



UN SIGLO DE CONFIANZA Y RESPALDO

RESISTENCIA AL FUEGO HORMIGÓN Y MADERA

MIGUEL ÁNGEL PÉREZ ARIAS

miguel.perez@idiem.cl

CI57B - 2010

MATERIALES



- MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
 - HORMIGÓN ARMADO
 - MADERA
 - ACERO
 - ALBAÑILERÍA DE LADRILLOS
- CONTENIDOS DE EDIFICIOS
 - COMBUSTIBLES LÍQUIDOS
 - PLÁSTICOS
 - TELAS

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



Edificios de más de 4 pisos colapsados	
Hormigón armado	7 (1 Pentágono)
Acero	6 (4 WTC)
Albañilería de ladrillos	5
Madera	2
Desconocida	2

Lugar de ocurrencia	
U.S.A.	15
Canadá	2
Europa, Rusia, Sudamérica	5

Número de pisos	
4 - 8 pisos	13
09 - 20 pisos	3
> 20 pisos	6 (3)

Tipo colapso	
Parcial	14
Total	8 (3)

Fuente: NIST 1970 – 2002.

HORMIGÓN



- Buena reputación.
- Gran número puestas en servicio nuevamente.

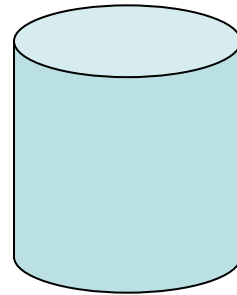
PROPIEDADES

- No combustible
- Baja conductividad térmica
- Reacción endotérmica

“El hormigón tiende a permanecer en su sitio, con la cubierta de concreto protegiendo el refuerzo de acero, con su corazón interno frío soportando las cargas para las que fue diseñado.”

HORMIGÓN

- NO-COMBUSTIBILIDAD

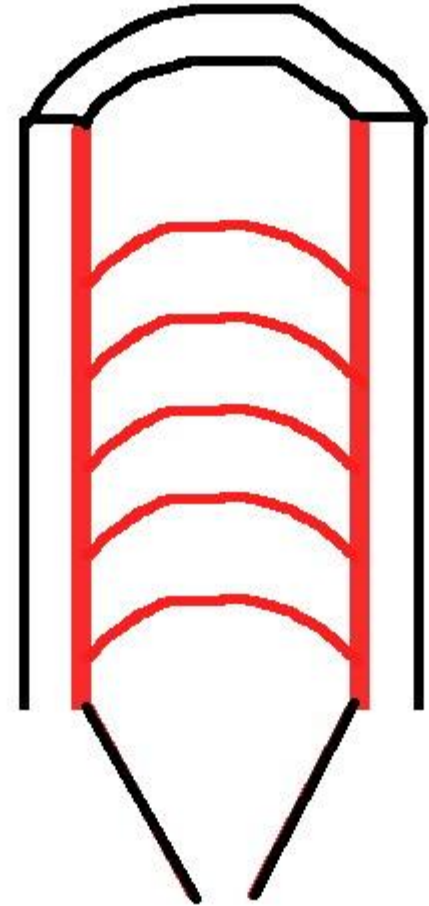


NORMAS

ISO 1182

ASTM E136

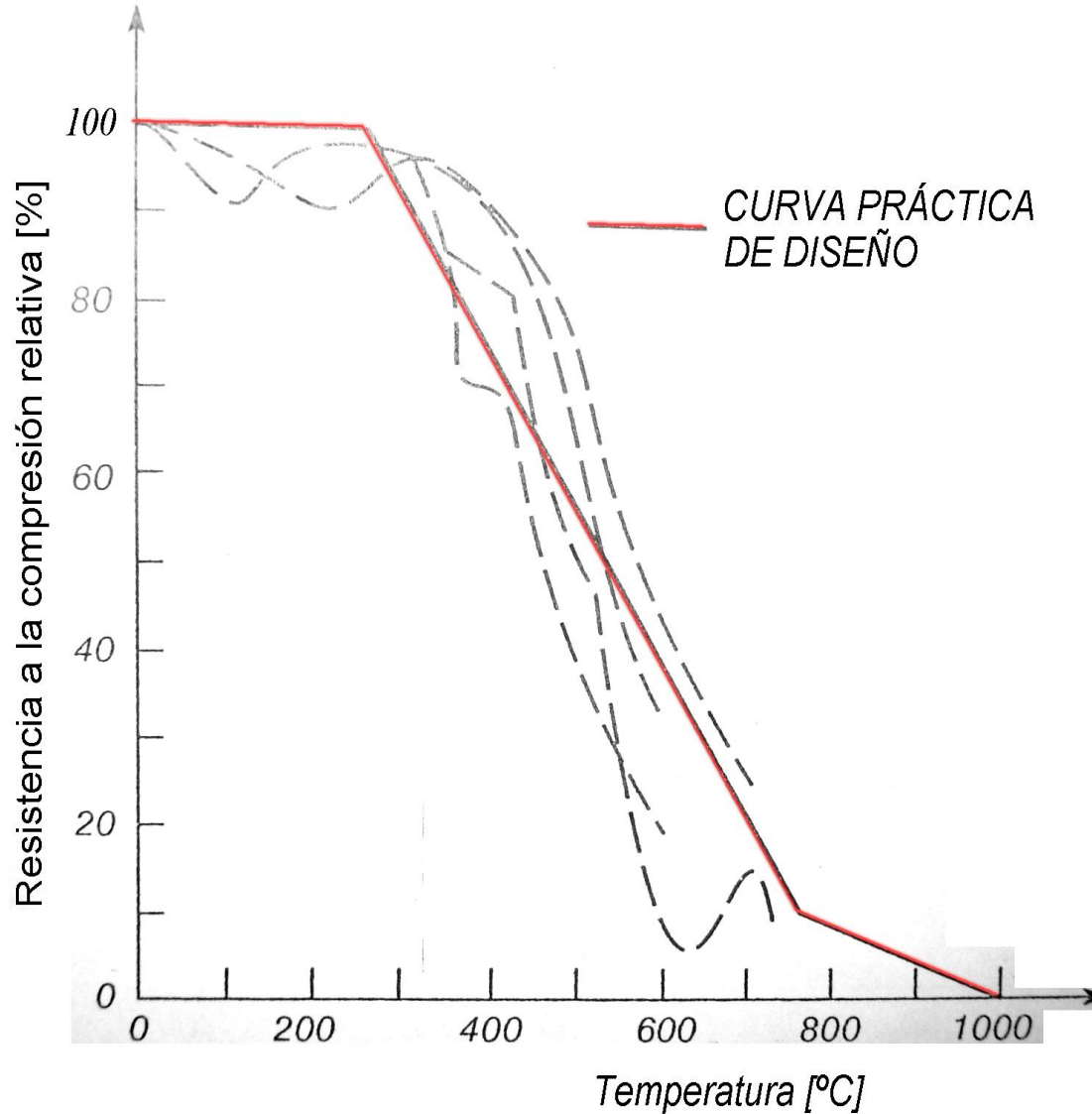
NCh 1914/1



HORMIGÓN

Conductividad Térmica		
Aluminio	200	W/m°C
Acero	60	W/m°C
Hormigón	1,60	W/m°C
Ladrillo macizo	0,50	W/m°C
Madera	0,20	W/m°C
Aislantes	0,04	W/m°C

HORMIGÓN



HORMIGÓN



- Cálculo de estructuras de hormigón.
 - Cargas aplicadas a las estructuras
 - Temperaturas del hormigón y del acero de refuerzo
 - Propiedades del hormigón y acero a esas T°

* Colapso.

HORMIGÓN



SAO PAULO, 1987

HORMIGÓN



Fábrica Textil, Alejandría, EGIPTO. 2000

HORMIGÓN



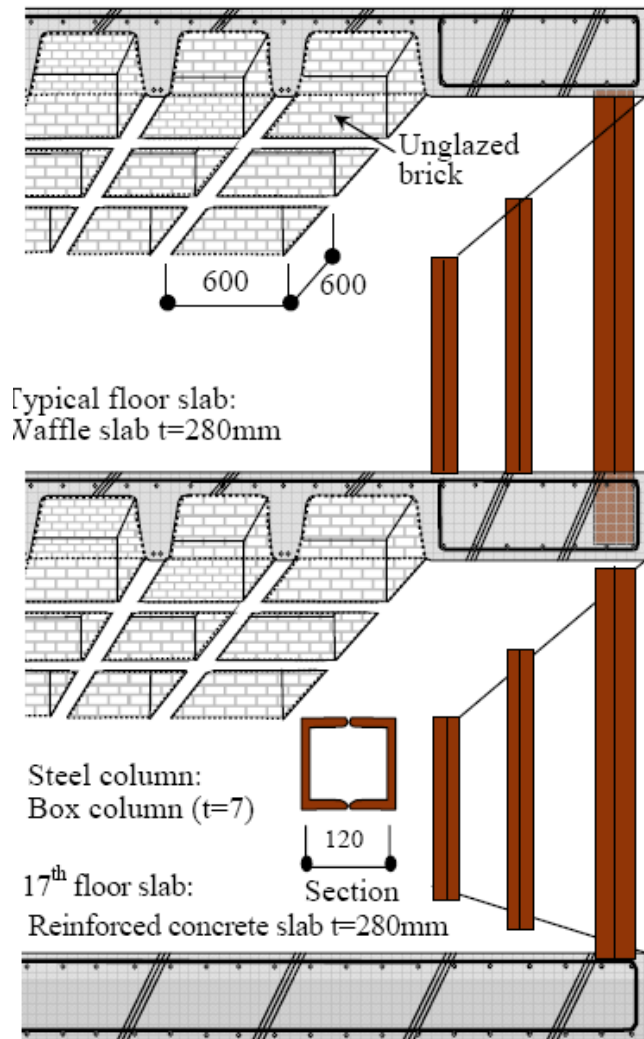
Atenas, Grecia, 1980 – 2 a 3 horas a 1000°C

HORMIGÓN



España, WINDSOR 2005 – 29 pisos -26 horas

HORMIGÓN



España, WINDSOR 2005 – 29 pisos -26 horas

HORMIGÓN



España, WINDSOR 2005 – 29 pisos -26 horas

HORMIGÓN

- SPALLING



HORMIGÓN



- SPALLING
 - No está bien comprendido
- FENÓMENO
 - Movimiento de vapor de agua
 - Produce presión y esfuerzos.

