



DIPLOMA DE POSTÍTULO

DISEÑO CONTRA INCENDIOS

NOMBRE DEL CURSO

**Introducción al hormigón armado
Altas temperaturas**

Nombre Profesor: Marcial Salaverry R.

Contacto: marcial.salaverry@e3ingenieria.cl



Por qué proteger?



Torre Windsor en Madrid



Por qué proteger?



Before collapse



After collapse



Facultad de Arquitectura Universidad de Delft, Holanda



Formas de protección

También pasa en Chile





Conceptos Básicos

Tipos de solicitaciones



Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo Axial: Compresión(C) o tracción(T)*
 - *Esfuerzo de Flexión (M)*
 - *Esfuerzo de Corte (V)*
 - *Esfuerzo de Torsión (T)*



Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo Axial: Compresión(C) o tracción(T)*



- *El Hormigón resiste bien los esfuerzos de compresión no así los de tracción. En tracción el hormigón resiste entre un 10 y un 15% de su resistencia en compresión.*

Ejemplo:

$$f'c = 30[MPa] = 300[kgf / cm^2]$$

$$f_{Tracción} = 0.82 \cdot \sqrt{f'_c} = 4.5[MPa] = 45[kgf / cm^2]$$



Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo Axial: Compresión(C) o tracción(T)*





Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo de Flexión (M)*

En flexión se generan dos zonas al interior de la pieza: Una en compresión y la otra en tracción.





Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo de Flexión (M)*





Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo de Flexión (M)*

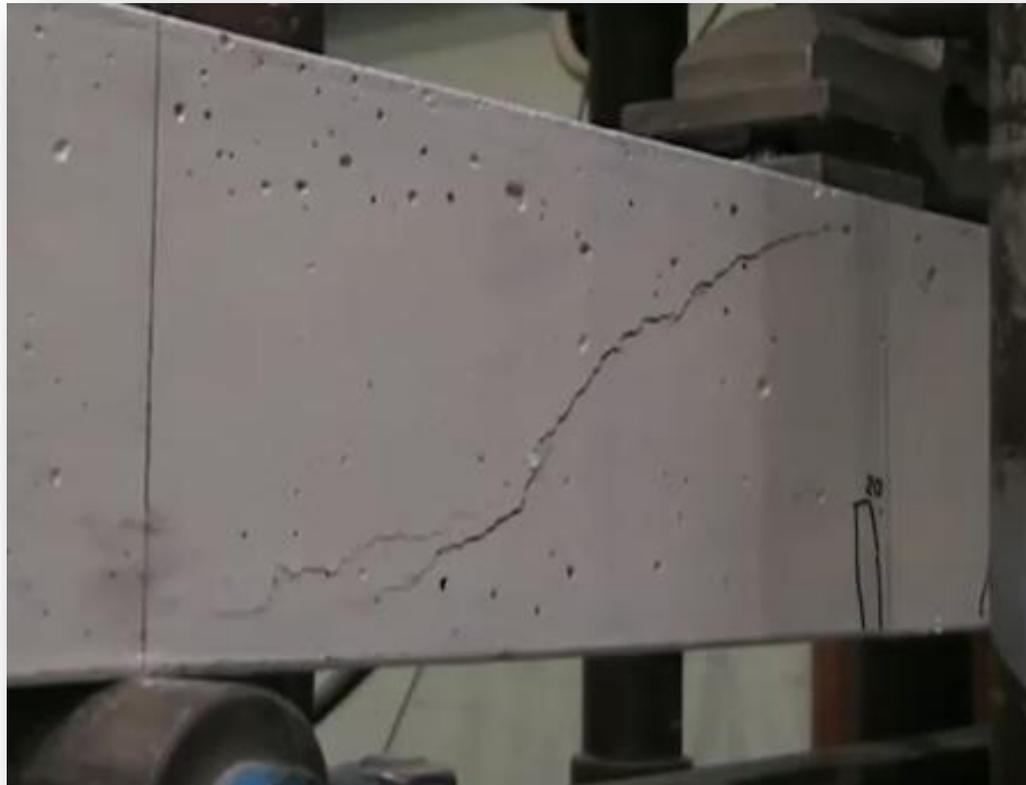




Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo de Corte (V)*

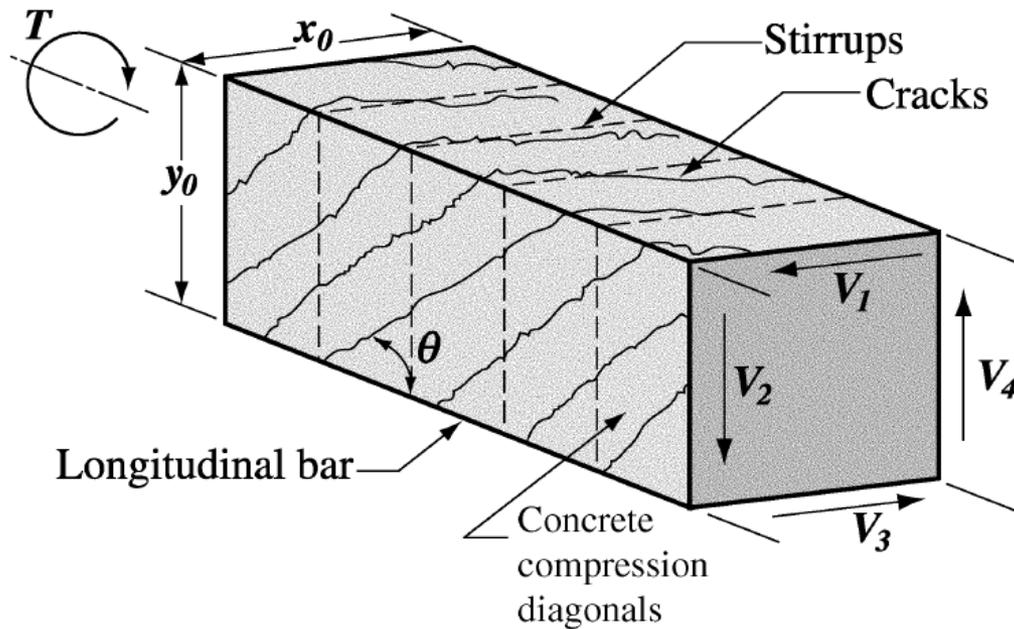
La falla en corte se genera aproximadamente en 45° y ve desde la cara de aplicación de la carga hacia el apoyo.





Conceptos básicos

- *Tipos de solicitaciones*
 - *Esfuerzo de Torsión (T)*





Requerimientos

Resistencia al fuego



Requerimientos.

OGUC Artículo 4.3.3: Los requerimientos de Resistencia al fuego se aplican a diferentes elementos constructivos en base a la clasificación de riesgo de un edificio. Esto es válido para cualquier material.

RESISTENCIA AL FUEGO REQUERIDA PARA LOS ELEMENTOS DE CONSTRUCCION DE EDIFICIOS

ELEMENTOS DE CONSTRUCCION									
TIPO	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F- 30	F- 60	F-120	F- 60
b	F-150	F-120	F- 90	F- 90	F- 90	F- 15	F- 30	F- 90	F- 60
c	F-120	F- 90	F- 60	F- 60	F- 60	-	F- 15	F- 60	F- 30
d	F-120	F- 60	F- 60	F- 60	F- 30	-	-	F- 30	F- 15

OJO!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

La RF es una propiedad de un elemento constructivo, no una propiedad de un material. El hormigón no tiene una RF inherente asociada.

SIMBOLOGIA:

Elementos verticales:

- (1) Muros cortafuego
- (2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera
- (3) Muros caja ascensores
- (4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta)
- (5) Elementos soportantes verticales
- (6) Muros no soportantes y tabiques

Elementos verticales y horizontales:

- (7) Escaleras

Elementos horizontales:

- (8) Elementos soportantes horizontales
- (9) Techumbre incluido cielo falso



Requerimientos

Los edificios comunes se clasifican por superficie, cantidad de ocupantes y N° de pisos, mientras que los recintos industriales lo hacen en función de su carga combustible.

Destino del edificio	Superficie edificada (M2)	Numero de pisos 1 2 3 4 5 6 7 o más
Habitacional	Cualquiera	d d c c b a a
Hoteles o similares	Sobre 5.000 sobre 1.500 y hasta 5.000 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c b a a a a c b b b a a c c b b a a d c b b a a
Oficinas	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a c c c b b b d c c b b b
Museos	Sobre 1.500 sobre 500 y hasta 1.500 hasta 500	c c b b b a c c c b b b d c c b b b
Salud (clínica, hospitales y laboratorios)	Sobre 1.000 Hasta 1.000	c b b a a a c c b b a a
Salud (Policlínicos)	Sobre 400 Hasta 400	c c b b b b d c c b b b
Restaurantes y fuentes de soda	Sobre 500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b a a a a a c b b a a a d c c b b a
Locales comerciales	Sobre 500 Sobre 200 y hasta 500 Hasta 200	c b b a a a c c b b a a d c b b b a
Bibliotecas	Sobre 1.500 Sobre 500 y hasta 1.500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b b a a a a b b b a a a c b b b a a d c b b a a
Centro de reparación automotor	Cualquiera	d c c b b b
Edificios de estacionamiento	Cualquiera	d c c c b b

DESTINO DEL EDIFICIO	MAXIMO DE OCUPANTES	NUMERO DE PISOS 1 2 3 4 5 6 ó más
Teatros y espectáculos	Sobre 1.000 Sobre 500 y hasta 1.000 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b a a a a a b b a a a a c c b b a a d d c c b a
Reuniones	Sobre 1.000 Sobre 500 y hasta 1.000 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b a a a a a b b a a a a c c b b a a d c c b b a
Docentes	Sobre 500 Sobre 250 y hasta 500 Hasta 250	b b a a a a c c b b a a d c c b b a



Requerimientos

La determinación de la carga combustible, bajo la reglamentación nacional sólo sirve para la clasificación de riesgo del edificio. Luego se define del nivel de protección estructural.

$$C.C = \frac{\sum M \cdot Q_{comb}}{A}$$

$$Q_{Comb}^{Madera} \approx 16 [MJ / kg]$$

$$Q_{Comb}^{Hidrocarburos} \approx 46 [MJ / kg]$$

TABLA 3

DESTINO DEL EDIFICIO	DENSIDAD DE CARGA COMBUSTIBLE (*)		NUMERO DE PISOS 1 2 3 4 5 ó más
	Media (MJ/m ²) según NCh 1916	Puntual Máxima (MJ/m ²) según NCh 1993	
Combustibles, lubricantes, aceites minerales y naturales.	Sobre 8.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 hasta 2.000	Sobre 24.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 hasta 10.000	a a a a a b a a a a c b a a a d c b a a
Establecimientos Industriales.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	a a a a a b a a a a c b a a a c c b a a d c c b a d d c c b d d d c c
Supermercados y Centros Comerciales.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 hasta 1.000	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 hasta 6.000	b a a a a b b a a a c b b a a c c b b a d c c b b d d c c b d d c c b
Establecimientos de bodegaje.	Sobre 16.000 sobre 8.000 y hasta 16.000 sobre 4.000 y hasta 8.000 sobre 2.000 y hasta 4.000 sobre 1.000 y hasta 2.000 sobre 500 y hasta 1.000 hasta 500	Sobre 32.000 sobre 24.000 y hasta 32.000 sobre 16.000 y hasta 24.000 sobre 10.000 y hasta 16.000 sobre 6.000 y hasta 10.000 sobre 3.500 y hasta 6.000 hasta 3.500	b b a a a c b b a a c c b b a d c c b b d d c c b d d d c c d d d d c

1MJ/m² = 238.85 k cal/m²

1 MJ = 0.053 kg madera equivalente de 4.000 k cal/kg

(*) Para clasificar un edificio o sector de él, se aplica la densidad de carga combustible mayor de ambas columnas de la Tabla 3. ¹



Ejemplo

Que nivel de protección requiere un cine. Su superficie en planta es de 5000m², cuenta con 3 niveles, 15 salas, con una capacidad para 250 personas cada una.

Que nivel de protección requieren:

Pilares.

Vigas.

Estructura de Techumbre.

Es relevante un estudio de carga combustible?

Por que?



Que significa resistencia al fuego de un elemento?

A diferencia de lo que hemos estudiado para elementos de acero, la resistencia al fuego para elementos de H.A se define en función de más parámetros que simple estabilidad estructural.

- *Estabilidad estructural, bajo las cargas de diseño.*
- *Aislación térmica para elementos con fines de compartimentación ($T_{crit}=140^{\circ}\text{C}+T_{amb}$).*
- *Integridad (No se deben propagar gases combustibles al recinto no incendiado).*

Es difícil evaluar Integridad desde el cálculo, para esto es fundamental el ensayo de las soluciones.

Observaciones:

Para idénticos edificios las RF solicitadas para un elemento varían de acuerdo a la CC, cuando deberían idénticas, lo que sucede es que se tienen incendios esperados distintos.

Las RF de un elemento, parte de una oficina varía con la altura, ello tiene que ver con el riesgo, entendido como sigue:

$$R = \text{Probabilidad de falla} \times \text{Costo}$$



Que significa resistencia al fuego de un elemento?



Para encontrar directrices claras acerca de los tamaños máximos de los recintos incendiables a fin de definir la estrategia de compartimentación hay que referirse a normas extranjeras.

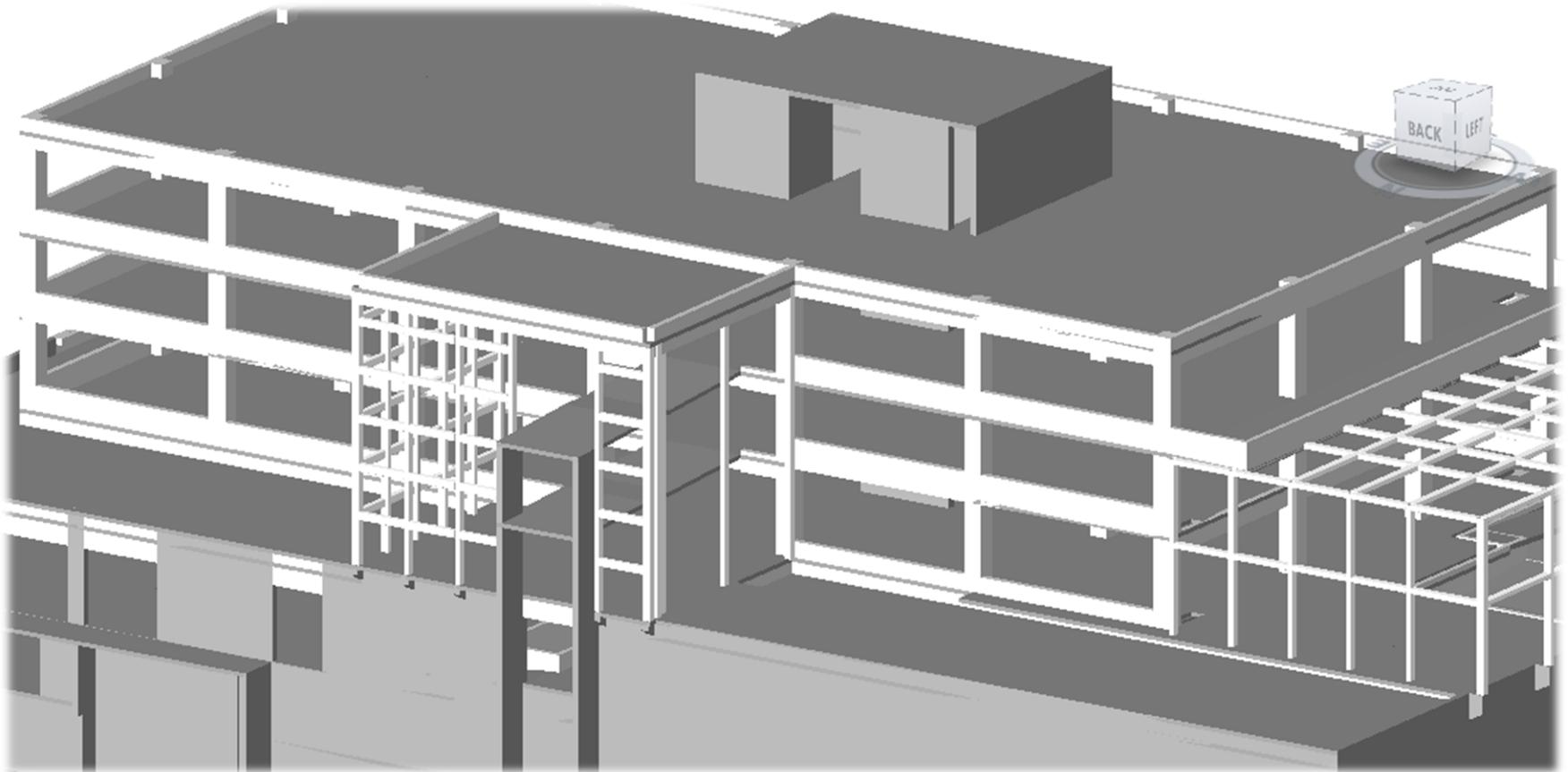
Es importante la consistencia, que sentido la integridad de las losas si los ductos no se sellan y las escaleras son abiertas?





