



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



DIVISIÓN DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS Y DE LAS INGENIERÍAS
INGENIERÍA CIVIL

**MANUAL DE PROCESO CONSTRUCTIVO EN UN ELEMENTO
PREFABRICADO**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Ingeniero Civil

Presenta:

JORGE ESCALONA MERINO

Asesor:

Dr. Daniel Velázquez Vázquez

.Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, noviembre de 2018.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción	3
Capítulo 1. Papel del residente	7
Capítulo 2. El concreto y sus componentes	9
2.1 Concreto	16
2.2 Acero de refuerzo	18
2.3 Cimbras	26
2.4 Transporte del concreto	29
2.5 Aprobación para el colado	34
2.6 Compactación	39
2.7 Curado y protección	44
2.8 Elementos precolados	48
2.9 Supervisión de elementos presforzados	52
2.9.1 Concreto pretensado	52
2.9.2 Concreto postensado	53
Capítulo 3. Interpretación de resultados	55
Conclusiones	68
Bibliografía	69

Introducción

La población en las últimas décadas ha aumentado de manera vertiginosa, ello ha provocado una serie de cambios en las diferentes formaciones económicas y sociales, uno de los elementos sustanciales, a partir de los cuales se mide el desarrollo de las naciones es en gran parte por el crecimiento de sus infraestructuras, específicamente, las construcciones.

En la construcción, se han optimizado en cuanto al tiempo y la economía al realizarlos, por lo que no es de extrañarse que la industria de los prefabricados se haya convertido en una opción muy atractiva en las fechas actuales. Los prefabricados en el ámbito de la construcción se emplea para nombrar a un sistema de edificación que suele resultar más económico y simple que el tradicional. Bajo este método, los componentes estructurales se fabrican en serie en una planta industrial y luego se monta en el lugar de destino, que será el espacio definitivo que ocupará. El montaje se caracteriza por su simpleza y rapidez.

Los materiales de construcción son los productos con los cuales se ha servido el hombre a lo largo de la historia para mejorar su calidad de vida o simplemente para subsistir. Desde el comienzo de la civilización, cada época lleva el nombre del material que fue utilizado, por ejemplo: la edad de piedra, donde se emplearon rocas para construir cavernas y armas de caza, todo ello con base a productos rocosos.

Así, durante varios años los elementos prefabricados más utilizados hasta el siglo XIX fueron materiales pétreos, desde rocas hasta arcillas, constituyendo así un sistema constructivo de mampostería, haciendo uso de morteros y rocas para el levantamiento de un muro u algún otro elemento. De tal forma que se puede considerar un sistema prefabricado la elaboración de bloques a base de

cementantes, y agregados pétreos, tales como los tabiques de adobe, los bloques de arena y cal, barro, entre otros.

Existen varios precedentes de prefabricación a lo largo de la historia, esto, debido al propósito que tenía la sociedad de optimar los procesos constructivos. El primer ejemplo significativo de construcción industrializada y por lo tanto prefabricada, se remonta al siglo XVI cuando Leonardo da Vinci (Fernández, 2001), recibió el encargo de planificar una serie de nuevas ciudades en la región Loire. Su planteamiento consistió en establecer, en el centro y origen de cada ciudad, una fábrica de elementos básicos que permitieran conformar a su alrededor un gran abanico de edificios. Dichas construcciones habían sido diseñadas previamente por él mismo para generar, de forma fluida y flexible, una gran diversidad con un mínimo de elementos constructivos comunes.

Otro ejemplo, es el sucedido en ese mismo siglo durante la guerra entre franceses e ingleses, donde el ejército de Francisco I y Enrique II, planificó las batallas contra Inglaterra construyendo pabellones de madera prefabricados que albergaran a sus soldados durante la ofensiva. Transportados fácilmente por barco, se montaban y desmontaban rápidamente por los propios soldados, de tal forma que los campamentos fueran, además de resistentes y confortables, ágiles en sus desplazamientos.

Siguiendo una técnica muy similar, en 1578 también se ejecutó en Baffin (Canadá) una casa prefabricada de madera que había sido construida en Inglaterra. Asimismo, en 1624, la Great House, una casa de madera panelizada y modular, construida por Edward Winslow en Inglaterra, fue trasladada y montada en Massachussets, Estados Unidos. Aunque estos dos últimos ejemplos no se pueden considerar prefabricación en estado puro, ya que la construcción de elementos no fue en serie sino diseñados para edificaciones singulares, sí es evidente el cambio que se aprecia de manera significativa en cuanto a la mentalidad aplicada a la construcción.

Así, hasta el final del siglo XVIII cuando empezó a ser tangible la posibilidad de industrializar la construcción. En Europa, se empezó a desarrollar la construcción de puentes y cubiertas con hierro fundido, material que sería después aplicado a la elaboración de pilares y vigas de edificios. Al mismo tiempo, en Estados Unidos, se llevó a cabo la construcción de edificios de tipología Balloon Frame, constituidos por listones de madera provenientes de fábrica y ensamblados mediante clavos fabricados industrialmente.

Por otro lado, habría que esperar hasta finales del siglo XIX para que se volviera a utilizar el concreto en la edificación (que apenas se había empleado desde la época de los romanos), que aplicado junto con entramados de alambres, constituiría una materia prima ideal para prefabricados. Como se puede observar, la prefabricación no es algo reciente. Desde que se empezó a construir con concreto armado ha existido cierto grado de prefabricación¹. Ejemplo de ello es la embarcación de Lamtot (1848), las vigas de hormigón del casino BIARRITZ (1981)². Estas obras son algunos ejemplos de los primeros proyectos con secciones pre construidas. Esto nos señala que la prefabricación ha estado vigente de manera más recurrente, desde mediados de 1800. En la actualidad se ocupa en muchas obras, y otro ejemplo de prefabricación es la vigueta y bovedilla.

El prefabricado es un sistema basado en componentes elaborados en serie, los cuales por su diseño y producción pueden trasladarse desde la fábrica hasta su ubicación final, donde tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa se monta la edificación. Asimismo, se puede conocer el grado de prefabricación de un edificio al valorar la cantidad de residuos generados en la obra.

Con esto se demuestra que los prefabricados de concreto son una alternativa práctica, económica y rápida, en la industria de la construcción, comparada con procesos tradicionales.

¹ Según el Manual de la construcción prefabricada KONCZ, Tomo 1, página 6).

² Primeros elementos pre construidos para la carga. Fueron construidos por Ed Coignet.

Es por la importancia que adquiere el prefabricado en los últimos años, que se aborda en esta investigación. En el capítulo 1 se aborda el papel de residente y sus especificaciones.

En el capítulo 2 se revisa el concreto y sus componentes: acero de refuerzo, cimbras, transporte, colocación. Así mismo, se aborda el bombeo del concreto con las máquinas, como elaborar el concreto, su compactación, curado y los elementos del precolado con el concreto pretensado y postensado.

En el capítulo 3 se analiza la importancia de la elaboración del elemento prefabricado de acuerdo a las Normas Mexicanas de Construcción.

Capítulo 1

Papel del residente

La residencia tiene como finalidad que se logren fielmente los propósitos de los planos y las especificaciones del proyecto. Además de cumplir con los plazos establecidos. En cuanto a los alcances, tenemos que:

- Las observaciones visuales y mediciones de campo.
- Ensayos de laboratorio.
- Recolección y evaluación de resultados.

El residente se define como la persona encargada de verificar la calidad de los materiales y procesos constructivos, para lograr que los elementos se realicen de acuerdo a lo indicado en las especificaciones y planos del proyecto.

Las especificaciones, son la serie de requisitos que fija el proyectista o director de una obra, con el objetivo de que el contratista se apegue a ellas; además de construir el principal criterio que gobierna las decisiones y actuaciones de un residente.

Por su parte, el residente asume el compromiso de trabajar alineado a las especificaciones del proyecto, las cuales forman parte del contrato:

- Normas.
- Reglamentos.
- Especificaciones.

En forma general, se puede decir que los principales deberes de la residencia son los siguientes:

1. Identificación, examen y aceptación de los materiales. Incluye verificación de la calidad.
2. Control de la dosificación, medición y ajuste de la mezcla y de los ensayos al concreto fresco.
3. Revisión de cimbras, acero de refuerzo, de la limpieza y demás trabajos previos al colado.
4. Supervisión del mezclado, transporte, colocación, compactación, acabado, curado y protección del concreto.
5. Revisión general del personal y equipo de trabajo del contratista, así como de factores (clima) que puedan afectar la calidad del concreto o a otras partes de la estructura relacionadas.
6. Evaluación de los resultados de ensaye.
7. Verificar que se corrijan los puntos inaceptables.
8. Preparación de registros e informes.
9. Controlar los programas.

El residente debe presentar una actitud impersonal y de ayuda hacia el contratista y sus empleados, a saber:

- Evitar familiaridad.
- No aceptar favores personales.
- No debe dar instrucciones al contratista de cómo hacer un determinado trabajo.
- El supervisor sólo debe exigir que se cumpla con los requisitos especificados.

Una buena relación entre residente y contratista, puede resultar buena cooperación entre ambos, lo que traerá reducción de costo y seguramente cumplimiento de especificaciones.

Capítulo 2

El concreto y sus componentes

El concreto se define como un material artificial formado por la mezcla de cemento, grava, arena, agua y aditivos en cantidades predeterminadas, los principios de calidad del concreto son:

- Selección de componentes.
- Estudio de proporciones.
- Procesos adecuados:
 - Producción.
 - Transporte.
 - Colocación.
 - Compactación.
 - Acabado.
 - Curado.
 - Descimbrado.

En cuanto a la calidad del concreto, ésta puede ser en concreto fresco o concreto endurecido.

Los componentes del concreto que se utilizan en cantidades predeterminadas son:

- a) Cemento.
- b) Agregados.
- c) Agua.
- d) Aditivos.

A continuación se explica en que consiste cada uno de los componentes del concreto:

a) CEMENTO

Es el producto de la pulverización del Clinker, consiste principalmente en silicatos hidráulicos de calcio así como algunos aluminatos y aluminio ferratos de calcio. Normalmente contiene una o más formas de sulfato de calcio (yeso) como adición en la molienda.

Tipos de Cemento Portland:

- Tipo I: Común o normal.
- Tipo II: Modificado.
- Tipo III: Resistencia rápida.
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Resistencia a los sulfatos.
- Cemento portland puzolánico.
- Tipo IP: Construcciones en general.
- Tipo P: Estructurara masivas.

La Norma Mexicana de Construcción: NMX-C-414-ONNCCE-1999, sugiere los siguientes tipos de cemento:

- CPO Cemento portland ordinario.
- CPP Cemento portland puzolanico.
- CPEG Cemento portland con Escoria de Alto Horno.
- CPC Cemento portland compuesto.
- CPS Cemento con humo de sílice.
- CEG Cemento con escoria de alto horno.

Las características especiales de los cementos se ubican en cuatro grupos: resistencia a los sulfatos (RS), baja reactividad álcali-agregado (BRA), bajo calor de hidratación (BCH), blanco (B) y cemento CPEG 30 RS, cemento portland con la adicción de escoria, de clase resistente 30, con una resistencia normal y resistente 40% a los sulfatos. Respecto al almacenamiento del cemento, este puede hacerse en:

- En sacos
 - Sobre plataformas:
 - Menos de 60 días, 14 sacos.
 - Más de 60 días, 7 sacos máximo.
- A granel (silos)
 - Se deben vaciar con frecuencia, de preferencia cada mes.
 - Fondo: Silo circular: inclinación mínima 50° y silo rectangular: inclinación 55° a 60°.

b) AGREGADOS

Los agregados para la mezcla pueden ser los siguientes:

- Grava > malla No.4 (4.75).
- Arena < malla No. 4.
- 60 al 75% del volumen.
- 75 al 85% de la masa.
- Partículas sanas y densas, resistencia a intemperie sin materiales nocivos.

