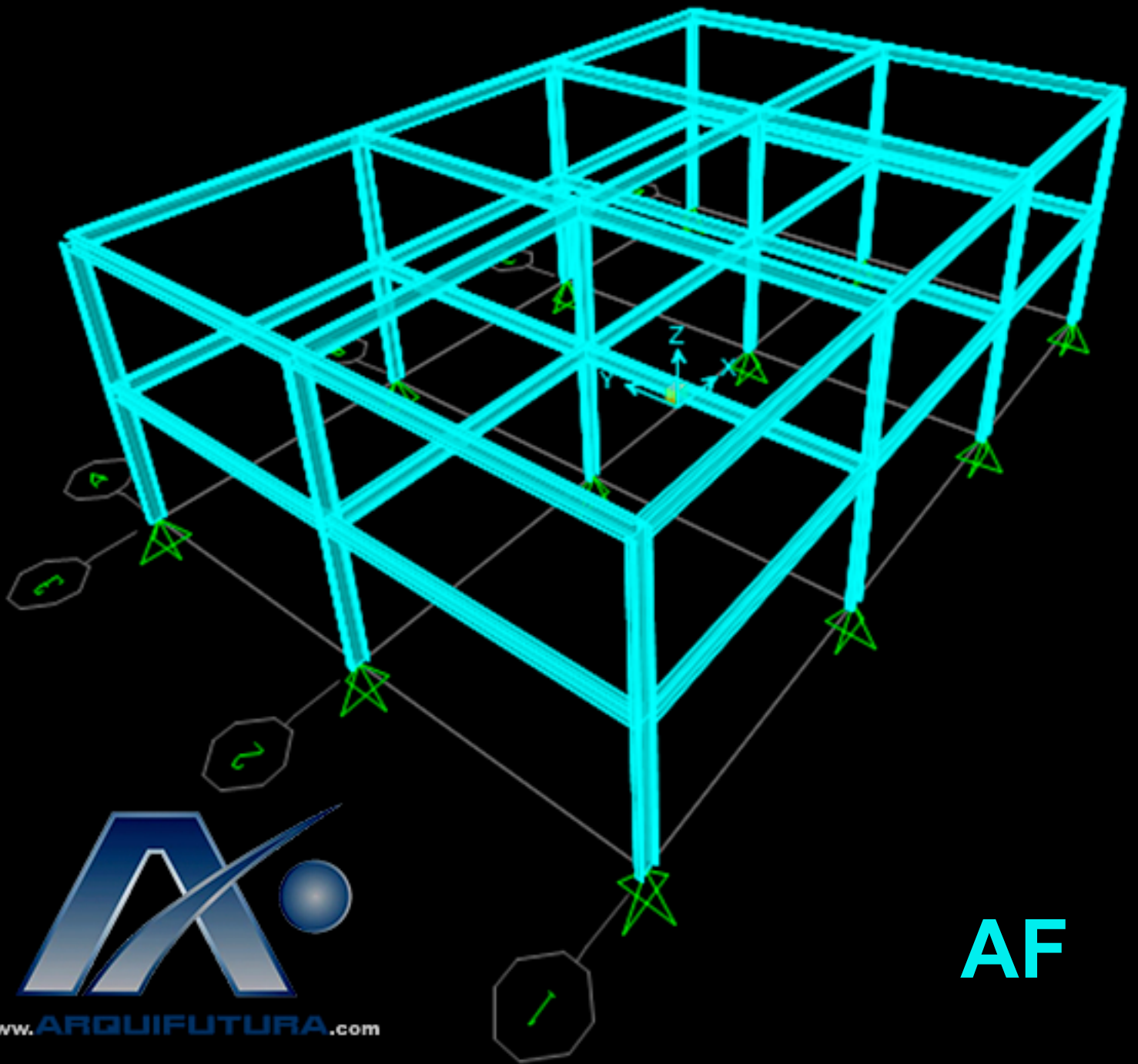


CRITERIOS BASICOS ESTRUCTURALES

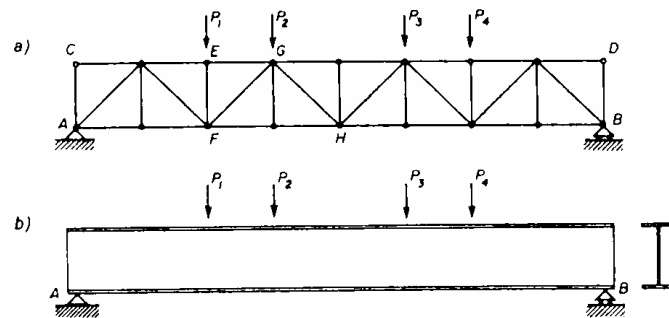


AF

VIGAS EN CELOSÍA.

1. Introducción.

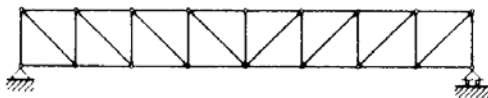
Cuando necesitamos salvar luces importantes (a partir de 10 - 15 m por ejemplo), o necesitamos tener vigas de cantos importantes, puede resultar más económico utilizar estructuras reticulares en celosía que vigas de alma llena.



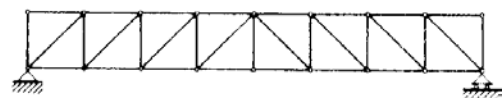
La condición fundamental que debe cumplir una estructura de celosía es la de ser geoméricamente **indeformable**. Como un punto en un plano queda determinado por el triángulo que le une a otros dos, el triángulo es el elemento fundamental de una celosía indeformable. De ahí el nombre de **estructuras trianguladas**. Suelen diseñarse con nudos articulados.

Algunos ejemplos de estructuras trianguladas son:

a) Viga Pratt



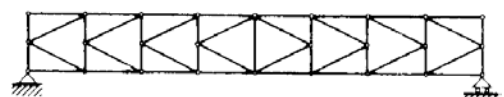
b) Viga Howe



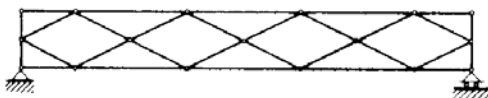
c) Viga Warren



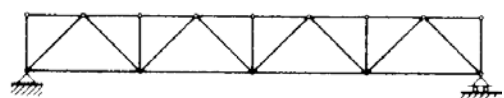
d) Viga en K



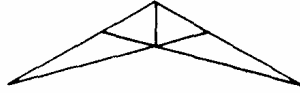
e) Viga en rombo



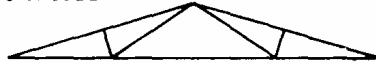
f) Viga Warren con montantes intercalados



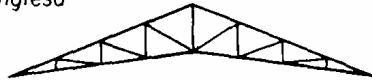
a) Tijera



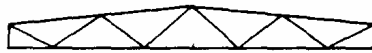
b) Polonceau



c) Inglesa



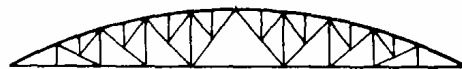
d) Warren



e) Pratt

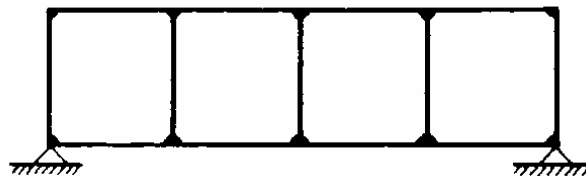


f)



Cuando una estructura reticular es geoméricamente deformable, sólo puede utilizarse como elemento resistente si las barras que la componen están unidas mediante empotramientos rígidos.

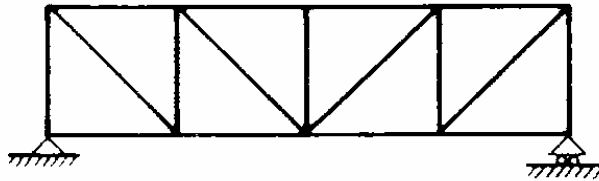
Un ejemplo de este caso es la viga "Vierendel".



Las estructuras en celosía pueden dividirse desde el punto de vista de los apoyos en

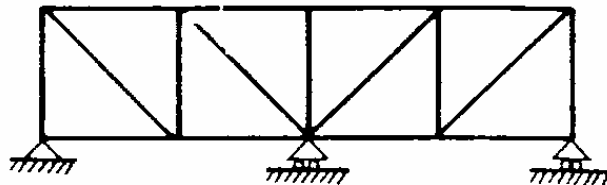
- Vigas exteriormente isostáticas.

Un ejemplo es la viga tipo Pratt de la figura siguiente



- Vigas exteriormente hiperestáticas.

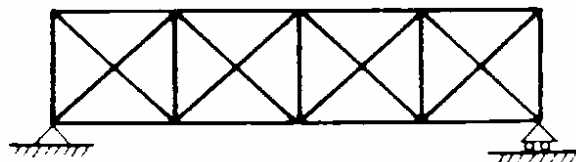
Si la viga anterior la soportamos en tres apoyos se convierte en exteriormente hiperestáticas.



Este tipo de vigas tienen varios inconvenientes: mayor dificultad en el cálculo, mayor exigencia de precisión en la nivelación durante el montaje y la posibilidad de aparición de tensiones adicionales en caso de producirse asentamientos diferenciales en los apoyos.

Desde el punto de vista de la triangulación interior, las vigas en celosía pueden también dividirse en isostáticas e hiperestáticas.