Conceptos básicos

- *Tipos de elementos*





Conceptos básicos

- *Tipos de elementos y sus solicitaciones*

Elemento	Comportamiento Estático	Comportamiento Sísmico	Comportamiento Incendio
Columnas	C	C – M – V	C
Vigas	M – V	M – V	M
Losas	M	M – V	M
Muros	C	C – M – V	C ($M_{\text{débil}}$)



Propiedades de los materiales

Propiedades Mecánicas



Propiedades Mecánicas

- **Conceptos**

- **Tensión**

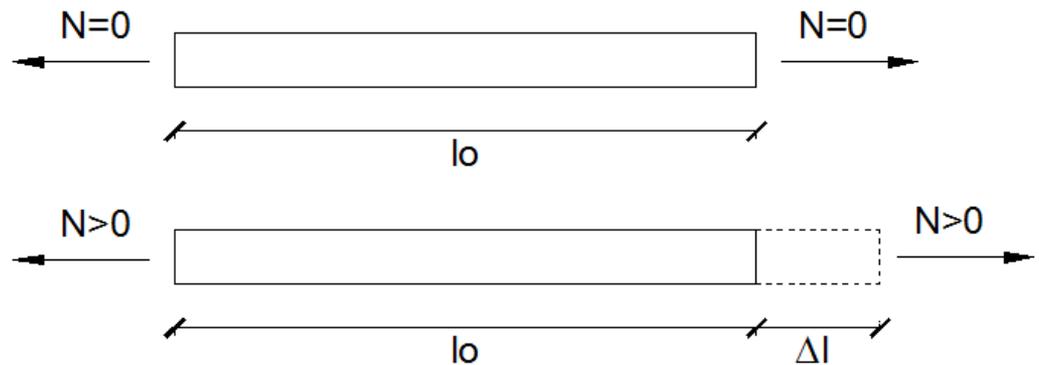
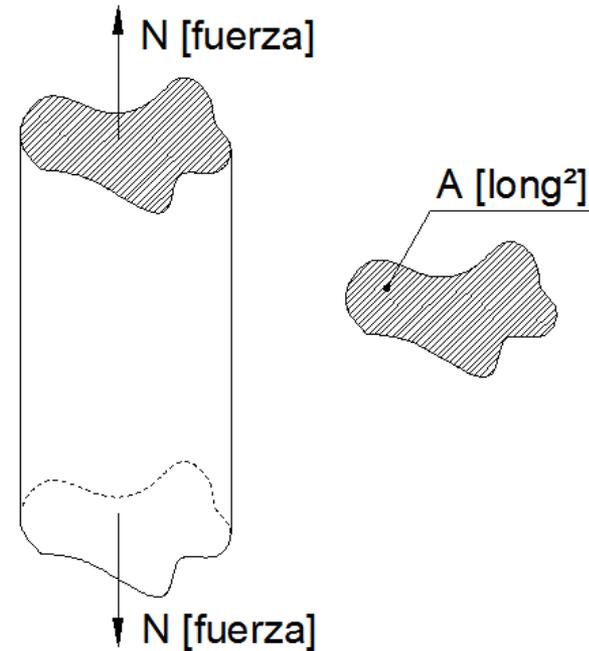
$$\sigma = \frac{N}{A}$$

- **Deformación Unitaria**

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o}$$

- **Ley de Hooke**

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$



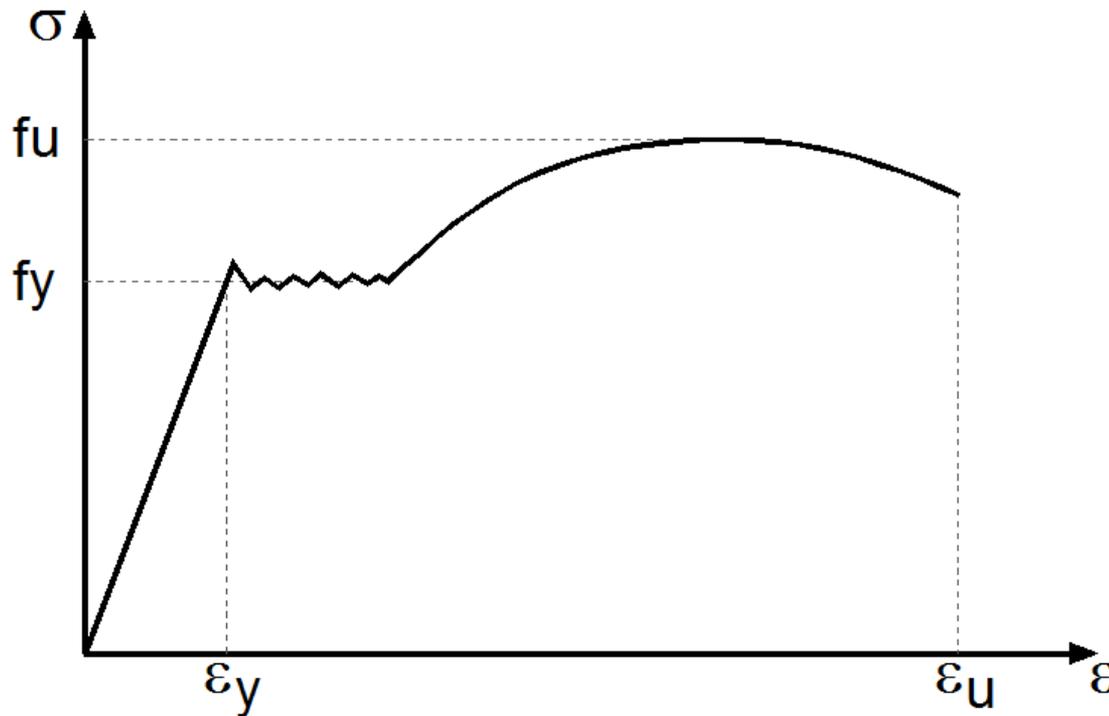


Acero de Refuerzo



Propiedades Mecánicas: Temperatura ambiente

- *Acero de refuerzo pasivo*
 - *Relación Tensión-Deformación real*

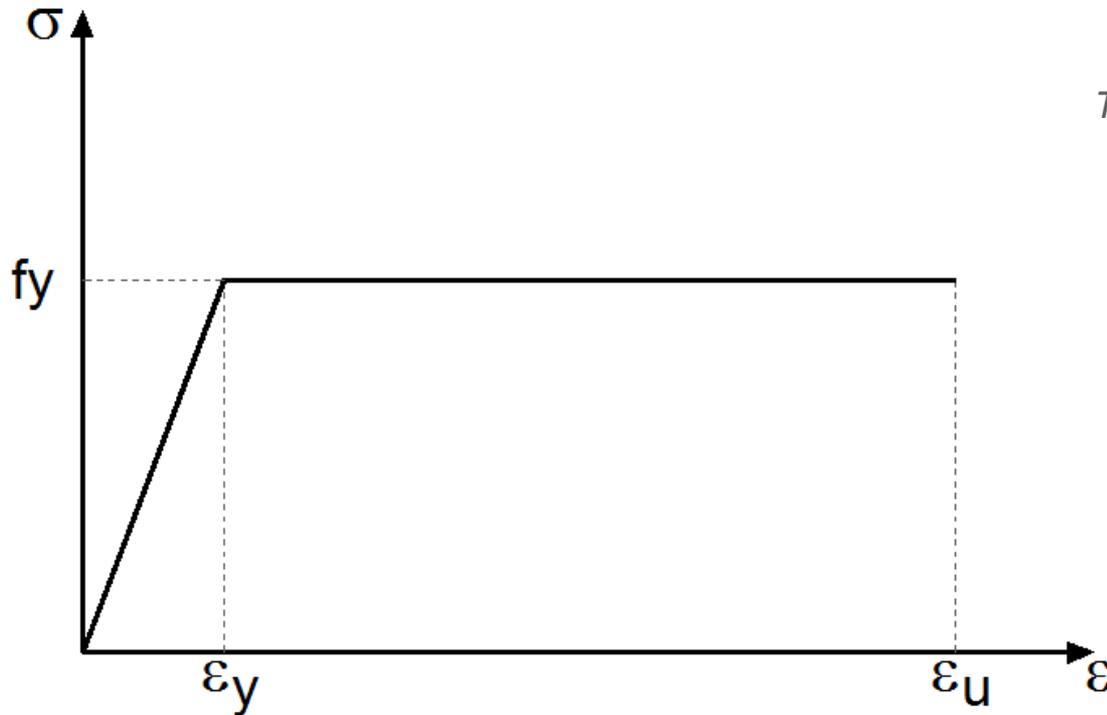


Tipo: A630-420H
 $f_y=420[\text{MPa}]$
 $f_u=630[\text{MPa}]$
 $E=200.000[\text{MPa}]$
 $\epsilon_y \approx 0.21\%$
 $\epsilon_u \approx 15\%-20\%$



Propiedades Mecánicas: Temperatura ambiente

- *Acero de refuerzo pasivo*
 - *Relación Tensión-Deformación de diseño*



Tipo: A630-420H

$f_y=420[\text{MPa}]$

$f_u=630[\text{MPa}]$

$E=200.000[\text{MPa}]$

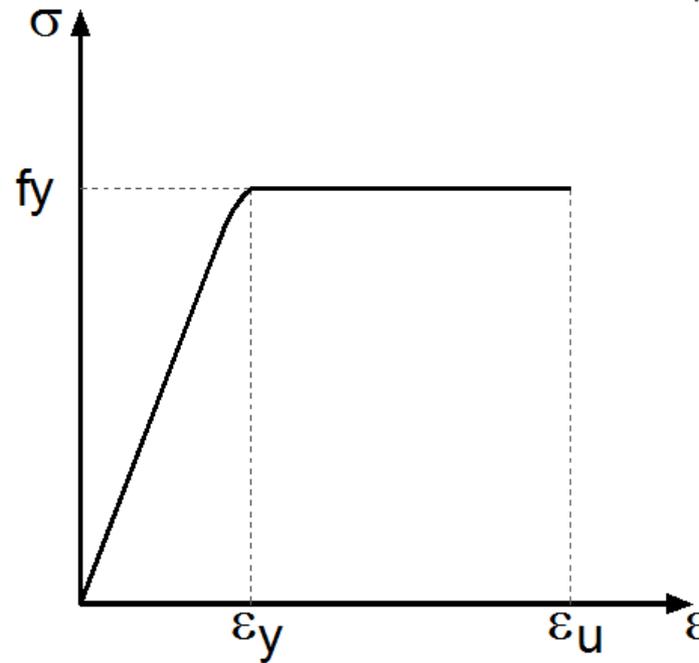
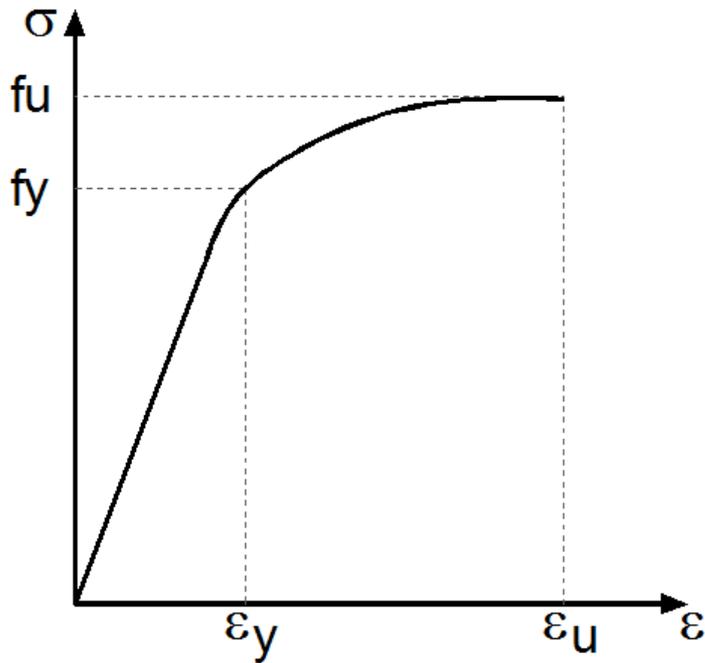
$\epsilon_y \approx 0.21\%$

$\epsilon_u \approx 15\%-20\%$



Propiedades Mecánicas: Temperatura ambiente

- *Acero de refuerzo activo (pre y post tensado)*
 - *Relación Tensión-Deformación, real y de diseño*



Tipo: A416 Gr270
 $f_y=1680[\text{MPa}]$
 $f_u=1860[\text{MPa}]$
 $E=200.000[\text{MPa}]$
 $\epsilon_y \approx 1\%$
 $\epsilon_u \approx 10\%$



Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

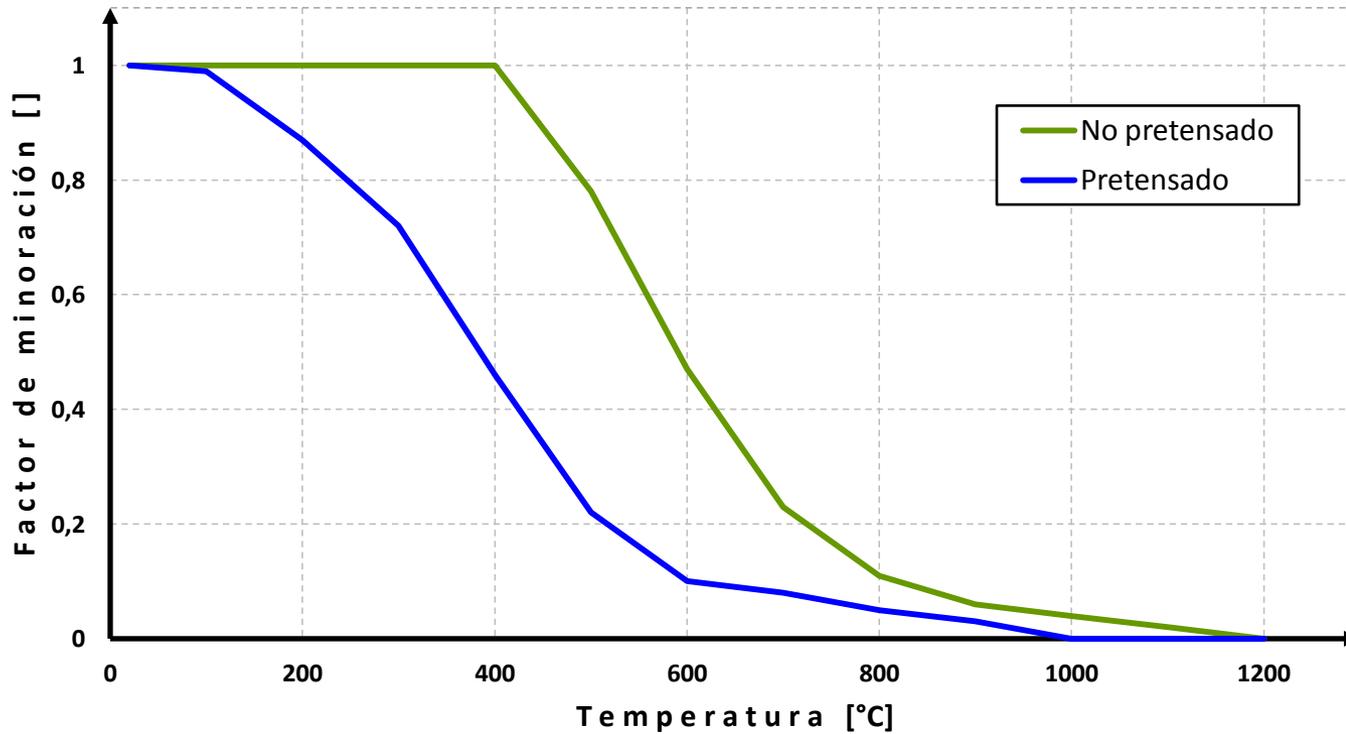
- *Acero de refuerzo pasivo: f_y , f_p y E .*

Steel Temperature θ [°C]	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	hot rolled	cold worked	hot rolled	cold worked	hot rolled	cold worked
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

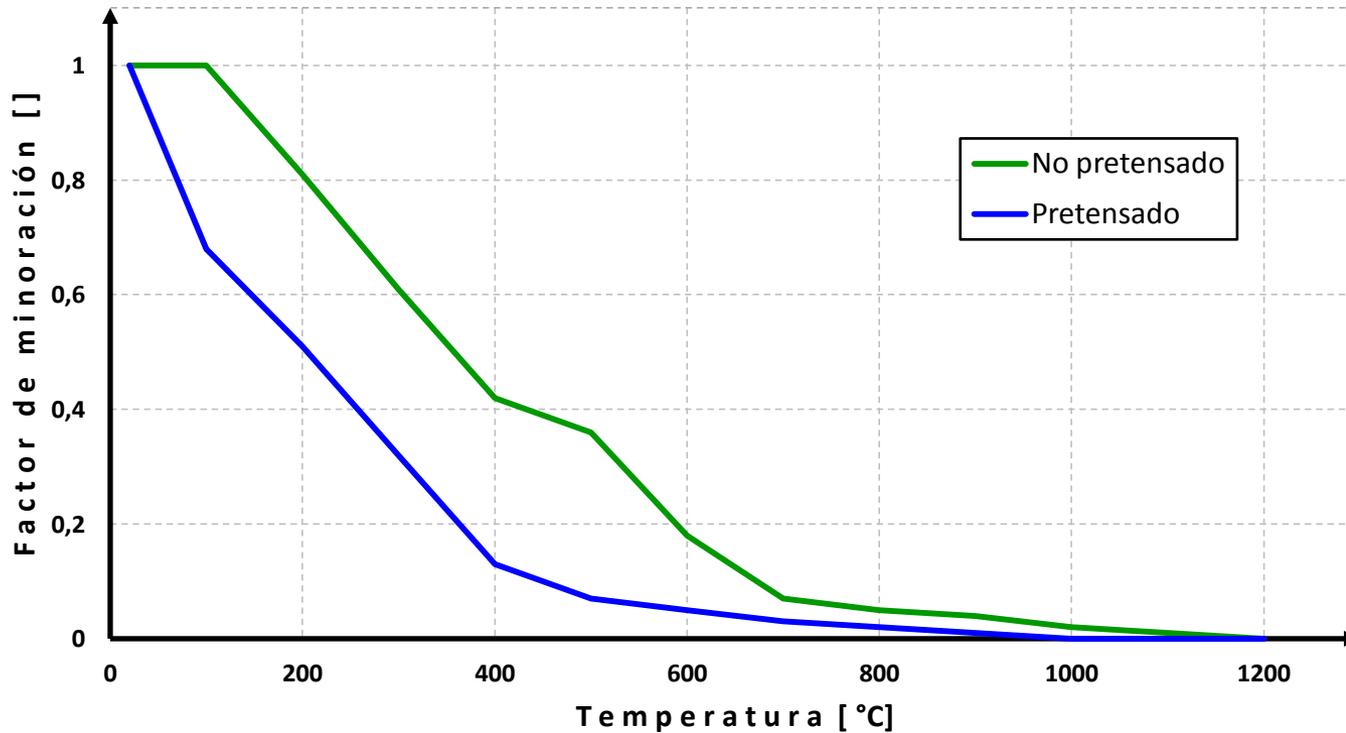
- *Acero de refuerzo activo y pasivo*
 - *Factores de modificación: Fluencia*





Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

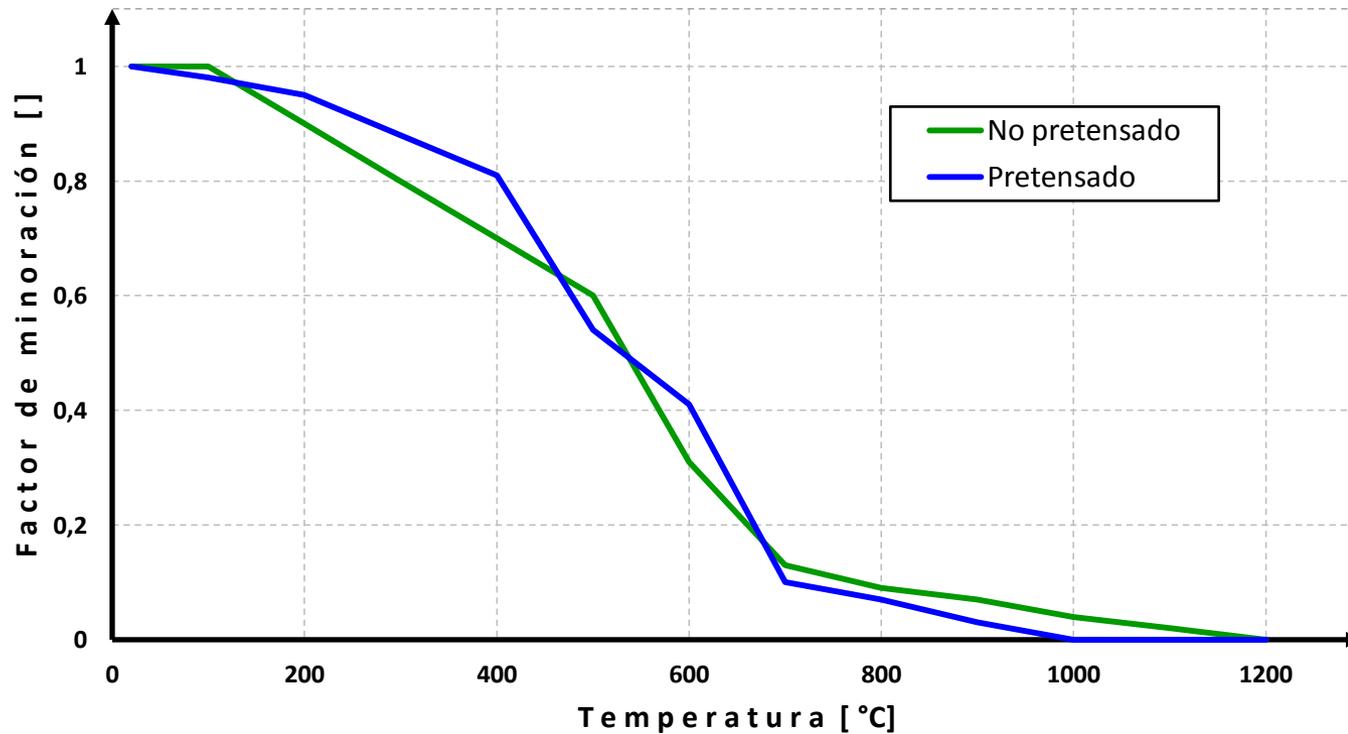
- *Acero de refuerzo activo y pasivo*
 - *Factores de modificación: Límite de Proporcionalidad*





Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

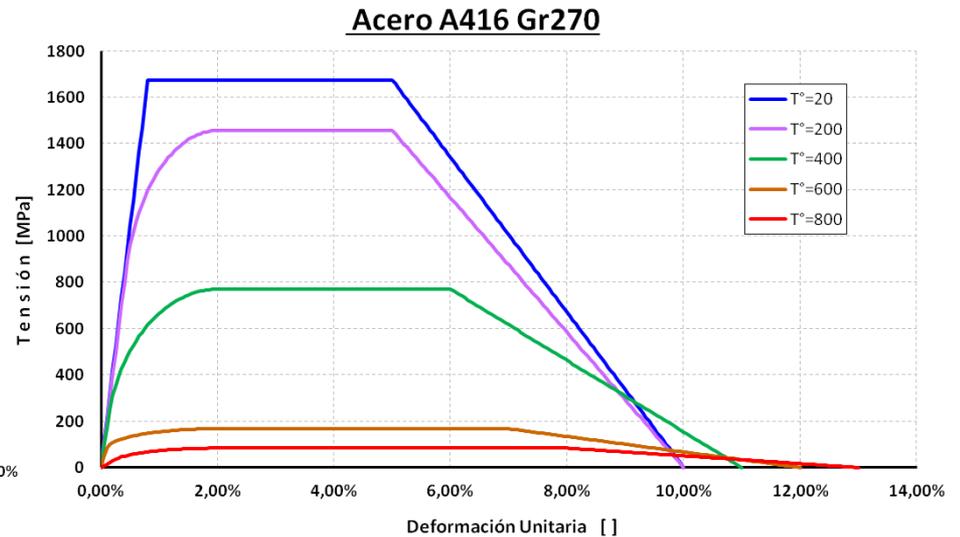
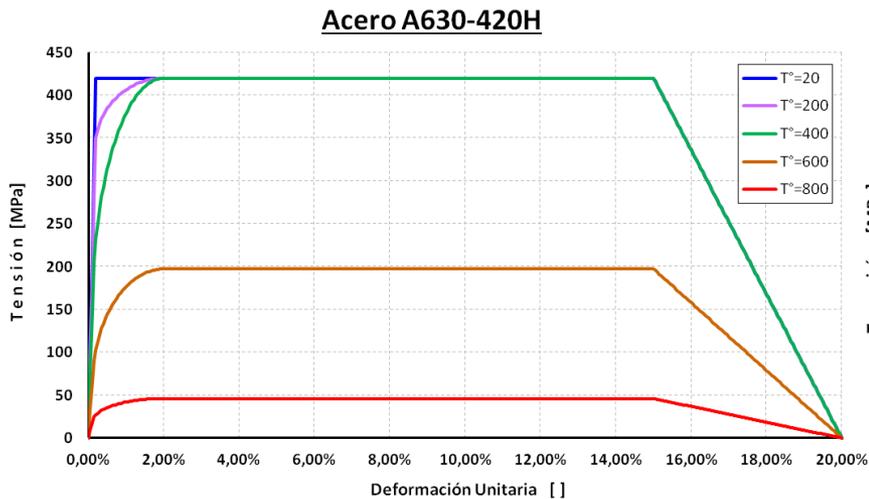
- *Acero de refuerzo activo y pasivo*
 - *Factores de modificación: Módulo Elástico*





Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

- *Acero de refuerzo pasivo y activo*
- *Curvas tensión-deformación*



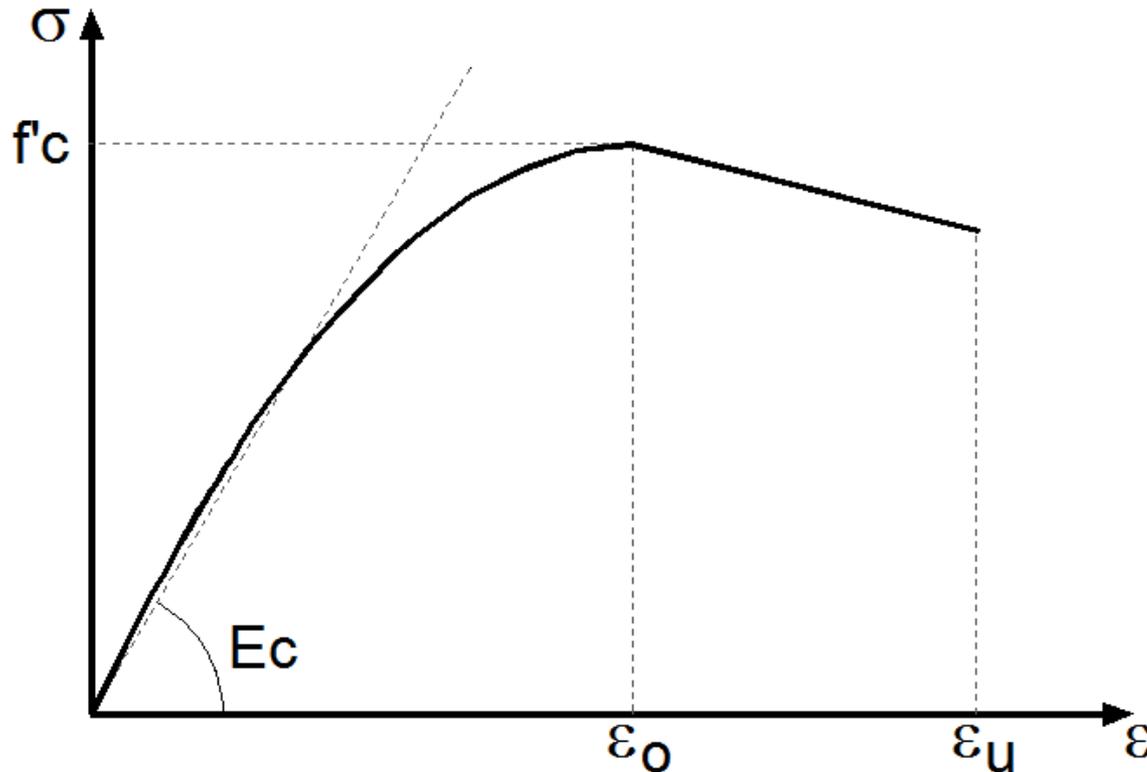


Hormigón



Propiedades Mecánicas: Temperatura ambiente

- Hormigón
 - Relación Tensión-Deformación de diseño (Hognestad, Kent-Park)



Tipo: H35

$$f'c = 30[\text{MPa}]$$

$$E \approx 26.000[\text{MPa}]$$

$$\epsilon_0 \approx 0.2\%$$

Def. max. no confinado

$$\epsilon_u \approx 0.38\%$$

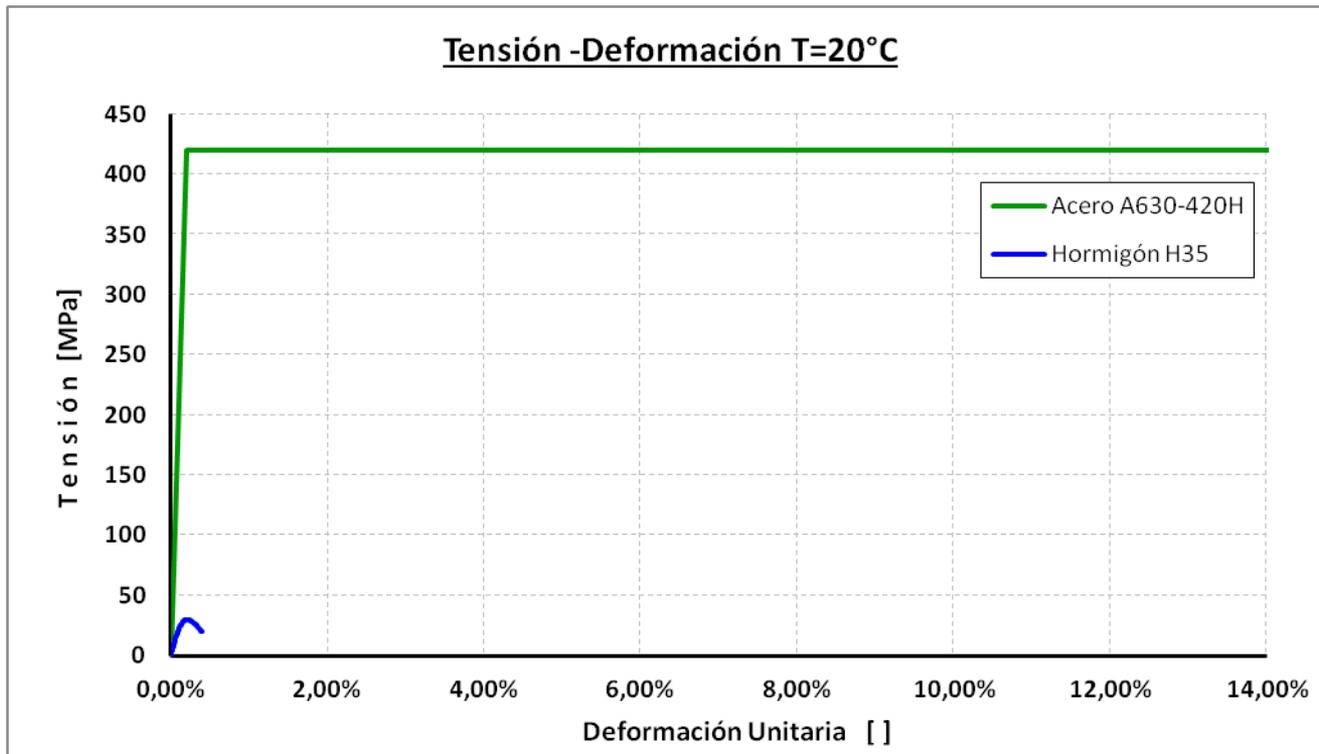
Def. max. confinado

$$\epsilon_u \approx 1.6\%$$



Propiedades Mecánicas: Temperatura ambiente

- *Hormigón v/s Acero en perspectiva*

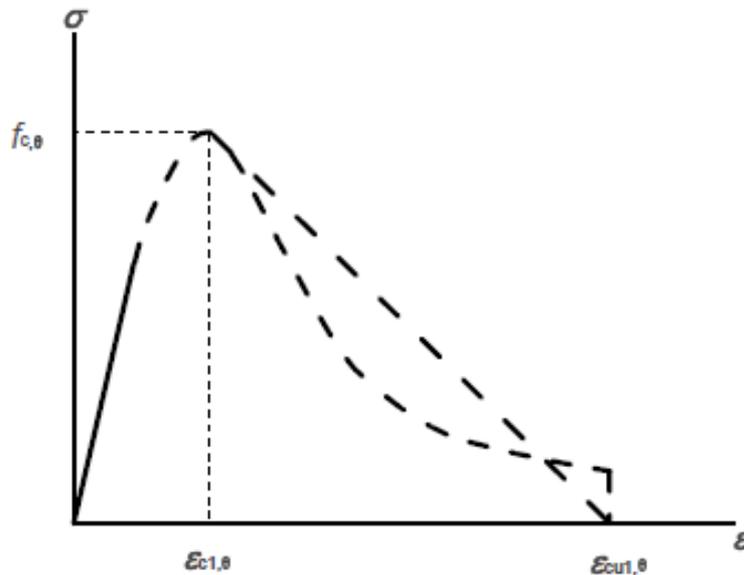




Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

• *Modelo matemático.*

Range	Stress $\sigma(\theta)$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	$\frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left(2 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$
$\varepsilon_{c1(\theta)} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$	For numerical purposes a descending branch should be adopted. Linear or non-linear models are permitted.



Concrete temp. θ [°C]	Siliceous aggregates		
	$f_{c,\theta} / f_{ck}$ [-]	$\varepsilon_{c1,\theta}$ [-]	$\varepsilon_{cu1,\theta}$ [-]
1	2	3	4
20	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475
1200	0,00	-	-



Propiedades Mecánicas: Tablas Tensión v/s Deformación (Hormigón H35).

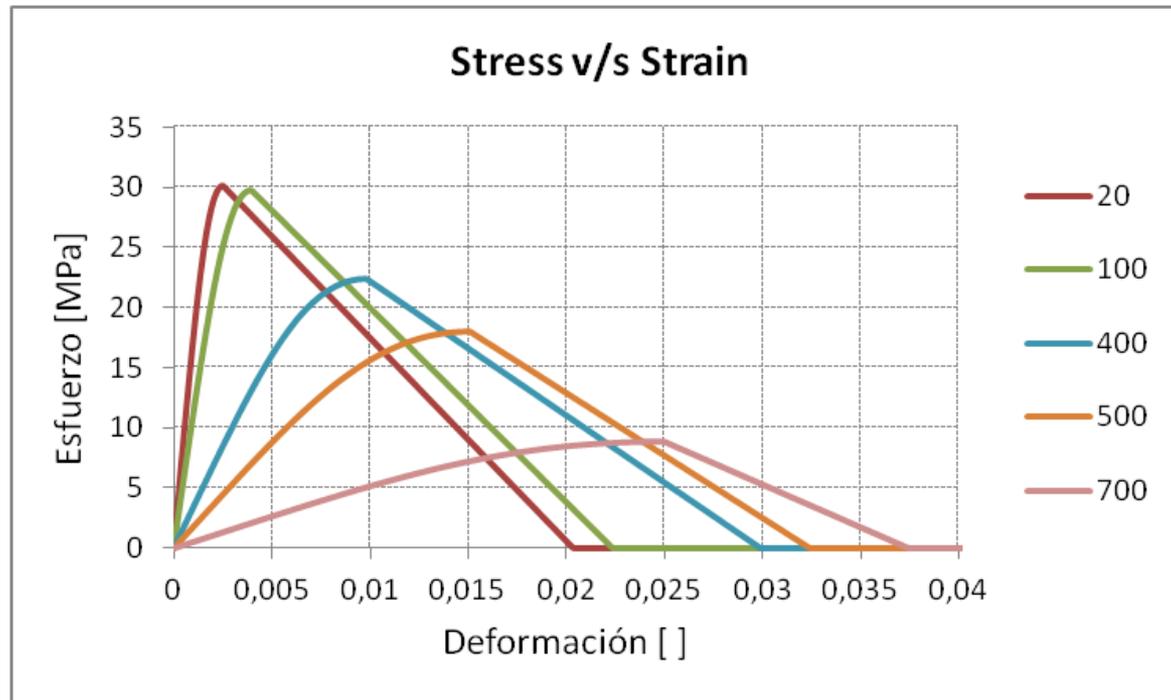
T	20	100	300	400	500	600	700	800	900	1000
e										
0,0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0005	9,0	5,6	2,7	1,7	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
0,0010	17,4	11,2	5,5	3,4	1,8	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1
0,0015	24,4	16,4	8,2	5,1	2,7	1,2	0,8	0,5	0,2	0,1
0,0020	28,7	21,1	10,8	6,8	3,6	1,6	1,1	0,6	0,3	0,1
0,0025	30,1	25,0	13,4	8,5	4,5	2,0	1,3	0,8	0,4	0,1
0,0030	29,3	27,7	15,8	10,1	5,3	2,4	1,6	0,9	0,4	0,2
0,0035	28,5	29,3	18,1	11,7	6,2	2,8	1,8	1,1	0,5	0,2
0,0040	27,6	29,7	20,1	13,2	7,1	3,2	2,1	1,2	0,6	0,2
0,0045	26,8	28,9	21,8	14,7	7,9	3,6	2,4	1,4	0,6	0,2
0,0050	25,9	28,1	23,3	16,0	8,8	4,0	2,6	1,5	0,7	0,3
0,0055	25,1	27,2	24,4	17,3	9,6	4,4	2,9	1,7	0,8	0,3
0,0060	24,3	26,4	25,3	18,4	10,4	4,7	3,1	1,8	0,9	0,3
0,0065	23,4	25,6	25,8	19,4	11,2	5,1	3,4	1,9	0,9	0,4
0,0070	22,6	24,8	26,0	20,2	11,9	5,5	3,6	2,1	1,0	0,4
0,0075	21,7	24,0	25,5	21,0	12,6	5,9	3,9	2,2	1,1	0,4
0,0080	20,9	23,2	24,8	21,5	13,3	6,3	4,1	2,4	1,1	0,4
0,0085	20,0	22,4	24,2	21,9	13,9	6,6	4,4	2,5	1,2	0,5
0,0090	19,2	21,6	23,6	22,2	14,5	7,0	4,6	2,7	1,3	0,5
0,0095	18,3	20,8	22,9	22,3	15,1	7,4	4,9	2,8	1,3	0,5
0,0100	17,5	20,0	22,3	22,2	15,6	7,7	5,1	2,9	1,4	0,5
0,0105	16,7	19,2	21,6	21,6	16,1	8,1	5,3	3,1	1,5	0,6
0,0110	15,8	18,4	21,0	21,1	16,5	8,4	5,6	3,2	1,5	0,6
0,0115	15,0	17,6	20,4	20,5	16,8	8,7	5,8	3,3	1,6	0,6
0,0120	14,1	16,8	19,7	20,0	17,1	9,1	6,0	3,4	1,6	0,6
0,0125	13,3	15,9	19,1	19,4	17,4	9,4	6,2	3,6	1,7	0,7
0,0130	12,4	15,1	18,4	18,8	17,6	9,7	6,4	3,7	1,7	0,7
0,0135	11,6	14,3	17,8	18,3	17,8	10,0	6,6	3,8	1,8	0,7
0,0140	10,7	13,5	17,2	17,7	17,9	10,3	6,8	3,9	1,8	0,7
0,0145	9,9	12,7	16,5	17,2	18,0	10,5	7,0	4,0	1,9	0,7

