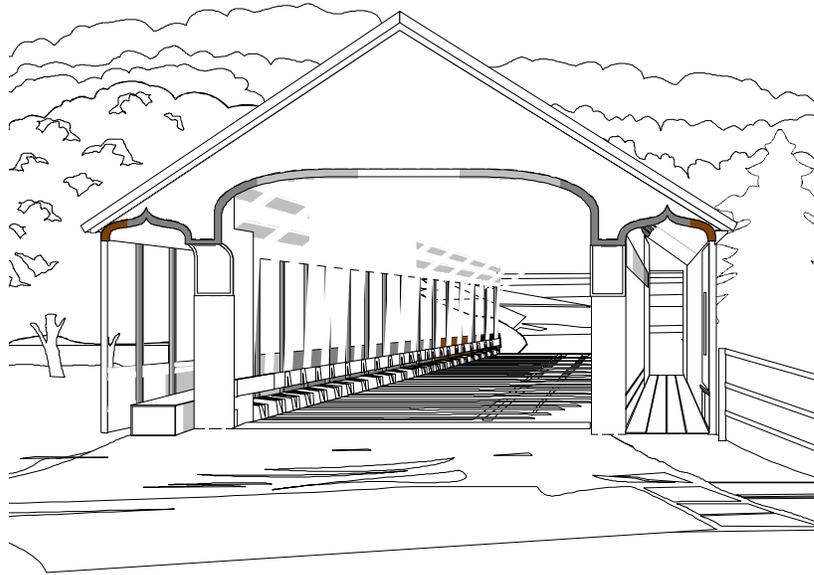


# TEORÍA DE ESTRUCTURAS

CALCULO ESTRUCTURAL, CONSTRUCCIÓN Y NORMATIVA

PARTE -I-



AUTOR: JAVIER PAJÓN PERMUY

## ÍNDICE

1.-	INTRODUCCIÓN.	1
2.-	CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES EMPLEADOS EN CONSTRUCCIÓN.	
	2.1.-GENERALIDADES.	
	2.2.-LEY DE HOOKE Y COEFICIENTE DE POISSON.	2
	2.3.-EL ACERO.	4
	2.3.1.- Ensayo de tracción.	7
	2.4.-EL HORMIGÓN.	8
	2.4.1.- Colocación del hormigón.	11
	2.4.2.- Compactación del hormigón.	12
	2.4.3.- Curado.	
	2.4.4.- Armaduras: tipos y usos.	13
	2.5.-LA MADERA.	15
3.-	NORMATIVA GENERAL.	17
4.-	PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL.	18

## 1.- IDEAS GENERALES SOBRE LA RESISTENCIA DE MATERIALES, LA ELASTICIDAD Y EL CÁLCULO DE ESTRUCTURAS.

La *Resistencia de Materiales*, o *Mecánica de los Cuerpos Deformables*, estudia los efectos que las fuerzas aplicadas ejercen sobre los cuerpos. De estos efectos, los más importantes son los *esfuerzos*, o fuerzas por unidad de superficie, y las *deformaciones*, o desplazamientos por unidad de longitud.

El *Cálculo de Estructuras* tiene por objeto el estudio de la estabilidad y resistencia de las construcciones de manera que bajo las acciones que aquellas soportan tanto las fuerzas internas -denominadas tensiones o esfuerzos- como las deformaciones que se presentan han de quedar dentro de ciertos límites establecidos. Límites que se determinan ensayando los materiales de diversas maneras -tracción, compresión, fatiga, choque, etc...-, y observando el comportamiento de estructuras ya conocidas.

La imposibilidad existente de la determinación exacta de tensiones y deformaciones se soslaya eligiendo formas estructurales y materiales de comportamiento conocido, o equiparando dichas formas -siempre que se compruebe la admisibilidad de esta idealización- a otras más sencillas; e incluso realizando ensayos previos en modelos

## 2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES MATERIALES EMPLEADOS EN CONSTRUCC

### 2.1.- GENERALIDADES.

Para hacer accesible mediante el cálculo numérico la determinación de las tensiones y deformaciones de los cuerpos es necesario idealizar sus características físicas. De la mayor o menor aproximación de las hipótesis dependerá la exactitud de los resultados.

Se admite, dentro de ciertos límites, que los cuerpos son perfectamente elásticos, es decir recuperan su forma primitiva tras la desaparición de las causas que lo deforman, esta propiedad se llama *Elasticidad*.

<b>ELASTICIDAD:</b> Es la propiedad que tienen los cuerpos de recuperar su forma primitiva al ser descargados (cesar la fuerza que los
--

Así mismo, admitiremos que los cuerpos son isótropos, y por ello, sus propiedades elásticas serán iguales en todas las direcciones. Esto no se cumple exactamente en materiales fibrosos como la madera, ni en las rocas estratificadas, ni en materiales formados por laminación, etc... A pesar de ello, los resultados que se obtienen con esta hipótesis son satisfactorios en la mayoría de los casos.

