

MÉTODOS MATRICIALES

UTILIZACIÓN :

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS MEDIANTE LA RESOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES.

CLASIFICACIÓN :

MÉTODOS GENERALES

MÉTODO DE LOS DESPLAZAMIENTOS.
(DE LA RIGIDEZ O DEL EQUILIBRIO)

MÉTODO DE LAS FUERZAS.
(DE LA FLEXIBILIDAD O DE COMPATIBILIDAD)

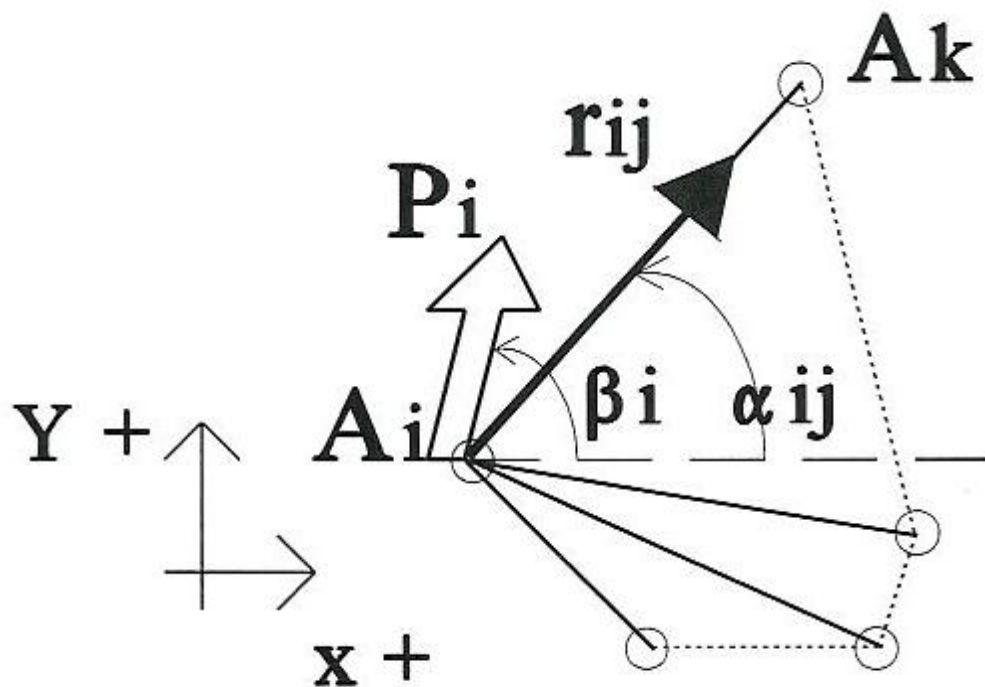
MÉTODOS NO GENERALES

MÉTODO DE LOS NUDOS.
(ESTRUCTURAS ARTICULADAS ISOSTÁTICAS)

MÉTODO SLOPE DEFLECTION.
(ESTRUCTURAS PLANAS DE NUDOS RÍGIDOS)

GENERALIZACIÓN DEL MÉTODO DE LOS NUDOS EN ESTRUCTURAS ISOSTÁTICAS

Sea un nudo cualquiera A_i cuya resultante de acciones exteriores en el mismo designaremos por P_i y unido mediante m barras a otros tantos nudos del sistema que se esta estudiando.



El equilibrio del nudo, en el plano, exige:

$$\begin{aligned}\sum_{j=1}^m r_{ij} \cos \alpha_{ij} + P_i \cos \beta_i &= 0 \\ \sum_{j=1}^m r_{ij} \sin \alpha_{ij} + P_i \sin \beta_i &= 0\end{aligned}$$

SIMPLIFICACIONES DE LAS ECUACIONES GENERALES DE EQUILIBRIO DE UN NUDO

1ª.- Pasaremos al segundo miembro las incógnitas.

