aprobados por la Administración y con base en los criterios establecidos en las NTC-SCA-04 Sección 2.2. Esta carga no deberá considerarse menor a 350 kg/m<sup>2</sup> y deberá especificarse en los planos estructurales y en placas colocadas en lugares fácilmente visibles de la edificación.

**Tabla 5. Cargas vivas unitarias (kg/m<sup>2</sup>).**

Destino de piso o cubierta	$W$	$W_a$	$W_m$	$FCV$
Habitación ( <i>casa habitación, departamento, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares</i> ).	70	90	170	0.41
Oficinas, despachos y laboratorios.	100	180	250	0.40
Aulas.	100	180	250	0.40
Comunicación para peatones ( <i>pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de acceso libre al público</i> ).	40	150	350	0.12
Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales.	40	350	450	0.1
Otros lugares de reunión ( <i>bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, salas</i> ).	40	250	350	0.12
Comercios, fábricas y bodegas.	0.8 $W_m$	0.9 $W_m$	$W_m$	0.8
Azoteas con pendiente no mayor de 5%.	15	70	100	0.15
Azoteas con pendiente mayor de 5%; otras cubiertas, cualquier pendiente.	5	20	40	0.125
Voldados en vía pública ( <i>marquesinas, balcones y similares</i> ).	15	70	300	0.05
Garajes y estacionamientos ( <i>exclusivamente para automóviles</i> ).	40	100	250	0.16

## 04.03

### Cargas transitorias

Durante la fase de construcción se debe de considerar cargas vivas transitorias que se puedan producir. Estas deben de incluir el peso propio de los materiales que se almacenen temporalmente, el de vehículos y equipos, el de colados de plantas superiores apoyadas en losas inferiores y el tránsito de personal el cual no será menor de 150 kg en el punto más desfavorable. *(NTC-SCA-4. Sección 6.1.3).*

## 05.00

### Combinaciones

De acuerdo a las **NTC-SCA-04 Sección 2.3** se establece que todas las estructuras deberán verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente.

**1.- 1.0 CM + 1.0 CV**

**2.- 1.4 CM + 1.4 CV**

# 06.00

## Análisis

### Especificaciones técnicas de la losa BDM®.

De acuerdo a las características recomendadas por **BDM® Internacional** el peralte de la losa se propone de acuerdo a los claros del proyecto, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6.

Peralte	Espesor de losa	Diámetro de esfera	Claros continuos	Máxima longitud de cantiléver	Claro
BDM230	23 cm	180 mm	5-8 m	≥2.5 m	5-6.5 m
BDM280	28 cm	225 mm	7-10 m	≥3.3 m	6-7.5 m
BDM340	34 cm	270 mm	9-12 m	≥4.0 m	7-9.5 m
BDM390	39 cm	315 mm	11-14 m	≥4.5 m	9-10.5 m
BDM450	45 cm	360 mm	13-16 m	≥5.4 m	10-12.5 m
BDM510	51 cm	410 mm	15-18 m	≥6.0 m	11-13.5 m
BDM600	60 cm	500 mm	16-21 m	≥7.0 m	12-15-0 m



Los datos considerados para el diseño de las losas **BDM**<sup>®</sup> con diferentes espesores se encuentran resumidas en la siguiente tabla. La separación de ejes entre esferas puede variar de un peralte a otro.

Tabla 7.

Espesor mínimo de losa	[cm]	23.0	28.0	34.0	40.0	45.0	51.0	60.0
Diámetro de esfera	[cm]	18.0	22.5	27.0	31.5	36.0	41.0	45.0
Distancia mínima a ejes	[cm]	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	45.0	50.0
Máximo número de esferas	[1/m <sup>2</sup> ]	25.0	16.0	11.1	8.16	6.25	4.78	4.0
Reducción de carga por esfera	[kg]	8.16	15.3	26.5	41.8	62.2	93.1	121.3
Reducción de carga por m <sup>2</sup>	[kg/ m <sup>2</sup> ]	194.8	243.7	291.6	340.6	389.5	445.0	486.4
Factor de reducción de rigidez	[-]	0.88	0.87	0.87	0.88	0.87	0.87	0.88
Factor de reducción a cortante	[-]	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60

### Análisis a Flexión

Los parámetros geométricos y de resistencia utilizados para el análisis y diseño de losas tipo **BDM**<sup>®</sup> son los métodos de cálculo para losas macizas o losas planas.

Para que los métodos convencionales de diseño para flexión en secciones rectangulares se puedan ampliar en la revisión de losas con el sistema **BDM**<sup>®</sup> se debe verificar los siguientes límites:

$$\mu_{ms} = \frac{0.196 M_u D}{f^1_c h^3} \leq 0.20$$

### Dónde:

$\mu_{ms}$ : Relación de momento flexionante en la zona de la esfera

$M_u$ : Momento de diseño último obtenido del modelo matemático [t-m]

$D$ : Diámetro de esfera [m]

$f^1_c$ : Resistencia a compresión del concreto [kg/cm<sup>2</sup>]

## - Refuerzo mínimo en elementos sometidos a flexión

### **NTC-C-04 Sección 2.2.1**

El refuerzo mínimo de tensión en secciones de concreto reforzado, se debe de calcular con la siguiente ecuación:

$$A_{s,min} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} bd$$

También se puede considerar que el área mínima de acero,  $A_{s,min}$ , puede ser 1.33 veces el área obtenida del análisis.