“Los experimentos han demostrado que la mayoría de los elementos de hormigón normal pueden ser sometidos a incendios sin sufrir spalling grave, pero si spalling leve a menudo.”

HORMIGÓN

- SPALLING (clases)

NIVELES DE RIESGO		
Muy bajo	A	nada o mínimo
Bajo	B	hasta el nivel del refuerzo
Medio	C	3 mm/min
Alto	D	7 mm/min
Muy Alto	E	incuantificable

ArupFire HSE Fire resistance of concrete enclosures
Work Package 1: data collection
Work Package 2: spalling categories
October 2005

HORMIGÓN



HORMIGÓN



Más susceptibles de sufrir spalling

- * Resistencia hormigón (Alta resistencia)
- * Tipo de Incendio (Altas velocidades de calentamiento)
- * Contenido humedad (Alto contenido de humedad)
- * Armadura (Sin armadura)
- * Recubrimiento (Mayor recubrimiento)
- * Tipo de áridos (Silíceos)
- * Cantidad de lados expuestos (Mayor número de lados expuestos)
- * Tamaño del elemento (Elementos delgados)
- * Restricciones de Movimiento (Restringidos)
- * Esfuerzos (Altos esfuerzos o cargado en compresión)

HORMIGÓN

- Hormigón de alta resistencia.
 - Polvo de sílice y agua
 - 50 a 120 MPa.
 - Mayor pérdida de resistencia a 400°C
 - Mayor riesgo de spalling explosivo.
(Desconchamiento)



HORMIGÓN

- Hormigón liviano.
 - Agregados pomacita, arcilla expandida, perlita, vermiculita.
 - Agregados preparados a altas temperaturas
 - Excelente resistencia al fuego, por baja conductividad térmica.



HORMIGÓN

- Hormigón reforzado con fibras.
 - Fibras de acero de 0,5 mm diámetro y 4 cm largo.
 - Mayor resistencia y mejor ductibilidad.



HORMIGÓN

- Albañilería de bloques de hormigón
 - Equivalente resistencia que si fuera sólido.
- Hormigón pretensado
 - Pre-tensionado.
 - Post-tensionado.
 - Más vulnerables.
 - Spalling explosivo.



HORMIGÓN

Table 5 Risk factors for each variable known to affect spalling of concrete

	RISK
Design Strength >55Mpa	Not quantified
Design Strength ≤55Mpa	1
Hydrocarbon fire	5
Standard fire (BS 476)	1
Moisture content >3%	5
Moisture content ≤3%	1
No Reinforcement	3
Reinforcement included	1
Cover ≥ 40mm	3
Cover <40mm	1
Siliceous aggregate	3
Calcareous aggregate	1
No. of sides exposed >1	3
No. of sides exposed = 1	1
Section size <200mm	3
Section size ≥ 200mm	1
Restrained	3
Unrestrained	1
Thermal expansion ≥ 10×10^{-6}	3
Thermal expansion < 10×10^{-6}	1
Loaded in compression	3
Unloaded	1

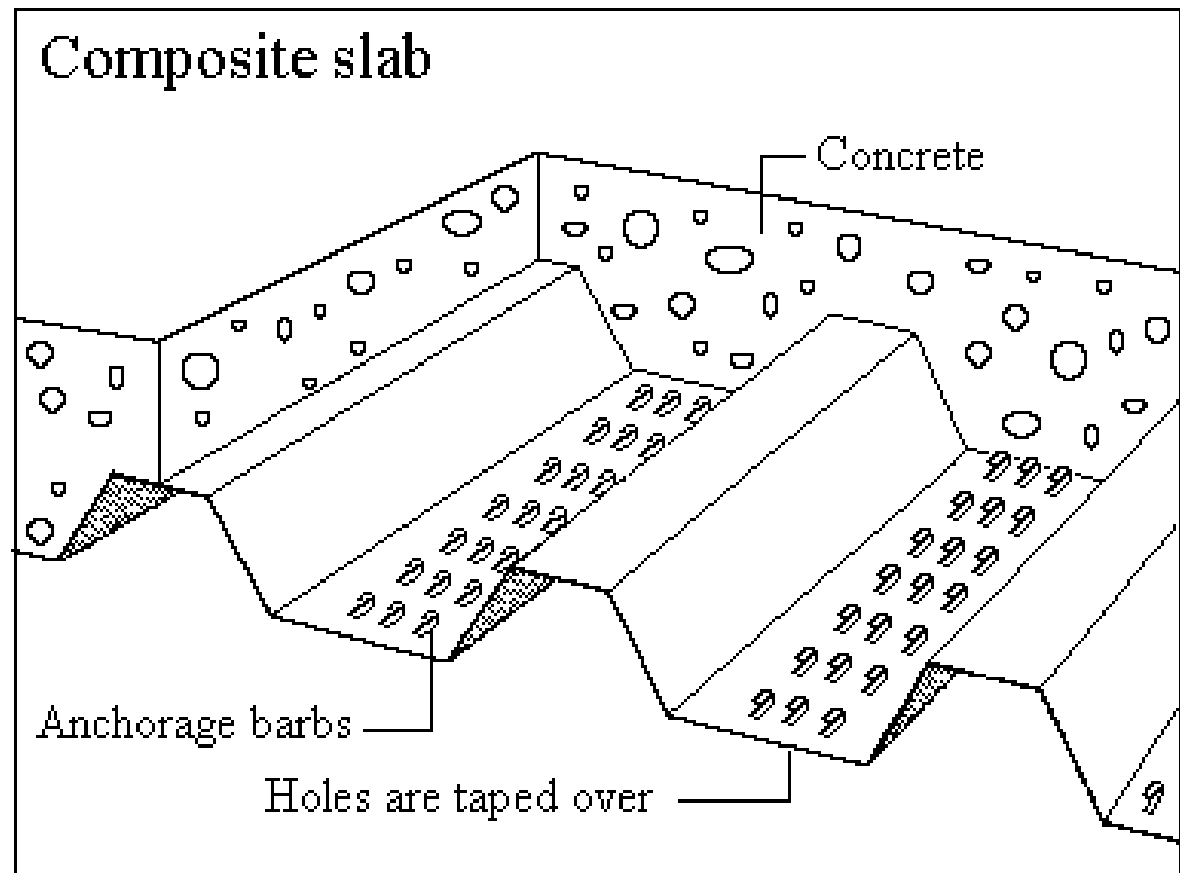
HORMIGÓN

Table 6 Spalling categories and associated spalling levels (*key factors = properties of the concrete or the boundary conditions that are known to promote spalling e.g. aggregate type, section thickness etc)

Category	Risk of spalling	Value of Total Risk	Key factors
A	Very low	≤11	Ordinary strength, NWC, Unloaded, Unrestrained, Standard fire exposure, Reinforced, moisture <3%, one side exposure
B	Low	12-20	Ordinary strength, NWC, restrained, Standard fire exposure Significant number of key variables* likely to promote spalling
C	Med	21-28	Ordinary strength, NWC, restrained, Standard hydrocarbon fire exposure Small number of key variables* likely to promote spalling
D	High	29-37	Ordinary strength, NWC, restrained, Standard hydrocarbon fire exposure Significant number of key variables* likely to promote spalling
E	Very high	>37	High strength (Design strength >55Mpa), standard hydrocarbon fire exposure.

HORMIGÓN

- Hormigón con placa colaborante.
 - Integridad
 - Aislación
 - Estabilidad



HORMIGÓN



HORMIGÓN



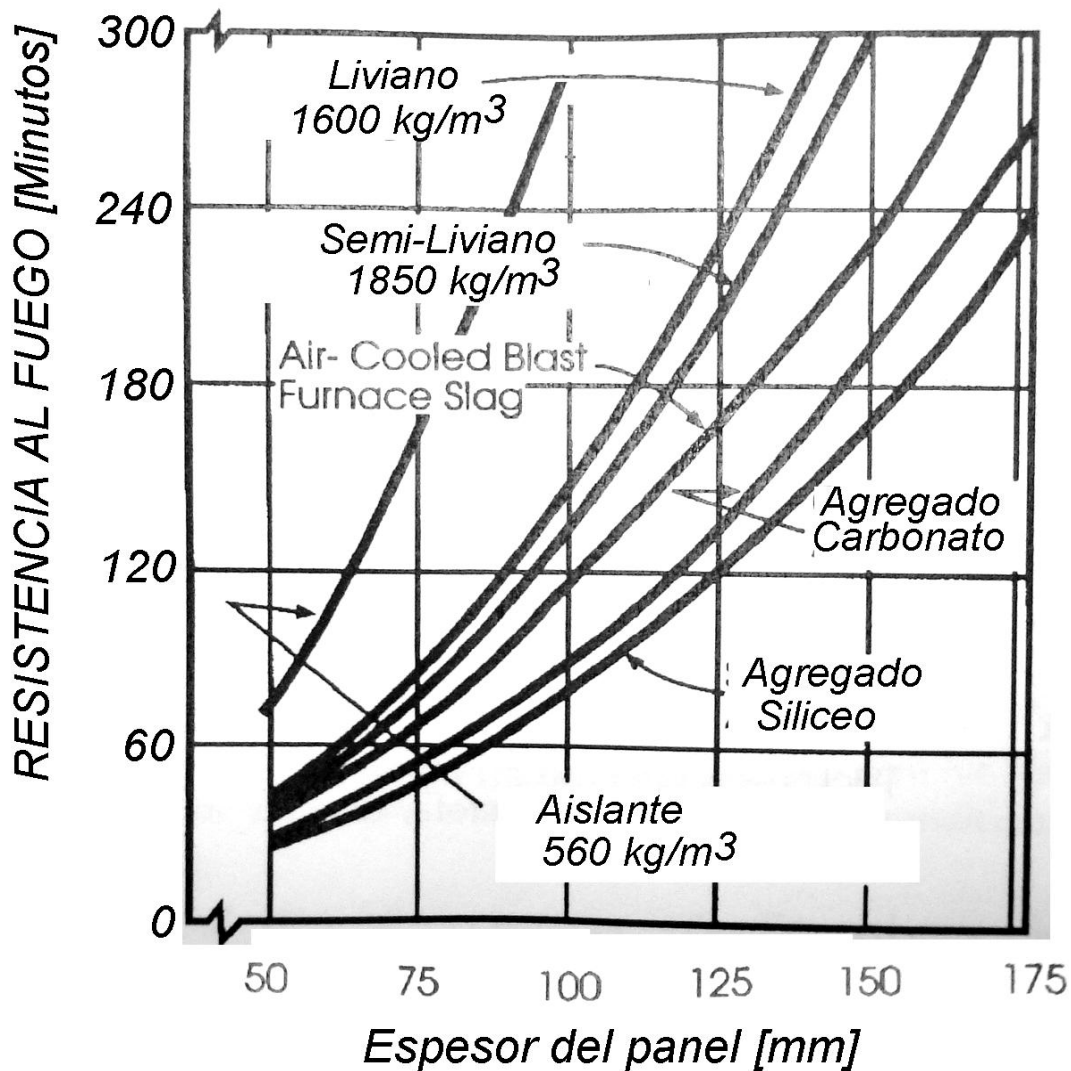
- Consideraciones especiales
 - Estructuras críticas
 - Estructuras de hormigón con alta resistencia.
 - Hormigón pretensado.
- Métodos
 - Agregar más refuerzos es caro e impracticable
 - Agregar fibras poliméricas (0,15 % a 0,3 %)
 - Agregar fibras de acero.
 - Cubrir con materiales aislantes.

HORMIGÓN

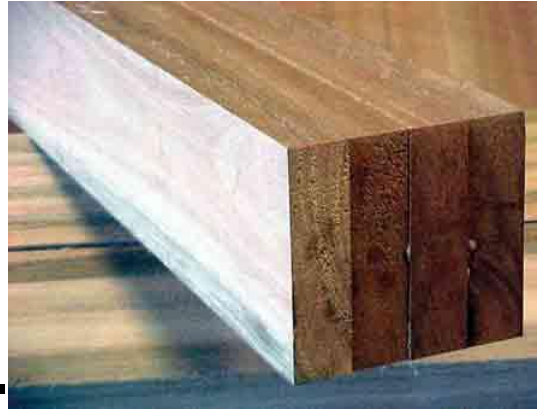
Resistencia al fuego genérica de elementos de hormigón					
RF [min]	Parámetro	VIGAS	COLUMNAS	LOSAS	MUROS
30	Ancho	80	150	75	75
	Cubierta	20	20	15	15
60	Ancho	120	200	95	75
	Cubierta	30	25	20	15
90	Ancho	150	250	110	100
	Cubierta	40	30	25	25
120	Ancho	200	300	125	100
	Cubierta	50	35	35	25
180	Ancho	240	400	150	150
	Cubierta	70	35	45	25
240	Ancho	280	450	170	180
	Cubierta	80	35	55	25

MEDIDAS EN mm

HORMIGÓN



MADERA



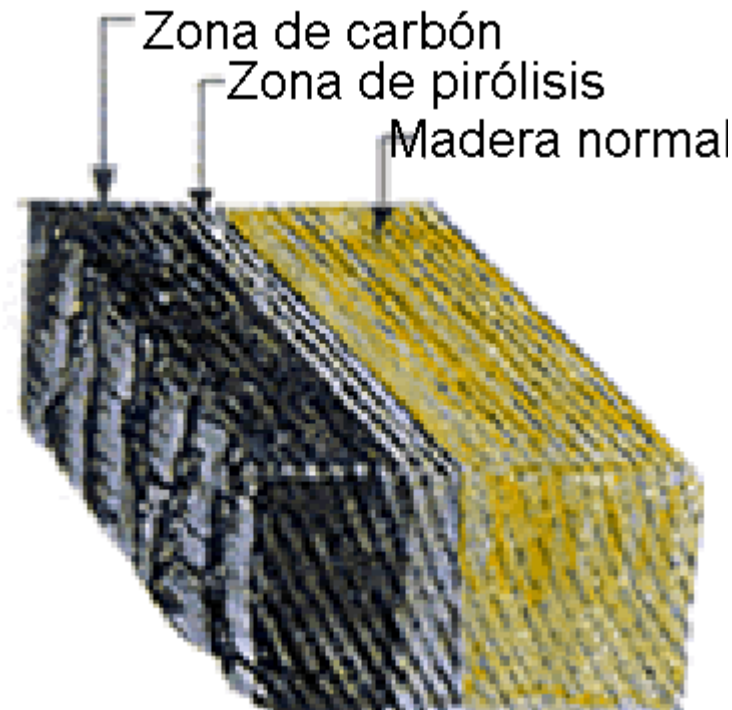
- Propiedades.
 - Relación Resistencia - Peso es 10 veces superior al hormigón.
 - Material Anisotrópico.
 - Módulo de elasticidad (mitad del hormigón y 20 veces menor que del acero)
 - Combustible (400°C sin llamas, 300°C con llamas)
 - Baja Conductividad térmica.

MADERA

Conductividad Térmica		
Aluminio	200	W/m°C
Acero	60	W/m°C
Hormigón	1,60	W/m°C
Ladrillo macizo	0,50	W/m°C
Madera	0,20	W/m°C
Aislantes	0,04	W/m°C

MADERA

- Propiedades
 - Bajo coeficiente de dilatación térmica.
- Fenómeno Combustión



MADERA

- La pérdida de resistencia se debe a la pérdida de material.