$$\begin{aligned}P_i * \cos \beta_i &= \sum_{j=1}^m - r_{ij} * \cos \alpha_{ij} \\P_i * \sin \beta_i &= \sum_{j=1}^m - r_{ij} * \sin \alpha_{ij}\end{aligned}$$

2ª.- Como en cada barra las reacciones cambiadas de signo coinciden con las solicitaciones tendremos finalmente:

$$\begin{aligned}P_i * \cos \beta_i &= \sum_{j=1}^m N_{ij} * \cos \alpha_{ij} \\P_i * \sin \beta_i &= \sum_{j=1}^m N_{ij} * \sin \alpha_{ij}\end{aligned}$$

INTRODUCCIÓN DEL ÁLGEBRA MATRICIAL

En general un sistema no homogéneo, de ecuaciones lineales (tales como las ecuaciones de equilibrio), podrá escribirse siempre así:

$$a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n = c_1$$

$$a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n = c_2$$

$$\vdots \qquad \qquad \qquad \vdots$$

$$a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nn} \cdot x_n = c_n$$

En donde:

Los términos independientes son: $c_1, c_2, \dots, c_n$.

Las incógnitas son: $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Los coeficientes asociados a las incógnitas del sistema de ecuaciones presentan la forma: a_{ij} .

ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA DE ECUACIONES

Agrupando, por un lado, las solicitaciones de las barras (incognitas) en el vector de solicitaciones y, por otro, los coeficiente asociados a las incognitas en la matriz de equilibrio, tendremos:

$$\begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Que en forma compacta escribiremos :

$$[c] = [a_{ij}] * [x]$$

EQUIVALENCIAS MATRICIALES ENTRE EL ÁLGEBRA Y EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS

ALGEBRA

ESTRUCTURAS

Vector de términos independientes. ⇔ Vector de Cargas: **[P]**

Vector de incógnitas.

⇔ Vector de solicitaciones en barras: **[N]**

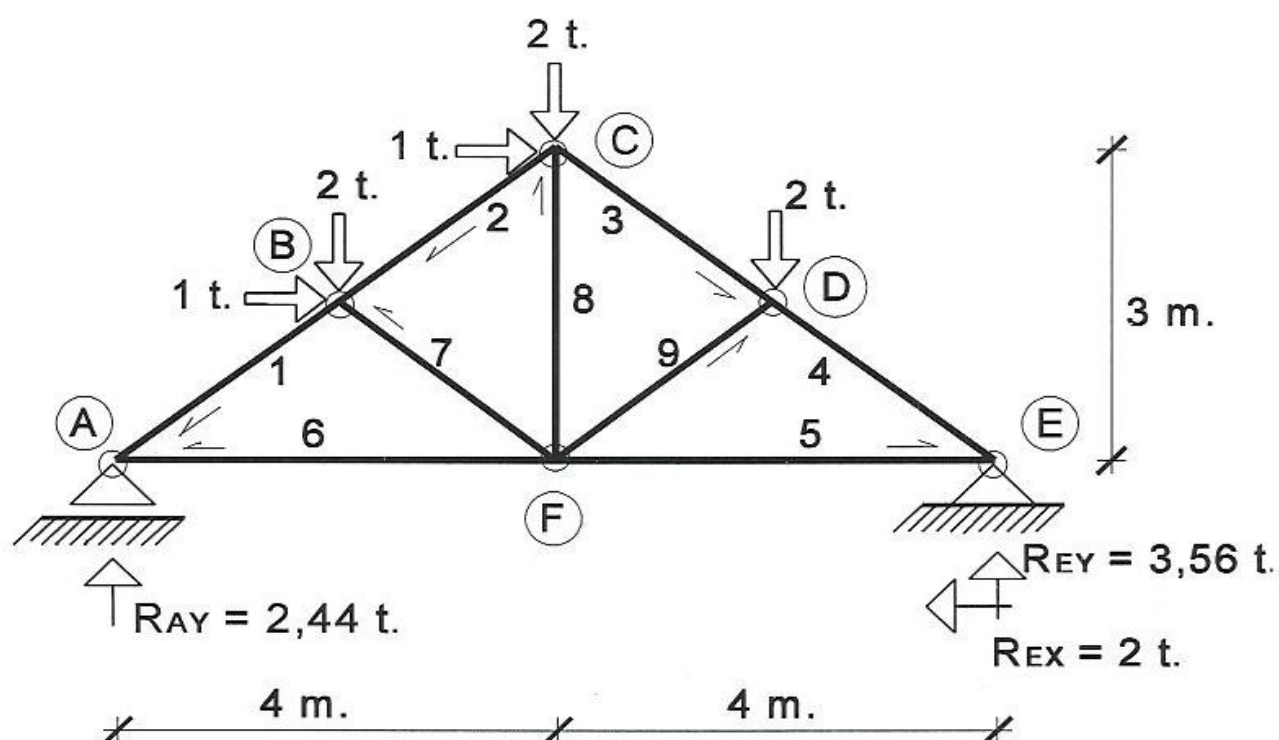
Matriz de los coeficientes.

