

1.1 Materiales

1.1.1 Introducción

Los materiales destinados a la construcción pueden ser productos procesados o fabricados que son destinados a ser incorporados de manera permanente en cualquier obra de ingeniería civil. De manera general, estos materiales deberán cumplir con los siguientes requisitos

- Resistencias mecánicas de acuerdo al uso que reciban.
- Estabilidad química(resistencia ante agentes agresivos)
- Estabilidad física (dimensiones)
- Seguridad para su manejo y utilización
- Protección de la higiene y salud de obreros y usuarios
- No alterar el medio ambiente.
- Aislamiento térmico y acústico
- Estabilidad y protección en caso de incendios
- Comodidad de uso, estética y económica.

1.1.2 Durabilidad del hormigón [NEC-SE-HM, 3.2]

Para poder asegurar la vida útil del hormigón de cemento hidráulico se debe tener ciertas precauciones y cuidados para llegar a la calidad suficiente del material y que este responda a las exigencias de la obra como:

- Resistencias mecánicas
- Resistencia a agentes agresivos
- Intemperie

Por lo general la propiedad más fácil de medir es la resistencia a la compresión, mediante ensayos de probetas cilíndricas. Este es un parámetro de referencia para obtener las demás propiedades mecánicas. Otro aspecto que se puede controlar en el proceso de fabricación, es la relación agua-cemento (a/c), la cual determina la resistencia del material y la protección ante agentes agresivos. Si se controla estas variables se garantizara la duración del hormigón.

La evaluación y la aceptación del hormigón será de acuerdo a lo indicado en las normas NTE INEN 1855-1 y NTE INEN 1855-2, la dosificación del hormigón debe cumplir la máxima relación a/c y otros requisitos de acuerdo al elemento estructural.

1.1.3 Requisitos para mezclas de hormigón

a. Categorías y clases de exposición

Basado en las clases de exposición asignadas en la tabla 3 [NEC-SE-HM, 3.2.3], y clases de exposición, las mezclas de hormigón deben cumplir con los requisitos más severos y de restricción indicados en la tabla 4, de la misma norma citada antes.

b. Requisitos adicionales para exposición a congelación y deshielo

El hormigón de masa normal y liviano, expuesto a clases de exposición F1, F2, o F3, deberían tener aire incorporado según lo indicado en la tabla 5 [NEC-SE-HM, 3.2.4]. La tolerancia en el contenido de aire incorporado, será de +/- 1.5%. Para un $f'c$ mayor de 35 MPa = 356.09 Kg/cm², se puede reducir en 1% el aire incorporado indicado en la tabla 5.

La cantidad en el hormigón de puzolanas, incluida la ceniza volante, humo de sílice y escoria para exposición clase F3, no excederá los límites establecidos en la tabla 6 de la misma norma.

1.1.4 Propiedades mecánicas del hormigón armado [NEC-SEHM, 3.3.1]

De conformidad con la NEC, el hormigón debe cumplir con requisitos para condiciones de exposición ambiental, y satisfacer los requisitos de resistencia estructural.

Se usarán los siguientes valores de resistencia especificada a la compresión:

- Valor mínimo para el hormigón normal: $f'c = 21 \text{ MPa} = 214.07 \text{ kg/cm}^2$
- Valor máximo para elementos de hormigón liviano: $f'c = 35 \text{ MPa} = 356.78 \text{ kg/cm}^2$

Especificación de resistencia determinado mediante pruebas:

La evaluación de los resultados de pruebas de resistencia del hormigón tiene en cuenta que la producción está sometida a variaciones en los componentes, medición, pruebas y resultados de los ensayos.

A causa de esta variabilidad existente, se debe dosificar el hormigón de manera que se obtenga una resistencia promedio $f'cr$ muy por encima de la especificada $f'c$. Esta resistencia promedio deberá calcularse con base en el análisis estadístico de la experiencia previa en la producción de hormigón [tabla 8 y 9 de NEC-SE-HM, 3.3.1] o considerando un sobre diseño (tabla 10), cuando no se cuenta con registros estadísticos. En la tabla 10 se debe aplicar en ambos casos el valor que resulte mayor.