### **ACI-318S-08 Sección 10.5.1**

El área de acero mínima considerada para elementos a flexión es:

$$A_{s,min} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{14}{f_y} b_w d$$

La sección 10.5.3 indica que se pueden omitir las áreas calculadas anteriormente si el área de acero es de 1.3 veces el área obtenida por el análisis. Sin embargo la Sección 10.5.4 indica que para losas estructurales de espesor uniforme el,  $A_{s,min}$ , puede ser calculada con la siguiente ecuación:

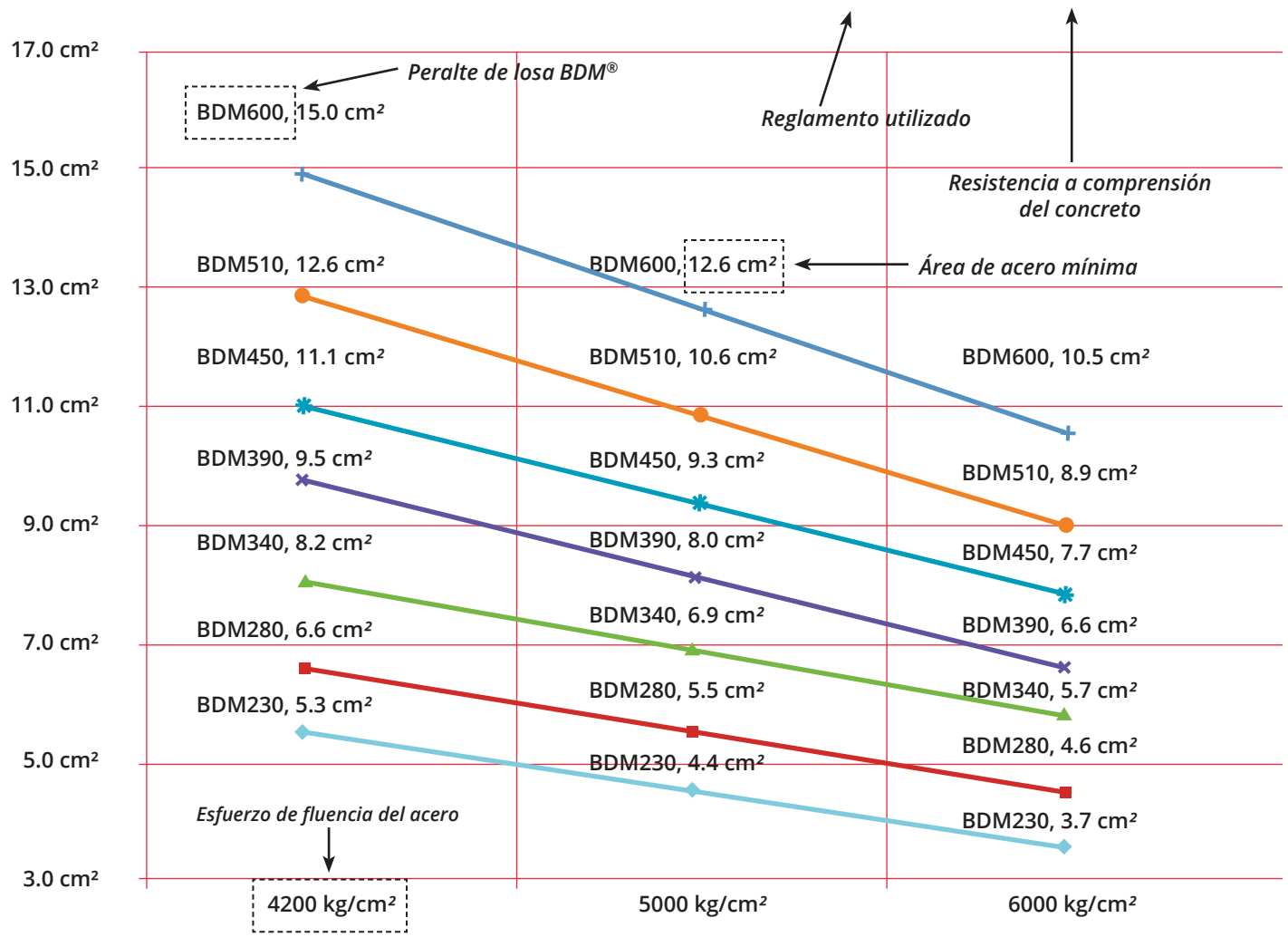
$$A_{s,min} = \frac{0.0018 * 4200}{f_y} * b_w d$$

La cuantía de acero no debe ser menor que 0.0014.

En el siguiente gráfico se muestra las áreas de acero mínimo para diferentes peraltes de **BDM®**, resistencia de concreto y esfuerzo de fluencia de acero utilizados.