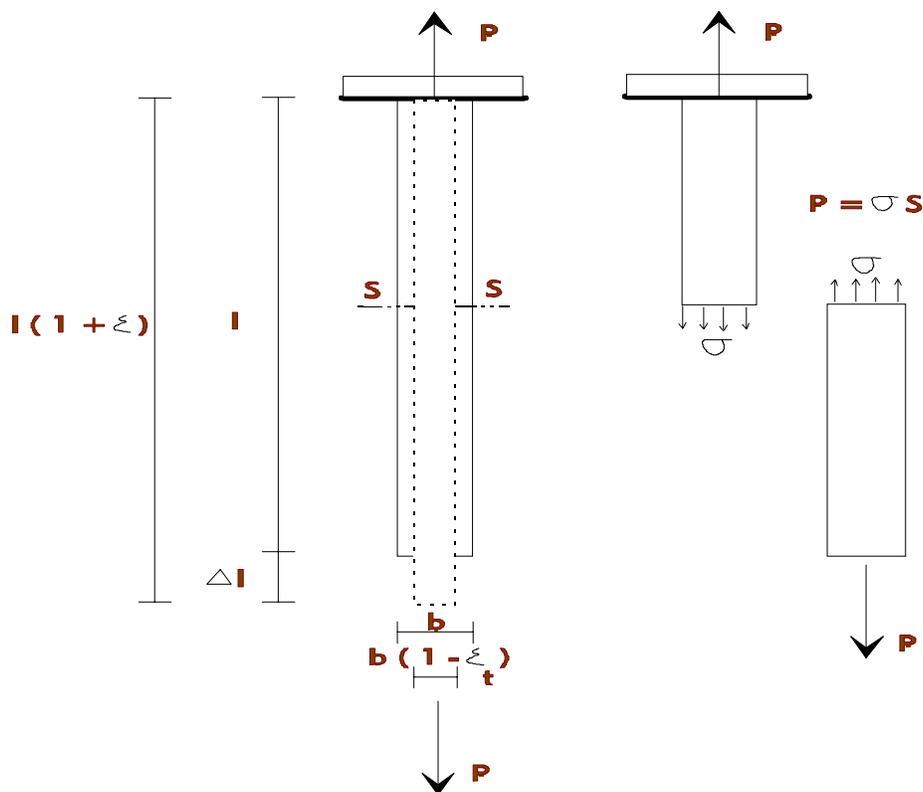
### 2.2.- LEY DE HOOKE Y COEFICIENTE DE POISSON.



$$\Delta l = \frac{PL}{SE}$$

$$\sigma = \frac{E}{\epsilon}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$



**Figura 1.2.2.a**

Recordemos que :

**P** = fuerza extensora.

**l** = longitud de la barra.

**S** = Sección de la barra.

**$\epsilon$**  = alargamiento unitario

**$\sigma$**  = tensión normal.

**E** = módulo de elasticidad.

### 2.3.- EL ACERO.

Según la Norma UNE 36-004: *El acero es un producto férreo generalmente apto para la conformación en caliente. Con excepción de ciertos aceros de alto contenido en cromo, el contenido en carbono es igual o inferior al 2%, límite que los separa de las fundiciones.*

En esta misma Norma se establece la clasificación de los aceros atendiendo a dos conceptos:

- Composición química:
  - Aceros no aleados.
  - Aceros aleados.
- Criterios de utilización:
  - Aceros de base.
  - Aceros de calidad.
  - Aceros especiales.

Los aceros que se emplean en la construcción metálica son aceros no aleados, generalmente conformados en caliente por laminación. Actualmente los aceros utilizados en estructuras metálicas de edificación son de las clase A37, A42 y A52, regulados por las vigentes NBE-MV, que se corresponden con los definidos en la Norma UNE 36-080-73 que ha evolucionado hasta la actual UNE 36 080-85. En la siguiente tabla se establece la evolución de los aceros:

EVOLUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ACEROS NORMALIZADOS	NORMA	TIPOS			
	UNE 36-080-73	A 37b, c, d	A 42b, c, d	A 44b, c, d	A 52b, c, d
UNE 36-080-85	AE 235-B, -C, -D	No los contempla	AE 275-B, -C, -D	AE 355-B, -C, -D	

No obstante, razones económicas determinan el que la mayoría de los países sólo dispongan de un único tipo de acero en sus stocks comerciales, empleándose este de forma mayoritaria y dejando el resto de ellos para condiciones especiales de pedido. Este tipo de acero será el A 44b (AE 275-B) de límite elástico garantizado 275 Mpa (2750 kp/cm<sup>2</sup>) y de condiciones de soldabilidad ordinarias. Si el espesor de los elementos fabricados con este acero supera los 16 mm. sin pasar de los 40 mm., el límite elástico garantizado desciende a 265 Mpa (2650 kp/cm<sup>2</sup>).