Los agregados se determinan de acuerdo a las siguientes propiedades:

- Granulometría.
- Módulo de finura.
- Masa específica y absorción.
- Peso volumétricos (suelo y varillado).
- Materia orgánica.
- Material fino < malla 200.
- Abrasión de los ángeles.
- Coeficiente volumétrico.
- Intemperismo acelerado.
- Reactividad con los álcalis.

En la siguiente imagen podemos apreciar la clasificación de arena por módulo de finura:

Módulo de finura

Σ % retentidos acumulados en los tamices de la serie estándar

100

El módulo de finura es un índice de la finura del agregado. Cuanto mayor es el MF, más grueso es el agregado

El MF de cualquier entrega realizada durante el progreso de la obra no debe variar más de ± 0.20 del N° valor inicialmente aprobado.

Agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo MF.

Denominación n	Abertura a (")	Abertura a (mm)
6....	6	150
3....	3	75
1½	1.5	37.5
¾	0.75	19
⅜	0.375	9.5
N° 4	0.187	4.75
8	0.0937	2.36
N° 16	0.0469	1.18
N° 30	0.0234	0.59
N° 50	0.0117	0.295
N° 100	0.0059	0.1475

Representación esquemática de la humedad del agregado:

1	2	3	4
Secado al horno	Secado al aire	Saturados y superficialmente secos (SSS)	Húmedos

1. **Secado al horno.** Materiales completamente absorbentes
2. **Secados al aire.** Materiales secos en la superficie de humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
3. **Saturados y superficialmente secos (SSS).** No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
4. **Húmedos.** Contienen un acceso de humedad en la superficie (agua libre).

Coeficientes volumétricos:

Mezcla	Peso volumétrico fresco (kg/m ³)
CN200	2246.68
CR200	2124.05
CN300	2250.78
CR300	2115.70
CN400	2251.20
CR400	2122.21

El tamaño máximo del agregado puede ser:

- ASTM C-125 Y ACI 116: El menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe pasar.
- El TMA depende de: tamaño y forma del elemento, cantidad y distribución del acero de refuerzo.
- Para una relación de a/c dada, la cantidad de cemento disminuye al incrementar el TMA.

La forma y textura superficial de los agregados puede ser:

- La forma y textura influye más en las propiedades del concreto fresco que en el endurecido.
- Partículas alongadas, angulares y de textura rugosa requieren más agua que los redondeados y lisos.
- Máximo 15% partículas planas y alongadas.
- La adherencia entre pasta y agregados se incrementa a medida que se cambian de lisa y redondeadas a rugosa y angulares.

En relación al coeficiente volumétrico, tenemos que:

- Es la relación de la suma de los volúmenes de un grupo de partículas (grava) y la suma de los volúmenes de la esfera que circunscriben a cada partícula. Evalúa cuantitativamente la forma de partícula.
- Las NTC para concreto clase 1 CV>0.20.

En el manejo y almacenamiento de agregados, es muy importante que se considere lo siguiente:

- Evitar segregación y degradación.
- Evitar contaminación.
- No formar pilas altas, en forma de cono, produce segregación.
- Los agregados lavados se deben almacenar con suficiente anticipación para lograr un contenido de humedad uniforme.
- El agregado fino presenta menor tendencia a la segregación en estado saturado.
- Para evitar contaminación se deben usar mamparas o divisiones.

En cuanto a los requisitos de calidad para los agregados son: ASTM C 33/NMX C -111, se establece los requisitos de calidad para grava y arena.

c) AGUA

En lo referente al agua, se sugiere lo siguiente:

- NMX
 - PCA
 - ACI 318
 - ASTM
 - Agua natural potable.
 - En caso de dudas: cubos para prueba de resistencia a 7 de edad > 90% testigos con agua destilada.
 - Aguas ácidas ph < 3 se deben evitar.
- | | |
|----------------------|--|
| C-122 | |
| Cap.3 | |
| Cap.3.4 | |
| No especificaciones. | |

d) ADITIVOS

Son los materiales diferentes del agua, de los agregados y del cemento, los cuales se usan como un ingrediente del concreto, con el propósito de modificar alguna de sus propiedades, de acuerdo al trabajo en el que se vaya a emplear. Los aditivos se clasifican en:

- **Inclusores de aire:** Incrementan la durabilidad, la trabajabilidad y reducen la segregación y el sangrado.
- **Reductores de agua:** Disminuyen la cantidad de agua de mezclado para un revenimiento establecido, reducen la relación A/C, aumentan el revenimiento: Reductores normales: 5 a 10%; Reductores alto rango: 12 a 30%.
- **Retardantes:** Reducen a velocidad de fraguado del concreto, sus principales usos son: Compensar efecto acelerante en climas cálidos, retardar el fraguado inicial en condiciones difíciles de colocación, retrasar el fraguado para acabados especiales. La mayoría de los retardantes también actúan como reductores de agua.
- **Acelerantes:** Aceleran el desarrollo de resistencia a edad temprana, el cloruro de calcio es el material más empleado. Se utiliza como cantidad máxima 2% del peso del cemento. No se recomienda cloruro de calcio en los siguientes casos:
 - Concreto preesforzados.
 - Concretos con elementos ahogados de aluminio.
 - Concretos expuestos a suelos o aguas que contengan sulfatos.
 - Losas de piso con acabado metálico.
 - Climas cálidos.
 - Concretos masivos.
- **Reductores de agua de alto rango:** Concretos con revenimientos bajos para producir concretos fluidos de alto revenimiento con poco o nulo sangrado y segregación. Principales usos:

- Secciones delgadas.
- Excesivo armado.
- Concreto bombeable.
- Áreas difíciles de compactar.
- Concretos con baja relación A/C.
- Minerales finamente molidos.
- Diversos: mejorar trabajabilidad, impermeabilizantes, colorantes, inhibidores de corrosión, ayuda bombeo, estabilizadores de volumen, entre otros.

Algunas razones para el empleo de aditivos son:

- Reducir costos.
- Mejorar alguna propiedad del concreto.
- Facilitar los procesos de mezclado, transporte y colocación.
- Mejorar la calidad del concreto en condiciones ambientales adversas.
- Superar eventualidades durante el colado.

2.1 Concreto

Se identifican dos tipos de concreto: el concreto fresco y el concreto endurecido.

1. Concreto Fresco: Algunas de sus características principales son:

- Trabajabilidad.
 - Facilidad para ser transportado, colocado y compactado sin agregación.
 - Granulometría.
 - Forma de partículas.
 - Proporciones.
 - Aire.
 - Consistencia.
- Consistencia: humedad de la mezcla-revenimiento para un mismo revenimiento el agua.

- Disminuye al incrementar TM.
- Disminuye al incluir aire o con aditivos.
- Aumenta con agregados angulares o de textura áspera.
- Segregación y sangrado.
 - Segregación: es la separación de los elementos que forman la mezcla.
 - Sangrado: forma de segregación en la cual parte del agua tiende a elevarse a la superficie.
- Fraguado.
 - Cambio de un fluido al estado rígido.
 - Fraguado inicial: 500 psi.
 - Fraguado final: 4000 psi.
- Uniformidad.

Los pasos a seguir antes o durante la elaboración del concreto:

- Verificación del equipo de dosificación y mezclado.
- Ajustes por variaciones en las características de los agregados.

Las pruebas al concreto elaborado son:

- Consistencia-revenimiento.
- Masa volumétrica-rendimiento.
- Contenido de aire-durabilidad.

2. Concreto endurecido, características principales:

- Resistencias mecánicas.
 - Resistencia a compresión.
 - Resistencia tensión (dependen básicamente de la relación A/C).
- Durabilidad.
 - Calidad de los agregados.
 - Relación A/C.
 - Contenido de aire.

Causas de deterioro:

- Congelación y deshielo.
- Exposición a sustancias químicas agresivas.
- Abrasión.
- Corrosión del acero y otros materiales ahogados.
- Reacciones químicas de los agregados.

La resistencia a la compresión de acuerdo a las Normas Mexicanas (NMX), son las siguientes:

Norma	Clasificación
NMX-C-83	Determinación de la resistencia a la compresión.
NMX-C-109	Cabeceo.
NMX-C-219	Resistencia a la compresión a edades tempranas y predicción de la misma a edades posteriores.
NMX-C-169	Corazones de concreto.
NMX-C-235	Resistencia a la compresión empleando porciones de vigas ensayadas a flexión.
NMX-C-236	Prácticas para examinar y muestrear el concreto endurecido en el sitio de colado.
NMX-C-290	Elaboración, curado acelerado y prueba a compresión de especímenes de concreto.

2.2 Acero de refuerzo

Algunas definiciones del acero de refuerzo son:

- Varilla corrugada: Barra de acero especialmente fabricado para usarse como refuerzo del concreto y cuya superficie está provista de salientes llamadas corrugaciones.

- Número de designación: Numero de octavos de pulgada del diámetro nominal de la varilla.
- Diámetro nominal: Es el equivalente al diámetro de una barra redonda lisa que tenga la misma masa que la corrugada.

En cuanto a los requisitos de calidad, tenemos que:

- Las varillas corrugadas deben cumplir con los requisitos que se establecen en NMX C-407 (ADTMA A 615).
- Las mallas de varilla para reforzar concreto deben cumplir lo indicado en NMX C-290 (ASTMA-184).

Las varillas corrugadas ASTMA 615, deben contar con las siguientes características:

GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA Lb/pulg²
60	60000
75	75000

En relación a los requisitos de tensión, de doblado y físicos tenemos que:

- Requisitos de tensión:

- Resistencia máxima.
- Resistencia a la fluencia.
- Alargamiento en 200 mm (8 pulgadas).

Requisitos de doblado:

- Las probetas deben doblarse alrededor de un mandril del diámetro indicado en la norma,
- según el número de designación de la varilla y el grado, sin agrietarse.
- La prueba de realizarse a temperatura ambiente y en ningún caso a menos de 16° C.

Requisitos físicos

- Masa unitaria (kg/m).
- Área.
- Diámetro.
- Características de las corrugaciones: Espaciamiento, altura y distancia máxima entre extremos.

En cuanto al almacenamiento es importante observar lo siguiente:

- Hay que evitar condiciones de almacenamiento que propicien una oxidación excesiva.
- Una ligera película de óxido mejora la adherencia.
- Debe removerse toda la capa gruesa consistente de escamas o laminillas que se caen al doblar o cortar la varilla.
- Excepto para el acero de pres fuerza, el acero de refuerzo con óxido, escamas o una combinación de ambos, se debe considerar satisfactorio si las dimensiones mínimas (incluyendo la altura de las corrugaciones) y el peso de un espécimen de prueba cepillado a mano, están de acuerdo con lo especificado en la norma correspondiente.
- Una ligera oxidación del refuerzo no es dañina y de hecho mejora la adherencia con el concreto.
- Si la oxidación es tan profunda que reduzca la sección transversal del acero, se debe remplazar.

Para el momento de colocar el concreto, el acero de refuerzo debe estar libre de lodo, aceite u otros recubrimientos no metálicos que puedan disminuir su capacidad de adherencia. Además de lo anterior, se tiene que considerar lo siguiente:

1. Gancho estándar

- Doblez de 180° más una extensión de 4 db, pero no menos de 6.5 cm del extremo libre de la varilla.
- Doblez de 90° más una extensión de 12 db, del extremo libre de la varilla.

2. Ganchos de estribos y anillos.

- Varillas del núm. 5 y menores: dobles de 90° más 6db de extensión del extremo libre de la varilla.
- Varillas del núm. 6 al 8: dobles de 90° más extensión de 12 db.
- Varillas del núm. 8 y menores: dobles de 135° más extensión de 6 db.