Una viga es internamente isostática cuando tiene el número imprescindible de barras. En cuanto aparecen barras superfluas la viga se convierte en interiormente hiperestática. Un ejemplo de este último caso es la celosía en Cruz de San Andrés.



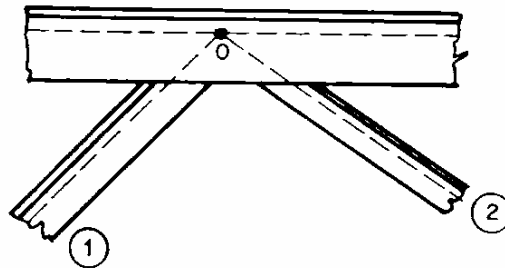
En las vigas en celosía las barras se denominan, según su posición, del siguiente modo:

- Cordon superior: conjunto de elementos que forman la cabeza superior (se denomina "par" en las cerchas).
- Cordon inferior: conjunto de elementos que forman la cabeza inferior (se denomina "tirante" en las cerchas por trabajar usualmente a tracción).
- Montantes: barras verticales dispuesta en el alma de la viga.
- Diagonales: barras inclinadas dispuestas en el alma de la viga.

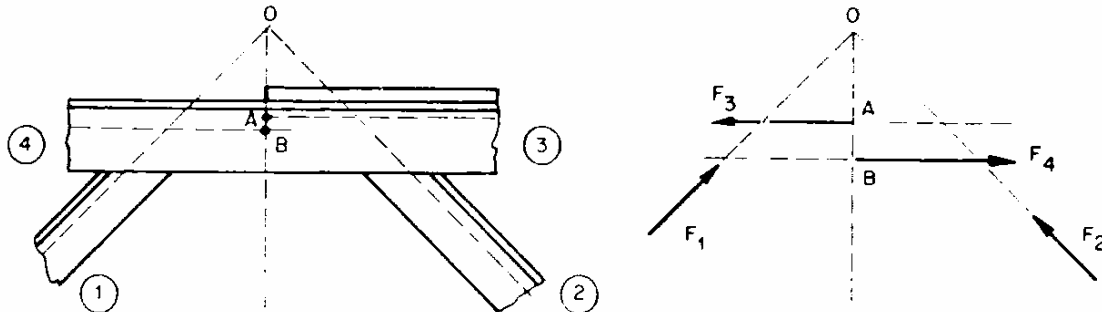
2. Principios básicos de cálculo de las celosías indeformables.

El cálculo simplificado de celosías triangulares (el más utilizado por otra parte) se rige por varios principios simplificatorios, aunque sobradamente sancionados por la experiencia.

1. Los ejes (líneas de centros de gravedad) de los perfiles que concurren en un nudo deben pasar por un mismo punto.



Si por errores o por necesidades de montaje esto no fuera así, sería necesario comprobar los esfuerzos secundarios que resultasen.

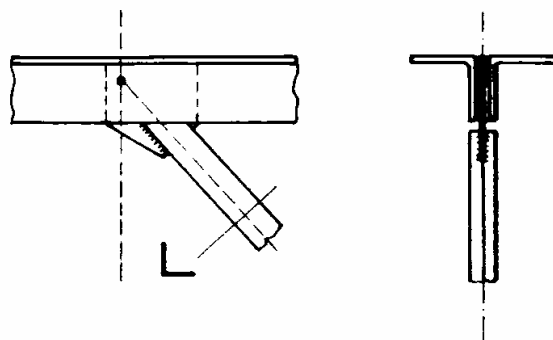


En la figura puede comprobarse como existe un momento descompensado de valor $M = F_4 \cdot \overline{OB} - F_3 \cdot \overline{OA}$

2. Las cargas deben estar contenidas en el plano de la viga.
3. La colocación de los perfiles debe ser simétrica respecto al plano de la cercha.

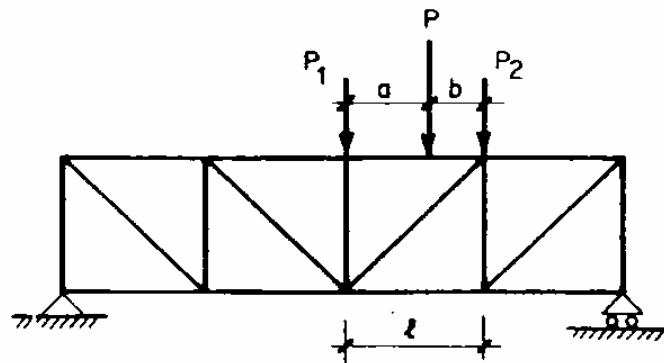
Esta condición resulta fácil de cumplir utilizando dos perfiles simétricos para cada cordón.

A veces, en barras poco cargadas, se recurre al uso de perfiles simples, pero este tipo de soluciones exige más mano de obra en el montaje y además pueden aparecer problemas de pandeo por flexión-torsión.



4. Las cargas deben estar aplicadas en los nudos. Los métodos de cálculo más usados (Cremona) requieren esta condición.

Como no siempre puede construirse así, en la práctica podemos sustituir las cargas que actúan en puntos intermedios por sus reacciones en los nudos:



En la figura anterior, los valores de las cargas en los nudos son:

$$P_1 = P \frac{b}{a+b}; \text{ y } P_2 = P \frac{a}{a+b}$$

Tras el cálculo de los esfuerzos de tracción o compresión que soporta la barra, deberemos dimensionarla a flexotracción o flexocompresión, puesto que la barra, además, está solicitada por el momento flector producido por la carga P .

5. El cálculo se realiza como si todos los nudos fuesen articulados y se desprecia la variación de la longitud de las barras. Esto supone que en ángulo que forman las barras puede variar libremente.

En la práctica, realmente los nudos se construyen como nudos rígidos o al menos parcialmente rígidos, por efecto de las soldaduras o de otros medios de unión.

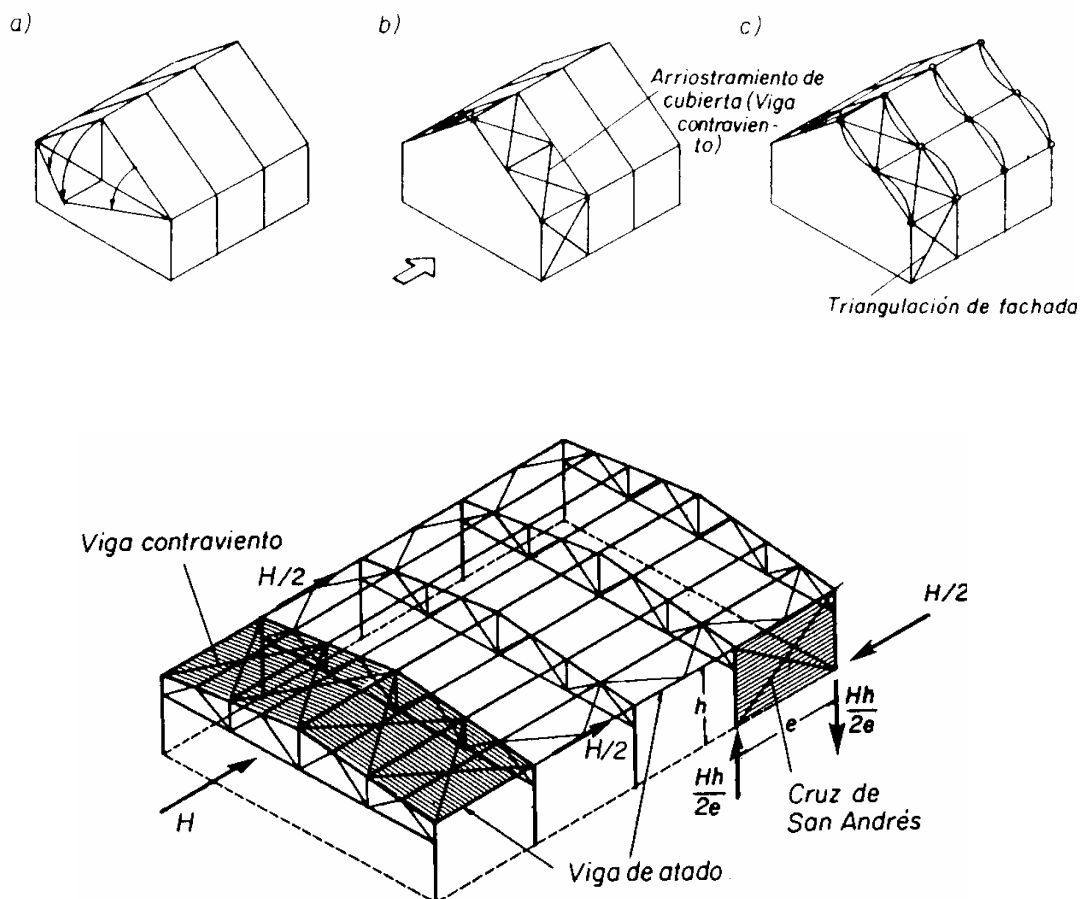
El efecto inmediato es que aparecen *momentos secundarios* en las barras de la estructura. Éstas, además del efecto principal de tracción o compresión, deben soportar la flexión provocada por esos *momentos secundarios*.

Los *momentos secundarios* provocan una *tensión secundaria* que se sumará a la tensión principal. La cuantía de esta tensión no suele ser excesiva; en vigas normales (barras delgadas y uniones no excesivas, por ejemplo 1/6 de la longitud de la barra), con nudos diseñados con cartelas pequeñas, barras con ejes coincidentes en un punto, etc, no supera el 10% de la tensión principal.