Las características y condiciones de suministro y recepción de los productos laminados en caliente vienen recogidas en la Norma Básica de la Edificación MV-102. Las series actualmente mas utilizadas se indican en la sigui

SERIES DE PRODUCTOS LAMINADOS		
SERIE	Notación (en forma de ejemplo)	
Perfil IPN	IPN	300
Perfil IPE	IPE	200
Perfil HEB	HEB	120
Perfil HEA	HEA	180
Perfil HEM	HEM	240
Perfil UPN	UPN	180
Perfil L	L	40.4
Perfil LD	LD	120.80.8
Perfil T	T	50.6
Redondo	⊕	10
Cuadrado	≠	12
Rectangular	≠	30.5
Chapa	≠	2000.6.8000

Mientras no se alcance oficialmente la normalización total en Europa, en España el acero ordinario disponible para nuestras construcciones metálicas, empleado también exclusivamente en la fabricación de perfiles huecos para estructuras, según la Norma Básica NBE-MV 108, es el acero A 42b, de límite elástico garantizado 260 Mpa (2600 kp/cm<sup>2</sup>) para elementos de espesor menor o igual a los 16 mm. y de 250 Mpa (2500 kp/cm<sup>2</sup>) si el espesor varía de 16 a 40 mm., con tendencia decreciente a medida que aumenta el espesor.

SERIES DE PERFILES HUECOS		
SERIE	Notación (en forma de ejemplo)	
Perfil Hueco Redondo	⊕	100.4
Perfil Hueco Cuadrado	≠	80.3
Perfil Hueco Rectangular	≠	160.120.5

Curiosamente el acero que se emplea en los perfiles conformados en frío es el A 37b, estos perfiles vienen definidos en la Norma Básica NBE-MV 109, siendo las series actualmente utilizadas las siguientes.

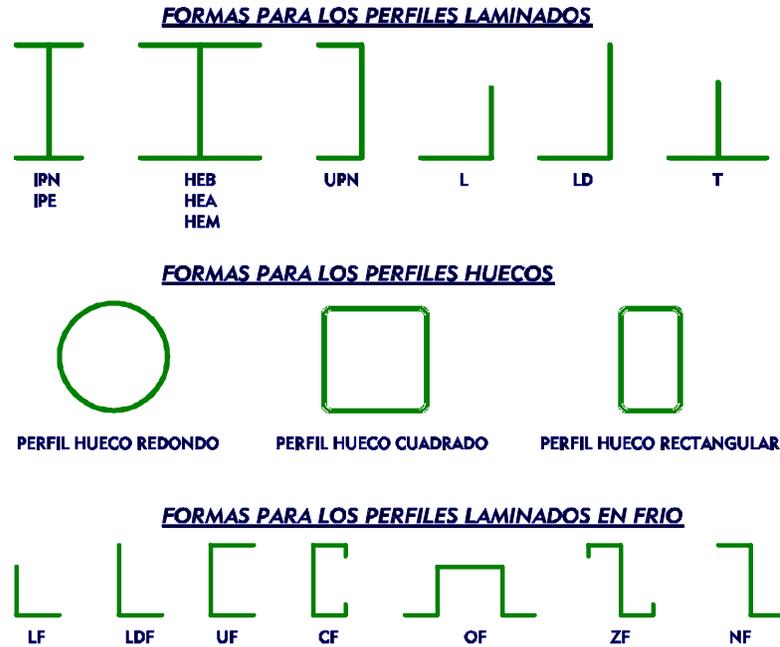
SERIES DE PERFILES CONFORMADOS		
SERIE	Notación (en forma de ejemplo)	
Perfil Conformado L	LF	50.2
Perfil Conformado LD	LF	60.30.3
Perfil Conformado U	UF	100.3
Perfil Conformado C	CF	120.2,5
Perfil Conformado Omega	OF	40.2
Perfil Conformado Z	ZF	180.2

Normalmente las construcciones habituales podrán resolverse en general con los aceros mencionados, dado que el estado último de servicio de la estructura suele ser el fijado por las deformaciones y no por los estados tensionales; no obstante, para aquellos casos donde predominen esfuerzos anormalmente elevados que den lugar a tensiones muy fuertes,

tenemos también la posibilidad de acudir al acero A 52-b actual, AE 355-B futuro, de límite elástico garantizado 355 Mpa para espesores inferiores a los 16 mm. y 345 Mpa para espesores comprendidos entre 16 y 40 mm.

Las restantes características mecánicas y químicas de los aceros, figuran en cualquier manual de estructuras metálicas que recoja la normativa vigente actual y futura, en concreto los nuevos manuales de ENSIDESA constituyen un compendio muy completo y debe figurar en la biblioteca del técnico que se aventure en este campo.