T	20	100	300	400	500	600	700	800	900	1000
e										
0,0150	9,1	11,9	15,9	16,6	18,0	10,8	7,1	4,1	1,9	0,8
0,0155	8,2	11,1	15,2	16,1	17,6	11,0	7,3	4,2	2,0	0,8
0,0160	7,4	10,3	14,6	15,5	17,0	11,3	7,5	4,3	2,0	0,8
0,0165	6,5	9,5	14,0	14,9	16,5	11,5	7,6	4,4	2,1	0,8
0,0170	5,7	8,7	13,3	14,4	16,0	11,7	7,7	4,4	2,1	0,8
0,0175	4,8	7,9	12,7	13,8	15,5	11,9	7,9	4,5	2,1	0,8
0,0180	4,0	7,1	12,0	13,3	15,0	12,1	8,0	4,6	2,2	0,8
0,0185	3,2	6,3	11,4	12,7	14,5	12,3	8,1	4,7	2,2	0,9
0,0190	2,3	5,5	10,8	12,2	13,9	12,4	8,2	4,7	2,2	0,9
0,0195	1,5	4,6	10,1	11,6	13,4	12,5	8,3	4,8	2,3	0,9
0,0200	0,6	3,8	9,5	11,1	12,9	12,7	8,4	4,8	2,3	0,9
0,0205	0,0	3,0	8,8	10,5	12,4	12,8	8,5	4,9	2,3	0,9
0,0210	0,0	2,2	8,2	9,9	11,9	12,9	8,5	4,9	2,3	0,9
0,0215	0,0	1,4	7,6	9,4	11,3	13,0	8,6	4,9	2,3	0,9
0,0220	0,0	0,6	6,9	8,8	10,8	13,1	8,6	5,0	2,4	0,9
0,0225	0,0	0,0	6,3	8,3	10,3	13,1	8,7	5,0	2,4	0,9
0,0230	0,0	0,0	5,6	7,7	9,8	13,2	8,7	5,0	2,4	0,9
0,0235	0,0	0,0	5,0	7,2	9,3	13,2	8,8	5,0	2,4	0,9
0,0240	0,0	0,0	4,4	6,6	8,8	13,2	8,8	5,0	2,4	0,9
0,0245	0,0	0,0	3,7	6,0	8,2	13,3	8,8	5,0	2,4	0,9
0,0250	0,0	0,0	3,1	5,5	7,7	13,2	8,8	5,0	2,4	0,9
0,0255	0,0	0,0	2,4	4,9	7,2	12,6	8,4	4,9	2,3	0,9
0,0260	0,0	0,0	1,8	4,4	6,7	11,9	8,1	4,7	2,3	0,9
0,0265	0,0	0,0	1,2	3,8	6,2	11,2	7,7	4,5	2,2	0,9
0,0270	0,0	0,0	0,5	3,3	5,6	10,6	7,4	4,4	2,1	0,8
0,0275	0,0	0,0	0,0	2,7	5,1	9,9	7,0	4,2	2,0	0,8
0,0280	0,0	0,0	0,0	2,1	4,6	9,3	6,7	4,0	2,0	0,8
0,0285	0,0	0,0	0,0	1,6	4,1	8,6	6,3	3,9	1,9	0,8
0,0290	0,0	0,0	0,0	1,0	3,6	7,9	6,0	3,7	1,8	0,7



Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

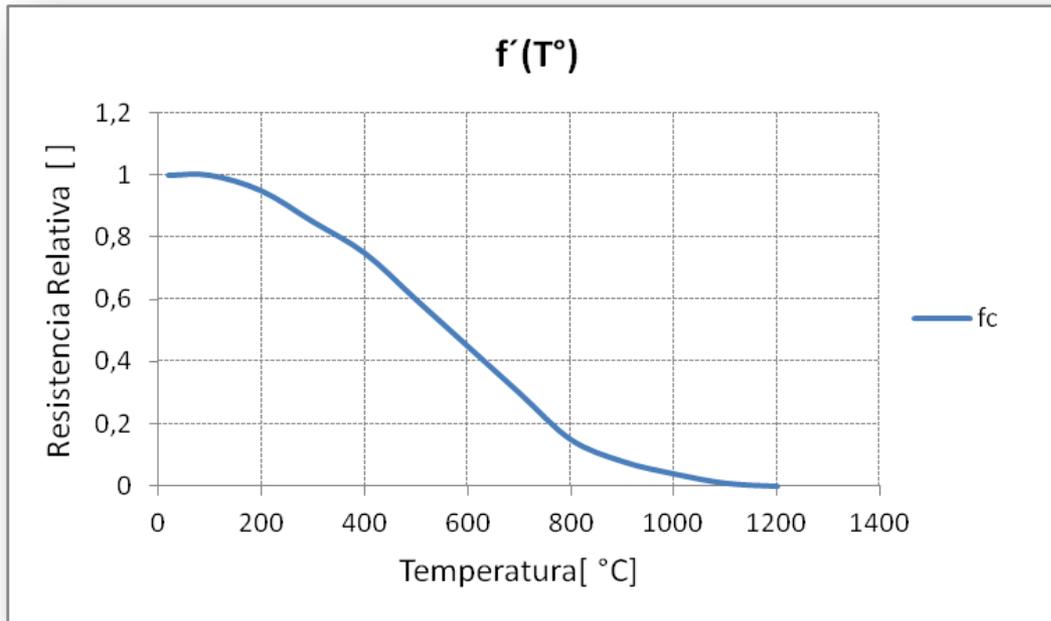
- *Hormigón*
 - *Curvas Tensión-Deformación (Eurocódigo 2).*





Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

- *Hormigón*
 - *Factores de modificación: Resistencia máxima*



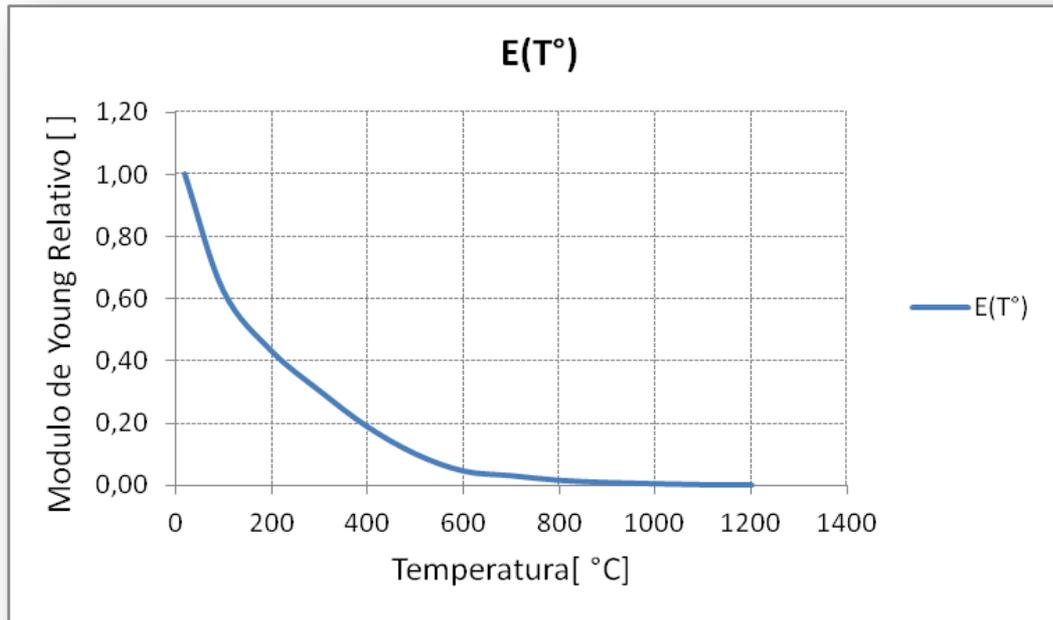
T	fc
20	1
100	1
200	0,95
300	0,85
400	0,75
500	0,6
600	0,45
700	0,3
800	0,15
900	0,08
1000	0,04
1100	0,01
1200	0

Eurocode 2.



Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

- *Hormigón*
 - *Factores de modificación: Módulo elástico*

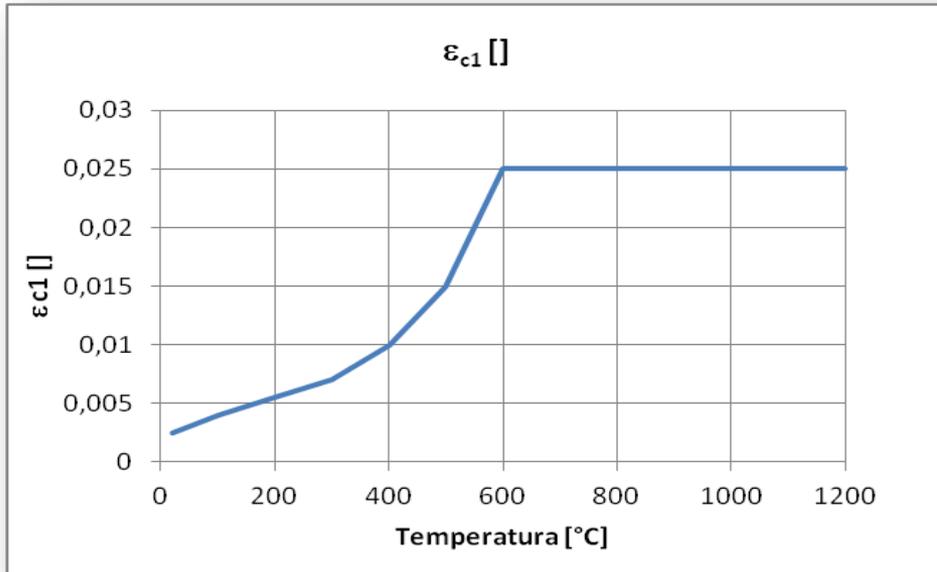


T	E(T°)
20	1,00
100	0,63
200	0,43
300	0,30
400	0,19
500	0,10
600	0,05
700	0,03
800	0,02
900	0,01
1000	0,00
1100	0,00
1200	0,00



Propiedades Mecánicas: Altas Temperaturas

- *Hormigón*
 - *Factores de modificación: Deformación admisible*



T	ϵ_{c1}
20	0,0025
100	0,004
200	0,0055
300	0,007
400	0,01
500	0,015
600	0,025
700	0,025
800	0,025
900	0,025
1000	0,025
1100	0,025
1200	0,025

Eurocódigo 2



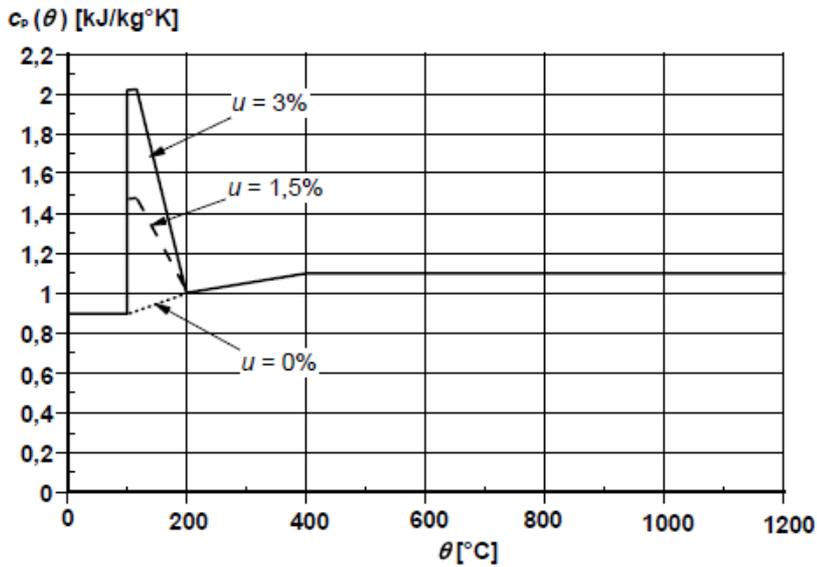
Propiedades de los materiales

Propiedades Térmicas

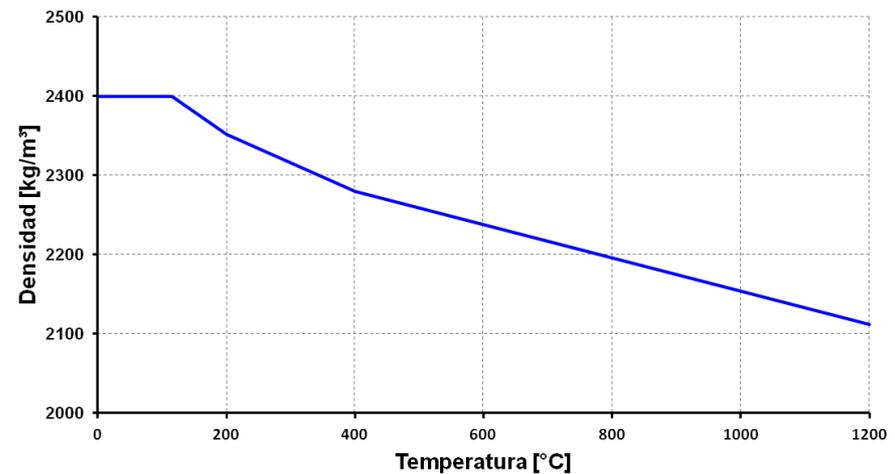


Propiedades térmicas del hormigón

- *Calor Específico (humedad 0%)*
 - *Definición: es la cantidad de calor necesario para elevar en una unidad de temperatura una unidad de masa.*
- *Densidad*
 - *Definición: es la cantidad de masa contenida en una unidad de volumen.*



900-1100 [J/Kg K]

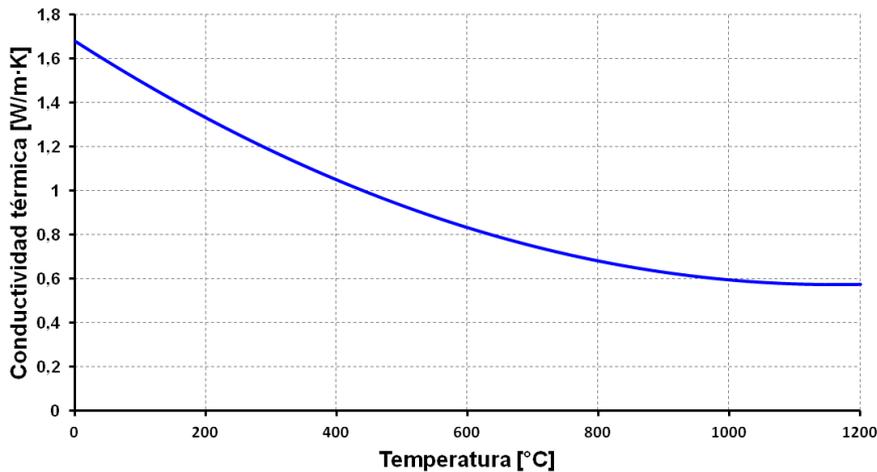


2400-2000 [Kg/m3]

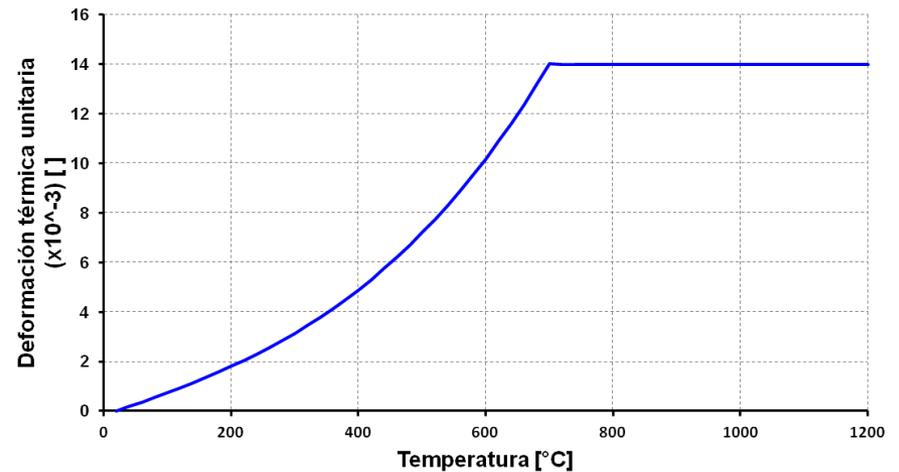


Propiedades térmicas del hormigón

- *Conductividad térmica*
 - *Definición: es la capacidad de un material de conducir el calor a través de él.*
- *Dilatación térmica*
 - *Definición: es la cambio del largo natural por efecto de la temperatura.*



$1.6 - 0.6 \text{ [W/mK]}$



$0 - 0.014 \text{ []}$

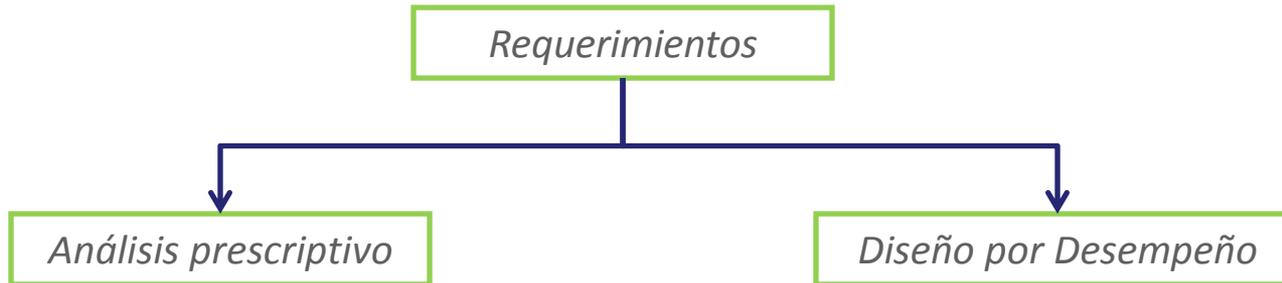


Resistencia al Fuego

Satisfaciendo los requerimientos



Para cumplir los requerimientos



La alternativa prescriptiva tiene relación con el diseño en base a las recomendaciones normativas.

