



HORMIGÓN ENDURECIDO



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- Proceso físico - químico complejo
- Proceso continuo de larga duración (años)

Características

- Evolucionan con el tiempo
- Dependen de:
 - Materiales componentes:
 - Características
 - Proporciones
 - Condiciones ambientales durante:
 - Construcción
 - Curado
 - Servicio
 - Procedimientos de:
 - Fabricación
 - Construcción
 - Solicitaciones de servicio:
 - Tipo
 - Magnitud
 - Historia

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

DENSIDAD DE ÁRIDOS

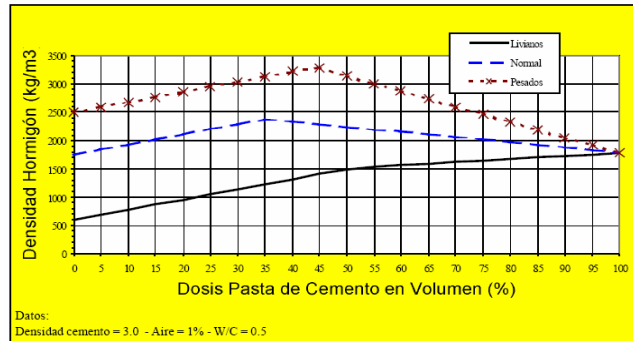
- FÍSICAS
 - **Densidad**
 - Impermeabilidad
- MECÁNICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

Tipo	Agregado		Hormigón		
	Tipo	Densidad aparente suelta (kg/m ³)	Densidad (kg/m ³)	Resistencia a la compresión típica (MPa)	Conductividad térmica (Jm/m ² s°C)
Liviano	Piedra pómez	700	1000	18	0,5
	Arcillas expandidas	400	1600	25	0,6
Normal	Granito	1400	2400	35	1,5
Pesado	Caliza				3,5
	Barita	2500	3400	45	1,4
	Mineral de hierro				

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

CANTIDAD DE PASTA

- FISICAS
 - ☐ **Densidad**
 - ☐ Impermeabilidad
- MECANICAS
 - ☐ RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - ☐ PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - ☐ VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - ☐ DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - ☐ CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - ☐ regularidad superficial
 - ☐ textura
 - Juntas



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FISICAS
 - **Densidad**
 - Impermeabilidad
- MECANICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

COMPACTACIÓN

- FORMACIÓN DE NIDOS DE ABEJA
- HUECOS, VACIOS

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

CLASIFICACIÓN

■ FISICAS

☐ **Densidad**

☐ Impermeabilidad

■ MECANICAS

☐ RESISTENCIA:

- A la Compresión
- A la Tracción
- Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.

☐ PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

- Módulo de Elasticidad
- Fluencia lenta o Creep

■ SERVICIABILIDAD

☐ VARIACIONES DE VOLUMEN

- Retracción Hidráulica
- Retracción Térmica
- Retracción por Carbonatación

☐ DURABILIDAD

- Agentes Físicos
- Agentes Químicos

☐ CONSTRUCTIVAS

- Dimensionales
- Terminación de superficie:
 - ☐ regularidad superficial
 - ☐ textura
- Juntas

Tipo	Arido	Hormigón	
	Tipo	Densidad (Kg/m3)	Conductividad térmica (Jm/m2 s°C)
Liviano	Piedra pómez	1000	0,14
	Arcillas expansivas	1600	0,17 – 0,40
Normal	Granito - Caliza	2400	1,5 – 3,5
Pesado	Barita	3400	1,4

HORMIGONES LIVIANOS

■ SE OBTIENE POR INCORPORACIÓN DE AIRE

☐ EN ÁRIDOS

- PIEDRA POMEZ
- ARCILLA EXPANDICA
- POLIURETANO EXPANDIDO

☐ EN LA MASA DEL HORMIGÓN

- AIRE INTENCIONALMENTE INCORPORADO

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

■ FISICAS

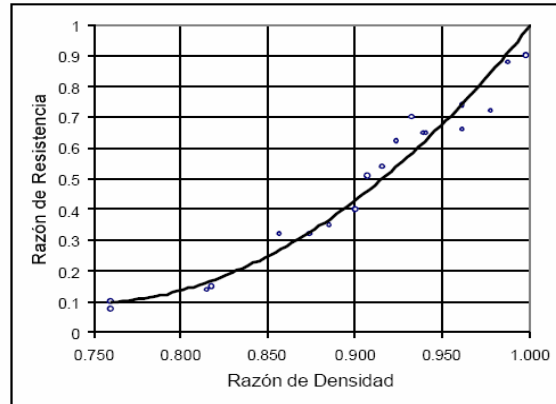
- **Densidad**
- Impermeabilidad

■ MECANICAS

- RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
- PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep

■ SERVICIABILIDAD

- VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
- DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
- CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

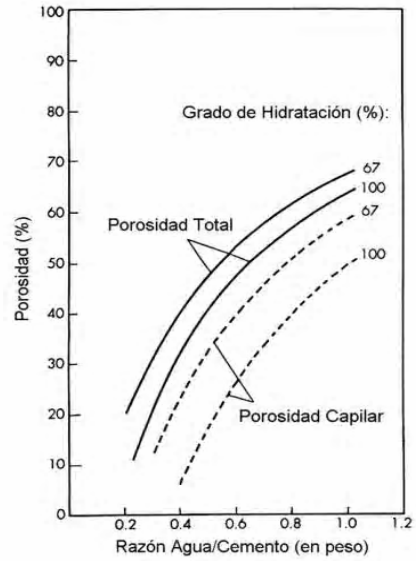


PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FÍSICAS
 - Densidad
 - **Impermeabilidad**
 - MECÁNICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
 - SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas
- GENERADA POR**
- CAPILARES Y POROS CONECTADOS
 - RELACIÓN AGUA CEMENTO
 - FISURAS Y GRIETAS
 - Estado Fresco
 - Congelamiento temprano
 - Plásticas
 - Contracción
 - Asentamiento
 - Movimientos Constructivos
 - Encofrados
 - Base
 - Estado Endurecido
 - Físicas
 - Contracción de agregados
 - Contracción por secado
 - Químicas
 - Corrosión de armadura
 - Reacción álcali-silice
 - Carbonatación
 - Térmicas
 - Ciclos de congelación y deshielo
 - Variaciones estacionales de temp.
 - Contracción térmica temprana
 - Estructurales
 - Sobrecarga accidental
 - Creep
 - Cargas de diseño
 - COMPACTACIÓN
 - Deficiencias de colocación, nido de abejas

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FÍSICAS
 - Densidad
 - **Impermeabilidad**
- MECÁNICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FISICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECANICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas
- Está relacionada con la tensión requerida para producir fractura
- Es la propiedad del hormigón más especificada y valorada por:
 - Esta directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento
 - Es de fácil determinación y control
 - Esta directamente relacionada con muchas de las propiedades del hormigón (módulo de elasticidad, impermeabilidad, etc...)
- Las propiedades de los materiales están sujetos a dispersiones
- Para caracterizar la “*resistencia*” del hormigón hay que seleccionar unos pocos tipos de **ensayos normalizados**, sobre **probetas normalizadas**, y con **procedimientos estandarizados**.
- Ensayo normalizado de resistencia
 - **IRAM 1 541** - Hormigón de cemento pórtland. Hormigón fresco. Muestreo.
 - **IRAM 1 534** - Hormigones de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorio.
 - **IRAM 1 546** - Hormigones de cemento pórtland. Método de ensayo de compresión.