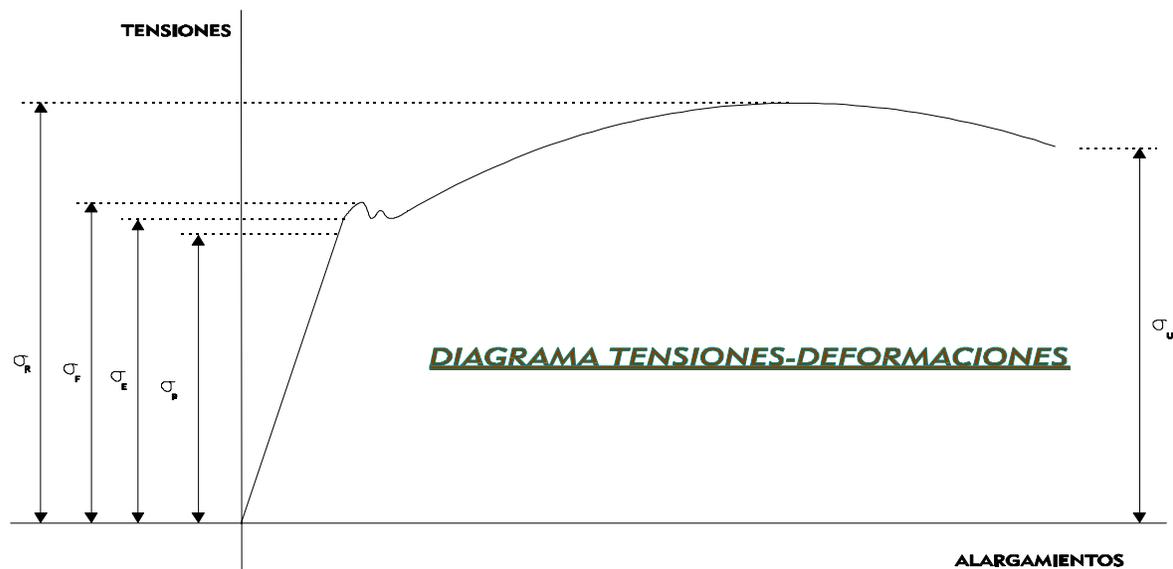
CUADRO N° 1	
PARÁMETROS DE PROYECTO ACTUALES PARA EL ACERO ESTRUCTURAL	
Tipo de acero	A 42 b (soldabilidad ordinaria)
(( $\sigma_e$ ) Límite elástico ( $e \leq 16$ mm.))	260 Mpa (2600 kp/cm <sup>2</sup> )
( $\sigma_e$ ) Límite elástico ( $16 < e \leq 40$ mm.))	250 Mpa (2500 kp/cm <sup>2</sup> )
Módulo Elástico (E)	210.000 Mpa (2,100.000 kp/cm <sup>2</sup> )
Módulo Transversal (G)	81.000 Mpa (810.000 kp/cm <sup>2</sup> )
$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$	
Coefficiente de poisson	$\mu = 0.30$
Coefficiente de dilatación térmica	$\alpha = 0.000012$
Resistencia a la cortadura pura ( $0.576 \sigma_e$ )	150 Mpa (1500 kp/cm <sup>2</sup> )
Coefficiente de seguridad ( $\gamma_s$ )	$\gamma_s = 1$



### 2.3.1.- Ensayo de tracción.

Si se somete una probeta normalizada de acero a dos fuerzas coáxicas crecientes hasta la rotura, registrando en un sistema de coordenadas las tensiones y los alargamientos unitarios, se obtienen curvas como la de la figura

Durante el primer período que termina al alcanzar la tensión el valor  $\sigma_p$  *-límite de alargamiento proporcional-* las tensiones y alargamientos se mantienen proporcionales.



Incrementos de tensión por encima de  $\sigma_p$  hasta  $\sigma_E$  *-límite elástico estricto-* conllevan alargamientos que ya no son proporcionales pero si recuperables en cuanto que al desaparecer la carga la probeta queda con sus dimensiones iniciales.

Nuevos incrementos de carga por encima de  $\sigma_E$  definen la tensión  $\sigma_F$  -*límite de fluencia*- para la que las deformaciones aumentan bajo carga prácticamente constante. En este período al desaparecer la carga, queda la probeta con una deformación permanente.

Tras haber alcanzado el límite de fluencia  $\sigma_F$  sucede como si el material adquiriese nueva resistencia, pudiéndose incrementar la carga hasta alcanzar la tensión un valor máximo  $\sigma_R$ , valor que prácticamente define la tensión de rotura y hasta el cual los alargamientos se reparten uniformemente, ya que, para nuevos incrementos de carga los alargamientos de la probeta se concentran en una zona muy reducida en la que se presenta simultáneamente una fuerte estricción o contracción transversal. Durante el proceso de estricción la carga disminuye considerablemente, alcanzándose la rotura de la probeta para una tensión  $\sigma_U$  inferior a  $\sigma_R$ , puesto que las tensiones se deducen en función de la sección inicial de la probeta, de no ser así la tensión  $\sigma_U$  será superior a  $\sigma_R$ . La mayor o menor cuantía de  $\sigma_R$  diferencia las distintas calidades de acero.

En las estructuras metálicas se considera que quedan fuera de servicio cuando en alguna sección se alcanzan tensiones iguales a  $\sigma_F$ ; dado que el límite de proporcionalidad,  $\sigma_P$ , es aproximadamente igual a  $0,8 \sigma_F$  las tensiones  $\sigma$  que se presentan bajo las *cargas de servicio -fuerzas a las que realmente ha de estar sometida la estructura-* son inferiores a  $\sigma_P$ , por lo que el comportamiento del acero es prácticamente elástico.

#### 2.4.- EL HORMIGÓN.

El hormigón está formado por una mezcla de cemento con arena y grava, amasado con agua, mezcla que fragua y adquiere solidez. La dosificación del hormigón utilizado en construcción así como su elaboración, puesta en obra, docilidad (determinada valorando su consistencia), juntas, curado (fraguado en determinadas condiciones de humedad, temperatura, etc...), desencofrado, y demás características cumplirán las Instrucciones Españolas EH y EP (EH-91 y EP-80 en la actualidad).