$f'cr$ = Resistencia media requerida MPa.

Los requisitos para $f'c$ deben basarse en ensayos de cilindros, hecho y ensayados como se establece en la sección 9 (NEC-SE-HM). A menos que se especifique lo contrario, $f'c$ debe basarse en ensayos a los 28 días. Los valores más altos de la resistencia media se obtienen para hormigones sin registros estadísticos, que generalmente son los elaborados en obra y dosificados en volumen, debido a que estos presentan una mayor variabilidad por sus propios procesos de producción.

1.1.5 Cálculo del módulo de elasticidad del hormigón (E_c)

El módulo de elasticidad del hormigón, E_c (GPa) se puede calcular como la raíz cubica del módulo de elasticidad del agregado E_a (GPa), por la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del hormigón $f'c$ (MPa) y por el factor 1.15, de esta manera:

$$E_c = 1.15 * \sqrt[3]{E_a} * \sqrt{f'c} \quad (1.1)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

E_a = Módulo de elasticidad del agregado (GPa)

$f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

Esta ecuación provee una mejor estimación de E_c para los materiales del Ecuador y será usada para la estimación de deflexiones ante cargas estáticas y a niveles de servicio de elementos a flexión de hormigón armado o pretensado.

En la NEC-SE-HM, sección 3.3.3, se puede encontrar la tabla 11, donde se encuentran valores típicos del módulo de elasticidad del agregado, E_a que se encuentran en el Ecuador.

En los modelos elásticos de estructuras que se diseñan para acciones sísmicas de acuerdo a los métodos de la NEC-SE-DS, el módulo de elasticidad del hormigón, E_c (GPa) será calculado para hormigones de densidad normal de esta manera:

$$E_c = 4.7 * \sqrt{f'c} \quad (1.2)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

$f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

1.1.6 Calidad del concreto

La dosificación de las mezclas de hormigón debe cumplir ciertas características como son:

- Consistencia y manejabilidad con el objetivo que la mezcla de hormigón pueda distribuirse adecuadamente a través de la armadura de refuerzo sin que existan excesos de segregación o exudación.
- Resistencia en ambientes expuestos
- Cumplimiento de todos los ensayos de resistencia de hormigón.

Frecuencia de los ensayos

Los ensayos se deberán hacer por lo menos con dos cilindros tomados como muestra, no menos de una vez por día, y no menos de una vez por cada 40 m³ de hormigón o cada 200 m² de área de losa o muros. Por lo menos se debe tomar una pareja de cilindros como muestra de columnas por piso.

En el caso de que el volumen de hormigón sea menor de 10 m^3 puede evitarse las pruebas de resistencia a juicio del supervisor. El resultado del ensayo de resistencia de 2 cilindros será el promedio de ambos, siendo estos de la misma mezcla y ensayados a los 28 días o al tiempo que se especifique en cada caso.

Ensayos de cilindros curados en laboratorio y campo

Se acepta las muestras de resistencia si se cumplen al mismo tiempo los siguientes requisitos:

- Los promedios aritméticos de tres ensayos consecutivos de resistencia sean iguales o excedan el valor nominal para $f'c$
- Ningún resultado individual de ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) debe tener una resistencia menor a 3.5 MPa, para hormigones de hasta 35 MPa o menor que $0.90f'c$ para hormigones mayores a 35 MPa.

En el segundo caso, si se llegase a incumplir lo estipulado y el hormigón es curado en el campo, indicaría que existen deficiencias en el curado del hormigón y por lo tanto se podrá usar los ensayos de núcleos extraídos en campo, y se deberá tomar 3 núcleos por cada ensayo que haya resultado menor a 3.5 MPa. En el caso de que la estructura vaya a trabajar en ambientes secos y en condición de servicio, los núcleos de hormigón se deben dejar secar al aire, entre 15°C y 30°C , con una humedad menor al 60%, por 7 días antes del ensayo. En el caso de que la estructura vaya a estar húmeda en su superficie, se deberá esperar 40 horas antes de ensayarse. Los núcleos son adecuados estructuralmente si el promedio de 3 de estos es por lo menos igual al 85% de $f'c$, pero además, ningún núcleo puede presentar una resistencia menor al 75% $f'c$.

Preparación del equipo:

El equipo destinado al mezclado y transporte debe estar limpio, residuos que puedan existir en el lugar donde el hormigón será colocado deben ser retirados y estar libre de agua. Los moldes para tomas de muestra deben estar limpios, los materiales para la mampostería que estará en contacto con el hormigón debe estar humedecida, en cuanto al acero de refuerzo debe estar libre de recubrimientos perjudiciales.

Mezcla de hormigón:

El tiempo de la mezcla debe ser la necesaria para tener un hormigón homogéneo con todos sus materiales; antes de volver a usar la mezcladora esta debe ser totalmente vaciada. La mezcladora debe ser operada a la velocidad recomendada por el fabricante, al usarla, el proceso de mezclado debe continuar por lo menos durante un minuto y medio luego de que todos los materiales estén dentro. Se debe llevar un registro del número de mezclas producidas, la dosificación de materiales empleados, la localización aproximada en la estructura, fecha y hora de la mezcla y la colocación.

Transporte y colocación del hormigón:

Para movilizar el hormigón (desde la mezcladora hasta el lugar destinado a su colocación) se debe realizar de tal manera que no se permita la segregación o desperdicio de materiales, evitando la pérdida de manejabilidad de este, por lo que se recomienda que el lugar de su colocación sea lo más cercano posible. En cuanto a la velocidad para colocar el hormigón, esta debe ser la necesaria para que permanezca en un estado plástico y pueda fluir fácilmente entre la armadura de refuerzo.

Nunca se debe agregar agua al concreto ya dosificado para “mejorar” su manejabilidad. La colocación del hormigón debe ser de manera continua en todo el elemento que se esté fundiendo. Cuando sea concreto masivo se debe tomar las precauciones necesarias debido al aumento excesivo de la temperatura.

Curado del concreto:

El concreto normal debe mantenerse a una temperatura por encima de los 10°C y humedecerlo para mantenerlo hidratado, por lo menos durante los 7 primeros días, contados luego de su vaciado. En el caso de hormigón de alta resistencia, se sigue los mismos parámetros, pero se lo hace durante los tres primeros días luego de su vaciado.

1.1.7 Acero y armadura de refuerzo

El acero de refuerzo debe ser corrugado, excepto en espirales o acero pretensado, en los cuales se puede utilizar acero liso. Además, cuando la norma NEC-SE-HM así lo permita, se pueden utilizar conectores para resistir fuerzas de corte, perfiles de acero estructural o fibras dispersas.

1.1.8 Propiedades mecánicas principales del acero de refuerzo

Las características principales del acero de refuerzo a ser usadas en el diseño de estructuras en hormigón armado son las siguientes:

E_s = Módulo de elasticidad del acero de refuerzo y el acero estructural; $E_s = 200000 \text{ MPa}$

f_y = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo (MPa)

f'_{ye} = Resistencia efectiva a la fluencia del refuerzo (MPa)

f'_{yt} = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo transversal (MPa)

Los valores de f_y y f'_{yt} usados en los cálculos de diseño no deben exceder de 550 MPa, excepto para aceros de preesforzado y para los refuerzos transversales en espiral.

1.1.9 Colocación del acero de refuerzo y especificaciones

Una especial consideración se debe tener al momento de la supervisión en la verificación de resistencia, grado, tamaño, dobleces, espaciamiento, horizontal y vertical, ubicación, conveniencia de soportes, amarres y condición de la superficie del acero de refuerzo. La colocación inapropiada del acero de refuerzo puede conducir a agrietamientos severos, corrosión del refuerzo y deflexiones excesivas.

a. Diámetros del acero de refuerzo

El refuerzo empleado en la construcción de estructura de hormigón armado debe tener un diámetro nominal (d_b) comprendido dentro de los valores expresados en la tabla 13 [NEC-SE-HM, 3.4.2]

b. Corte y dobléz

A menos que se especifiquen límites más reducidos en los documentos del contrato, las varillas rectas deben tener una tolerancia longitudinal de 2.5 cm y las varillas dobladas deberán medirse de exterior a exterior. El corte y dobléz de las varillas de refuerzo deberán cumplir con los requerimientos del capítulo 25 ACI 2014 (“Detalles del refuerzo”)

c. Instalación

Para la instalación, la superficie del refuerzo deberá estar libre de capas de corrosión. Una película delgada de oxidación o escamas de fábrica no son objetables, ya que incrementan la adherencia del acero al hormigón.

El refuerzo deberá ser colocado a una distancia mínima de la superficie del hormigón, tal como se indica en el capítulo 25 del ACI 2014. Este recubrimiento evita el pandeo bajo ciertas condiciones de carga de compresión, evita la oxidación cuando se exponga al clima y la pérdida de resistencia cuando se expone al fuego.

El refuerzo deberá estar apropiadamente espaciado, empalmado, amarrado, firme en su posición y ahogado para conseguir el recubrimiento requerido para todas las superficies de hormigón. Independientemente del dobléz, todas las partes del acero de refuerzo deben tener recubrimiento especificado.

En empalmes soldados, se verificará que la soldadura sea del tamaño y longitud requeridos, y que no se hayan reducido en su sección transversal. Un soldador certificado deberá realizar el trabajo. La soldadura disminuye la resistencia del refuerzo

En sitios donde el refuerzo este congestionado, se verificará que el tamaño nominal máximo del árido de la mezcla de hormigón no exceda de las $\frac{3}{4}$ partes del espaciamiento mínimo entre varillas. Se debe usar cabeza de vibradores que se ajusten entre las varillas para las áreas congestionadas. Al usar vibradores pequeños, se reducirá la distancia de las inserciones del vibrador e incrementará el tiempo de vibración.

d. Soportes

Para mantener el refuerzo firme en su lugar, antes y durante del colado del hormigón, se usarán cubos de hormigón de igual o mayor resistencia que el de la estructura, soportes metálicos o de plástico, barras espaciadoras, alambres y otros accesorios que eviten el desplazamiento del refuerzo durante la construcción. No se permite el uso de materiales como piedras, bloques de madera u otros objetos no aprobados para soportar el acero de refuerzo.

Se verifica que exista la cantidad suficiente de soportes para apoyar todo el acero de refuerzo. Se apoya el refuerzo horizontal cada 1.5 a 1.8 m.

1.1.10 Tipos de acero para hormigón armado

a. Refuerzo corrugado

Las barras de acero corrugado cumplirán los requisitos de las normas INEN.

Si $f_y > 420 \text{ MPa}$, la resistencia a la fluencia será el esfuerzo correspondiente a $\epsilon_t = 0.0035$

Donde:

f_y : Resistencia especificada a la fluencia

ϵ_t : Deformación unitaria

Las intersecciones soldadas para refuerzo de alambre corrugado electro-soldado no deben estar espaciadas a más de 400 mm en el sentido del refuerzo calculado; excepto para alambres de refuerzo electro-soldado utilizado como estribos en hormigón estructural. Es permitido el uso de alambre corrugado soldado con diámetro mayor a MD 200, mientras cumpla con las normas NTE INEN 2209. RTE INEN 045; para el cálculo de longitud de desarrollo y traslapes se asumirá como alambre liso soldado.

b. Refuerzo liso

Los alambres lisos para refuerzo en espiral cumplirán con las normas

NTE INEN 1511 – 1510 – 1626

Traslapes: en columnas, muros y vigas, el traslape del refuerzo longitudinal se realizará en forma alternada.

Se destaca que:

- En ningún caso se podrá traslapar más del 50% del refuerzo en la longitud de traslape.
- La distancia entre traslapes alternos debe ser mayor que 30 veces el diámetro de la varilla de refuerzo.

Soldaduras: cuando se efectúen empalmes con soldaduras o cuando se utilice cualquier dispositivo de unión mecánica, al menos el 50% del refuerzo debe ser continuo y la distancia entre empalmes de varillas adyacentes no puede ser inferior a 300mm. Si se utilizan empalmes con soldadura, el procedimiento de soldadura debe cumplir con los requisitos del código de soldadura estructural para hacer de refuerzo ANSI/AWS D1.4 de la sociedad americana de soldadura.

1.2 Requisitos para diseño sísmico [NEC-SE-HM, 2.3]

El diseño sísmico se lo hará de acuerdo a la norma NEC-SE-DS, salvo lo indicado en el capítulo 18 de la ACI 2014 "Estructuras sismo resistentes"

Ductilidad y disipación de energía:

En la presencia de un sismo severo, el cortante que se desarrolla en vigas, columnas y muros, y también otras acciones internas, dependen de la capacidad real a la flexión de las rótulas plásticas que se han formado por el diseño a corte; no deben tomarse de los resultados del análisis. Para obtener la capacidad a flexión de las rótulas plásticas se considera la sobre resistencia de los materiales y la cuantía de acero reales que se detallan en los planos. Ya que las sollicitaciones sísmicas producen deformaciones inelásticas reversibles en las rotulas plásticas, es necesario garantizar en las mismas un comportamiento dúctil, producido por la fluencia del acero en tracción, evitando fallas frágiles oca-

sionadas por la deformación excesiva del hormigón, falta de confinamiento, mecanismos de falla por cortante o fuerza axial, fallas en las uniones de vigas y columnas, pandeo local del acero de refuerzo, fatiga o cualquier otra acción que no sea dúctil.

Para garantizar que la distribución de las fuerzas sísmicas en los elementos estructurales de sistemas resistentes sea compatible con el modelo analizado, se debe asegurar la no participación de aquellos elementos que no fueron considerados como resistentes al sismo. Por lo que se debe poner especial énfasis en el diseño y detalles de construcción de estos elementos no estructurales.

Método de diseño sísmico:

El método empleado para diseño de estructuras y elementos de hormigón armado se lo hace de acuerdo a la sección 4.2 de la NEC-SE-DS. El diseñador deberá definir un mecanismo dúctil que permita una adecuada disipación de energía sin colapso. De preferencia, las rótulas plásticas deben formarse en los extremos de vigas, en la base de las columnas del primer piso y en la base de muros estructurales. Este mecanismo se consigue implementando los principios de “diseño por capacidad”, los cuales consideran una jerarquía de resistencia en donde las secciones, elementos o modos de falla protegidos, es decir aquellos que no se deben plastificar, se diseñan para momentos y cortantes amplificados, considerando la sobre resistencia de las rótulas plásticas y las fuerzas internas generadas por modos de vibración no tomados en cuenta en el diseño.

Sistemas estructurales de hormigón armado.

En la siguiente tabla se puede observar la clasificación de estructuras de hormigón armado en función del mecanismo dúctil esperado.

Tabla 1: Clasificación de edificios de hormigón armado			
Sistema estructural	Elementos que resisten sismo	Ubicación de rótulas plásticas	Objetivo del detallamiento
Pórtico especial	Columnas y vigas descolgadas	Extremo de vigas y base de columnas 1er piso	Columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte pero débil en flexión
Pórtico con vigas banda	Columnas y vigas banda	Extremo de vigas y base de columnas 1er piso	Columna fuerte, nudo fuerte, viga fuerte a corte y punzonamiento pero débil en flexión
Muros estructurales	Columnas y muros estructurales	En la base de los muros y columnas 1er piso (a nivel de la calle)	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte
Muros estructurales acoplados	Columnas, muros estructurales y vigas de acople	En la base de los muros y columnas 1er piso (a nivel de la calle)	Muro fuerte en corte, débil en flexión. Columna no falla por corte. Viga de acople fuerte en corte, débil en flexión.