

# EDIFICACIÓN



## Tema 4 Estructuras y albañilería

### 4.3 Estructuras de concreto reforzado.

### Cimbras.

**Autores:**

**M.I. Guillermo Llanos Bonilla**

**Carlos Ramón Espinoza Hernández**



## ÍNDICE

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>4.3.1 Elementos Estructurales de Concreto Reforzado en una Edificación...3</b>	<b>3</b>
<b>4.3.2 Esfuerzos en Elementos de Concreto Reforzado.....4</b>	<b>4</b>
<b>4.3.3 Normatividad .....</b>	<b>7</b>
<b>4.3.4 Concreto y Acero de Refuerzo .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3.5 Vigas de Concreto Reforzado .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3.6 Losas de Concreto Reforzado.....</b>	<b>24</b>
4.3.6.1 Losas Macizas.....	25
4.3.6.2 Losas de Vigueta y Bovedilla. ....	28
4.3.6.3 Losas de Lámina DECK. ....	30
<b>4.3.7 Columnas de Concreto Reforzado.....</b>	<b>31</b>
<b>4.3.8 Muros de Concreto Reforzado .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.9 Zapatas de Cimentación .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.10 Losas de Cimentación .....</b>	<b>41</b>
<b>Conclusión Capitular .....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>44</b>
<b>Índice de Figuras.....</b>	<b>46</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>47</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>48</b>



## **Introducción**

El concreto simple correctamente diseñado, elaborado y colocado puede satisfacer varias necesidades en proyectos de infraestructura donde la resistencia a la compresión y a la abrasión son las principales propiedades de este concreto. Cuando al concreto simple lo combinamos con varilla en cantidad y posición adecuadas, podemos mejorar notablemente su resistencia a la tensión. Esta combinación de materiales recibe el nombre de concreto reforzado y tiene la característica de reunir en un solo material las propiedades mecánicas del concreto y el acero por lo que es común su utilización en proyectos de edificación.

La construcción de edificaciones con concreto reforzado en México comenzó a finales del siglo XIX con acero y cemento importados; a principios del siglo XX inició la producción de cemento y acero nacional, a medida que estos materiales se fueron incorporando en la construcción de edificaciones que tradicionalmente se elaboraban de mampostería; se pudo construir en menor tiempo, menor costo y mayor calidad los mismos metros cuadrados habitables.

Para aprovechar de la mejor manera la combinación de acero y concreto en la elaboración de elementos estructurales, es necesario que se conozcan y comprendan las cargas que soportará la edificación, los esfuerzos que se producirán en los elementos, el conocimiento de las propiedades de los materiales y las buenas prácticas constructivas, ¿Cómo se logra esto? El diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado deben cumplir un marco técnico normativo que defina criterios de análisis, diseño y construcción.

Las edificaciones que se realicen en la Ciudad de México deben cumplir lo señalado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y las Normas Técnicas Complementarias (NTC). Para el caso particular de elementos de concreto se tiene la Norma técnica complementaria para diseño y construcción de estructuras de concreto.



Es necesario que el constructor tenga el conocimiento suficiente del reglamento y las normas para poder interpretar los proyectos que realiza y en determinado momento poder identificar errores u omisiones en el proyecto y solicitar las aclaraciones necesarias.

Ya en la etapa de construcción se requiere del conocimiento de materiales, procedimientos, rendimientos de mano de obra y equipo para cumplir los tres aspectos esperados: tiempo, calidad y costo.

Para el desarrollo de este capítulo se tendrán como objetivos

- Identificar los elementos de concreto reforzado más utilizados en proyectos de edificación.
- Enunciar algunos aspectos reglamentarios que deben cumplir los elementos estructurales
- Ilustrar con fotografías y croquis procesos constructivos de elementos comunes en edificación.

**Figura 1.** *Proyecto de edificación con elementos estructurales de concreto reforzado*



*Nota: Residencial Avante, Tlalpan CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

### **4.3.1 Elementos Estructurales de Concreto Reforzado en una Edificación**

Una vez que el cliente acepta un anteproyecto que resuelve sus necesidades de espacios, funcionalidad y estética, se pasa a la etapa de diseño estructural; en esta etapa el diseñador se encarga de proponer las dimensiones y tipo de material de que estarán hechos los elementos estructurales.

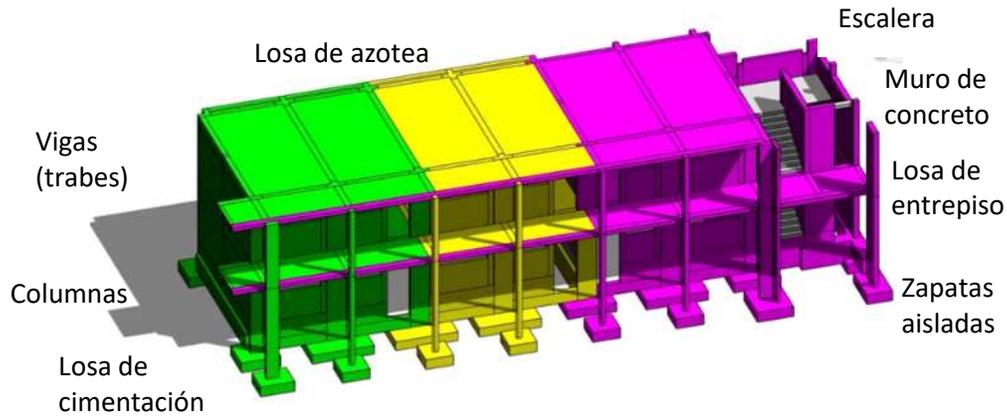
En una edificación los elementos estructurales lo conforman las columnas, trabes, losas, escaleras, muros de carga, castillos, dalas, sistema de cimentación, muros de contención.

En México es común que en una edificación los elementos estructurales sean de concreto reforzado. La ubicación de éstos se propone una vez que se han definido los espacios arquitectónicos; en cuanto a sus dimensiones, resistencia de concreto, cantidad de acero y demás detalles del elemento dependerán de lo que arroje el cálculo estructural. Deberán tomarse en cuenta las cargas a las que estará sujeto el elemento de manera individual y en su conjunto con toda la estructura. Un elemento estructural debe ser capaz de resistir esfuerzos de compresión, tensión, cortante y torsión; la magnitud de dichos esfuerzos depende de las dimensiones del elemento, su posición y su ubicación dentro de la estructura. En la figura 2 se muestra la ubicación de elementos estructurales en una edificación típica.

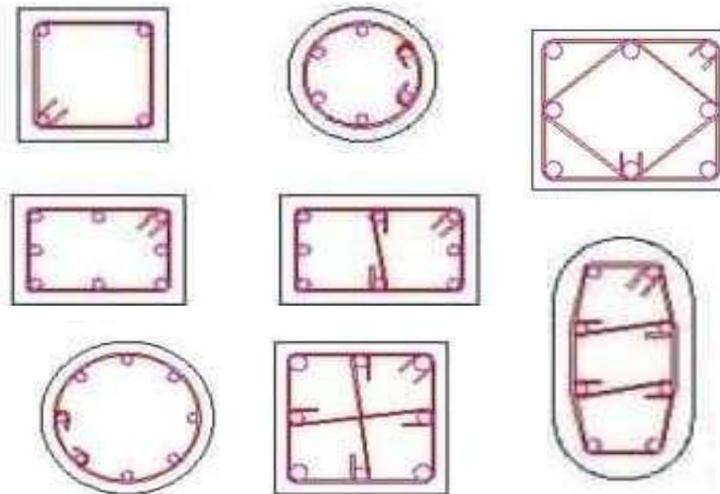
La propiedad de dar forma al concreto reforzado abre la posibilidad de proponer distintas opciones geométricas a los elementos que, además de resolver los requerimientos estructurales pueden ofrecer obras de agradable estética. En la figura 3 se muestran algunas secciones transversales de columnas.

Por su proceso constructivo los elementos estructurales pueden ser elaborados en sitio o elaborados en planta de prefabricados. La forma habitual ha sido construirlos en sitio; sin embargo, la prefabricación se vuelve una práctica más común debido a que hay mayor garantía de que la calidad se cumpla, se reducen tiempos y con una buena planeación también se reducen los costos.



**Figura 2.** Elementos estructurales en una edificación típica

Nota: Adaptada de *Especialidad en Revit Structure* [Video], por ARCUX, 2024, (<https://arcux.net/es/curso/42809/especialidad-de-diseno-estructural-bim-con-revit-structure>).

**Figura 3.** Secciones transversales de columnas de concreto reforzado

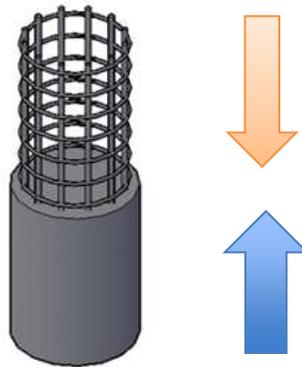
Nota: Adaptada de *Tipos de secciones transversales en columnas de concreto armado* [Dibujo], por Civilneting, 2024, Civilneting, (<https://www.facebook.com/civilneting/photos/pb.100063789557667.-2207520000/1518428938601736/?type=3>).

### 4.3.2 Esfuerzos en Elementos de Concreto Reforzado

Dependiendo de la forma, dimensiones y posición del elemento estructural las cargas a las que está expuesto el elemento tendrán distinto impacto en su integridad. En el caso de una columna, por ejemplo, cuya función principal es transmitir las cargas verticales

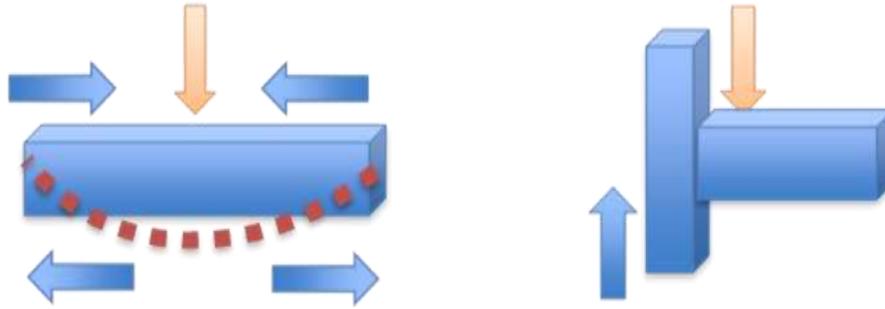
hacia la cimentación, debe diseñarse de tal manera que las dimensiones de la columna, así como la cantidad de acero de refuerzo, sean capaces de resistir las cargas que han de transmitirles las vigas y demás elementos superiores. Esta relación entre fuerzas que actúan y capacidad resistente del elemento recibe el nombre de esfuerzo. En el caso de la columna de ejemplo hay un esfuerzo de compresión, para una carga determinada, si las dimensiones de la columna son “robustas”, los esfuerzos serán bajos, en caso contrario si las dimensiones de la columna son “esbeltas”, los esfuerzos serán altos. Diseñar columnas “robustas” sugiere que la edificación es segura, pero también implica que las columnas serán más costosas. Entonces se debe de proponer un diseño que sea eficiente, es decir que sea capaz de absorber los esfuerzos con un margen de seguridad adecuado al tipo de construcción y con un costo razonable.