La resistencia del hormigón depende como puede suponerse principalmente de la mezcla que se haga y las condiciones de fraguado, no debiendo de ser la resistencia de proyecto  $f_{ck}$  (art. 10.5, 26.1 de EH) inferior, en hormigones en masa y armado, a  $125 \text{ kp/cm}^2$ .

Los cementos son conglomerantes hidráulicos, esto es, materiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto en el aire como bajo agua.

Los cementos están reglamentados según el pliego RC-93 y UNE 80.301/93, Los tipos y clases se recogen en el siguiente cuadro:

CEMENTOS		
Denominación	Designación	
	Tipo	Clase

<b>Portland</b>	<b>I-O y I</b>	<b>35, 35A, 45, 45A, 55 y 55A</b>
<b>Portland compuesto</b>	<b>II</b>	<b>35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Portland con escoria</b>	<b>II-S</b>	<b>35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Portland con puzolana</b>	<b>II-Z</b>	<b>35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Portland con ceniza volante</b>	<b>II-C</b>	<b>35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Portland con «filler» calizo</b>	<b>II-F</b>	<b>35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Horno alto</b>	<b>III-1 y III-2</b>	<b>25, 35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Puzolánico</b>	<b>IV</b>	<b>25, 35, 35A, 45, 45A</b>
<b>Mixto</b>	<b>V</b>	<b>25, 35</b>
<b>Aluminoso</b>	<b>VI</b>	<b>55</b>

Los morteros de cemento empleados como revestimientos son mezclas de cemento, arena y agua, veamos los tipos mas usados.

<b>MORTEROS DE CEMENTO</b>			
<b>TIPOS</b>	<b>CEMENTO Kg</b>	<b>ARENA m<sup>3</sup></b>	<b>AGUA m<sup>3</sup></b>
<b>1/4</b>	<b>350</b>	<b>1,030</b>	<b>0,260</b>
<b>1/6</b>	<b>250</b>	<b>1,100</b>	<b>0,255</b>

Volviendo al hormigón, veamos algunos valores orientativos de la dosificación de hormigones:

		Resistencia Característica en Obra (Kp/cm <sup>2</sup> )	Consistencia adecuada para vibrar				Consistencia adecuada para picar con barra			
			Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
			Tamaño máximo del árido: 20 mm.							
CEMENTO CATEGORÍA 35	ARIDORODADO	150	330	180	650	1.300	375	205	615	1.230
		175	365	180	640	1.280	-	-	-	-
	MACHACADO	150	270	200	650	1.300	305	225	620	1.240
		175	300	200	645	1.290	335	225	610	1.220

		Resistencia Característica en Obra (Kp/cm <sup>2</sup> )	Consistencia adecuada para vibrar				Consistencia adecuada para picar con barra			
			Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
			Tamaño máximo del árido: 40 mm.							
CEMENTO CATEGORÍA 35	ARIDORODADO	150	290	160	680	1.360	335	185	645	1.290
		175	325	160	670	1.340	375	185	635	1.270
	MACHACADO	150	245	180	675	1.350	280	205	645	1.290
		175	270	180	670	1.340	305	205	635	1.270

#### 2.4.1.- Colocación del hormigón.

La operación más importante durante el proceso de ejecución de un elemento, es la vertido y colocación del hormigón. Un buen proceso de colocación debe evitar que se produzca la segregación y conseguir que la masa llene perfectamente todas las esquinas del encofrado y recubra bien las armaduras. Para garantizar el cumplimiento de estos requisitos se deberán observar los siguientes puntos:

- **No depositar toda la masa en un punto confiando que por sí misma irá escurriendo y llenando el encofrado.**

Con ello se evita la segregación del agua y el árido fino.

- **Evitar un exceso de compactado de la masa.**

Con ello se evita la segregación del árido grueso, que el caso de los hormigones normales se depositaría en el fondo del encofrado y en el caso de hormigones ligeros ascendería a la superficie.

- **Evitar la compactación insuficiente.**

Con ello se evita que se formen coqueas en la masa y en la superficie de las piezas en contacto con el encofrado.

- **Realizar un correcto vertido del hormigón en los encofrados.**

El vertido del hormigón en caída libre produce, inevitablemente la segregación si no se realiza desde pequeñas alturas. Para evitar estas segregaciones la dirección del vertido del hormigón en el encofrado debe ser vertical, haciendo que la masa pase por un trozo corto de tubo mantenido verticalmente.

En general el peligro de la segregación es tanto mayor cuanto más grueso sea el árido y menos continua es su granulometría. Sus consecuencias son tanto más graves cuanto menor sea la sección del elemento a l

- **No arrojar el hormigón con pala a gran distancia o distribución con rastrillos o hacerlo más de 1 m. dentro de los encofrados.**

- **El espesor de cada tongada no será superior a 50 cm.**

Ya que con espesores superiores el compactado no es eficaz.