⇔ Matriz de equilibrio: **[E]**

* En forma compacta podemos escribir:

$$\mathbf{[P]} = \mathbf{[E]} * \mathbf{[N]}$$

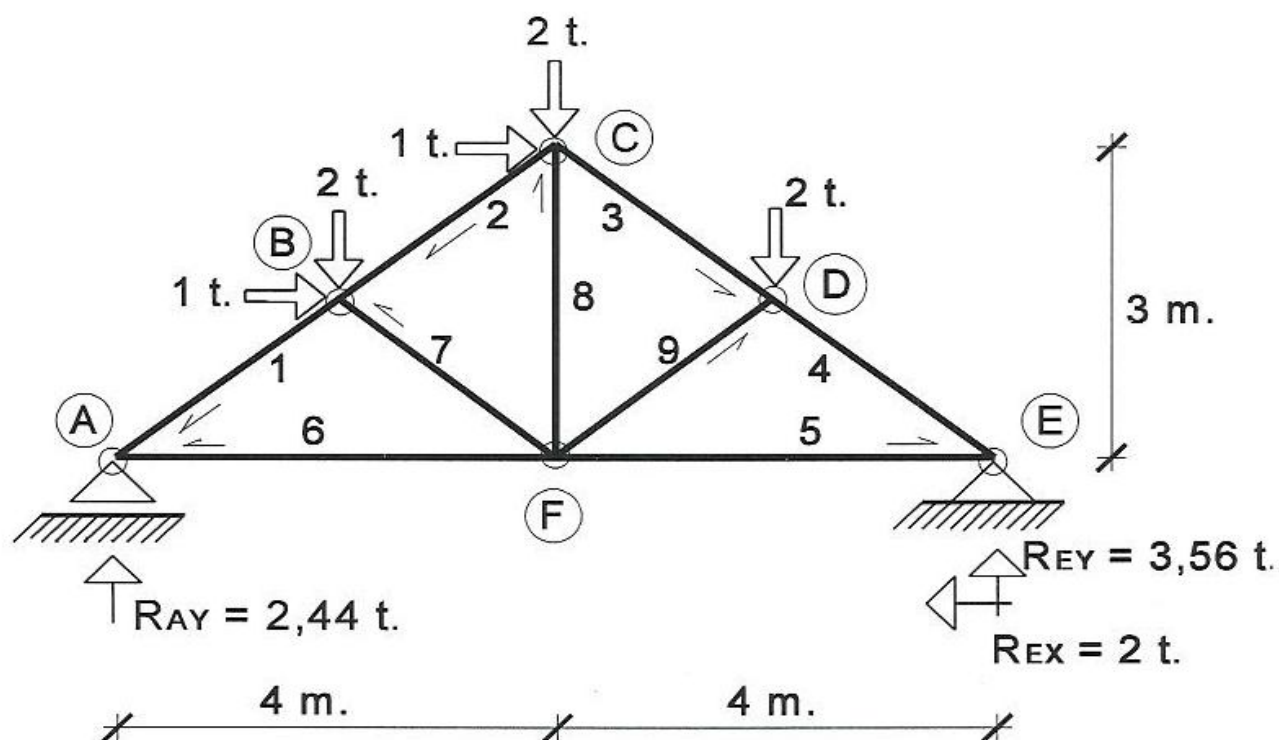
Ejemplo: cercha a la española



* Desarrollando el sistema de ecuaciones:

Nudo		Barra									AXIL (t)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	0	-0,8					-1				N_1
	R_{AY}	-0,6					0				N_2
B	1	0,8	-0,8					-0,8			N_3
	-2	0,6	-0,6					0,6			N_4
C	1		0,8	-0,8					0		N_5
	-2		0,6	0,6					1		N_6
D	0			0,8	-0,8					0,8	N_7
	-2			-0,6	0,6					0,6	N_8
E	R_{EX}				0,8	1					N_9
	R_{EY}				-0,6	0					
F	0					-1	1	0,8	0	-0,8	
	0					0	0	-0,6	-1	-0,6	

Solicitaciones en barras



* Resolviendo el sistema de ecuaciones:

Nudo		Barra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	AXIL (t)
A	0		-0,8					-1				- 4,06
	R_{AY}		-0,6					0				- 3,02
B	1		0,8	-0,8					-0,8			- 4,27
	- 2		0,6	-0,6					0,6			- 5,94
C	1			0,8	-0,8					0		2,75
	- 2			0,6	0,6					1		3,25
D	0	=			0,8	-0,8					0,8	* - 2,29
	- 2				-0,6	0,6					0,6	2,37
E	R_{EX}					0,8	1					- 1,66
	R_{EY}					-0,6	0					
F	0						-1	1	0,8	0	-0,8	
	0						0	0	-0,6	-1	-0,6	

EL MÉTODO MATRICIAL DE LOS DESPLAZAMIENTOS.

Comparación con el método matricial de los nudos.

* El método matricial de los nudos utiliza tan sólo ecuaciones de equilibrio. A efectos prácticos, podríamos decir que, hasta ahora, hemos tratado a la estructura como si estuviese formada por barras rígidas.

* La realidad, como sabemos, es bien distinta: las barras no son rígidas y sometidas a solicitaciones axiales se deforman, experimentando cambios en todas sus dimensiones físicas.

* Utilizaremos ahora un método matricial con mayores pretensiones, que será capaz de suministrar, además de las solicitaciones axiales en las barras, las deformaciones longitudinales de las mismas, es decir, lo que alargan o acortan en su caso y también, informarnos de cual es la posición final de los nudos tras deformarse las barras.

Planteamiento general de la estructura articulada isostática con comportamiento elástico lineal.

Primer grupo: ⇨ Ecuaciones de equilibrio, son las ecuaciones con las que hemos estado trabajando hasta ahora.

$$[P] = [E] * [N]$$

Segundo grupo: ⇨ Ecuaciones de comportamiento del material, en nuestro caso basadas en la ley de Hooke.

Todas las barras de la estructura se someterán a esta ley; si designamos a una cualquiera de ellas con el subíndice " j ", tendremos:

$$N_j = (E * A_j / L_j) * \Delta_j$$

$$N_j = k_j * \Delta_j$$

N_1		K_1									Δ_1
N_2			K_2								Δ_2
•				•							•
•					•						•
•						•					•
N_j	=					K_j					* Δ_j
•							•				•
•								•			•
•									•		•
N_n										K_n	Δ_n

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

Planteamiento general del problema (cont.)

Primer grupo: ⇨ Ecuaciones de equilibrio, son las ecuaciones con las que hemos estado trabajando hasta ahora.

$$[P] = [E] * [N]$$

Segundo grupo: ⇨ Ecuaciones de comportamiento del material, en nuestro caso basadas en la ley de Hooke.