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FISICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECANICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

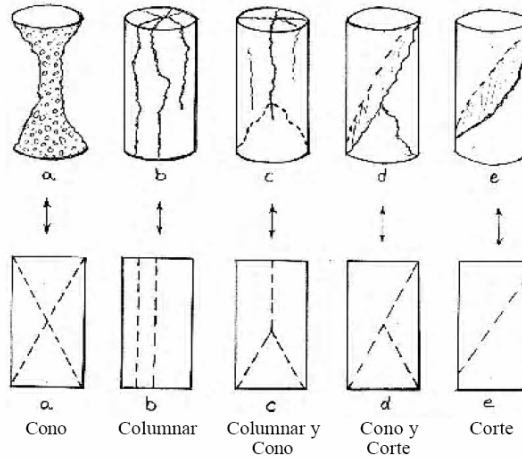
ENSAYO A COMPRESIÓN

- ELABORACIÓN DE PROBETAS
- CURADO NORMALIZADO
- TIEMPO DE ENSAYO
 - **2.3.3.1.** Los Documentos del Proyecto deben establecer la **edad de diseño** a la cual se debe verificar la resistencia especificada. Dicha edad de diseño tendrá en consideración el tipo de estructura, el momento de su puesta en servicio y el cemento a utilizar en la construcción. Cuando los Documentos del Proyecto no establezcan una **edad de diseño diferente**, ella se debe adoptar igual a **28 días**.
 - **2.3.3.2.** Cuando el hormigón se elabore con aditivos y/o adiciones minerales activas que modifiquen el desarrollo de la resistencia del cemento utilizado, los Documentos del Proyecto también deben indicar la **edad de diseño**. Cuando ella no se especifique se la debe adoptar igual a **28 días**.
 - **2.3.3.3.** En las estructuras masivas, cuando se utilicen cementos que tengan un desarrollo de resistencia importante posterior a **28 días**, se podrá considerar como edad de diseño la de **90 días**.

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- MECÁNICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

TIPO DE ROTURA



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECÁNICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

TIPO DE ROTURA



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

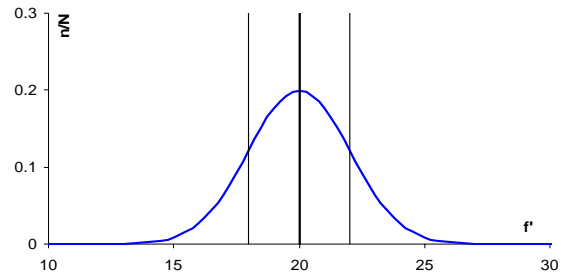
ANALISIS DE RESULTADOS

- FISICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECANICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

$$f'_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f'_{cm})^2}{N-1}}$$

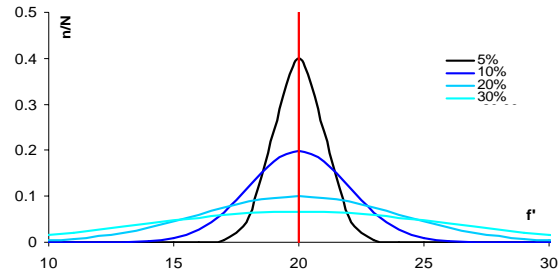
$$v = \frac{s}{f'_{cm}}$$



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

ANALISIS DE RESULTADOS VARIACIÓN DE v

- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- MECANICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECÁNICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

C 2.3. RESISTENCIA DE LOS HORMIGONES

C 2.3.1.1. La resistencia especificada también se conoce como resistencia característica de rotura a la compresión. En este Reglamento corresponde al cuantil del diez por ciento (10%) en la distribución de resistencia a compresión del hormigón colocado en una obra (es el valor estadístico de la resistencia, que corresponde a la probabilidad de que el noventa por ciento (90%) de todos los resultados de ensayos de la población supere dicho valor).

La resistencia especificada o resistencia característica de rotura a compresión es una medida estadística de la resistencia potencial del hormigón colocado en la estructura, que puede ser alcanzada a la edad de diseño bajo condiciones de curado normalizadas.

PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

■ FISICAS

- Densidad
- Impermeabilidad

■ MECANICAS

□ RESISTENCIA:

- A la Compresión
- A la Tracción
- Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.

□ PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

- Módulo de Elasticidad
- Fluencia lenta o Creep

■ SERVICIABILIDAD

□ VARIACIONES DE VOLUMEN

- Retracción Hidráulica
- Retracción Térmica
- Retracción por Carbonatación

□ DURABILIDAD

- Agentes Físicos
- Agentes Químicos

□ CONSTRUCTIVAS

- Dimensionales
- Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
- Juntas

$$f'cm = \frac{\sum_{i=1}^N f_i}{N}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - f'cm)^2}{N-1}}$$

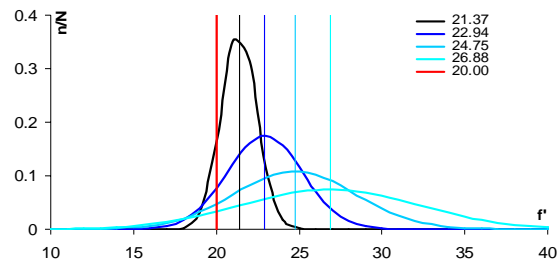
$$v = \frac{s}{f'cm}$$

$$f'c = f'cm - t \times s$$

$$f'c = f'cm(1 - t \times v)$$

Nivel de Confianza (1 - % defectuosos)	t
95 %	1,645
90 %	1,282
85 %	1,036
80 %	0,842

CONTROL	
EXCELENTE	$v < 13\%$
MUY BUENO	$13\% < v < 20\%$
BUENO	$20\% < v < 25\%$
REGULAR	$25\% < v < 30\%$
POBRE	$30\% < v < 35\%$
SIN CONTROL	$v > 35\%$



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

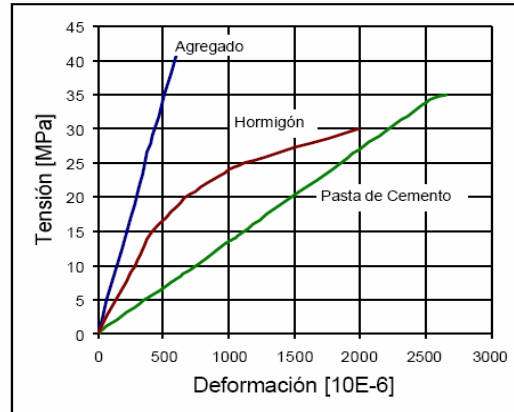
- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- MECANICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas

CLASIFICACIÓN SEGÚN RESISTENCIA

Clase de hormigón	Resistencia especificada a compresión f_c (MPa)	A utilizar en hormigones
H – 15	15	simple
H – 20	20	simple y armados
H – 25	25	Simple, armados y pretensados
H – 30	30	
H – 35	35	
H – 40	40	
H – 45	45	
H – 50	50	Simple, armados y pretensados
H – 60	60	