#### 2.4.2.- Compactación del hormigón.

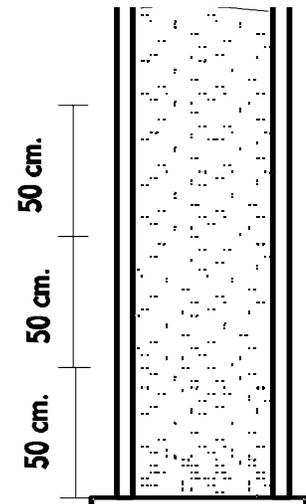
La compactación del hormigón es la operación mediante la cual se dota a la masa de la máxima compacidad compatible con la dosificación del hormigón.

La compactación se realizará mediante procedimientos adecuados a la consistencia de la mezcla.

Se realizará la **compactación por vibrado** cuando se empleen **mezclas secas** y por **picado para mezclas blandas**.

Algunas recomendaciones en cuanto al vibrado:

- Los vibradores se deben sumergir rápida y profundamente en la masa, cuidando de retirar la aguja con lentitud y a velocidad constante.
- La distancia entre los sucesivos puntos de inmersión debe de ser la adecuada para producir en toda la superficie de la masa una humectación brillante.
- Es preferible vibrar poco tiempo en muchos puntos.
- La duración de la vibración debe de estar comprendida entre un minuto y minuto y medio, y la distancia entre los puntos de inmersión debe de ser próxima a los 50 cm.
- Cuando el hormigonado se realice por tongadas, el vibrador se debe introducir hasta que penetre en la capa inmediatamente inferior.
- La aguja del vibrador se procurará mantenerla en posición vertical, evitando todo corrimiento transversal del



vibrador.

- No se debe introducir el vibrador a menos de 10 ó 15 cm. de la pared del encofrado, con objeto de evitar la formación de burbujas de aire y lechada a lo largo de dicha pared.

#### 2.4.3.- Curado.

Es el conjunto de operaciones necesarias para evitar la evaporación o pérdida de agua de amasado de

El curado deberá realizarse manteniendo húmedas las superficies de los elementos hormigonados desde el primer momento de su colocación, y prolongándose como mínimo durante los primeros siete días, evitándose así la desecación de la masa durante su fraguado y primer endurecimiento.

#### 2.4.4.- Armaduras: tipos y usos.

Las armaduras para el hormigón serán de acero estarán constituidas por:

- Barras lisas.
- Barras corrugadas.
- Mallas electrosoldadas.

Los diámetros nominales de las barras lisas y corrugadas se ajustarán a la serie <4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40 y 50 mm.>, los diámetros nominales de los alambres, lisos o corrugados, empleados en las mallas electrosoldadas se ajustarán a la serie <4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 11, 12, 13 y 14 mm.>

La utilización de alambres lisos trefilados como armaduras para hormigón esta prohibida, excepto como componentes de mallas electrosoldadas.

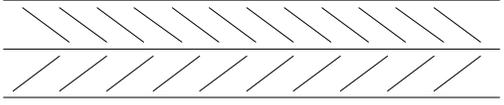
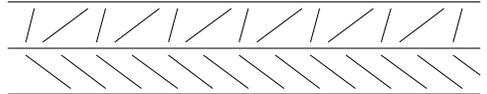
Las barras lisas están fabricadas con acero AE215L de límite elástico  $f_y$  garantizado igual o superior a 2.200 Kp/cm<sup>2</sup>.

Las barras corrugadas se designan y clasifican según el siguiente cuadro:

<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRAS CORRUGADAS</b>			
Designación	Clase de acero	Límite elástico	Color de marcas
AEH 400N	Dureza natural	$\geq 4100 \text{ Kp/cm}^2$	Amarillo
AEH 400F	Estirado en frío	$\geq 4100 \text{ Kp/cm}^2$	
AEH 500N	Dureza natural	$\geq 5100 \text{ Kp/cm}^2$	Rojo
AEH 500F	Estirado en frío	$\geq 5100 \text{ Kp/cm}^2$	
AEH 600N	Dureza natural	$\geq 6100 \text{ Kp/cm}^2$	Azul
AEH 600F	Estirado en frío	$\geq 6100 \text{ Kp/cm}^2$	
Las barras actas para soldeo, según Art. 71.5 de la EH vigente, se indicarán precediendo la letra S a la designación que corresponda.			

Desde principios del año 89, sólo se fabrican en nuestro país barras corrugadas soldables según la norma UNE 36.068 que es una adaptación, casi transcripción, de la EURONORMA 80-85. Esta norma establece dos tipos de materiales de límites elásticos diferentes, de valores mínimos 400 y 500 N/mm<sup>2</sup> respectivamente.

Estos tipos de material se identifican por tener una geometría diferente, es decir, el dibujo que forman las corrugas es diferente para permitir a simple vista su identificación y diferenciación, veamos esta nueva clasificación.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS BARRAS CORRUGADAS ACTUALES</b>			
Designación		Límite elástico	Identificación de Tipo
Numérica	Simbólica		
F 6150	AEH 400 S	$\geq 400 \text{ Mpa}$	
F 6151	AEH 500 S	$\geq 500 \text{ Mpa}$	

Además el material lleva identificado, mediante un código de corrugas engrosadas, quién es el fabricante y cuál el país de origen, cuando procede de un país europeo que toma las EURONORMAS como referencia. Estas corrugas engrosadas van situadas en la fila de corrugas con mayor separación, en el caso del tipo AEH 400S y en la fila de corrugas con la misma

inclinación en el tipo AEH 500S.