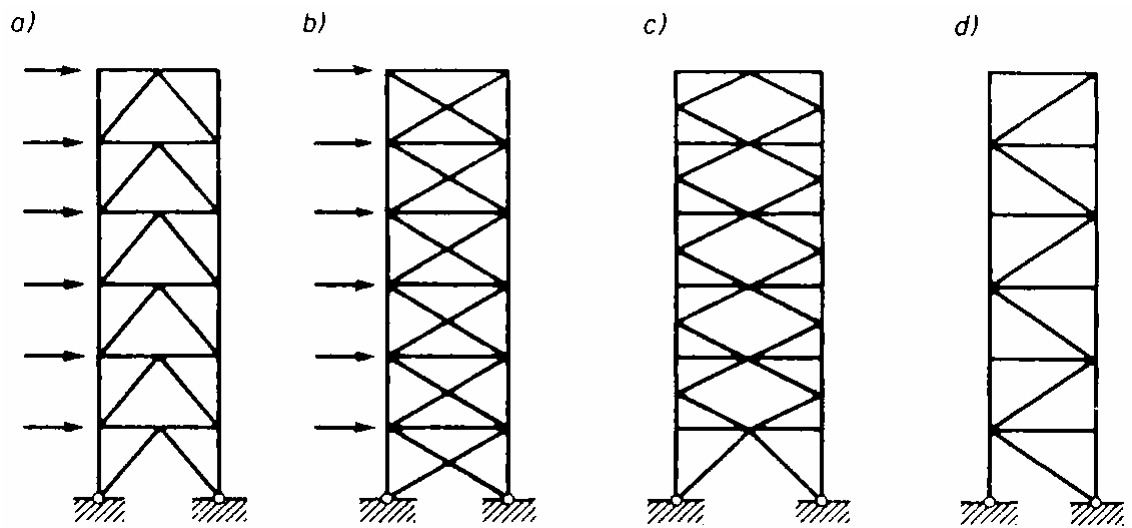
Casi siempre resulta más práctico reducir un 10% la tensión admisible del acero que calcular estas tensiones secundarias.

3. Utilización de las celosías.

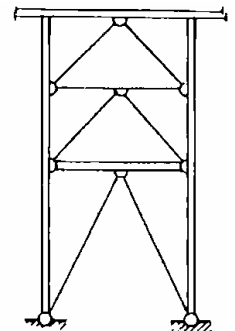
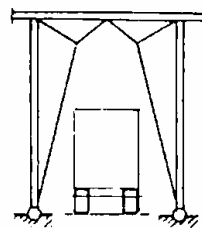
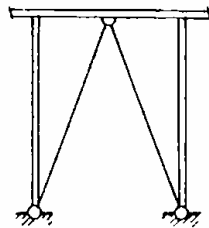
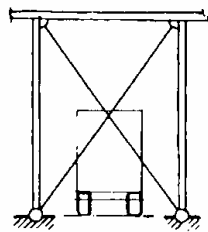
- Arriostramientos en naves.



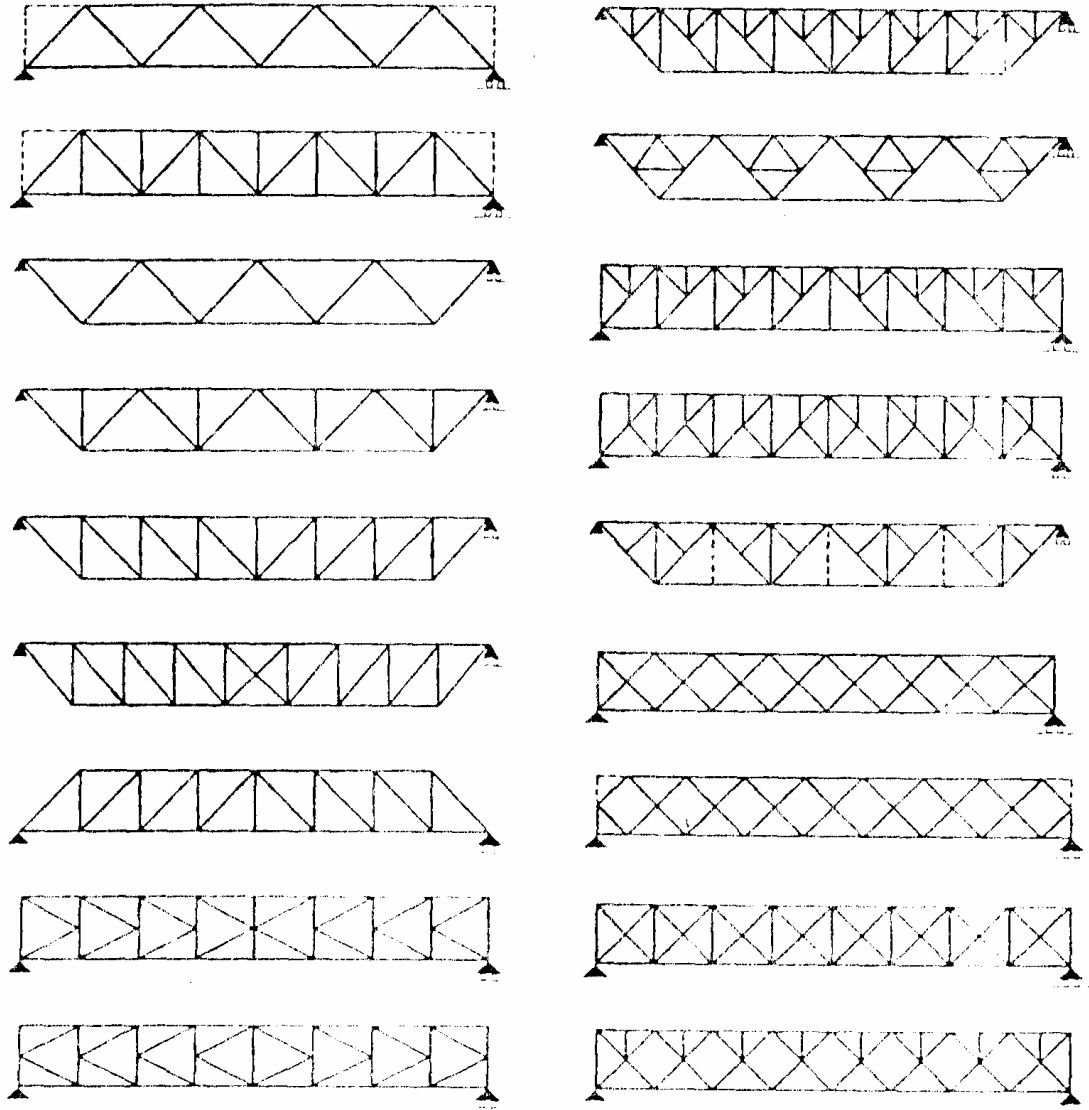
- Arriostramientos en edificios.



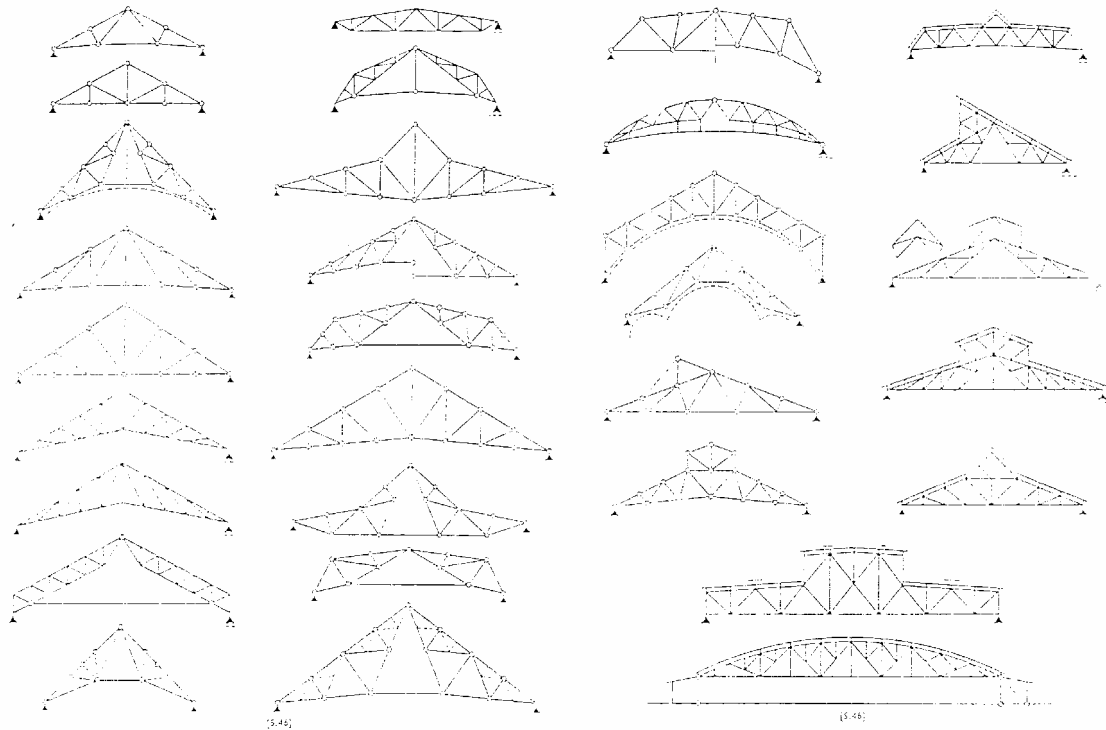
Triangulaciones alternativas a la Cruz de San Andrés.