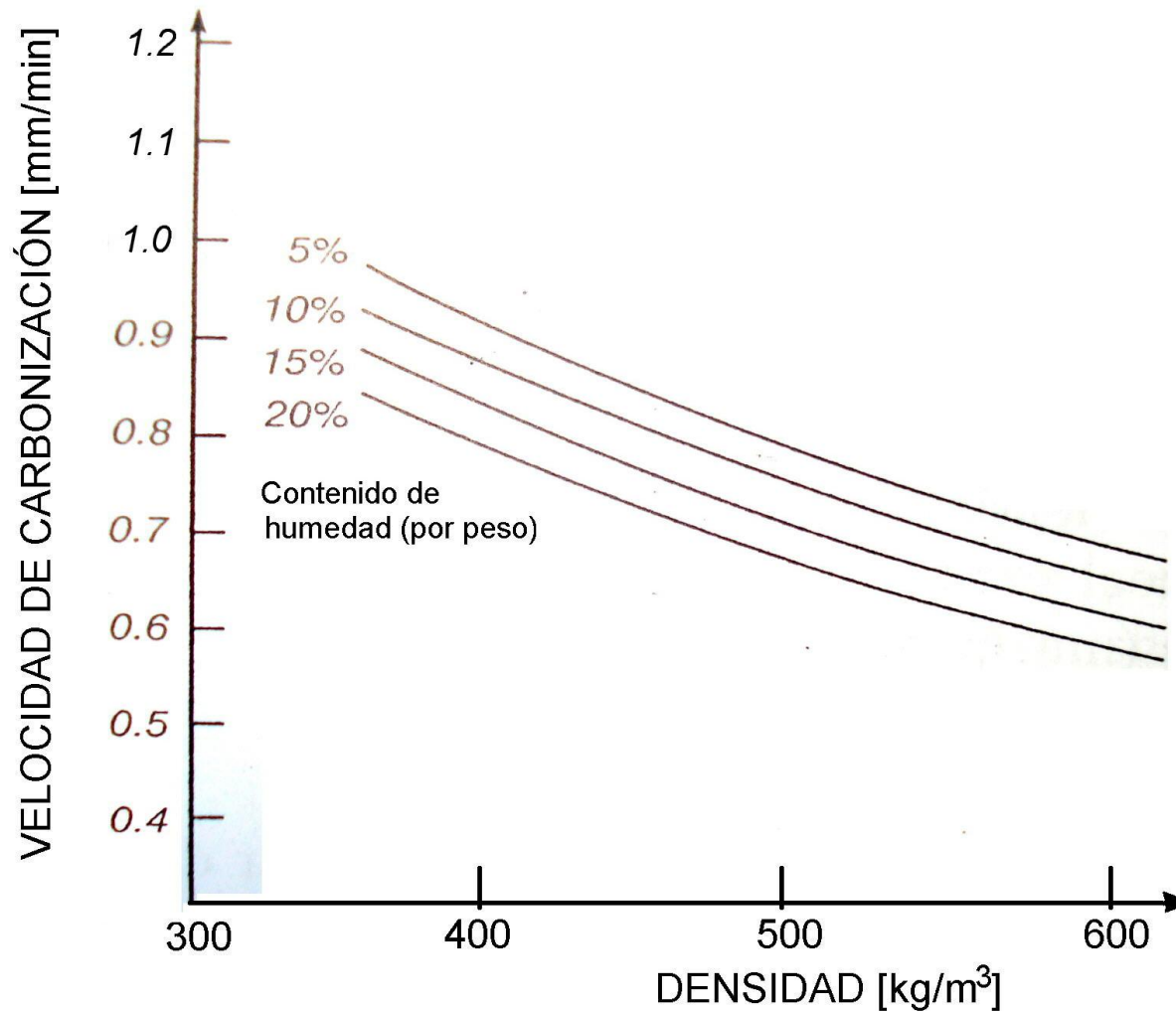


MADERA



- Velocidad de Carbonización
 - FACTORES
 - Densidad
 - Humedad
 - Tratamiento
 - Nudos, grietas, fisuras
 - Condiciones del incendio (Temperatura y Ventilación)

MADERA



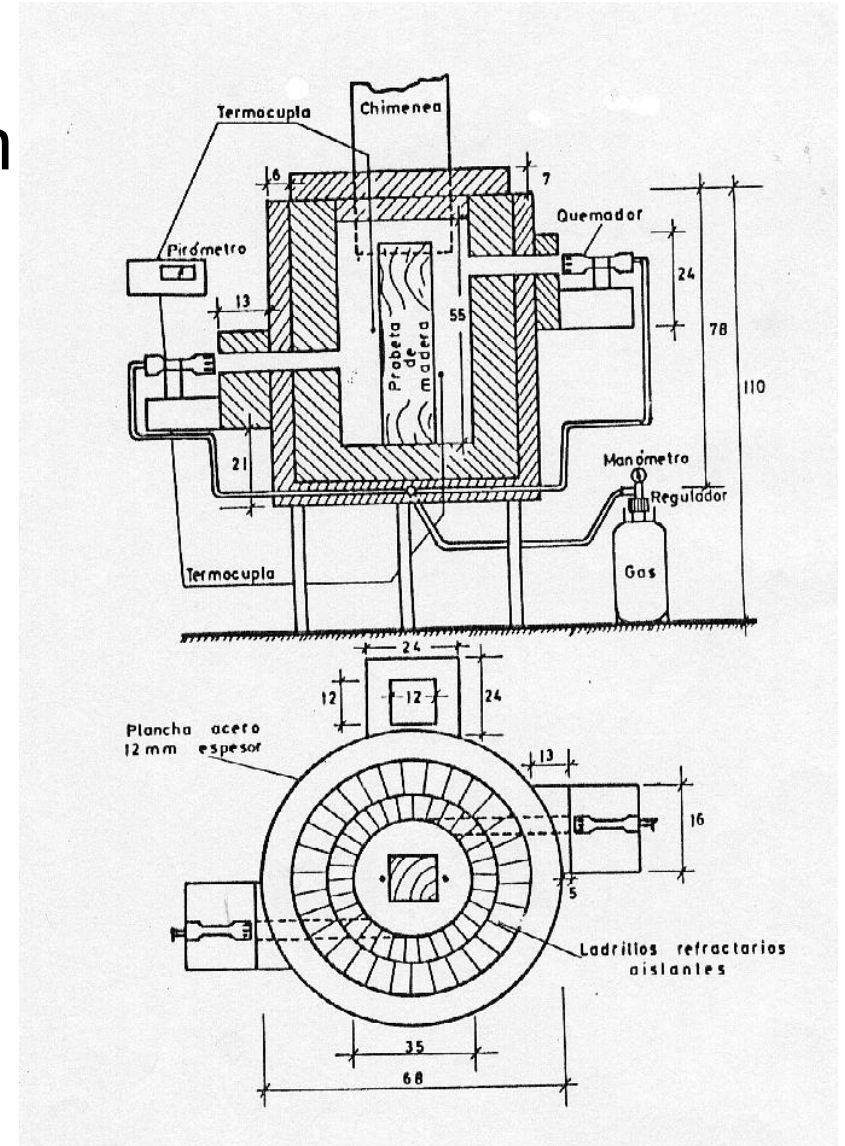
MADERA

Velocidad de carbonización para distintas maderas

Especie Madera	Densidad [kg/m ³]	Vel [mm/min]
Alamo	340	1,08
Pino Radiata	460	0,87
MLE Pino Radiata	570	0,83
Roble	695	0,69
Coigüe	730	0,71

MADERA

Velocidad de carbonización



MADERA

- Estructuras pesadas



MADERA

- Estructuras livianas

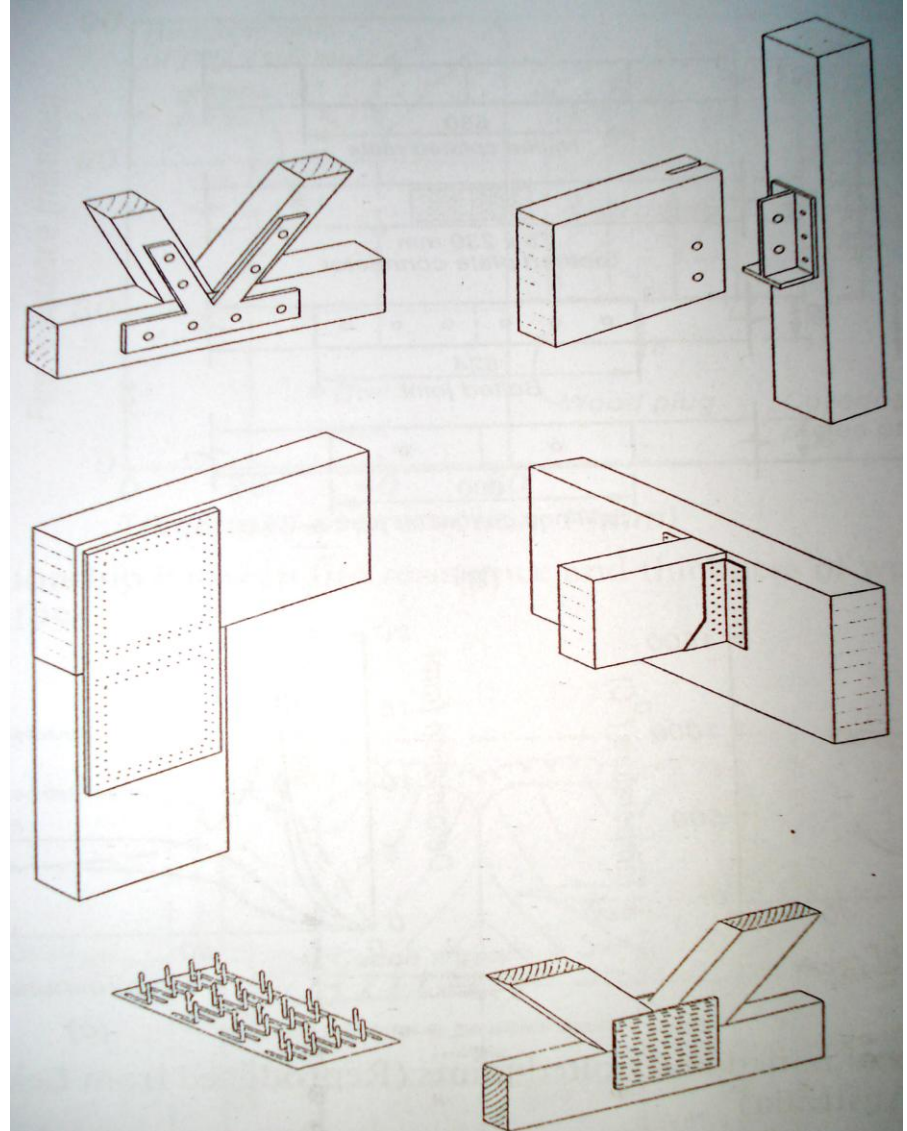


MADERA

- Madera laminada v/s madera sólida
 - Adhesivos
 - Caseína.
 - Melamina-formaldehído.
 - Urea-formaldehído.
 - Resorcinol.
 - Fenol-formaldehído.
 - No se utilizan resinas epóxicas.