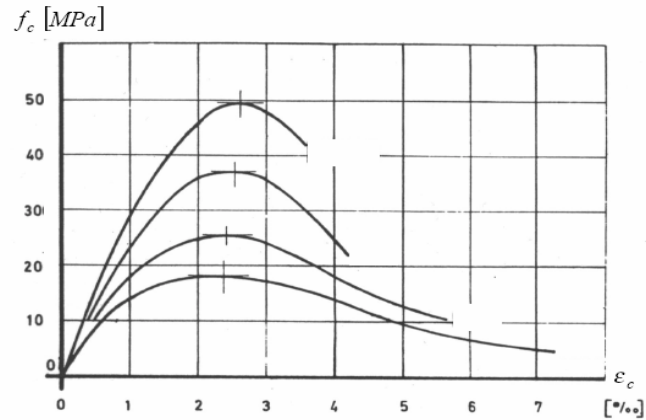
PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

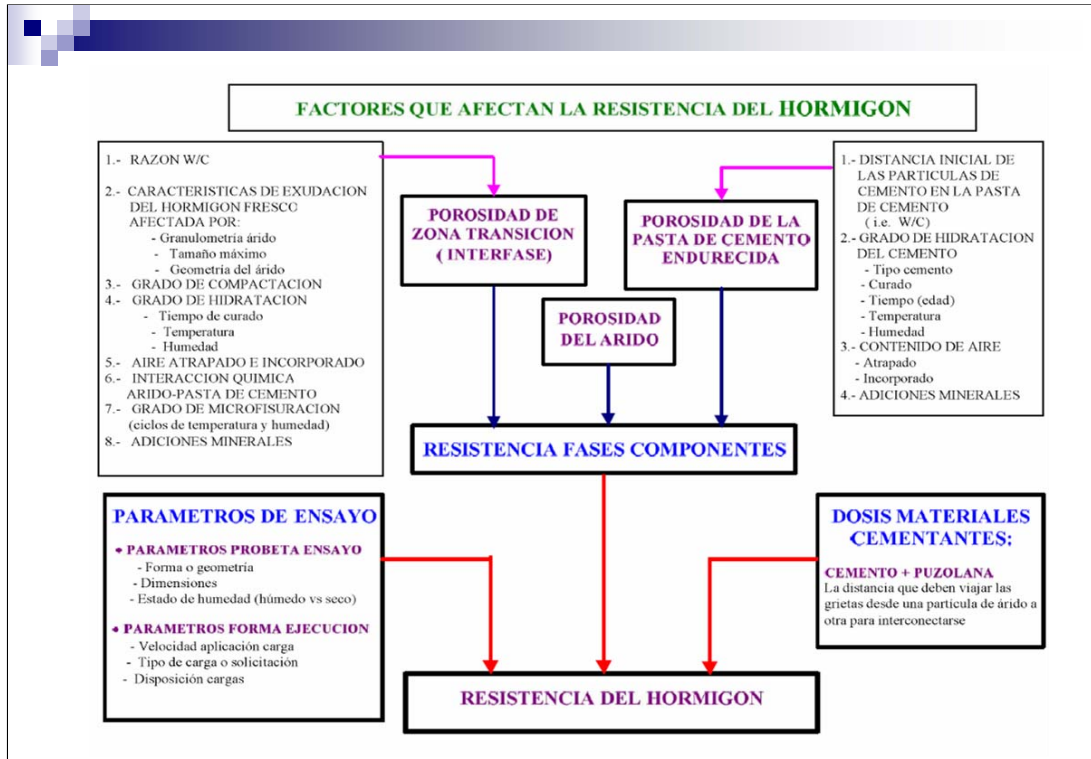
- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- MECANICAS
 - RESISTENCIA:
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas



PROPIEDADES DEL HORMIGON ENDURECIDO

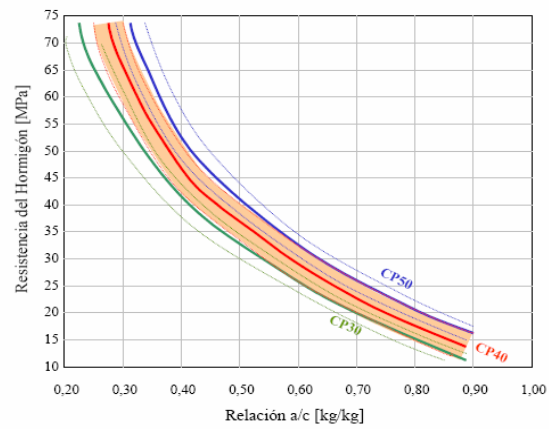
- FÍSICAS
 - Densidad
 - Impermeabilidad
- **MECÁNICAS**
 - **RESISTENCIA:**
 - A la Compresión
 - A la Tracción
 - Otras: a la fatiga, desgaste, impacto, etc.
 - PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS
 - Módulo de Elasticidad
 - Fluencia lenta o Creep
- SERVICIABILIDAD
 - VARIACIONES DE VOLUMEN
 - Retracción Hidráulica
 - Retracción Térmica
 - Retracción por Carbonatación
 - DURABILIDAD
 - Agentes Físicos
 - Agentes Químicos
 - CONSTRUCTIVAS
 - Dimensionales
 - Terminación de superficie:
 - regularidad superficial
 - textura
 - Juntas





FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

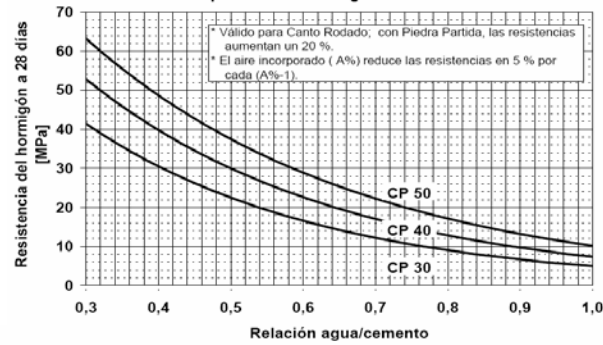
■ RAZON AGUA/CEMENTO – LEY DE ABRAMS



Fuente : Ficha Técnica "Cemento Pórtland" – Loma Negra

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ RAZON AGUA/CEMENTO



$$f_c = C \times \frac{A}{B^{a/c}}$$

f_c : resistencia a compresión del hormigón

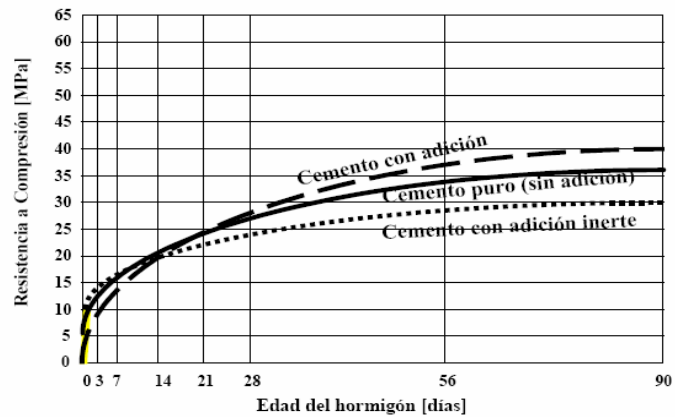
C : resistencia del cemento portland medido en mortero normalizado ($a/c = 0,50$)

