

Universidad Latina de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Civil
Estructuras de Concreto I (LIC 20)



Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro
III Cuatrimestre, 2022

Profesor: Ing. Ronald Jiménez Castro



ronald.jimenez1@ulatina.net



www.rojica.jimdo.com



https://t.me/+Gb5KmNMIXCrik_ur



Nombre del equipo: **ESTRUCTURAS DE CONCRETO I (Heredia)**

Semana 1

✓ Discusión del Programa del curso

Objetivo general

Analizar el comportamiento de los principales miembros de una estructura de concreto reforzado, desde el punto de vista de su diseño, para la determinación, de forma segura, de sus dimensiones, cantidad y posición del acero requerido bajo determinadas condiciones de carga.

Objetivos específicos

..."Aplicar los fundamentos del diseño del concreto reforzado para el adecuado dimensionamiento de los miembros estructurales según las disposiciones del reglamento del **ACI 318** y el **Código Sísmico de Costa Rica.**"

Contenidos

- ✓ Tema I. Principios generales del concreto
- ✓ Tema II. Acero de refuerzo
- ✓ Tema III. Fundamentos del diseño del concreto armado
- ✓ Tema IV. Análisis y diseño de vigas a flexión
- ✓ Tema V. Elementos sometidos a esfuerzo cortante y tensión diagonal
- ✓ Tema VI. Adherencia, anclaje y longitud de desarrollo
- ✓ Tema VII. Aspectos prácticos y detalles constructivos de vigas
- ✓ Tema VIII. Condiciones de servicio y control de fisuras
- ✓ Tema IX. Análisis y diseño del concreto a la torsión

Evaluación

- Tareas y quices (15%)
- Examen Parcial (25%): Semana 8 (2 noviembre)
- Examen Final (35%): Semana 15 (21 diciembre)
- Proyecto Grupal (25%): Semana 14 (19 diciembre)

Bibliografía

- McCormac. **Diseño de Concreto Reforzado**.
 Décima edición. Editorial Alfaomega. 2019.



Cronograma

Semana	Contenido / Evaluación
No. 1	Tema I
No. 2	Tema II
No. 3	Tema III
No. 4	
No. 5	Tema IV
No. 6	
No. 7	
No. 8	Examen parcial (2 noviembre)

Semana	Contenido / Evaluación
No. 9	Tema V
No. 10	
No. 11	Temas VI y VII
No. 12	Tema VIII
No. 13	Tema IX
No. 14	Entrega de Trabajo Grupal (14 diciembre)
No. 15	Examen Final (21 diciembre)

✓ Enfoque por Atributos

¿Qué son los Atributos?

"Conjunto de resultados individuales evaluables, que los componentes indicativos del potencial del graduado para adquirir la competencia para la práctica profesional" Washington Accord, 2015.

Atributos asociados al curso:

Atributo	Nivel
Diseño / Desarrollo de soluciones	Inicial
Análisis de problemas	Intermedio
Conocimientos de Ingeniería	Intermedio

“Diseño / Desarrollo de soluciones: Capacidad para diseñar soluciones para problemas de Ingeniería complejos, así como para diseñar sistemas, componentes o procesos que satisfagan necesidades específicas teniendo en cuenta las consideraciones apropiadas para la salud pública, la seguridad, los estándares pertinentes, así como los aspectos culturales, sociales, económicos y ambientales”.

“Análisis de problemas: Capacidad para utilizar los conocimientos y habilidades para identificar, formular, investigar en la literatura, analizar y resolver problemas complejos de Ingeniería, logrando conclusiones sustanciales, utilizando principios de Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencias de la Ingeniería”.

“Conocimientos de Ingeniería: Capacidad para aplicar los conocimientos a nivel universitario de Matemáticas, Ciencias Naturales, Fundamentos de la Ingeniería y conocimientos especializados de Ingeniería para la solución de problemas complejos de Ingeniería”.

Tema I: Principios generales del concreto

El concreto reforzado es empleado como material de construcción en todos los países y de hecho en muchos de ellos es el de uso más intensivo, por encima incluso del acero.

Lo anterior se debe a diversos factores de los cuales los más relevantes son:

- Amplia disponibilidad de barras de acero (varillas)
- Grandes depósitos de agregados (arena y piedra)
- Las habilidades de los operarios son relativamente simples en comparación con el acero donde se requiere de mano de obra calificada.

Estos y otros factores convierten al concreto reforzado en un material altamente competitivo en términos de economía.

✓ **Resistencia al fuego:** Un edificio de concreto tiene inherentemente un tasa de retardo al fuego de entre 1 y 3 horas sin protección especial. Por su parte, a otros materiales como la madera o el acero debe aplicárseles algún tratamiento para obtener valores similares.



✓ **Rigidez:** Los ocupantes de un edificio pueden experimentar molestias si la edificación oscila ligeramente debido al viento o si el entrepisos vibra producto del paso del paso de la gente. Debido a los altos valores de rigidez y masa del concreto, las vibraciones rara vez son un problema.

✓ **Bajo mantenimiento:** Los miembros de concreto reforzado requieren inherentemente menos mantenimiento en comparación con elementos estructurales de otros materiales como acero o madera.

Esto es particularmente cierto si se ha proporcionado un adecuado sistema de drenaje y/o impermeabilización a aquellas superficies de concreto expuestas a la intemperie.

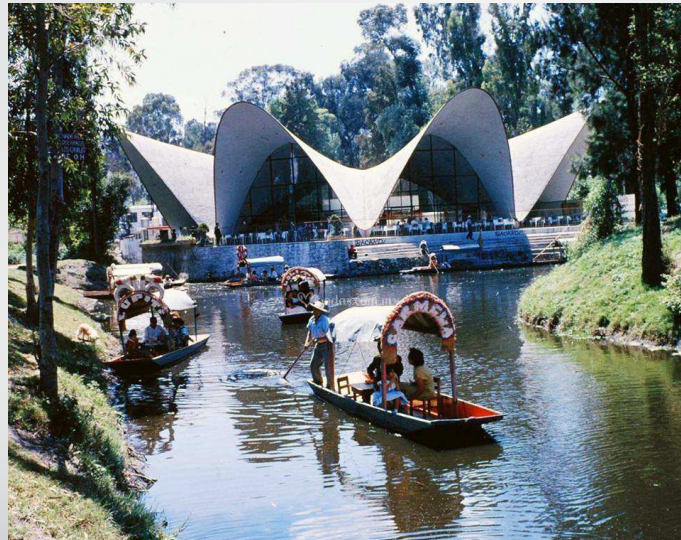
Ejemplo: En un muro de retención, el drenaje en la parte inferior del relleno y un geotextil reducen la presión de agua sobre el concreto.