La alternativa basada en desempeño corresponde a la opción de cálculo. Se determinan los requerimientos, se determina el modo de falla y la resistencia en dicho punto. Aquí se debe demostrar el buen comportamiento del sistema.



Resistencia al Fuego

Procedimiento Prescriptivo



Método prescriptivo: Muros

Espesor mínimo de una partición por criterios térmicos.

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm)			
	Wall thickness/axis distance for			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	wall exposed on one side	wall exposed on two sides	wall exposed on one side	wall exposed on two sides
1	2	3	4	5
REI 30	100/10*	120/10*	120/10*	120/10*
REI 60	110/10*	120/10*	130/10*	140/10*
REI 90	120/20*	140/10*	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

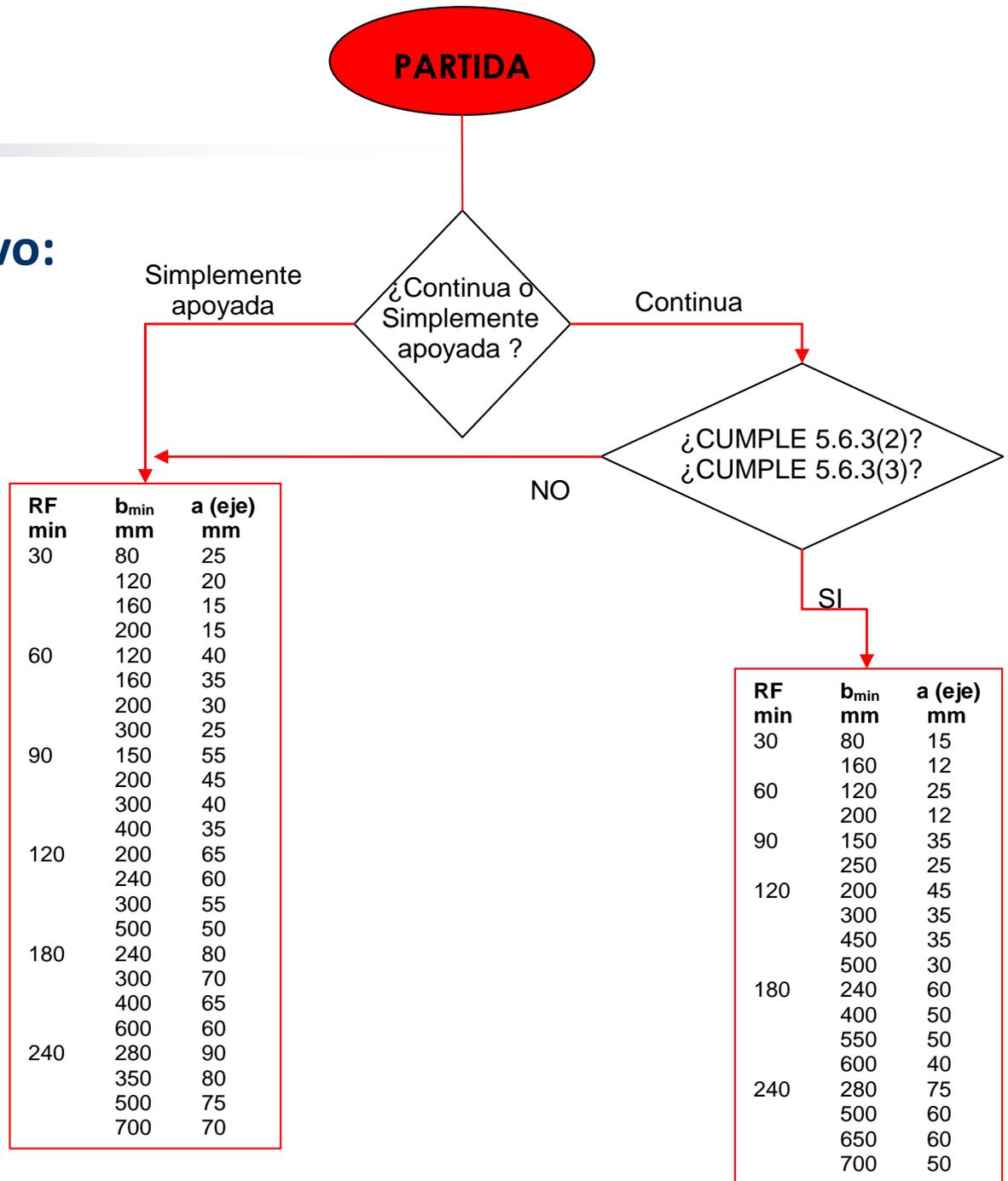
Note: For the definition of μ_{fi} see 5.3.2 (3).

Standard fire resistance	Minimum wall thickness (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

El diseño de muros esta controlado por el factor de utilización μ y del numero de lados expuestos al fuego.

Método prescriptivo: Vigas

El diseño de vigas esta controlado por la condición de apoyos y de si existe posibilidad de redistribución.





Método prescriptivo

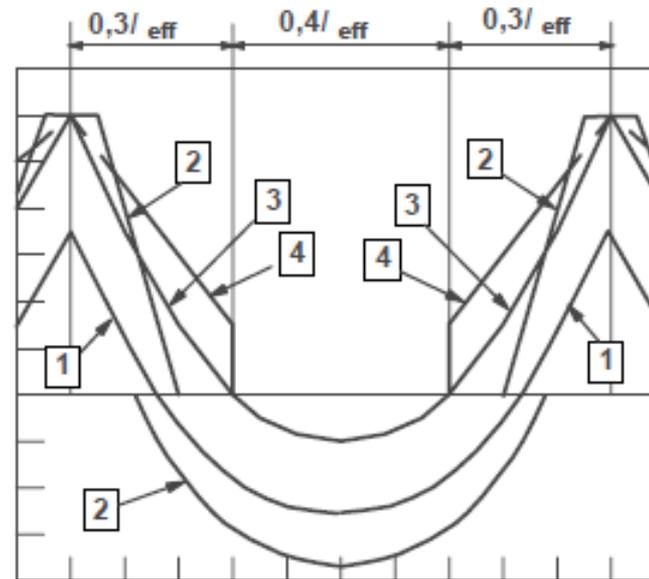
• Vigas

La armadura negativa debe cubrir **un tercio de la luz de la viga** en la razón descrita.

En definitiva, se requiere que **un 25% del refuerzo requerido en el apoyo** alcance el tercio de la luz y la reducción sea lineal.

Esto permite la **redistribución de momentos** una vez rotulado el centro de la viga.

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) \cdot (1 - 2,5x/l_{eff})$$



Explanation:

- 1 Diagram of bending moments for the actions in a fire situation at $t = 0$
- 2 Envelope line of acting bending moments to be resisted by tensile reinforcement according to EN 1992-1-1
- 3 Diagram of bending moments in fire conditions
- 4 Envelope line of resisting bending moments according to Expression (5.11)



Método prescriptivo: Losas

Resistencia al fuego	Dimensiones mínimas			
	Espesor	$l_y \gg l_x$	$l_y/l_x < 1.5$	$1.5 < l_y/l_x < 2$
F30	60	10	10	10
F60	80	20	10	15
F90	100	30	15	20
F120	120	40	20	25
F180	150	55	30	40
F240	175	65	40	50
[min]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]

El recubrimiento pedido para losas depende del factor de forma l_y/l_x . Este parámetro indica si la losa trabaja en una o dos direcciones.

Cuanto más cuadrada la losa, se requiere de menor recubrimiento, ya que de esta forma las cargas se distribuyen en los 4 bordes.

Cuando las losas tienden a ser rectangulares la cargas tienden a repartirse en solo dos de los bordes y por tanto los requerimientos son mayores.

*El **espesor mínimo** es idéntico que para el de muros y tiene relación con el **criterio de aislación térmica**.*



Método prescriptivo: Columnas

Prescriptivamente las columnas pueden calcularse utilizando tres métodos: A, B y C. Cada uno de estos métodos agrega variables para complejizar el análisis de manera progresiva.

Método A: Factor de Utilización.

Método B: Factor de Utilización y Cuantía mecánica.

Standard fire resistance	Minimum dimensions (mm) Column width b_{min} /axis distance a of the main bars			
	Column exposed on more than one side			Exposed on one side
	$\mu_{fi} = 0.2$	$\mu_{fi} = 0.5$	$\mu_{fi} = 0.7$	$\mu_{fi} = 0.7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R 180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R 240	350/61**	450/75**	-	295/70

** Minimum 8 bars
For prestressed columns the increase of axis distance according to 4.2.2. (4) should be noted.

Standard fire resistance	Mechanical reinforcement ratio ω	Minimum dimensions (mm). Column width b_{min} /axis distance a			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
		3	4	5	6
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100 0,500 1,000	150/25* 150/25* 150/25*	150/25* 150/25* 150/25*	200/30:250/25* 150/25* 150/25*	300/30:350/25* 200/30:250/25* 200/30:300/25*
R 60	0,100 0,500 1,000	150/30:200/25* 150/25* 150/25*	200/40:300/25* 150/35:200/25* 150/30:200/25*	300/40:500/25* 250/35:350/25* 200/40:400/25*	500/25* 350/40:550/25* 300/50:600/30
R 90	0,100 0,500 1,000	200/40:250/25* 150/35:200/25* 200/25*	300/40:400/25* 200/45:300/25* 200/40:300/25*	500/50:550/25* 300/45:550/25* 250/40:550/25*	550/40:600/25* 500/50:600/40 500/50:600/45
R 120	0,100 0,500 1,000	250/50:350/25* 200/45:300/25* 200/40:250/25*	400/50:550/25* 300/45:550/25* 250/50:400/25*	550/25* 450/50:600/25* 450/45:600/30	550/60:600/45 500/60:600/50 600/60
R 180	0,100 0,500 1,000	400/50:500/25* 300/45:450/25* 300/35:400/25*	500/60:550/25* 450/50:600/25* 450/50:550/25*	550/60:600/30 500/60:600/50 500/60:600/45	(1) 600/75 (1)
R 240	0,100 0,500 1,000	500/60:550/25* 450/45:500/25* 400/45:500/25*	550/40:600/25* 550/55:600/25* 500/40:600/30	600/75 600/70 600/60	(1) (1) (1)

* Normally the cover required by EN 1992-1-1 will control.

(1) Requires width greater than 600 mm. Particular assessment for buckling is required.

$$\omega = \frac{A_s}{bd} \cdot \frac{f_y}{f'_c}$$

Método prescriptivo: Columnas

Método C: Cuantía mecánica y Esbeltez.

$$\lambda = \frac{k \cdot L}{r}$$

Esbeltez.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

R: Radio de giro.

I: Inercia.

A: Área de la sección

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

b: ancho de la sección.

h: Altura de la sección.

λ	ω	F30		F60		F90		F120		F180		F240	
		b_{\min}	a										
30	0.1	150	25	200	30	250	30	300	45	400	50	500	40
				250	25	300	25	350	25	450	25	550	25
30	0.5	150	25	200	35	250	40	350	45	450	45	550	65
				250	25	300	25	500	25	500	25	600	50
30	1.0	150	25	200	40	250	45	400	40	500	50	550	70
				300	25	600	25	600	25	600	45	600	60
40	0.1	150	25	250	25	300	25	400	25	450	50	600	25
										500	25		
40	0.5	150	25	250	30	300	40	400	50	500	55	600	75
				300	25	400	25	550	25	600	50		
40	1.0	150	25	250	35	300	45	400	50	550	60	600	75
				350	25	600	30	600	30	600	55		
50	0.1	200	25	350	25	350	50	450	50	550	60	*	*
						400	25	500	25	600	35		
50	0.5	200	25	250	40	350	45	450	50	600	65	*	*
				350	25	550	25	550	25				
50	1.0	150	30	250	40	350	45	550	45	600	70	*	*
		200	25	350	25	600	35	600	40				
60	0.1	250	25	350	30	450	50	550	50	*	*	*	*
				400	25	550	25						
60	0.5	200	30	300	40	400	50	500	60	600	80	*	*
		250	25	450	25	600	35	600	35				
60	1.0	200	30	300	40	400	50	550	60	600	80	*	*
		250	25	600	25	600	40	600	50				
70	0.1	300	25	450	50	600	40	*	*	*	*	*	*
				550	25								
70	0.5	250	25	350	45	550	50	600	45	*	*	*	*
				600	25	600	45						
70	1.0	250	25	350	40	550	50	600	70	*	*	*	*
				450	35	600	45						
80	0.1	350	25	550	60	*	*	*	*	*	*	*	*
				600	35								
80	0.5	300	25	450	50	600	60	600	60	*	*	*	*
				600	35								
80	1.0	250	30	350	45	550	65	*	*	*	*	*	*
		300	25	450	40	600	55						



Resistencia al Fuego

Procedimiento por Desempeño (Simplificado)
Vigas

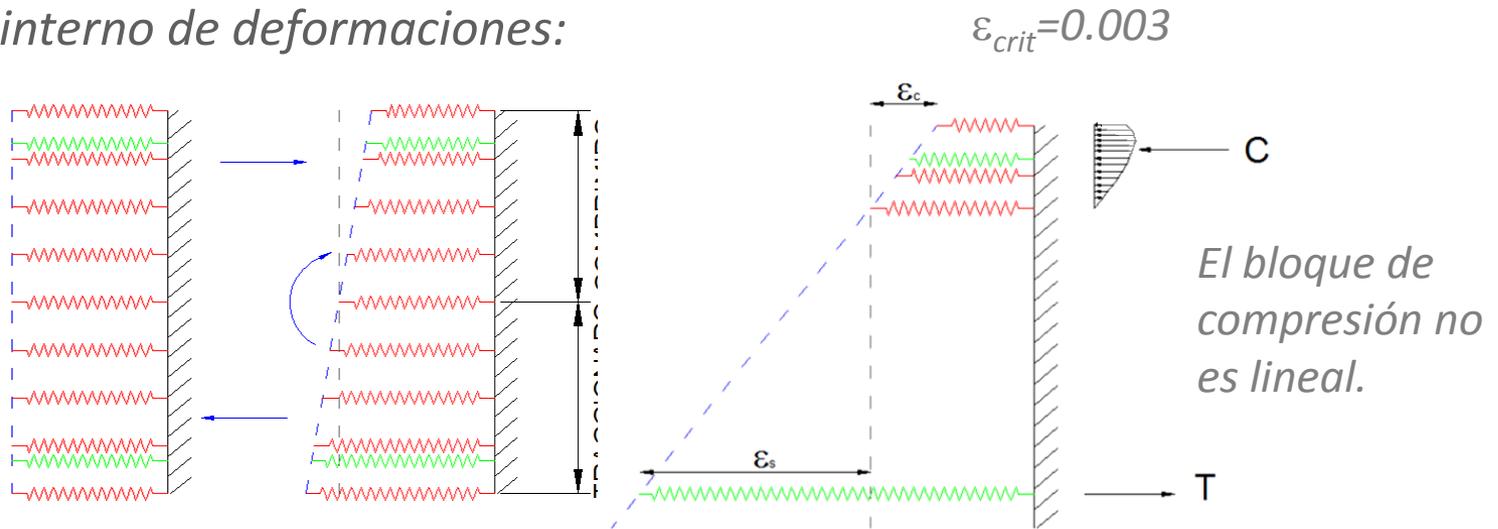


Procedimiento de cálculo de una viga de H.A a T° ambiente

- *Viga simplemente apoyada*



- *Perfil interno de deformaciones:*

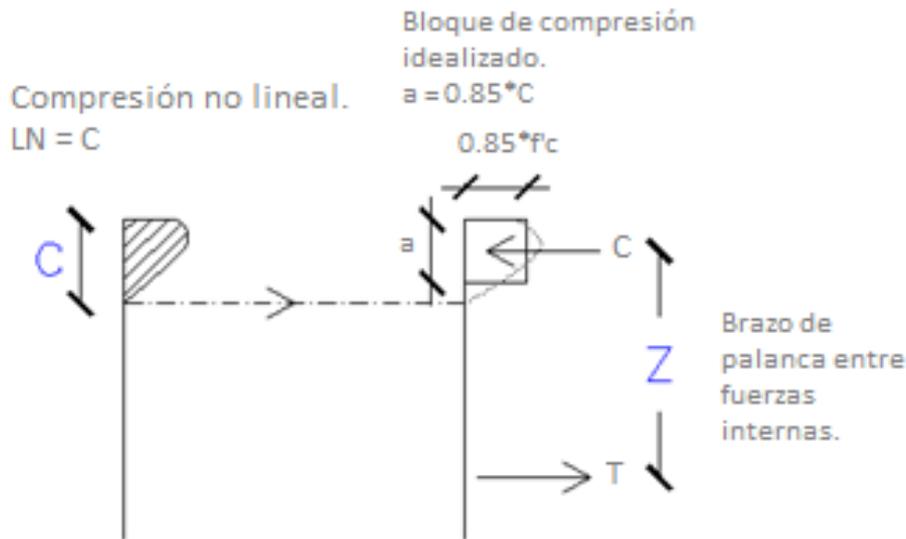


El hormigón en tracción está fisurado y por tanto no trabaja.