**Este código tiene tres partes:**

- **Una primera que indica por donde debe empezarse la lectura.**

Una corruga normal entre dos engrosadas, aunque determinados países indican este principio de lectura mediante dos corrugas engrosadas juntas.

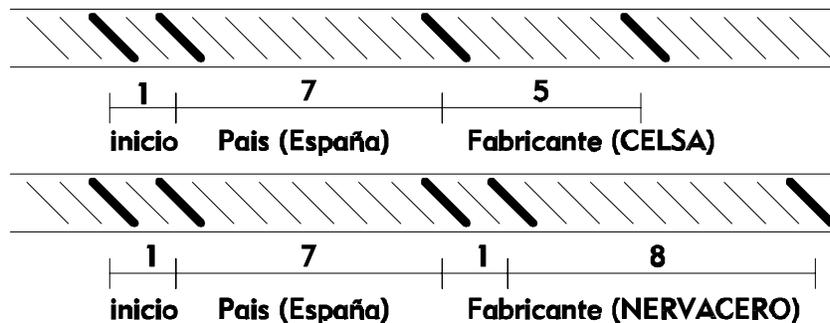
- **Una segunda que indica el país donde se ha fabricado el material.**

CÓDIGOS DE LOS PAÍSES EUROPEOS FABRICANTES							
Alemania	Bélgica Holanda Luxemburgo	Francia	Italia	Inglaterra Irlanda	Dinamarca Suecia Noruega Finlandia	España Portugal	Grecia Turquía
1	2	3	4	5	6	7	8

- **Una tercera que indica quién ha sido el fabricante.**

CÓDIGOS DE LOS FABRICANTES ESPAÑOLES							
Siderurgia Sevillana S.A.	Compañía Española de Laminación CELSA	Marcial UCIN S.A.	ENSIDESA	AZMA S.A.	Esteban Orbeagozo S.A.	Metalúrgica Galaica S.A.	NERVACERO S.A.
4	5	7	8	11	14	17	18

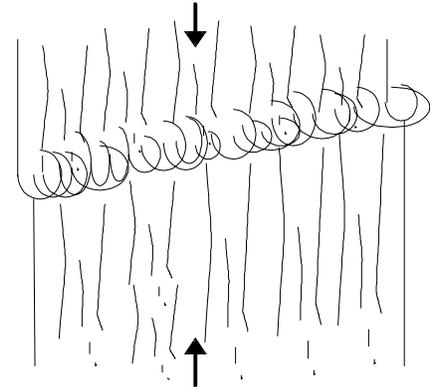
Veamos unos ejemplos que nos muestren lo indicado:



## 2.5.- LA MADERA.

La madera es un material esencialmente heterogéneo al estar formado por tejidos de fibras de naturaleza muy diversa, cuya constitución varía con la función biológica que desempeñan. Debido a la forma particular de crecimiento, las propiedades son muy diferentes según se determinen en el sentido de las fibras longitudinales o normalmente a ellas, acrecentando todavía estas diferencias la existencia de nudos.

A la inversa de lo que acontece con los hormigones y piedras naturales, la resistencia a la tracción de las maderas es muy superior a la compresión. Solicitación para la que las fibras pandean lateralmente formando planos de deslizamiento, inclinados de  $40^\circ$  a  $60^\circ$  respecto a la fuerza de compresión, como se aprecia en la figura.



El grado de humedad influye decisivamente en la capacidad de resistencia; disminuyendo a medida que se incrementa, hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras: 30 % para las coníferas.

El tiempo de aplicación de las cargas influye en las deformaciones y resistencia de las maderas. Así, bajo cargas estáticas prolongadas, la resistencia obtenida respecto a los ensayos rápidos disminuye en las coníferas al 60% y en las frondosas al 77%.

CLASES	COMPRESIÓN Kp/cm <sup>2</sup>		FLEXIÓN Kp/cm <sup>2</sup>	TRACCIÓN Kp/cm <sup>2</sup>		CORTADURA Kp/cm <sup>2</sup>		MODULO DE ELASTICIDAD Kp/cm <sup>2</sup>	DUREZA
	Paralelo a las fibras	Normal a las fibras		Paralelo a las fibras	Normal a las fibras	Paralelo a las fibras	Normal a las fibras		
Abedul	500	-	-	1.000	-	-	-	-	Algo Dura
Abeto	410	70	800	890	22	14	30	144.000	Blanda
Flandes	350	-	720	700	-	-	-	100.000	Bastante dura
Fresno	630	-	1.200	1.200	34	-	-	120.000	Blanda
Haya	460	110	900	1.300	32	15	40	85.000	Muy Dura
Nogal	470	-	1.000	900	30	-	65	-	Algo Dura
Olmo	470	-	1.100	1.000	32	-	70	97.000	Bastante Dura
Pino silvestre	400	85	800	900	22	7	30	150.000	Blanda
Roble	450	150	600	1.000	34	16	75	105.000	Bastante Dura