A y B : constantes que dependen del tipo de agregado y otras condiciones

a/c : relación entre la masa de agua y de cemento utilizadas en la elaboración del hormigón

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ TIPO DE CEMENTO

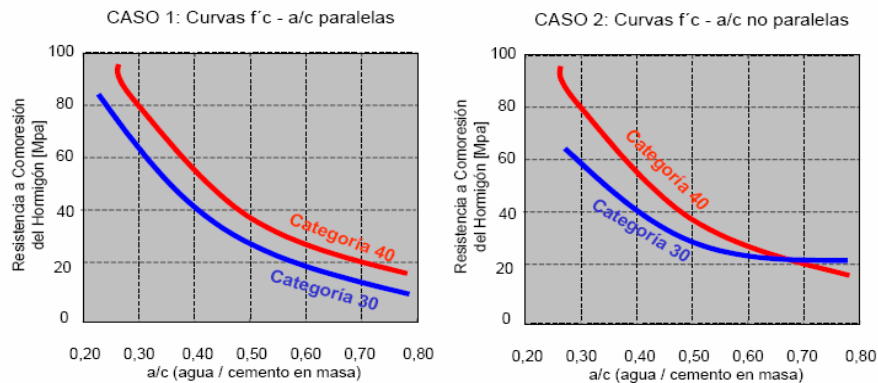


Fuente : Ficha Técnica "Cemento Pórtland" – Loma Negra

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ TIPO DE CEMENTO

“Contrariamente a la creencia popular, cada cemento posee su propia ley de Abrams”



Fuente : CPF30 – Cemento Pórtland con “Filler” Calcáreo, Categoría 30 - Loma Negra

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ EDAD

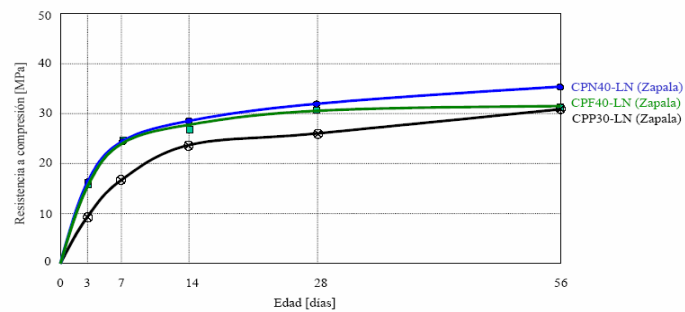
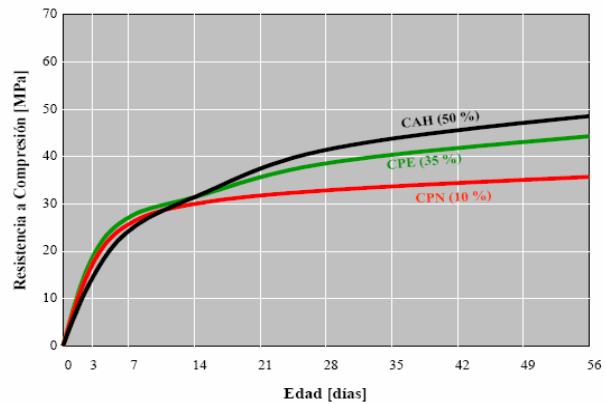


Figura N° 2: Desarrollo de resistencia en el tiempo de hormigones con similar CUC (contenido unitario de cemento) y asentamiento sin aditivos. La demanda de agua se ajustó a fin de lograr un asentamiento constante.
Fuente: Centro Técnico LOMA NEGRA, 2000 - 2001

Ficha técnica : Cemento Pórtland Pozolánico – Loma Negra

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

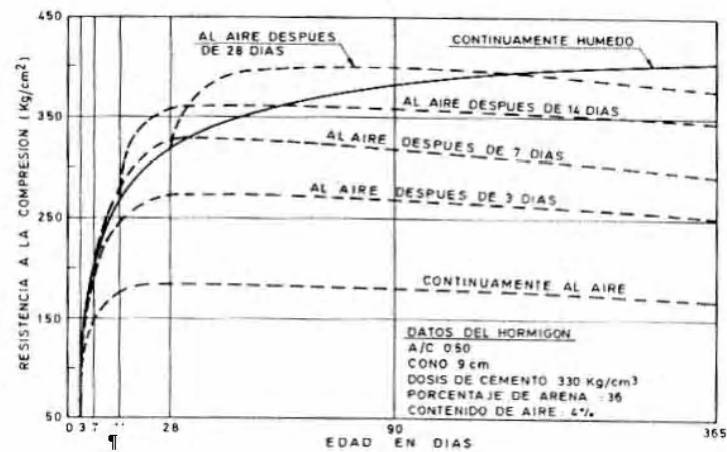
■ EDAD



Ficha técnica : Cemento de Alto Horno – Loma Negra

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

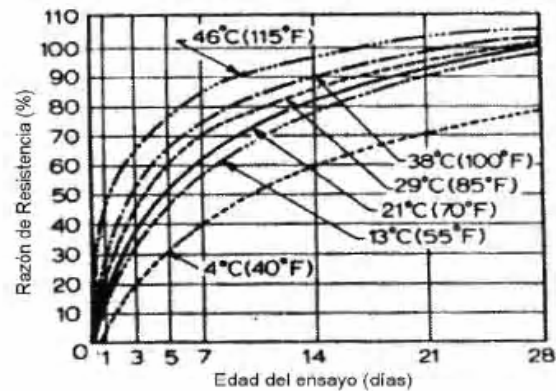
■ CURADO – TEMPERATURA Y HUMEDAD



Influencia de la humedad sobre la resistencia

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ CURADO – TEMPERATURA Y HUMEDAD

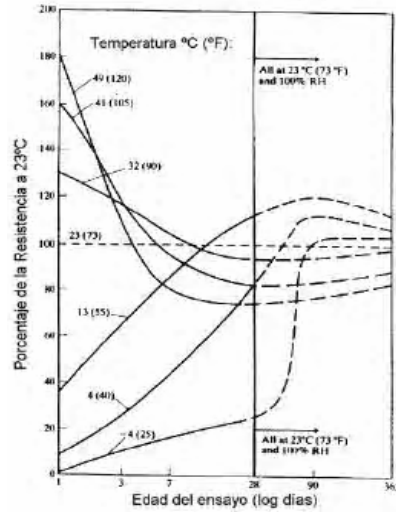


Razón de Resistencia entre el hormigón curado a diferentes temperaturas y la resistencia a 28 días del hormigón curado a 21°C (70°F) (Razón W/C=0,50; las muestras fueron moldeadas, selladas y curadas a la temperatura indicada)

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

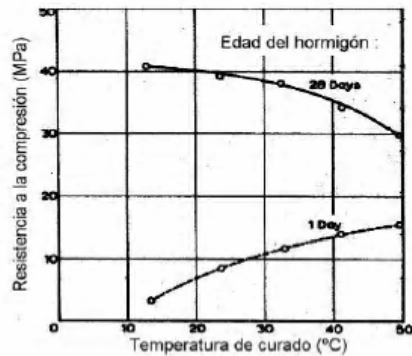
■ CURADO – TEMPERATURA Y HUMEDAD

Efecto de la temperatura durante los primeros 28 días en la resistencia del hormigón (Razón W/C=0,41; contenido de aire = 4,5%; cemento Portland corriente)



FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

■ CURADO – TEMPERATURA Y HUMEDAD

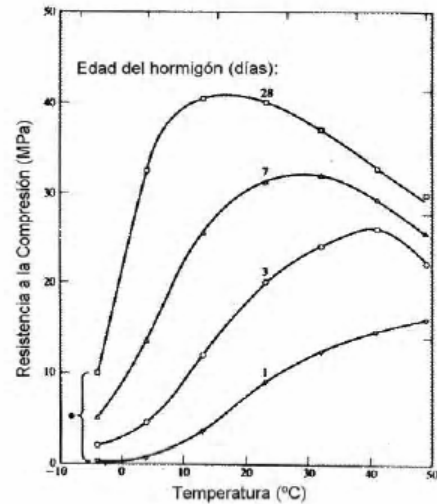


Influencia de la temperatura de curado sobre la resistencia en hormigón a 1 día y a 28 días
Fuente: A. M. Neville, 1996 "Properties of concrete"

FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

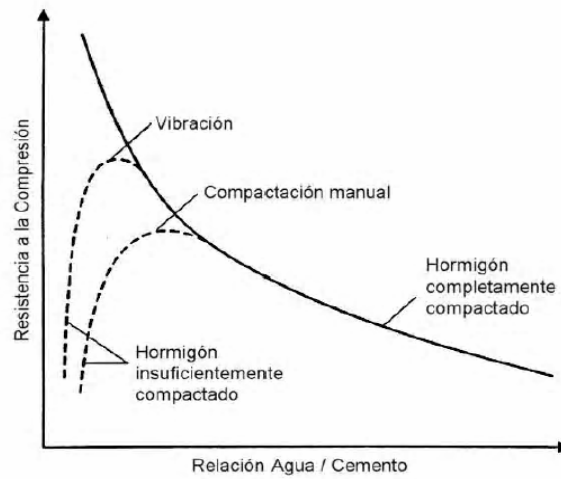
■ CURADO – TEMPERATURA Y HUMEDAD

Influencia de la temperatura en la resistencia del hormigón moldeado y curado a la temperatura indicada (* Hormigón moldeado a 4 °C y curado a -4 °C hasta la edad de 1 día)



FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA MECÁNICA

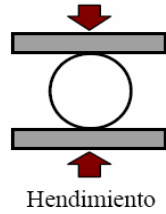
■ COMPACTACIÓN



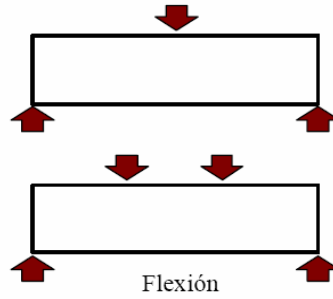
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

En general no se considera la colaboración del hormigón a tracción para resistir flexión, pero es necesario conocer sus valores porque está relacionada con la capacidad resistente a esfuerzos de corte, con la adherencia y deslizamiento de las armaduras, y con el fenómeno de fisuración.

ENSAYOS



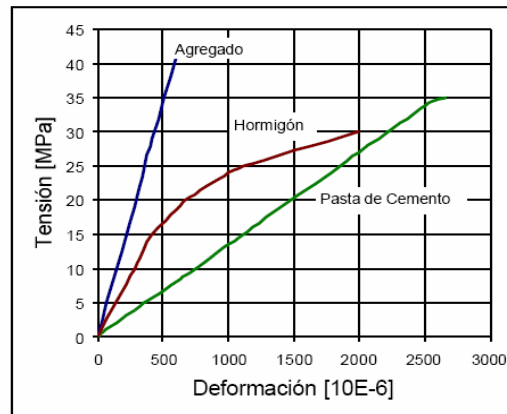
$$f'_{ct} = 0.56 \sqrt{f'_c}$$



$$f_r = 0.7 \sqrt{f'_c}$$

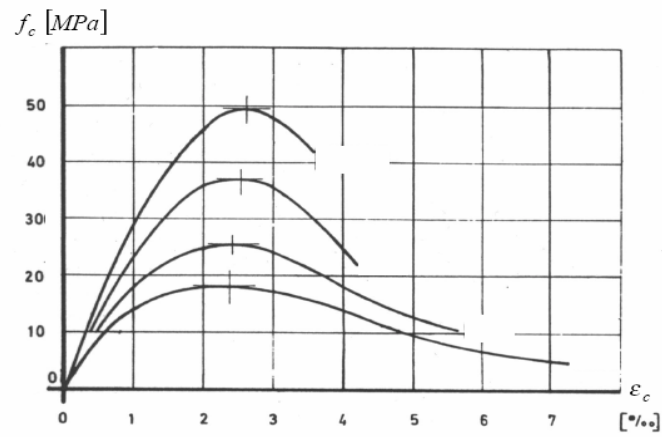
PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ MÓDULO DE ELASTICIDAD



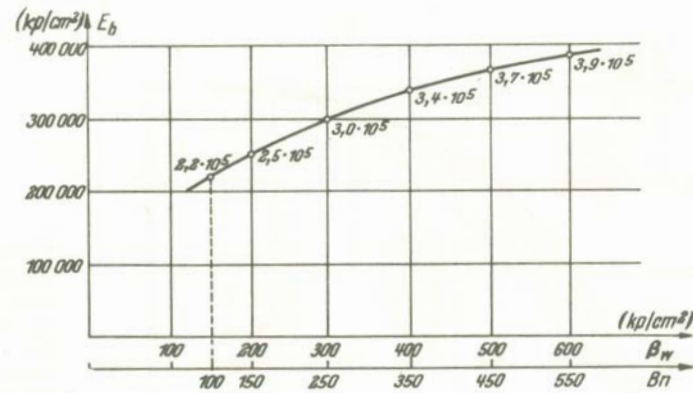
PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ MÓDULO DE ELASTICIDAD



PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

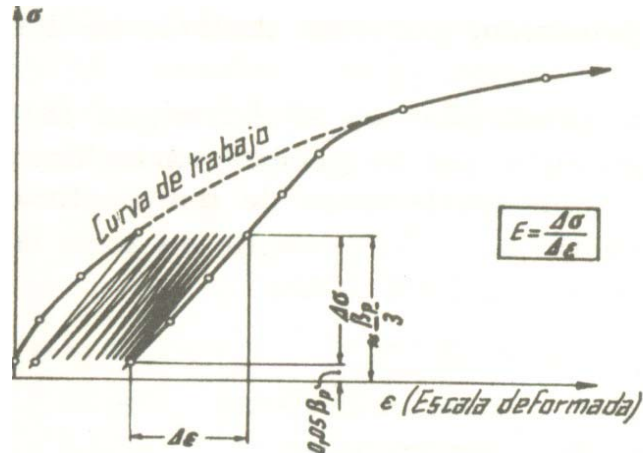
■ MÓDULO DE ELASTICIDAD



Fuente: Hormigon Armado y Pretensado – Hubert Rüsch

PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ MÓDULO DE ELASTICIDAD



Fuente: Hormigon Armado y Pretensado – Hubert Rüsch



PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ MÓDULO DE ELASTICIDAD

8.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

8.5.1. El *módulo de elasticidad* E_c del hormigón de densidad normal se puede determinar con la siguiente expresión:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa})$$

El *módulo de elasticidad del hormigón con valores de w_c comprendidos entre 1500 y 2500 kg/m³* (ver el artículo 1.1.2.2.) se puede determinar con la siguiente expresión:

$$E_c = w_c^{1.5} 0,0043 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa})$$

PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ MÓDULO DE ELASTICIDAD

C 8.5. MÓDULO DE ELASTICIDAD

C 8.5.1. En la referencia 8.5 se resumen los estudios que en Estados Unidos han conducido a la expresión dada en el artículo 8.5.1. para el **módulo de elasticidad** del hormigón, E_c , donde se lo define como la pendiente de la línea trazada desde el origen del diagrama tensión-deformación, hasta el punto correspondiente a una tensión de compresión de $0,45 f_c$.