En el **ANEXO** se agregan las gráficas para resistencias de concreto de 250 kg/cm<sup>2</sup> a 400 kg/cm<sup>2</sup>. También se agrega de forma tabular, junto con las áreas de acero máximo y acero por contracción y temperatura. Para estos casos se deberá de verificar los criterios seguidos por cada reglamento mostrado abajo.

Área de acero mínimo para losas tipo BDM® NTC-C-04;  $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$



## - Refuerzo máximo en elementos sometidos a flexión

### NTC-C-04 Sección 2.2.2

El refuerzo máximo de tensión en secciones de concreto reforzado que no deba resistir fuerzas sísmicas será el 90 por ciento del correspondiente a la falla balanceada de la sección considerada. Esta se produce cuando simultáneamente el acero llega a su esfuerzo de fluencia y el concreto alcanza su deformación máxima de 0.003 en compresión.

Para sistemas que deban resistir fuerzas sísmicas, el área de acero máxima de acero de tensión será de 75 por ciento de la falla balanceada y queda definida por la siguiente ecuación:

$$A_{s,max} = 0.75 A_b$$

y el área por falla balanceada se calcula con la ecuación:

$$A_b = \frac{f''c}{f_y} \frac{6000 \beta_1}{f_y + 6000} bd$$

dónde:

$$\begin{array}{ll} \beta_1 = 0.85 & \text{si } f^*c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ \beta_1 = 1.05 - \frac{f^*c}{1400} \geq 0.65 & \text{si } f^*c > 280 \text{ kg/cm}^2 \end{array}$$

### ACI-318S-08 Sección

El área de acero máxima considerada para elementos a flexión es:

$$A_{s,max} = 0.75 A_b$$

El área por falla balanceada de acuerdo a la Sección **B.8.4.3** se calcula con la ecuación:

$$A_b = \frac{0.85 \beta_1 f'c}{f_y} \frac{6120 \beta_1}{6120 + f_y} bd$$

dónde:

$$\begin{array}{ll} \beta_1 = 0.85 & \text{si } f^*c \leq 280 \text{ kg/cm}^2 \\ \beta_1 = 1.05 - \frac{f^*c}{1400} \geq 0.65 & \text{si } f^*c > 280 \text{ kg/cm}^2 \end{array}$$

### Análisis a cortante

Se debe dar gran importancia a la revisión de losas por esfuerzos de corte ya que las principales fallas en losas planas son por este tipo de fenómenos, ya que la flexión no se considera una falla tan crítica como el cortante.

Las normas técnicas **NTC-C-04 Sección 2.5.9** indican que en losas planas debe ser calculada la resistencia a fuerza cortante en la vecindad de cargas o reacciones concentradas será la menor de las correspondientes a las dos condiciones siguientes:

**a)** La losa o zapata actúa como una viga ancha en tal forma que las grietas diagonales potenciales se extenderán en un plano que abarca todo el ancho. Este caso se trata de acuerdo con las disposiciones de las secciones **2.5.1.1**, **2.5.1.2** y **2.5.2**. En losas planas, para esta revisión se supondrá que el 75 por ciento de la fuerza cortante actúa en la franja de columna y el 25 por ciento en las centrales.

**b)** Existe una acción en dos direcciones de manera que el agrietamiento diagonal potencial se presentaría sobre la superficie de un cono o pirámide truncados en torno a la carga o reacción concentrada. En este caso se procederá como se indica en las secciones **2.5.9.1** a **2.5.9.5**.

El primer inciso como lo indica se refiere a una falla como viga ancha y se realiza el análisis como una viga. En el segundo inciso se refiere a una revisión por punzonamiento.

#### - Revisión como viga ancha

##### **NTC-C-04 Sección 2.5.1.2**

En elementos anchos en los que el espesor no sea mayor de 60 cm y la relación  **$M/Vd$**  no exceda de 2.0, la fuerza resistente,  **$V_{CR}$**  puede tomarse igual a:

$$V_{CR} = 0.5F_R bd\sqrt{f^*c}$$

Si el espesor es mayor de 60 cm, o la relación  **$M/Vd$**  excede de 2.0, la resistencia a fuerza cortante se valorará con el criterio que se aplica a vigas.

##### **NTC-C-04 Sección 2.5.1.1**

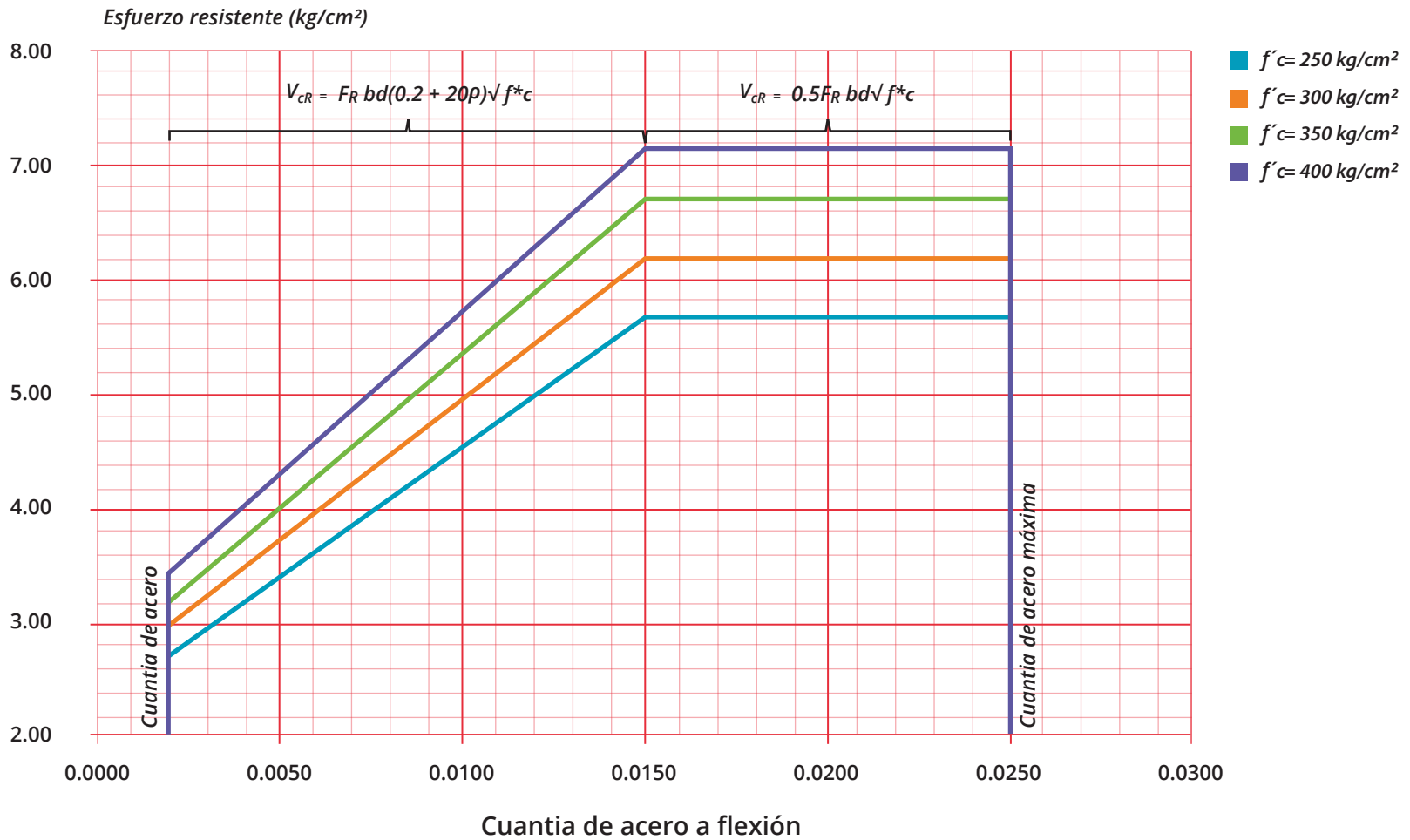
En vigas con relación claro a peralte total,  **$L/h$** , no menor que 5, la fuerza cortante que toma el concreto,  **$V_{CR}$**  se calculará con el criterio siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Si } \rho < 0.015 & \quad V_{CR} = F_R bd(0.2 + 20\rho)\sqrt{f^*c} \\ \text{Si } \rho \geq 0.015 & \quad V_{CR} = 0.5F_R bd\sqrt{f^*c} \end{aligned}$$

Ya que las condicionantes para vigas se encuentra limitadas por la cuantía de acero a flexión se observa que cualquier elemento debe cumplir con una cuantía mínima y máxima considerándose para este caso que la cuantía mínima que debe de tener una losa es de 0.002 menor a 0.015 la ecuación correspondiente varía linealmente hasta que la resistencia del concreto se considera 0.5 veces la raíz de la resistencia del concreto la cual se presenta cuando la cuantía es mayor a 0.015, y que para estos elementos la relación  **$M/Vd$**  es mayor, por lo común, entonces se puede graficar estas ecuaciones para diferentes tipos de concreto, variando su cuantía y teniendo como límites las mínimas y máximas, omitiendo el peralte y ancho unitario para poder tener un esfuerzo resistente de corte.

Así se puede tener un gráfico el cual nos ayudará a revisar que todos los esfuerzos en la franja de columna considerando un 75 por ciento calculado se encuentren por debajo de los límites calculados.

Esfuerzo resistente máximo a cortante para revisión en losa BDM® como placa plana.



## - Puzonamiento

La revisión por punzonamiento se realiza de acuerdo al **ACI-318S-08** ya que el diseño de **BDM®** se realiza por medio de refuerzo con pernos de cortante (**STUDS**) por lo que el boletín emitido por el comité **ACI 421.1R-99** explica detalladamente el diseño de estos.

**El ACI-318S-08 Sección 11.11** Indica todas las disposiciones para la resistencia a corte en losas en la que indica la resistencia a esfuerzo del concreto y la resistencia del esfuerzo a cortante.

A continuación se resumirá las consideraciones de toda la sección indicadas en el boletín técnico.

- 1. Geometría.** Se indica la geometría de la losa, así como de las propiedades de las columnas de apoyo.
- 2. Materiales.** Se especifican las propiedades de los materiales a utilizar, como la resistencia a compresión del concreto y el esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.
- Se calculan las propiedades geométricas de la sección crítica a **d/2** de la cara de la columna.

$b_0$ : Perímetro de la sección crítica.

$A_c$ : Área de la sección crítica.

$J_{xy}$ : Sección análoga al momento polar de inercia respecto al eje **x** y **y**.

$$J_x = d \left[ \frac{l^3_{y1}}{6} + \frac{l_{x1}l^2_{y1}}{2} \right] + l_{y1}d^3, \quad J_y = d \left[ \frac{l^3_{x1}}{6} + \frac{l_{y1}l^2_{x1}}{2} \right] + l_{x1}d^3$$

- Se calcula los factores de transferencia de momentos,  $Y_{vx}$ ,  $Y_{vy}$ , con las ecuaciones.

$$Y_{vx} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2\sqrt{l_{y1}/l_{x1}}}{3}}, \quad Y_{vy} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{2\sqrt{l_{x1}/l_{y1}}}{3}}$$

dónde:

$l_{y1}$ ,  $l_{x1}$ : Longitud respecto a los ejes **x** y **y** en la dirección crítica a una distancia de **d/2** de la cara de la columna.

Este factor es la fracción de momento que se transfiere entre la losa y la columna a cortante debido a la excentricidad de este alrededor de los ejes **x** y **y**.

- Se calcula el esfuerzo de cortante,  $V_u$ , actuante:

$$V_u = V_u + \frac{Y_{vx} M_{ux} y}{J_x} + \frac{Y_{vy} M_{uy} x}{J_y}$$

- Se compara contra el cortante máximo,  $V_n$ , que puede resistir el concreto sin acero de refuerzo, siendo el menor de:

$$V_n = \left( 2 + \frac{4}{\beta_c} \right) \sqrt{f'c}$$

$$V_n = \left( 2 + \frac{a_s d}{b_0} \right) \sqrt{f'c}$$

$$V_n = 4 \sqrt{f'c}$$

7. En ningún caso se permite que  $V_n$  sea mayor a:

**Para studs:**  $V_n = 8 \sqrt{f'c}$

**Para acero de refuerzo:**  $V_n = 6 \sqrt{f'c}$

Si no se cumple con la limitante se deberá de aumentar el área crítica, esto se hace con el incremento la sección de columnas o el peralte de losa.

8. Si se cumple con las limitantes anteriores se debe de revisar que la relación de esfuerzos actuantes y resistentes no debe de ser mayor a 1:

$$R = \frac{V_n / \phi}{V_n} \leq 1$$

dónde:

$\phi$ : Factor de reducción por cortante,  $\phi = 0.75$

Si  $R \leq 1$ , El capitel no requiere refuerzo y solo se debe de colocar el acero mínimo requerido por los reglamentos.

Si  $R > 1$ , El capitel requiere refuerzo y se debe de calcular el número de rieles y studs necesarios.

El refuerzo necesario para resistir la fuerza cortante se debe de calcular primero a  $d/2$  de la cara de la columna. Una vez calculado el área de acero esta corresponderá al número de rieles requeridos. Después se debe de calcular el número de studs necesarios para que el concreto resista por si solo a una distancia de  $d/2$  a partir del último stud colocado.

9. El esfuerzo cortante resistido por el acero de refuerzo se calculara con:

$$V_s = \frac{V_u - V_c}{\phi}$$

dónde:

$V_n$ : Esfuerzo nominal actuante en la sección crítica.

$V_c$ : Resistencia nominal del esfuerzo cortante por el concreto.

$V_s$ : Resistencia nominal del esfuerzo cortante por los studs.

$$V_s = \frac{A_v f_{yv}}{b_0 s}$$

$A_v$ : Área de sección transversal del refuerzo por cortante en una línea paralela al perímetro de la columna.

$s$ : Separación entre studs de un riel.

10. Se calcula el número de rieles requeridos.

11. Se calcula el número de pernos por riel.

12. La cantidad de pernos necesaria es igual a la distancia entre la cara de la columna y la sección crítica más alejada y es menor a  $\geq (ad-d/2)$ .

13. El último stud se debe de ubicar a una distancia en la que el concreto resista un esfuerzo de:

$$1.5 \sqrt{f'c}$$

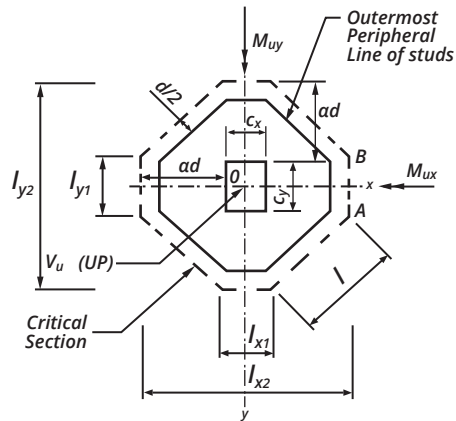
$$2.0 \sqrt{f'c}$$

*para Zona Sísmica*

*para Zona no Sísmica*



14. Para el cálculo del esfuerzo actuante se revisa de acuerdo al polígono que se forma a una distancia **ad** a partir de la cara de la columna.



En el **ANEXO** se incluye la hoja de cálculo realizada para este propósito. Para mayor información ver la referencia **Shear Reinforcement for Slabs, ACI 421.1R-99 (Reapproved 2006)**.

Para el cálculo de la zona maciza se verifica que el esfuerzo resistente del concreto sea:

$$V_{CR} = 0.5F_R \sqrt{f^*c}$$

Este esfuerzo se debe de afectar por un factor de 0.6 debido a que es el resistente por el sistema BD, por lo tanto queda:

$$V_{CR\ BD} = 0.6 V_{CR}$$

## Estados límite de servicio

### Deflexiones

Para el cálculo de deflexiones se debe de utilizar concreto estructural de peso normal con un módulo de elasticidad multiplicado por 0.9 y una resistencia a la flexión por 0.8, esto es necesario para poder reducir el ancho de grieta debido a la flexión.

### Deflexiones permisibles

De acuerdo a **NTC-E-04 Sección 4.1** indica que las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables, la revisión del estado límite de desplazamientos no exceden los valores siguientes:

a) Un desplazamiento vertical en el centro de traveses en el que se incluyen efectos a largo plazo, igual a:

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{240} + 0.5\text{ cm}$$

dónde:

$\Delta_{perm}$ : Deflexión permisible al centro del claro.

$L$ : Longitud del claro.

b) En miembros en los cuales afecten a elementos no estructurales, después de colocar los elementos no estructurales será:

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{480} + 0.3\text{ cm}$$

Para elementos en voladizo se indica que los límites anteriores se duplicarán. El **ACI 3185-08** indica que los elementos de concreto reforzado sometidos a flexión deben diseñarse para que tengan una rigidez adecuada con el fin de limitar cualquier deflexión que pueda afectar la resistencia y el funcionamiento de la estructura.

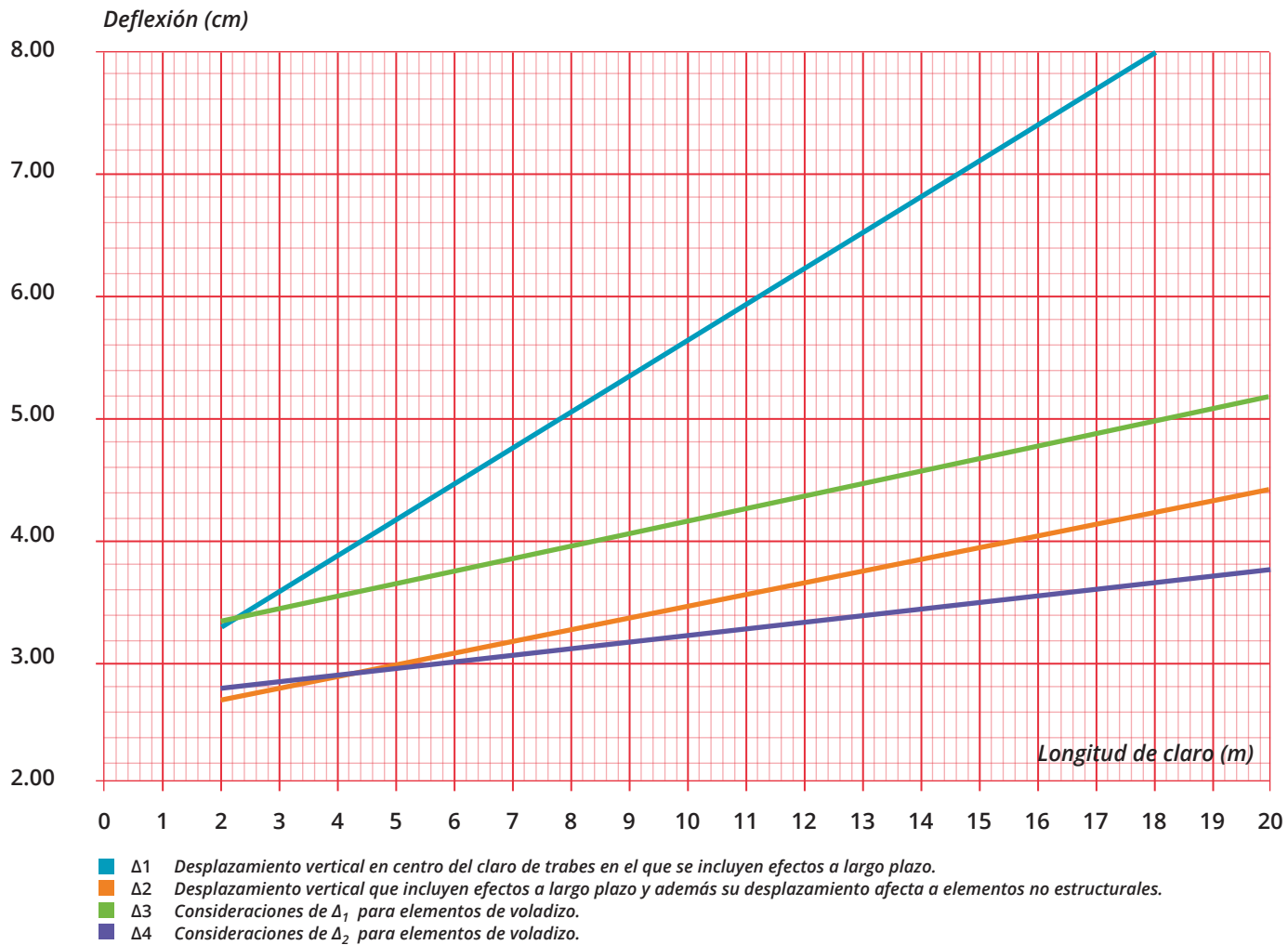
En la **Sección 9.5.2.6** indica que las deflexiones permisibles no deben de exceder los límites indicados en la tabla siguiente:

### Destino de piso o cubierta

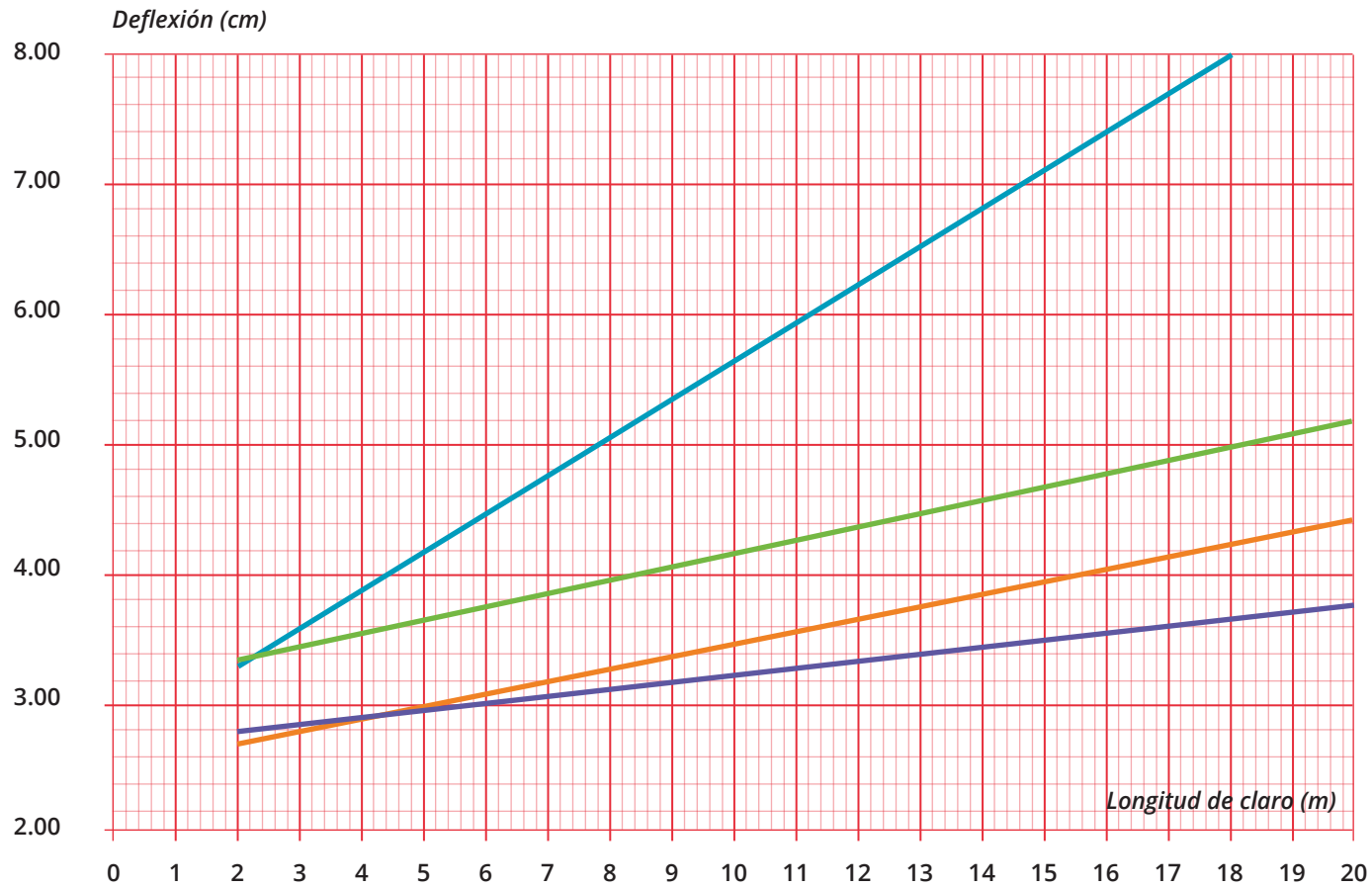
Tipo de elemento	Deflexión calculada	Límite de deflexión
Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debido a la carga viva, L	<b>L / 180</b>
Entre pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debido a la carga viva, L	<b>L / 360</b>
Sistema de entrepiso o cubierta que soporte o está ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales ( <i>la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional</i> ).	<b>L / 480</b>
Sistema de entrepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.		<b>L / 240</b>

En las gráficas siguientes se presentan las deflexiones permisibles para las diferentes condiciones de carga indicadas en las **NTC** y **ACI**.

### Deflexiones permisibles (NTC-E-04)



## Deflexiones permisibles (NTC-E-04)



- Δ1 Cubiertas planas que no soporten ni estén ligadas a elementos estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.
- Δ2 Entrepisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.
- Δ3 Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.
- Δ4 Sistema de entepiso o cubierta que soporte o esté ligado a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes..

## Agrietamiento

Debido a la baja resistencia del concreto a la tensión del concreto, los elementos de este material tienden a agrietarse. Las causas que generan el agrietamiento en el concreto con diversas y dentro de las principales causas son las generadas por deformaciones debido a cambios volumétricos y los esfuerzos ocasionados por fuerza de tensión, por momentos flexionantes o por las fuerzas cortantes.

Los cambios volumétricos ocasionados por variaciones en la temperatura y por contracción producen esfuerzos de tensión en los elementos estructurales cuando existe algún tipo de restricción. Cuando estos esfuerzos son superiores a los que soporta el concreto se presentan agrietamientos. Estos agrietamientos pueden contralarse ya sea por medio de refuerzo apropiadamente distribuido o ya sea disponiendo de juntas de control que hacen que el agrietamiento aparezcan en lugares definidos. Debido a que el agrietamiento por cambios volumétricos es especialmente importante en elementos de concreto simple o masivo.

De acuerdo a estudios experimentales se ha determinado los factores que mayor influencia tienen en el ancho de las grietas y se ha encontrado que dicho ancho está asociado a:

- Es mayor cuando se utilizan barras lisas que con barras corrugadas.
- Depende en forma importante del espesor del recubrimiento.
- Aumenta con el esfuerzo en el acero, siendo esta variable la más importante.

- Depende del área de concreto que rodea a las barras en la zona de tensión, disminuyendo cuanto mejor distribuido se encuentra el refuerzo en dicha zona.

## Refuerzo por contracción

### NTC-C-04 Sección 3.3.

Las normas técnicas indican que cuando el diseño se use un esfuerzo de fluencia mayor a **3,000 kg/cm<sup>2</sup>** para el refuerzo de tensión, las secciones de máximo momento positivo y negativo se dimensionarán de modo que la cantidad:

$$z = \frac{f_s^3 \sqrt{dcA} h_2}{h_1}$$

dónde:

***f<sub>s</sub>*** = esfuerzo en el acero en condiciones de servicio.

***dc*** = recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema en tensión y cuyo centroide coincide con el de dicho refuerzo, dividida entre el número de barras (cuando el refuerzo principal conste de barras de varios diámetros, el número de barras equivalentes se calculará dividiendo el área total de acero entre el área de la barra de mayor diámetro).

***h<sub>1</sub>*** = distancia entre el eje neutro y el centroide del refuerzo principal de tensión.

***h<sub>2</sub>*** = distancia entre el eje neutro y la fibra más esforzada en tensión.

No debe de exceder los valores que se indican en la tabla siguiente de acuerdo con la agresividad del medio a que se encuentre expuesta la estructura.

Clasificación de exposición	Valores máximos permisibles kg/cm <sup>2</sup>
A1	40,000
A2	
B1	30,000
B2	
C	
D	20,000

También se puede calcular con la aplicación del **EUROCODIGO** ya que se obtiene el ancho de grieta.

#### Refuerzo por cambios volumétricos

De acuerdo con las especificaciones del **NTC-CONCRETO-04 Sección 5.7** se tiene refuerzo por cambios volumétricos:

$$a_{s1} = \frac{660 x_1}{f_y (x_1 + 100)}$$

dónde:

$a_{s1}$  = área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se considera, por unidad de ancho de la pieza, cm<sup>2</sup>/cm. El ancho mencionado se mide perpendicularmente a dicha dirección y  $a_{x1}$ .

$x_1$  = dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo, cm.

Según **ACI-318-08 Sección 7.12.2.1** indica que la cuantía de refuerzo por contracción y temperatura debe ser al menos igual a los valores dados por:

$$P_s = \frac{0.0018 * 4200}{f_y}$$

dónde:



$a_{s1}$  = área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se considera.


$x_1$  = dimensión mínima del miembro medida perpendicularmente al refuerzo, cm.

Pero la cuantía de refuerzo no debe de ser menor a **0.0014**.

En las gráficas siguientes se muestra las áreas de acero que se requieren para los diferentes peraltes de losas y los reglamentos. En el **ANEXO** se indican las gráficas y tablas respectivas para cada caso.



 (55) 1668 6076  
 [hola@danstek.com](mailto:hola@danstek.com)

 Alfredo del Mazo s/n, Col. México Nuevo,  
Atizapán de Zaragoza, EdoMex.