**Figura 4.** *Columna circular de concreto reforzado*



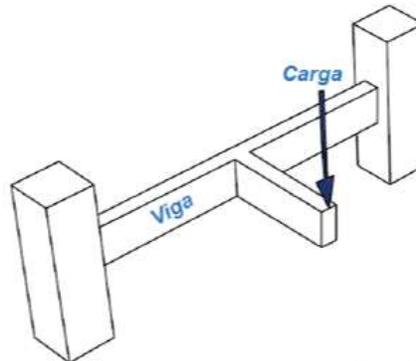
*Nota: Columna circular de concreto reforzado [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

En el caso de vigas horizontales (trabes), las cargas verticales producen un esfuerzo denominado cortante, que ocurre cuando las cargas distribuidas a lo largo del elemento tienden a separar la viga en sus extremos de las columnas que la soportan. En el centro de las vigas se presentan esfuerzo de tensión en la parte inferior de la viga y esfuerzo de compresión en la parte superior.

**Figura 5.** Esfuerzos de tensión, compresión y cortante en vigas

*Nota:* Esfuerzos de tensión, compresión y cortante en vigas [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Cuando una viga recibe cargas por su intersección con otras vigas, se presenta una tendencia a deformar la sección transversal de la viga este esfuerzo recibe el nombre de torsión.

**Figura 6.** Disposición estructural que genera torsión en la viga

*Nota:* Adaptada de Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto [Archivo PDF], por Gobierno de la Ciudad de México, 06 de noviembre de 2023, Consejería Jurídica y de Servicios Legales: Gaceta Oficial de la Ciudad de México ([https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf](https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf)).

Además de las cargas propias de la edificación (cargas muertas) y las cargas por el uso (cargas vivas), las estructuras están expuestas a otras fuerzas que deben ser tomadas en cuenta en el diseño, nos referimos a las ocasionadas por sismo, viento, granizo y nieve.

El comportamiento de una estructura está sujeto también a las condiciones geográficas y geológicas del sitio donde se construye. Habrá lugares donde hay mayor o menor intensidad de viento, frecuencia y magnitud de sismos, o la presencia de granizo o nieve. Estos eventos naturales deben ser considerados en el diseño y cálculo y se verán reflejados en el proyecto ejecutivo. La manera en que se toman en cuenta las características físicas del sitio es aplicando los reglamentos, normas y recomendaciones particulares del sitio donde se hará la construcción.

Los efectos por sismo y por viento consideran básicamente que la estructura recibirá cargas horizontales de manera ocasional cuya magnitud y duración varía por el grupo y subgrupo al que pertenece la edificación, además de la ubicación, tipo de suelo y otras características físicas del sitio; esto afectará al diseño de los elementos estructurales y las uniones entre éstos.

No es propósito de estos apuntes abarcar los temas diseño de los elementos; sin embargo, es indispensable que el constructor y el supervisor tengan conocimiento de los reglamentos y normatividad aplicables a la construcción de edificaciones para que puedan interpretar correctamente el proyecto y en su caso identificar posibles errores y se tengan los argumentos para solicitar la corrección de proyecto o la información faltante necesaria.

### **4.3.3 Normatividad**

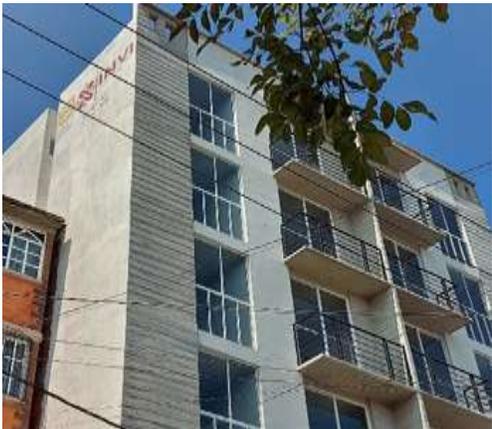
Para el caso de la ciudad de México el constructor debe tomar en cuenta el *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal* (RCDF) éste se compone de once títulos que a su vez se subdividen en capítulos y artículos cuyo objetivo es regular la actividad de la construcción de las edificaciones. El RCDF considera una clasificación de las edificaciones en función del nivel de seguridad que se les asigna, este nivel de seguridad depende de las afectaciones que podrían presentarse en caso de falla estructural (artículo 139 RCDF). La tabla 1 muestra los grupos y subgrupos en que se clasifican las edificaciones junto con algunas imágenes representativas de estos grupos.



**Tabla 1.** Clasificación de edificaciones de acuerdo con su nivel de seguridad estructural

Grupo y subgrupo	Afectaciones en caso de falla	Ejemplo representativo
A	Edificaciones cuya falla estructural podría causar un número elevado de pérdidas de vidas humanas, o constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, y edificaciones cuyo funcionamiento es esencial ante una emergencia urbana.	
A1	Construcciones para las que se requiere mantener mayores niveles de seguridad.	
A1.a	Edificios que es necesario mantener en operación aún después de un sismo de magnitud importante, como: hospitales, aeropuertos, terminales y estaciones de transporte, instalaciones militares, centros de operación de servicios de emergencia, subestaciones eléctricas y nucleares, estructuras para la transmisión y distribución de electricidad, centrales telefónicas y repetidoras, estaciones de radio y televisión, antenas de transmisión y los inmuebles que las soportan o contienen, estaciones de bomberos, sistemas de almacenamiento, bombeo, distribución y abastecimiento de agua potable, estructuras que alojen equipo cuyo funcionamiento sea esencial para la	 <p data-bbox="1123 1220 1258 1255">Hospital <sup>a</sup></p>

Grupo y subgrupo	Afectaciones en caso de falla	Ejemplo representativo
	población, tanques de agua, puentes vehiculares y pasarelas peatonales.	
A1.b	Construcciones o depósitos cuya falla puede implicar un severo peligro para la población, por contener cantidades importantes de sustancias tóxicas, inflamables o explosivas.	 <p data-bbox="1036 751 1344 789">Depósito en refinería <sup>b</sup></p>
A2		
A2.a	Un impacto social importante, como estadios, salas de reuniones, templos, auditorios y otras, que puedan albergar más de 1000 personas.	 <p data-bbox="1127 1161 1252 1199">Estadio <sup>c</sup></p>
A2.b	Una afectación a la población particularmente vulnerable, como: escuelas de educación preescolar, primaria y secundaria.	 <p data-bbox="1062 1577 1317 1614">Escuela primaria <sup>d</sup></p>

Grupo y subgrupo	Afectaciones en caso de falla	Ejemplo representativo
A2.c	La pérdida de material de gran valor histórico o cultural: museos, monumentos y estructuras que contengan archivos jurídicos o registros públicos.	 <p data-bbox="1133 600 1247 632">Museo <sup>e</sup></p>
B	Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A.	 <p data-bbox="1122 1119 1256 1150">Vivienda <sup>f</sup></p>
B1.a	Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m <sup>2</sup> de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m <sup>2</sup> de área total construida, en la zona III; en ambos casos las áreas se refieren a cada cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo e incluyen las áreas de anexos. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se	 <p data-bbox="1057 1556 1321 1587">Centro Comercial <sup>g</sup></p>

Grupo y subgrupo	Afectaciones en caso de falla	Ejemplo representativo
	adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje.	
1.b	Edificaciones anexas a los hospitales, aeropuertos o terminales de transporte, como estacionamientos, restaurantes, así como edificios destinados a educación media superior y superior.	 <p data-bbox="964 783 1414 816">Estacionamiento de aeropuerto <sup>h</sup></p>

*Nota:* <sup>a</sup>(Sánchez, 2022), <sup>b</sup>(Opción, 2009), <sup>c</sup>(Dirección General de Comunicación Social, 2019), <sup>d</sup>(Gobierno de la Ciudad de México, 2023), <sup>e</sup>(Sheybiu, Sujeilli, 2012), <sup>f</sup>(Gobierno de la Ciudad de México, 2021), <sup>g</sup>(México Destinos, 2024), <sup>h</sup>(Ruiz, 2024). Adaptada de *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF], por Gobierno de la Ciudad de México, 08 de mayo de 2024, Dirección General Jurídica y de Estudios Legislativos: Leyes y Reglamentos ([https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO\\_DE\\_CONSTRUCCIONES\\_DEL\\_DISTRITO\\_FEDERAL\\_8.pdf](https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO_DE_CONSTRUCCIONES_DEL_DISTRITO_FEDERAL_8.pdf)).

El proyecto de edificación debe considerar una estructuración eficaz para resistir las acciones que pueda sufrir la estructura (cargas muertas, cargas vivas, viento y sismos). El reglamento se complementa con una serie de normas técnicas que ayudan a determinar el valor de las cargas y acciones, los criterios de diseño y cálculo que ocasionan estas acciones. Por mencionar las que tienen relación con los elementos estructurales de concreto se enlistan las siguientes:

- Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.
- Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.
- Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones.
- Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo
- Norma Técnica Complementaria para Diseño por Viento.

Otro aspecto importante mencionado en el RCDF para fines de diseño y construcción de cimentaciones es la división que se hace del Distrito Federal en tres zonas geotécnicas I, II y III Lomas, transición y lacustre respectivamente, (artículo 170). Esta división de zonas repercute en la NTC de cimentaciones para que se establezcan algunos aspectos técnicos como:

- Los requisitos mínimos para investigación en el subsuelo.
- Combinaciones de acciones (permanentes y variables).
- Factores de carga y resistencia.
- Estados límite de falla y de servicio.

De acuerdo con la Norma, la capacidad de carga de la cimentación se determina con expresiones para cada tipo de cimentación, la cual puede ser:

- a) Someras (zapatas y losas),
- b) Compensadas (cajones de cimentación),
- c) Con pilotes o pilas.

Las Normas Técnicas Complementarias requieren a su vez, para su correcto manejo el conocimiento de las Normas Mexicanas NMX aplicables; En el caso de la Norma para para diseño y construcción de estructuras de concreto (en adelante NTC-Concreto) se mencionan NMX relacionadas a materiales (acero, cemento, agregados, agua, aditivos), métodos de muestreo, realización de pruebas, etcétera. A continuación, se enlistan las Normas NMX, que la NTC-concreto menciona en su capítulo “Estándares”:

- a) Industria siderúrgica
  - NMX-B-072-CANACERO-2017: Varilla corrugada de acero - grado 60 - laminada en frío para refuerzo de concreto - Especificaciones y métodos de prueba.
  - NMX-B-172-CANACERO-2018: Métodos de prueba mecánicos para productos de acero y hierro.