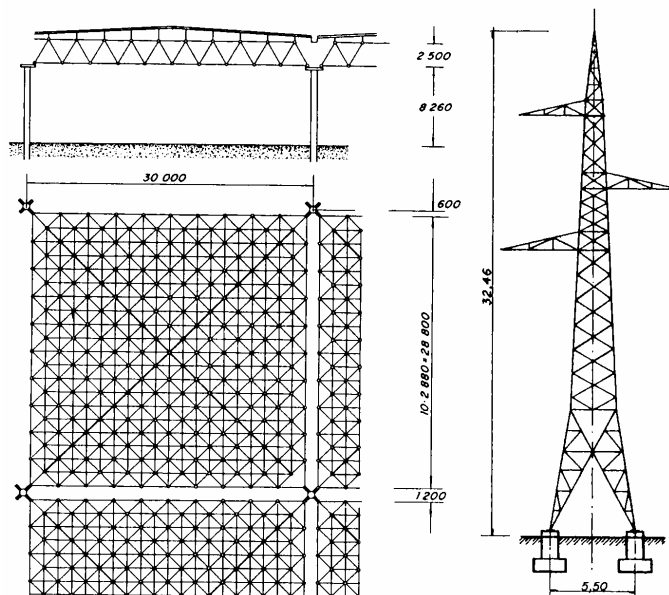
- Vigas para luces importantes.



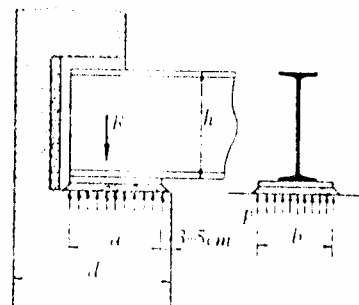
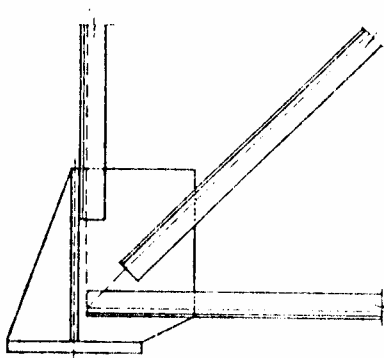
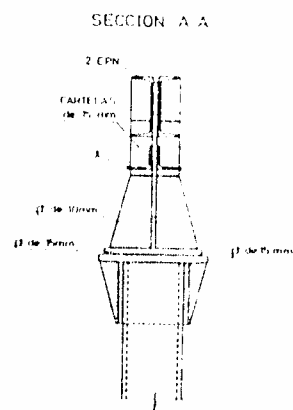
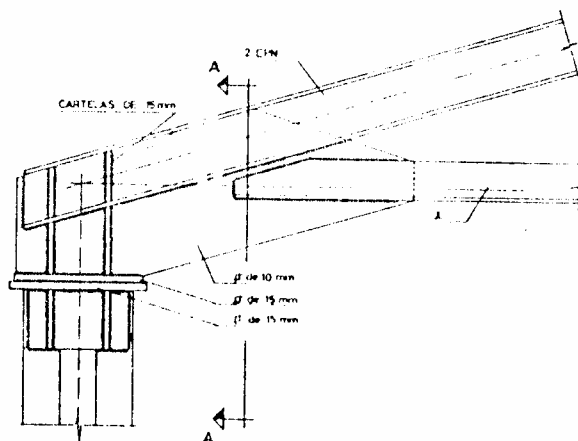
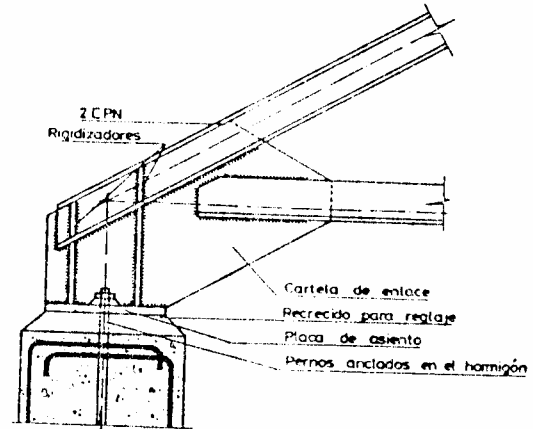
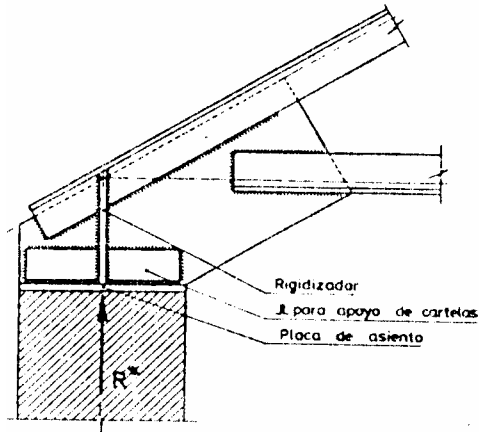
- Cerchas formando cubiertas.



- Celosías espaciales.



- Detalles constructivos y apoyos de cerchas.

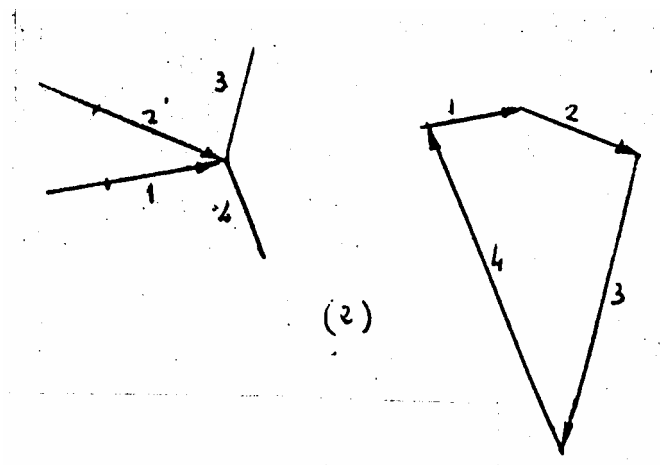


4. Cálculo gráfico de esfuerzos en barras. Método de Cremona.

El método de Cremona se basa en la construcción de los polígonos de fuerzas en cada nudo de la barra (polígono funicular).

Cuando en un nudo en el que concurren varias fuerzas desconocemos sólo dos y están en posición consecutiva, podemos construir gráficamente un polígono de fuerzas en el que determinemos el valor de las dos que son desconocidas. Para ello iremos representando los vectores fuerza a escala en un gráfico. El sentido en el que las iremos representando será el de las agujas del reloj, y comenzamos por la primera conocida.

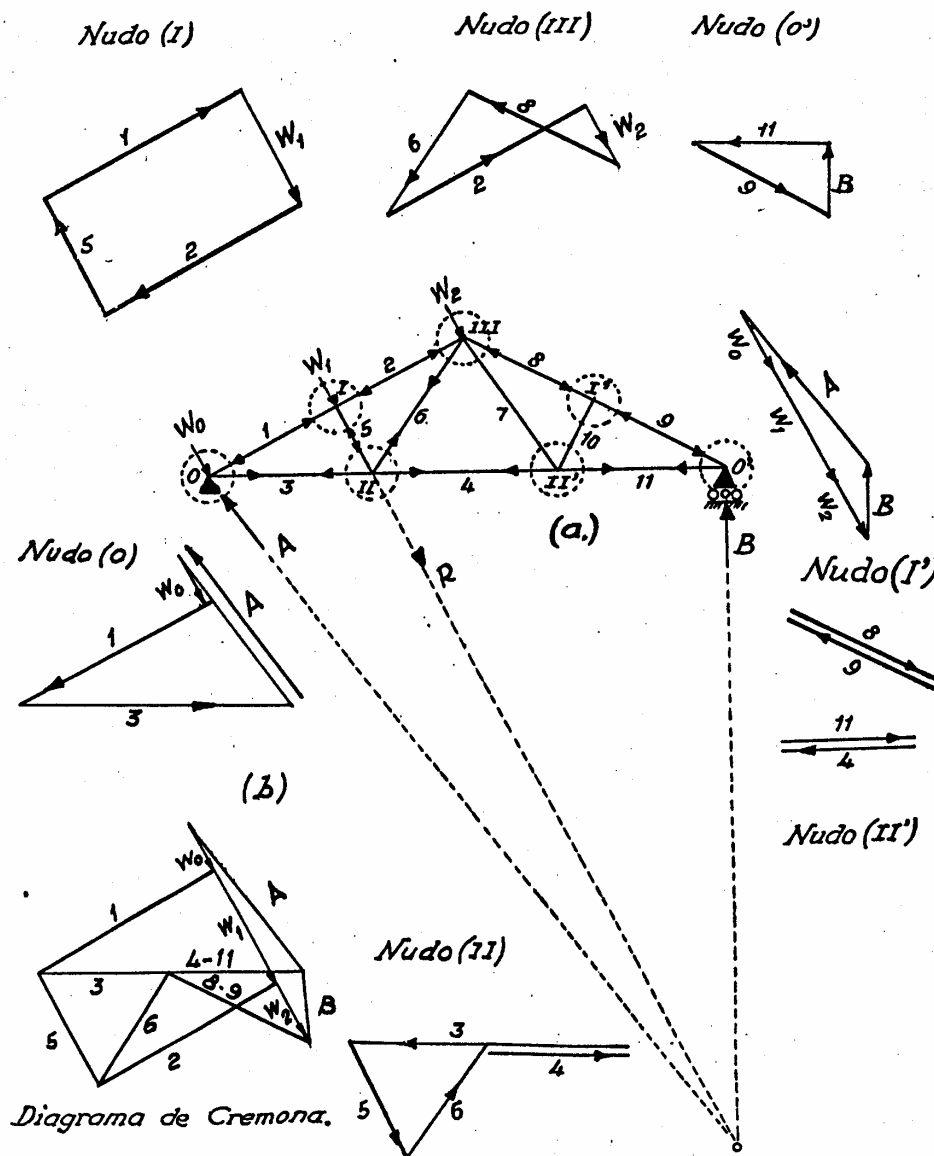
En la siguiente figura representamos un nudo en el que concurren cuatro fuerzas de las que nosotros conocemos sólo dos, pero sí sabemos la dirección de las otras dos. Construiremos el polígono de fuerzas comenzando por la fuerza 1 y a continuación la fuerza 2. Sabemos que para que el nudo esté en equilibrio el polígono de fuerzas debe cerrarse. La fuerza 3 debe pasar por el final de la fuerza 2, y la fuerza 4 por el principio de la fuerza 1. El punto de intersección de las rectas paralelas a 3 y a 4 será el fin de la fuerza 3 y el origen de la fuerza 4.