MADERA

- Uniones
 - RF difícil predicción



MADERA



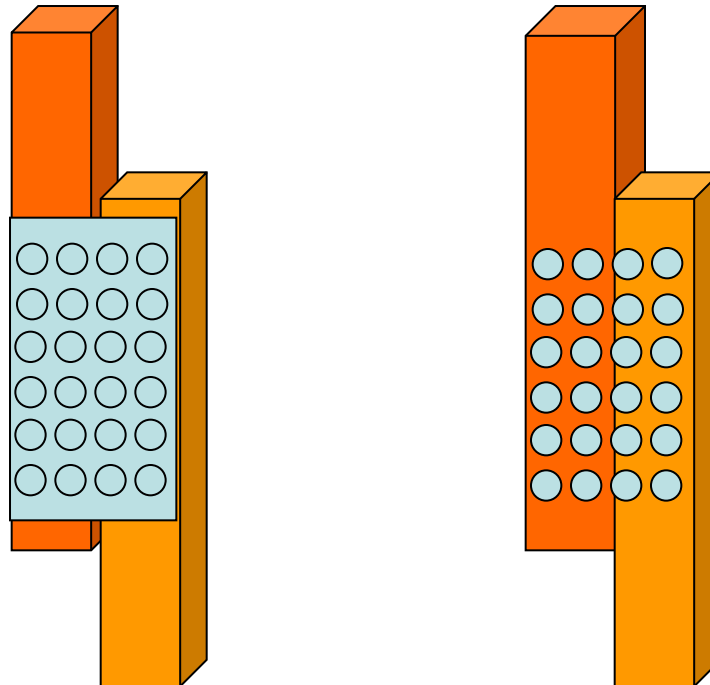
- UNIONES

- Filosofía de diseño:

“ASEGURAR QUE LAS CONEXIONES TENGAN
MAYOR RESISTENCIA AL FUEGO QUE LOS
ELEMENTOS CONECTADOS”

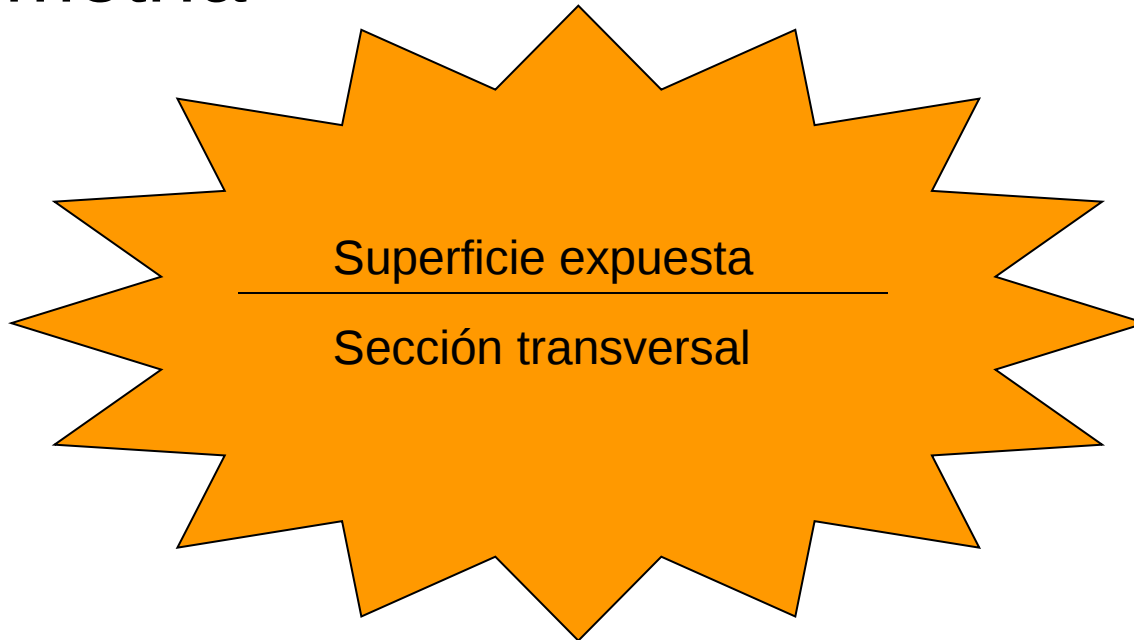
MADERA

- Uniones metálicas
 - Depende de la T° del metal
 - Alta T° $\rightarrow$ carbonización de madera.
 - Geometría



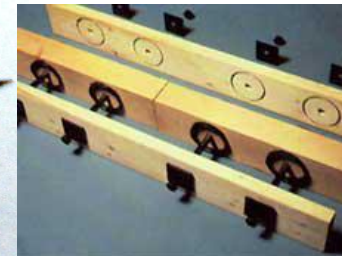
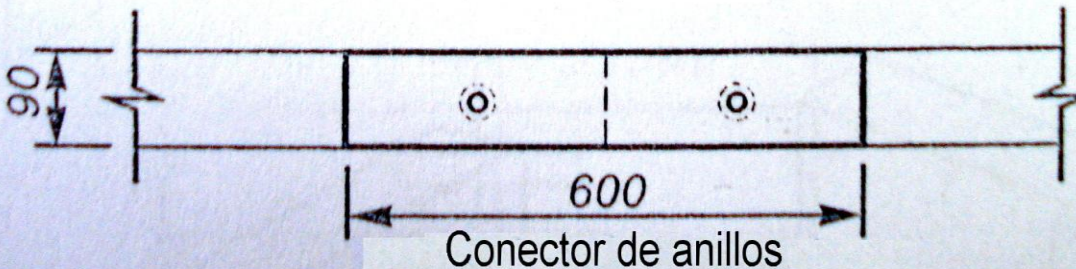
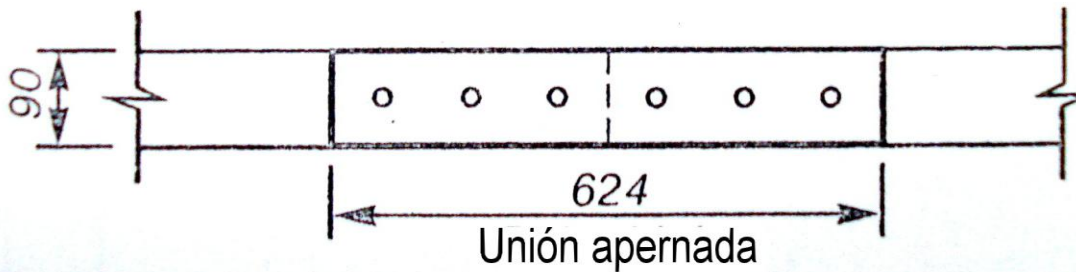
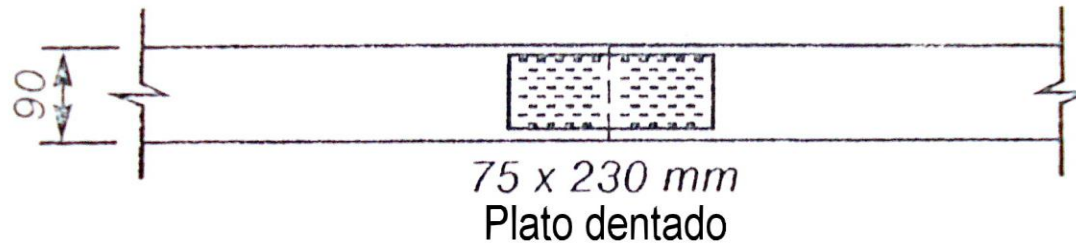
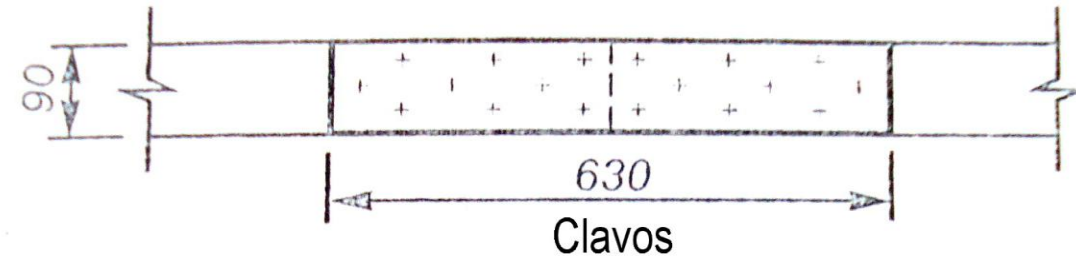
MADERA