El **módulo de elasticidad del hormigón es sensible al módulo del agregado y podría diferir del valor especificado**. Los valores medidos varían entre un **120%** y un **80%** del valor especificado. Los métodos para la determinación del módulo de elasticidad del hormigón se describen en la referencia 8.6.

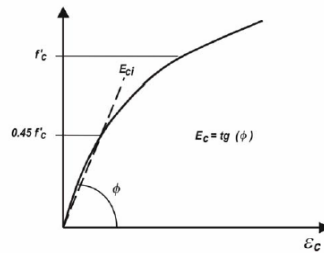
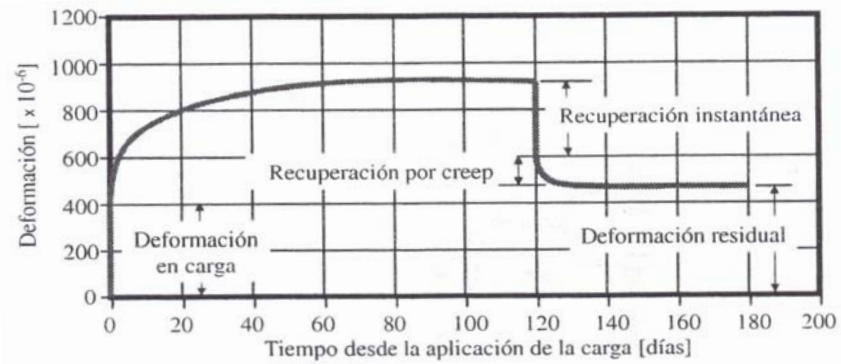


Figura C 8.5.1. Definición del módulo de elasticidad E_c del hormigón, de acuerdo con la referencia 8.5.

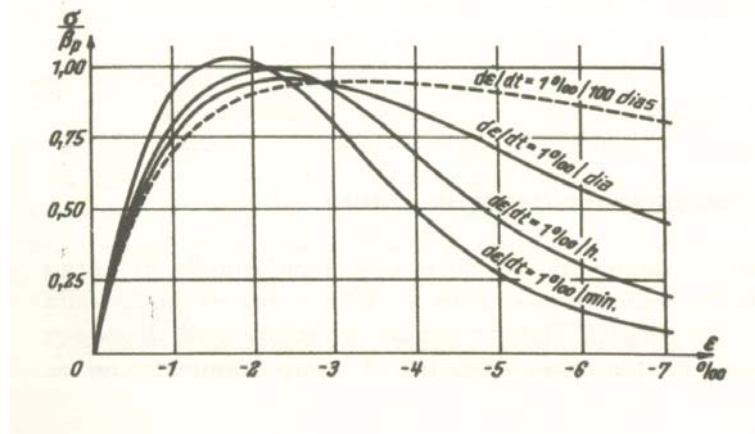
PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ FLUENCIA LENTA O CREEP



PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

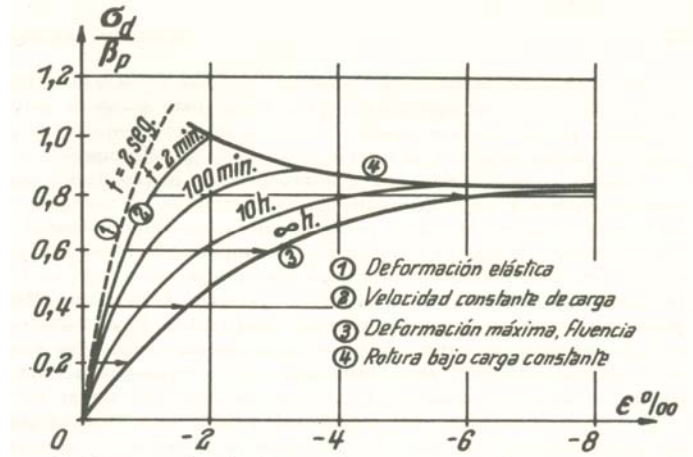
■ FLUENCIA LENTA O CREEP



Fuente: Hormigón Armado y Pretensado – Hubert Rüsch

PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ FLUENCIA LENTA O CREEP



Fuente: Hormigon Armado y Pretensado – Hubert Rüsch

PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ FLUENCIA LENTA O CREEP

9.5.2.5. Cuando no se realice un análisis más completo, *la flecha adicional a largo plazo resultante de la fluencia lenta y de la contracción en elementos flexionados*, se debe determinar multiplicando *la flecha instantánea, producida por la carga de larga duración, por el factor λ* :

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'} \quad (9-11)$$

siendo:

- ρ' el valor de la cuantía de armadura comprimida no tesa, en la mitad de la luz para tramos simples y continuos, y en el apoyo para voladizos.
- ξ el factor que depende del tiempo y que para cargas de larga duración se puede adoptar igual a:

PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

■ FLUENCIA LENTA O CREEP

5 años o más.....	$\xi = 2,0$
12 meses.....	$\xi = 1,4$
6 meses.....	$\xi = 1,2$
3 meses.....	$\xi = 1,0$
1 mes.....	$\xi = 0,7$

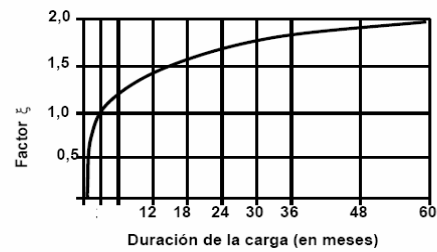
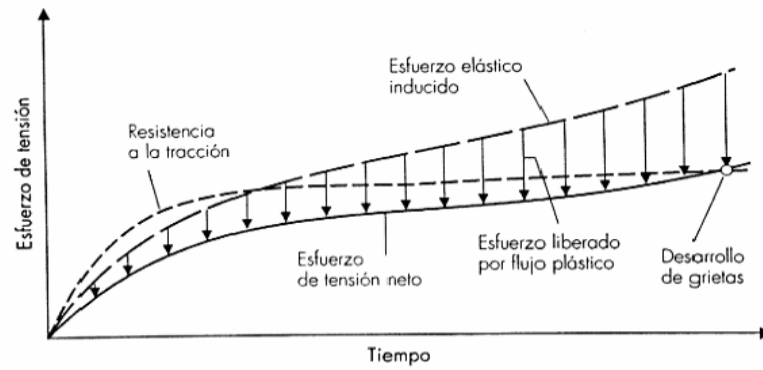


Figura 9.5.2.5. Variación del factor ξ en función del tiempo para el cálculo de las flechas adicionales a largo plazo.