En una celosía real calcularemos los esfuerzos en todas las barras construyendo los polígonos de fuerzas de cada uno de los nudos.

Debemos empezar por calcular las reacciones. Podemos hacerlos analíticamente ($\sum F = 0$; $\sum M = 0$), o bien gráficamente (Nudo I' en la siguiente figura).

Posteriormente dibujaremos a escala los polígonos funiculares de todos los nudos. Debemos comenzar por los nudos en los que sólo desconozcamos dos fuerzas. Normalmente estos nudos serán los de los apoyos.



El diagrama de Cremona es la representación en un mismo dibujo de los polígonos de fuerzas de los distintos nudos de una celosía.

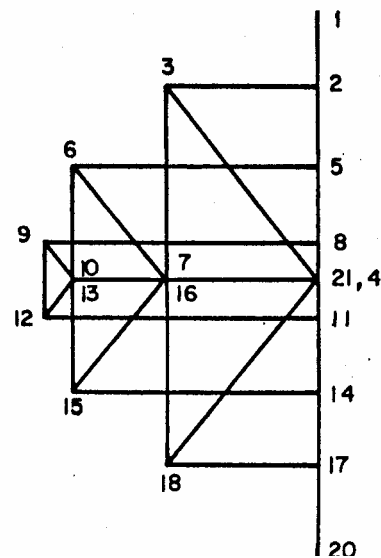
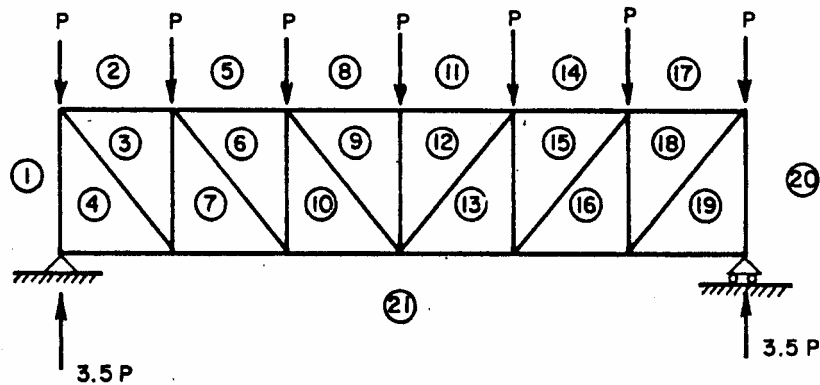
Debemos cuidar dos aspectos importantes:

- Escala de las fuerzas: debemos elegir y mantener en todo el Cremona una escala gráfica de fuerzas ($x \text{ kp} = y \text{ cm}$).
- Las fuerzas deben ser perfectamente paralelas a las barras de la celosía.

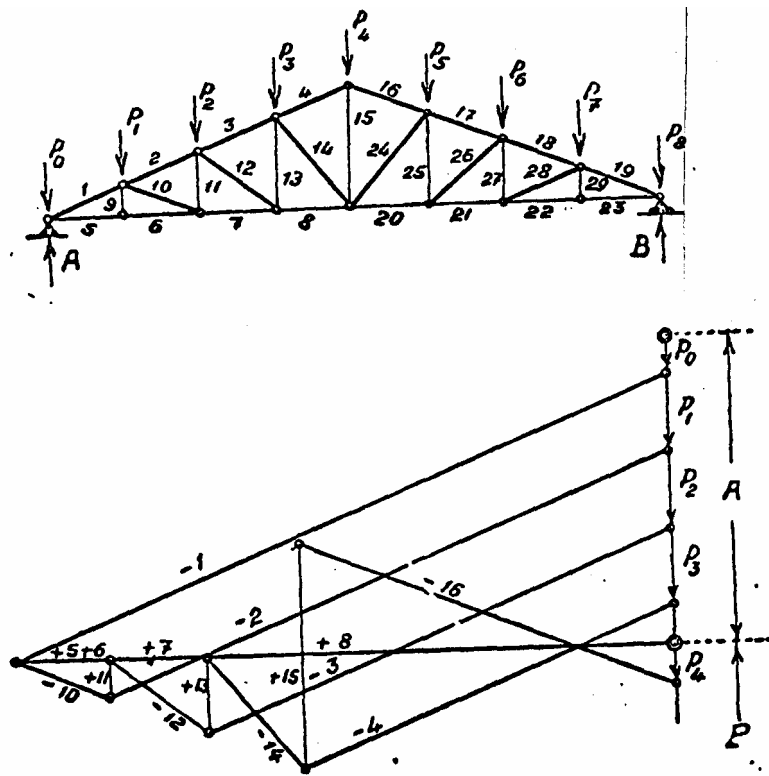
El sentido de las fuerzas nos indicará si la barra en cuestión trabaja a tracción o a compresión. Si la fuerza se *aleja* del nudo, la barra trabajará a tracción. Si la fuerza se *acerca* al nudo la barra trabajará a compresión.

En la figura anterior la barra 3 trabaja a tracción y la barra 1 a compresión.

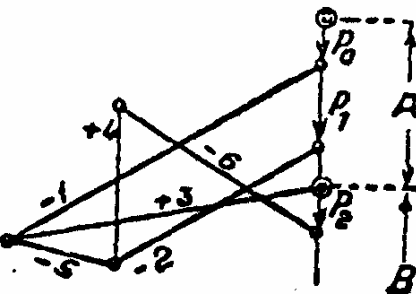
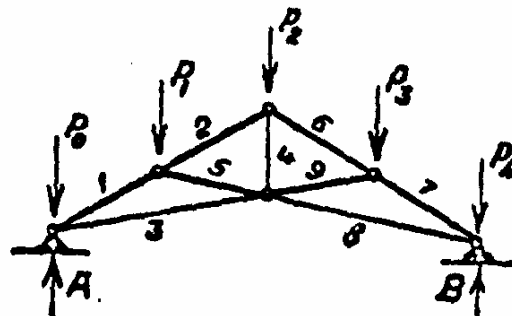
Ejemplos de Diagramas de Cremona.



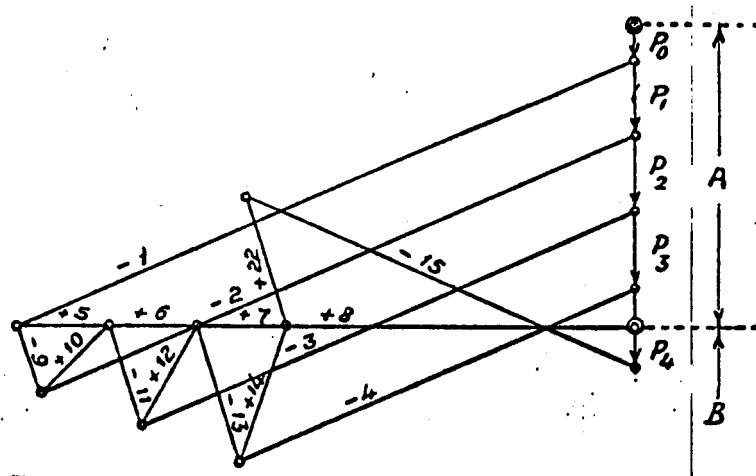
Viga Pratt



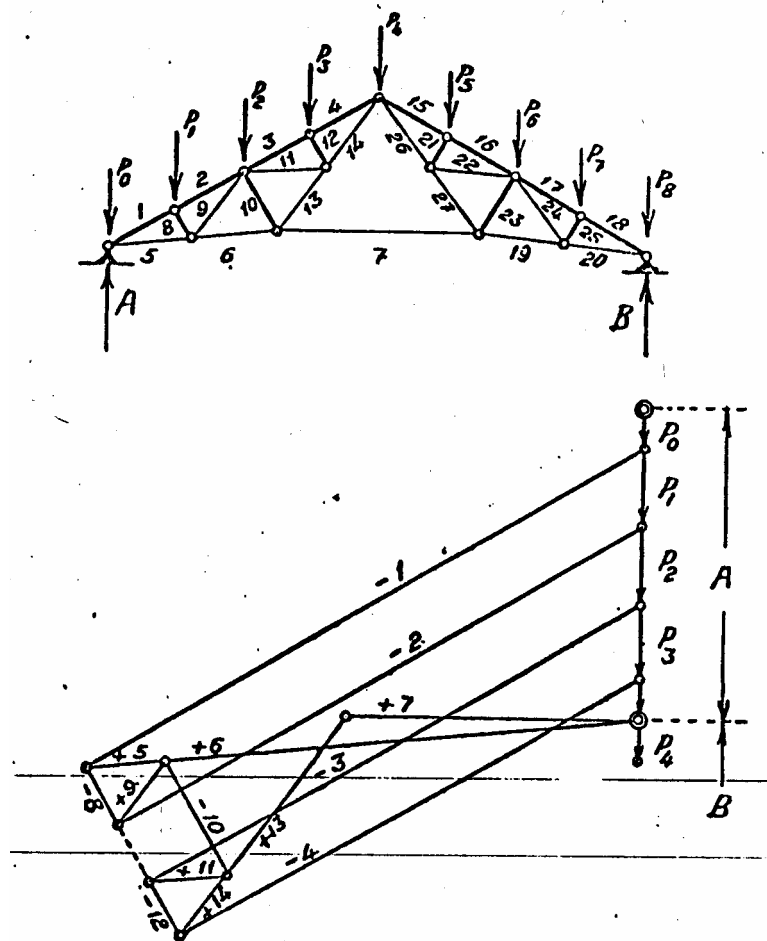
Viga tipo Inglés.



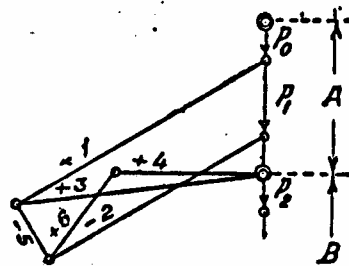
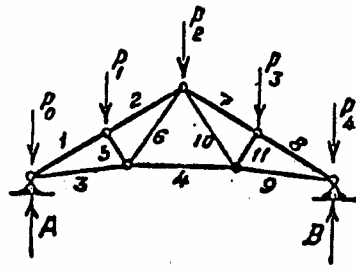
Viga tipo Alemán.



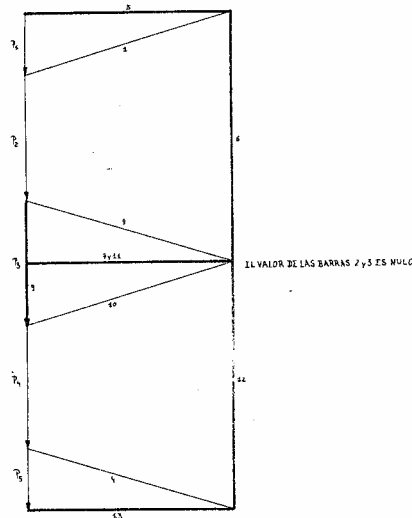
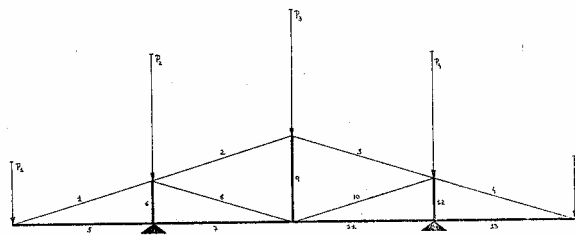
www.ingenieriaRural.com



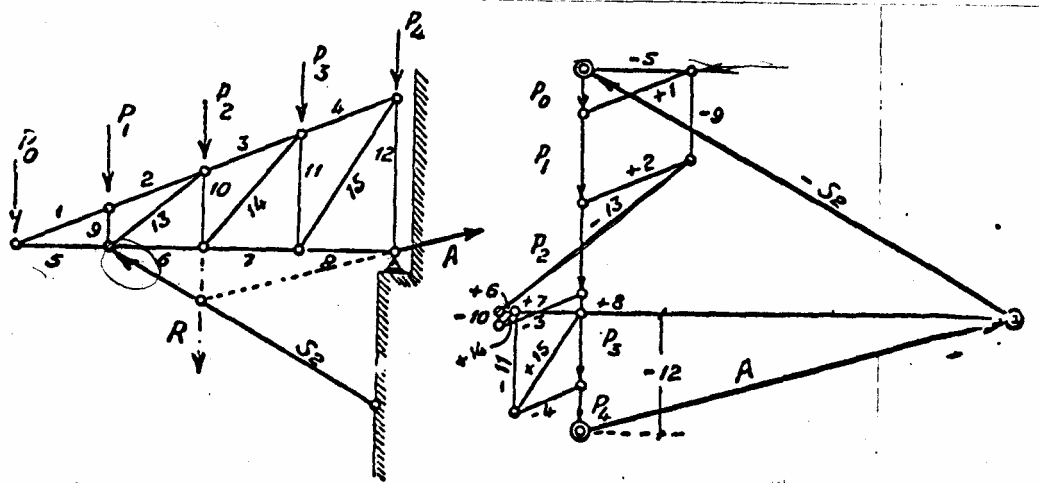
Polanceau Compuesta.



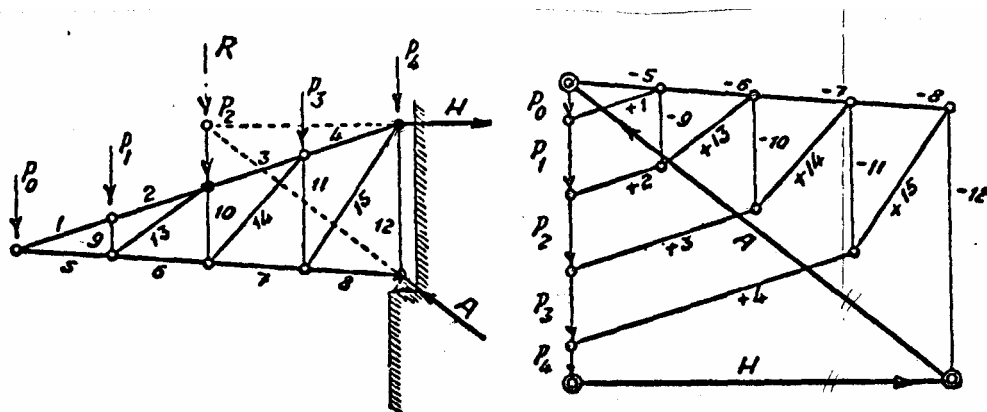
Polanceau Sencilla



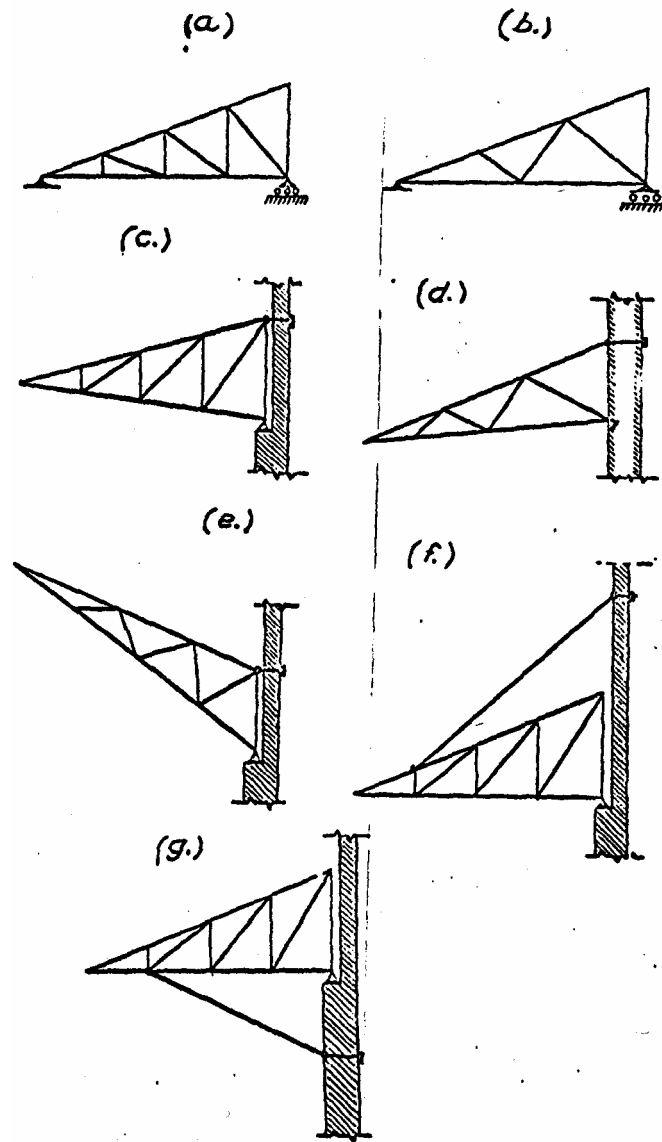
Cercha con dos voladizos



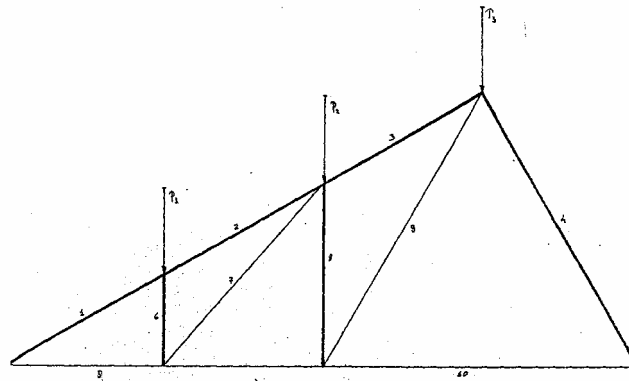
Celosía a una agua en ménsula



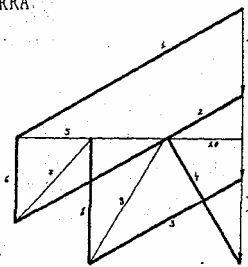
Celosía a un agua en ménsula sin apoyo intermedio.