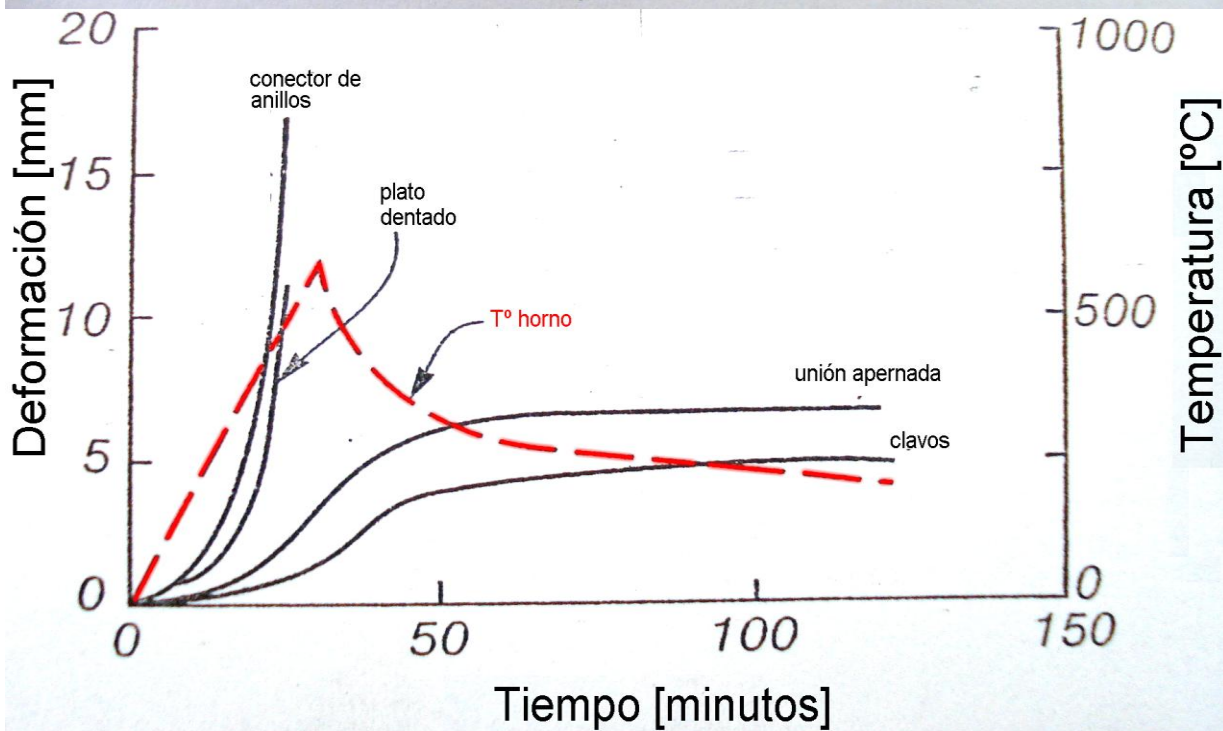
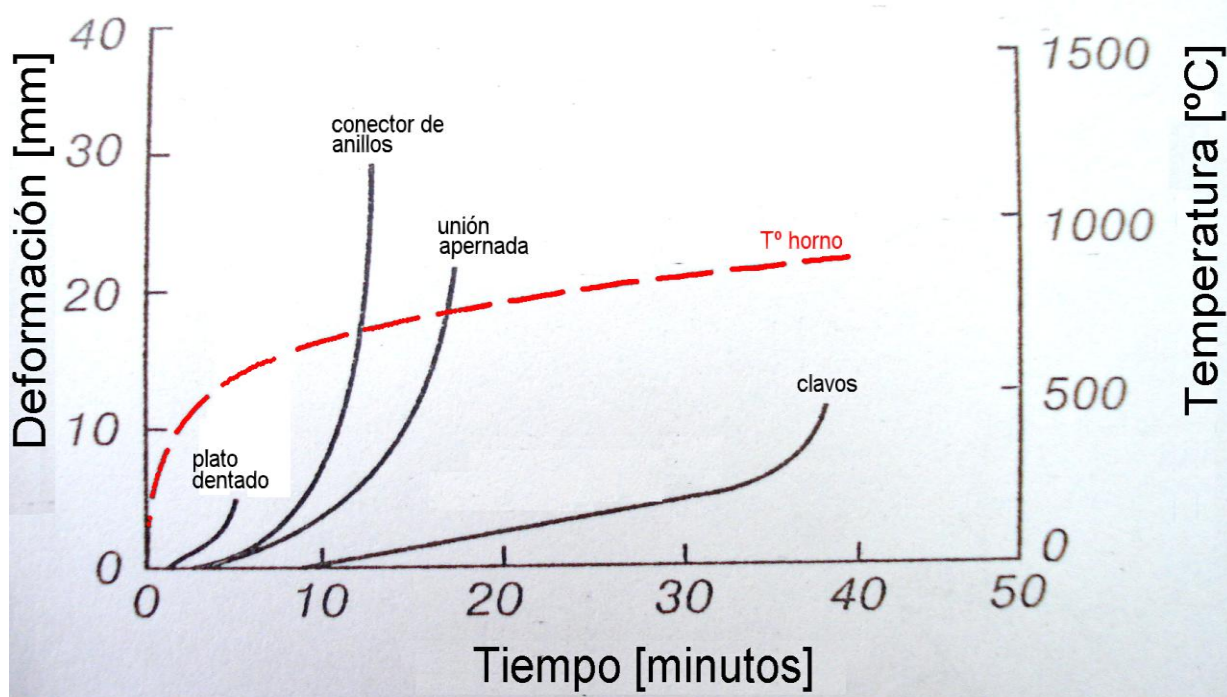
- Geometría



MADERA

- Pruebas

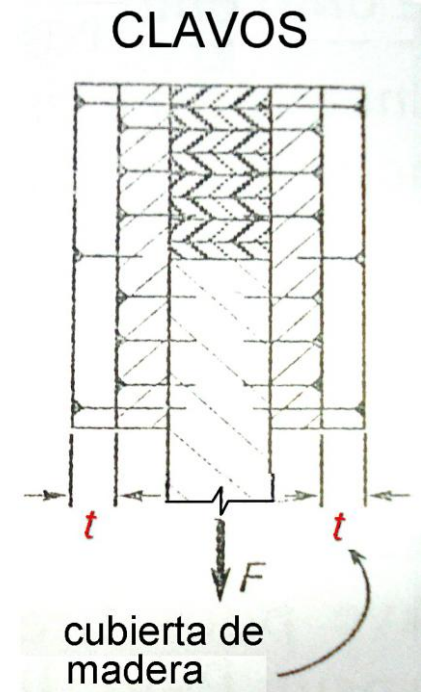
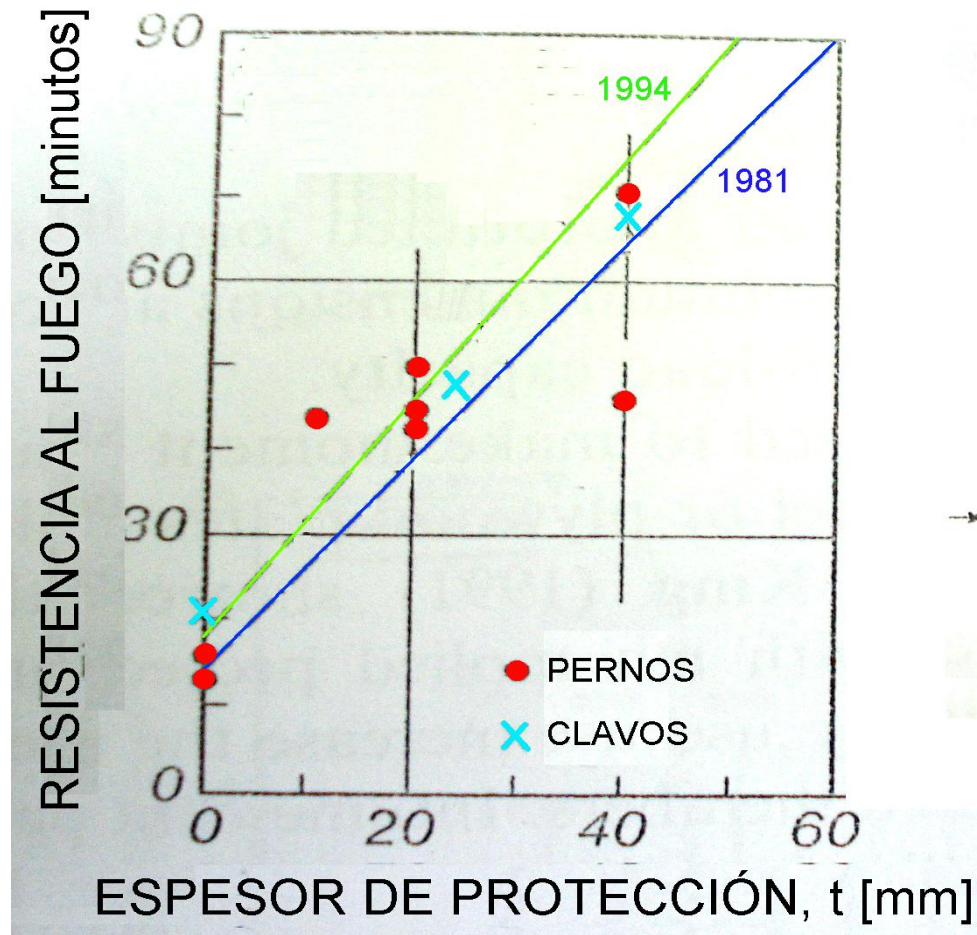
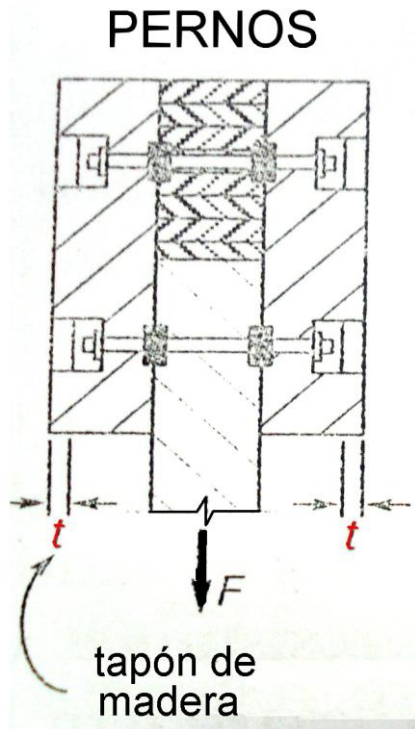