Procedimiento de cálculo de una viga de H.A a T° ambiente

- *Modelo cúbico de la compresión*



Balance de fuerzas: C=T

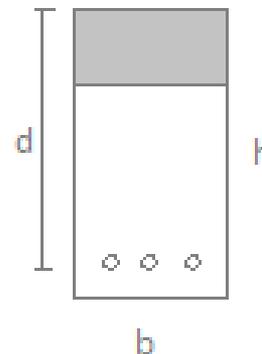
$$A_s f_y = a \cdot b \cdot 0.85 \cdot f'_c$$

$$a = \frac{A_s f_y}{b \cdot 0.85 \cdot f'_c}$$

Balance de momento

$$M_n = F \cdot Z \quad // \quad F = T \text{ o } C$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$





Ejemplo de cálculo (Mismo ejemplo usado en clase de acero)

Se tiene una losa de estacionamientos, de espesor 16cm, soportada por una grilla de vigas espaciadas cada 6m. Las vigas se asumen continuas (empotradas-empotradas).

$$M = \frac{q \cdot l^2}{12}$$

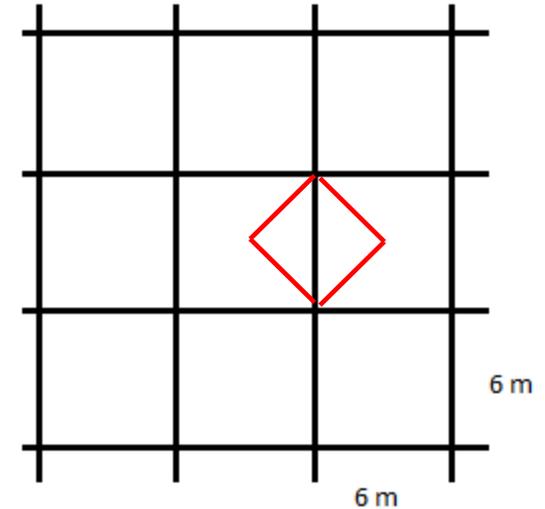
Solución a 20°C:

$$L=6m$$

$$\begin{aligned}
 q &= 1.6 * (\text{espaciamiento} * \text{Carga repartida}) + 1.2 * \text{Peso Propio} \\
 &= (36 \text{ m}^2/2) * (1.6 * 0.5 [\text{tonf/m}^2]) + 1.2 * (2.4 [\text{Tonf/m}^3] * 0.16 [\text{m}]) \\
 &= 18 \text{ m}^2 * (0.8 [\text{Tonf/m}^2] + 0.46 [\text{Tonf/m}^2]) / 6m \\
 &= 3.78 [\text{Tonf/m}]
 \end{aligned}$$

$$M^-_f = \frac{3.78 \cdot 6^2}{12} = 11.35 [\text{Tonf} \cdot \text{m}] \quad \text{Sobre el apoyo}$$

$$M^+_f = \frac{3.78 \cdot 6^2}{24} = 5.67 [\text{Tonf} \cdot \text{m}] \quad \text{Mitad de la luz}$$



OJO: Se despreció el PP de la viga.



Ejemplo de cálculo

Solicitud para incendio:

$L=6m$

$$\begin{aligned}
 q &= (\text{espaciamiento} * \text{Carga repartida}) + \text{Peso Propio} \\
 &= (36 \text{ m}^2/2) * (0.7 * 0.5 [\text{tonf/m}^2]) + 1.0 * (2.4 [\text{Tonf/m}^3] * 0.16 [\text{m}]) \\
 &= 18 * (0.35 [\text{Tonf/m}^2] + 0.38 [\text{Tonf/m}^2]) / 6m \\
 &= 2.19 [\text{Tonf/m}]
 \end{aligned}$$

$$M^-_f = \frac{2.19 \cdot 6^2}{12} = 6.57 [\text{Tonf} \cdot \text{m}] \quad \text{Sobre el apoyo}$$

$$M^+_f = \frac{2.19 \cdot 6^2}{24} = 3.29 [\text{Tonf} \cdot \text{m}] \quad \text{Mitad de la luz}$$



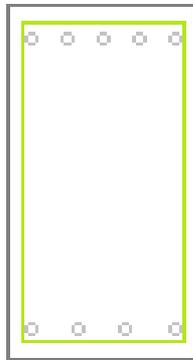
Dimensionamiento de viga a T° ambiente

Dimensionamiento:

$L=6m$ y por tanto altura viga aprox $L/10 = 60cm$

Ancho de viga en razón 1:2 con la altura $\Rightarrow b=30cm$

Detallamiento de armadura



Armadura Negativa
5 ϕ 12

Estribos ϕ 10

Armadura Positiva
4 ϕ 10

M+

fi	10	mm
N° barras	4	N°
As	3,14	cm ²
cuantia	0,19%	

b	30	cm
h	60	cm
rec	2	cm
Estribos	10	mm
d	56,5	cm

fy	4200	kg/cm ²
f'c	300	kg/cm ²
Fza Interna	13.195	kgf

a	1,72	cm
Brazo Z	55,64	cm
Mn	6,61	tonf*m

M-

fi	12	mm
N° barras	5	N°
As	5,65	cm ²
cuantia	0,33%	

b	30	cm
h	60	cm
rec	2	cm
Estribos	10	mm
d	56,4	cm

fy	4200	kg/cm ²
f'c	300	kg/cm ²
Fza Interna	23.750	kgf

a	3,10	cm
Brazo Z	54,85	cm
Mn	11,72	tonf*m

F.S.=0.9

Momento solicitante: 5.67 [tonf*m]

11.35 [Tonf*m].

60



Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio)

Asumamos por un momento que la resistencia pedida para este elemento es de 2hrs.

El método a utilizar será el “Método de la isoterma”.

Este método consiste en:

- 1) Considerar las barras de acero afectadas por la T° utilizando su $K_y(T^\circ) \cdot f_y$*
- 2) Reducir el hormigón útil en compresión, despreciando todo hormigón sobre 500°C .*

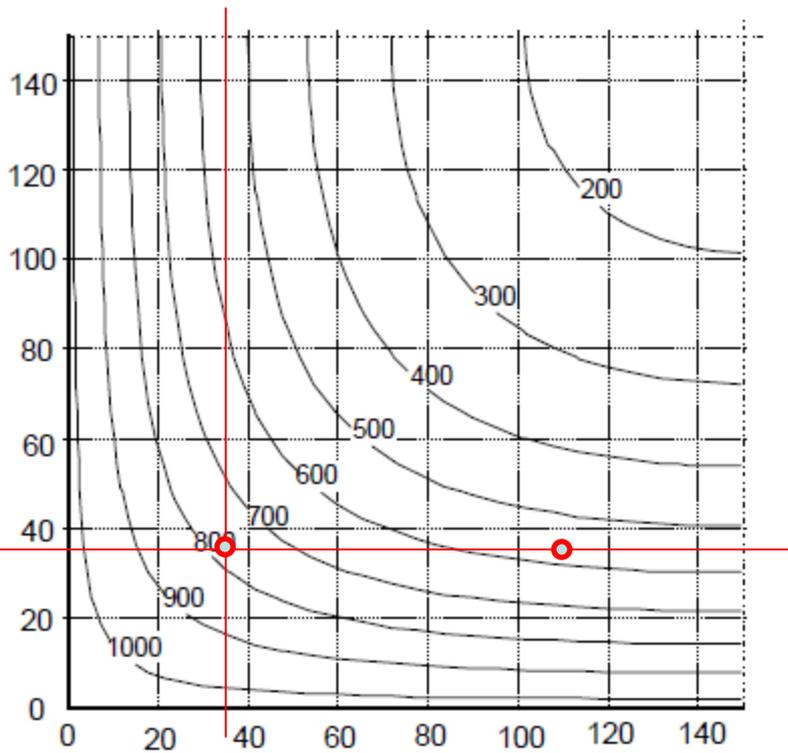
Solución:

1) En base a un análisis de transferencia de calor se requiere calcular la profundidad de la isoterma y la T° del acero. Por ahora utilizaremos los diagramas pre-calculados de Eurocódigo.



Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio)

Perfil de T° para $\frac{1}{4}$ de viga.



Solución: Ubicamos las armaduras en el diagrama. $d=56.5\text{cm}$ por tanto, el eje de las barras está a 36mm del borde, misma distancia lateral $(20+10+5)(\text{Rec}+\text{Estr}+D/2)$.

	T° [°C]	$K_y(T^\circ)$	$f_y(T^\circ)$	Fza. [kgf]	
Barras laterales	780	0,13	546	686	2 barras
Barras medias	550	0,63	2646	3.325	2 barras
Total				4.011	
				30%	

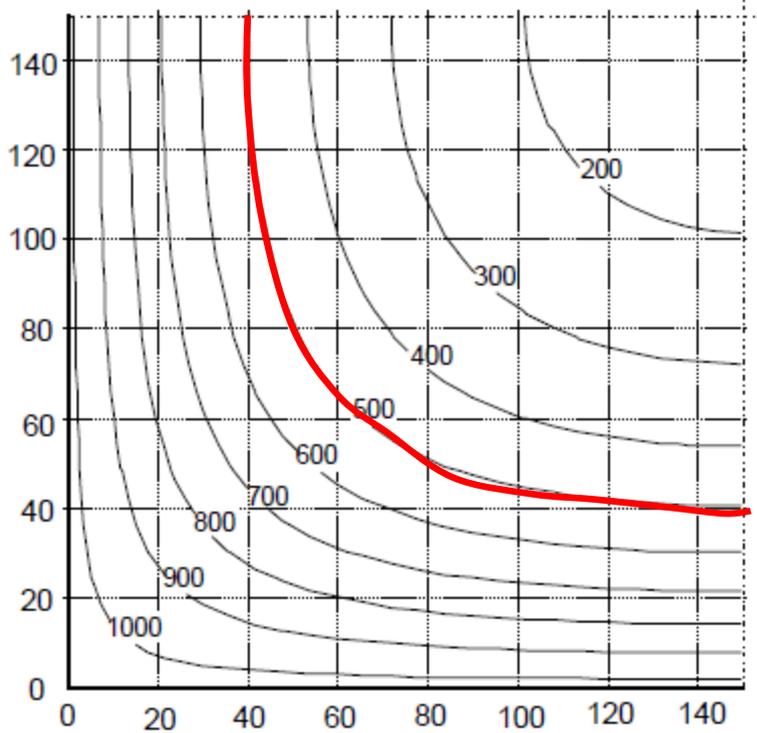
Steel Temperature θ [°C]	f_{s3} hot rolled
1	2
20	1,00
100	1,00
200	1,00
300	1,00
400	1,00
500	0,78
600	0,47
700	0,23
800	0,11
900	0,06
1000	0,04
1100	0,02
1200	0,00

Figure A.14: Temperature profiles (°C) for a column, $h \times b = 300 \times 300 - R120$

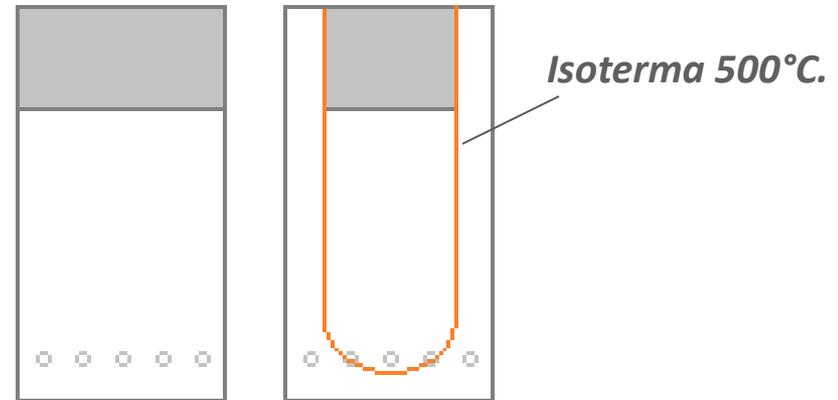


Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio)

Perfil de T° para ¼ de viga.



La isoterma 500°C se ubica a 40mm de la superficie de hormigón lo que reduce la zona comprimible por ambos costados.



*Lo único que se ve alterado es la forma de calcular "a", ya no depende de b sino de b-(2*Prof. Isotherma).*

P.Iso 500	4	cm
a	0,72	cm
Brazo Z	56,14	cm
Mn	2,25	tonf*m

F.S=1.0

La RF del elemento es inferior a F120.

Figure A.14: Temperature profiles (°C) for a column, $h \times b = 300 \times 300$ - R120

$$2.25 \text{ tonf*m} < 3.29 \text{ tonf*m}$$



Caso Chileno

- *Grietas por flexión positiva*

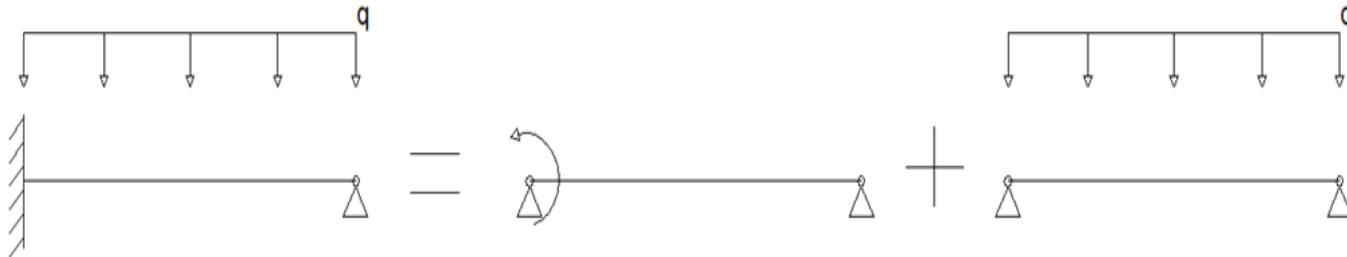




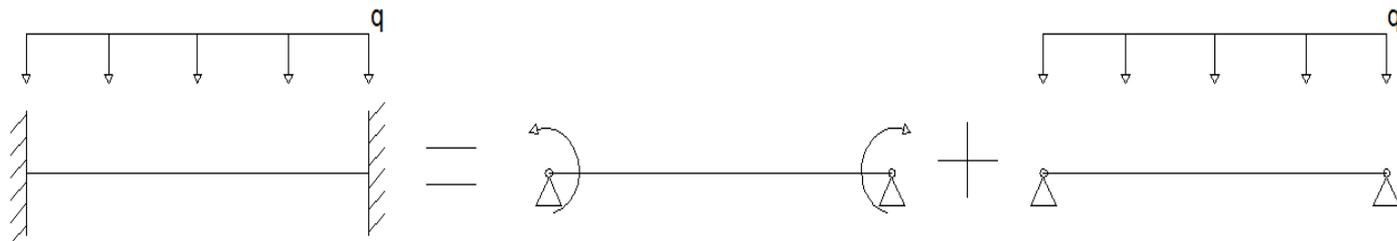
Ejemplo de cálculo (Redistribución de momentos)

La viga falla en momento positivo, la única opción de que este elemento resista las cargas de diseño es que los apoyos puedan tomar el diferencial de momento que la sección en flexión positiva no puede resistir.

1) Empotrado apoyado (apoyo simple – continuo)



2) Empotrado – Empotrado (continuo – continuo)

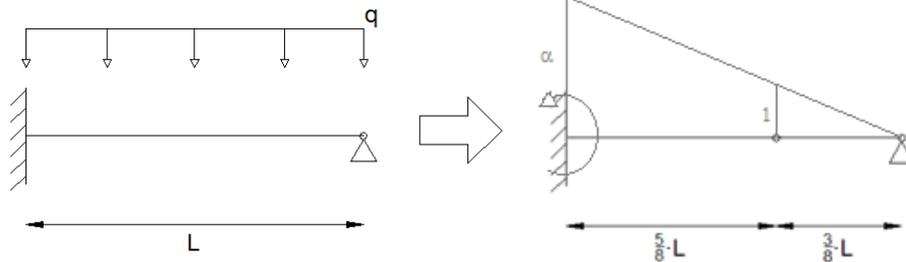




Ejemplo de cálculo (Redistribución de momentos)

La viga falla en momento positivo, la única opción de que este elemento resista las cargas de diseño es que los apoyos puedan tomar el diferencial de momento que la sección en flexión positiva no puede resistir.