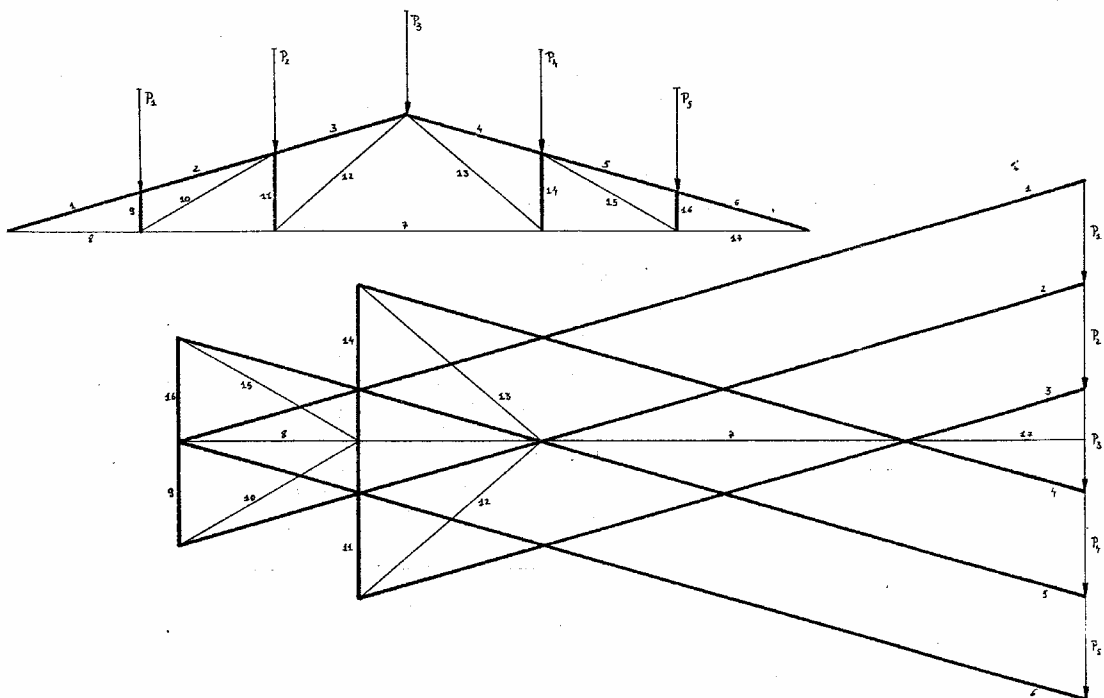
Tipología de ménsulas.



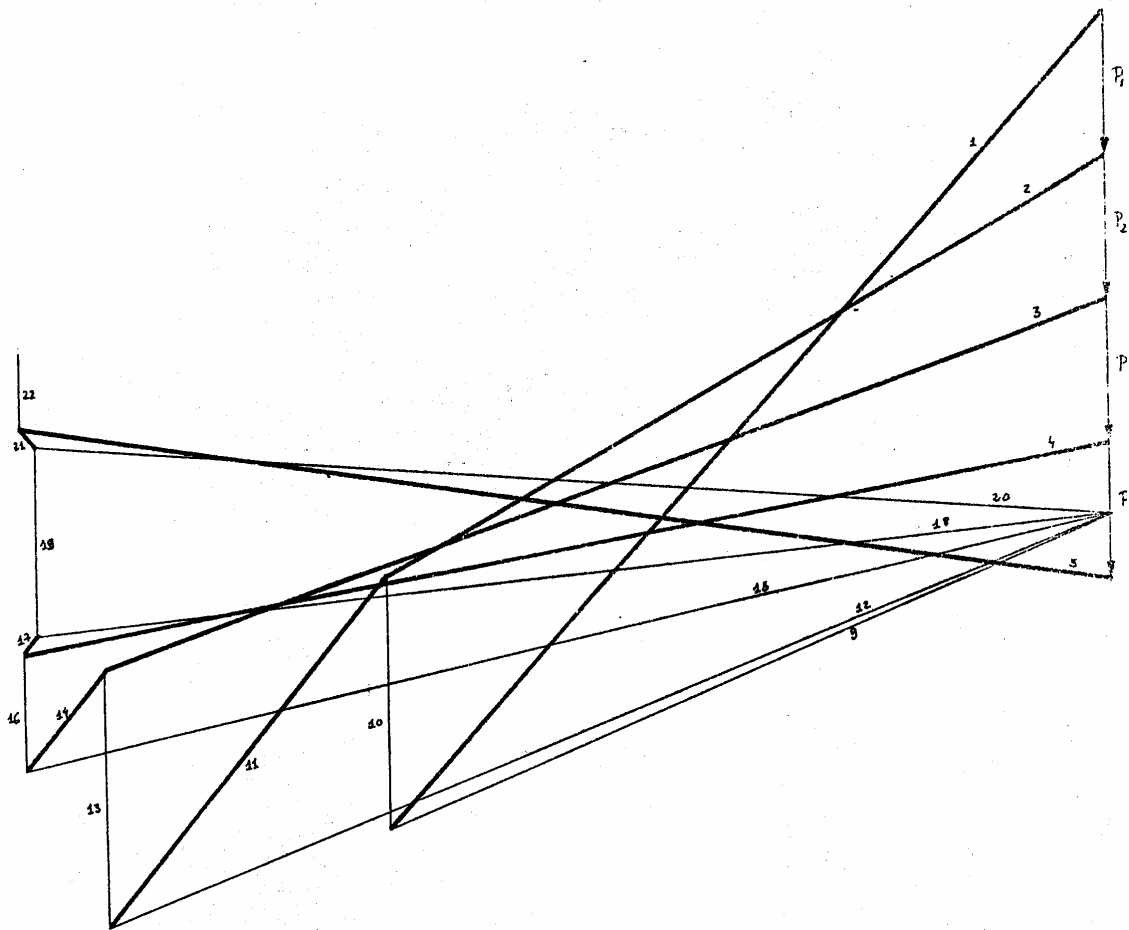
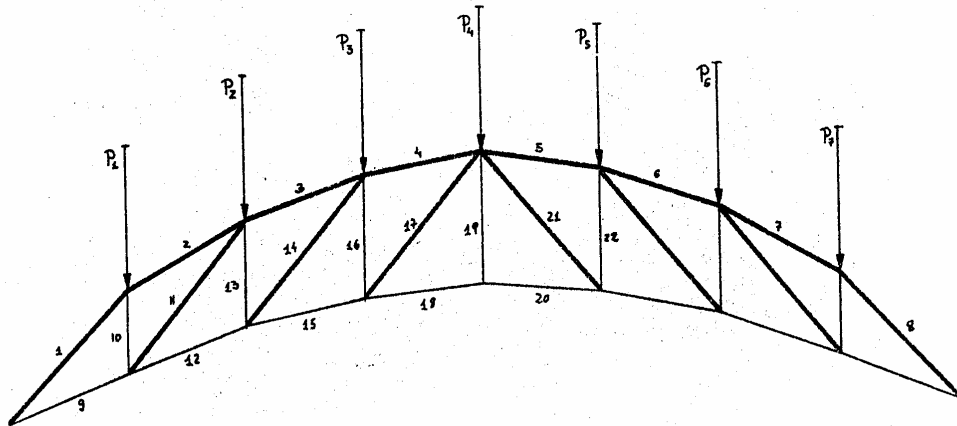
DIENTE DE SIERRA.



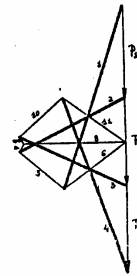
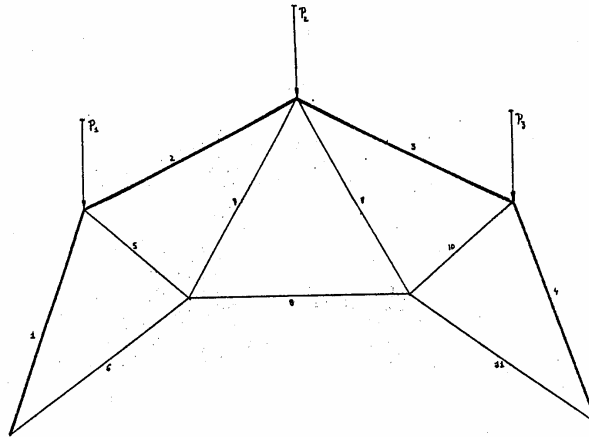
Diente de sierra.