MADERA

- PROTECCIÓN

REQUERIMIENTOS
DIN 4102 parte 4



MADERA



- PROTECCIÓN
(CÓDIGO
EUROPEO)

$$e = \beta (t - 15)$$

e = espesor de recubrimiento [mm]

β = velocidad de carbonización [mm/min]

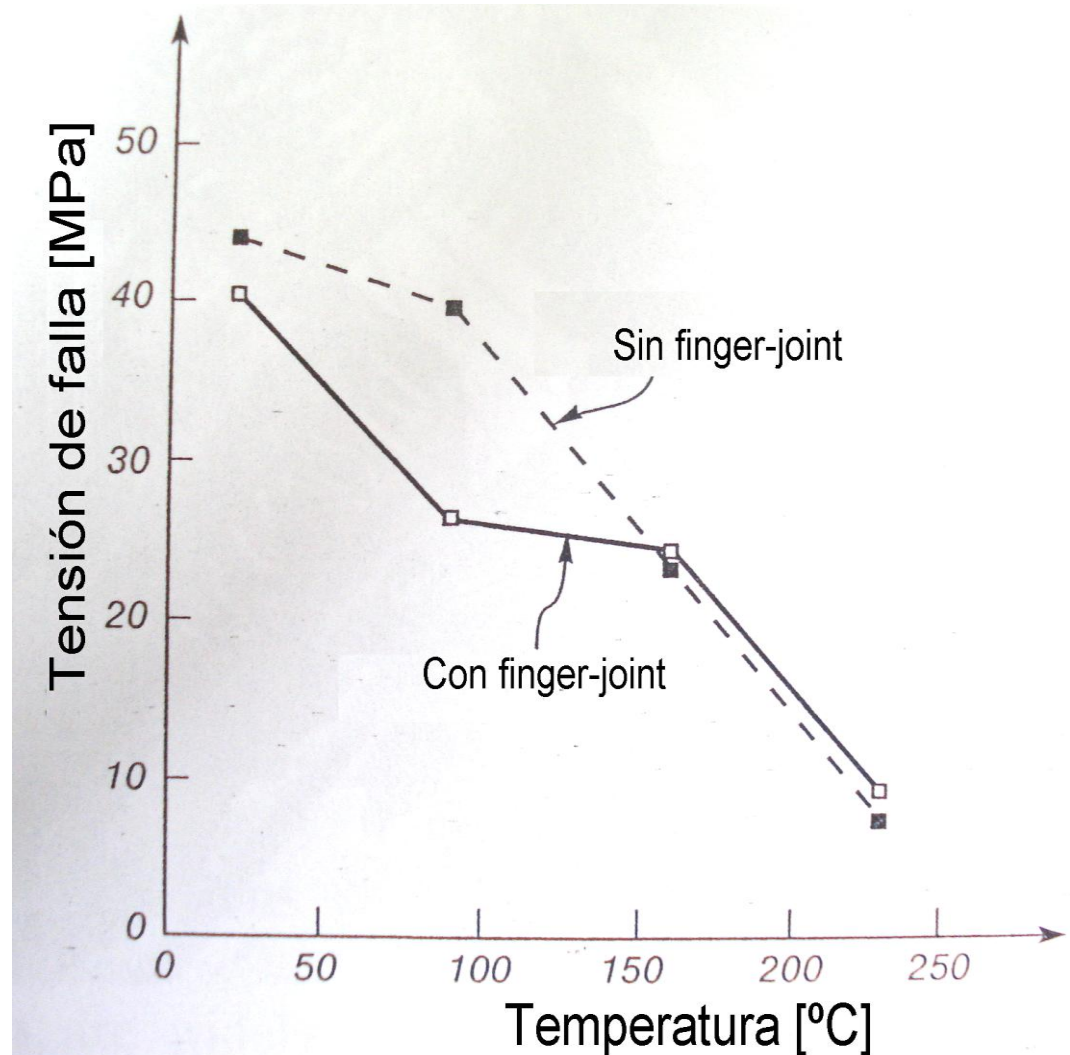
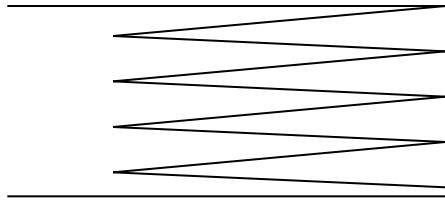
t = tiempo de resistencia al fuego [min]

MADERA

- UNIONES Metálicas
 - Clavos y tornillos, muy buenas
 - Pernos, buenas
 - Placas dentadas, malas
 - Otras placas y anillos, malas

MADERA

- UNIONES CON ADHESIVOS



MADERA



- UNIONES CON ADHESIVOS
 - Finger joint, con resorcinol o melamina, buen comportamiento.
 - Epóxicos y elastoméricos, mal comportamiento.
 - Madera laminada reforzada, mal comportamiento.

MADERA



- TRATAMIENTOS IGNÍFUGOS
 - Tratamientos químicos que modifican la combustión.
 - Profundidad
 - Superficiales

En masa

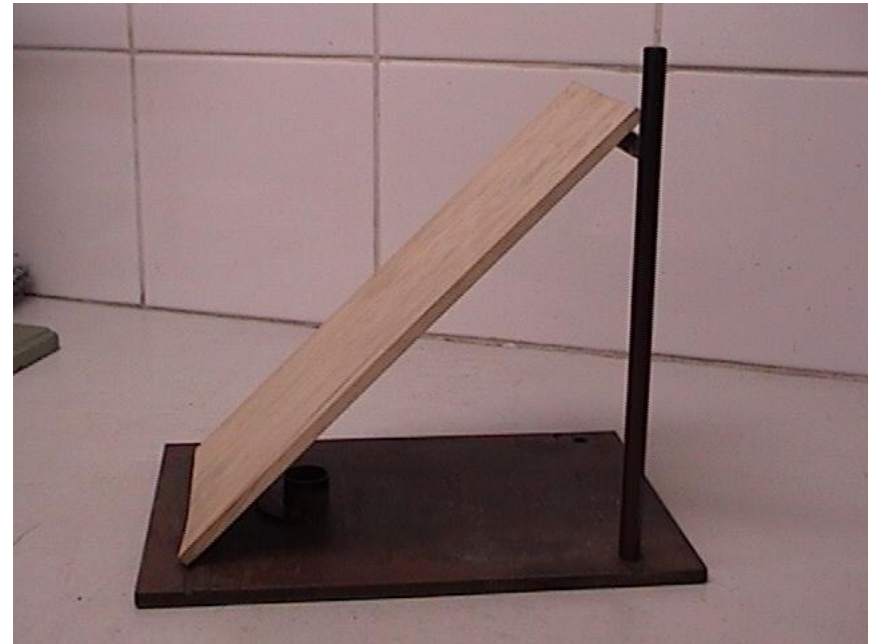
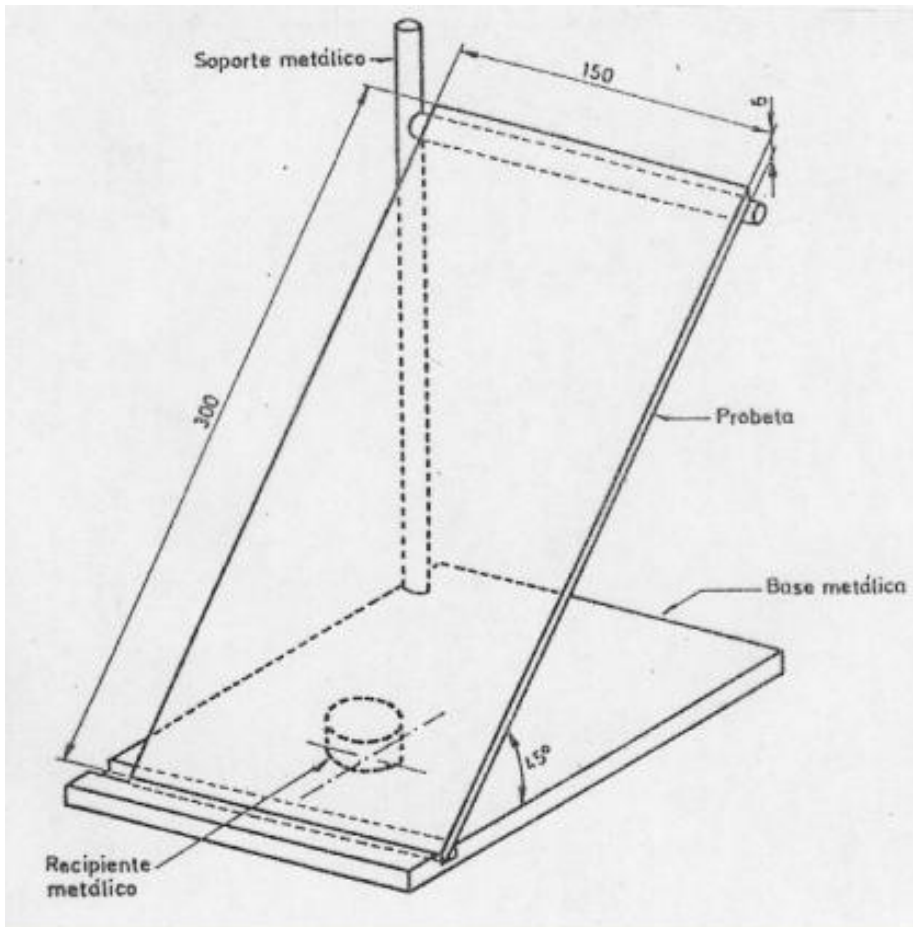
En autoclave

Fósforo – Nitrógeno – Boro - Silicio

- Bajan la velocidad de carbonización.
- Disminuyen capacidad de encendido.