- NMX-B-253-CANACERO-2020: Alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto – Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-B-290-CANACERO-2021: Malla electrosoldada de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-B-292-CANACERO-2018: Torón de siete alambres sin recubrimiento-relevado de esfuerzos para concreto presforzado-Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-B-293-CANACERO-2019: Alambre de acero - sin recubrimiento con relevado de esfuerzos para usarse en concreto presforzado-Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-B-457-CANACERO-2019: Varilla corrugada de acero de baja aleación para refuerzo de concreto-Especificaciones y métodos de prueba
- NMX-B-482-CANACERO-2016: Capacitación - calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos
- NMX-B-506-CANACERO-2019: Varilla corrugada de acero para refuerzo de concreto– Especificaciones y métodos de prueba

b) Industria de la construcción

- NMX-C-059-ONNCCE-2017: Cementantes hidráulicos- Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de VICAT)
- NMX-C-061-ONNCCE-2015: Cemento para albañilería (mortero), - especificaciones y métodos de ensayo
- NMX-C-083-ONNCCE-2020: Concreto – Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes – Método de Ensayo
- NMX-C-111-ONNCCE-2018: Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo
- NMX-C-122-ONNCCE-2019: Agua para Concreto –Especificaciones
- NMX-C-128-ONNCCE-2013: Concreto Sometido a Compresión – Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson



- NMX-C-146-ONNCCE-2000: Adiciones para Concreto – Puzolana Natural o Calcinada y Ceniza Volante para Usarse como Aditivo Mineral en Concreto de Cemento Portland – Especificaciones
- NMX-C-155-ONNCCE-2014: Concreto hidráulico – Dosificado en Masa – Especificaciones y Métodos de Ensayo
- NMX-C-156-ONNCCE-2020: Concreto hidráulico-determinación del revenimiento en el concreto fresco-método de ensayo
- NMX-C-159-ONNCCE-2016: Concreto-elaboración y curado de especímenes de ensayo
- NMX-C-162-ONNCCE-2014: Concreto hidráulico - Determinación de la masa unitaria - cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico
- NMX-C-162-ONNCCE-2014: Concreto hidráulico - Determinación de la masa unitaria - cálculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico
- NMX-C-163-ONNCCE-2019: Concreto hidráulico – Determinación de la Resistencia a la Tensión por Compresión Diametral de Cilindros de Concreto – Método de ensayo
- NMX-C-169-ONNCCE-2009: Concreto - Extracción de especímenes cilíndricos o prismáticos de concreto hidráulico endurecido-2
- NMX-C-173-ONNCCE-2010: Concreto hidráulico – Determinación de la Variación en Longitud de Especímenes de Mortero de Cemento y de Concreto Endurecidos
- NMX-C-179-ONNCCE-2013: Adiciones para Concreto – Puzolana Natural o Calcinada y Ceniza Volante para Usarse como Aditivo Mineral en Concreto de Cemento Portland – Muestreo y Método de Ensayo
- NMX-C-180-ONNCCE-2014: Cementantes hidráulicos - Determinación de la reactividad potencial de los agregados con los álcalis de cementantes hidráulicos por medio de barras de mortero



- NMX-C-191-ONNCCE-2015: Concreto – Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro
- NMX-C-196-ONNCCE-2010: Agregados - Determinación de la Resistencia a la Degradación por Abrasión e Impacto de Agregados Gruesos Usando la Máquina de los Ángeles
- NMX-C-255-ONNCCE-2013: Aditivos químicos para concreto – Especificaciones y métodos de ensayo
- NMX-C-263-ONNCCE-2010: Concreto hidráulico endurecido - Determinación de la Masa Específica - Absorción y Vacíos
- NMX-C-277-ONNCCE-2010: Agua para concreto – Muestreo
- NMX-C-283-ONNCCE-2018: Agua para concreto – Métodos de Prueba
- NMX-C-414-ONNCCE-2017: Cementantes hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo
- NMX-C-470-ONNCCE-2015: Concreto - Método estándar para determinar la capacidad de paso del concreto autoconsolidable por medio del anillo “J”
- NMX-C-471-ONNCCE-2013: Concreto hidráulico - Determinación de la segregación estática de concreto autoconsolidable por el procedimiento de la columna
- NMX-C-472-ONNCCE-2013: Concreto - Determinación del flujo de revenimiento del concreto autoconsolidable – Método de ensayo-2
- NMX-C-488-ONNCCE-2014: Fibras de Acero para Refuerzo de Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo
- NMX-C-535-ONNCCE-2017: Concreto Reforzado con Macrofibras – Determinación del Desempeño por Flexión Utilizando la Viga con Carga en el Tercio Medio – Método de Ensayo
- NMX-C-537-ONNCCE-2018: Fibras Poliméricas para Concreto - Especificaciones y Métodos de ensayo-



- NMX-C-538-ONNCCE-2017: Concreto Reforzado con Macrofibras – Determinación de la Resistencia al Agrietamiento - Tenacidad y Resistencia Residual a Tensión – Método de Ensayo-
- NMX-C-539-ONNCCE-2017: Concreto Reforzado con Macrofibras – Determinación de la Tenacidad a la Flexión Utilizando el Panel Circular con Carga Central – Método de Ensayo
- NMX-C-569-ONNCCE-2020: Durabilidad del Concreto – Diseño con Criterios de Durabilidad del Concreto Utilizado en Estructuras de Concreto con Acero de Refuerzo – Especificaciones

La NTC-Concreto también hace referencia a especificaciones, códigos, guías, recomendaciones de asociaciones internacionales. Entre ellas se puede mencionar:

- a) American Concrete Institute (ACI).
- b) American Society for Testing and Materials (ASTM).
- c) American Welding Society (AWS)
- d) International Organization for Standardization (ISO)
- e) Otras normas, incluso europeas

Además del aspecto técnico que debe saber interpretar y aplicar el constructor y el supervisor, también deben tener los conocimientos y la experiencia en el manejo de contratos, tanto de obra pública como privada. En las cláusulas de los contratos se establece su objetivo, las responsabilidades y obligaciones del contratante y el contratista, así como el marco legal (leyes, reglamentos, códigos) a que está sujeto la ejecución del proyecto.

#### **4.3.4 Concreto y Acero de Refuerzo**

Las características del acero y del concreto que deben cumplir para formar elementos estructurales se mencionan a continuación.



El concreto utilizado en edificación tiene la siguiente clasificación de acuerdo con la NTC-Concreto.

- Concreto estructural convencional Clase 1 y Clase 2,
- Concreto estructural para aplicaciones especiales.

El concreto Clase 1 se utilizará en las obras clasificadas dentro del grupo A, B1 y B2. Éste deberá cumplir con un peso volumétrico en estado fresco superior a  $22 \text{ kN/m}^3$  ( $2,200 \text{ kg/m}^3$ ) y podrá tener dos niveles de resistencia a la compresión:

- a) El concreto Clase 1A corresponderá al intervalo de resistencia a la compresión entre 25 MPa y 40 MPa (entre  $250 \text{ kg/cm}^2$  y  $400 \text{ kg/cm}^2$ )
- b) El concreto Clase 1B corresponderá al intervalo de resistencia a la compresión entre 40 y 70 MPa ( $400$  y  $700 \text{ kg/cm}^2$ ).

El concreto Clase 2 sólo se utilizará en estructuras que no impliquen solicitaciones de durabilidad y que correspondan a estructuras menores del grupo B2 de no más de  $120 \text{ m}^2$  de superficie construida, claros no mayores a 4 m, altura máxima de 5 m en dos niveles medidos sobre el nivel de banqueteta.

Éste deberá cumplir con un peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 19 y  $22 \text{ kN/m}^3$  ( $1,900$  y  $2,200 \text{ kg/m}^3$ ) y resistencia a la compresión en el intervalo comprendido entre 20 MPa y 35 MPa ( $200 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$ ).

Debido a que existen 3 clases de concreto (1A, 1B y 2), el proyecto debe indicar claramente la clase de concreto y la resistencia a la compresión que deberá utilizarse en cada uno de los elementos.

De igual forma, el responsable de la construcción y la supervisión debe tener conocimiento de las siguientes normas:

- **NMX – C - 156-ONNCCE-2020:** Determinación del revenimiento en el concreto fresco,



- [NMX-C-159-ONNCCE-2016](#): Elaboración y curado de especímenes de ensayo
- [NMX-C-414-ONNCCE-2017](#): Cementantes hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo.
- [NMX-C-111-ONNCCE-2018](#): Agregados para concreto hidráulico. Especificaciones y métodos de ensayo.

Es conveniente mencionar que el reglamento y las normas precisan las características de los materiales a utilizar, pero hay información que debe complementarse de otras fuentes, en el caso del concreto, por ejemplo, no mencionan cual es la dosificación de sus componentes (cemento, agregados, agua).

Para efectos de realizar buenas prácticas constructivas es conveniente seguir las recomendaciones del ACI Committe (American Concrete Institute), hay varias para el tema de concreto, pero algunas de las más destacables son:

- [ACI PRC 211-1-22](#): Selección de proporciones para concreto de densidad normal y alta densidad – guía.
- [ACI CODE-318-19](#): Requisitos del código de construcción para concreto estructural y comentarios
- [ACI ITG-7-09](#): Especificación de tolerancias para concreto prefabricado
- [ACI PRC-347-14\(21\)](#): Guía de encofrados para concreto

Es importante que la información y los medios de distribuirla garanticen el adecuado conocimiento del proyecto en tiempo y forma.

El contenido de acero de refuerzo en un elemento estructural se determina en una primera instancia de acuerdo con la forma y propiedades de los materiales que lo componen y de las acciones (o cargas) que recibe. Las expresiones que ayudan a determinar la cantidad de acero se encuentran definidas en la NTC de concreto. Previamente se han definido acciones y criterios de diseño.



El acero de refuerzo que se utilice en forma de barras corrugadas de acuerdo con la NTC (2.4.2.1.2) debe satisfacer las Normas Mexicanas NMX-B-506-CANACERO-2019 y NMX-B-457-CANACERO-2019. Para el caso de alambres corrugados, lisos, mallas de alambre soldado corrugado o liso deberán cumplir con la norma NMXB-290-CANACERO-2021.

En un elemento de concreto reforzado podemos identificar que existe acero longitudinal y acero transversal.

Uno de los elementos que componen el refuerzo de acero son los *estribos* que de acuerdo con la NTC es el refuerzo usado para resistir fuerzas cortantes o por torsión en un elemento; barra o alambre corrugado, o refuerzo de alambre soldado doblado en forma rectangular que se coloca perpendicular o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal y se ancla cerca de las fibras extremas a compresión y tensión de una sección mediante dobleces, cabezas o alambres transversales.

Otro elemento de acero que interviene son las *grapas* que es una barra continua de refuerzo con ganchos en sus extremos, tal que sus ganchos abracen barras longitudinales perimetrales. Para estructuras de ductilidad baja los ganchos tendrán dobleces de 135 y 90 grados.

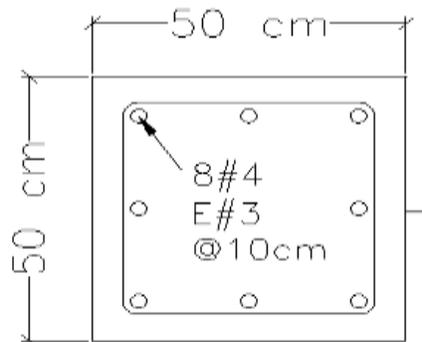
El responsable del diseño estructural hace una propuesta de diámetros, número de varillas y separaciones que cumplan con la cantidad de acero que indica el cálculo estructural; Esta propuesta de diseño a su vez debe ser revisada nuevamente con la NTC-concreto para verificar que se encuentra en los rangos mínimos y máximos de acuerdo con el elemento y al grado de ductilidad que aplica al edificio.