1) Empotrado apoyado (apoyo simple – continuo)

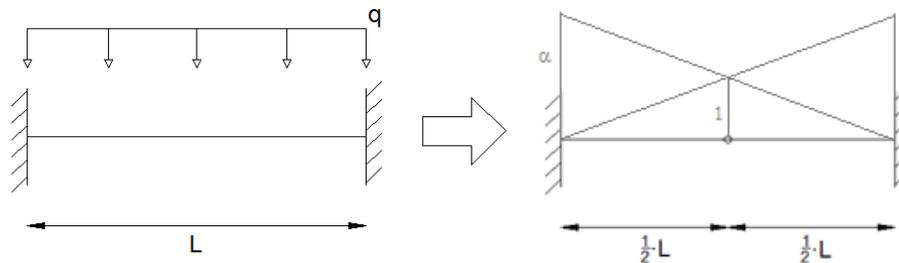


Situación inicial

Aparición de rótula plástica

$$\frac{\alpha}{L} = \frac{1}{\frac{3}{8} \cdot L} \quad \alpha = 2.67$$

2) Empotrado – Empotrado (continuo – continuo)



Situación inicial

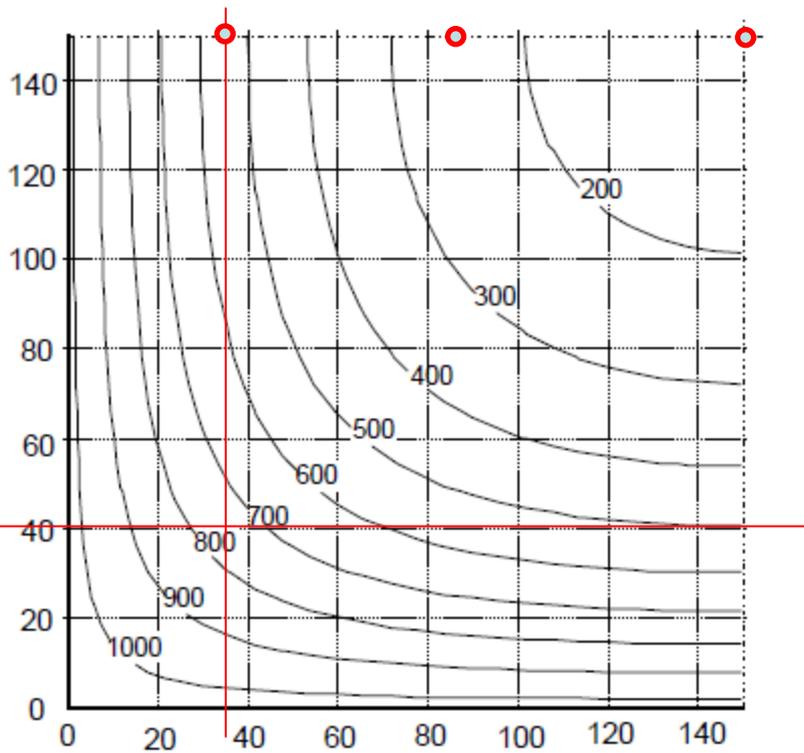
Aparición de rótula plástica

$$\frac{\alpha}{L} = \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot L} \quad \alpha = 1.00$$

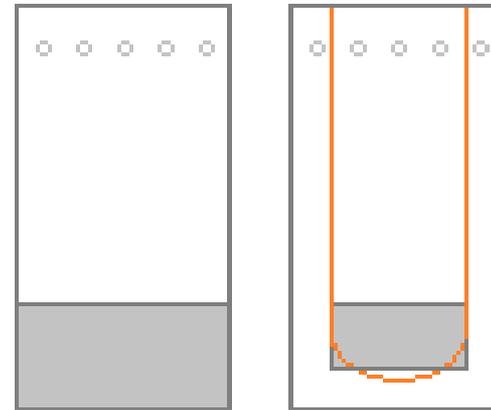
Pero redistribuye hacia dos apoyos.



Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio) *Caso en flexión negativa (Sobre el apoyo).*



Para el caso de momento negativo las armaduras están más frías pero por otro lado la zona en compresión no solo se ve afectada lateralmente reduciendo b , sino además inferiormente reduciendo d .



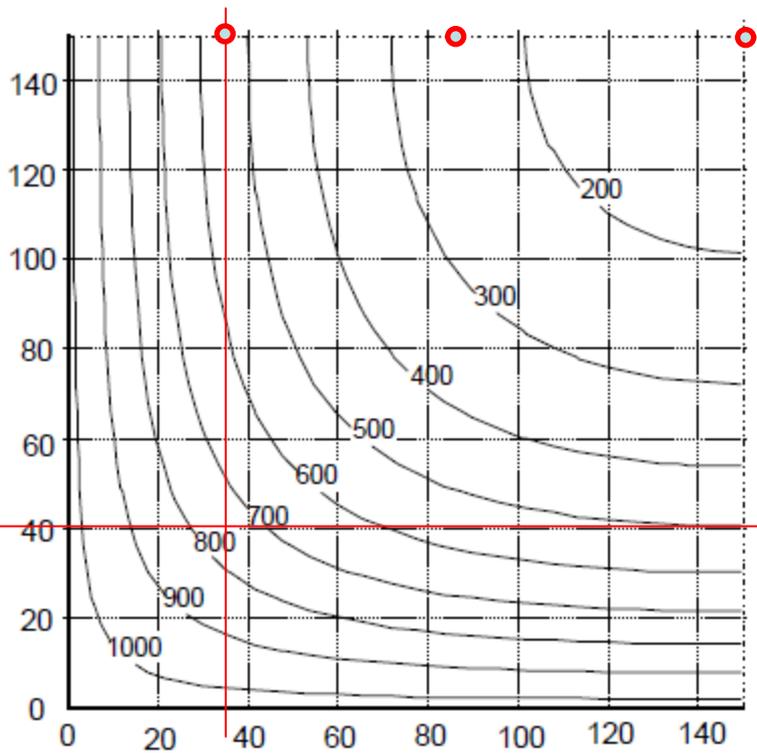
La reducción lateral es de 40mm, la inferior la reduciremos en 50mm para considerar la curvatura de la isoterma.

Figure A.14: Temperature profiles (°C) for a column, $h \times b = 300 \times 300 - R120$



Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio) *Caso en flexión negativa (Sobre el apoyo).*

Perfil de T° para ¼ de viga.



	T° [°C]	Ky(T°)	fy(T°)	Fza. [kgf]	
Barras laterales	550	0,63	2646	5.985	2 barras
Barras medias	250	1	4200	9.500	2 barras
Barra central	100	1	4200	4.750	1 barra
Total				20.235	
				85%	

θ [°C]	hot rolled
1	2
20	1,00
100	1,00
200	1,00
300	1,00
400	1,00
500	0,78
600	0,47
700	0,23
800	0,11
900	0,06
1000	0,04
1100	0,02
1200	0,00

P.Iso 500	4	cm
a	3,61	cm
Reducción d	5	cm
Brazo Z	49,60	cm
Mn	10,0	tonf*m

Figure A.14: Temperature profiles (°C) for a column, $h \times b = 300 \times 300 - R120$

$M resistente = 10.0 \text{ tonf} \cdot m$

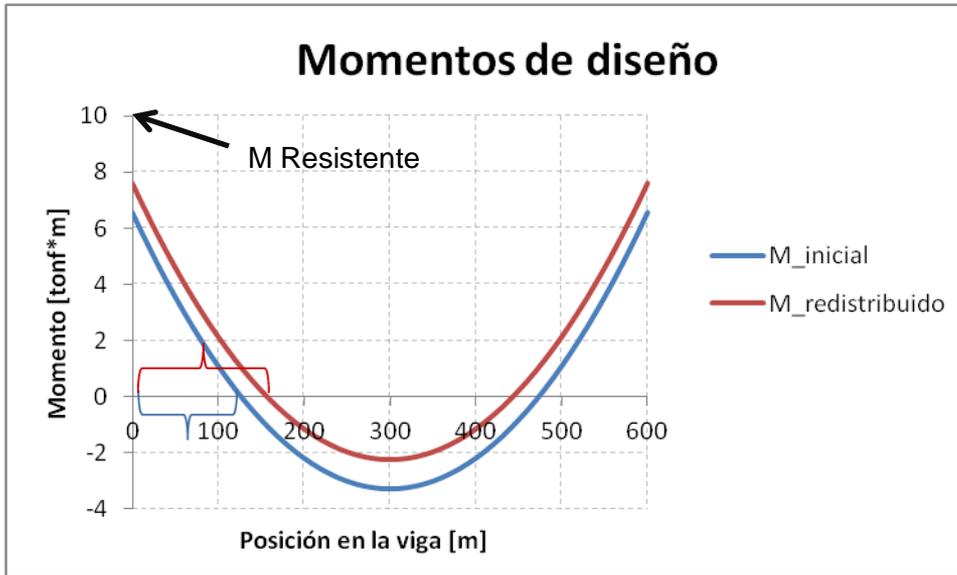
$M solic. = 6.57 + 1 \cdot (3.29 - 2.25) = 7.61 \text{ tonf} \cdot m$

No hay problema !!!!



Ejemplo de cálculo (Caso bajo incendio)

Largo de barras negativas.



Momento v/s Momento redistribuido.

$$M \text{ resistente} = 10.0 \text{ tonf*m}$$

$$M \text{ solic.} = 6.57 + 1*(3.29-2.25) = 7.61 \text{ tonf*m}$$

Alfa

Largo bajo Momento Negativo.

Caso Inicial $M=0 \Rightarrow L=120\text{cm}$

Caso Redistribuido $M=0 \Rightarrow L=150\text{cm}$

El largo mínimo requerido para las barras negativas creció en un 25%.



Caso Chileno

- *Falla en momento negativo*





Resistencia al Fuego

Procedimiento por Desempeño (Simplificado)
Pilares



Ejemplo de cálculo Pilar

Un pilar de 20x20[cm], con un a armadura de 8 ϕ 12 y estribos de 10mm y 20mm de recubrimiento es sometido a un incendio estándar durante 60 minutos. Calcule la pérdida de resistencia en compresión pura.

Solución 20°C.

Acero

Diámetro	12	mm
N°	8	
As	9,0	cm ²
fy	4200	kgf/cm ²
Fza. Acero	34,2	Tonf

Se usó un F.S 0.9 para las cargas en compresión.

El área de hormigón se calcula como el área bruta menos el área de acero.

Hormigón

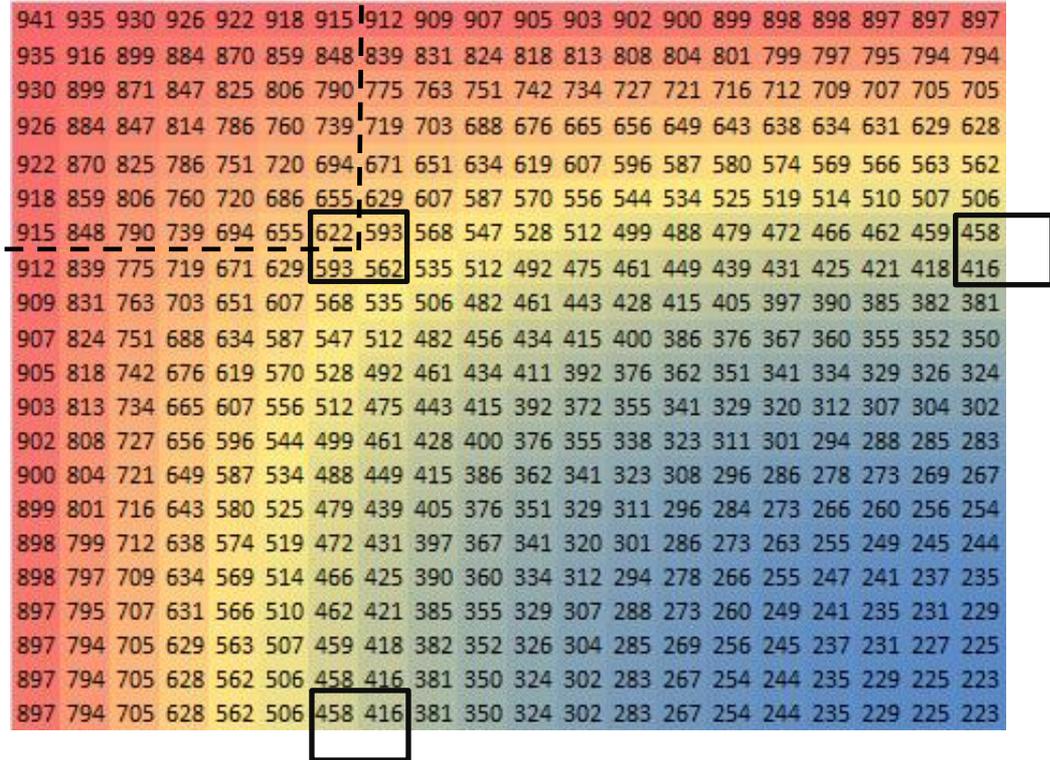
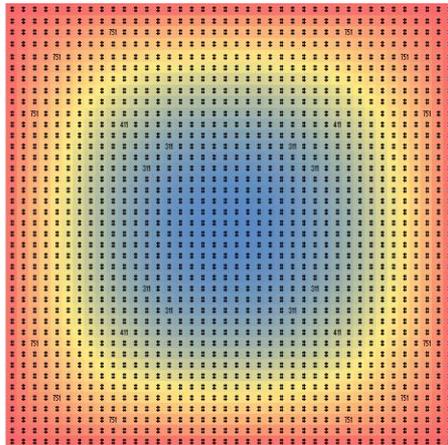
Area	391	cm ²
f'c	300	kgf/cm ²
Fza. Hormigón	105,6	Tonf

Carga admisible	139,8	Tonf
-----------------	-------	------



Ejemplo de cálculo Pilar (Incendio)

Se resuelve la transferencia de calor (En este caso en diferencias finitas). Y se determinan las temperaturas de las armaduras.



Acero

Diámetro	12	mm
N°	4	
As	4,5	cm ²
T°	592,5	°C
ky	0,49	
fy	2058	kgf/cm ²
Fza. Acero	8,4	Tonf

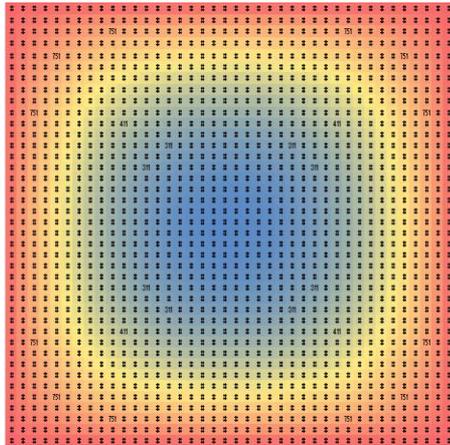
T°	437	°C
ky	0,92	
fy	3864	kgf/cm ²
Fza. Acero	15,7	Tonf

La resistencia que aporta el acero es de 24.1 [Tonf], lo que corresponde a un 17% de la resistencia al T° ambiente.



Ejemplo de cálculo Pilar (Incendio)

Aporte del hormigón. En primer lugar resolveremos un modelo en base a la T° media.

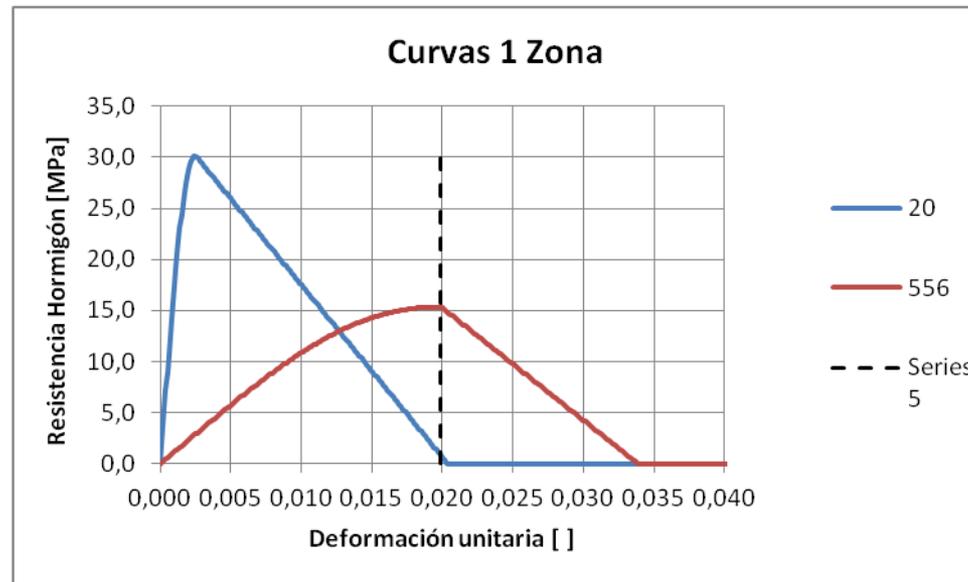


f'c	300	kg/cm ²			
e	0,02				
			Esfuerzo [kg/cm ²]	Area [cm ²]	Fuerza [kgf]
Tzc	556	°C	153,4	400	61377
Total [tonf]					61,4

La resistencia del pilar es:
 $24.1 + 61.4 = 85.5$ [Tonf]

A T° ambiente $R = 139.8$ [Tonf]

El impacto de 60 minutos de incendio es una reducción de un 39% de la resistencia en compresión.
 ((139.8-58.5)/139.8).



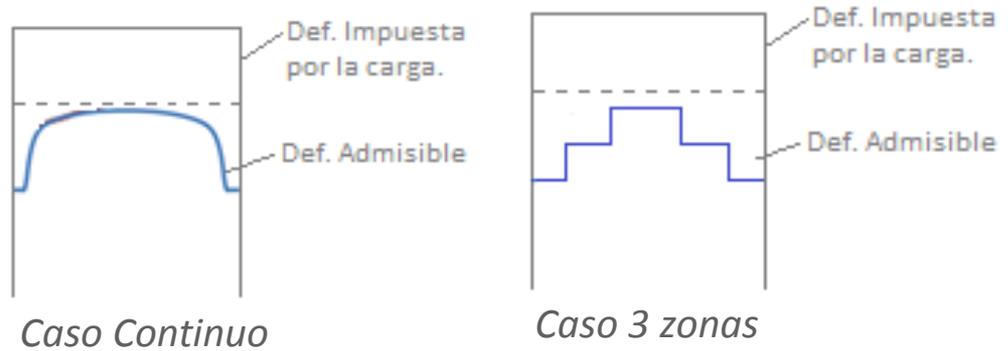


Ejemplo de cálculo Pilar (Incendio)

Aporte del hormigón. Ahora resolvemos usando un modelo de 3 zonas (Importancia de la deformación admisible).