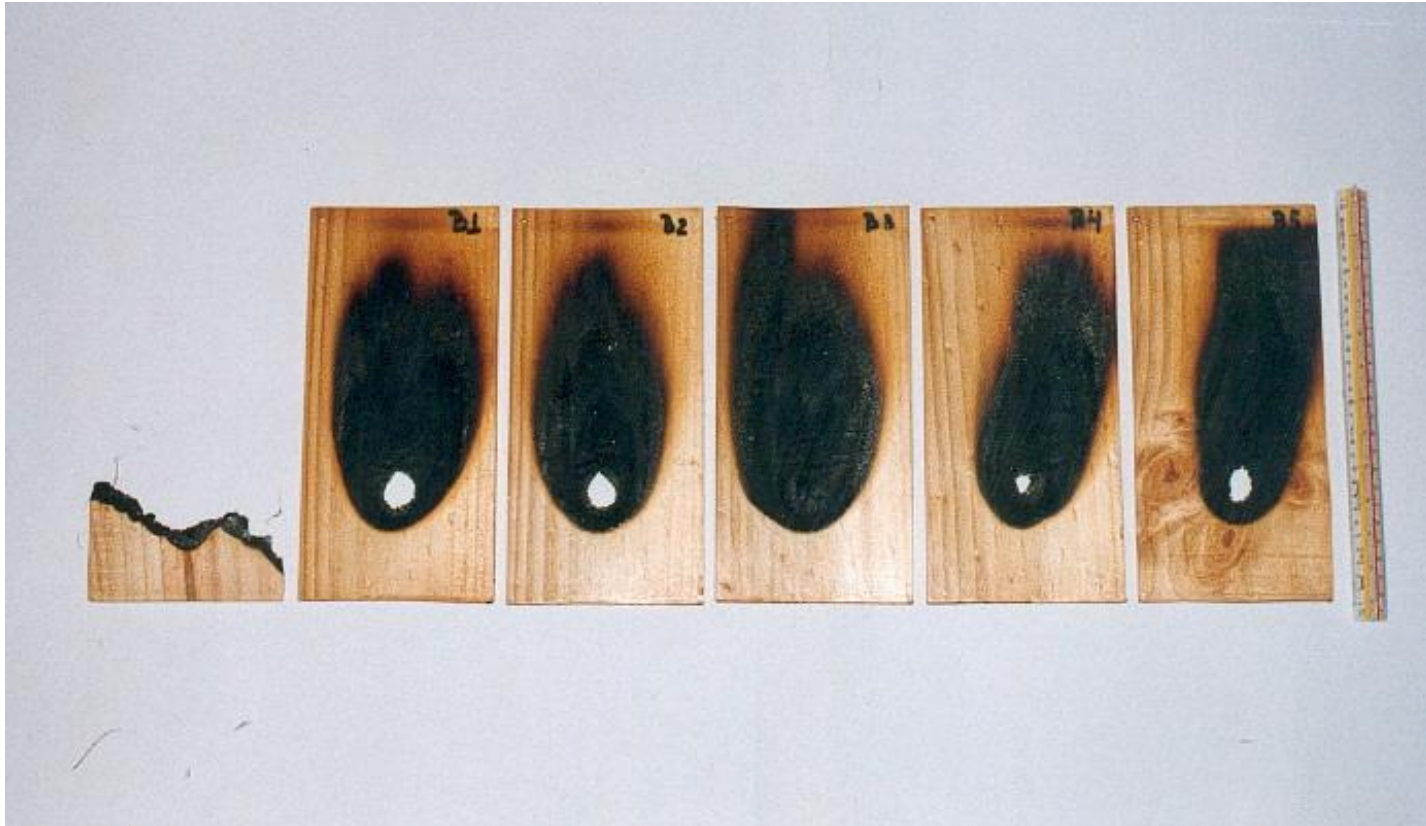
MADERA

- Ensayo chileno, NCh1974



MADERA

- Ensayo chileno, NCh1974



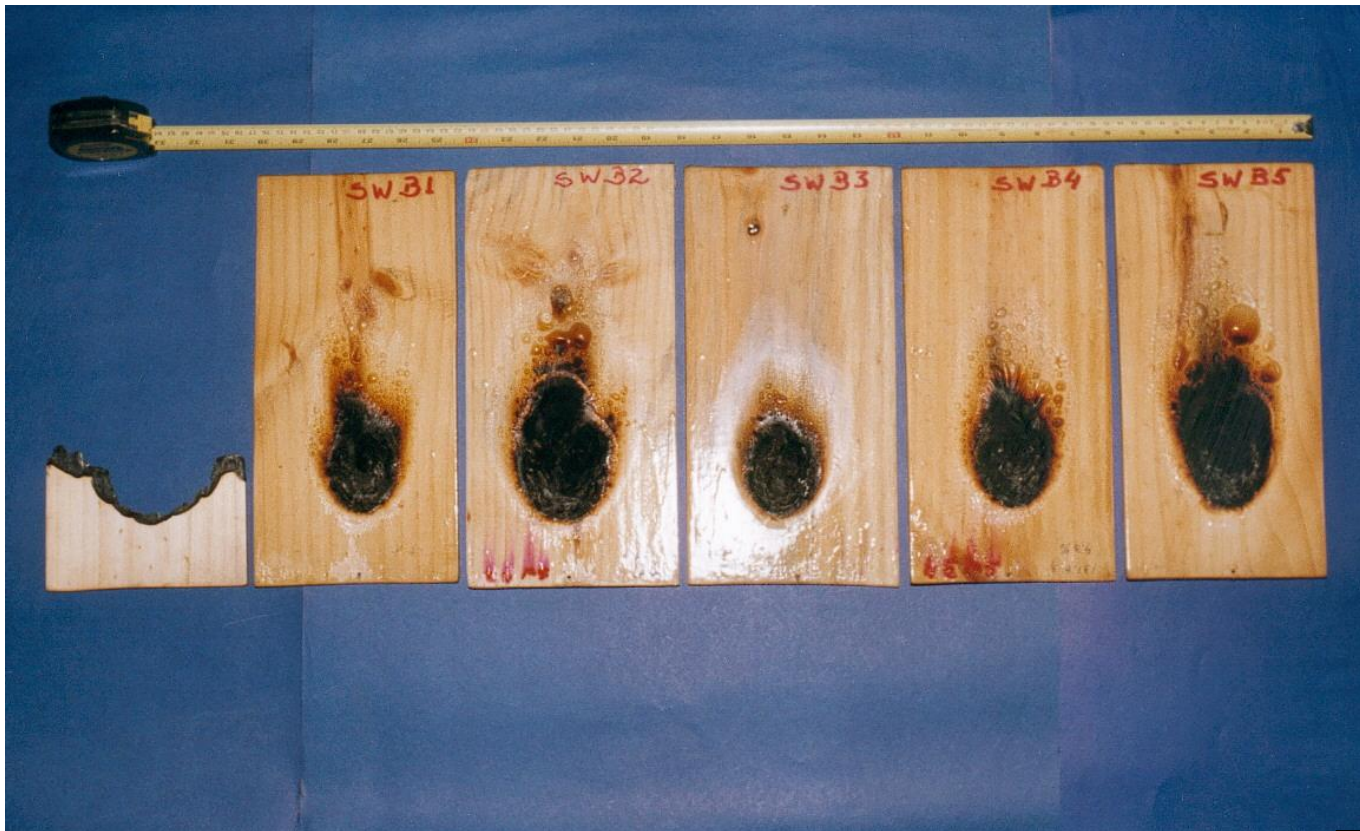
MADERA

- Ensayo chileno, NCh1974



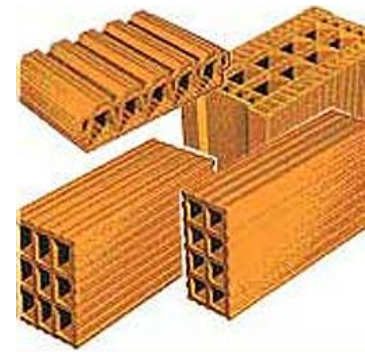
MADERA

- Ensayo chileno, NCh1974



LADRILLOS ARCILLA

- Buen comportamiento al fuego.
- Fallas se producen en el mortero de pega.
- Muro de 14 cm espesor $\geq$ F120



ALUMINIO

- Consideraciones especiales.
- Conductividad térmica elevada.
- Baja densidad
- T° de fusión = 658 °C