3. Diámetro mínimo de doblado.

- Excepto para estribos y anillos del núm. 3 a 5 no menor de:

Núm. de varilla	Diámetro (min.)
3 a 8	6 db.
9, 10 y 11	8 db.
14 y 18	10 db.

- El diámetro interior de los dobles para estribos y anillos: para varillas del núm. 5 y menores, no debe ser menor de 4 db. Para varillas mayores lo indicado en la tabla anterior.
- Para malla electro soldada de alambre liso o corrugado mayor de d6 para estribos y anillos, el diámetro de doblados no debe ser menor de 4db.
- Para los demás alambres: 2db.
- Todo el acero de refuerzo debe doblarse en frio, a menos que el ingeniero lo permita de otra manera.
- El acero de refuerzo parcialmente ahogado en el concreto, no debe doblarse en la obra, excepto cuando así lo indiquen los planos del proyecto o lo permita el ingeniero.
- Caliente el refuerzo para doblarlo únicamente cuando sea aprobado en el proyecto, debido a que el calentamiento puede cambiar las características del acero.
- No caliente por encima de 650° C y permita se enfríe lentamente.
- Independientemente de las tolerancias de los dobles, todas las partes de la varilla deben tener el recubrimiento especificado.
- No doblar y enderezar la varilla de manera q se pueda debilitar.

4. Colocación del acero de refuerzo.

- El refuerzo, incluyendo los cables y los ductos de pos tensado se deben colocar con precisión y estar adecuadamente apoyados antes de colocar el concreto y estar asegurados contra desplazamientos dentro de las tolerancias especificadas.

5. Tolerancias en la colocación.

- Tolerancia en peralte y recubrimiento.

d	d	recubrimiento
d < 20 cm	± 1.0	- 1.0 cm
d > 20 cm	± 1.5	- 1.5 cm

DETALLES DE REFUERZO									
					f'c= 600 kg/cm ² fy= 4200 kg/cm ²				
#	r	Lt*	LD*	Ld	L1	L2	L3	L4	L5
3	3	40	30	15	11	4	16	8	10
4	4	46	32	19	15	5	21	11	13
5	5	57	40	24	19	6	26	13	16
6	6	69	48	29	23	8	32	16	19
8	8	92	64	38	30	10	42	21	
10	11	125	94	48	38	13	52	26	
12	13	180	135	57	46	15	62	32	

* POR 1.4 , P/BARRAS HORIZONTALES CON MAS DE 30cm DE CONCRETO BAJO ELLAS.

r= RADIO DOBLEZ; Lt= LONG. TRASLAPE; LD =LONG.DESARROLLO (VAR.RECTA); Ld= LONG.DESARR. (VAR.DOBLADA).

Tolerancias para la localización longitudinal de dobleces y cortes.

6. Empalmes

- Solo se deben hacer empalmes cuando lo permitan las especificaciones o planos de proyecto.
- En varillas del número 10 y mayores no se permite empalme.
- Las uniones mecánicas y uniones soldadas deben desarrollar una resistencia a tensión de por lo menos 125% de la resistencia de fluencia.

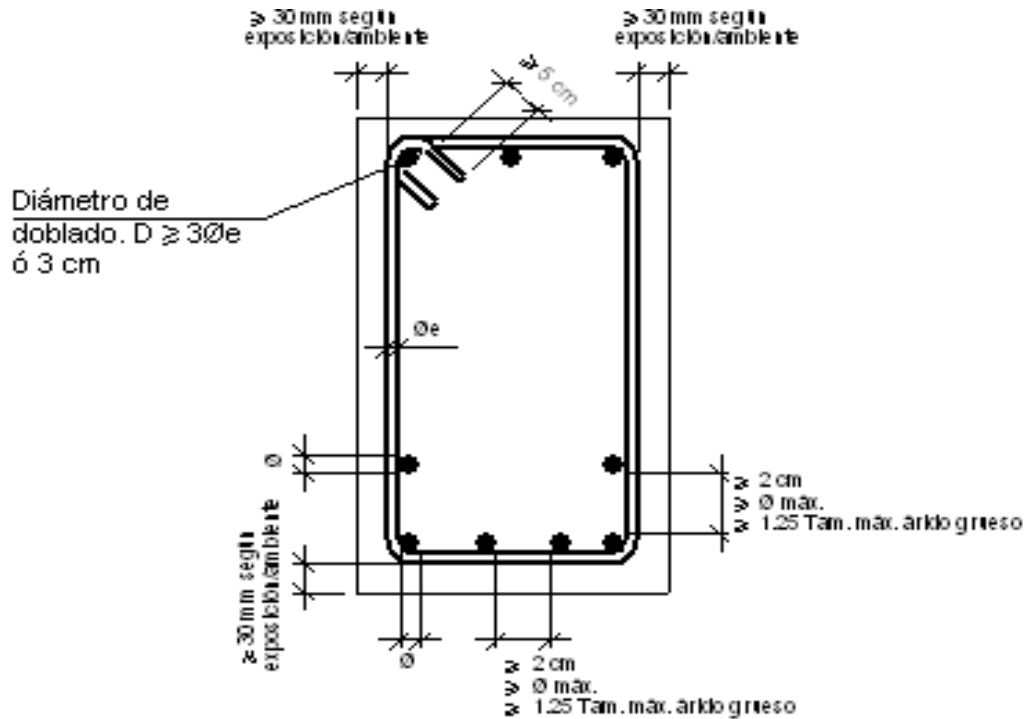
7. Tolerancias en colocación.

- Dobleces y extremos del refuerzo: 5 cm.
- Extremos discontinuos y ménsulas: 1.5 cm.
- No se permite soldar intersecciones de varillas para sujetarlas.

8. Espaciamiento entre varillas.

- Separación libre mínima entre varillas paralelas: d_b , mínimo 2.5 cm.
- En elementos reforzados con espirales: $1.5 d_b > 4 \text{ cm}$.
- En muros y losas: máximo, 3 espesor o 45 cm el menor.

9. Límites para el espaciamiento:



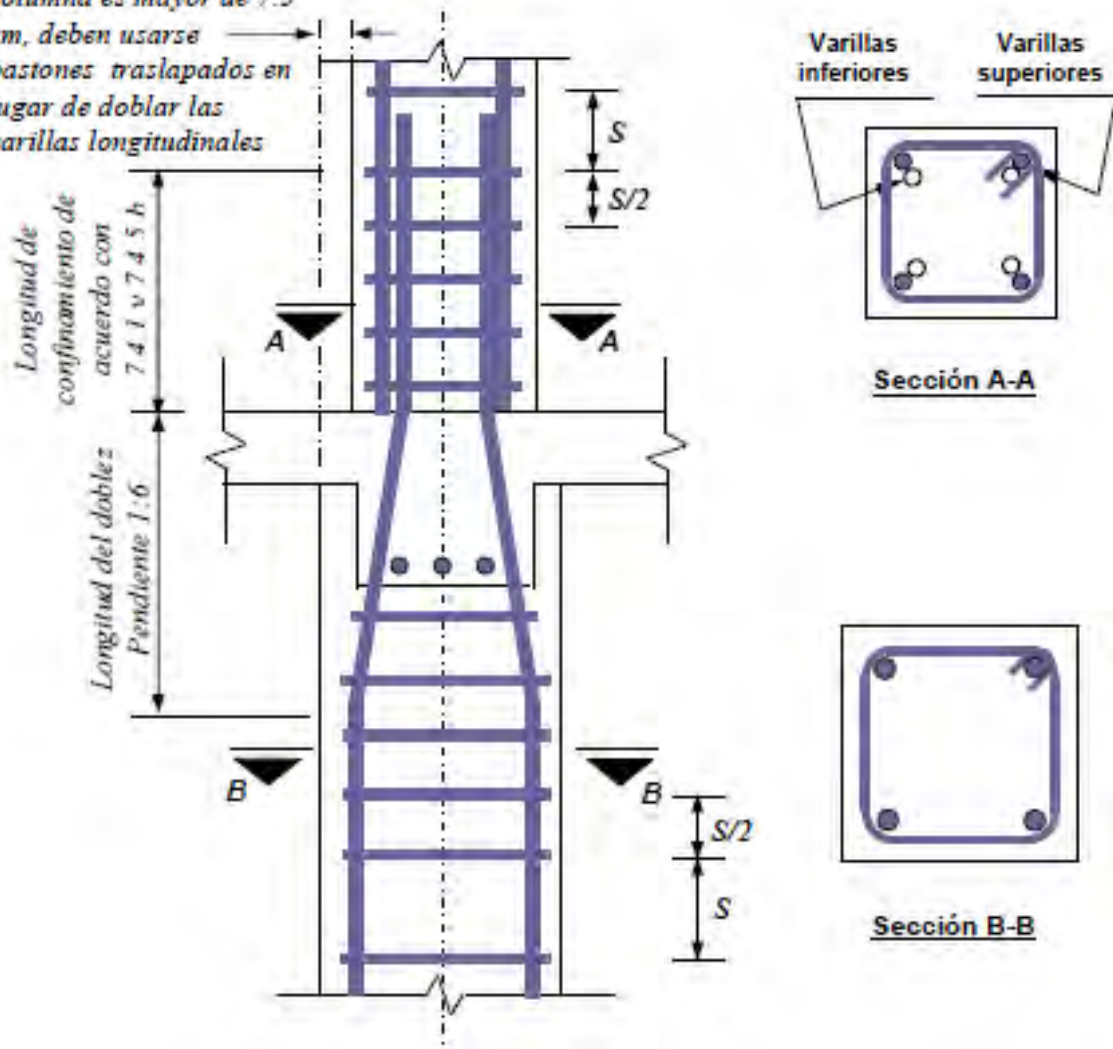
Límites para espaciamiento.

10. Paquetes de varillas.

- Confinados por estribos.
- Varillas del número 11 y mayores no paquetes en vigas.
- Paquete máximo: 4 varillas.
- Calcular varillas de diámetro equivalente para espaciamiento y recubrimiento.
- Distancia entre cortes $40 d_b$.

11. Doblado de varillas por cambio de sección.

Si el defasamiento de la columna es mayor de 7.5 cm, deben usarse bastones traslapados en lugar de doblar las varillas longitudinales



Protección del acero de refuerzo (recubrimiento)

En relación al concreto colado en obra (no preesforzado), en cuanto al colado en contacto con el suelo y permanentemente expuesto a él: 7.5 cm y el concreto expuesto al suelo o a la acción del clima, las varillas tienen que contar con las características siguientes:

- Varillas del núm. 6 al 18: 5 cm
- Varillas del núm. 5, alambres: 4 cm

Además, no debe ser expuesto a la acción del clima ni debe entrar en contacto con el suelo, para las losas, muros y vigas las varillas deben ser:

- Varillas del núm. 14 y 18: 4 cm
- Varillas del núm. 11 y menores: 2 cm

En relación a las vigas columnas: refuerzo principal, anillos, estribos, espirales, cascarones y placas plegadas, las varillas deben contar con las siguientes características:

- Varillas del número 6 y menor: 2 cm
- Varillas del núm. 5 y alambres: 1.3 cm

El concreto prefabricado lleva recubrimientos menores que el colado en obra. Así mismo, no se tiene que dejar de considerar que existe la posibilidad de que los refuerzos por contracción y temperatura lleven una separación máxima de cinco veces el espesor de la losa o, 45 cm la menor.