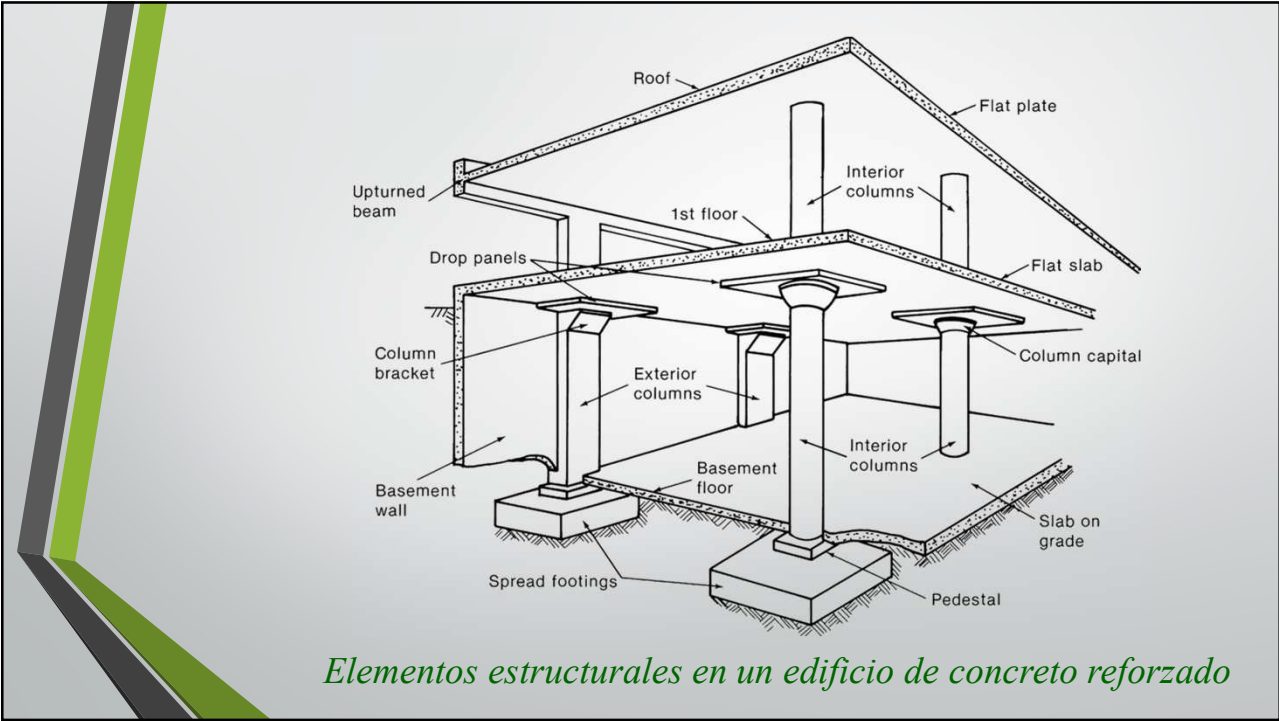
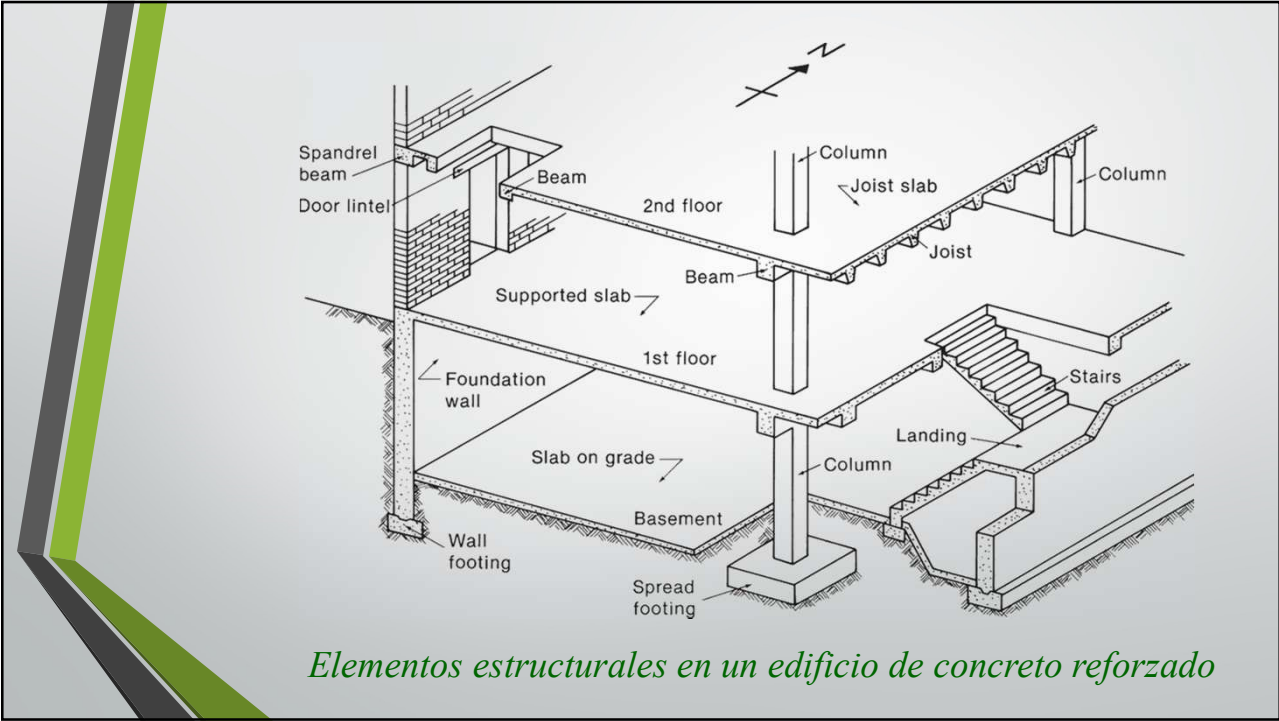
✓ **Adecuación a los criterios arquitectónicos:** El concreto reforzado ofrece gran versatilidad en términos de diseño arquitectónico. Dado que se vierte en estado semifluido, es posible darle diversas formas y texturas de acuerdo a la formaleta y a técnicas de acabado.

Por esta razón, el concreto (con o sin refuerzo) ha sido empleado, a lo largo de la historia, en la construcción de diversos tipos de estructuras tales como:

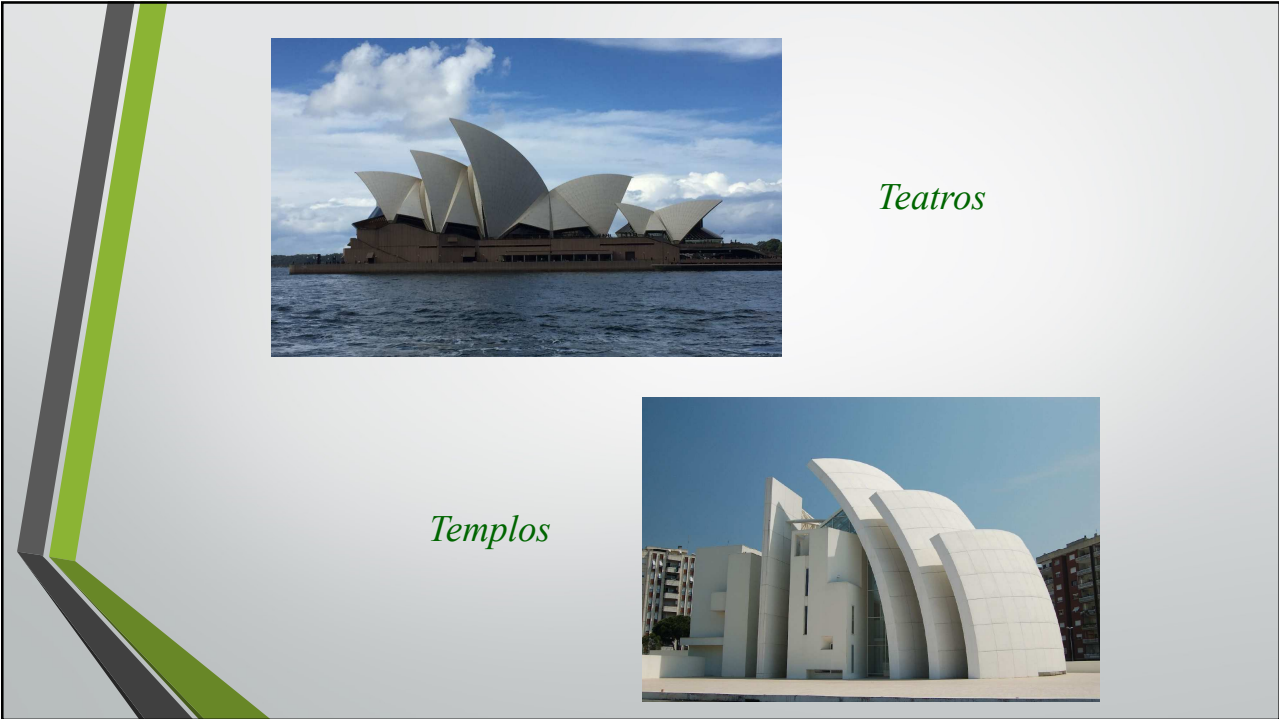
- Puentes
- Teatros
- Represas hidroeléctricas
- Templos
- Catedrales
- Etc.



*Restaurante Los Manantiales, Año 1958
(Xochimilco, México)*









Sin embargo, no debe omitirse factores que ponen en desventaja al concreto respecto a otros materiales de construcción.

✓ **Baja resistencia a las tensión:** La resistencia a tensión es de aproximadamente un 10% de su resistencia a la compresión ($f'c$). Por esta razón, se generarán grietas en aquellos sectores del elemento donde el esfuerzo exceda la resistencia máxima a la tensión. Además del inconveniente estético cuando son visibles, estas grietas pueden permitir el paso de agua y/o otros materiales que oxiden el acero de refuerzo.



✓ **Uso de formaleta:** La construcción de concreto colado en sitio implica necesariamente el uso de formaleta ya sea de madera o paneles de estructura metálica. La colocación y posterior retiro de estos sistemas implica un costo adicional para el proyecto (material y mano de obra).



✓ **Agrietamiento:** El concreto experimenta tres tipos de cambio volumétrico que pueden causar agrietamiento y deflexiones que afectan el comportamiento de las estructuras:

- Contracción
- Flujo plástico y
- Expansiones o contracciones térmicas (diferencias de temperatura).