941	935	930	926	922	918	915	912	909	907	905	903	902	900	899	898	898	897	897	897
935	916	899	884	870	859	848	839	831	824	818	813	808	804	801	799	797	795	794	794
930	899	871	847	825	806	790	775	763	751	742	734	727	721	716	712	709	707	705	705
926	884	847	814	786	760	739	719	703	688	676	665	656	649	643	638	634	631	629	628
922	870	825	786	751	720	694	671	651	634	619	607	596	587	580	574	569	566	563	562
918	859	806	760	720	686	655	629	607	587	570	556	544	534	525	519	514	510	507	506
915	848	790	739	694	655	622	593	568	547	528	512	499	488	479	472	466	462	459	458
912	839	775	719	671	629	593	562	535	512	492	475	461	449	439	431	425	421	418	416
909	831	763	703	651	607	568	535	506	482	461	443	428	415	405	397	390	385	382	381
907	824	751	688	634	587	547	512	482	456	434	415	400	386	376	367	360	355	352	350
905	818	742	676	619	570	528	492	461	434	411	392	376	362	351	341	334	329	326	324
903	813	734	665	607	556	512	475	443	415	392	372	355	341	329	320	312	307	304	302
902	808	727	656	596	544	499	461	428	400	376	355	338	323	311	301	294	288	285	283
900	804	721	649	587	534	488	449	415	386	362	341	323	308	296	286	278	273	269	267
899	801	716	643	580	525	479	439	405	376	351	329	311	296	284	273	266	260	256	254
898	799	712	638	574	519	472	431	397	367	341	320	301	286	273	263	255	249	245	244
898	797	709	634	569	514	466	425	390	360	334	312	294	278	266	255	247	241	237	235
897	795	707	631	566	510	462	421	385	355	329	307	288	273	260	249	241	235	231	229
897	794	705	629	563	507	459	418	382	352	326	304	285	269	256	245	237	231	227	225
897	794	705	628	562	506	458	416	381	350	324	302	283	267	254	244	235	229	225	223

La zona que controla la deformación es la zona central por estar más fría y tener una deformación admisible menor.

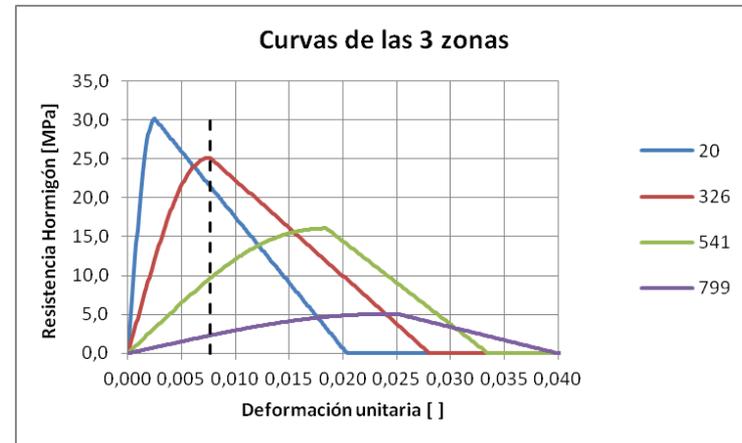


Definimos 3 zonas:

Zona central, media y zona expuesta al incendio.

Para cada zona determinamos la T° media.

OJO. Las zonas de mayores T° no trabajan a máxima resistencia

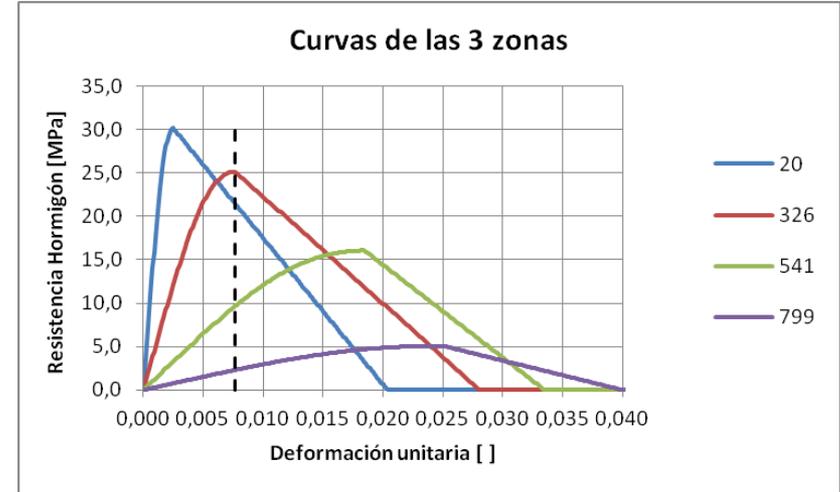




Ejemplo de cálculo Pilar (Incendio)

Aporte del hormigón. Ahora resolvemos usando un modelo de 3 zonas.

T	20	100	300	400	500	600	700	800	900	1000
e										
0,0000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0005	9,0	5,6	2,7	1,7	0,9	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
0,0010	17,4	11,2	5,5	3,4	1,8	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1
0,0015	24,4	16,4	8,2	5,1	2,7	1,2	0,8	0,5	0,2	0,1
0,0020	28,7	21,1	10,8	6,8	3,6	1,6	1,1	0,6	0,3	0,1
0,0025	30,1	25,0	13,4	8,5	4,5	2,0	1,3	0,8	0,4	0,1
0,0030	29,3	27,7	15,8	10,1	5,3	2,4	1,6	0,9	0,4	0,2
0,0035	28,5	29,3	18,1	11,7	6,2	2,8	1,8	1,1	0,5	0,2
0,0040	27,6	29,7	20,1	13,2	7,1	3,2	2,1	1,2	0,6	0,2
0,0045	26,8	28,9	21,8	14,7	7,9	3,6	2,4	1,4	0,6	0,2
0,0050	25,9	28,1	23,3	16,0	8,8	4,0	2,6	1,5	0,7	0,3
0,0055	25,1	27,2	24,4	17,3	9,6	4,4	2,9	1,7	0,8	0,3
0,0060	24,3	26,4	25,3	18,4	10,4	4,7	3,1	1,8	0,9	0,3
0,0065	23,4	25,6	25,8	19,4	11,2	5,1	3,4	1,9	0,9	0,4
0,0070	22,6	24,8	26,0	20,2	11,9	5,5	3,6	2,1	1,0	0,4
0,0075	21,7	24,0	25,5	21,0	12,6	5,9	3,9	2,2	1,1	0,4
0,0080	20,9	23,2	24,8	21,5	13,3	6,3	4,1	2,4	1,1	0,4
0,0085	20,0	22,4	24,2	21,9	13,9	6,6	4,4	2,5	1,2	0,5
0,0090	19,2	21,6	23,6	22,2	14,5	7,0	4,6	2,7	1,3	0,5
0,0095	18,3	20,8	22,9	22,3	15,1	7,4	4,9	2,8	1,3	0,5
0,0100	17,5	20,0	22,3	22,2	15,6	7,7	5,1	2,9	1,4	0,5
0,0105	16,7	19,2	21,6	21,6	16,1	8,1	5,3	3,1	1,5	0,6
0,0110	15,8	18,4	21,0	21,1	16,5	8,4	5,6	3,2	1,5	0,6
0,0115	15,0	17,6	20,4	20,5	16,8	8,7	5,8	3,3	1,6	0,6
0,0120	14,1	16,8	19,7	20,0	17,1	9,1	6,0	3,4	1,6	0,6



f'c	300	kg/cm2	
e	0,008		
			Esfuerzo [kg/cm ²]
Tzc	326	°C	251,3
Tzm	541	°C	96,9
Tze	799	°C	23,1

OJO. Las zonas de mayores T° no trabajan a máxima resistencia!!!!!!!!!!!!!!

No basta con tomar la resistencia máxima de todos los materiales componentes, ello no es preciso.



Ejemplo de cálculo Pilar (Incendio)

Aporte del hormigón. Ahora resolvemos usando un modelo de 3 zonas.

941	935	930	926	922	918	915	912	909	907	905	903	902	900	899	898	898	897	897	897
935	916	899	884	870	859	848	839	831	824	818	813	808	804	801	799	797	795	794	794
930	899	871	847	825	806	790	775	763	751	742	734	727	721	716	712	709	707	705	705
926	884	847	814	786	760	739	719	703	688	676	665	656	649	643	638	634	631	629	628
922	870	825	786	751	720	694	671	651	634	619	607	596	587	580	574	569	566	563	562
918	859	806	760	720	686	655	629	607	587	570	556	544	534	525	519	514	510	507	506
915	848	790	739	694	655	622	593	568	547	528	512	499	488	479	472	466	462	459	458
912	839	775	719	671	629	593	562	535	512	492	475	461	449	439	431	425	421	418	416
909	831	763	703	651	607	568	535	506	482	461	443	428	415	405	397	390	385	382	381
907	824	751	688	634	587	547	512	482	456	434	415	400	386	376	367	360	355	352	350
905	818	742	676	619	570	528	492	461	434	411	392	376	362	351	341	334	329	326	324
903	813	734	665	607	556	512	475	443	415	392	372	355	341	329	320	312	307	304	302
902	808	727	656	596	544	499	461	428	400	376	355	338	323	311	301	294	288	285	283
900	804	721	649	587	534	488	449	415	386	362	341	323	308	296	286	278	273	269	267
899	801	716	643	580	525	479	439	405	376	351	329	311	296	284	273	266	260	256	254
898	799	712	638	574	519	472	431	397	367	341	320	301	286	273	263	255	249	245	244
898	797	709	634	569	514	466	425	390	360	334	312	294	278	266	255	247	241	237	235
897	795	707	631	566	510	462	421	385	355	329	307	288	273	260	249	241	235	231	229
897	794	705	629	563	507	459	418	382	352	326	304	285	269	256	245	237	231	227	225
897	794	705	628	562	506	458	416	381	350	324	302	283	267	254	244	235	229	225	223

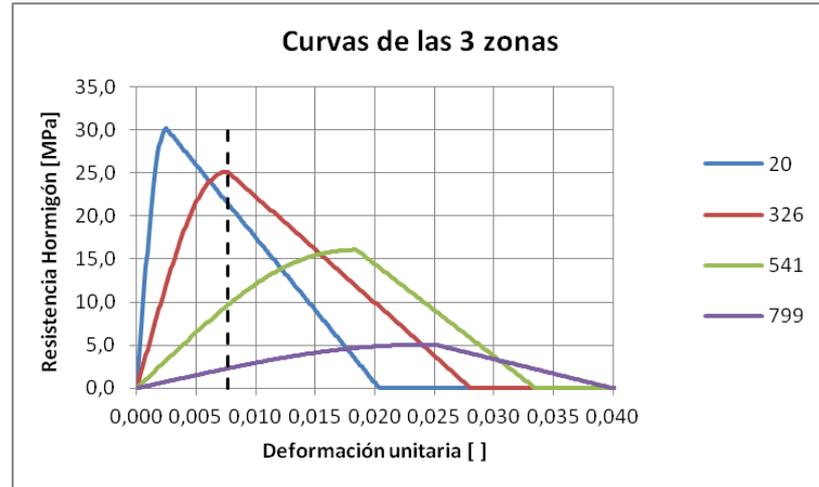
f'c	300	kg/cm2			
e	0,008				
			Esfuerzo [kg/cm ²]	Area [cm ²]	Fuerza [kgf]
Tzc	326	°C	251,3	144	36191
Tzm	541	°C	96,9	112	10856
Tze	799	°C	23,1	144	3323
				Total [tonf]	50,4

La resistencia del pilar es:
 $24.1 + 50.4 = 74.5$ [Tonf]

A T° ambiente R = 139.8 [Tonf]

El impacto de 60 minutos de incendio es una reducción de un 47% de la resistencia en compresión.

$((139.8-74.5)/139.8)$.



El resultado por zonas en menor en un 8% !!!!!



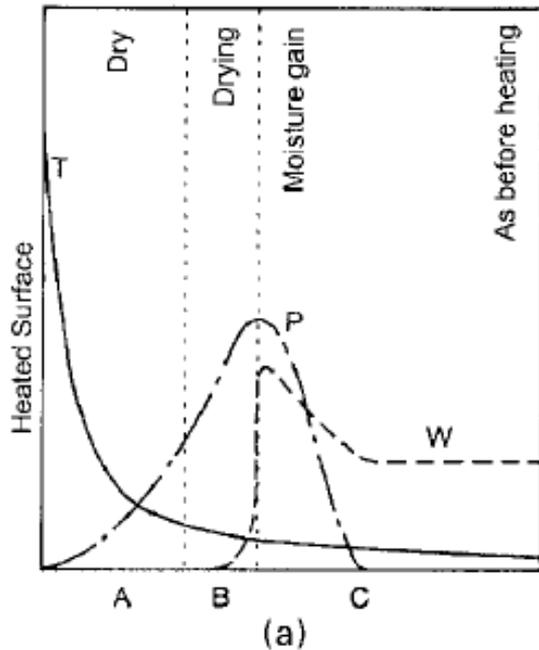
Otros Casos y Fenómenos

Spalling, Dilatación transversal, Losas colaborantes

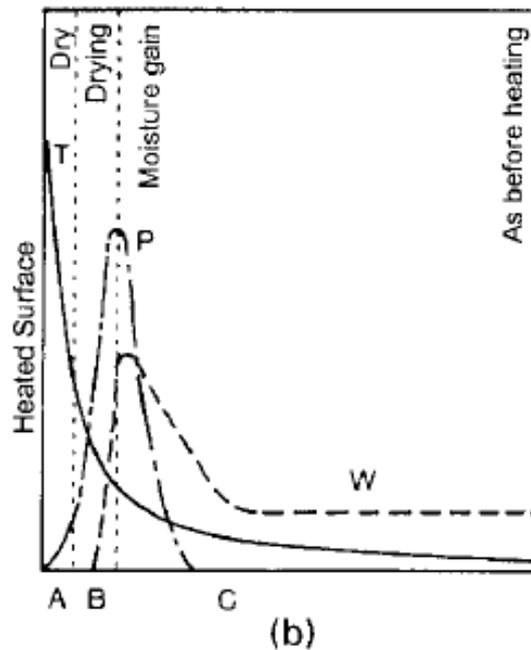


Spalling

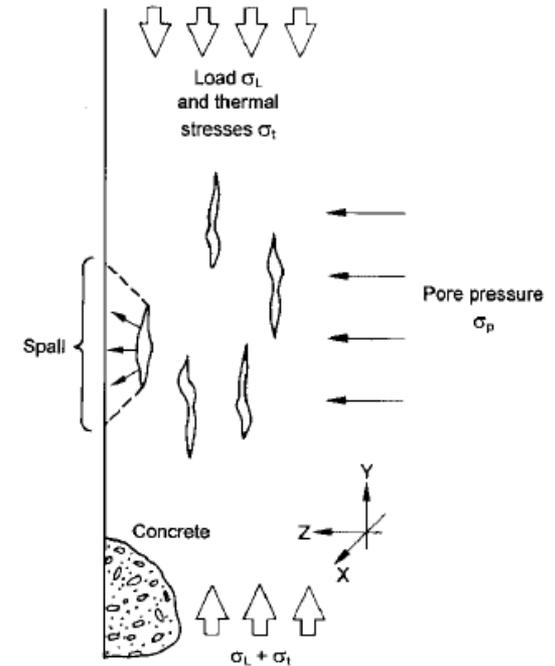
El fenómeno de spalling está asociado al **aumento violento de la T°** , est produce **la evaporación del agua** contenido en el hormigón, lo que eleva la **presión de poros**. Cuando el poro está ubicado en la **superficie**, el **hormigón trabajando en tracción** es capaz de sostener esta presión y revienta.



Hormigón normal



Hormigón de alta resistencia





Spalling





Dilatación Lateral

- *¿por qué proteger?*

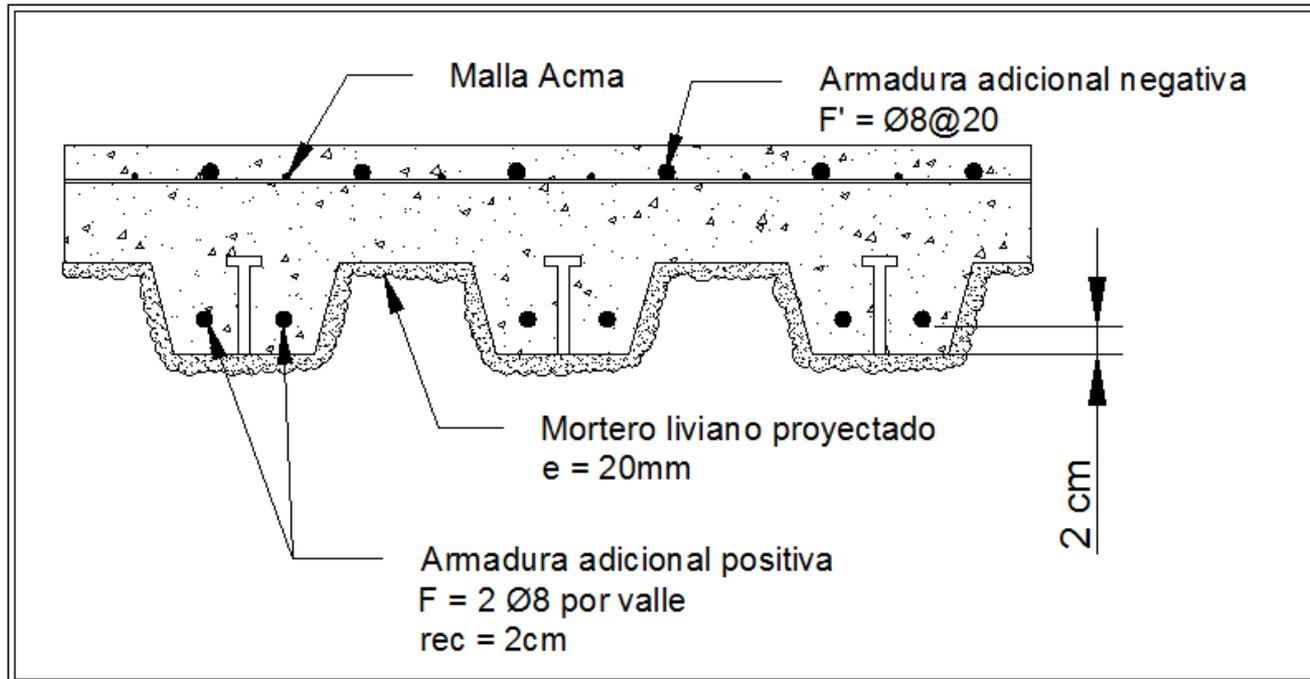
La historia del hormigón dice que tiene ¿buen comportamiento?





Losas Colaborantes

• *Es necesario proteger?????*





**NOMBRE CURSO: Introducción al hormigón armado
 Altas temperaturas**

Nombre Profesor: Marcial Salaverry R.

Contacto: marcial.salaverry@e3ingenieria.cl

Móvil (+569) 9962 3596