Así por ejemplo tenemos el caso de la columna de la figura 7, se interpreta que la columna está reforzada longitudinalmente con 8 varillas del No. 4 (o  $1/2''$ ), y en el sentido transversal se refuerza con estribos cuadrados elaborados con varilla del No. 3 (o  $3/8''$ ) colocados a todo lo largo de la columna con una separación entre ellos de 10 cm., Generalmente se incluye en el proyecto ejecutivo una tabla con las longitudes de traslapes, ganchos y



escuadras y que están en función del diámetro de las varillas, otro dato importante es el espesor del recubrimiento de concreto que protege al acero.

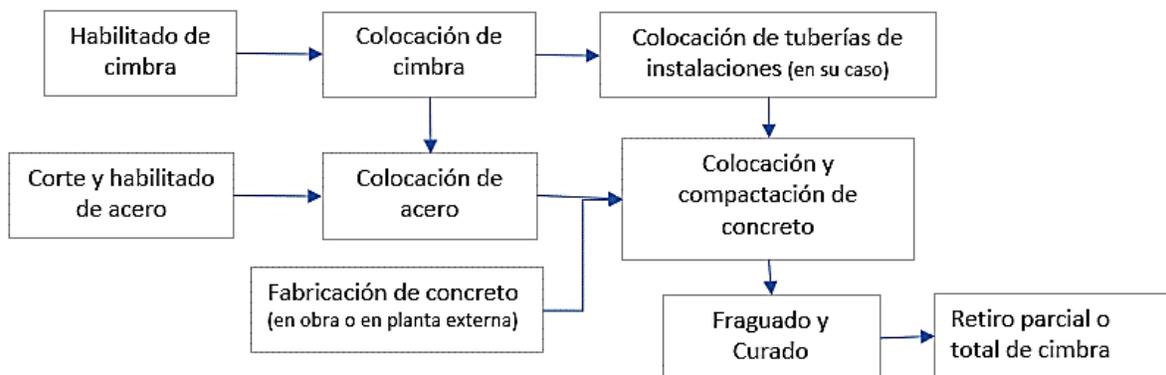
**Figura 7.** Refuerzo de acero en columnas



*Nota:* Refuerzo de acero en columnas [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

La elaboración de los elementos de concreto reforzado como se comentó, puede ser en el sitio o prefabricados en planta; pero en general siguen las etapas mostradas en la figura 8.

**Figura 8.** Etapas de elaboración de un elemento de concreto reforzado



*Nota:* Etapas de elaboración de un elemento de concreto reforzado [Diagrama], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

A continuación, se hacen una serie de comentarios y recomendaciones que aplican a la elaboración de elementos estructurales.

- Diseño de cimbra capaz de soportar las cargas durante la colocación del concreto.

- Verificación de niveles y verticalidad de la cimbra.
- Aplicación de desmoldante.
- Correcta colocación de tubería ahogada para las instalaciones.
- Selección de equipo más adecuado para transportar el concreto, vaciarlo, vibrarlo, compactarlo y dar acabado.
- Planeación del personal obrero y técnico necesario para garantizar la colocación continua de concreto aun cuando se requiera más de una jornada laboral.
- Realizar los pedidos de concreto en tiempo y forma.
- Verificación de remisiones de proveedor de concreto, resistencia solicitada, tamaño máximo de agregado, tiempo desde la salida de planta,
- Realización de la prueba de revenimiento
- Seguir buenas prácticas para evitar la segregación del concreto durante la colocación,
- Uso adecuado de vibradores
- Evitar juntas frías
- Considerar las recomendaciones ACI para colados en climas extremos y en colados masivos.
- Seleccionar y aplicar una técnica de curado.
- Retirar apuntalamientos hasta que el concreto alcance una resistencia que evite su deformación (por exposición a cargas debidas a la construcción en proceso).

En los siguientes subtemas se mostrarán ejemplos de los elementos estructurales.

#### **4.3.5 Vigas de Concreto Reforzado**

Son los elementos estructurales que reciben cargas verticales de forma puntual o distribuida en todo lo largo, transmiten la carga en sus 2 extremos cuando forma parte de un marco y en uno sólo cuando está en voladizo. Un armado típico de viga o trabe que se apoya en sus 2 extremos se muestra en la figura 9.



**Figura 9.** Armado de acero típico de una viga de concreto

*Nota: Refuerzo de acero en columnas [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

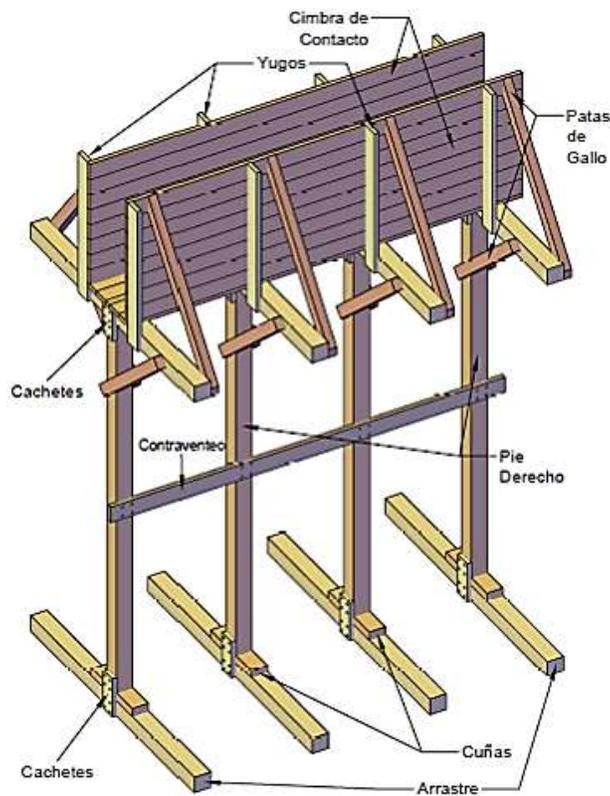
Con relación a su diseño puede observarse lo siguiente:

- A la mitad del claro, hay más acero longitudinal en la parte inferior que en la superior.
- En los extremos, sucede lo contrario.
- A un par de varillas se le da la forma de "columpio", esto facilita cumplir los 2 puntos anteriores y que haya una continuidad en el acero. La longitud y ángulo a la que hay que hacer los dobleces debe estar señalada en proyecto.
- Los estribos tienen una menor separación en los extremos que en el centro, las distancias entre cada estribo también se indican en los planos estructurales.
- En los extremos, donde la viga se conecta a las columnas, también se considera una longitud de varilla para las escuadras, en el acero longitudinal de la columna también se tiene previsto cómo será la unión de varillas y favorecer la transmisión de las cargas.

Y, en relación con la cimbra, en la figura 11 podemos observar los elementos que componen una cimbra para viga.

**Figura 10.** Armado de acero de una viga apoyada en 2 extremos

*Nota:* Edificio habitacional Matisse, Iztapalapa, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2017. Colección personal del autor.

**Figura 11.** Elementos que componen una cimbra para viga

*Nota:* Elementos que componen una cimbra para viga [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

**Figura 12.** Colocación de cimbra para trabe

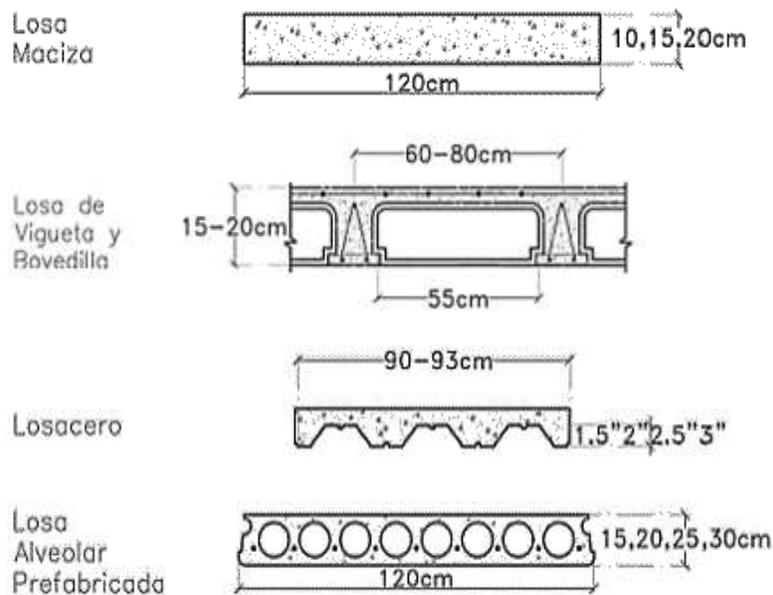


*Nota:* Edificio habitacional Matisse, Iztapalapa, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2017. Colección personal del autor.

#### 4.3.6 Losas de Concreto Reforzado

Existen diferentes opciones para la construcción de losas. En la figura 13 se ejemplifican losas que pueden estar soportadas en estructuras de concreto o de acero.

**Figura 13.** Tipos de losas comunes en edificación



*Nota:* Tipos de losas comunes en edificación [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

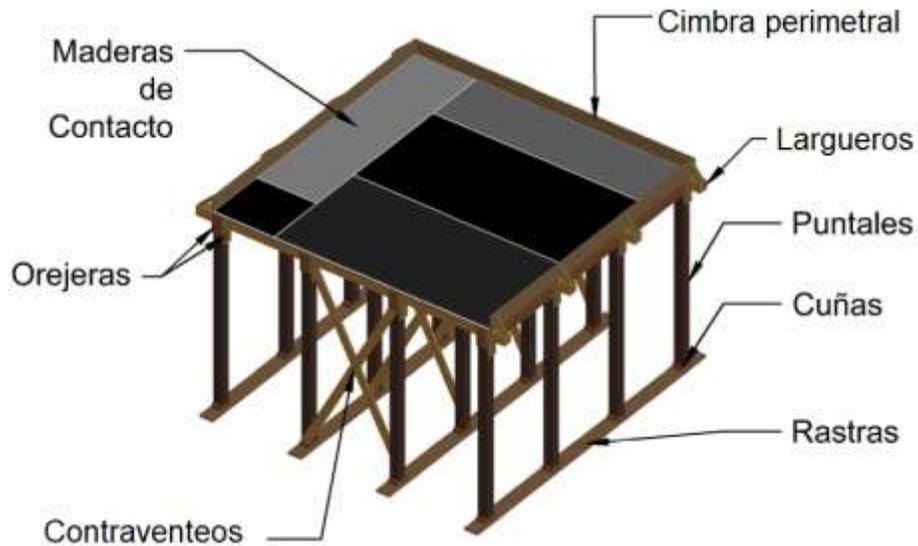
#### 4.3.6.1 Losas Macizas.

Es el tipo de losa más utilizado en viviendas de autoconstrucción por la mayor disponibilidad de sus materiales y mano de obra para su ejecución, además de que pueden adaptarse a cubiertas de forma irregular.

El acero utilizado comúnmente es de  $\frac{3}{8}$ " o  $\frac{1}{2}$ " formando una parrilla en toda la superficie a cubrir, el cálculo estructural determinará la separación entre varillas. Se colocan perimetralmente unos elementos de varilla llamados bastones a separaciones regulares, los bastones también se colocan sobre las trabes que dividen la losa, la longitud dependerá del claro a cubrir. Otro detalle en el armado de una losa maciza es el doblez que se hace en algunas de ellas para formar "columpios" en los centros del claro. Los planos estructurales deben contener los detalles constructivos del armado.

La cimbra se ajusta a la forma y espesor del elemento, en la figura 14 se pueden observar los elementos que componen la cimbra de una losa, se hace la aclaración de que la cimbra se compone de la madera que está en contacto con el concreto para formar el molde y la madera que sirve para sostener dicho molde, este arreglo se le conoce como "obra falsa". Ambos componentes (cimbra y obra falsa) deben ser calculadas para resistir las cargas a que se someterán al momento de colocar el concreto fresco, como es el paso de los trabajadores y el impacto del concreto al ser descargado sobre la cimbra.

**Figura 14.** *Elementos que componen una cimbra de losa maciza*



*Nota: Elementos que componen una cimbra de losa maciza [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

Se cuenta en el mercado con empresas que se especializan en sistemas de cimbra para que en esta actividad se reduzcan costos, en la figura 15 y 16 se observan algunos ejemplos de cimbra modular.

**Figura 15.** *Cimbra modular para losa*



*Nota: Adaptada de Módulos de mesas VT para losas [Fotografía], por PERI México, 2024, PERI (<https://www.peri.com.mx/products/formwork/table-module-vt-slab-table.html>).*

**Figura 16.** *Elementos de cimbra modular para losa*



*Nota:* Adaptada de *Cimbra para losas con viga MULTIFLEX* [Fotografía], por PERI México, s.f., PERI (<https://www.peri.com.mx/products/formwork/multiflex-girder-slab-formwork.html>).

Se debe prever el paso de las instalaciones, identificar en los proyectos de instalaciones las tuberías que estarán ahogadas en el concreto, las bajadas de agua que la atravesarán, las cajas de conexiones, etcétera.

La nivelación de la cimbra debe ser verificada antes de la colocación del concreto y procurar que se mantenga durante la colocación del concreto, si la nivelación varía fuera de los rangos permitidos en el reglamento y en el proyecto se tendrán que hacer correcciones futuras con el consecuente incremento en costo y tiempo. Una práctica común entre los constructores es considerar una “contraflecha” en la cimbra que no es otra cosa que preveer un ligero asentamiento en los claros centrales mientras se ejecuta la colocación del concreto.

El concreto puede ser elaborado en la obra o ser suministrado por una planta concretera externa. Cuando se trabaja para alguna dependencia de gobierno, los contratos solicitan que el concreto utilizado sea de planta concretera.

#### **4.3.6.2 Losas de Vigüeta y Bovedilla.**

Dentro de los sistemas de losa aligerada de uso frecuente por los desarrolladores de vivienda se encuentra el sistema de vigüeta y bovedilla.

Este sistema de losa permite eficientar la mano de obra, reduciendo tiempos de ejecución comparado con el de un sistema de losa maciza.

Se requiere un control estricto de las etapas previas a la elaboración de la losa, ya que, si los muros tienen separaciones distintas entre sus claros o distinto nivel, las vigüetas no estarán debidamente apoyadas creando la posibilidad de una eventual falla.

Las vigüetas son fabricadas en plantas de prefabricados y constan de una armadura triangular con acero de alta resistencia y concreto en la base, a este tipo de vigüeta se le conoce como de alma abierta. Entre las vigüetas se colocan elementos aligerantes llamados bovedillas que pueden ser de poliestireno de alta densidad o de concreto vibrocomprimido. El sistema se complementa con una capa de compresión de concreto reforzado con malla electrosoldada. El concreto cubre todo el acero perimetral y el de las vigüetas, en aproximadamente 5 cm. por lo que el espesor promedio de este tipo de losa es de 20 cm. La malla electrosoldada no debe descansar directamente en la bovedilla,



se debe de contar con separadores plásticos para dar el recubrimiento que indica el proyecto.

Previo al vaciado del concreto se debe verificar la correcta colocación de la malla electrosoldada, los bastones perimetrales e intermedios, la tubería de las instalaciones y el acero que dará continuidad estructural a muros y castillos de niveles superiores.

El concreto utilizado en este tipo de losa tiene un agregado grueso de menor tamaño que el utilizado en la losa maciza. El concreto podrá ser elevado con grúa y bacha o mediante bomba (estacionaria o telescópica) por lo que el revenimiento solicitado dependerá del equipo disponible para la colocación del concreto, es común que se agreguen aditivos acelerantes de fraguado, pero se recomienda que se mantengan apuntaladas las viguetas mientras continúan los trabajos.

Después de la colocación del concreto y durante la etapa de fraguado inicial se realiza el curado del concreto que puedes ser con el riego de agua en la superficie de la losa o mediante la aplicación de algún producto para el curado que se aplica en la forma y cantidades que recomiende el fabricante. Un ejemplo es la membrana de curado que tiene una consistencia líquida se aplica con aspersor o con rodillo y cada litro puede cubrir aproximadamente 4 m<sup>2</sup>.

**Figura 17.** Losa de vigueta y bovedilla de poliestireno

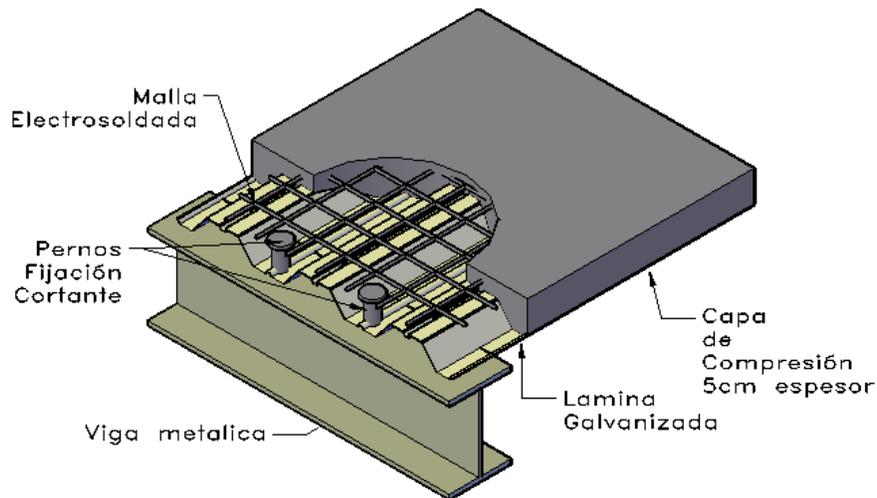


*Nota: Residencial Andalucía, Tizayuca, Hidalgo [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2023. Colección personal del autor.*

### 4.3.6.3 Losas de Lámina DECK.

Las losas con sistema DECK, son de uso común cuando la estructura de columnas y trabes es de acero. Se utilizan en edificios de vivienda, centros comerciales, bodegas, hospitales, etcétera.

**Figura 18.** Sistema de losa con lámina Deck



*Nota:* Sistema de losa con lámina Deck [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

**Figura 19.** Losa aligerada con sistema Deck



*Nota:* Ampliación de un Edificio en la Facultad de Veterinaria, Ciudad Universitaria, CDMX [Fotografía], por Departamento de Construcción, 2023. Colección personal del autor.

Una de sus ventajas es la rapidez para su colocación ya que las dimensiones comerciales de la lámina pueden cubrir claros de hasta 12 metros, requiere para su estabilidad que se coloquen apuntalamientos en la parte inferior, la lámina se sujeta a la estructura de acero con pernos soldables (tipo nelson) colocados en los extremos y en los cruces con las trabes. El acero de refuerzo que se coloca puede ser malla electrosoldada de alta resistencia y varilla de resistencia normal según se indique en el proyecto. Sobre la malla se colocará la capa de compresión. En cuanto a la lámina, hay disponibles varias medidas en su peralte por lo que el espesor total de la losa puede ser de 12 a 30 cm, hay calibres del número 10,12,14,16,18 y 20, el ancho comercial es de 1 m, pero considerando los traslapes laterales se tienen anchos efectivos de 90 cm.

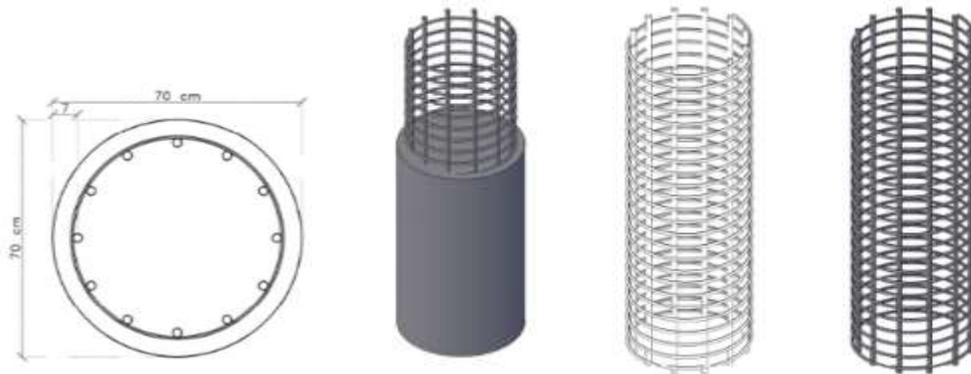
#### **4.3.7 Columnas de Concreto Reforzado**

De acuerdo con la NTC una columna es un elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que 3 usada principalmente para resistir carga axial de compresión.

Estos elementos transmiten las cargas verticales a la cimentación, el concreto y el acero deben trabajar en conjunto para que las deformaciones de ambos materiales sean iguales, las columnas se fijan a la cimentación con anclajes contemplados en la construcción de la cimentación, la longitud de los traslapes en el acero de refuerzo depende del diámetro de la varilla y debe estar especificada en los detalles del plano estructural.

Se deben identificar los diámetros de varilla que serán utilizados, el tipo de acero, las dimensiones y separaciones de los estribos, si hay necesidad de formar paquetes de varillas, etcétera., esta información debe estar contenida en el proyecto estructural.

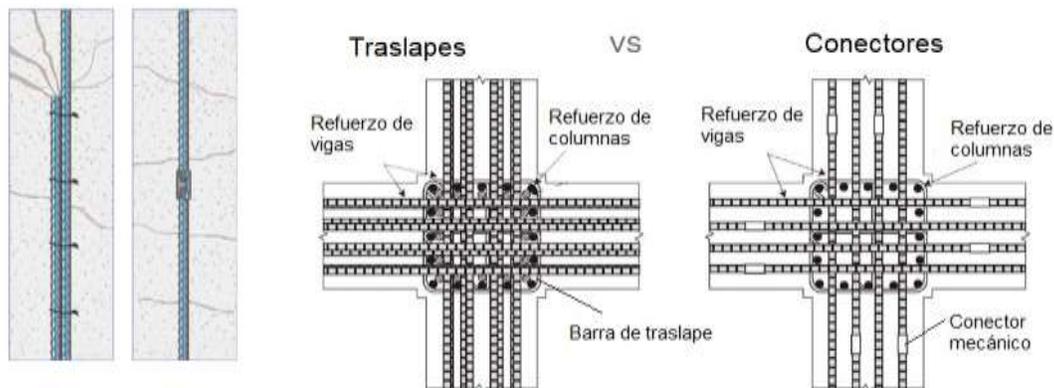


**Figura 20.** *Columna circular de concreto reforzado*

*Nota:* Columna circular de concreto reforzado [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Cuando la cantidad de acero en la sección transversal es muy densa los traslapes de varilla pueden obstruir el libre paso del concreto al ser vaciado. En este caso el constructor puede considerar la utilización de conectores de varilla. La figura 21 muestra una comparativa de espacios al utilizar traslapes y conectores.