Contracción: Es la disminución en el volumen del concreto que se da a temperatura constante durante el proceso de fraguado. Si la contracción se restringe, como en el caso de una acera, tienden a ocurrir grietas.



Flujo plástico ("creep"): Es un fenómeno relacionado con la aplicación de carga; se trata esencialmente de un fenómeno de deformación bajo carga continua (sostenida), debido a un reajuste interno de partículas que ocurre a medida que se da la hidratación del cemento.

Expansiones o contracciones térmicas: Tal y como ocurre con la mayoría de los materiales, el hormigón se expande cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. El clima es la causa más común de cambio de temperatura aunque ciertos accidentes como incendios producen cambios bruscos de temperatura que repercuten en la resistencia del elemento.

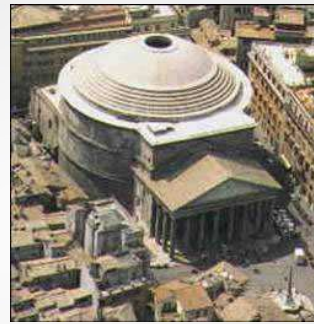


Antecedentes históricos

Los materiales con propiedades cementicias se remontan aproximadamente al año 200 A.C. cuando en Creta se usó un mortero a base de cal. Sin embargo, este tipo de cal tenía la desventaja de que se disolvía gradualmente al contacto con el agua.

Más tarde, en el siglo III A.C., los Romanos descubrieron una ceniza volcánica de aspecto arenoso fino que, al mezclarse con el mortero de cal, adquiría mayor resistencia y podía ser empleado bajo el agua.

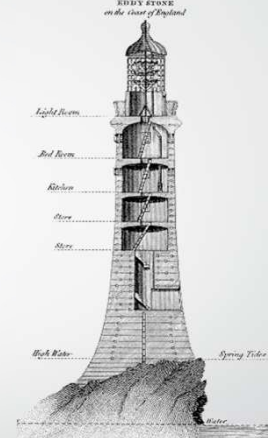
Uno de las estructuras más relevantes construidas por los Romanos fue el domo del Panteón (año 126 A.C.)



Este domo posee una luz de casi 44m, que no fue superada sino hasta el siglo XIX.

La parte inferior es de concreto cuyo piedra eran ladrillos quebrados. En la medida que los constructores se acercaban a la cúspide, se usaban agregados más livianos. De hecho, la parte superior se construyó con piedra pómez para reducir la carga debida al peso propio. Las marcas de la formaleta en la parte interna del domo aún se observan hoy en día.

Mucho tiempo después, mientras diseñaba el faro Eddystone, el ingeniero inglés John Smeaton descubrió que una mezcla de piedra caliza y arcilla podría ser usada como cemento resistente al agua. Este cemento se siguió utilizando por los siguientes años pero dada la escasez de caliza y arcilla pronto se restringió el uso.



En 1824, Joseph Aspdin mezcló piedra caliza y arcilla para luego calentarla esta mezcla en un horno y producir un tipo de cemento. Aspdin lo llamó cemento Portland debido a que el concreto hecho a partir de él se parecía a una piedra proveniente de la isla de Portland, al sur de Inglaterra.

Componentes del concreto

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, agua, arena, piedra y ocasionalmente aditivos. Posteriormente, esta mezcla se coloca en formaletas con la forma y dimensiones deseadas.

Cuando el cemento hidráulico se mezcla con el agua para formar la pasta (*hidratación*), se producen una reacción química que trae como resultado la formación de una masa sólida dura.

Por esta razón, mientras estén presentes la humedad y partículas de cemento no hidratado, los productos de las hidratación se siguen formando y con ello aumenta la resistencia del concreto.



CEMENTO

Un material cementante es aquel que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuadas.

Esta categoría de materiales incluye no solo al cemento, sino también asfaltos y alquitranes, tal como se usan en la construcción de carreteras y otros.

Para la construcción del concreto estructural se utiliza exclusivamente los llamados cementos hidráulicos.

El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado. Las materias primas usuales a partir de las cuales se fabrica son calizas, arcillas y yeso entre otros.



A lo largo del tiempo se han desarrollado cinco tipos de cemento Portland y su uso obedece a aplicaciones específicas. Según la norma *ASTM C150 (Standard Specification For Portland Cement)* se clasifican en:

- **Tipo I (Común o normal):** Es el más utilizado de todos y se destina a estructuras y obras de tipo general. Requieren generalmente de dos semanas para alcanzar la resistencia suficiente para poder retirar las formaletas de vigas y losas.
- **Tipo II (Modificado):** Su empleo se recomienda en la construcción de obras hidráulicas tales como piscinas.
- **Tipo III (Rápida resistencia a corta edad):** Se recomienda cuando se requiere retirar muy rápidamente la formaleta.
- **Tipo IV (De bajo calor de hidratación):** Se recomienda para estructuras donde se requieren grandes volúmenes de concreto.
- **Tipo V (Resistente a los sulfatos):** Es recomendable su uso cuando la infraestructura se encuentra expuesta a la acción de líquidos corrosivos.

AGUA (RELACION AGUA - CEMENTO)

En la elaboración de todo concreto debe utilizarse agua limpia y exenta de materias nocivas a los agregados o al acero de refuerzo, como aceites, materias orgánicas, etc.

Cuando son excesivas las impurezas en el agua de mezclado, pueden afectar no solo el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino que también puede provocar corrosión en el acero de refuerzo.

Nunca debe utilizarse agua de mar en la fabricación de un concreto !!!.

Antes de que se endurezca por completo, la mezcla experimenta dos etapas dentro de su proceso de endurecimiento que son: el fraguado inicial y el fraguado final.

El primero corresponde cuando la mezcla pierde su plasticidad volviéndose difícilmente trabajable. Este tiempo de fragua inicial oscila entre los 50 y 60 minutos.

Conforme la mezcla continúa endureciéndose llega a la segunda etapa, alcanzando tal dureza que la mezcla entra ya en su fraguado final. Este proceso oscila entre las 4 y las 10 horas.

Esta es la razón por la cual la resistencia del concreto disminuye a medida que se incremente la cantidad de agua en la mezcla, es decir, la relación agua-cemento.

RELACION AGUA / CEMENTO POR PESO	RESISTENCIA PROBABLE A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS	
	lbs/pulg ²	Kg/cm ²
0.36	6.000	420
0.45	5.000	350
0.53	4.000	280
0.62	3.200	225
0.71	2.500	175
0.80	2.000	140

AGREGADOS (ARENA Y PIEDRA)

Para concretos estructurales comunes, los agregados ocupan entre el 60 % y el 75% del volumen de la masa endurecida. El resto está conformado por la pasta de cemento endurecida, agua no combinada (es decir, agua no utilizada en la hidratación del cemento) y vacíos de aire. Estos dos últimos no contribuyen a la resistencia del concreto.

Por esta razón, resulta de fundamental importancia la graduación del tamaño de las partículas en los agregados, con el fin de producir este "empaquetamiento" compacto.

Las limitaciones en el tamaño de los agregados se proporcionan con la finalidad de asegurar que las varillas queden debidamente envueltas en el concreto y evitar la formación de cavidades (*hormigueros*).



Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos.

Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula menores a 4.75 mm; mientras que los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas tienen un tamaño máximo de 38 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 16 mm o el de 25 mm.

Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencias a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto (materia orgánica, raíces, etc.).

Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

Los agregados pueden ser utilizados en su estado natural o pueden provenir de un proceso de trituration. La piedra triturada presenta mejores características de adherencia.

Nombre	Tamaño máximo
Piedra <i>cuarta</i>	38 mm (1.5 pulgadas)
Piedra <i>cuartilla</i>	25 mm (1 pulgada)
Piedra <i>quintilla</i>	16 mm (5/8 pulgada)



ADITIVOS

Además de los principales componentes del concreto, usualmente se usan aditivos para mejorar el comportamiento del mismo.

Existen aditivos para acelerar o retardar el fraguado y el endurecimiento, para mejorar la manejabilidad y para proporcionar o afectar otras propiedades.

Los aditivos incorporadores de aire producen la inclusión de pequeñas burbujas dispersas. Esto mejora la manejabilidad pero presentan la desventaja de que aumentan la relación de vacíos y por tanto disminuye la resistencia; sin embargo, esta disminución puede balancearse parcialmente mediante la reducción del agua de mezcla, sin que se pierda manejabilidad.



Los aditivos acelerantes se utilizan para reducir el tiempo de fraguado y acelerar el desarrollo de la resistencia. Los aditivos retardantes del fraguado se utilizan principalmente para contrarrestar los efectos acelerantes de altas temperaturas ambientales.



La inclusión de aditivos en una mezcla de concreto debe seguir **siempre** las instrucciones del fabricante dado que su uso inadecuado conlleva efectos adversos como fluidez excesiva e inhibición de la fragua.

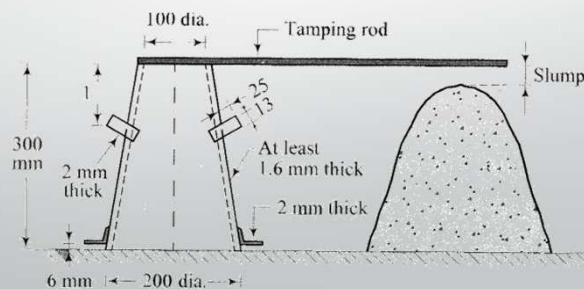




Prueba de asentamiento

Una vez que se han mezclado todos los componentes del concreto, es posible medir la consistencia de la mezcla a través de una prueba denominada asentamiento (*slump test*).

Dicha prueba consiste en un molde metálico en forma de cono truncado de 30 cm (12 pulgadas) de altura, el cual se llena de concreto fresco de una manera especificada. Una vez lleno el molde, éste se levanta y el asentamiento del concreto se mide como la diferencia entre el molde y la pila de concreto.






Prueba de asentamiento



En concretos utilizados en la construcción de edificios la mezcla debe ser de consistencia fluida (revenimiento entre 10 y 15 cm)

Consistencia	Asiento en el cono de Abrams (mm)	Tolerancia (mm)
Seca (S)	0 - 20	0
Plástica (P)	30 - 50	±10
Blanda (B)	60 - 90	±10
Fluida (F)	100 - 150	±20
Líquida (L)*	>150	0

* ésta consistencia sólo debe conseguirse mediante la utilización de superplastificantes



Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación.

Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos superfluidificantes para proporcionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados o fuertemente reforzados.



Dosificación y mezcla del concreto

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo.

Este último factor obliga a la utilización de la mínima cantidad de cemento (el más costoso de los componentes) que asegure unas propiedades adecuadas.

Mientras mejor sea la graduación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos.

A medida que se adiciona agua, la plasticidad y la fluidez de la mezcla aumentan (es decir, su manejabilidad mejora), pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de vacíos creados por el agua libre.

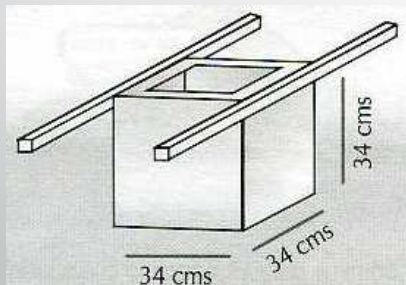
Se acostumbra a definir las proporciones de una mezcla de concreto mediante la relación en volumen (o en peso) del cemento con respecto a la arena y la piedra.

Por ejemplo $1:2:4$, $1:2:3$, etc.

Bajo este formato, el primer número corresponde al cemento, el intermedio a la arena y el último a la cantidad de piedra.

Esta forma de dosificar se refiere solamente a los componentes sólidos. Usualmente la cantidad de agua en una mezcla debe ser supervisada por un profesional de manera que se logre una mezcla con buena consistencia.

En Costa Rica, es muy común dosificar por volumen. Esto se logra empleando un cajón de madera de dimensiones tales que en él quepa el contenido de un saco de cemento de 50 kg. Se recomienda un cajón cúbico de 34cm de arista.



Otra alternativa es la dosificación con cubetas (baldes de 19 litros=5 galones).

En este caso, un saco de cemento de 50 kg equivale a 2 cubetas.

Una buena práctica, en la construcción, es que la cuadrilla encargada de la elaboración del concreto tenga siempre a la vista la tabla de dosificaciones a emplear en la obra.



En proyectos de cierto tamaño, el mezclado se lleva a cabo en plantas de concreto premezclado. En estas plantas, mediante tolvas independientes se proporcionan el cemento y las diferentes fracciones de agregado. Las proporciones se controlan por peso, mediante balanzas operadas manual o automáticamente y conectada a las tolvas. El agua de mezcla se adiciona ya sea mediante tanques calibrados o medidores de agua.



En la preparación de volúmenes de concreto menores, se utilizan batidoras. Se recomienda que todo el proceso (medida de los ingredientes, cargado en la batidora, mezclado y descarga) dure entre 4 y 6 minutos.

Deben evitarse tiempos excesivamente prolongados ya que pueden quebrarse los agregados y por ende variar la granulometría con la cual se diseñó la mezcla.



Transporte, vaciado, compactación y curado

El **transporte** del concreto para construcción desde el camión mezclador o batidora hasta la formaleta, se puede realizar mediante contenedores con vaciado de fondo (grúas), carretillos o mediante bombeo a través de conductos metálicos.





El vaciado (colocación) es el proceso de transferir el concreto fresco, del dispositivo de mezclado a su sitio final de colocación en las formaletas. Antes de la colocación se debe remover el óxido suelto del refuerzo, limpiar las formaletas y tratar en forma adecuada las superficies endurecidas de concreto previamente colado.



Remoción del óxido en las barras de refuerzo (varillas de acero)

El vaciado y la compactación son actividades decisivas por el efecto que tiene sobre la calidad final del concreto.

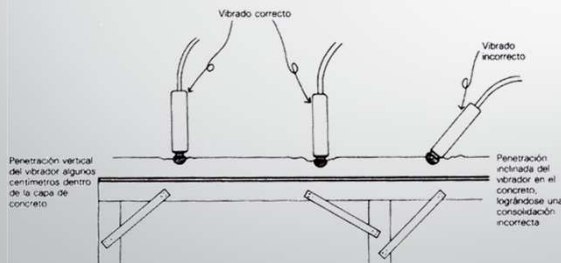
Un vaciado adecuado debe evitar la segregación, el desplazamiento de la formaletas o del refuerzo y la adherencia deficiente entre capas sucesivas de concreto (junta fría)





Inmediatamente vaciado el concreto, el concreto debe compactarse, usualmente mediante vibradores. Esta compactación evita la formación de vacíos, asegura un contacto cercano con la formaleta y con el refuerzo.

La compactación se logra mediante la utilización de vibradores de alta frecuencia los cuales se sumergen en el concreto.



El concreto fresco gana resistencia más rápidamente durante las primeras dos semanas. El diseño estructural se basa generalmente en la resistencia a los 28 días, de la cual cerca del 70% se logra al final de la primera semana después de la colocación.

La resistencia final del concreto depende en forma importante de las condiciones de humedad y temperatura durante este período inicial. El mantenimiento de las condiciones adecuadas durante este tiempo se conoce como **curado**.

Para evitar tales daños, el concreto debe protegerse de la pérdida de humedad al menos por siete días y en trabajos más delicados hasta 14 días.

El curado se puede lograr manteniendo continuamente húmedas las superficies expuestas del elemento, de manera que se restituya el agua que se evapora debido al calor de hidratación (calor generado durante las reacciones químicas del fraguado).

Fase de colocación del concreto



Fase de compactación del concreto



Fase de acabado del concreto





Colado de entepiso



Colado de losa flotante (fundación)



Colado de entrepiso con grúa

Control de calidad del concreto

Materiales como el acero o el aluminio, que son producidos en planta, tienen una calidad garantizada por el productor quien se supone practica controles internos.

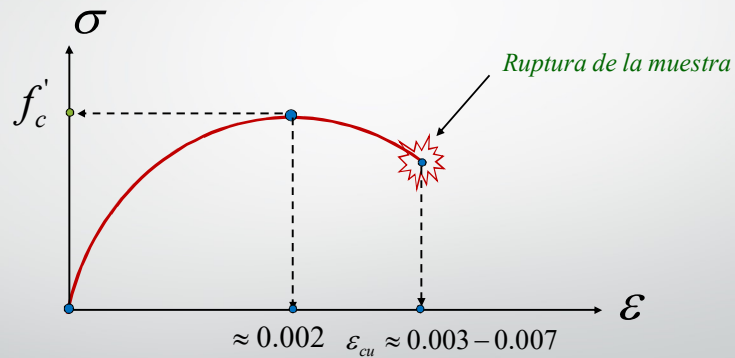
Por el contrario, al ser muchas veces producido en obra, su calidad final se ve entonces afectada por diversos factores. Por esta razón es que se ha planteado la necesidad de establecer controles de calidad en el propio sitio de construcción.

Para efectos de cálculos estructurales, la principal medida de la calidad del concreto es su resistencia a la compresión f'_c .



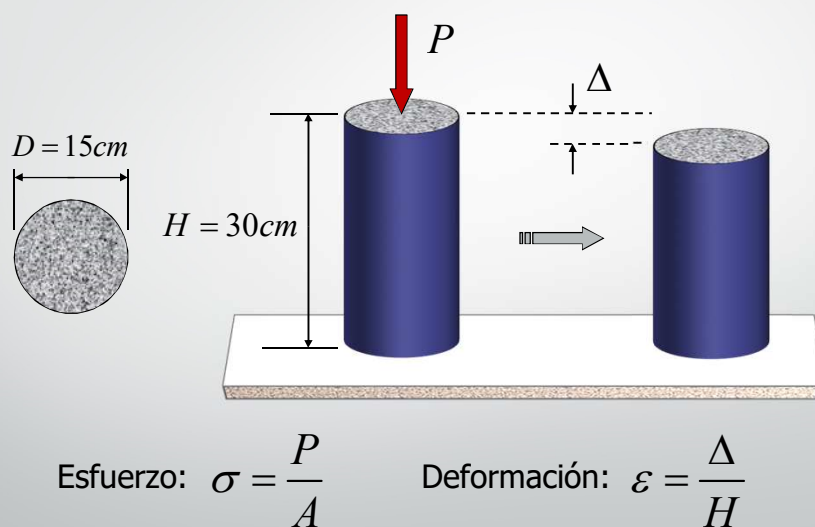
Resistencia a la compresión del concreto f'_c

La resistencia a la compresión del concreto se define como el máximo esfuerzo σ que se obtiene al someter a un espécimen cilíndrico a carga axial de compresión. (Norma *ASTM C39*)



Por lo general se le designa con el símbolo f'_c y se mide a una edad de 28 días. En nuestro país se acostumbra expresar en unidades de kg/cm^2 .

ESQUEMA DE LA PRUEBA



Las pruebas para medir esta propiedad se realizan sobre especímenes cilíndricos de altura igual a 30cm y diámetro de 15cm.

Los moldes de este tamaño se llenan de concreto durante la operación de colocación del concreto en obra, de acuerdo a lo especificado en la norma ASTM C31.



Resistencia la compresión del concreto f'_c



*Toma de la muestra
(día 0: día de la colada)*

Resistencia la compresión del concreto f'_c



*Muestras en etapa de curado
(del día 1 al día 28)*

Resistencia la compresión del concreto f'_c



*Preparación de la prueba
(día 28)*

Resistencia la compresión del concreto f'_c



*Ejecución de la prueba
(día 28)*

Una vez efectuadas las pruebas, el laboratorio contratado deberá preparar un informe en el cual se indique no solo los resultados de resistencia sino también datos adicionales como fechas de la chorrea y de la falla, revenimiento y elemento estructural de donde se muestreó el concreto.

Este informe servirá al profesional responsable de la obra civil (ingeniero o arquitecto) para tomar decisiones, en especial cuando se presentan bajas resistencias.

Fecha: 16/05/2008

Ensayo de Compresión a Cilindros de Concreto de 150mm
Muestreo: ASTM C172, Moldeo ASTM C31, Ensayo ASTM C39
Ensayados en la Prensa Hidráulica CT-7251 (SJ1)

A Petición de : **ING. ó ARQ.** S.A.

De. Proyecto

CIL	Fecha Moldeo	Edad Dias	Fecha Falla	Rev. cm.	Carga Newtons	D. mm	L. mm	Area mm ²	Esfuerzo de compresión			Localización	Tipo Falla	Esfuerzo solicitado σ_c MPa (kg/cm ²)
									MPa Ruptura	MPa Prob. a 28 d.	(kg/cm ²) Prob. a 28 d.			
35	16/04/2008	28	14/05/2008	13,0	571 000	152,6	304,8	18 280	31,2 (318)	---	---	PAREDES Y PISO DE TANQUE DE CAPTACION.	5	20,6 (210)
36	16/04/2008	28	14/05/2008	13,0	596 000	152,6	304,8	18 280	32,6 (332)	---	---	PAREDES Y PISO DE TANQUE DE CAPTACION.	4	20,6
50	30/04/2008	14	14/05/2008	16,0	528 000	152,6	304,8	18 280	28,9 (294)	35,2 (359)	---	MURO C-G-15, SOTANO.	3	20,6
57	7/05/2008	7	14/05/2008	9,0	410 000	152,6	304,8	18 280	22,4 (229)	34,5 (352)	---	LOSA INFERIOR DEL DUCTO DE ASCENSOR E-G-10-11.	3	24,0 (245)

Extracto de un Informe de laboratorio

El Código Sísmico de Costa Rica en su versión más reciente (2010) establece en la sección 8.1.2 Resistencia de Materiales:

"Concreto: La resistencia mínima especificada del concreto en compresión debe ser 210 kg/cm²"

Si bien es cierto la tendencia a nivel mundial es mejorar los controles de calidad y por ende emplear concretos cada vez más resistentes, aún persisten proyectos en los cuales se aplican malas prácticas de producción y manejo de la mezcla.

Lo anterior trae como resultados valores de $f'c$ muy por debajo del valor mínimo. En nuestro país, esto fue puesto en evidencia en un estudio efectuado en el año 2007 por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) en conjunto con el Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto (ICCYC).



Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos

Calidad del concreto en la Zona del Pacifico Central

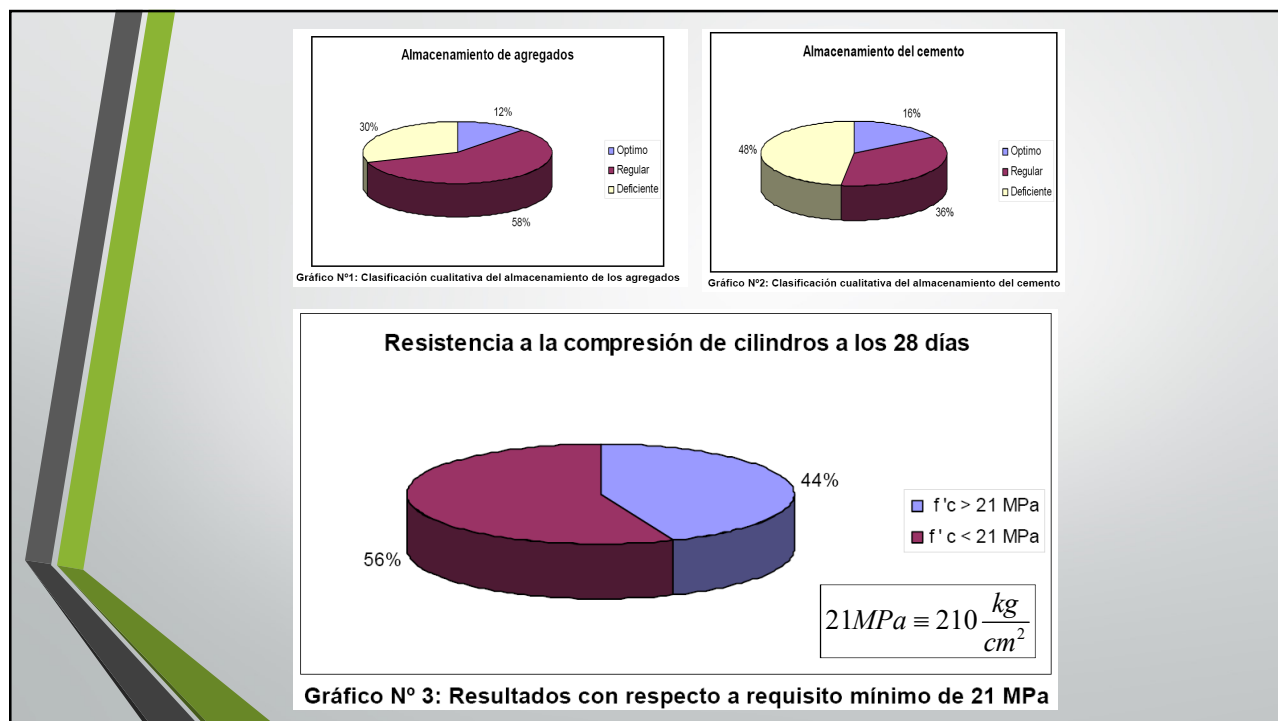
1 Introducción

El presente documento, muestra los resultados de una investigación realizada por el Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto (ICCYC) en asociación con el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), sobre la calidad del concreto hecho en obra en la zona del Pacifico Central.

Se realizó un muestreo aleatorio, de veinticinco construcciones ubicadas específicamente en el Cantón de Garabito, por ser el área con más solicitudes de permisos y obras en construcción en el año 2007, según informe del CFIA.

Se tomaron un total de 75 probetas de concreto fresco, correspondientes a 25 construcciones. Se muestreó concreto que iba a ser destinado para cimientos, columnas, losas de entrepiso, vigas, pavimentos, entre otros, con el fin de verificar que alcanzara a 28 días una resistencia mínima de 21 MPa.

Con los valores de resistencia obtenidos, las observaciones de campo y el análisis estadístico de los resultados, se brindarán recomendaciones, para mejorar la calidad del concreto fabricado en el sitio de obra.



Normativa del ACI sobre control de calidad del concreto

Tanto la cantidad de cilindros de concreto a tomar como muestra en un proyecto como los criterios de aceptación se especifican en el documento Requisitos de Reglamento para concreto estructural (*American Concrete Institute ACI 318-19*) específicamente en el capítulo 26 denominado Documentos de Construcción e inspección.

Evaluación y aceptación del concreto (Sección 26.12)

26.12.1.1(a) *Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayados a 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .*

(b) *La entidad o laboratorio que realice los ensayos de aceptación debe cumplir con la norma ASTM C1077.*

(c) Los ensayos de concreto fresco realizados en la obra, la preparación de probetas que requieran de un curado bajo condiciones de obra, la preparación de probetas que se vayan a ensayar en laboratorio y el registro de temperaturas del concreto fresco mientras se preparan las probetas de resistencia debe ser realizado por técnicos calificados en ensayos de campo.

(d) Los ensayo de laboratorio deber ser realizado por técnicos de laboratorio calificados.

(e) Los informes de los ensayos de aceptación se deben distribuir al profesional facultado para diseñar, al constructor, al productor del concreto, y, cuando se requiera, al propietario y a la autoridad competente.

Frecuencia de los ensayos (Sección 26.12.2)

26.12.2.1(a) *Las muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto colocado cada día deben tomarse con (1) hasta (3):*

- 1) Al menos una vez al día*
- 2) Al menos una vez cada 110 m³ de concreto*
- 3) Al menos cada 460 m² de superficie de losas o muros.*

Sólo debe considerarse una cara de la losa o muro al calcular su superficie. Si el espesor promedio de la losa o del muro es menor que 240 mm, el criterio (3) requiere de un muestreo mayor a una vez por cada 110 m³ colocados.

(b) *Cuando en un proyecto dado el volumen total de concreto sea tal que la frecuencia de ensayos proporcione menos de cinco ensayos de resistencia para cada clase dada de concreto, los ensayos deben hacerse por lo menos en cinco tandas de mezclado seleccionadas al azar, o en cada tanda cuando se empleen menos de cinco.*

(c) *Cuando la cantidad total de una clase dada de concreto sea menor que 38 m³, no se requieren ensayos de resistencia cuando evidencia de que la resistencia es satisfactoria se envíe a la autoridad competente, y sea aprobado por ella.*

*Crterios para la aceptación de probetas curadas en forma estándar
(Sección 26.12.3)*

26.12.3.1(b) *El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si se cumple con (1) y (2):*

(1) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'_c .

(2) Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que f'_c en más de 3.5 MPa (35 kg/cm²) por debajo cuando f'_c es 35 MPa (350 kg/cm²) o menos; o en más de $0.1f'_c$ por debajo cuando f'_c es mayor a 35 MPa (350 kg/cm²).

(c) *Cuando no se cumpla con cualquiera de los dos requisitos de 23.12.3.1(b), deben tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los siguientes ensayos de resistencia.*

R26.12.3.1(c) *Las medidas que se tomen con el fin de incrementar el nivel promedio de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto dependen de las circunstancias particulares, pero deben incluir uno o más de (a) hasta (g):*

- (a) Incremento del contenido de material cementante*
- (b) Mejor control o reducción del contenido de agua*
- (c) Uso de un aditivo reductor de agua para mejorar la dispersión de los materiales cementantes*
- (d) Otras variaciones en la dosificación de la mezcla*
- (e) Reducción del tiempo de entrega*
- (f) Control más estricto del contenido de aire*
- (g) Mejoramiento de la calidad de los ensayos.*

Investigación de los resultados de ensayos con baja resistencia (Sección 26.12.4)

26.12.4.1(a) Si cualquier ensayo de resistencia de cilindros curados de forma estándar es menor que f'_c por más de los valores límite permitidos para la aceptación, o si los ensayos de cilindros curados en la obra indican deficiencia de protección y de curado, deben tomarse medidas para asegurar que no está en peligro la capacidad de carga de la estructura.

(b) Si se confirma la posibilidad que el concreto tiene resistencia baja y los cálculos indican que la capacidad de soportar las cargas se redujo significativamente, deben permitirse **ensayos de núcleos extraídos de la zona en cuestión** de acuerdo con la norma ASTM C42M. En esos casos deben tomarse tres núcleos por cada resultado del ensayo de resistencia que sea menor a f'_c por más del límite de aceptación permitido.

(d) El concreto de la zona representada por los núcleos se considera estructuralmente adecuado cuando se cumplen (1) y (2):

- (1) El promedio de tres núcleos es por lo menos igual al 85 por ciento de f'_c
- (2) Ningún núcleo tiene una resistencia menor del 75 por ciento del f'_c .

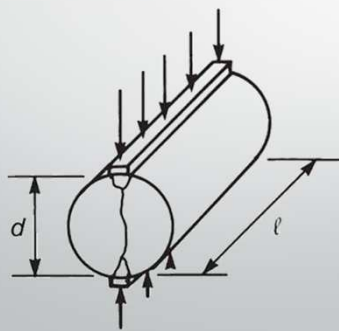
(e) Cuando los núcleos den valores erráticos, se debe permitir extraer núcleos adicionales de la misma zona.



Resistencia a la tensión del concreto f_t

Someter una probeta de concreto a carga axial de tensión no ha sido muy utilizado debido a dificultades experimentales. En su lugar se han implementado dos ensayos: la Prueba Brasileña y la Prueba de Flexión también denominada Módulo de Ruptura.

- La Prueba Brasileña (Norma ASTM C496) consiste en someter un espécimen de forma cilíndrica a carga lineal diametral.



$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld}$$

P : máxima carga aplicada

l : largo del cilindro

d : diámetro del cilindro

(c) Stresses on element.

(d) Distribution of σ_1 on vertical diameter.

De acuerdo con este ensayo, se ha encontrado que el esfuerzo de tensión del concreto está dado por:

$$f_{ct} = 1.5\sqrt{f'_c} \quad [kg/cm^2]$$

La resistencia a la tensión del concreto oscila entre el 8% y el 15% de su resistencia a la compresión, tomándose un **10% como valor promedio**.

- En la Prueba de Flexión (Norma ASTM C78) se aplican cargas puntuales en los tercios medios a una viga de 6x6pulgadas, con luz libre de 24 pulgadas hasta llevarla a la falla debido al agrietamiento que se presenta en la cara en tensión.

La resistencia de tensión en flexión se conoce como **Módulo de Ruptura f_r** , que se calcula como:

$$f_r = \frac{M}{S} = \frac{6M}{bh^2}$$

Correlacionando el módulo de ruptura del concreto con su respectiva resistencia a la compresión se tiene:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \quad [kg/cm^2]$$

Resistencia al cortante del concreto f_v

La resistencia al cortante es incluso más complicada de determinar experimentalmente que las dos pruebas comentadas en diapositivas previas.

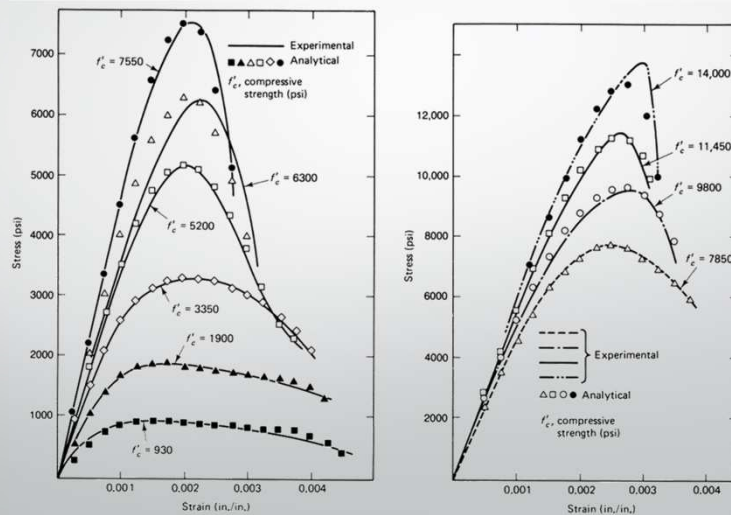
Lo anterior radica fundamentalmente en la dificultad de aislar el cortante de los otros esfuerzos lo cual lleva a una enorme dispersión en los resultados: desde un 20% de la resistencia a la compresión para ensayos con carga normal hasta un 85% de f'_c en casos donde el cortante directo se combina con compresión.