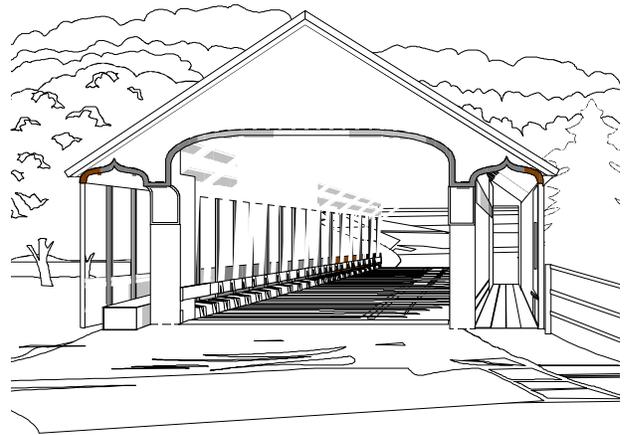
La madera que fue un material tradicionalmente empleado en la construcción con funciones resistentes se ve desplazada en este campo en los comienzos de siglo actual, primero por el acero y posteriormente por el hormigón, materiales hechos por el hombre y sobre los que este puede intervenir en su proceso de fabricación para mejorar sus características resistentes. Paralelamente con el desarrollo tecnológico de estos dos materiales existe un cierto abandono en el estudio de la

madera hasta que su utilización en la industria aeronáutica inicia el desarrollo de diferentes tecnologías.

Es con la aparición de la madera laminada, de los tableros contrachapados, de partículas y de fibras, etc. -productos todos ellos derivados de la madera y sobre los que el hombre media en su fabricación y control-, y con el desarrollo de las técnicas de protección contra el riesgo de los ataques de insectos y hongos, junto con el "descubrimiento" del buen comportamiento frente al fuego de estas maderas así tratadas, pues si bien es cierto que la madera arde, la misma combustión de las primeras capas proporciona a esta una superficie de carbonización protectora, que aísla al resto de la madera, del oxígeno del aire, frenando la propagación del fuego. Al extremo, una pieza de madera laminada, será autoextinguible. Además, en caso de incendio, la ausencia total de dilataciones o deformaciones por calor, de la estructura de madera laminada, permite un notable mayor mantenimiento de la estructura en pie que con otros materiales.

La madera laminada presenta un comportamiento excelente frente a ambientes corrosivos y húmedos, además de ser ligera, lo que facilita su transporte.

Otras características de la madera son su absorción al ruido, la supresión de juntas de dilatación, es antimagnética, su alto aislamiento térmico, no conduce la electricidad y posee una belleza natural que garantiza un confort de habitabilidad y participa por esa razón de la mejora del bienestar de las personas.



### 3.- NORMATIVA GENERAL.

La NORMALIZACIÓN es una actividad que pretende establecer un proceso por el cual se unifican criterios respecto a determinadas materias y posibilita la utilización común en un campo de actividad concreto. La Normativa empleada en el análisis y cálculo estructural es un medio para conseguir el fin de que la edificación atienda y garantice la seguridad, el bienestar y la economía de la sociedad a la que está destinada.

Las normas básicas (de obligado cumplimiento) de la edificación (NBE), se recogen a continuación:

- NBE-AE-88 Acciones en la edificación.
- NBE-EA-95 Estructuras de Acero en la edificación.
- NBE-FL Muros resistentes de fábrica de ladrillo.
- NBE-QB Cubiertas con materiales bituminosos.
- NCSE Norma de construcción Sismorresistente.
- NBE-CT Condiciones térmicas en los edificios.
- NBE-CA Condiciones acústicas en los edificios.
- NBE-CPI Condiciones de Protección contra Incendios de los Edificios.

Y las conocidas Instrucciones referidas al hormigón:

- EH-98 Instrucción de hormigón estructural.
- EF-\_\_\_ Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado.
- EP-\_\_\_ Instrucción para el proyecto y la ejecución de Obras de hormigón pretensado.

En referencia a las NTE (Normas Tecnológicas de la Edificación), si bien, no son de obligado cumplimiento, si son una herramienta de diseño y cálculo imprescindible en cualquier biblioteca Técnica.

En España no existe normativa específica de cálculo para estructuras resistentes de madera laminada, por lo que se emplean normas editadas en otros países, principalmente las editadas en Alemania, que básicamente son:

- DIN 1052 Construcción en madera.
- DIN 1080 Signos de cálculos estáticos en ingeniería.
- DIN 4074 Condiciones de calidad para maderas aserradas de construcción (coníferas).
- DIN 4112 Bases de cálculo para construcciones transportables
- DIN 52183 Determinación del grado de humedad de la madera.
- DIN 68140 Uniones de madera mediante entalladura múltiple.
- DIN 68800 Protección de la madera en la construcción.
- DIN 4102 Comportamiento al incendio de materiales de construcción y partes de construcción.
- DIN 68141 Ensayos de colas y uniones encoladas.
- DIN 931/933 Tornillería.
- DIN 934 Tuercas.
- DIN 126 Arandelas.

#### 4.- PROCESO DE DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL.

Las pautas a seguir para calcular un elemento estructural depende, como es lógico, del material con que esté construido y del método empleado, se recoge en el siguiente esquema como es generalmente este proceso:

