UNIDAD 7

U N I D A D 7

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL

DOCENTE: Ing. M. Fernanda Carrasco

Ingeniería Civil – 2010

Qué le pedimos a una estructura de Hº Aº?

a . RESISTENCIA Y ESTABILIDAD

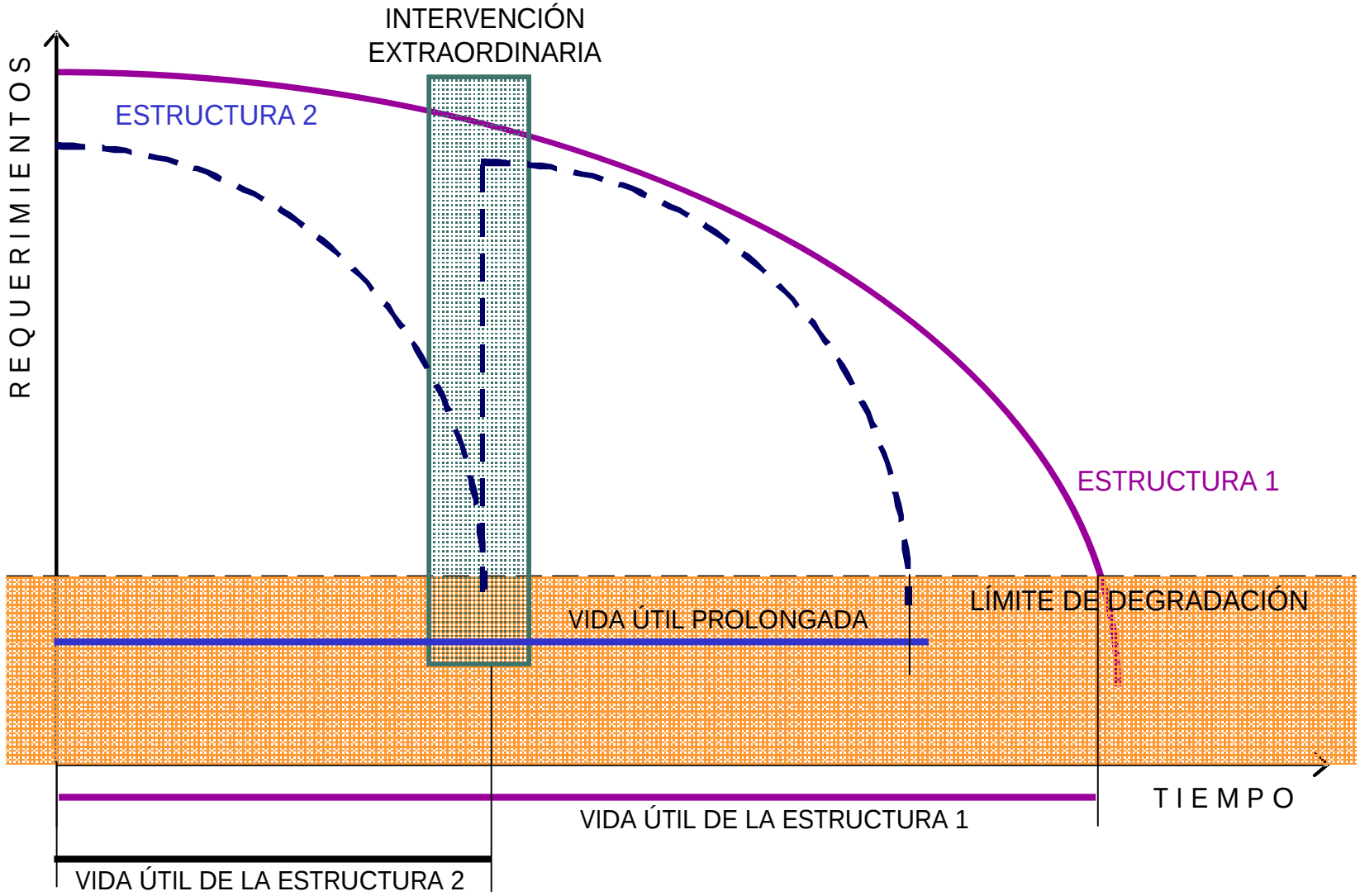
Adecuadas para no generar riesgos inaceptables

b . FUNCIONALIDAD

Que responda a las necesidades de los usuarios, establecidas en función del uso previsto de la obra.

c . DURABILIDAD

Con una fiabilidad adecuada y durante un período de tiempo establecido, para todas las acciones a las que la estructura pueda estar sometida.


INTERVENCIÓN
EXTRAORDINARIA
REQUERIMIENTOS
ESTRUCTURA 2
ESTRUCTURA 1
VIDA ÚTIL PROLONGADA
LÍMITE DE DEGRADACIÓN
TIEMPO
VIDA ÚTIL DE LA ESTRUCTURA 1
VIDA ÚTIL DE LA ESTRUCTURA 2

Propiedades más importantes por durabilidad

Tipo de afectación	Proceso deletéreo	Propiedad del H°
Ataque físico	Contracción Desgaste: Erosión, Abrasión Acciones de temperaturas extremas: Congelamiento y deshielo, Fuego	Contracción por secado Módulo de elasticidad Resistencia al desgaste Permeabilidad Succión Capilar Absorción
Ataque físico - químico	Lixiviación Ataque ácido Ataque de sulfatos	Permeabilidad Succión Capilar Absorción
Acciones deletéreas internas	Reacción álcali-agregado Reacción álcali-carbonato	Permeabilidad Succión Capilar Absorción
Ataque electro - químico	Corrosión de armaduras: Carbonatación, Cloruros	Permeabilidad Succión Capilar Absorción

Propiedades más importantes por durabilidad y funcionalidad

Excesiva permeabilidad?

Excesiva deformación por contracción?

Excesiva absorción?

Insuficiente resistencia al desgaste?

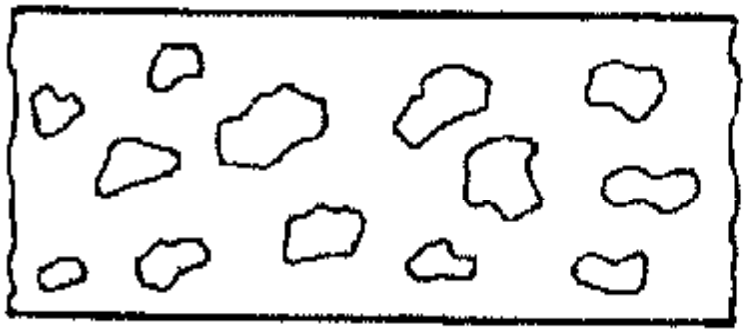
Propiedades más importantes por resistencia y estabilidad

Propiedad	Tipo de esfuerzo	
Resistencia mecánica	Compresión	
	Tracción	Tracción directa
		Tracción por compresión diametral
		Tracción por flexión
Deformabilidad	Módulo de elasticidad	
	Fluencia lenta o creep	

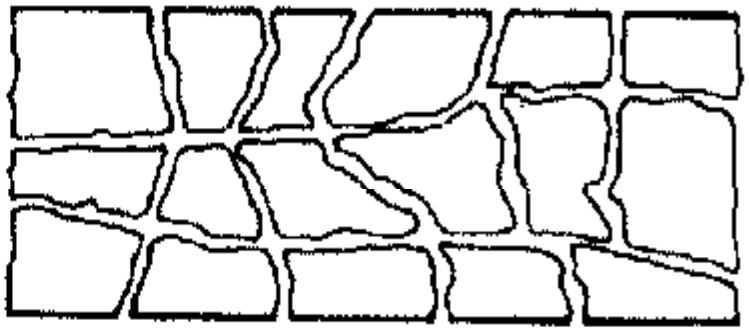
Insuficiente resistencia?
Excesiva deformabilidad?

Insuficiente resistencia
a compresión?

Proceso en el hormigón	Condición del hormigón	Propiedad del H°
Penetración de sustancias disueltas (cloruros, sulfatos, etc)	Mojado y secado superficial Bajo carga hidrostática Cara saturada / cara al aire	Succión capilar Permeabilidad Efecto mecha (difusión + capilaridad + permeabilidad)
Penetración de agua (túneles, sótanos, tanques, etc.)	Mojado y secado superficial Bajo carga hidrostática Cara saturada / cara al aire	Succión capilar Permeabilidad Efecto mecha (difusión + capilaridad + permeabilidad)
Carbonatación	Contacto con aire conteniendo CO_2	Difusión + carbonatación

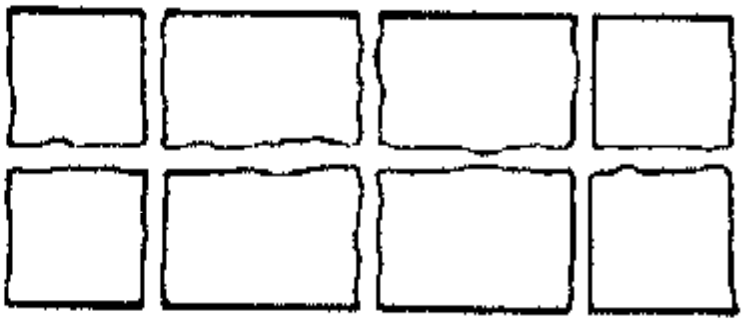


Material poroso e impermeable

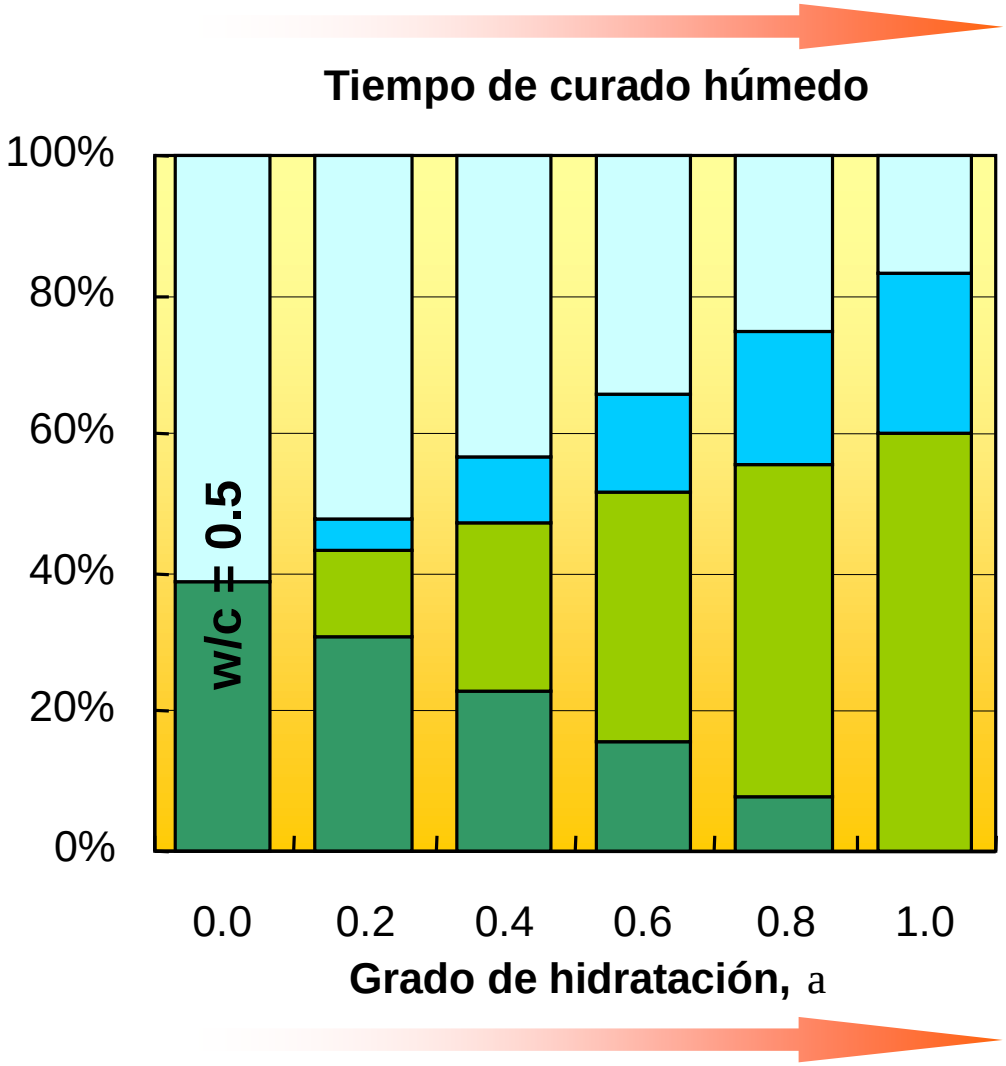


Material poroso y permeable

Alta porosidad, baja permeabilidad



Baja porosidad, alta permeabilidad

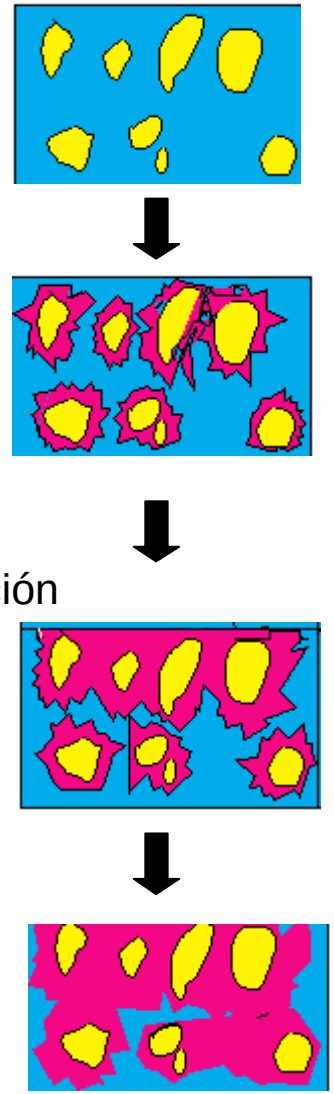


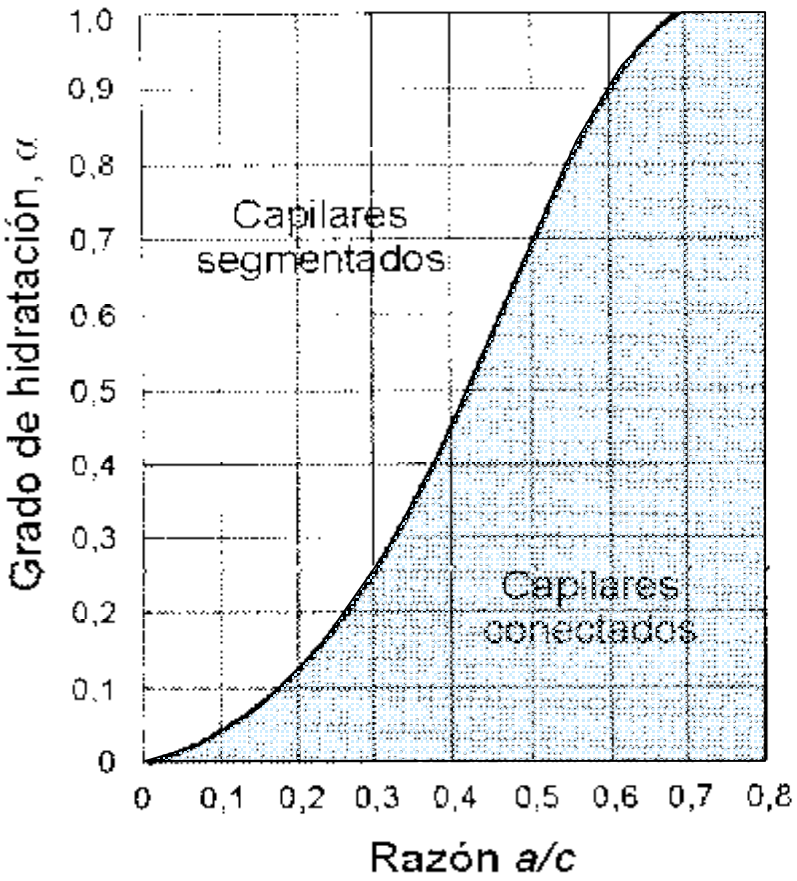
Poros capilares

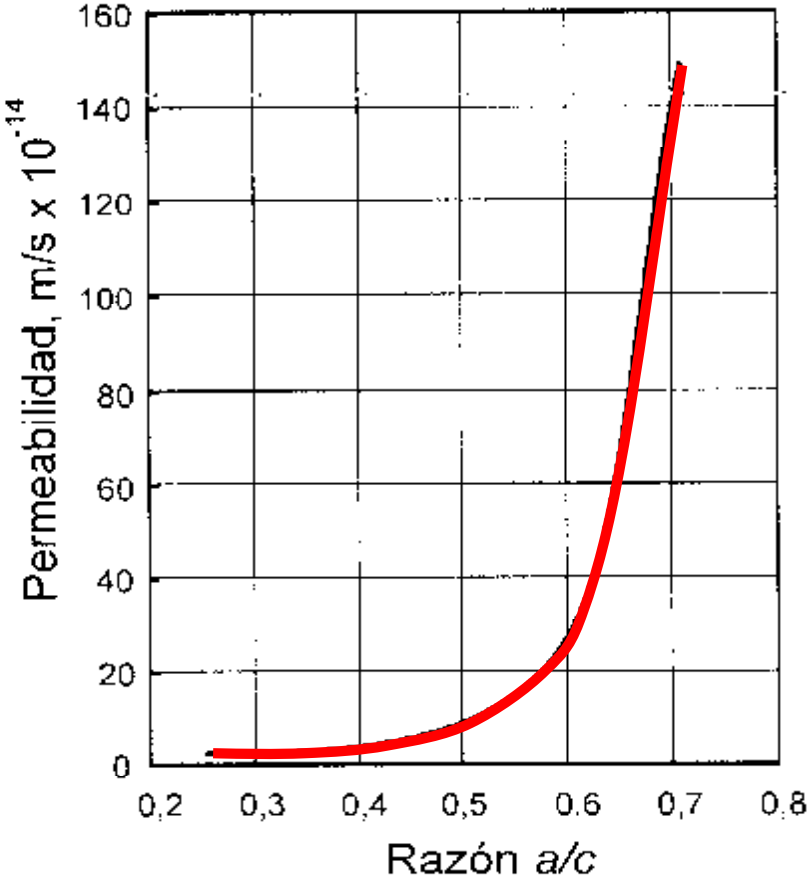
Poros del gel

Productos de hidratación

Cemento sin hidratar

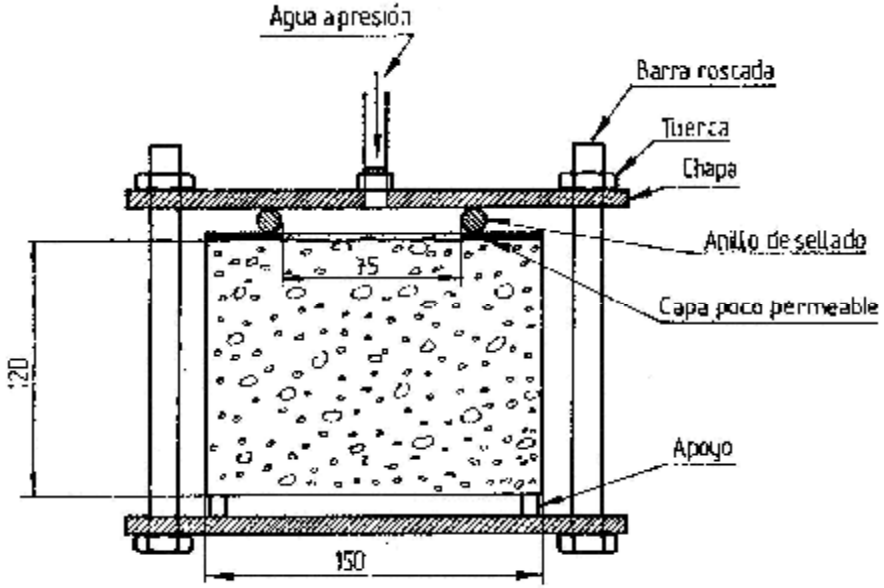


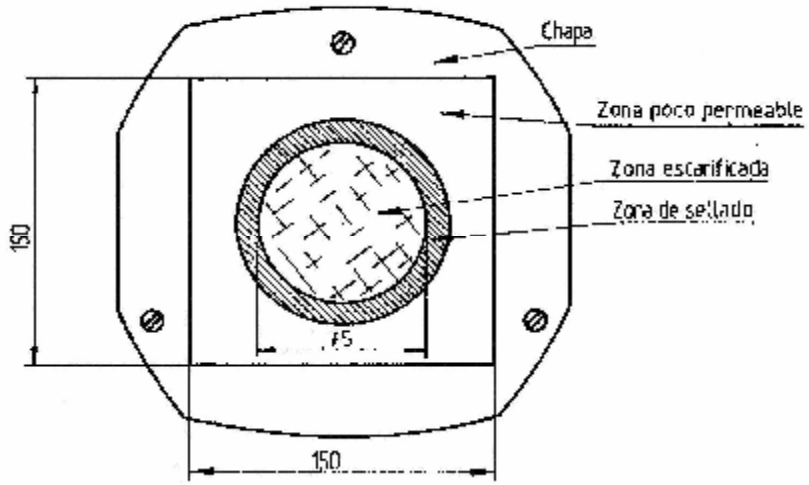




- La relación a/c
- El contenido unitario de cemento
- Características de los agregados
- Calidad de la interfase

Ensayo de Permeabilidad (IRAM 1554:1983)



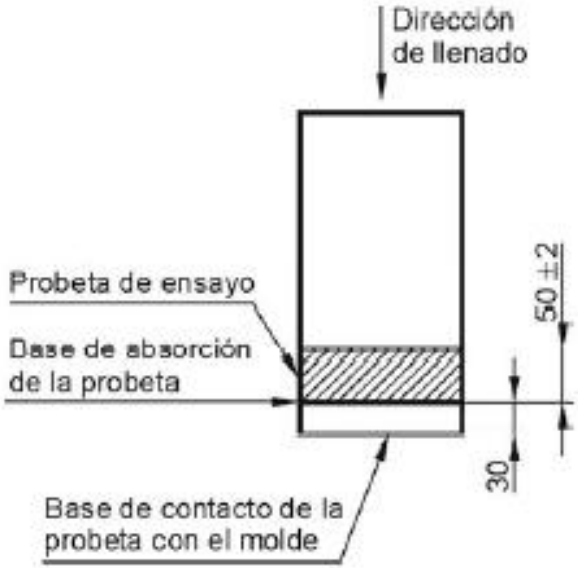


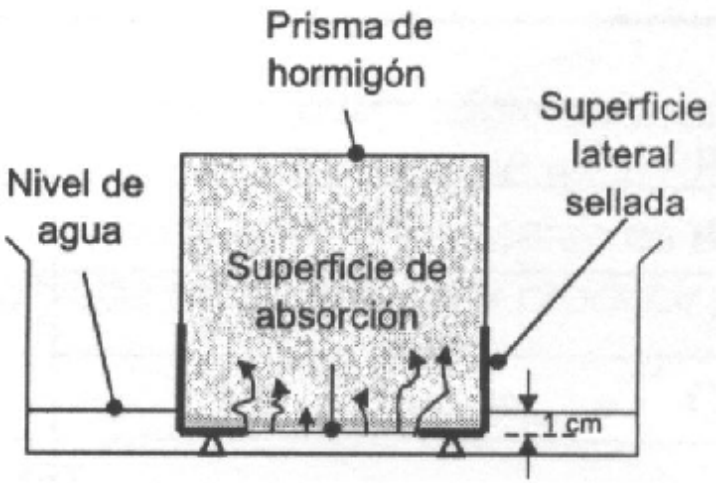
Permeabilidad: implica el movimiento de una fase líquida (agua, soluciones) a través de la estructura de poros por efecto de una diferencia de presiones hidrostáticas

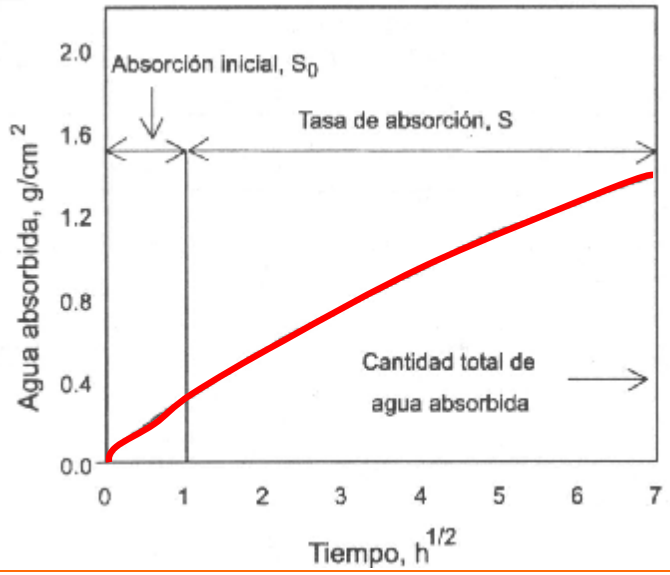
Cuando los hormigones formen parte de estructuras sujetas a ataques químicos, congelamiento y deshielo y ambiente marino, deberán tener una penetración de agua menor a 50 mm.

Presión [MPa]	Tiempo [h]
0.1	48
0.3	24
0.7	24

Ensayo de succión capilar (IRAM 1871:2004)







Succión capilar: movimiento de una fase líquida (agua, soluciones) a través de la estructura de poros por efecto de la tensión superficial

Las mediciones se realizan a t=30 min, t=1 h, t=2 h, t=3 h, t=4 h, t=5 h, t=6 h, t=24 h, t=48 h, y a continuación cada 24 h ± 1 h

Construcción de estructuras de hormigón

Acción del medio ambiente

Temperaturas — Humedad relativa

Vientos — Presencia de CO_2

Secado de las estructuras expuestas al medio ambiente

Generación de tensiones de tracción

Fisuración de las estructuras

Contracción plástica

En el hormigón fresco, cuando se extrae el agua de la pasta mediante la evaporación en la superficie, se forma una compleja serie de meniscos, que generan presiones capilares negativas que causan la contracción de la pasta.

Contracción por secado

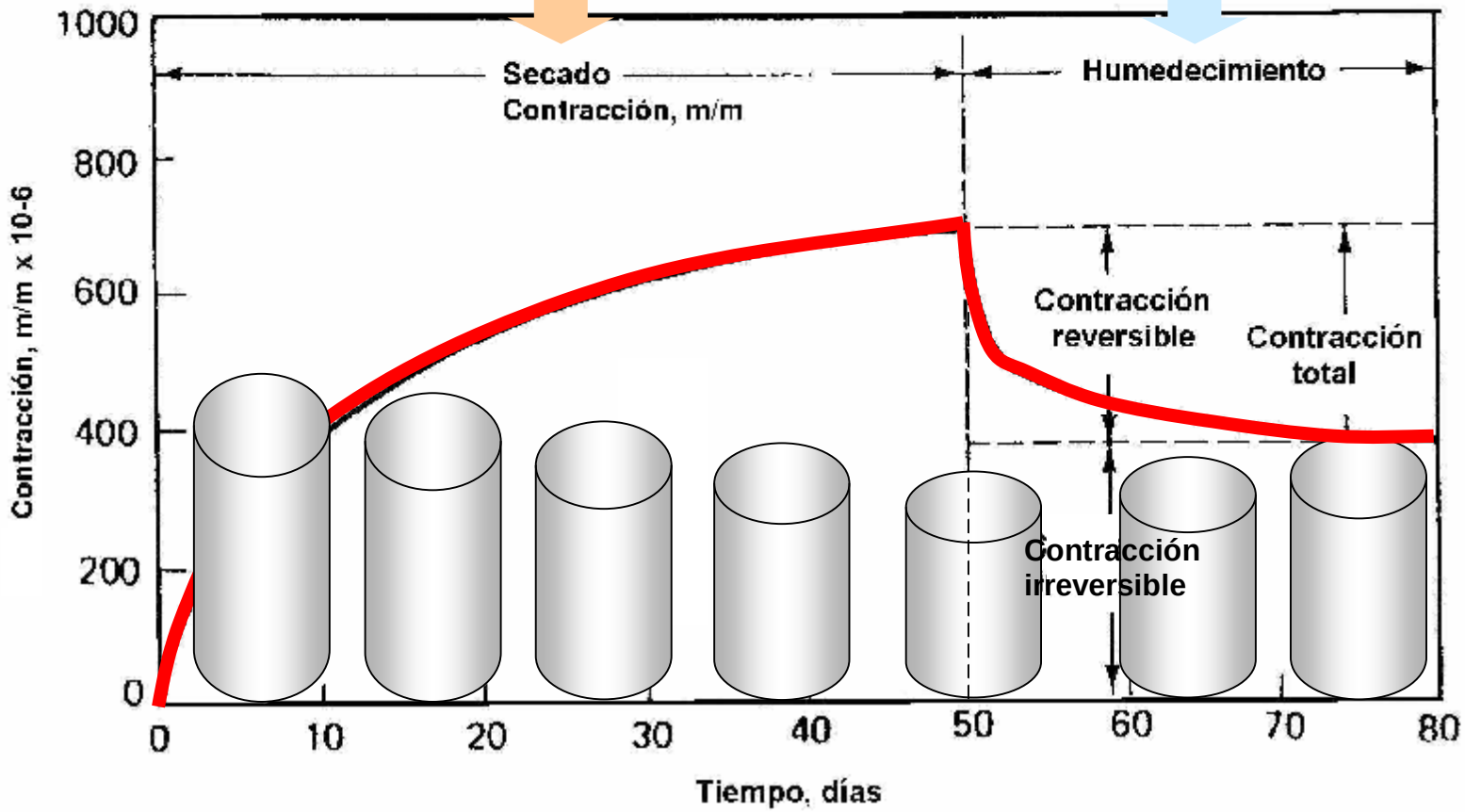
Cuando el hormigón se seca, pierde agua libre, y agua adsorbida sobre la superficie del C-S-H hacia los capilares vacíos y luego fuera del hormigón. Como consecuencia, la pasta de cemento se contrae.

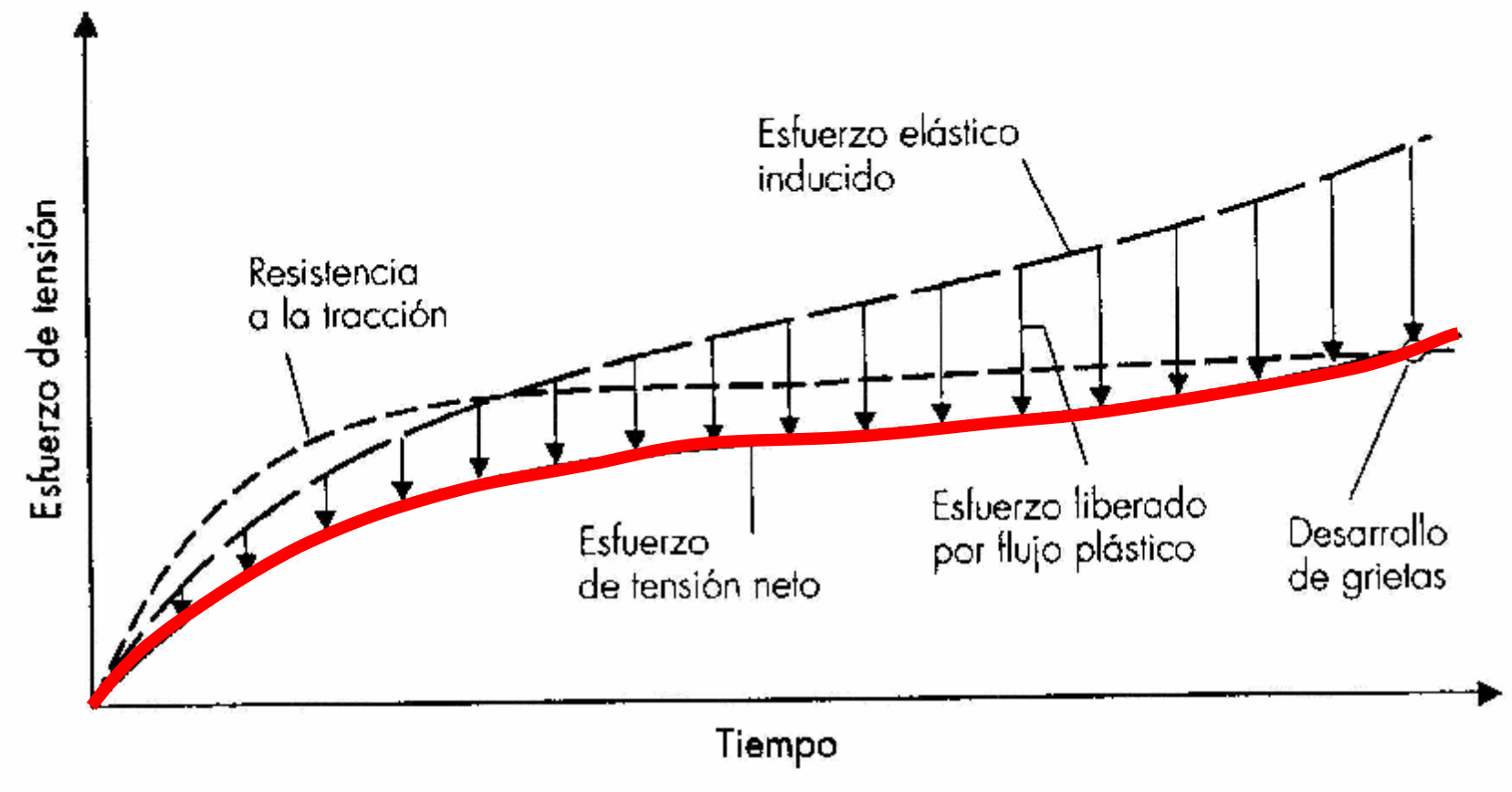
Contracción por carbonatación

El hormigón expuesto a la carbonatación pierde agua y se comporta como si hubiera sido secado a una humedad relativa inferior de aquella a la que fue sometido realmente. Además, la contracción por carbonatación es totalmente irreversible.

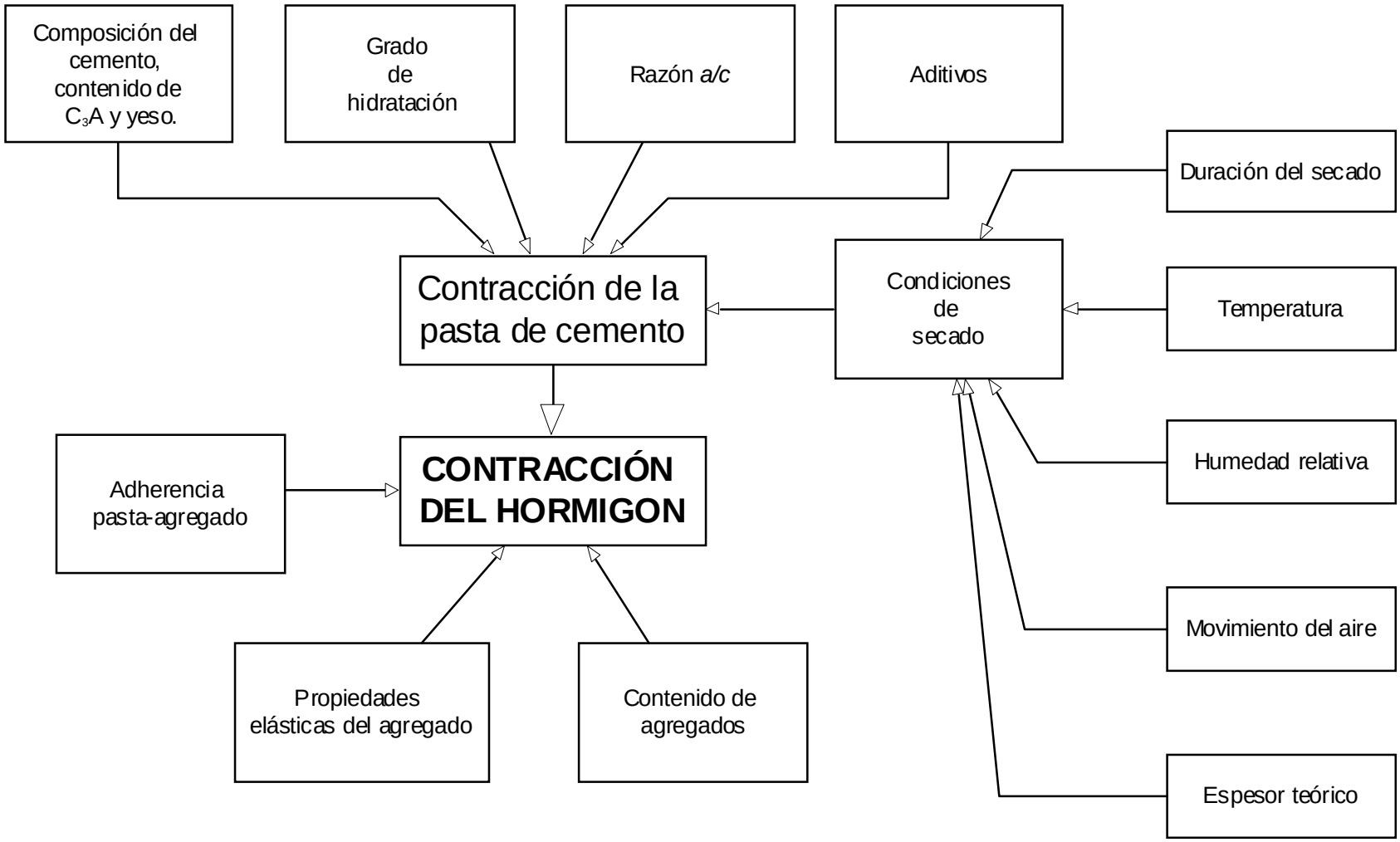
Cuando el hormigón se pone en contacto con ambiente de HR < 100 %

Si vuelve a humedecerse

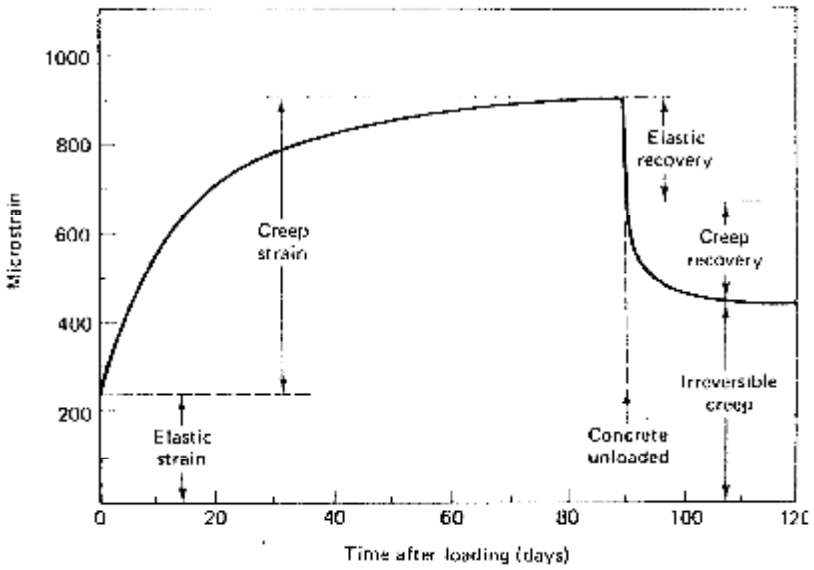


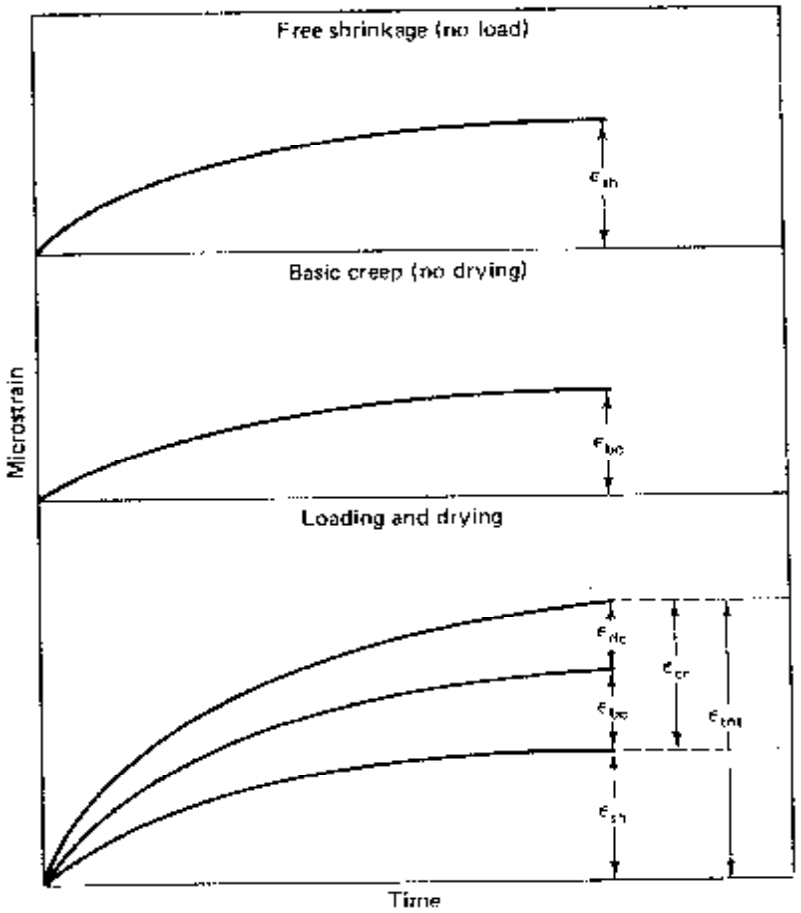

Esfuerzo elástico
inducido
Resistencia
a la tracción
Esfuerzo de tensión
Esfuerzo
de tensión neto
Esfuerzo liberado
por flujo plástico
Desarrollo
de grietas
Tiempo

CONTRACCIÓN POR SECADO



Es un aumento de la deformación unitaria bajo la acción de un esfuerzo sostenido
Es una reducción progresiva del esfuerzo de un elemento restringido





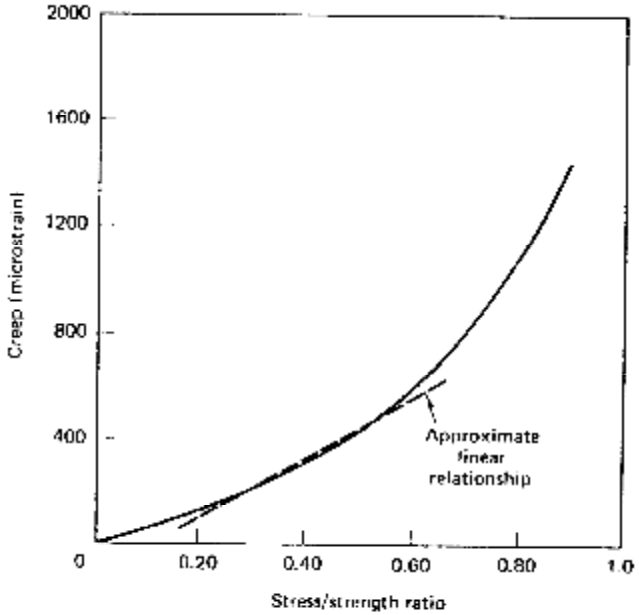
Factores que influyen sobre la fluencia

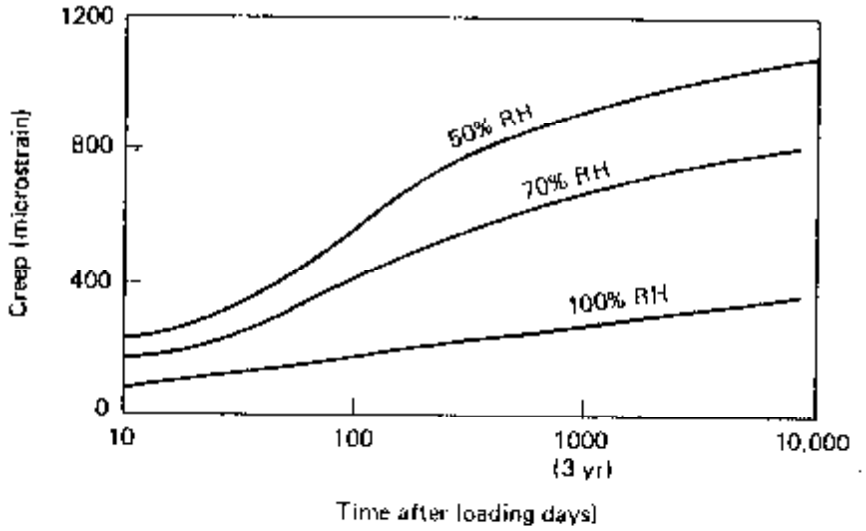
Relación Esfuerzo/Resistencia

A medida que se incrementa esta relación, se obtienen mayores deformaciones por fluencia. Hasta alcanzar una relación Esfuerzo/Resistencia de 50 % se obtiene un comportamiento aproximadamente lineal. Cuando la relación Esfuerzo/Resistencia supera el 75 % la aplicación de carga de larga duración produce la falla

Humedad relativa

Para un hormigón dado, la fluencia será mayor cuando menor sea la humedad relativa del ambiente





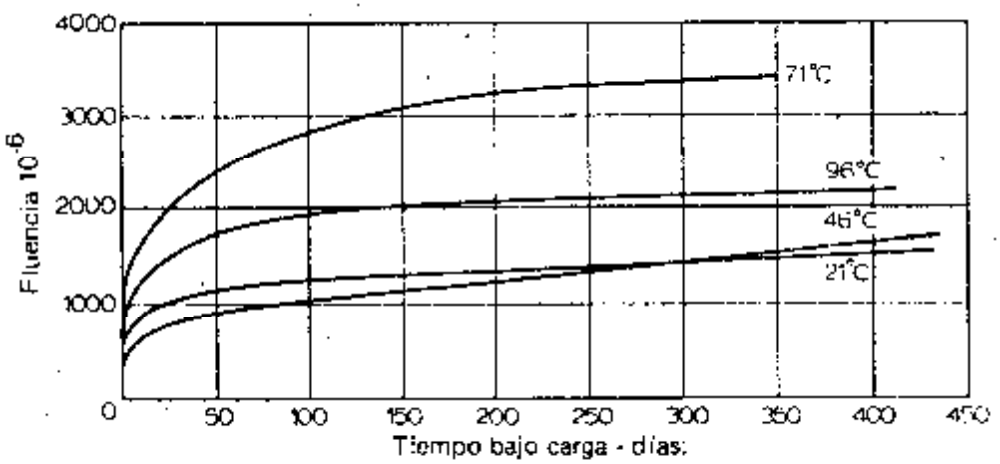
Factores que influyen sobre la fluencia

Edad
La edad a la que se aplica la carga afecta la fluencia del hormigón, debido a modificaciones en la resistencia y el módulo de elasticidad.

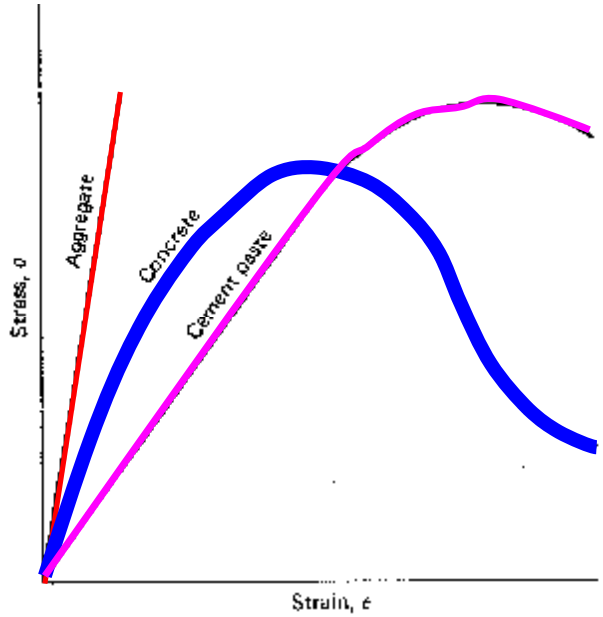
Materiales componentes
Las características de los materiales componentes (cemento, agregados, a/c, etc) afecta la fluencia del hormigón, debido a modificaciones en la resistencia y el módulo de elasticidad.

Temperatura
La fluencia del hormigón aumenta linealmente con la temperatura hasta aproximadamente 70 °C

Geometría del elemento
La relación volumen/superficie de los elementos modifica el desarrollo de deformaciones por fluencia del hormigón, debido a su influencia sobre el secado



MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL HORMIGÓN



Las curvas tensión deformación de los agregados y de la pasta de cemento son esencialmente lineales, sin embargo, debido al comportamiento compuesto y a la existencia de una interfase.

Para calcular la rigidez y deformaciones de los elementos estructurales es necesario estimar el módulo de elasticidad.

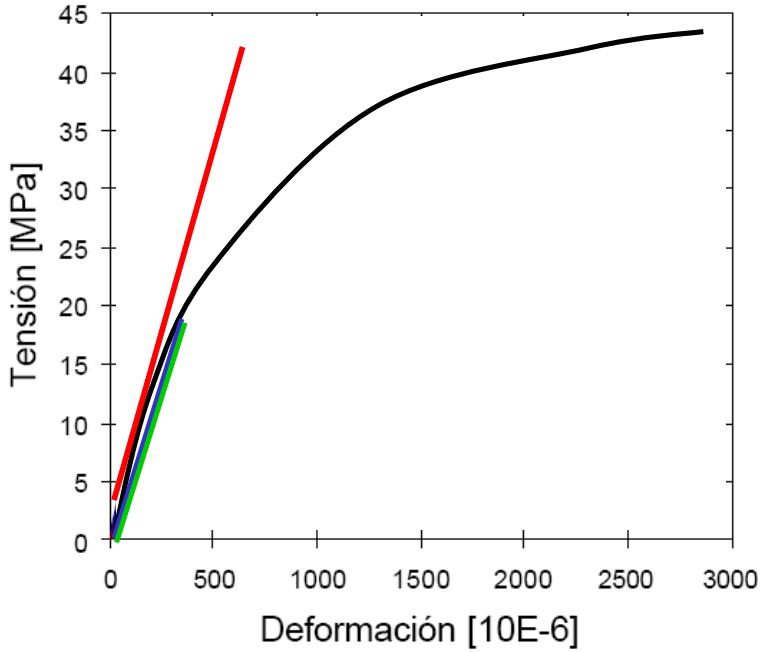
MÓDULO DE ELASTICIDAD EN EL HORMIGÓN

El módulo de elasticidad estático del hormigón se obtiene en un ensayo a compresión:

a) el módulo tangente está dado por la pendiente de la tangente a la curva tensión-deformación, en cualquier punto de la curva

b) el módulo secante está dado por la pendiente de una línea trazada entre el origen de la curva tensión-deformación y el valor correspondiente al 40 % de la carga de rotura

c) el módulo cuerda está dado por la pendiente de una línea trazada entre el un punto que representa una deformación de 50 µm/m en la curva tensión-deformación y el valor correspondiente al 40 % de la carga de rotura



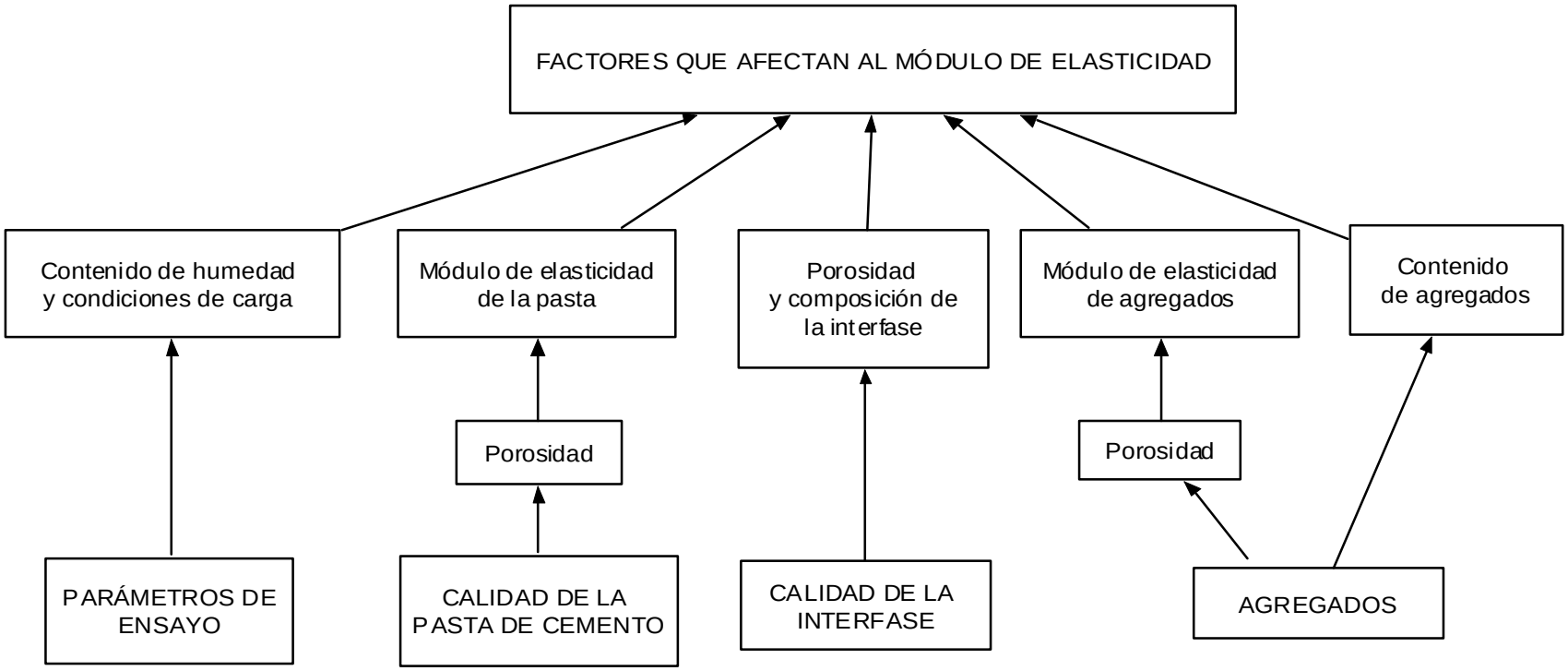
Se considera que el módulo de elasticidad crece aproximadamente con la raíz cuadrada de la resistencia a compresión:

$E = 21000 \times (S)^{1/2}$ donde S es la resistencia en kg/cm²

$E = 200000$ kg/cm² para $S = 100$ kg/cm²

$E = 360000$ kg/cm² para $S = 300$ kg/cm²

Factores que lo afectan



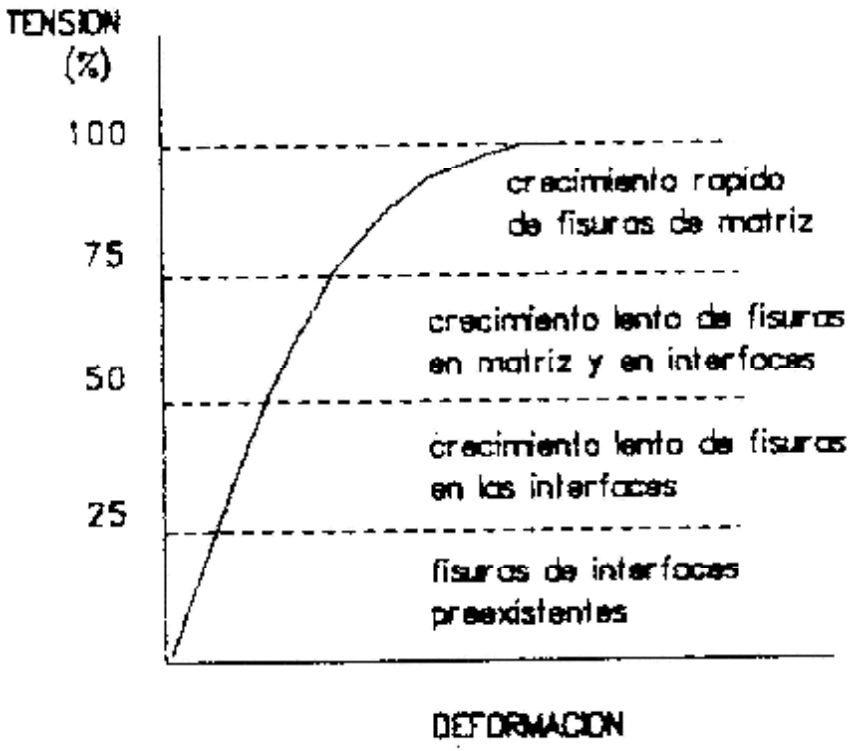
Factores que lo afectan

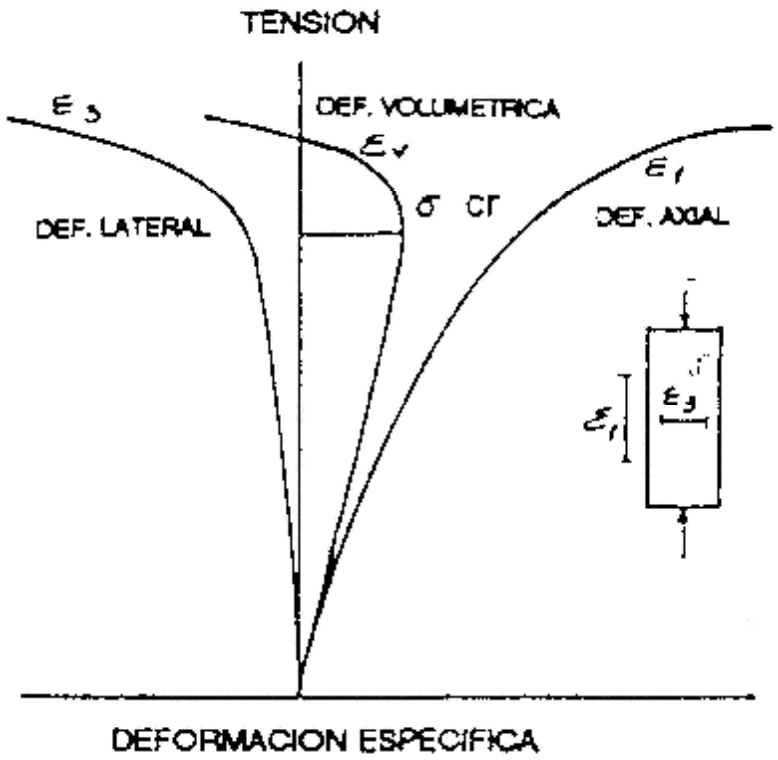
- Un mayor contenido de humedad conduce a un mayor módulo de elasticidad, probablemente debido a que durante el secado se produce microfisuración y debido a la capacidad portante del agua contenida en el CSH
- La velocidad de aplicación de la carga afecta el valor de módulo de elasticidad obtenido en los ensayos. Para velocidades pequeñas se obtienen valores de módulo de elasticidad menores.
- El módulo de elasticidad de la pasta de cemento está determinado por su porosidad. Esta depende de la relación a/c, del contenido de aire, de la presencia de adiciones minerales y del grado de hidratación del cemento.
- La calidad de la interfase afecta el valor de módulo de elasticidad obtenido en los ensayos. Para un mayor contenido de vacíos, microfisuras, y cristales de hidróxido de calcio orientados, en la interfase, menor será el valor de módulo de elasticidad obtenido.
- Cuanto mayor sea el módulo de elasticidad de los agregados y su contenido en el hormigón, mayor será el valor del módulo de elasticidad obtenido

Definición: Capacidad de un material para resistir esfuerzos sin que se produzca la falla del mismo.

- La falla siempre comienza en el punto más débil del material
- Cómo definimos la falla? En la mayoría de los materiales se asocia con la aparición de fisuras
- En el hormigón, sin aplicación de esfuerzos, existen fisuras
- Para esfuerzos de tracción se toma en cuenta la falla del elemento estructural, el comportamiento es frágil.
- Para esfuerzos de compresión se considera incapacidad de resistir mayores cargas debido al grado de fisuración interna, aunque no existan signos exteriores de falla.

Proceso de rotura





Cómo medimos la resistencia a compresión?

RESISTENCIA:	POTENCIAL	EFECTIVA	DE CÁLCULO
Definición	Resistencia que puede alcanzar el hormigón, colocado, compactado, curado y ensayado en condiciones normalizadas	Resistencia que posee el hormigón luego del proceso de colocación, compactación y curado propio de la estructura	Resistencia del hormigón adoptada para el cálculo estructural
Cómo se determina?	Moldeo y ensayo (normalizado) de probetas	Extracción y ensayo de probetas	Normalmente a partir de la resistencia potencial a especificar
Se la especifica?	Habitualmente si, a través de una resistencia característica	Habitualmente no (excepción: pavimentos de hormigón)	- - - - -

Factores que la afectan

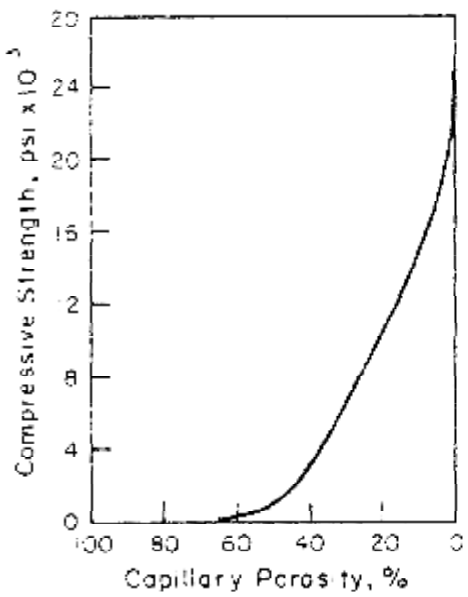
Relación agua/cemento

Relación porosidad - resistencia

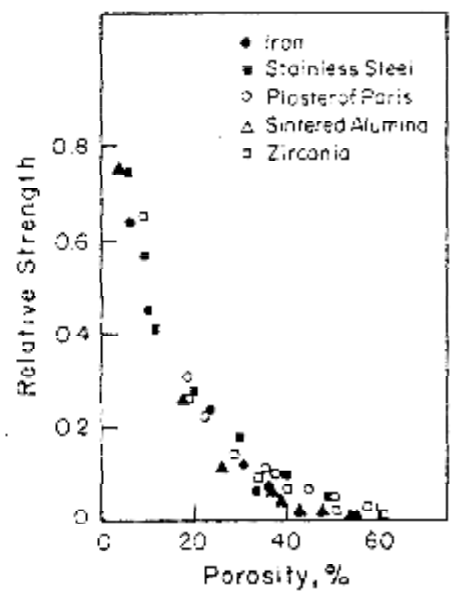
Para todos los materiales $S = S_o e^{-kp}$

donde = S es la resistencia para una porosidad p, So es la resistencia intrínseca, k es una constante

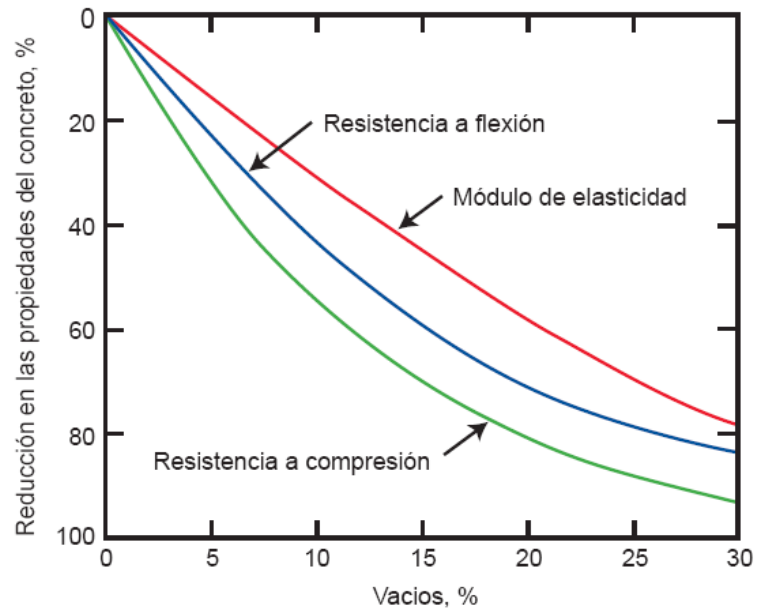
So, depende de la calidad de los materiales componentes: cemento, agregados, aditivos



(a)



(b)



Relación agua/cemento

- Ley de Abrams (1918) $S = k_1/k_2^{a/c}$

donde = S es la resistencia para una relación a/c y k_1 y k_2 son constantes

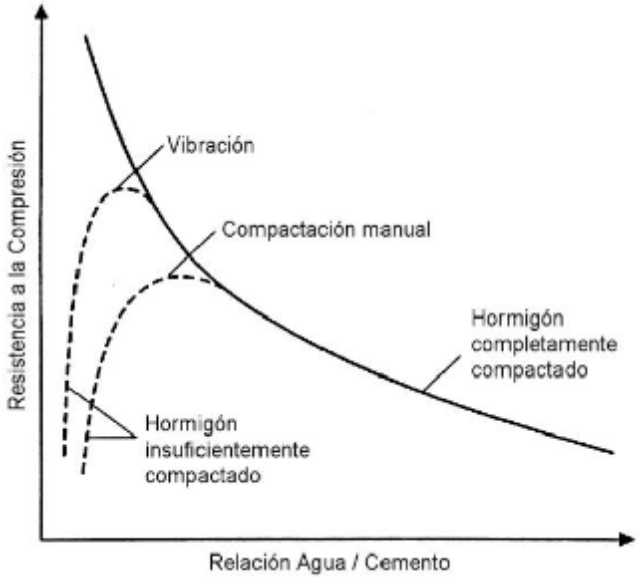
Para hormigones de consistencia plástica elaborados con cemento normal se podrían obtener valores como:

$S_{28\ días} = 1550/25^{a/c}$ para hormigones de canto rodado

$S_{28\ días} = 1850/25^{a/c}$ para hormigones de piedra partida

Cuidado! Esta fórmula

es útil sólo como aproximación.



Características de los agregados

Con excepción de los agregados livianos, la resistencia de las partículas es superior a la resistencia de la pasta de cemento

Para una misma consistencia y contenido de cemento, una mezcla con agregados de mayor tamaño requiere menos agua que una mezcla con tamaño de agregados menor. Contrariamente, para un mayor tamaño de agregados, la zona de transición será más débil y con más microfisuras.

Los agregados de textura superficial rugosa, permiten alcanzar una mayor resistencia debido a una mayor adherencia entre la partícula y la pasta de cemento, especialmente ante esfuerzos de tracción.

La composición mineralógica de los agregados puede modificar la resistencia del hormigón.

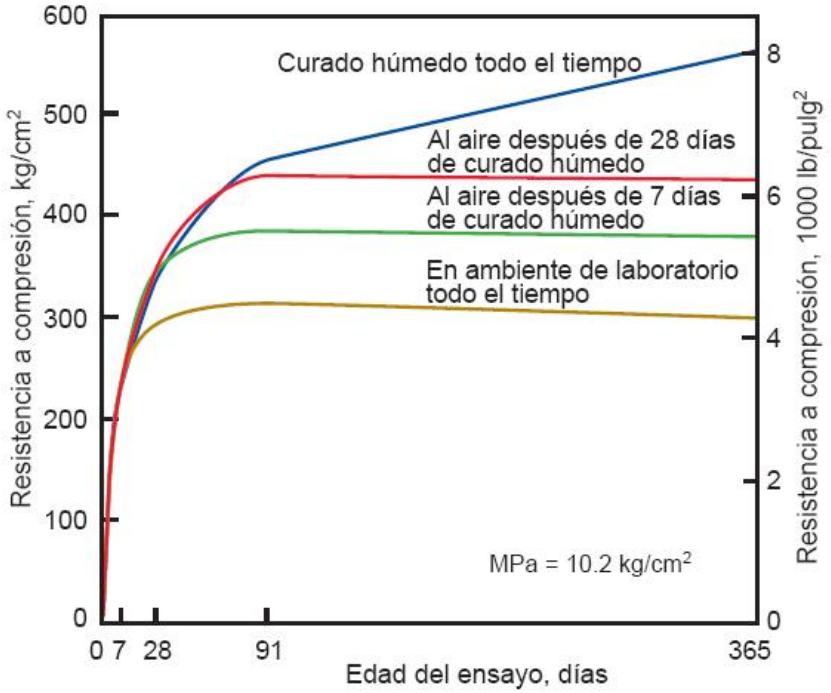
Condiciones de curado

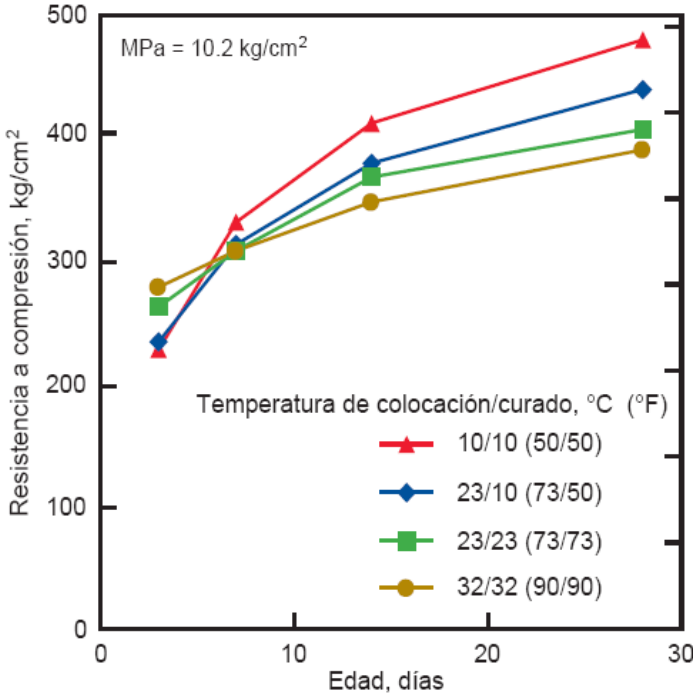
Tiempo y humedad

Cuando más prolongado sea el período de curado húmedo, mayor será la resistencia del hormigón

Temperatura

La temperatura de curado del hormigón afecta el desarrollo de la hidratación del cemento y, consecuentemente, el desarrollo de la resistencia





Condiciones de ensayo

Geometría de la probeta

Las variaciones en la geometría de la probeta conducen a distintos estados tensionales que modifican la resistencia obtenida en los ensayos.

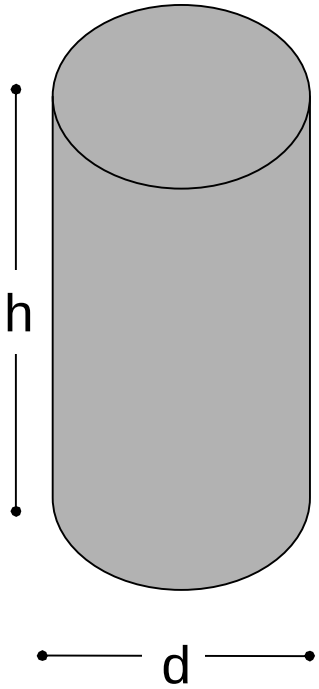
Tamaño de la probeta

Cuanto mayor sea el tamaño de la probeta, menor será la resistencia obtenida porque existe una mayor probabilidad de que exista una falla que provoque la rotura del material

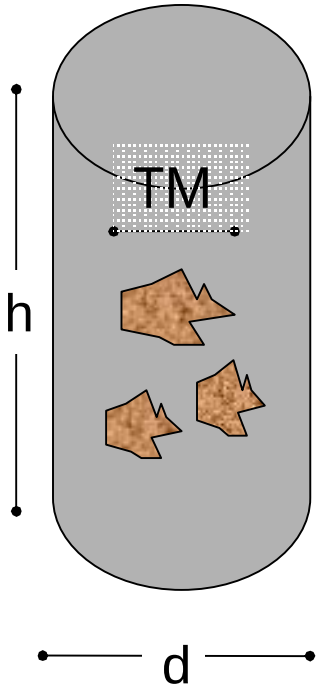
Contenido de humedad de la probeta

Ante esfuerzos de compresión, un mayor contenido de humedad conduce a una menor resistencia, probablemente debido a tensiones de separación en la pasta de cemento.

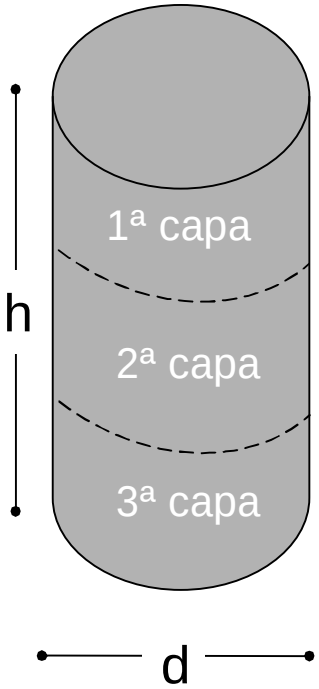
Preparación y curado de la probeta



Se determina sobre probetas cilíndricas con h/d = 2



d ≥ 3 x TM agregados



d	Capas	Golpes
100	2	25
150	3	25

Curado

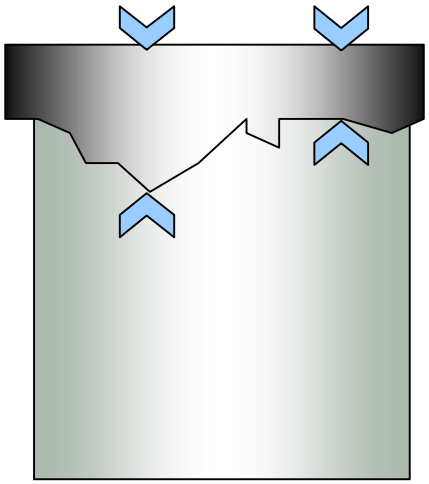
T = 23 ± 1ºC

HR ≥ 95 %

Solución saturada con cal

Preparación de las bases

Las bases se preparan para:



ü planitud de las caras

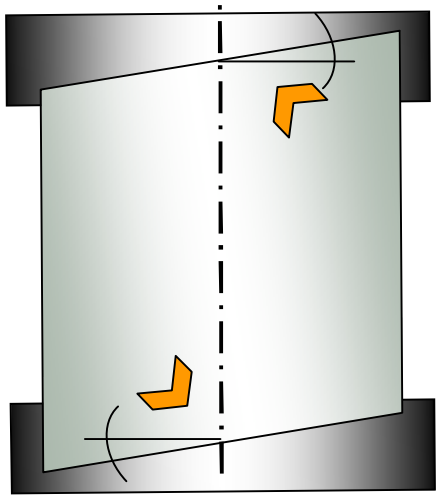
Resistencia a la compresión de las probetas o testigos de hormigón	Resistencia mínima del material de la base	Espesor promedio máximo de la base	Espesor máximo de cualquier parte de la base
3,5 MPa a 50 MPa	35 MPa o la resistencia de la probeta, la que sea mayor	6 mm	8 mm
Mayores que 50 MPa	Resistencia a la compresión no menor que la resistencia de la probeta, excepto lo indicado en 4.3.1.1/2	3 mm	5 mm

Las bases pueden prepararse con pasta o mortero de cemento o con mortero de azufre

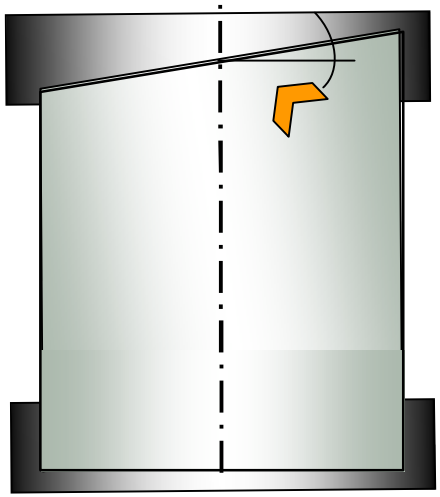
Puede utilizarse un sistema de placas de elastómero y retenes metálicos

Preparación de las bases

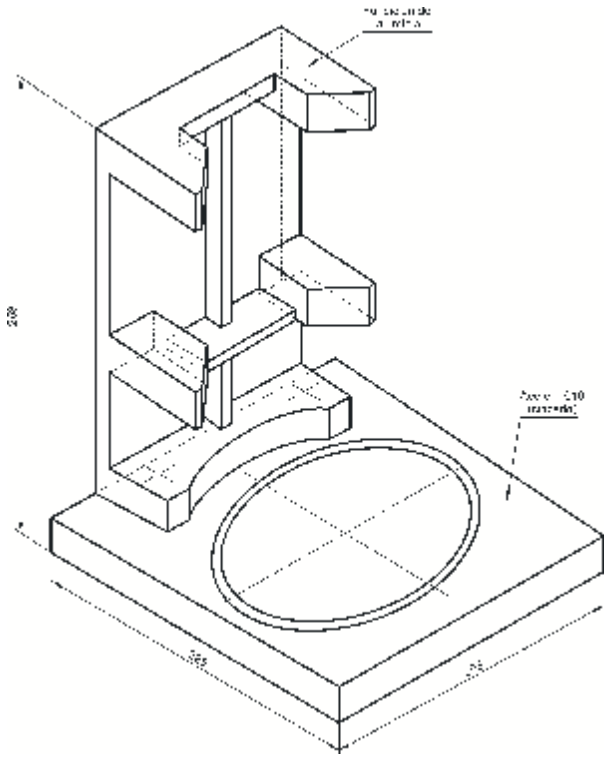
Las bases se preparan para:



ü perpendicularidad de las caras con el eje de la probeta

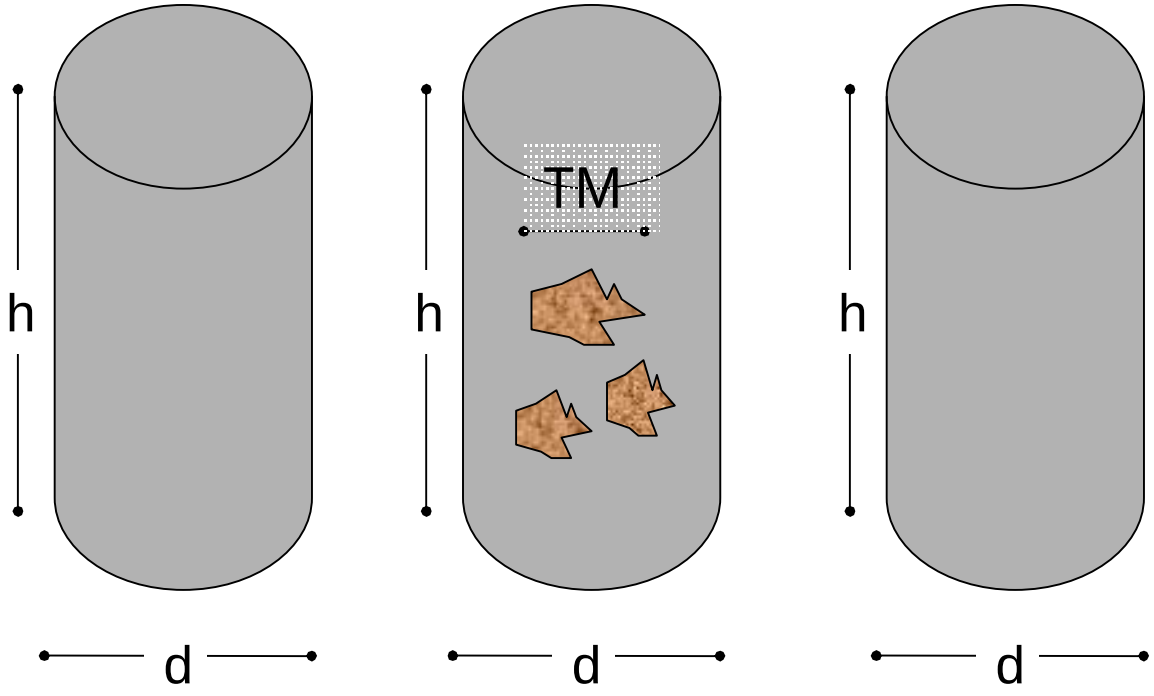


ü paralelismo entre las caras de la probeta



El apartamiento de la perpendicular de la probeta debe ser menor o igual a 0,5º, aproximadamente equivalente a 3 mm en 300 mm. La excentricidad de la base resultante respecto de la probeta debe ser menor o igual a 2 mm.

Extracción y curado de la probeta



Se determina sobre testigos cilíndricos con $1 \leq h/d \leq 2$

$d \geq 3 \times TM$ agregados

$d_{min} = 100$ mm

- 14 d para CPN
- 7 d para ARI

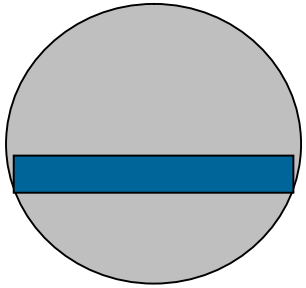
Para condición seca 48 hs en ambiente de laboratorio

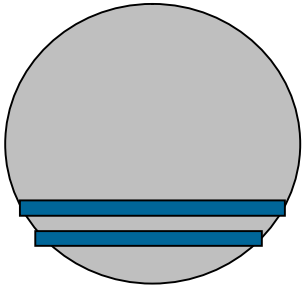
Para condición húmeda 40 hs inmersión en curado

Presencia de armaduras

Se permiten en dirección perpendicular al eje

Sección £ 4 % del área transversal del testigo



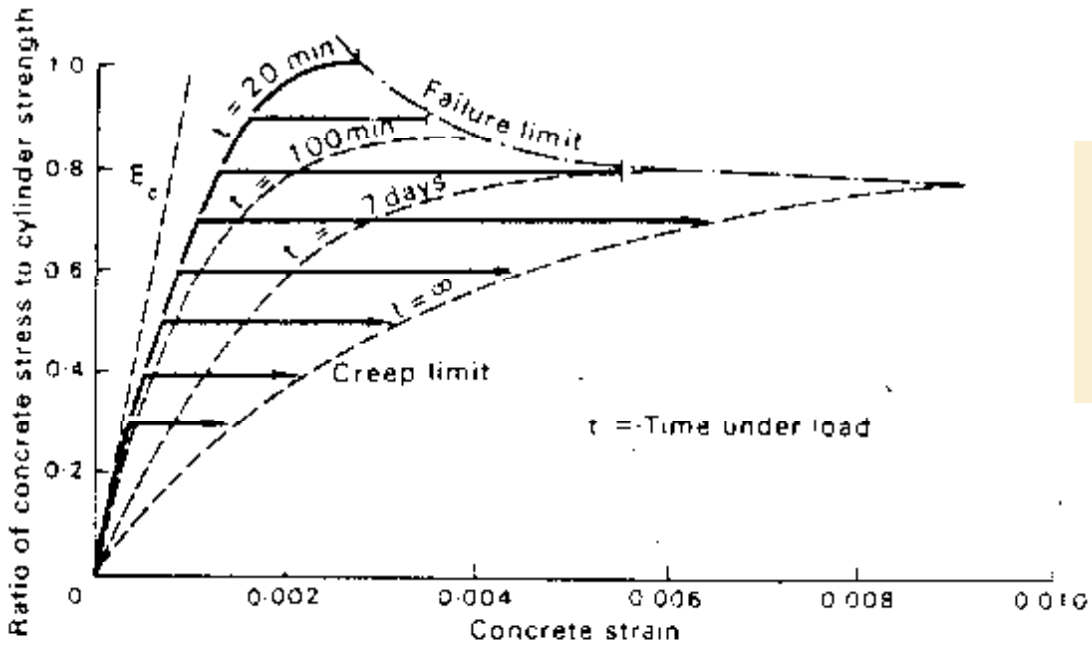


Pueden retirarse por aserrado manteniendo h/d ³ 1 una vez preparadas las bases de las probetas

Aplicación de carga

Las desviaciones en la aplicación de la carga producen esfuerzos secundarios que conducen a una menor resistencia de ensayo

La velocidad de aplicación de la carga afecta el valor de resistencia obtenido en los ensayos.



La norma IRAM 1546 establece una velocidad de aplicación de carga de 0.4 ± 0.2 MPa/s

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Como el hormigón tiene una *muy baja resistencia a tracción*, este valor generalmente se desprecia en el cálculo resistente, pero debe considerarse para evitar la fisuración.

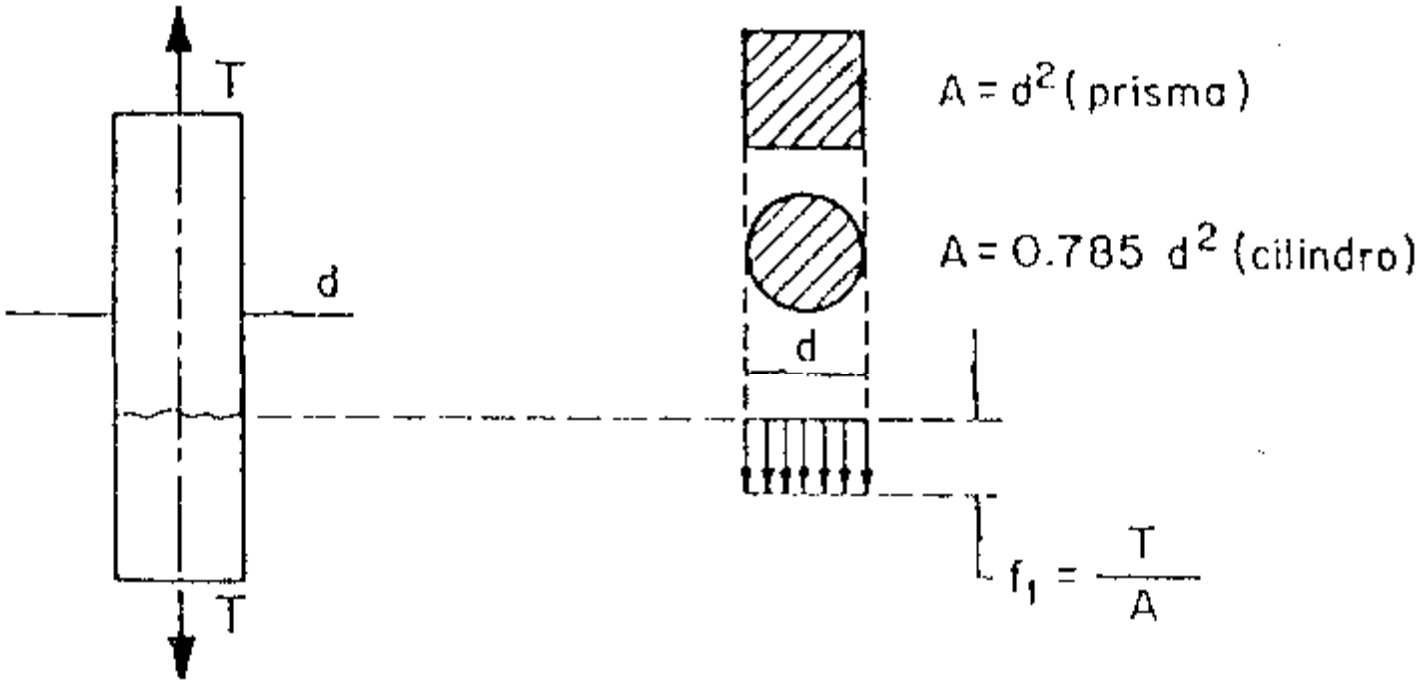
La resistencia a tracción puede determinarse por tres métodos:

a) tracción directa

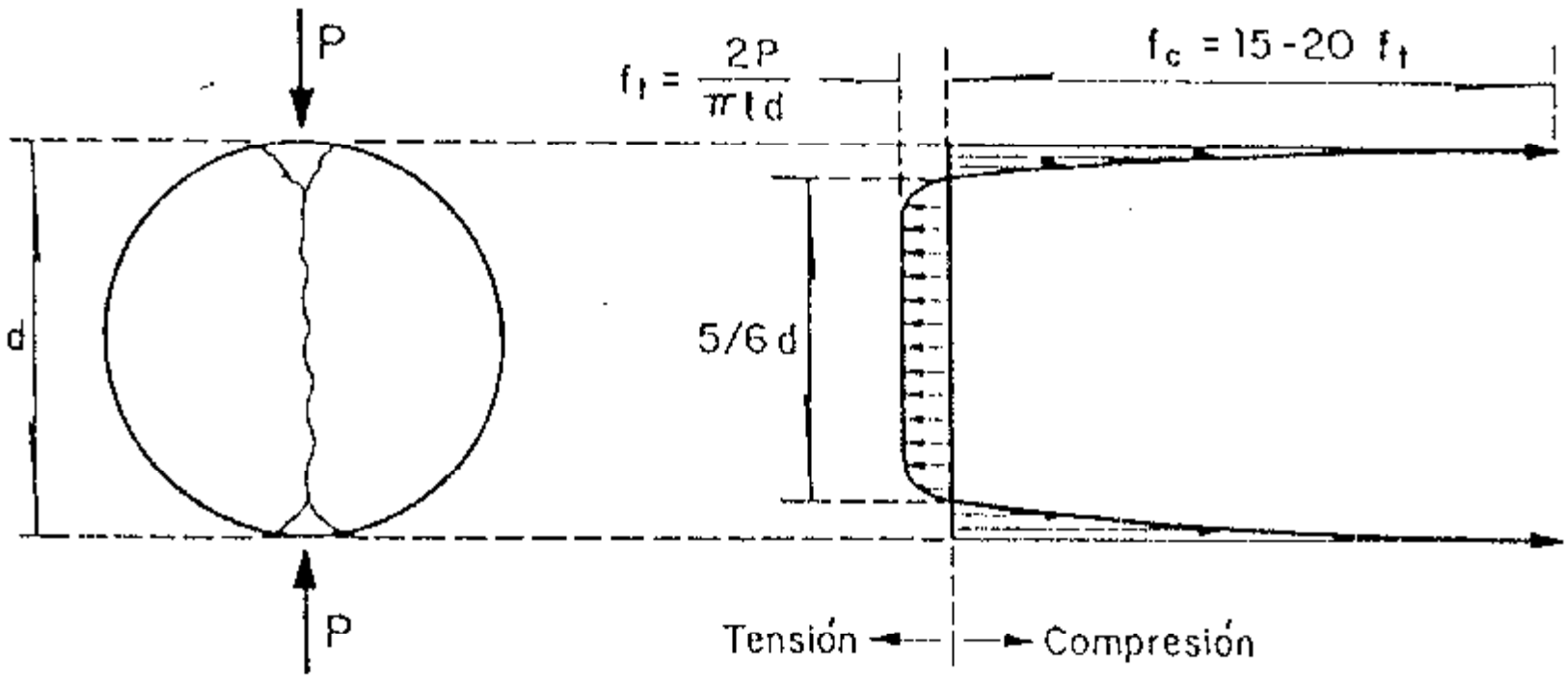
b) tracción por flexión según IRAM 1547

c) tracción por compresión diametral según IRAM 1658

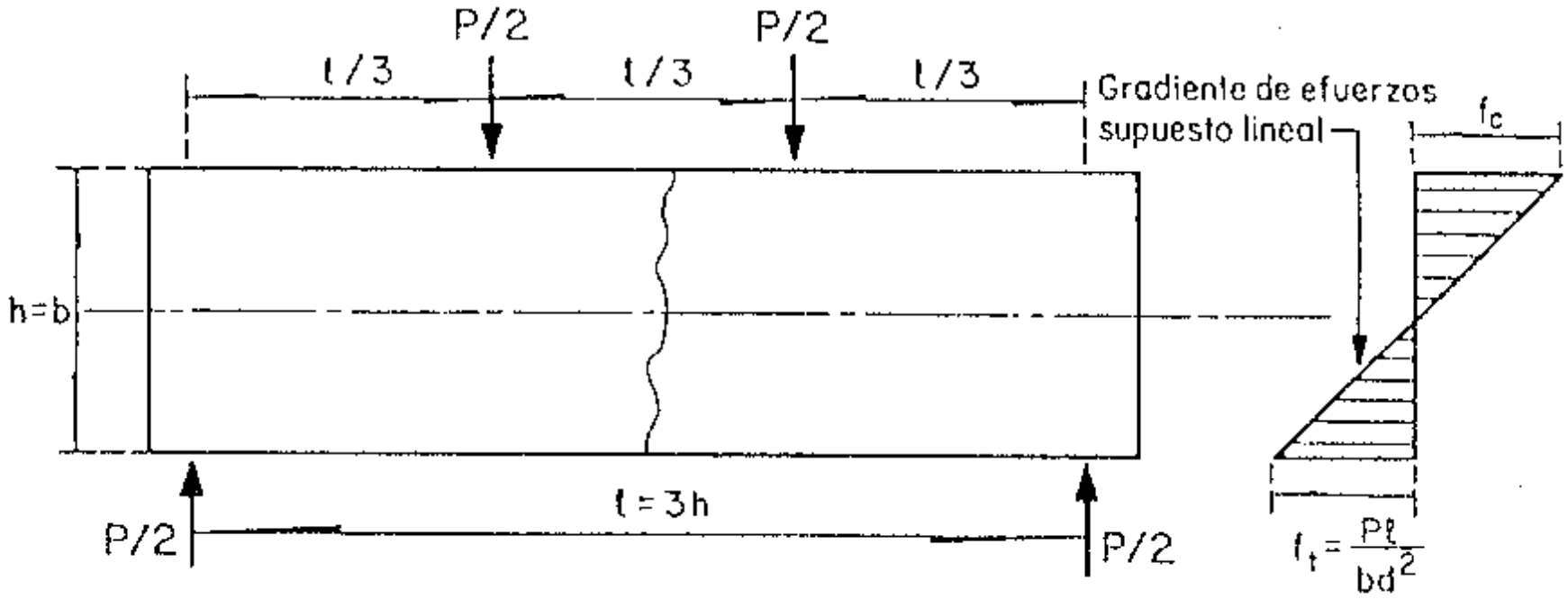
- Cuando se determina por ensayos de tracción directa, los valores obtenidos para hormigones convencionales varían entre 7 y 11 % de la resistencia a compresión
- Cuando se determina por ensayos de tracción por compresión diametral, los valores obtenidos para hormigones convencionales varían entre 8 y 14 % de la resistencia a compresión
- Cuando se determina por ensayos de flexión, los valores obtenidos para hormigones convencionales varían entre 11 y 23 % de la resistencia a compresión



1) Ensaye a tensión directa (espécimen prismático o cilíndrico)



2) Ensaye a tensión por compresión diametral (espécimen cilíndrico)



3) Ensaye a tensión por flexión (espécimen prismático)

ADHERENCIA ENTRE EL HORMIGON Y EL ACERO

De esta característica depende la evolución de la fisuración y deflexiones que experimenta una estructura de hormigón armado.

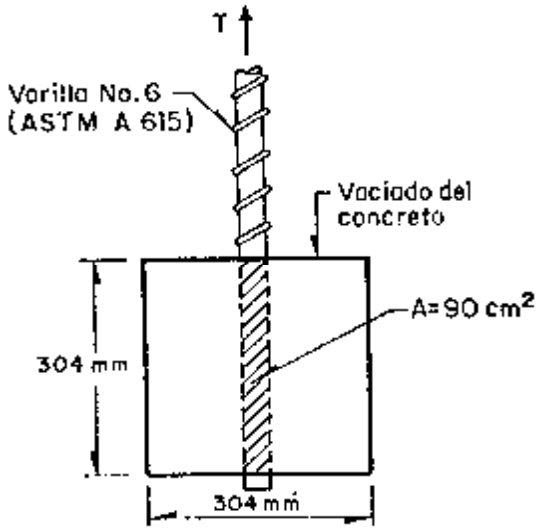
La adherencia entre el acero y el hormigón depende de:

a) la adhesión química

b) la fricción

c) la interacción mecánica entre el hormigón y las corrugaciones

d) el grado de confinamiento del hormigón



Durante el ensayo (IRAM 1596), la falla puede sobrevenir por:

a) fluencia del acero de la varrilla

b) falla del espécimen de hormigón

c) deslizamiento de la barra de 2,5 mm

La adherencia se ve influenciada por la posición de las varillas, la resistencia mecánica del hormigón, la exudación, la limpieza de las varillas, etc.