Conservadoramente se asume:

$$f_v \cong 0.53\sqrt{f'_c} \quad [kg/cm^2]$$

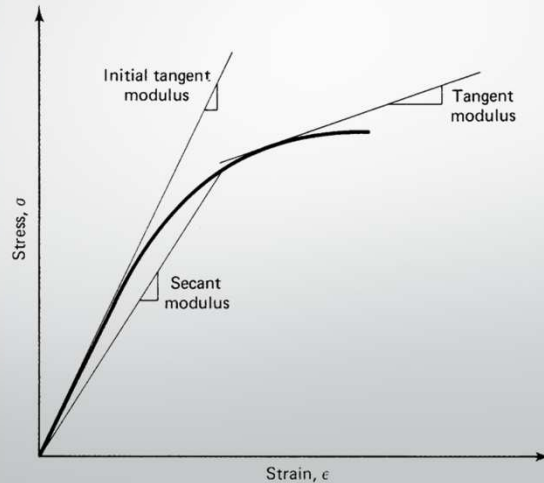
Módulo de elasticidad del concreto E_c

Del estudio de las curvas Esfuerzo-Deformación unitaria, resulta obvio que la no linealidad del concreto deja sin sentido el concepto convencional del módulo de elasticidad.



Por esta razón, se recurre a definiciones basadas en consideraciones empíricas.

Así se puede definir el módulo tangente inicial, el módulo tangente en un punto determinado de la curva esfuerzo-deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma.



El módulo de elasticidad del concreto depende principalmente de su resistencia a la compresión y su peso volumétrico.

El Código ACI ha propuesto la expresión:

$$E_c = w^{1.5} \cdot 4000 \cdot \sqrt{f'_c}$$

w : peso volumétrico [Ton/m^3]
 f'_c : resistencia a la compresión [kg/cm^2]

Para concretos de peso normal ($w=2.4 \text{ Ton}/m^3$) y resistencias inferiores a $420 \text{ kg}/cm^2$, se tiene la fórmula:

$$E_c = 15000 \cdot \sqrt{f'_c} \quad [kg/cm^2]$$

En casos de resistencias superiores a $420 \text{ kg}/cm^2$, se debe investigar en la literatura dado que la anterior fórmula tiende a generar valores incorrectos.

En el proceso de Análisis Estructural se requieren además el módulo de cortante G y la Razón de Poisson ν .

Para cualquier material, la razón entre estos parámetros y el módulo de elasticidad es:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Experimentalmente se ha determinado que la Razón de Poisson oscila entre 0.12 y 0.20 . Normalmente se asume como 0.20 lo que conduce a un valor de módulo de cortante conservador de :

$$G_c \cong 0.40E_c$$

Efectos del tiempo en el concreto endurecido

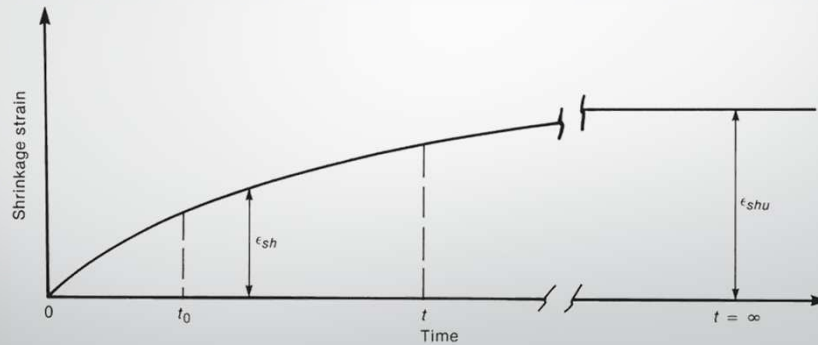
Cuando se aplica una carga en un elemento de concreto, éste adquiere una deformación inicial. Si la carga permanece aplicada, la deformación aumenta con el tiempo, aún cuando no se incremente la carga.

Las deformaciones que ocurren con el tiempo en el concreto se deben esencialmente a dos causas:

- Contracción ("*Shrinkage*") y
- Flujo plástico ("*Creep*").

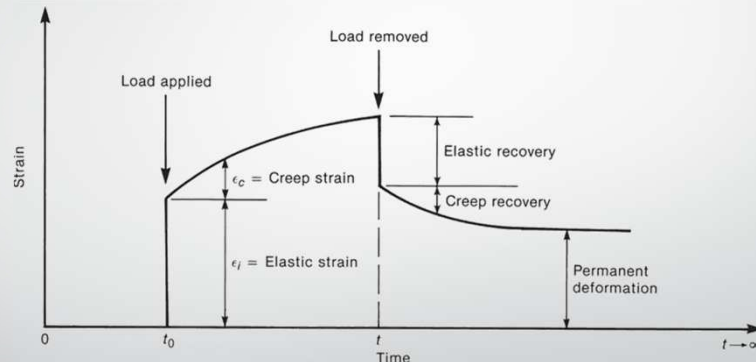


Contracción: Las deformaciones por contracción se deben a cambios en el contenido de agua del concreto a lo largo del tiempo. La contracción tiende a producir esfuerzos debido a la restricción al libre desplazamiento del elemento. Se puede estimar que las deformaciones unitarias debidas a contracción ϵ_{sh} varían entre 0.0002 y 0.0010.



Variación de la deformación por contracción ϵ_{sh} con el tiempo (para un espécimen sin carga)

Flujo plástico: Es un fenómeno relacionado con la aplicación de carga; se trata esencialmente de un fenómeno de deformación bajo carga continua (sostenida), debido a un reacondicionamiento interno de partículas que ocurre a medida que se da la hidratación del cemento.



(b) Elastic and creep strains due to loading at time, t_0 , and unloading at time, t .

Variación de las deformaciones elástica ϵ_e y por flujo plástico ϵ_c con el tiempo

LECTURA #3

Efectuar la lectura de:

- ✓ Las secciones 1.1 a 1.15 del libro de texto (Diseño de Concreto Reforzado, Jack McCormac; 2019).
- ✓ El informe "Calidad del concreto en la Zona del Pacífico Central" que se encuentra para descarga en la página *web* del curso.

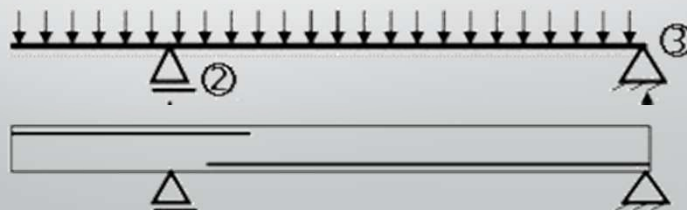
Ambas lecturas serán evaluadas en un *quiz* a aplicarse en las próximas clases.

Tema II: Acero de refuerzo

El acero es mucho más costoso que el concreto. Por esta razón es conveniente combinar los dos materiales para minimizar costos sin detrimento de la resistencia.

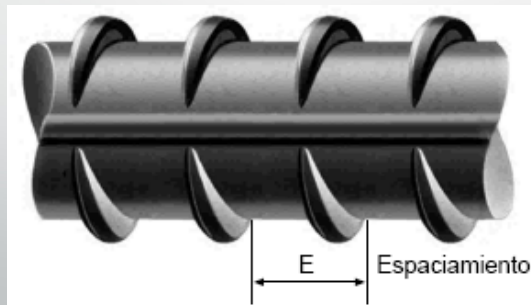
Lo anterior se logra colocándolos de manera que el **concreto resista los esfuerzos de compresión** y el **acero los esfuerzos de tensión**.

En el caso particular de las vigas de concreto reforzado, el concreto resiste la fuerza de compresión y las barras de acero longitudinales (colocadas cerca de la cara de tensión) resisten las fuerzas de tensión y barras de acero adicionales colocadas de manera transversal (aros) resisten las fuerzas cortantes.



El acero común tiene una resistencia (esfuerzo de fluencia) tanto a tensión como a compresión, con una magnitud de aproximadamente 15 veces la resistencia a compresión del concreto y de más de 100 veces su resistencia a la tensión.

Las varillas de refuerzo de acero generalmente tienen una sección transversal redonda con protuberancias llamadas **corrugaciones** en la superficie de la varilla, cuya función es mejorar la *adherencia mecánica* y por ende restringir el movimiento longitudinal de las varillas con respecto al concreto.