**Figura 21.** Comparativa de traslapes y conectores para varilla



*Nota:* Adaptada de *Conectores mecánicos* [Esquema], por Garant Mexicana, s.f., (<https://garant.mx/conectores-mecanicos-lenton-conectores-varilla/>).

La cimbra de las columnas debe ser capaz de soportar los empujes del concreto fresco y, antes de la colocación del concreto, se debe comprobar la verticalidad del elemento, apuntalar de manera que durante el colado no se presenten inclinaciones ni deformaciones de la cimbra.

Las dimensiones de las columnas en un proyecto generalmente son uniformes, lo que permite que en la etapa constructiva se puedan utilizar moldes fabricados y diseñados por empresas especialistas en moldes para concreto. La utilización de estos sistemas reduce tiempos y disminuye la posibilidad de deformaciones, inclinaciones y desplazamientos.

Al hacer la planeación de la colocación del concreto, se tomará en cuenta los accesos, la zona de maniobras para ollas revolvedoras, equipos de elevación, interferencias internas y externas, contar con el personal y equipo suficientes para que el suministro y colocación sea de manera continua.

Como en todo elemento estructural, medirá el revenimiento del concreto a cada una de las ollas que lo suministren y se tomarán muestras para elaborar los cilindros correspondientes a la prueba de compresión.

**Figura 22.** *Cimbra metálica en columnas*



*Nota:* Adaptada de Torres BRIO [Fotografía], por ULMA Construction, 2024, ULMA (<https://www.ulmaconstruction.com.mx/es-mx/cimbras/cimbras-muros-columnas/cimbra-pilares-circulares-clr/l>).

#### **4.3.8 Muros de Concreto Reforzado**

Otro elemento común de concreto reforzado son los muros, éstos ayudan a transmitir las cargas verticales a la cimentación, también funcionan como diafragmas, es decir rigidizan los marcos que los confinan haciendo que determinadas zonas de la estructura sean menos dúctiles y presenten menor deformación en caso de sismos (si el sentido de la onda es paralelo al muro).

Al construir la cimentación, se deben dejar las varillas en la parte superior con la longitud que indica el reglamento para dar continuidad al sistema estructural. Deberá tenerse el cuidado que el diámetro de varillas y la separación correspondan al proyecto. Los muros pueden tener una parrilla colocada en el centro del elemento o doble parrilla, que no necesariamente tienen el mismo armado (diámetros y separaciones) en su cara interior y exterior. Debe tenerse especial cuidado en las separaciones que hay entre parrillas y la que estas tienen con la cimbra, si las parrillas se mueven pueden formar zonas donde el agregado grueso del concreto no se distribuya correctamente. También es posible que cuando se coloque el concreto las parrillas se recarguen hacia las paredes del muro y se reduzca el recubrimiento que en el peor de los casos hace visibles las varillas cuando se retira la cimbra. Para evitar lo anterior, se colocarán calzas plásticas para asegurar que durante el colado se mantengan las separaciones.

La cimbra debe soportar las cargas que produce el concreto fresco y debe poder ser colocada y retirada con facilidad. Si el elemento se recubrirá con un acabado se utilizará cimbra común; si el elemento no tiene considerado recibir recubrimiento y estará a la vista, se utiliza una cimbra aparente cuya finalidad es dar acabado un final de concreto de mejor estética. Para muros se recomienda que la cimbra sea modular, hay en el mercado empresas que diseñan y construyen cimbra con madera, paneles, estructura de acero y los accesorios necesarios para su montaje, un buen diseño de cimbra repercute en un buen acabado, condiciones seguras para los trabajadores y ahorro de tiempo.

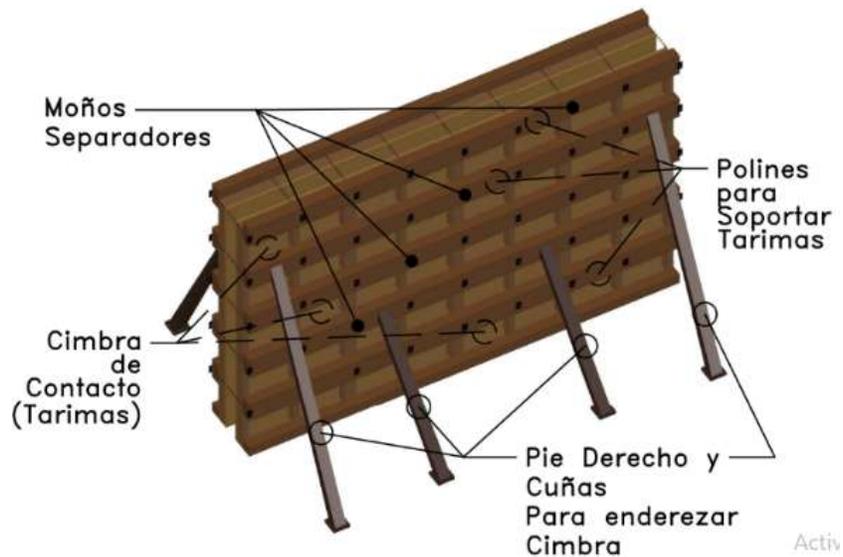
Antes de hacer la solicitud de concreto, se debe verificar la nivelación y plomeo de la cimbra y tener el visto bueno de la supervisión de la obra. Algunos muros tienen en su interior conductos para las instalaciones, si es el caso, también se verificará que se encuentre de acuerdo con el proyecto y contemple los últimos cambios. Tomar en cuenta que demoler parte del muro por omisión en la colocación de algún ducto afectará a la resistencia de diseño del muro. Durante la colocación del concreto se verificará en todo momento que no se excedan las tolerancias verticales y horizontales.



Por último, no se debe descuidar el curado del muro, generalmente será con algún producto líquido que pueda ser aplicado con aspersor en la forma y cantidad que recomienda el fabricante.

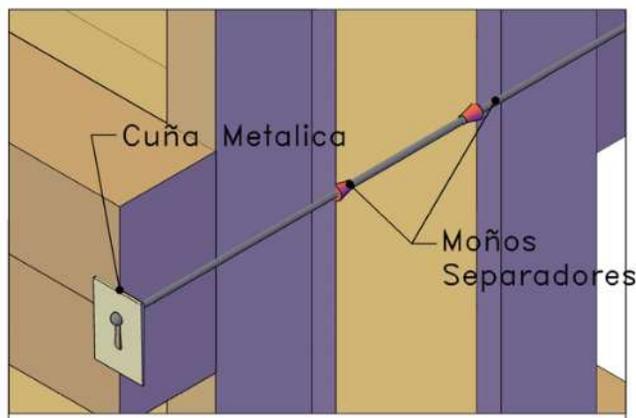
La figura 23 muestra los elementos que conforman una cimbra para muro de concreto y la figura 24 muestra el detalle de la cimbra cuando se utilizan separadores y cuñas.

**Figura 23.** Ejemplo de cimbra para muro de concreto



*Nota: Cimbra para muro de concreto - ejemplo [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.*

**Figura 24.** Detalle de cimbra para muro de concreto



*Nota: cimbra para muro de concreto – detalle* [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024.  
Colección personal del autor.



### 4.3.9 Zapatas de Cimentación

Las zapatas de cimentación podrán ser aisladas o corridas, el cálculo estructural determina sus dimensiones en función de la resistencia del terreno y las cargas verticales. Si hay estudios suficientes del suelo, el diseño no cambiará, pero si al momento de hacer las excavaciones no se encuentra material adecuado para el desplante, hay presencia de agua, se afectan instalaciones o cualquier otra situación, se deberán tomar las medidas correctivas necesarias en el sitio del trabajo, en el proyecto o en ambos. Si las paredes de la excavación son inestables se apuntalará o se dará el talud suficiente para evitar la contaminación del fondo.

**Figura 25.** Zona para habilitado y corte de acero



*Nota:* Adaptada de *Nuevos proyectos* [Fotografía], por EARSA, 2018, (<https://www.earsa.com.mx/proyectos.php?ruta=nuevosproyectos&categoria=Nuevos%20Proyectos&imagenes=38>). Todos los derechos reservados.

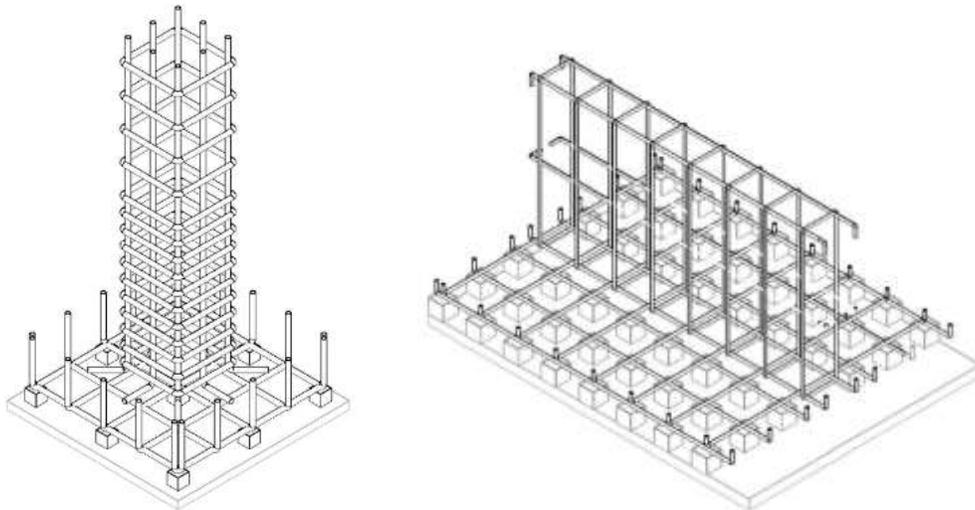
Sobre el fondo de la excavación se colocará una plantilla de concreto pobre del espesor que indique el proyecto (alrededor de 10 cm), esta plantilla evitará que el concreto estructural se contamine con el terreno natural además de que propicia un área de trabajo segura y limpia.

El habilitado de acero se hará lo más cercano a lugar de las zapatas, debido a que los diámetros utilizados en cimentación son mayores que en la estructura, se deben contar

con equipos de corte y doblado adecuados, es conveniente en la planeación de la obra asignar un área de trabajo que considere recibir la varilla extendida, mesas de trabajo para el corte y habilitado, así como la instalación eléctrica suficiente y segura para los equipos. En caso de que los espacios en la obra no permitan el corte y habilitado, se puede considerar que se realicen estas actividades en otro sitio y enviar a la obra las piezas en paquetes debidamente identificados.

Durante el armado hay que asegurar que el acero tenga el debido recubrimiento en la base y los costados, los espesores del recubrimiento deberán estar indicados en los planos, es usual que en obra se elaboren unas “galletas” de concreto pobre con el espesor de proyecto y éstas se amarren a la parrilla inferior. Las galletas son una piezas de concreto hechas en obra que pueden ser cuadradas o circulares de aproximadamente 7 cm de lado o diámetro y a las cuales se les coloca un trozo de alambre en donde la parte media queda dentro del concreto y las puntas por fuera.

**Figura 26.** Acero de refuerzo en zapata aislada y zapata corrida



*Nota:* Acero de refuerzo en zapata aislada y zapata corrida [Dibujo], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

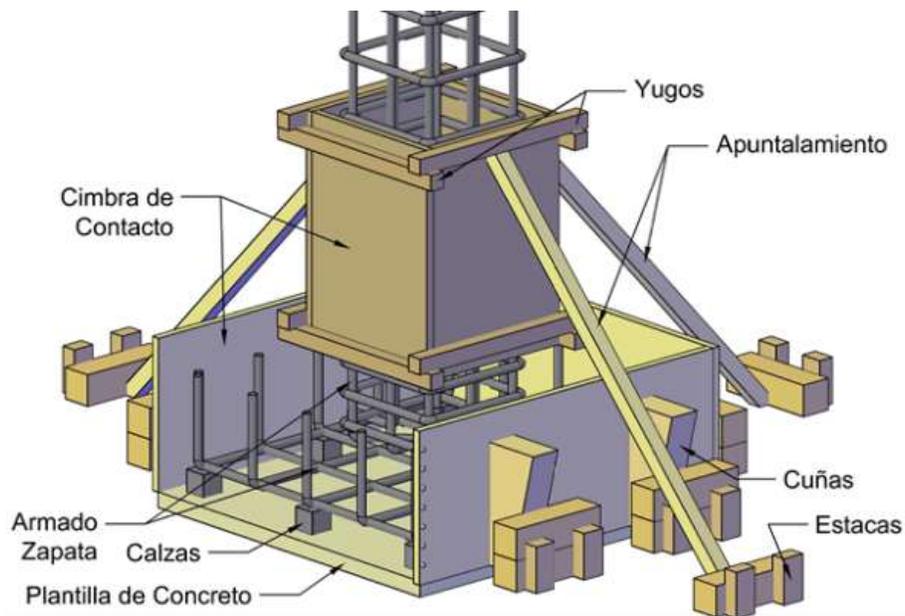
Cuando la cimentación tiene 2 parrillas, se identifican en los planos como cama inferior y cama superior, se debe tener cuidado de no confundir diámetros y separaciones en cada

cama. Para dar separación a la cama superior, se colocan unas piezas llamadas “silletas” que son elaboradas con varilla.

Sobre el armado de la zapata se coloca el acero de los dados, considerar que en el extremo inferior se forma una escuadra cuya longitud y posición también está señalada en los planos. En la parte superior se dejan las preparaciones para dar continuidad a las columnas si éstas son de concreto; si las columnas son metálicas, hay que dejar las anclas de diámetro y longitud que se marcan en proyecto, se tendrá especial cuidado de que las anclas tengan las separaciones y tolerancias para que la colocación de la placa base de las columnas coincida sin necesidad de adecuaciones en obra.

La cimbra utilizada en estos elementos deberá soportar los empujes del concreto fresco y las maniobras de su colocación. En la figura 27 se observa un ejemplo de cimbra con sus elementos básicos, el cálculo de empuje del concreto determinará la cantidad de madera necesaria para fabricar la cimbra.

**Figura 27.** Arreglo de cimbra en zapata aislada



*Nota:* Arreglo de cimbra en zapata aislada [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Previo al suministro de concreto se verificará con la supervisión los armados, diámetros, separaciones, niveles de acero y cimbra. Para la colocación del concreto se tratará de evitar la segregación de éste. En algunos casos es suficiente un concreto de bajo revenimiento que se coloca a tiro directo, pero si se requiere que sea bombeado se utilizará concreto de alto revenimiento para que pueda fluir por la tubería sin obstruirla.

#### **4.3.10 Losas de Cimentación**

Las losas de cimentación son otra alternativa de cimentación superficial, se utilizan en edificaciones de vivienda de 2 o 3 niveles o edificaciones de gran extensión como centros comerciales. Estructuralmente reparten el peso de la construcción en toda la superficie.

Generalmente el terreno sobre el que se construirán losas de cimentación debe ser mejorado. En primer lugar, hay que quitar toda la capa vegetal hasta llegar a suelo libre de materia orgánica, un estudio de mecánica de suelos determinará si el suelo natural es apto para las cargas, se recomienda realizar un mejoramiento del suelo mediante la incorporación de cal, para ello es necesario escarificar el suelo, aplicar una cantidad predeterminada de cal por cada  $m^2$  de terreno y compactar con rodillos vibratorios. Para llegar a los niveles de proyecto, se colocan capas de material inerte compactados con rodillos hasta alcanzar el porcentaje de compactación que indique el proyecto.

En el caso de vivienda de 2 o 3 niveles las losas de cimentación tienen cadenas perimetrales e intermedias que dan mayor resistencia donde se requiere, la excavación sólo se realizará en el lugar donde van estas cadenas y en el paso de instalaciones sanitarias. Después de colocar las tuberías, se rellenará con material producto de excavación.

Este tipo de cimentación no requiere plantilla si hay mejoramiento de terreno. Para evitar que el concreto fresco pierda contenido de agua, se coloca en el fondo de la losa una capa de polietileno calibre 600 color negro. Sobre el polietileno se colocará el armado de

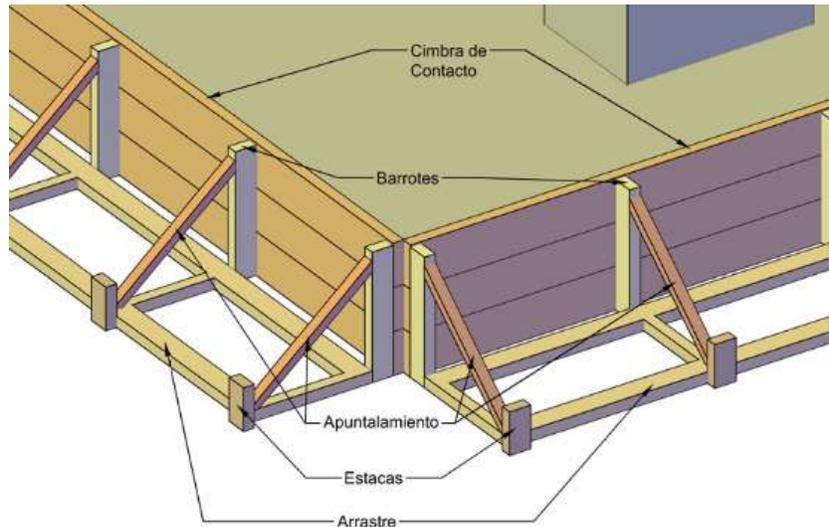


acero de la losa y también el acero que dará continuidad a castillos y muros. Hay que verificar con el proyecto de instalaciones la tubería que estará dentro de la losa y muros.

Al igual que los anteriores elementos de concreto, hay que tener el visto bueno de la supervisión antes de programar el suministro de concreto.

Las losas de cimentación están diseñadas para ser elementos monolíticos, esto quiere decir que hay que colocar el concreto de toda la losa en un solo evento. En la planeación del colado se tomará en cuenta el suministro continuo del concreto, el intervalo de tiempo entre cada camión mezclador, el personal y equipo suficientes para la colocación.

**Figura 28.** Arreglo de cimbra para losa de cimentación



*Nota:* Arreglo de cimbra para losa de cimentación [Esquema], por Departamento de Construcción, 2024. Colección personal del autor.

Como todo concreto expuesto al medio ambiente hay que seleccionar un método de curado. En el mercado existe variedad de marcas y productos, se debe de colocar en la forma y cantidad que recomienda la ficha técnica del fabricante.

### ***Conclusión Capitular***

Construir los elementos estructurales de una edificación con concreto reforzado requiere de la colaboración de varias especialidades de la ingeniería civil. La etapa de construcción es la encargada de materializar el proyecto del papel a la realidad.

Conocer los diversos procedimientos constructivos de los elementos estructurales nos será de utilidad al momento de planear las actividades particulares de cada elemento, en esta breve descripción se han mencionado algunas de éstas. Hay que comentar que cada proyecto se adapta a los recursos y tecnología disponibles del momento, por lo que las soluciones que en su momento fueron efectivas probablemente no lo sean después, de ahí la intención que el alumno esté en contacto directo con nuevos proyectos.

Por otro lado, el reglamento y las normas van actualizando su contenido y criterios de acuerdo con lo que se observa en el comportamiento de las estructuras existentes, sobre todo su desempeño ante fenómenos naturales como sismos y viento; por lo anterior es necesario que el constructor tenga presente las actualizaciones en la materia.



## **Bibliografía**

- ARCUX. (2024). *Especialidad en Revit Structure* [Video]. <https://arcux.net/es/curso/42809/especialidad-de-diseno-estructural-bim-con-revit-structure>
- Civilneting. (26 de septiembre de 2022). *Tipos de secciones transversales en columnas de concreto armado* [Dibujo]. Facebook. <https://www.facebook.com/civilneting/photos/pb.100063789557667.-2207520000/1518428938601736/?type=3>
- Dirección General de Comunicación Social. (19 de noviembre de 2019). *Estadio Olímpico Universitario, Orgullo de la UNAM y de México* [Fotografía]. Boletín UNAM-DGCS-813. [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/multimedia/WAV191115/813\(1\).jpg](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/multimedia/WAV191115/813(1).jpg)
- EARSA. (2018). *Nuevos proyectos* [Fotografía]. <https://www.earsa.com.mx/proyectos.php?ruta=nuevosproyectos&categoria=Nuevos%20Proyectos&imagenes=38>.
- Garant Mexicana. (s.f.). *Conectores Mecánicos* [Esquema]. <https://garant.mx/conectores-mecanicos-lenton-conectores-varilla/>
- Gobierno de la Ciudad de México. (06 de noviembre de 2023). *Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto* [Archivo PDF]. Disponible en Consejería Jurídica y de Servicios Legales: Gaceta Oficial de la Ciudad de México. [https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf](https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/b3c4f4ff37241d0a93cc6742a8b0bf2f.pdf)
- Gobierno de la Ciudad de México. (08 de mayo de 2024). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal* [Archivo PDF]. Disponible en Dirección General Jurídica y de Estudios Legislativos: Leyes y Reglamentos. [https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO\\_DE\\_CONSTRUCCIONES\\_DEL\\_DISTRITO\\_FEDERAL\\_8.pdf](https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/RGTO_DE_CONSTRUCCIONES_DEL_DISTRITO_FEDERAL_8.pdf)
- Gobierno de la Ciudad de México. (2021). *Entrega de Vivienda del Proyecto de Calle 5 No. 214* [Fotografía]. Instituto de Vivienda de la Ciudad de México. <https://www.invi.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/EntregaViviendaDelProyectoCalle5No214>
- Gobierno de la Ciudad de México. (2023). *Entrega Martí Batres edificio reconstruido en Escuela Primaria “Prof. Pablo Damián González”, dañada por el sismo de 2017* [Fotografía]. Jefatura de Gobierno. <https://jefaturadegobierno.cdmx.gob.mx/>