VARIACIÓN DE VOLUMEN

La variación de volumen, sumado a las restricciones generan fisuras y agrietamientos.





VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN HIDRÁULICA

□ CAUSAS INTERNAS

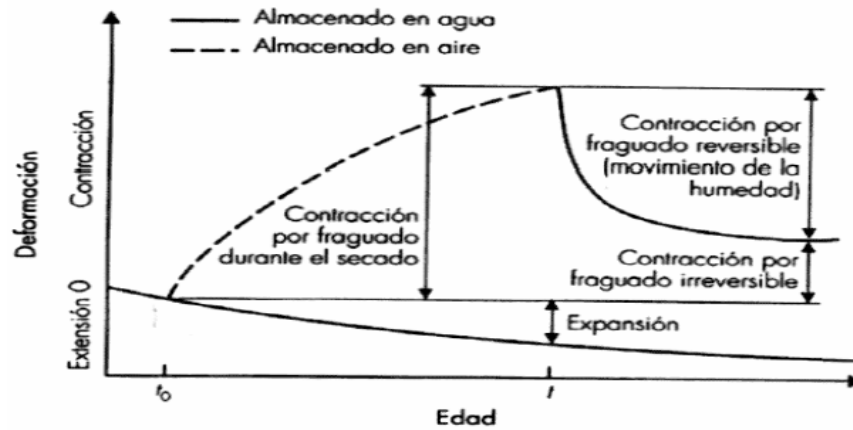
- Se derivan de variaciones de volumen de la pasta de cemento durante procesos de fraguado y endurecimiento:
- Volumen absoluto de los compuestos hidratados de la pasta cemento es menor que el volumen de los compuestos originales del cemento
- Esto genera contracción. Poca influencia

□ POR SECADO

- Ambiente no saturado (humedad relativa $< 90\%$) el agua de amasado tiende a evaporarse progresivamente.
- Estructura interna hormigón es discontinua: poros, canales y microfisuras de tamaño capilar, parcialmente vacíos
- Equilibrio entre fases líquida (agua) y gaseosa (aire) produce tensión superficial.
- Tensión superficial se transmite como compresión a paredes
- Produce contracción del hormigón. Influencia Importante

VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN HIDRÁULICA





VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN HIDRÁULICA

□ **Retracción diferencial interna:**

- Restricción generada por gradiente de humedad entre secciones contiguas
- Importante en elementos masivos
- Agrietamiento se limita a parte del espesor

□ **Retracción global:**

- Conciérne a todo el elemento
- Ligada a restricciones externas del elemento
- Importantes en elementos esbeltos (pavimentos, estucos)



VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN HIDRÁULICA

□ PRINCIPALES FACTORES

■ DEL HORMIGÓN

- Composición química del cemento
- Finura del cemento
- Dosis cemento
- Contenido en volumen áridos
- Dosis de agua y razón W/C
- Aditivos

■ AMBIENTALES

- Viento
- Humedad
- Temperatura
- Curado

■ CONSTRUCTIVAS

- Tamaño y forma de los Elementos



VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN HIDRÁULICA

□ MEDIDAS PARA ATENUAR LA RETRACCIÓN HIDRÁULICA

- Usar cementos con baja finura y bajo contenido de C_3A y cal libre
- Usar áridos con baja porosidad y bajo contenido de finos.
- Usar bajas dosis de agua y de cemento.
- Mantener ambiente saturado el mayor tiempo posible.
- Dimensionar los elementos teniendo en consideración la retracción hidráulica (armaduras mínimas, juntas de contracción).



VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN TÉRMICA

Temperatura ambiente + Calor de hidratación

- Variaciones derivadas de causas externas
 - Magnitud de las variaciones de temperatura ambiente
 - Velocidad de variación de la temperatura ambiente
- Variaciones por causas internas
 - Características del cemento
 - Tipo de cemento (contenido C3A)
 - Finura de molienda
 - Temperatura inicial en el momento de su incorporación en el hormigón.
 - Dosis cemento del hormigón y uso adiciones
 - Temperatura del hormigón colocado
 - Espesor de la sección
 - Tipo de moldaje y aislación
 - Método y secuencia de construcción

VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN TÉRMICA

MEDIDAS PARA ATENUAR EFECTOS DE LA RETRACCIÓN TÉRMICA

- Retracción por temperaturas externas:
 - ☐ Aislación térmica en paramentos externos
- Retracción por temperaturas internas:
 - ☐ Disminución de temperaturas producidas por calor de hidratación
 - Empleo cementos bajo calor hidratación:
 - Disminución de temperatura interna del hormigón:
 - ☐ Emplear bajas dosis de cemento
 - ☐ Aumentar tamaño máximo de los áridos
 - ☐ Reemplazar parte cemento por adiciones hidráulicamente activas (puzolanas, cenizas volantes, etc.)
 - ☐ Emplear aditivos plastificantes e incorporadores de aire
 - ☐ Enfriar previamente áridos y agua
 - ☐ Reemplazar parte agua de amasado por hielo durante revoltura (baja temp. inicial del hormigón 15 °C)
 - ☐ Refrigeración del hormigón colocado por circulación agua fría a través de serpentines embebidos en su masa y ubicados a 1,5 a 2,5 m de distancia (agua natural y fría bajan el peak en 3 y 10 °C, respectivamente)
- Planificación de las etapas de hormigonado:
 - ☐ Disminución de espesores
 - ☐ Aumento de plazos de espera entre etapas.

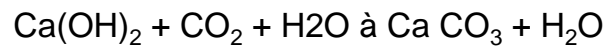


VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN POR CARBONATACIÓN

MECANISMO

- ☐ Reacciones hidratación cemento dejan cal libre
- ☐ En presencia de humedad CO_2 aire forma ácido carbónico
- ☐ Cal libre reacciona con ácido carbónico y produce carbonato de calcio:



- ☐ Proceso químico de carbonatación es contractivo



VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN POR CARBONATACIÓN

EFFECTOS DE LA CARBONATACIÓN

- ☐ Contracción superficie produce pequeñas fisuras y hormigón superficial se torna polvoriento
- ☐ Importante hormigones sometidos a desgaste ; deterioro es progresivo
- ☐ Aumenta levemente la resistencia y reduce permeabilidad del hormigón
- ☐ Neutraliza alcalinidad pasta cemento por lo tanto reduce la protección del acero a corrosión



VARIACIÓN DE VOLUMEN

■ RETRACCIÓN POR CARBONATACIÓN

RECOMENDACIÓN

- ☐ Prolongar período de curado al máximo
- ☐ Usar baja razón W/C
- ☐ Espesores de recubrimientos adecuados



DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE FÍSICO

- ☐ Temperaturas extremas
 - Congelación – deshielo
 - Fuego
- ☐ Abrasión y erosión



DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE FÍSICO

□ Congelación – deshielo

■ Depende de la edad del Hormigón

□ Antes del inicio del fraguado

Se detiene las reacciones – sin importancia

□ Unas horas después del fraguado

Efecto irreparable

□ Hormigón endurecido

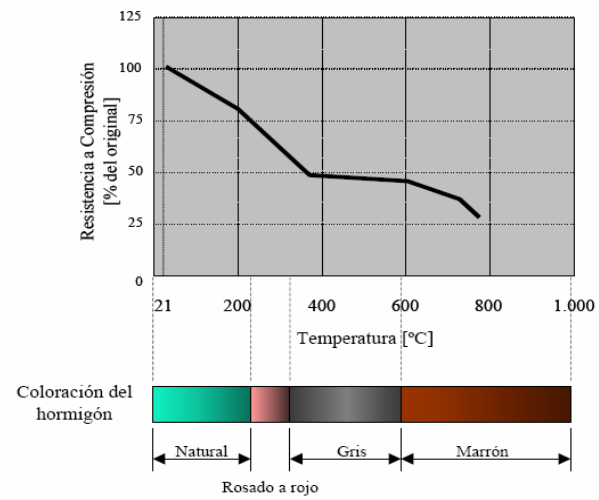
Se mejora con la incorporación de aditivos incorporador de aire (microburbujas)

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE FÍSICO

□ Fuego

Fuente: Durabilidad del
Hormigón - Loma Negra

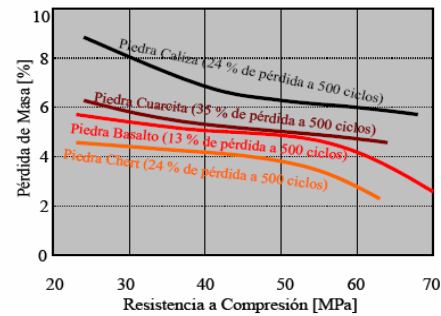


DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE FÍSICO

□ Erosión y Abrasión

- Esta relacionada con la resistencia a compresión
- Es función de los agregados utilizados
- Importante en pisos, pavimentos y revestimientos
- Se mejora a través del uso de endurecedores superficiales



Fuente: Durabilidad del Hormigón - Loma Negra



DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

□ SOBRE EL HORMIGÓN

Las más habituales son las aguas blandas, los ácidos y algunas sales en solución que contienen sulfatos, amonio y magnesio solubles.

□ SOBRE LAS ARMADURAS

Despasivación por Carbonatación

Ataques de cloruros

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
A 1	No agresiva		Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios no sometidos a condensaciones • Elementos exteriores de edificios, revestidos • Hormigón masivo interior • Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios protegidos de la intemperie • Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO₂. • Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente. Parte interior de los mismos.
A 2	Ambiente Normal	Temperatura moderada y fría, sin congelación. Humedad alta y media o con ciclos de mojado y secado	Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65% o a condensaciones • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1.000 mm. • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sótanos no ventilados • Fundaciones • Tableros y pilas de puentes • Elementos de hormigón en cubiertas de edificios • Exteriores de edificios. • Interiores de edificios con humedad del aire alta o media
A 3	Climas tropical y subtropical		Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1.000 mm • Temperatura media mensual durante más de 6 meses al año ≥ 25° C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos • Losas para estacionamientos

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras (continuación)

1	2	3	4	5	6	
EXPOSICIÓN						
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición	
M 1	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none">• Superficies de hormigón expuestas al rocío o la fluctuación del nivel de agua con cloruros• Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales	<ul style="list-style-type: none">• Piletas de natación sin revestir.• Fundaciones en contacto con aguas subterráneas• Cisternas en plantas potabilizadoras• Elementos de puentes	
A 3	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none">• A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales.	<ul style="list-style-type: none">• Construcciones alejadas de la costa pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).	
M 1		Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none">• A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales	<ul style="list-style-type: none">• Construcciones próximas a la costa.	
M 2		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none">• Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.	<ul style="list-style-type: none">• Estructuras de defensas costeras• Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar	
		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none">• En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar	<ul style="list-style-type: none">• Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios	

(*) La distancia máxima depende de la dirección de los vientos predominantes. Cuando ellos provengan del mar, como ocurre en la mayor parte del litoral de la Prov. De Buenos Aires, esta zona está entre 1 y 10 km. En la mayor parte de la Patagonia esta zona es inexistente. El Director del Proyecto deberá acotar los límites de aplicación de esta zona de agresividad.

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.2. Clases específicas de exposición que pueden producir degradación distinta de la corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde pueden darse las clases de exposición
C 1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad mayor que el 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de - 5°C	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. • Estructuras que contienen agua o la conducen.
C 2		Con sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo y por sales descongelantes	Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0°C	<ul style="list-style-type: none"> • Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes. • Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes.
Q 1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	
Q 2		Fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (Ver Tablas 2.3 y 2.4). • Exposición al agua de mar 	
Q 3		Muy fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.3. Valores límites de sustancias agresivas en aguas de contacto

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO ₄ ²⁻) (1)	Magnesio (Mg ²⁺) (2)	pH (3)	Disolución de cal por ataque con ácido carbónico (CO ₃ ²⁻) (4)	Amonio (NH ₄ ⁺) (5)
	mg/litro	mg/litro	-----	mg/litro	mg/litro
Moderado	150 a 1.500	300 a 1.000	6,5 a 5,5	15 a 40	15 a 30
Fuerte	1.500 a 10.000	1.000 a 3.000	5,5 a 4,5	40 a 100	30 a 60
Muy fuerte	Mayor de 10.000	Mayor de 3.000	Menor de 4,5	Mayor de 100	Mayor de 60
(1); (2) y (3) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM que se redactará al efecto. (4) y (5) Se determinarán con el método especificado en la norma IRAM 1 708. (Se encuentra en etapa de redacción el método para determinación de amonio).					

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.4. Valores límites de sustancias agresivas en suelos de contacto

Grado de ataque	Sulfatos solubles (SO ₄ ²⁻) (1) % en masa	Grado de acidez Baumann – Gully Modificado (2) Nº
Moderado	0,10 a 0,20	Mayor de 20
Fuerte	0,20 a 2,00	-----
Muy fuerte	Mayor de 2,00	-----
(1) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM que se redactará al efecto.		
(2) Se determinará con el método especificado en la norma IRAM 1 707		

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.5. Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo a la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3	M 1	M 2	C 1 (2)	C 2 (2)	Q 1	Q 2	Q 3 (3)
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	-----	-----	-----	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) $f_{c,min}$ (MPa)										
Hormigón simple	-----	-----	-----	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45

(1) Cuando se use cemento pórtland más una adición mineral activa, se debe reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/ material cementicio [a/(c+x)], que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad y eficiencia de la adición (x).

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3..

(3) Adicionalmente, se debe proteger a la estructura con una membrana, película o material impermeable, capaz de resistir la agresión.

DURABILIDAD DE HORMIGONES

■ ATAQUE QUÍMICO

Tabla 2.6. Contenido máximo de ión cloruro (Cl⁻) en el hormigón endurecido

Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ión cloruro (Cl ⁻) en el hormigón endurecido (IRAM 1 857)
		% en masa del cemento
Sin armar	Cualquier condición	1,20
Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0,15
	Medio ambiente sin cloruros	0,30
Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0,10
Pretensado	Cualquier condición	0,06