En el mercado podemos encontrar un amplio intervalo de diámetros de varilla que van de 1/4" (**#2**), 3/8" (**#3**) hasta 1 1/8" (**#11**).

Los tamaños se denominan mediante números correspondientes al número de diámetros de 1/8 de pulgada.

Por ejemplo una varilla #5 corresponde a una varilla de 5/8".

En cuanto a su longitud se pueden encontrar en largos de 6 y 9 metros.



Áreas de acero (cm²) (Vigas, columnas)

Varilla	Diámetro (cm)	Cantidad de varillas					
		1	2	3	4	5	6
#3	0.96	0.71	1.42	2.13	2.84	3.55	4.26
#4	1.27	1.29	2.58	3.87	5.16	6.45	7.74
#5	1.59	1.98	3.96	5.94	7.92	9.90	11.88
#6	1.91	2.84	5.68	8.52	11.36	14.20	17.04
#7	2.22	3.87	7.74	11.61	15.48	19.35	23.22
#8	2.54	5.10	10.20	15.30	20.40	25.50	30.60

Áreas de acero en un metro de ancho (cm²) (Losas, muros, placas)

Separación (cm)	Varilla					
	#3	#4	#5	#6	#7	#8
10	7.10	12.90	19.80	28.40	38.70	51.00
12.5	5.68	10.92	15.84	22.72	30.96	40.80
15	4.73	8.60	13.20	18.93	25.80	34.00
17.5	4.06	7.37	11.31	16.23	22.11	29.14
20	3.55	6.45	9.90	14.20	19.35	25.50
22.5	3.16	5.73	8.80	12.62	17.20	22.67
25	2.84	5.16	7.92	11.36	15.48	20.40

Ejemplo:
¿Cuánta área de acero proporcionan 2 varillas #5?

En la columna Cantidad de varillas se escoge 2 y en la fila Varilla #5, la intersección de ambos valores corresponde a **3.96cm²**.

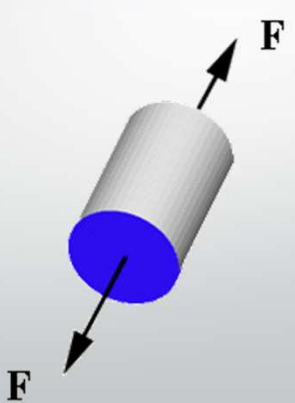
Ejemplo:
¿A cuánta área de acero equivale una malla de varilla #4@15cm?

En la columna Varilla se elige #4 y en la fila Separación 15cm. Se intersecan ambos valores y resulta **8.60cm²**.

Resistencia a la tensión del acero f_y

Para efectos de diseño de elementos que contienen acero, el parámetro más importante es su esfuerzo de fluencia denominado f_y .

El ensayo para determinar este valor se realiza con un trozo de varilla al cual se le aplica carga axial de tensión hasta llegar a la ruptura.



Resistencia a la tensión del acero

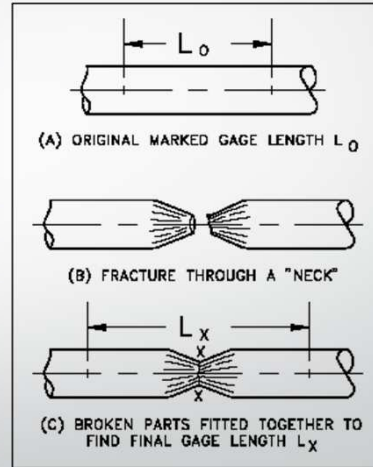
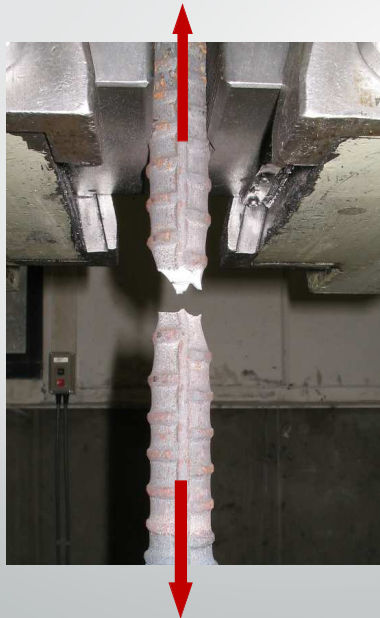
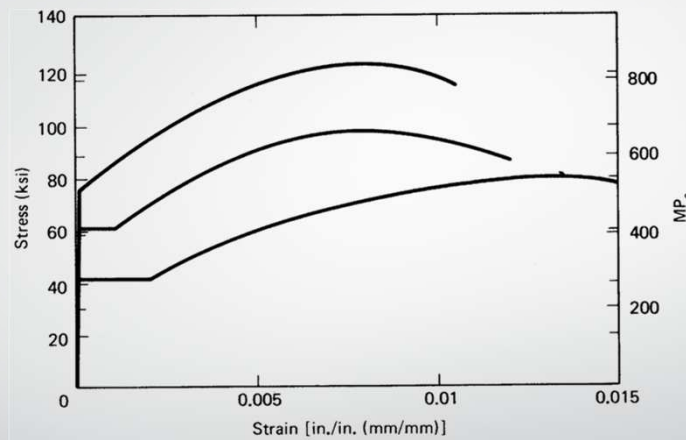


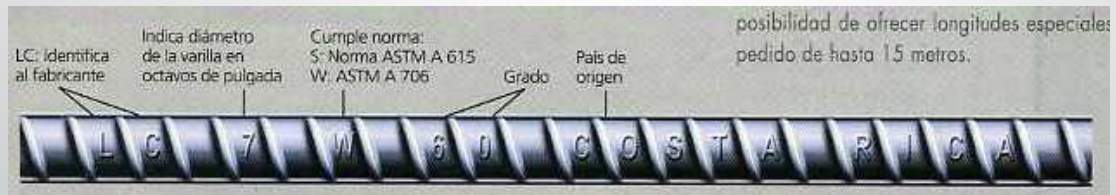
Figure 6 Measuring Elongation After Fracture

El registro gráfico de este tipo de ensayo genera curvas similares a:



Se observa que el grado del acero corresponde al punto donde se alcanza la fluencia, es decir, donde finaliza el rango lineal elástico cuya pendiente corresponde al módulo de elasticidad: $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ (valor constante e independiente del grado)

Con el fin de distinguir en forma fácil los diferentes grados y tamaños de las varillas y evitar usos accidentales de barras de menor grado o menor tamaño que las requeridas en el diseño, las varillas se venden contramarcadas con el nombre del fabricante, el número de la varilla y el grado.



Lo más recomendable es que el constructor almacene las varillas en compartimentos debidamente rotulados con el calibre (diámetro) y grado.

Grados y tipos de acero

A nivel mundial, existe una tendencia a utilizar materiales de alta resistencia, tanto en concreto como en acero.

En nuestro país las varillas de acero **Grado 40** (resistencia de fluencia $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$) son las de mayor uso.

Sin embargo, también se producen las de **Grado 60** (resistencia de fluencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$) debido a que con éstas se necesita menos cantidad de acero y se logra reducir la congestión de acero en las formaletas.



Las varillas empleadas en construcción se producen de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- **ASTM A 615** (Letra "S" marcada en las varillas):

Esta especificación cubre las varillas más comúnmente usadas en la construcción. Están disponibles en tres grados: 40, 60 y 75.

- **ASTM A 706** (Letra "W" marcada en las varillas):

Esta especificación se refiere a las varillas empleadas en aplicaciones especiales, es decir, donde se requiera soldabilidad, facilidad de doblaje o ductilidad. Sólo está disponible en grado 60.

Mallas electrosoldadas

Además de las varillas de refuerzo, se utilizan mallas electrosoldadas para reforzar contrapisos y losas de entrepisos. así como otras superficies tales como cascarones (domos).

El refuerzo con mallas consta de un conjunto de "alambrones" de acero, longitudinales y transversales en ángulos rectos el uno con el otro y soldados entre sí en todos los puntos de intersección.



Ventajas de las mallas electrosoldadas

1. Se obtienen grandes ahorros en mano de obra en cuanto al proceso de armado.
2. Por ser de alta resistencia ($f_y=4674 \text{ kg/cm}^2$) se requiere menor cantidad de acero.
3. Ahorro en fletes al transportar menor peso de varillas.

Tipo	Cuadro	Diámetro de varilla
No. 1	15x15cm	4.88mm
No. 2	15x15cm	5.30mm
No. 3	10x10cm	4.88mm

Refuerzo de sobrelosa en entrepisos



Refuerzo de contrapiso (cargas bajas)



Empleo de malla electrosoldada