- comunicacion/nota/entrega-marti-batres-edificio-reconstruido-en-escuela-primaria-prof-pablo-damian-gonzalez-danada-por-el-sismo-de-2017
- México Destinos. (s.f.). *Forum Buenavista Ciudad de México* [Fotografía]. <https://www.mexicodestinos.com/lugares/forum-buenavista-ciudad-de-mexico>
- Opción. (2009). *Pone PEMEX en operaciones tanque vertical* [Fotografía]. *Blogger*. <https://revistaopcion.blogspot.com/2009/03/pone-pemex-en-operaciones-tanque.html>
- PERI México. (s.f.). *Cimbra para losas con viga MULTIFLEX* [Fotografía]. PERI. <https://www.peri.com.mx/products/formwork/multiflex-girder-slab-formwork.html>
- PERI México. (s.f.). *Módulos de mesas VT para losas* [Fotografía]. PERI. <https://www.peri.com.mx/products/formwork/table-module-vt-slab-table.html>
- Ruiz M. (15 de marzo de 2024). *AIFA publica tarifa de pensión mensual de estacionamiento* [Fotografía]. La Agencia de Viajes México. <https://mexico.ladevi.info/aifa/aifa-publica-tarifa-pension-mensual-estacionamiento-n48606>
- Sánchez A. (27 de octubre de 2022). *Reabrirá Hospital General Cuajimalpa bajo esquema del IMSS-Bienestar* [Fotografía]. *La Prensa*. <https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/reabrir-hospital-general-cuajimalpa-bajo-esquema-del-imss-bienestar-9098071.html>
- Sheybiu, Sujeilli. (23 de mayo de 2012). *Museo Soumaya* [Fotografía]. *Blogger: Construcciones en México*. <https://yeisu.blogspot.com/2012/05/estructura-museo-soumaya-el-museo.html>
- ULMA Construction. (2024). *Torres BRIO* [Fotografía]. <https://www.ulmaconstruction.com.mx/es-mx/cimbras/cimbras-muros-columnas/cimbra-pilares-circulares-clr /l>



**Índice de Figuras**

<b>Figura 1.</b> Proyecto de edificación con elementos estructurales de concreto reforzado ..	2
<b>Figura 2.</b> Elementos estructurales en una edificación típica .....	4
<b>Figura 3.</b> Secciones transversales de columnas de concreto reforzado.....	4
<b>Figura 4.</b> Columna circular de concreto reforzado .....	5
<b>Figura 5.</b> Esfuerzos de tensión, compresión y cortante en vigas.....	6
<b>Figura 6.</b> Disposición estructural que genera torsión en la viga.....	6
<b>Figura 7.</b> Refuerzo de acero en columnas.....	20
<b>Figura 8.</b> Etapas de elaboración de un elemento de concreto reforzado.....	20
<b>Figura 9.</b> Armado de acero típico de una viga de concreto.....	22
<b>Figura 10.</b> Armado de acero de una viga apoyada en 2 extremos .....	23
<b>Figura 11.</b> Elementos que componen una cimbra para viga.....	23
<b>Figura 12.</b> Colocación de cimbra para trabe.....	24
<b>Figura 13.</b> Tipos de losas comunes en edificación .....	24
<b>Figura 14.</b> Elementos que componen una cimbra de losa maciza.....	25
<b>Figura 15.</b> Cimbra modular para losa .....	26
<b>Figura 16.</b> Elementos de cimbra modular para losa .....	26
<b>Figura 17.</b> Losa de vigueta y bovedilla de poliestireno .....	29
<b>Figura 18.</b> Sistema de losa con lámina Deck.....	30
<b>Figura 19.</b> Losa aligerada con sistema Deck.....	30
<b>Figura 20.</b> Columna circular de concreto reforzado.....	32
<b>Figura 21.</b> Comparativa de traslapes y conectores para varilla .....	33
<b>Figura 22.</b> Cimbra metálica en columnas .....	34
<b>Figura 23.</b> Ejemplo de cimbra para muro de concreto.....	36
<b>Figura 24.</b> Detalle de cimbra para muro de concreto.....	36
<b>Figura 25.</b> Zona para habilitado y corte de acero .....	38
<b>Figura 26.</b> Acero de refuerzo en zapata aislada y zapata corrida.....	39
<b>Figura 27.</b> Arreglo de cimbra en zapata aislada .....	40
<b>Figura 28.</b> Arreglo de cimbra para losa de cimentación.....	42



**Índice de Tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Clasificación de edificaciones de acuerdo con su nivel de seguridad estructural</i> .....	8
--	---

Este trabajo fue desarrollado por académicos y alumnado adscrito al Departamento de Construcción de la División de Ingenierías Civil y Geomática con recursos del Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME PE101724).

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Facultad de Ingeniería (FI)

Dirección General de Asuntos  
del Personal Académico  
(DGAPA)



**Anexos**

**Anexo A** Clases y propiedades de los concretos estructurales convencionales

**Tabla 2.2.1 – Clases y propiedades de los concretos estructurales convencionales**

Requerimiento (inciso de referencia)	Método de ensayo	Concreto Clase 1		Concreto Clase 2
		1A	1B	
Resistencia a la compresión, $f'_c$ (2.2.6)	NMX-C-083-ONNCCE-2020	$25 \leq f'_c < 40$ MPa ( $250 \leq f'_c < 400$ kg/cm <sup>2</sup> )	$40 \leq f'_c \leq 70$ MPa ( $400 \leq f'_c \leq 700$ kg/cm <sup>2</sup> )	$20 \leq f'_c \leq 35$ MPa ( $200 \leq f'_c \leq 350$ kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia media a la tensión, $\bar{f}_t$ (2.2.7)	NMX-C-163-ONNCCE-2019	$0.47\sqrt{f'_c}$ , en MPa ( $1.5\sqrt{f'_c}$ , en kg/cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concretos con agregado grueso calizo:                              <math>0.53\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>1.67\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> <li>Concretos con agregado grueso basáltico:                              <math>0.47\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>1.50\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> </ul>	$0.38\sqrt{f'_c}$ , en MPa ( $1.2\sqrt{f'_c}$ , en kg/cm <sup>2</sup> )
Resistencia media a la tensión por flexión o módulo de rotura, $\bar{f}_f$ (2.2.7)	NMX-C-191-ONNCCE-2015	$0.63\sqrt{f'_c}$ , en MPa ( $2\sqrt{f'_c}$ , en kg/cm <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concretos con agregado grueso calizo:                              <math>0.85\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>2.70\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> <li>Concretos con agregado grueso basáltico:                              <math>0.80\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>2.54\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> </ul>	$0.44\sqrt{f'_c}$ , en MPa ( $1.4\sqrt{f'_c}$ , en kg/cm <sup>2</sup> )
Peso volumétrico en estado fresco (2.2.2)	NMX-C-162-ONNCCE-2014	$> 22$ kN/m <sup>3</sup> ( $> 2\ 200$ kg/m <sup>3</sup> )		$19 \leq$ peso vol. $\leq 22$ kN/m <sup>3</sup> ( $1\ 900 \leq$ peso vol. $\leq 2\ 200$ kg/m <sup>3</sup> )
Módulo de elasticidad, $E_c$ (2.2.8)	NMX-C-128-ONNCCE-2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concretos con agregado grueso calizo:                              <math>4\ 400\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>14\ 000\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> <li>Concretos con agregado grueso basáltico:                              <math>3\ 500\sqrt{f'_c}</math>, en MPa (<math>11\ 000\sqrt{f'_c}</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concretos con agregado grueso calizo:                              <math>2\ 700\sqrt{f'_c} + 11\ 000</math>, en MPa (<math>8\ 500\sqrt{f'_c} + 110\ 000</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> <li>Concretos con agregado grueso basáltico:                              <math>2\ 700\sqrt{f'_c} + 5\ 000</math>, en MPa (<math>8\ 500\sqrt{f'_c} + 50\ 000</math>, en kg/cm<sup>2</sup>)                         </li> </ul>	$2\ 500\sqrt{f'_c}$ , en MPa ( $8\ 000\sqrt{f'_c}$ , en kg/cm <sup>2</sup> )
Contracción por secado, $\epsilon_{cs}$ (2.2.9)	NMX-C-173-ONNCCE-2010	$\leq 0.001$	$\leq 0.0006$	$\leq 0.002$
Coefficiente de flujo plástico, $C_f$ (2.2.10)	ASTM C512/C512M-15	2		4
Aplicaciones		Debe utilizarse en: <ul style="list-style-type: none"> <li>Cimentaciones y estructuras del grupo A, B1 y B2.</li> <li>Estructuras con requerimientos de durabilidad.</li> </ul>		Es aceptable el uso en estructuras del grupo B2 que cumplan con todo lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> <li>Claros no mayores que 4 m</li> <li>Altura total de no más de 5 m en dos niveles, sobre nivel de banqueta y</li> <li>Estructuras de no más de 120 m<sup>2</sup> de construcción.</li> </ul>



## Anexo B Propiedades de los concretos estructurales para aplicaciones especiales

Tabla 2.3.1.1 – Propiedades de los concretos estructurales para aplicaciones especiales

Concretos estructurales para aplicaciones especiales	Propiedades y norma por aplicar	Límites o intervalos admisibles
Concreto autocompactante (véase 2.3.2)	Flujo de revenimiento: NMX-C-472-ONNCCE-2013	$T_{30} \leq 8$ s $550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
	Tiempo de escurrimiento (embudo V): BS EN 12350-9	$4 \text{ s} \leq T_v \leq 20 \text{ s}$
	Resistencia al bloqueo (anillo J): NMX-C-470-ONNCCE-2015	$a_p \geq a_r - 50 \text{ mm}$
	Resistencia al bloqueo (caja en L): BS EN 12350-10	$0.75 \leq C_{bl} \leq 1.00$
	Resistencia a la segregación estática: NMX-C-471-ONNCCE-2013	Máxima segregación igual a 10 por ciento
Concreto ligero <sup>(1)</sup> (véase 2.3.3)	Peso volumétrico en estado fresco NMX-C-162-ONNCCE-2014	$< 19 \text{ kN/m}^3$ ( $1\,900 \text{ kg/m}^3$ )
	Deformación unitaria a la falla del concreto en flexocompresión	$0.003 E_c/E_t$
	Para las propiedades mecánicas véase 2.3.3.2.2	Tablas 2.3.3.2.2.a y 2.3.3.2.2.b
	Módulo de elasticidad NMX-C-128-ONNCCE-2013	Se determina experimentalmente con un mínimo de seis pruebas para cada resistencia y cada tipo de agregado.
Concreto reforzado con fibras (véase 2.3.4)	Resistencia residual a la flexión NMX-C-535-ONNCCE-2017	Para una deflexión al centro del claro de $l/300$ , igual o mayor que 90 por ciento de la resistencia a tensión del primer pico y mayor que $0.90 \times 0.62 \sqrt{f'_c}$ en MPa ( $0.90 \times 2\sqrt{f'_c}$ en $\text{kg/cm}^2$ ). Para una deflexión al centro del claro de $l/150$ , mayor o igual que 75 por ciento de la resistencia a tensión del primer pico y mayor que $0.75 \times 0.62 \sqrt{f'_c}$ en MPa ( $0.75 \times 2\sqrt{f'_c}$ en $\text{kg/cm}^2$ ).
Concreto reciclado (véase 2.3.5)	Porcentaje máximo de reemplazo de agregado grueso	20 por ciento
	Aplicaciones permitidas	Concreto Clase 2

<sup>(1)</sup> Sólo aplicable en capas de compresión en losas y en elementos secundarios.