Finalmente, para las losas sobre terreno, nunca coloque el refuerzo, particularmente, mallas de alambre soldado, sobre la subrasante, sólo para intentar más tarde jalarlo para colocarlo en el centro de la losa una vez que el concreto haya sido colocado. En cuanto a la supervisión, se pide que verifique el refuerzo tomando en cuenta resistencia, grado, dobleces, espaciamiento horizontal y vertical, ubicación, soporte, amarres y condición de la superficie. No espere que el acero haya sido amarrado con alambre para verificarlo, elabore una lista de verificación, es imprescindible que las varillas corrugadas deben cumplir con los requisitos que establece la NMXC-407.

2.3 Cimbras

Definiciones:

- Cimbra: Estructura provisional o molde que soporta al concreto mientras está fraguando y alcanza la resistencia suficiente para sostenerse así mismo.
- Cimbrado: Todo el sistema de soporte para el concreto recién colado, incluyendo los moldes o forros que se colocan en contacto con el concreto, así como todos los elementos de soporte, materiales metálicos y refuerzos necesarios.
- Puntales: Elementos de apoyo verticales o inclinados, diseñados para soportar el peso de la cimbra, del concreto y de las cargas de construcción superiores.
- Re-apuntalamiento: Puntales colocados ajustadamente bajo una losa de concreto descimbrada u otro elemento estructural después de que la cimbra y los puntales originales han sido retirados.
- Refuerzo diagonales: Elementos de cimbra suplementarios, diseñados para resistir las cargas laterales y disminuir la esbeltez de los puntales.

Materiales:

- Madera.
- Acero.
- Madera y acero.
- Plásticos.

Requisitos básicos:

- Estabilidad.
- Estanquidad.
- Rigidez.

- Dimensiones.
- Ubicación.
- Acabados.

La cimbra se debe diseñar de modo que las losas, los muros y otros elementos tengan las dimensiones, formas alineamiento y posiciones correctas, dentro de las tolerancias establecidas. Toda cimbra independientemente de su tamaño debe planearse en función de los materiales utilizados. Las deficiencias que encontramos en cuanto al diseño son las siguientes:

- No considerar fuerzas o cargas de viento, carretillas, equipos de colocación, almacenaje temporal de materiales.
- Cargas excéntricas por secuencia de colocación.
- Desplazamientos laterales o rotación de caras de vigas en unión con losas.
- Provisiones inadecuadas para fijar esquinas de cimbra en voladizo.
- Errores en la determinación de esbeltez de los puntales.
- Errores al calcular los esfuerzos de apoyo.
- Re-apuntalamientos inadecuados.
- Errores en uniones y ubicación de refuerzos laterales.

Se tiene que considerar lo siguiente en cuanto a las cimbras:

- Ritmo y método de colocación.
- Cargas de construcción: verticales, horizontales y de impacto.
- Requisitos especiales de la cimbra.

Los planos deben considerar los elementos siguientes:

- Localización de montajes externos de los vibradores.
- Remoción de separadores o de bloques provisionales.
- Aperturas para limpieza e inspección.
- Previsiones especiales respecto a seguridad.
- Secuencia del colado.

- Notas para el colocador de la cimbra, mostrando la dimensión y localización de ductos y tuberías ahogadas.

Se tienen que observar las medidas de seguridad que a continuación se enlistan:

- Señales de seguridad.
- Observadores de cimbra.
- Adecuada iluminación.
- Andamios, plataformas, de trabajo y barandales de seguridad.
- Programa para inspección en campo sobre la inspección del cimbrado.

Las deficiencias más comunes que se encuentran son:

- Inspección deficiente de la cimbra durante y después de la colocación del concreto.
- Clavado, atornillado o fijación deficiente.
- Refuerzos horizontales inadecuados.
- No cumplir con las especificaciones del fabricante.
- No respetar planos de cimbras.
- Soldadura inadecuada.
- Madera con nudos.
- Presiones laterales.

Las principales deficiencias que se encuentran en las cimbras horizontales son:

- Puntales multiconectados.
- Inadecuado ritmo y secuencia de colocación del concreto.
- Apuntalamiento desplomado.
- Remoción prematura de soportes, especialmente en voladizos.
- Inadecuado apoyo en el terreno.

La cimbra debe supervisarse en cuanto a:

- Revisar antes de colocar el acero, para verificar, dimensiones ubicación y cumplimiento con planos.
- Contra flechas.
- Fijación y ubicación de elementos ahogados.
- Estanquidad.
- Estabilidad.
- Limpieza.
- Desmoldante.

Finalmente, se recomienda el uso de chaflanes en juntas de colado verticales y horizontales. No en uniones de trabe-losa exteriores, extremar precauciones en contra venteos para evitar inestabilidad, el sellado en la parte inferior de columnas y muros para evitar fugas de mortero.

2.4 Transporte del concreto

Es importante considerar el traslado del concreto desde el sitio de mezclado, hasta el sitio de colado. Los objetivos de un adecuado transporte del concreto son:

- Evitar segregación, contaminación, conservar trabajabilidad.
- Mantener calidad y uniformidad (caídas no confinadas pueden causar segregación, no dejar caer concreto sobre el refuerzo en cimbras profundas).

El equipo de transporte que se utiliza para el traslado de concreto es:

1. Ollas revolvedoras.
2. Camiones de volteo.
3. Bandas transportadoras.

4. Góndolas de ferrocarril.

Asimismo, la colocación del concreto es primordial. Ésta se define como la actividad consistente en trasladar el concreto del sitio de descarga a su posición final en las cimbras. Sus objetivos son:

- Conservar la homogeneidad de la mezcla.
- Distribuir el concreto en las cimbras de acuerdo a un plan definido.
- Cuidar que el concreto constituya un volumen monolítico después de endurecido.

En relación a las generalidades, se tiene que considerar:

- Pérdida de revenimiento: la pérdida de revenimiento aumenta con el tiempo transcurrido desde el mezclado hasta la colocación.
- Debemos tomar en cuenta:
 - Temperatura ambiente.
 - Tiempo de transporte.
 - Demora en la carga.
 - Uso de retardadores.
- Segregación.
 - Es uno de los problemas más frecuentes.
- La segregación puede evitarse.
 - No mover el concreto horizontalmente.
 - Usar canalones para mover el concreto hacia niveles más bajos sin segregarlo ni salpicarlo sobre el refuerzo.
 - La caída del concreto se considera adecuada de 90 a 120 cm.
- Conclusión:
 - Mantener constante la consistencia del concreto para una clase dada de trabajo, con el fin de simplificar las operaciones de colocación y acabado.

Algunas precauciones que se tienen que considerar durante la colocación de las cimbras son:

- El equipo debe disponerse de tal manera que el concreto tenga una caída libre vertical hasta el punto de colado o hasta el interior del contenedor que lo reciba.
- El concreto debe ser depositado en una cerca de su posición.
- El equipo de colocación debe seleccionarse de manera de producir un suministro consistente de concreto plástico y no se formen juntas frías.
- La selección puede depender del método de producción del concreto.

En el método de colocación que se seleccione, será necesario cuidar los siguientes aspectos:

- La descarga preferentemente, debe realizarse en forma vertical.
- Evitar al máximo la segregación.

El ciclo de transporte en cuanto a la colocación, compactación y los procesos de transporte, deben de completarse en un periodo de tiempo menor al de la presentación del fraguado inicial del concreto. Los tiempos de fraguado que se tienen que considerar son:

- La temperatura ambiente, es un factor determinante en los tiempos de fraguado del concreto.
- Fraguado inicial:
 - 3 a 8 horas.
- Fraguado final:
 - 5 a 14 horas.

Después de incorporar el agua de mezclado.

Algunos aspectos importantes en relación a la colocación del concreto son:

- Depositar lo más cerca posible de su ubicación final.
- Ritmo de colado constante.
- No colocar sobre concreto parcialmente endurecido.
- No usar concreto reemplado.

- Colados continuos.
- Superficie a nivel.
- Precaución con las juntas.

Los métodos de colocación del concreto, se consideran dependiendo sus características específicas:

- Trato directo: Es la acción de colocar el concreto en el sitio de colado a través de la descarga directa del camión revolador.
- Botes y tolvas: Recomendable para bajos revenimientos.
- Tolvas con sección circular o rectangular.
- Se debe garantizar chorro continuo.
- Se recomienda salida libre de por lo menos cinco veces el tamaño máximo del agregado (tma).
- Carretillas y carros motorizados: Carretillas: 2-4m, 3/horas, carros motorizados: 11-15 m, 3/horas.

En relación a los canalones que se requieren, estos puede ser de fondo curvo, construidos o forrados de acero, con capacidad suficiente para evitar derrames; en cuanto a los tubos de caída, su diámetro debe ser 8 veces tma. Finalmente, las bandas transportadoras deben reunir las características siguientes:

- Otro equipo vierte concreto sobre ellas de contante.
- Sistemas de colocación en lugares casi inaccesibles.
- Buen rendimiento para mezclas de consistencia de seca a plástica.
- Transportan desde la fuente de suministro hasta las cimbras.
- Deben ser operación continua.

Los tipos de bandas transportadoras más conocidas son:

- Portátiles o auto contenidas.
- De alimentación en serie.
- De distribución con descarga radial.

- De distribución con descarga lateral.

Las recomendaciones para el uso de bandas, es decir, las especificaciones que deben reunir:

- Revenimientos entre 5 y 10 cm.
- Descargar sobre concreto plástico.
- Cambiar con frecuencia la descarga.
- Utilizar vibrador en punto de descarga.
- Cuchilla raspadora en punto de descarga.
- Cubrir las bandas.
- Vigilancia en mantenimiento y limpieza.

BOMBEO

El bombeo es el concreto transportado mediante presión a través de una tubería rígida o flexible, las presiones de trabajo que presenta son de hasta 88 kg/cm^2 , su capacidad es de 8.9 hasta $148 \text{ m}^3/\text{h}$.

Las bombas pueden ser de pistón, neumáticas o de presión. Las más usadas son las bombas de pistón, que consisten en una tolva de recepción, dos pistones de bombeo y un sistema de válvulas que alternan el flujo del concreto dentro de los pistones y de estos a la línea. Las tolvas receptoras varían de tamaño en función de la capacidad, comúnmente están provistas de aspas para evitar segregación y mantener plástico el concreto.

La mezcla para las máquinas de bombeo se caracteriza por tener:

- Aditivos reductores de agua, reductores de alto rango, incluso res de alto rango.
- El tm del agregado grueso anguloso un tercio del diámetro interior de la tubería.
- El tm de agregados redondeados se limita al 40% del diámetro interior.

- Los agregados ligeros absorben más agua que los de peso normal.

Algunas recomendaciones para el bombeo son:

- Instalar la bomba lo más cercano al sitio, presentando un mínimo de curva.
- Los tubos y mangueras deben ser rígidos.
- El bombeo se tiene que hacer hacia abajo utilizando una válvula de alivio.
- Debe existir una buena comunicación entre operadores de boba y cuadrilla de colocadores.
- El bombeo debe ser continuo para optimizar su uso, finalmente, se debe evitar el acercamiento de pluma a líneas de energía, por ello se debe colocar a 5 metros de distancia de dicha fuente de energía como mínimo.

Antes de iniciar el bombeo, se tienen que realizar prácticas de campo, las cuales consisten en notificar que el concreto se va a bombear, establecer distancias de bombeo, establecer el tiempo y, qué persona y bomba estén listos, realizar la lechada para cebar la tubería, mantener de manera permanente un sistema de señas entre el operador y la cuadrilla de colocación, y por último, limpiar el equipo al terminar.

2.5 Aprobación para el colado

Antes de dar la aprobación para que se realice el colado, es necesario verificar que todas las actividades previas se realizaron adecuadamente.

Hay que verificar posición, longitudes, diámetros, grado del acero de refuerzo. Con respecto a la aprobación para el colado se sugiere considerar lo siguiente:

- En el caso de elementos ahogados, su ubicación, sujeción calidad, entre otros.
- El tratamiento del concreto colocado anteriormente, los materiales y ubicación para las juntas programadas, entre otros.
- En el caso de las cimbras, es necesario verificar ubicación, dimensiones, estanquidad, estabilidad, contra flechas, materiales, entre otros.
- De lo anterior se concluye en la necesidad de elaborar listas de verificación.

Durante el colado, se tiene que realizar una inspección, es decir, dentro de la construcción hemos observado que cuando recibimos concreto de revenimiento bajo, en muchos casos se aumenta el agua arbitrariamente, alterado la relación agua/cemento, provocando alteraciones adversas tanto de resistencia como de durabilidad, debe recordarse que el contenido de agua también aumenta potencialmente el agrietamiento.

El concreto pierde parte de su durabilidad y otras características deseables, por ejemplo: su propiedad monolítica y su baja permeabilidad.

En conclusión, debe evitarse agregar agua a un concreto con objeto de hacerlo más plástico, ya que aunque se obtiene mayor manejabilidad, se pierden propiedades de resistencia y durabilidad.

Otro aspecto importante que se puede presentar durante el bombeo del concreto es la segregación, la cual puede producirse por:

- Mala transportación, por ejemplo: el desplazamiento con carretilla provoca vibraciones que afectan el concreto, pues el piso no es uniforme.
- Mala colocación (cuando se cuelan muros o columnas y se deja caer el concreto a alturas mayores a 90 cm).
- Mala compactación: es cuando no se tiene cuidado en el manejo del vibrado, permanece más tiempo que el requerido.
- En casos donde se utiliza vibrador para acomodar el concreto.

Otro aspecto importante a considerar en la colocación del concreto es la planeación, la cual es la parte medular de las actividades previas a la colocación del concreto.

Es un requisito básico en todo lo que se refiere al manejo del concreto, dado que, tanto la calidad como la uniformidad del éste (concreto) se deben conservar en términos de la relación agua-cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad.

La selección del equipo se debe basar en su capacidad para manejar eficientemente el concreto en las condiciones más ventajosas, de tal modo que pueda ser fácilmente consolidado en su lugar mediante vibración.

Una planeación anticipada tiene que asegurar una provisión adecuada y consistente del concreto. Debe haber suficiente capacidad de colocación, de manera que éste se mantenga plástico y libre de juntas frías mientras se instala todo el equipo de colocación, pues lo ideal es que se mantenga limpio y en buen estado. Adicionalmente, es indispensable arreglarlo, a manera de que se entregue en su posición final, sin que se presente alguna segregación objetable.

Así mismo, el equipo debe estar dispuesto adecuada y apropiadamente de modo que la colocación se desarrolle sin tardanzas indebidas y la mano de obra debe ser la suficiente como para asegurar la apropiada colocación, consolidación y acabado del concreto.

Se debe tener a la mano equipo para el rápido inicio del curado o para la aplicación de compuestos de sellado.

En los casos en que sea práctico, es ventajoso tener comunicaciones por radio o por teléfono entre el sitio de las colocaciones más importantes y la planta de mezclado y dosificación, a fin de controlar mejor los programas de entrega y evitar retrasos excesivos y desperdicios de concreto.

Se tiene que realizar una inspección final y detallada de juntas de construcción, cimbras, tapa juntas, refuerzo y otros detalles de la colocación del concreto antes de que éste sea colocado. En resumen la planeación es:

- Selección y distribución del equipo a utilizar.
- Oportuna provisión de materias (concreto).
- Mano de obra suficiente y con conocimiento de sus actividades.
- Protección de los elementos (si se requiere).
- Iluminación del área de trabajo.
- Equipo de comunicación.

Algunas consideraciones que se tienen que tomar en cuenta en los refuerzos y tener piezas ahogadas, es decir, al momento de colocar el concreto, el acero de refuerzo y las piezas deben estar limpias y libres de lodo, aceite u otros recubrimientos que pudieran afectar adversamente la capacidad de adherencia.

No habrá necesidad de retirar el recubrimiento de mortero de las piezas ahogadas mientras en pocas horas se complete una colada, pero el momento seco suelto sobre piezas ahogadas que se proyecten para futuros colados se deberá retirar antes de colocar otro concreto.

En algunos casos cuando se esté colando concreto reforzado, puede ser conveniente tener a una persona competente que atiende el ajuste y la corrección de la posición de cualquier refuerzo que pudiera ser desplazado. Durante la realización de todo el trabajo debe existir una supervisión preliminar, se tiene que limpiar al concluir todo el trabajo.

Preparación de cimbras

La cimbra debe dar como resultado una estructura que cumpla con la forma, los lineamientos y las dimensiones de los elementos. Además, durante la colocación del concreto debe ser completamente segura

Los planos de las cimbras deben estar disponibles en la obra en todo momento.

En la revisión de una cimbra deben verificarse los siguientes aspectos:

- Debe tener la suficiente resistencia y rigidez para cargar la masa y la presión del fluido del concreto, así como de los materiales y demás equipo que se va a colocar sobre ella.
- Las juntas deben estar ajustadas para contener al mortero.
- Los sujetadores deben estar espaciados de acuerdo a los planos.
- La cantidad de desmoldante debe ser la adecuada.
- Una vez que la cimbra tenga que ser removida, será necesario que existan elementos de la misma, cuyo propósito sea soportar el peso del concreto a edades tempranas.

Para llevar a cabo la colocación del acero de refuerzo es necesario verificar que:

- Sea del tamaño especificado.
- Se encuentre limpio.
- Que la distribución y el espaciamiento sean marcados en los planos.
- Se encuentre a una distancia adecuada de la cimbra (recubrimiento).
- Los traslapes sean de acuerdo a planos.
- No impida el paso del concreto.

Así mismo, se tiene que llevar a cabo una supervisión previa al colado, al llegar a esta etapa todo debe estar en orden; sin embargo, es recomendable hacer un chequeo rápido, utilizando un listado de verificación que incluya:

- Verificar apuntalamiento y contra venteo.
- Verificar las cimbras.
- Verificar el acero de refuerzo.
- Verificar las vías de paso para colocar concreto.
- Supervisión de:
 - Accesorios ahogados.
 - Aberturas.

- Juntas.
- Remover todo el material extraño.
- Verificar el desmoldante en las cimbras.
- Preste atención al estado del tiempo.
- Asegúrese que todas las preparaciones finales se han hecho.

2.6 Compactación

El concreto se tiene que compactar, la pregunta que surge es ¿cuál es el objetivo de compactar el concreto?. A continuación se explica su razón de ser. Una masa de concreto recién mezclada, al ser colocada en una cimbra, contiene cavidades en forma de panal de abejas debidas al aire atrapado; si se deja endurecer en estas condiciones, el concreto será irregular, débil y poroso, presentando baja adherencia con el acero de refuerzo.

La compactación es el proceso de incluir una disposición más cercana de las partículas sólidas en el concreto fresco o mortero, mezclados durante la colocación por medio de la reducción de huecos, comúnmente por vibración, centrifugación, varillado, apisonado o combinación de ellos.

Se insiste en la reducción de agua en el concreto con objeto de obtener mejor calidad del mismo, sin embargo, una mezcla más seca y rígida requiere mayor esfuerzo de compactación (compactando adecuadamente se logra mejorar la resistencia, durabilidad y otras propiedades).

Aspectos de trabajabilidad y consistencia

- Estabilidad (sangrado y segregación).
- Facilidad de compactación.

- Consistencia afectada por: viscosidad, cohesión y ángulo de fricción interna.

A continuación enunciamos los métodos de compactación:

1. Métodos manuales:

Las mezclas plásticas o fluidas pueden compactarse mediante varillado (insertando una varilla de apisonamiento u otra herramienta adecuada dentro del concreto). Algunas veces se utiliza una pala plana, la cual se inserta y se saca repetidas veces en sitios adyacentes a la cimbra, esto hace que las partículas gruesas se empujen hacia afuera de la cimbra, facilitando el movimiento de los huecos de aire y las bolsas de agua hacia la superficie.

2. Métodos mecánicos

El método más común para realizar la compactación es la vibración, la vibración puede ser interna o externa. El vibrador se tiene que seleccionar dependiendo de las siguientes condiciones:

1. Efectividad para compactar el concreto.
2. Radio de acción adecuado.
3. Capaz de licuar y eliminar aire con rapidez.
4. De operación confiable.
5. Ligerero.
6. Fácil de manejar.
7. Resistente al desgaste.

También se puede hacer el vibrado interno, que se hace comúnmente con vibradores, aunque eventualmente se puede recurrir al vibrado del acero.

Los vibradores tienen una cabeza vibradora, que se sumerge en el concreto y agua directamente sobre él. Algunos vibradores internos presentan las siguientes características:

1. Flecha flexible: controlado por motor eléctrico neumático, el cual usa una flecha flexible y sale del motor hacia la cabeza del vibrador.
2. Motor eléctrico en la cabeza: motor situado en la cabeza del vibrador.
3. Neumático: trabaja por medio de aire comprimido.
4. Hidráulico: conectado al sistema hidráulico de pavimentación por medio de mangueras de alta presión.

También existen los vibradores externos que pueden ser para cimbra, mesas vibratorias, o vibradores de superficie como son: las reglas vibratorias, las placas vibratorias, las plantillas de rodillos vibratorias o las llanas manuales vibratorias. Así mismo, pueden ser operados los vibradores externos puede ser eléctrica o neumáticamente.

Para llevar a cabo la vibración interna, el concreto se debe depositar en capas compatibles con el trabajo que se ejecute. En grandes capas y secciones pesadas, la profundidad debe ser casi igual a lo largo de la cabeza del vibrador. En muros y columnas, la profundidad de las capas generalmente no debe exceder los 50 cm. Además de esto, se tienen que considerar lo siguiente:

- Las capas deben estar lo más niveladas posible para que el vibrador no necesite mover el concreto hacia los lados ya que esto puede causar segregación.
- Después de que se haya nivelado la superficie, el vibrador debe insertarse verticalmente con un espaciamiento uniforme sobre toda el área de colocación.
- La distancia entre las inserciones debe ser de aproximadamente $1 \frac{1}{2}$ veces el radio de acción o debe ser de tal modo que el vibrador se traslape algunos centímetros al área adyacentes recién vibrada.
- En el caso de losas, el vibrador debe inclinarse horizontalmente todo lo que sea necesario a fin de que esté totalmente metido en el concreto.

Un método alternativo que se ha usado con gran éxito es el siguiente:

- El vibrador debe penetrar rápidamente hasta el fondo de la capa al menos 15 cm. Dentro de la capa precedente, el vibrador debe retirarse en forma gradual, mediante una serie de movimientos hacia arriba y hacia abajo.
- El movimiento hacia abajo debe ser rápido a fin de aplicar una fuerza al concreto, la cual a su vez, incrementará la presión interna en la mezcla fresca recién colocada.
- Al retirar el vibrador del concreto, el concreto debe llenar el espacio dejado por el vibrador. Si esto no sucede, habrá de cambiarse a mezcla o el vibrador.
- Cuando el colado consta de varias capas, cada una debe colocarse cuando la capa precedente este aun en estado fluido, a fin de evitar juntas frías.

Para la compactación con vibrado interno deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

1. El concreto debe colocarse en capas.
2. La profundidad máxima de las capas es de 50 cm.
3. La profundidad de capa debe ser casi igual al largo de la cabeza del vibrador.
4. El vibrador debe insertarse verticalmente y a espaciamientos recomendable de 1-1 ½ veces el radio de acción.
5. Cuando se está vibrando en losas es recomendable inclinar un poco el vibrador de tal manera que quede sumergido totalmente.
6. Insertar el vibrador en la capa anterior por lo menos 15 cm y manejarlo de arriba abajo en periodos de 5 a 15 segundos.

El American Concrete Institute (ACI) en el comité 309 menciona que para juzgar si el vibrado interno es adecuado es necesario observar:

- a) Empotramiento de los agregados.
- b) Cese general de la aparición de las burbujas grandes de aire atrapado en la superficie superior.

Cuando se va a vibrar es recomendable contar con personal de experiencia, pues muchas veces el sonido o todo del vibrador puede indicar si un vibrado es adecuado o no lo es.

Algunas consideraciones importantes que se sugiere considerar es que cuando el vibrador no puede llegar hasta el concreto, como ocurre en áreas congestionadas por el acero de refuerzo, resulta muy útil vibrar las porciones expuestas de las varillas de refuerzo y, siempre que el concreto se pueda mover todavía, esta vibración puede incluso mejorar la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

Para llevar a cabo el revibrado, el vibrador se hunde en el concreto por su propio peso, esto es benéfico para la adherencia concreto-acero en la parte superior y perjudicial para el fondo del elemento, lo anterior minimiza las grietas de la parte superior.

Para la compactación con vibrador externo deben tomarse en cuenta los siguientes puntos:

- a. Tamaño y espaciamiento de los vibradores.
- b. Intensidad de vibración que producen.
- c. Es necesario utilizar diferentes frecuencias de vibración.
- d. El concreto con vibradores de cimbra debe colocarse en capas de 25 ó 40 cm de espesor, vibrando cada capa por separado.
- e. Un exceso de vibrado puede ocasionar problemas.

En general, un exceso o falta de vibrado puede ocasionar los siguientes problemas:

- 1) *Segregación*: Por lo regular, la segregación es la consecuencia del empleo de vibradores inadecuados y defectuosos o bien de procedimientos incorrectos de vibrado. Las inmersiones desordenadas en ángulo al azar causan acumulación de mortero en la capa de superficie, mientras la porción inferior puede resultar con vibrado escaso.

- 2) *Exceso de huecos debido al aire atrapado*: Se produce por equipo defectuoso o por mal vibrado al concreto; para reducir estos huecos, en la superficie del concreto, debe acortarse la distancia entre las inmersiones de los vibradores internos y aumentarse el tiempo de cada una de ellas.
- 3) *Vetas de arena*: Causadas por un sangrado intenso de mezclas muy fluidas, poco cemento, agregados mal graduados y exceso de vibración.
- 4) *Límites de escurrimiento*: Líneas oscuras que aparecen en la superficie cimbrada y que hacen evidentes los límites entre los colados de concreto adyacentes; por lo general indican que al vibrar una capa, el vibrador no se introdujo lo suficiente para penetrar en la capa subyacente.
- 5) *Juntas frías*: Las demoras en la colocación pueden ocasionar juntas frías. En demoras, conviene revibrar el concreto para mantenerlo fresco a intervalos de 15 minutos o menos.
- 6) *Agrietamiento por abatimiento*: Resulta a partir del desarrollo de tensiones cuando el concreto se asienta en forma mecánica cerca del tiempo de fraguado inicial.

2.7 Curado y protección

Mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colado. Para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas. La resistencia y la durabilidad del concreto se desarrollaran plenamente solo si se cura de manera adecuada.

Se debe conservar un contenido satisfactorio de humedad, ya que la pérdida excesiva de agua por evaporación puede reducir la cantidad de agua retenida a un nivel inferior al necesario para el desarrollo de las propiedades deseadas.

Las pérdidas de agua que ocurren después del inicio del fraguado se deben principalmente a:

- Evaporación del agua por la elevación de la temperatura en el concreto o por acción del medio ambiente.
- Desarrollo del proceso de auto desecación del concreto.
- El objeto principal del curado es mantener al concreto saturado hasta que los espacios originalmente ocupados por el agua se llenen con los productos de hidratación del cemento, reduciendo al mínimo por los capilares.
- Se entiende por curado óptimo, al proceso por el cual se mantienen condiciones controladas de humedad y temperatura en el concreto por un periodo definido, a fin de asegurar una adecuada hidratación del cemento y un apropiado endurecimiento del concreto.

El curado se debe iniciar tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente para que su superficie no resulte afectada por el procedimiento empleado.

Los requisitos básicos del curado son:

- Mantenimiento de un contenido de humedad adecuado.
- Mantener a temperatura del concreto arriba de 13° C y uniformemente distribuida en la mezcla.
- Protección de elemento estructural de cualquier alteración mecánica.
- Mantenimiento del curado (el tiempo que sea necesario).
- Durante el proceso de curado deben evitarse cargas o esfuerzos prematuros en el concreto.
- Debe evitarse cualquier tipo de accidente que pueda ocasionar alteración física del concreto.

Cuando se combinan los efectos de la temperatura del aire con la del concreto, la humedad relativa y la velocidad del viento, causan excesiva evaporación del agua

de mezclado, y como consecuencia ocurre el agrietamiento por contracción en el concreto en estado plástico.

Las temperaturas del concreto inferiores a los 10° son desfavorables para el desarrollo de la resistencia temprana. El hecho de curar durante menos tiempo a temperaturas más elevadas no es tan benéfico como curar durante más tiempo a temperaturas inferiores.

Algunos métodos de curado logran lo siguiente:

- Impiden la evaporación por interposición de un medio húmedo.
- Impiden la evaporación por una cubierta impermeable.
- Aceleran el desarrollo de la resistencia por la aplicación de calor (vapor).

Otro tipo de curado se puede hacer si se cuenta con un medio húmedo, es conocido como curado de agua y consiste en el anegamiento o inmersión del concreto, otro es el rodado de niebla o aspersion, el cual se puede cubrir con costales, mantas de algodón y alfombras; también se puede curar con tierra, arena, aserrín, paja o heno.

Algunos inconvenientes de lo anterior, es alto costo por necesidad de mucha mano de obra, requiere de supervisión constante y no se puede hacer en zonas con escasez de agua.

Los materiales de cubierta saturados, no se deben dejar secar y que absorban humedad del concreto, pero al término del periodo requerido de humedad, se debe permitir que sequen por completo.

Los materiales selladores son hojas o membranas que se colocan sobre el concreto para reducir la pérdida de agua por evaporación. Algunos de ellos son:

- Película plástica.
- Papel impermeable.
- Compuestos líquidos para formar membranas de curado.
- Curado con vapor a alta presión

- Empleado en la producción de piezas pequeñas de mampostería de concreto.
- Curado con vapor a baja presión
 - Empleado en la fabricación de productos de concreto para acelerar el desarrollo de resistencia temprana.

El curado con vapor a presión normal se emplea para acelerar el desarrollo de la resistencia mediante la saturación del elemento y temperaturas debajo de 100° centígrados. Las ventajas del curado con vapor es que los elementos se pueden almacenar o poner servicios a edades tempranas, se tiene rápida ganancia de resistencia, la contratación por secado disminuye y, también se disminuye el flujo plástico.

Al utilizar el curado con vapor a presión normal, se deben tomar las siguientes precauciones:

- No se debe aplicar el chorro de vapor directamente sobre el concreto.
- La velocidad de calentamiento no debe ser demasiado alta a fin de evitar interferencias con los procesos de fraguado y endurecimiento.
- Se debe iniciar al terminar el fraguado inicial.
- El ciclo de curado debe consistir de un incremento gradual de la temperatura, esto en un periodo de 3 a 5 horas, después se mantiene por un periodo de 5 a 8 horas y, finalmente se disminuye gradualmente la temperatura.
- Los detalles de tiempo y temperaturas varían con las diferentes plantas y tamaño del elemento.

Los métodos anteriores son satisfactorios sólo mientras la presencia de aguas sea continua y el concreto no se seque. El curado es efectivo cuando los contenidos de humedad y temperatura mantenidos permitan el desarrollo de los niveles deseados en las propiedades del concreto y eviten el agrietamiento, empolvando, escamado, entre otros. Para establecer el tiempo de remoción de las cimbras se pueden emplear muestras de prueba hechas en campo y curadas de manera

similar y a la misma temperatura promedio del concreto que representan.

Para hacer el curado en pavimentos y losas sobre el terreno, se tiene que considerar la pérdida de humedad por evaporación en el concreto puede ser tan grande y tan rápida que dé como resultado agrietamiento por contracción. Así, la pérdida de humedad del concreto fresco también puede ser resultado del humedecimiento inadecuado de algunos terrenos de desplante.

La elevada relación entre superficies expuestas y volumen del concreto también puede tener como resultado someter el concreto, inadecuadamente curado a variaciones de temperatura excesiva.

En estructuras y edificios, en condiciones normales de colado, el curado se debe efectuar por alguno de los métodos, o combinación de ellos descritos. El tiempo de curado depende de la velocidad de hidratación del concreto que se ve afectada por la composición y finura del cemento, el concreto con cemento tipo CPP requiere más tiempo de curado que uno de tipo CPO. Los concretos elaborados con cementos tipo I, II, o V curados bajo condiciones atmosféricas normales, deben mantenerse arriba de 10° C, en condiciones de humedad por lo menos 7 días. Los concretos elaborados con cemento tipo III o con aditivos acelerantes, tendrán un periodo de curado mínimo de 3 días.

2.8 Elementos precolados

Un elemento precolado es aquel elemento de concreto que se cuele en un sitio distinto al de su ubicación final en la estructura. Los tipos de elementos precolados con los que se construye son:

- Simple.

- Reforzado.
- Presforzado.

En cuanto a su uso, puede ser de:

- Estructura: trabes, columnas, postes, pilotes.
- Arquitectónico: fachadas, mobiliario urbano.

Los elementos precolados con concreto simple no contiene acero de refuerzo, se utiliza en guarniciones, boyas o piezas de fachada. El concreto reforzado lleva acero, se utiliza en postes, dovelas, fachadas y mobiliario.

El concreto presforzado son los elementos de concreto a los cuales se les aplica una comprensión previa, antes que sobre ellos actúen cargas flexionantes, mediante el estirado o pretensión de tendones (alambres o torones). De modo que, posteriormente, bajo la acción de las cargas no se originen esfuerzos de tensión en el concreto. Así, tenemos que:

- El pretensado es el método de presfuerzo en el cual los alambres o torones se tensan antes de la colocación del concreto.
- El postensado: es el método en el cual el tensado se realiza después que el concreto ha endurecido.

Los materiales para hacer los elementos precolados son:

- Cemento: Tipo CPO y CPC.
- Agregados: Astm c 33 (nmx c – 111), Tma: $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$ ".
- Aditivos: Acelerantes, reductores de aguas, reductores de agua de alto rango, modificadores de viscosidad.
- Acero de refuerzo: ASTM A – 615 y A – 616; NMX C – 407.
- Acero de prefuerzo: ASTM A – 416 torón; ASTM A – 421 alambres; NMX B – 292.

Además, se requiere de agua libre de: aceite, cloruros álcalis, principalmente. Las principales características del concreto precolado son:

- Fresco: trabajabilidad rev. 10 a 16 cm.
- Homogeneidad.
- Plasticidad.
- Endurecido: resistencia a edades cortas.
- Baja contracción.

Para su fabricación, se pueden utilizar cimbras:

- Rígidas.
- Duraderas.
- Normal o autotensable.
- Geometría.
- Medición de la fuerza.
- Alargamiento.
- Manómetros.

En relación al ACI 318, se presentan diferencias máximas entre a y b, con un pretensado 5% y postensado 7%.

Los tendones no adheridos requieren recubrimiento completo, si los ductos son herméticos, no son reactivos con cemento. Un solo alambre o tórón, con diámetro menor a 6 mm, diámetro tendón, cables múltiples, área >2 veces área cables.

El mortero para cables adheridos, puede prepararse de dos formas: cemento y agua, ó, cemento, agua y arena; esta arena ASTM C- 144 se puede modificar con granulometría. Los aditivos pueden ser reductores de agua sin cloruros. Con ello, se pueden hacer ensayos de proporciones, a partir de la experiencia $a/c < 0.45$.

En relación al mezclado y bombeo, se pueden utilizar mezcladoras de alta velocidad, y con el bombeo, se llenan todos los ductos, la temperatura del mortero tiene que ser $< 32^{\circ} \text{C}$.

La protección que se debe de seguir para los cables adheridos es que se debe someter a calentamiento, se tienen que evitar chispazos de soldadura y evitar la corriente a tierra.

El destensado se hace después de 80% f_c ; al efectuar el corte las fuerzas del presfuerzo deben mantenerse casi simétricas con, respecto al eje vertical del elemento. La excentricidad máxima debe limitarse a un torón. Antes del corte se deben quitar o aflojar las cimbras, amarras, insertos, sujetadores y cualquier otro dispositivo que pueda limitar el movimiento longitudinal. La pérdida de presfuerzo debida a cables rotos no debe exceder del 2% del total.

El concreto presforzado curado ACI 308, a través de inmersión, rociado niebla, membranas y vapor, de 55 a 85° centígrados, de 4 a 12 horas, ascenso 10°C por hora, descenso 20 a 30° C por hora, el destensado debe efectuarse mientras el concreto siga caliente y húmedo. Si se deja secar y enfriar antes del destensado, los cambios dimensionales pueden producir agrietamientos y pérdida del presfuerzo.

En relación al montaje del concreto precolado, las etapas más importantes en una estructura de este tipo son:

- Cuidado de las piezas.
- Acoplamientos.
- Conexiones.

El equipo de montaje que se utiliza son las grúas, las conexiones del concreto precolado, es uno de los puntos más importantes y delicados, se deben definir en el proyecto y el tipo de conexión del concreto precolado.

En relación al movimiento y transporte, los esfuerzos a los que se someten las piezas durante los procesos de desmoldado y montaje, generalmente son superiores a los de servicio. Se debe tener especial cuidado en la posición de dispositivos de izaje, el manejo, almacenamiento y montaje. Durante el transporte será necesario contra ventear para evitar deflexiones.

2.9 Supervisión de elementos presforzados

2.9.1 Concreto preetensado

Los aspectos importantes a supervisar durante la producción de elementos de concreto pretensado son los siguientes:

- a) Identificación, análisis y aceptación de cualquier prueba en planta de los materiales, así como certificados de calidad de torón, alambre, acero de refuerzo, cemento y aditivos.
- b) Calibración de los gatos, manómetros y demás instrumentos necesarios para las operaciones de tensado
- c) Verificación de dimensiones de las cimbras.
- d) Verificación de longitud y posición del acero de refuerzo, dispositivos de izaje e insertos.
- e) Verificación de posición y dimensiones del acero de presfuerzo y sistemas de anclaje.
- f) Verificación y registro de tensado.

La medición de la fuerza de presfuerzo puede efectuarse por los siguientes dos métodos:

- Medición de alargamiento del cable a partir de la curva carga – deformación promedio.
- Observación de la carga del gato en un manómetro u otro dispositivo calibrado.

El ACI – 318 indica que debe investigarse la causa de error y corregirse cualquier diferencia en la determinación de la carga mayor de 5% para elementos pretensados y 7% para postensado.

- g) Verificación de la resistencia del concreto para el destensado. Generalmente, al momento del destensado el concreto debe tener.

Una resistencia igual o mayor que el 80% de la resistencia de proyecto.

Si el concreto se ha curado con vapor, el destensado se deberá efectuar a

continuación del periodo de curado mientras el concreto siga caliente y húmedo.

Si se deja secar y enfriar antes del destensado, los cambios dimensionales pueden incluir agrietamiento o esfuerzos indeseables en el concreto.

h) Verificar el proceso de destensado.

Al efectuar el corte para destensar, las fuerzas del presfuerzo deben mantenerse casi simétricas con respecto al eje vertical del elemento. La excentricidad máxima se deberá limitar a un solo torón.

Se deben quitar o aflojar las cimbras, amarres, insertos, sujetadores, y cualquier otro dispositivo que pudiera limitar el movimiento longitudinal de los elementos a lo largo de la cama: el destensado se debe ejecutar de manera y secuencia que se minimice el movimiento longitudinal.

2.9.2 Concreto postensado

Los aspectos importantes a supervisar durante la producción de elementos de concreto postensado son los siguientes:

- a) Identificación, análisis y aceptación de cualquier prueba en planta de los materiales, así como certificados de calidad de torón, alambre, acero de refuerzo, cemento y aditivos.
- b) Identificación, análisis y aceptación de cualquier prueba en planta de los materiales, así como certificados de calidad de torón, alambre, acero de refuerzo, cemento y aditivos.
- c) Verificación de dimensiones de las cimbras.
- d) Verificación de longitud y posición del acero de refuerzo, dispositivos de izaje e insertos.
- e) Verificar que durante el colado no se dañen los ductos.
- f) Verificar que los tendones (alambres o torones) se anclen y tensen hasta que el concreto haya alcanzado la resistencia del proyecto.
- g) En caso de postensado adherido los ductos deben inyectarse con lechada

inmediatamente después del tensado.

- h) En caso de presfuerzo no adherido, antes de su colocación debe verificarse el sistema de protección.

Para el caso de elementos colados en planta, debe verificarse además lo siguiente:

Cada elemento debe estar perfectamente marcado e indicado:

- Identificación.
- Posición.
- Cara superior.
- Fecha de fabricación.

Se deben almacenar sobre cimentaciones adecuados para evitar asentamientos diferenciales o torcimientos.

Los elementos que se almacenan apilados deben separarse entre sí y apoyarse en tabloncillos colocados a través de todo el ancho de cada punto de apoyo.

Al transportarse los elementos, se deben apoyar como se indicó anteriormente, las pilas se deben contraventar, se debe colocar materiales de acolchamiento entre los elementos de concreto, así como las cadenas de amarre o cables para evitar la abrasión o descolchamiento.

Capítulo 3

Interpretación de resultados

Funciones de los ensayos:

- Los propósitos de las pruebas de resistencia del concreto son: determinar el cumplimiento de una especificación, y medir la variabilidad del concreto.
- Determinar el tiempo en el cual la estructura puede ponerse en servicio.

Variaciones en la resistencia:

- El concreto es un material artificial y heterogéneo, formado por la mezcla de cemento, grava, arena, agua y generalmente aditivos, en el que cada uno de sus ingredientes induce variables que a su vez dependen de su heterogeneidad.

Principalmente fuentes de variación ACI 214:

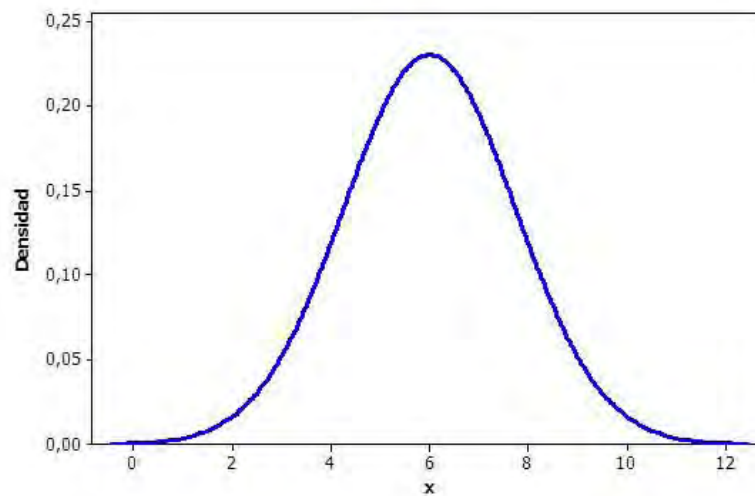
- Variaciones en la mezcla de concreto y sus ingredientes.
 - Relación A/C.
 - Granulometría de los agregados.
 - Características del cemento.
- Diferencias aparentes en la resistencia ocasionadas por variaciones en la pruebas.
 - Proceso de muestreo y fabricación.
 - Curado, cabeceo y ensaye.

Debido a las variaciones antes indicadas, la resistencia del concreto debe obtenerse de un número suficiente de ensayos y no confiarse en pocos resultados que pueden con frecuencia conducir a conclusiones erróneas.

Estadística:

- La estadística es una herramienta matemática mediante la cual se puede analizar una población, utilizando ciertas propiedades de la distribución.
- Los métodos estadísticos proporcionan la mejor base para deducir de los resultados obtenidos el nivel de calidad alcanzado y expresar la resistencia del concreto, en la forma más útil.
- Si se grafica una carta de barras de frecuencia o un histograma con las resistencias del concreto, se podrá observar, si el número de resultados es alto, así como la distribución de frecuencias se asemeja a una curva que sigue la llamada LEY NORMAL O DE GAUSS.

Curva de distribución normal



La curva de distribución normal especifica los siguientes elementos:

- Promedio o media aritmética.
- Desviación estándar. Es una medida de la dispersión de los resultados.
- Coeficiente de variación. Es la desviación estándar expresada como porcentaje de la resistencia promedio.

Características de la curva de distribución normal

Promedio o media aritmética

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Desviación Estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Coefficiente de Variación

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100$$

Especificaciones:

Las diversas especificaciones que existen para calificar la calidad del concreto en función de su resistencia y variabilidad, se han elaborado con base a los principios estadísticos indicados.

Uniformidad del concreto en función de la desviación estándar (ACI – 214)

Desviación estándar	Grado de uniformidad
Menor de 25	Excelente
25 a 35	Muy bueno
35 a 40	Bueno
40 a 50	Aceptable
Mayor de 50	Pobre

Variaciones en los ensayos

Coefficiente de variación	Uniformidad
Menor de 3	Excelente
3 a 4	Muy bueno
4 a 5	Bueno
5 a 6	Aceptable
Mayor de 6	Pobre

ACI – 318 Reglamento para las construcciones de concreto estructural

Especímenes curados en laboratorio: El promedio de tres pruebas de resistencia consecutivas debe ser igual o superior a la resistencia de proyecto.

Ningún ensaye individual de resistencia (promedio de dos cilindros) debe ser inferior a $f'c - 35 \text{ kg/cm}^2$ cuando $f'c$ sea igual o menor de 350, O $0.90 f'c$ cuando sea mayor de 350.

Especímenes curados en campo: Los procedimientos para curar y proteger el concreto, se deberán mejorar cuando la resistencia de los especímenes curados en campo a la edad de proyecto sea inferior al 85% de la de cilindros compañeros curados en laboratorio. Esta limitación puede omitirse cuando la resistencia de los curados en campo es mayor a $f'c + 35$.

Investigación de prueba de baja resistencia

- En caso de valores $< f'c - 35$ o deficiente cuando: sacar 3 corazones en cada zona de baja resistencia.
- El concreto en la zona representada por los corazones se consideran estructuralmente adecuado si el promedio de los tres corazón tiene una

resistencia menor a 0.75 f'c.

- Se permite pruebas adicionales en caso de resultados irregulares.

Frecuencia de pruebas

- Las muestras para las pruebas de resistencia se deben tomar al menos una al día para cada tipo de concreto, y no menos de una cada 115 m², no menos de una cada 465m² de superficie en losas y muros.
- Una prueba de resistencia debe ser el promedio de la resistencia de dos especímenes elaborados de la misma mezcla y ensayados a la edad de proyecto.

Norma mexicana de construcción: NMX – C 155 – ONNCCE 2004: Industria de la construcción concreto hidráulicas industrializadas especificaciones.

Objetivo:

- Esta norma mexicana establece las especificaciones que debe cumplir el concreto hidráulico fresco y endurecido, el cual es utilizado como material para construcción y es entregado en estado fresco a pie de obra.
- Campo de aplicación: esta norma es aplicable al concreto hidráulico industrializado o hecho en obra por medios mecánicos para uso en la construcción.

Requisitos del concreto en estado fresco:

- El contenido de agua debe limitarse de manera que revenimiento nominal del concreto no exceda de 10 cm. Si se requiere aumentar el revenimiento, este incremento debe obtenerse mediante el uso de aditivos.

Tolerancias del revenimiento:

Revenimiento nominal (cm)	Tolerancias (cm)
Menor de 5	± 1.5
De 5 a 10	±2.5
Mayor de 10	±3.5

Requisitos del concreto en estado endurecido. Resistencia a compresión:

La resistencia debe ser igual o mayor que 200 kg/ cm², a menos que de común acuerdo productor, estructurista y usuario establezcan otra.

El concreto debe alcanzar la resistencia especificada a la compresión ($f'c$) a 28 días u otra edad convenida y cumplir con lo siguiente:

- Se acepta que no más del 10% del número de pruebas resistencia a compresión tenga valores inferiores a $f'c$. se requiere un mínimo de 30.
- No más de 1% de los promedio de 3 pruebas consecutivas puede ser $<f'c$. mínimo 30.
- Se debe cumplir con todos los promedios consecutivos indicados en la tabla siguiente:

Número de pruebas consecutivas	Resistencia a compresión promedio (kg/cm ²)
1	$f'c-35$
2	$f'c-13$
3	$f'c$

Módulo de elasticidad

- Lo indicado en NMX C -403

PRUEBA	FRECUENCIA
Revenimiento	Todas las entregas
Masa unitaria	Una por cada día de colado
Resistencia a compresión (muro y columna)	Cada 40 (14) m ² o fracción
Módulo de elasticidad	Tres por obra

Norma mexicana de construcción: NMX- C – 403 – ONNCCE – 1999

Industria de la construcción – concreto hidráulico para uso estructural

Objetivo:

- Esta norma establece las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir el concreto hidráulico para uso estructural utilizado como material de construcción en la edificación de estructuras.

Requisitos del concreto fresco:

- El contenido máximo de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal del concreto a pie de obra no exceda de 10 cm.
- Si se requiere aumentar el revenimiento, el incremento se debe obtener mediante el uso de aditivos.

Valor nominal del revenimiento y tolerancias

Revenimiento nominal (cm)	Tolerancia (cm)
Menor de 5	± 1.5
De 5 a 10	± 2.5
Mayor de 10	± 3.5

Masa unitaria

- El concreto debe tener una masa unitaria entre: 1900 y 2400 kg/m²:

Prueba	Clase 1	Clase 2
Revenimiento premezclado	Una por entrega	Una por entrega
Revenimiento hecho en obra	Una por revoltura	Una cada 5 revolturas
Peso volumétrico	Una por día de colado min. Cada 20 m ³	Una cada día de colado min. Cada 40m ³

Requisitos del concreto endurecido:

- La resistencia a la edad de proyecto debe ser igual o mayor que 20 MPa (200 kg/cm²).
- El concreto cumple con la resistencia especificada $f'c$, si los promedios de resistencia de todos los conjuntos de tres muestras consecutivas no son menores de $f'c$ y si ninguna muestra consecutivas no son menores de $f'c$ y si ninguna muestra de resistencia $< f'c - 3.5$ MPa ($f'c - 35$ kg/cm²).
- Si sólo se tiene 2 muestras, el promedio no debe ser $< f'c - 1.30$ MPa ($f'c - 13$ kg/cm²).

Módulo de elasticidad:

El estructurista debe considerar en el diseño el módulo de elasticidad que se puede obtener con los materiales de la zona donde se pretende construir.

Comprobación de la calidad del concreto en la estructura:

- Tres núcleos en la zona de duda.
- La humedad de los núcleos al ensayarse, debe ser representativa de la que tenga la estructura en condiciones de servicio.
- El concreto representado por los núcleos se considera adecuado si el promedio es igual o mayor que 0.85 $f'c$ y ninguna resistencia individual es $< 0.75 f'c$.

Frecuencia mínima de muestreo:

Prueba	Dosificado por masa	Dosificado por volumen
Revenimiento	< 40 m ³	< 3 m ³
Masa unitario	Una al día	3 por obra
Resistencia	Cada 40 m ³	Cada 12 m ³ mínimo una por día
Resistencia muros y columnas	Cada 14 m ³	Cada 6 m ³ mínimo una por día
Módulo de elasticidad	Tres por obra mínimo	Tres por obra mínimo

Reglamento del Gobierno del Distrito Federal: Normas técnicas complementarias

Requisito del concreto fresco:

- Se harán pruebas para verificar que cumple con los requisitos de revenimiento y peso volumétrico.
- El revenimiento nominal del concreto no será mayor de 12 cm, se puede incrementar hasta 18 mediante el uso de aditivos.
- La verificación del revenimiento se realiza en obra antes y después de incorporar el aditivo.
- Las demás propiedades, incluyendo las del concreto endurecido se determinan en muestras que ya incluyan al aditivo.

Frecuencia mínima pruebas al concreto fresco:

Prueba	Clase 1	Clase 2
Revenimiento premezclado	Una por entrega	Una por entrega
Revenimiento hecho en obra	Una por revoltura	Una cada 5 revolturas
Peso volumétrico	Una por día de colado min. Cada 20 m ³	Una cada día de colado min. Cada 40m ³

Tolerancias para revenimientos:

Revenimiento nominal (cm)	Tolerancia (cm)
Menor de 5	± 1.5
5 a 10	± 2.5
Mayor de 10	± 3.5

Requisito de peso volumétrico:

- Concreto clase 1
 - >2200 kg/m³
- Concreto clase 2
 - >1900 kg/m³

Concreto endurecido, resistencia a compresión:

- Una muestra por día de colado. Mínimo una por cada 40 m³. En columnas una por cada 10 m³.
- Concreto clase 1: ninguna muestra inferior a $f'c - 35 \text{ kg/cm}^3$ y el promedio de tres muestras consecutivas no menor de $f'c$.
- Concreto clase 2: ninguna muestra inferior a $f'c - 50 \text{ kg/cm}^3$ y el promedio de tres muestras consecutivas no menor de $f'c - 17 \text{ kg/cm}^3$.
- Si solo dos muestras: clase 1: $f'c - 13$, clase 2: $f'c - 28$.

Requisitos para el módulo de elasticidad a 28 días. Concreto alta resistencia:

Una muestra cualquiera	Promedio de dos consecutivas
Caliza $E = 8500 \sqrt{f'c} + 84,800$	$8,500\sqrt{f'c} + 101,100$
Basalto $E = 8,500 \sqrt{f'c} + 33,200$	$8,500 \sqrt{f'c} + 44,100$
Concreto clase 1	
Caliza $E = 12,700 \sqrt{f'c}$	$13,500 \sqrt{f'c}$
Basalto $E = 9,700 \sqrt{f'c}$	$10,500 \sqrt{f'c}$
Concreto clase 2	
Andesita $E = 7,000 \sqrt{f'c}$	$7,400 \sqrt{f'c}$

Concreto de alta resistencia:

- Resistencia a compresión: $f'c > 400 \text{ kg/cm}^2$.

Acero de refuerzo: Industrias de la construcción varilla corrugada de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto.

Especificaciones y métodos de prueba, de acuerdo a la Norma Mexicana de Construcción: NMX – C – 407 ONNCCE – 2001

Objetivo:

- Esta norma establece las especificaciones y los métodos de prueba que deben cumplir las varillas corrugadas de acero para refuerzo de concreto hidráulico.

Campo de aplicación:

- Esta norma es aplicable a varillas para refuerzo de concreto hidráulico de grados:
 - Grado 30.
 - Grado 42.
 - Grado 52

Número de designación:

- Corresponde al número de octavos de pulgada equivalente al diámetro nominal de la varilla.
- El diámetro nominal de la varilla es equivalente al diámetro de una barra redonda lisa que tenga la misma masa.

Especificaciones:

- Requisitos de las corrugaciones:
 - Distribución.
 - Espaciamiento, altura y costilla.
- Masa unitaria.

- Requisitos mecánicos:
 - Tensión.
 - Doblado.
- Acabado.

Requisitos de las corrugaciones:

- Distribución.
 - Angulo > 45° respecto al eje en direcciones encontradas en lados opuestos.
- Espaciamiento, altura y costilla.
 - Espaciamiento máximo promedio (mm).
 - Altura mínima promedio (mm).
 - Costilla (cuerda) máxima (mm).

Masa unitaria

- Tolerancia en masa:

Número de designación	Variación en el lote (%)	Varillas individuales (%)
Todos	± 3.5	± 6.0

Requisitos de tensión:

Grado	Resistencia / Tensión kg/cm ²	Resistencia / Fluencia kg/cm ²	Alargamiento (%)
30	5,000	3,000	11 a 12
42	6,300	4,200	7 a 9
52	7,200	5,200	6

Valores mínimos del doblado:

- Las varillas con número de designación 2.5 al 12 deben doblarse alrededor de un mandril a 180°, sin agrietarse en la parte exterior.

En la norma se fija el diámetro del mandril para cada número de varilla.

Acabado:

- No es causa de rechazo la presencia en la superficie de: escamas, irregularidades u oxido, siempre y cuando desaparezcan mediante limpieza manual con un cepillo de alambre y la probeta así cepillada, cumpla con los requisitos dimensiones y mecánicos.
- Esta especificación se verifica de manera visual.

Muestreo:

- La norma establece la intensidad de muestreo en planta.
- En obra se recomienda una muestra de dos probetas por cada 20 toneladas o fracción de cada diámetro.

Conclusiones

La utilización de elementos prefabricados, ofrece grandes ventajas, como la disminución de tiempo de duración de la obra y el peligro de la integridad física del personal que ejecuta dicha construcción, garantizando con esto la utilización de la herramienta, maquinaria y equipo adecuado; además de los procesos constructivos acordes a la ejecución de dichos trabajos, así como la supervisión constante del personal para evitar riesgos y conseguir la calidad esperada en cada concepto de obra, coordinando cada una de las actividades.

Así, durante varios años los elementos prefabricados más utilizados hasta el siglo XIX fueron materiales pétreos, desde rocas hasta arcillas, constituyendo así un sistema constructivo de mampostería, haciendo uso de morteros y rocas para el levantamiento de un muro u algún otro elemento. De tal forma que se puede considerar un sistema prefabricado, la elaboración de bloques a base de cementantes y agregados pétreos, tales como los tabiques de adobe, los bloques de arena y cal, barro, entre otros.

El prefabricado es un sistema basado en componentes elaborados en serie, los cuales por su diseño y producción pueden trasladarse desde la fábrica a su ubicación final, donde, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa se monta la edificación. Asimismo, se puede conocer el grado de prefabricación de un edificio al valorar la cantidad de residuos generados en la obra.

Con esto se demuestra que los prefabricados de concreto son una alternativa práctica, económica y rápida en la industria de la construcción, comparada con procesos tradicionales.

Bibliografía

Aguiló Alonso, M., et alt. (1974). *Prefabricación: Teoría y práctica*. Barcelona: Técnicos Asociados.

Gómez Muñoz, D. (2008). *Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas*. Tesina de especialización. Departamento de Ingeniería de la Construcción (UPC). Barcelona.

Manual de la Construcción Prefabricada KONCZ, (1975), Segunda edición Española de la 3ª edición Alemana, Tomo 1.

Meyer-Bohe, W. (1967). *Prefabricación. Manual de la construcción de piezas prefabricadas*. Barcelona: Blume.

Nissen, H. (1976). *Construcción industrializada y diseño modular*. Barcelona: Blume.

Salas, J. (2008). *De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico*. 60, 512, 19-4, octubre-noviembre, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), Madrid.