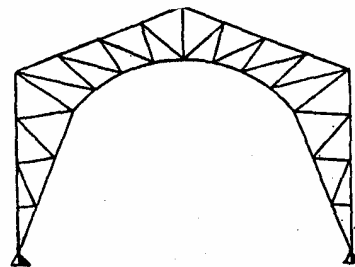
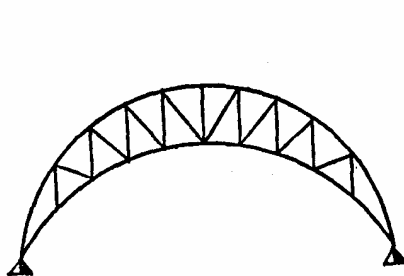
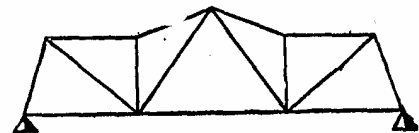
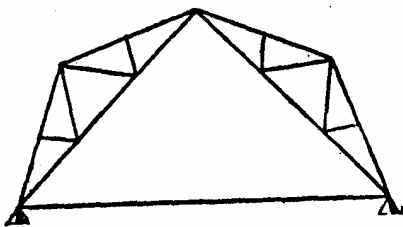
Cercha inglesa.



Celosía en arco para grandes luces.



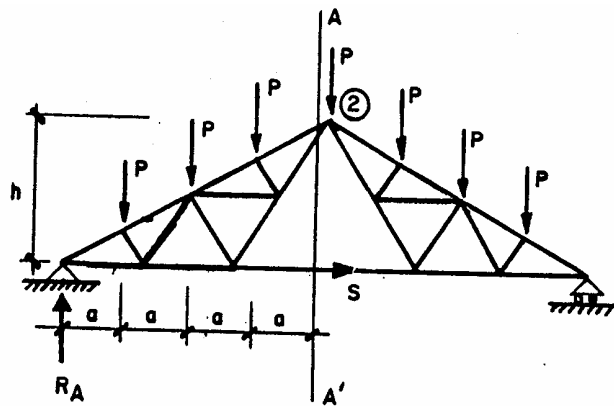
Celosía Mansarda.



Tipología de vigas y arcos.

5. Cálculo analítico de esfuerzos en barras. Método de Ritter.

En ocasiones no podremos resolver estructuras utilizando exclusivamente el método de Cremona. Un ejemplo es la viga Polanceau. En estos casos podremos utilizar el método analítico (de Ritter por ejemplo) para determinar los esfuerzos en las barras que precisemos para poder seguir con el *Cremona*.



$$S \cdot h = R_A \cdot 4 \cdot a - P \cdot (3 \cdot a + 2 \cdot a + a)$$

$$R_A = 3.5 \cdot P$$

$$S = \frac{8 \cdot P \cdot a}{h}$$

El método de Ritter consiste básicamente en “cortar” la celosía por alguna sección en la que desconozcamos tres barras que concurran dos a dos en dos puntos. Sustituiremos las barras que cortamos por los esfuerzos internos que realizan.

A partir de ahí estableceremos los equilibrios de momentos en la celosía nos queda tras el corte, y determinaremos los esfuerzos de las barras por las que hemos cortado.

Deberemos tomar momentos con respecto a los nudos en que cortan dos de las tres fuerzas que tenemos como incógnitas. De ahí obtendremos ecuaciones con una sola incógnita.

En el anterior esquema tomamos momentos con respecto al punto 2 y así calculamos la fuerza S.

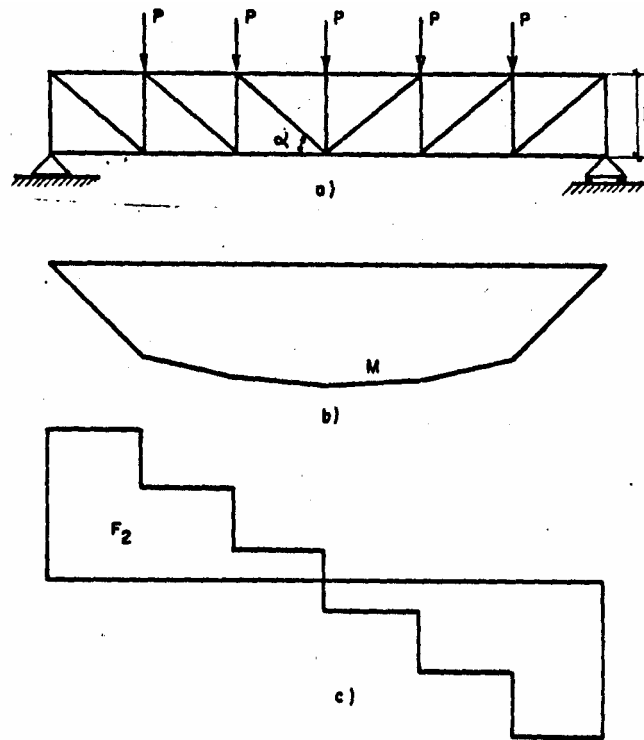
Para el dimensionado de vigas tipo Pratt podemos utilizar el siguiente cuadro:

$P =$	$\alpha = \frac{S \cdot P}{2h} =$	Momento en cordón superior $M = \frac{P \cdot S}{10} =$
$n =$		
$S =$	$\beta = \frac{P}{h} \sqrt{h^2 + S^2} =$	
$h =$		

Cordón superior				Montantes			
$N_i = \alpha \times (2i \times n - i^2) =$			Dimensionado	$C_i = P \times (n - (i - 0,5)) =$			Dimensionado
N_1	$- \times (2 \times -1)$	$-$		C_1	$-n \times P$	$-$	
N_2	$- \times (4 \times -4)$	$-$		C_2	$- \times (-0,5)$	$-$	
N_3	$- \times (6 \times -9)$	$-$		C_3	$- \times (-1,5)$	$-$	
N_4	$- \times (8 \times -16)$	$-$		C_4	$- \times (-2,5)$	$-$	
N_5	$- \times (10 \times -25)$	$-$		C_5	$- \times (-3,5)$	$-$	
N_6	$- \times (12 \times -36)$	$-$		C_6	$- \times (-4,5)$	$-$	
N_7	$- \times (14 \times -49)$	$-$		C_7	$- \times (-5,5)$	$-$	
N_8	$- \times (16 \times -64)$	$-$		C_8	$- \times (-7,5)$	$-$	

Cordón inferior				Diagonales			
$T_i = -N_{i-1} =$			Dimensionado	$D_i = \beta \times (n - (i - 0,5)) =$			Dimensionado
T_1	$-$	0		D_1	$\times (-0,5)$		
T_2	$= -N_1$			D_2	$\times (-1,5)$		
T_3	$= -N_2$			D_3	$\times (-2,5)$		
T_4	$= -N_3$			D_4	$\times (-3,5)$		
T_5	$= -N_4$			D_5	$\times (-4,5)$		
T_6	$= -N_5$			D_6	$\times (-5,5)$		
T_7	$= -N_6$			D_7	$\times (-6,5)$		
T_8	$= -N_7$			D_8	$\times (-7,5)$		

Se basa en las siguientes consideraciones:



$$C = \frac{M}{h}$$

Máxima compresión del cordón superior

$$C_2 = F_1$$

Compresión del montante

$$T_D = \frac{F}{\text{sen}\alpha}$$

Tracción en las diagonales

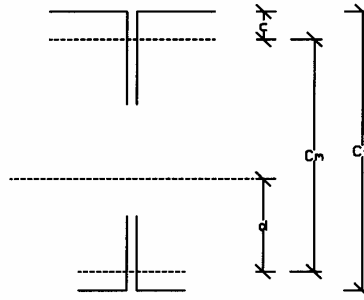
$$T_i = \frac{M}{h} - \frac{F}{\text{tg}\alpha}$$

Los cordones superior e inferior se encargan fundamentalmente de resistir el Momento Flector. Al estar el flector máximo en el centro del vano, las barras más solicitadas son las situadas hacia la mitad de la viga

Los máximos cortantes los tendremos en los apoyos de la viga, y las barras encargadas de resistirlo serán los montantes y diagonales.

6. Comprobación de la flecha de las celosías de cordones paralelos.

La comprobación de la flecha en una viga en celosía de cordones paralelos se realiza como si fuera una viga de alma llena tomando en la expresión de la flecha el momento de inercia I como el 75% del momento de inercia resultante de los cordones superior e inferior, prescindiendo del resto de las barras.



$$c_m = c_f - c_{cs} - c_{ci}$$

$$A_{cs} \cdot c_m = (A_{cs} + A_{ci}) \cdot d$$

$$d = \frac{A_{cs} \cdot c_m}{A_{cs} + A_{ci}}$$

$$I = A_{cs} \cdot (c_m - d)^2 + A_{ci} \cdot d^2$$

$$I = 0.75 \cdot I$$

En el supuesto de una carga uniformemente repartida o en el caso de numerosas cargas puntuales, la flecha sería:

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

y q puede tomarse en este último caso como:

$$q = \frac{(n-1) \cdot P}{\text{luz}} \text{ Kg/m}$$

Significado de las variables empleadas:

c_f	Canto físico de la viga
c_m	Canto mecánico de la viga
A_{cs}	Area del perfil del cordón superior
A_{ci}	Area del perfil del cordón inferior
c_{cs}	Distancia al cdg del perfil del cordón superior
c_{ci}	Distancia al cdg del perfil del cordón inferior
n	Número de nudos
P	Carga por nudo

7. Tabla resumen de las celosías.

NOMBRE DE LA CERCHA:

BARRA	ESFUERZO (kg)	LONGITUD (m)	PERFIL ADOPTADO	PESO BARRAS
PAR				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
TIRANTE				
PESO BARRAS SEMICERCHA.....				
PESO CARTELAS, CHAPAS DE FORRO , ETC.....				
PESO SEMICERCHA.....				
PESO TOTAL CERCHA				