Todas las barras de la estructura se someterán a esta ley; si designamos a una cualquiera de ellas con el subíndice " j ", tendremos:

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

Tercer grupo: ⇨ Ecuaciones de compatibilidad de las deformaciones, en las que impondremos que las variaciones de las longitudes de las barras tienen que estar ligadas con los movimientos de los nudos, para evitar que la estructura se desmembre.

$$[\Delta] = [T] * [D]$$

Ecuación nueva en la que $[\Delta]$ es el vector de deformación longitudinal de las barras en ejes locales, $[D]$ es el vector de desplazamientos de los nudos en ejes generales y $[T]$ es la matriz de transformación que hace posible el paso de ejes generales a locales.

Matriz de rigidez global de la estructura

Ecuaciones que intervienen:

$$[P] = [E] * [N]$$

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

$$[\Delta] = [T] * [D]$$

Si sustituimos la segunda ecuación en la primera tendremos:

$$[P] = [E] * [N] = [E] * [K] * [\Delta]$$

Si sustituimos la tercera ecuación en la anterior tendremos:

$$[P] = [E] * [N] = [E] * [K] * [\Delta] = [E] * [K] * [T] * [D]$$

El vector de cargas $[P]$ es conocido.

Si el producto matricial $[E] * [K] * [T]$ fuese conocido entonces:

El vector $[D]$ se convierte en la primera incógnita a despejar.

Al doble producto matricial anterior lo denominaremos matriz de rigidez global de la estructura y lo representaremos por:

$$[K_e] = [E] * [K] * [T]$$

MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS

La obtención de esta matriz de transformación [T] podría complicar la simplicidad del método que hemos conseguido mantener hasta ahora, incrementando considerablemente el tiempo de resolución de un problema y aumentando las posibilidades de cometer algún error.

$$[P] = [E] * [N]$$

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

$$[\Delta] = [T] * [D]$$

$$[K_e] = [E] * [K] * [T]$$

Adelantamos para no desanimar al oyente, que entre la matriz de equilibrio [E] y la matriz de transformación [T], existe una interesantísima relación, ya que una es la traspuesta de la otra.

BALANCE ENERGÉTICO

* La demostración formal de lo expuesto anteriormente la fundamentaremos en el principio de conservación de la energía,

El trabajo realizado por una fuerza externa P que actúe sola, es igual al valor del módulo de la fuerza por el desplazamiento en la dirección de la misma y dividido por dos.

Si designamos al nudo con el subíndice " i ", el trabajo realizado por la fuerza externa P_i que se desplaza una distancia D_i en la dirección de la fuerza P_i , viene dado por:

$$W_i = 1 / 2 * P_i * D_i$$

Si en lugar de una sola fuerza, actúan ahora un conjunto finito de ellas cuyo número designaremos por " n ", el trabajo externo realizado por todas ellas lo obtendremos aplicando el principio de superposición y valdrá:

$$W = 1 / 2 * (P_1 * D_1 + P_2 * D_2 * \dots + P_n * D_n) = 1 / 2 * \sum_n P_i * D_i$$

Balance energético (I)

Análogamente, el trabajo realizado en una barra que designaremos con el subíndice " j " , por la fuerza interna N_j vendrá dado por:

$$U_j = 1/2 * N_j * \Delta_j$$

El trabajo interno de todas las barras de la estructura, lo obtendremos por aplicación del principio de superposición y será:

$$U = 1/2 * (N_1 * \Delta_1 + N_2 * \Delta_2 + \dots + N_m * \Delta_m) = 1/2 * \sum_m N_j * \Delta_j$$

Al estar la estructura en equilibrio, el balance energético debe forzosamente ser nulo, es decir, deberá anularse la suma total de los trabajos externo e interno.

$$1/2 * \sum_n P_i * D_i = 1/2 * \sum_m N_j * \Delta_j$$

$$\sum_n P_i * D_i = \sum_m N_j * \Delta_j$$

Matricialmente en forma compacta: $[P]^T * [D] = [N]^T * [\Delta]$

Balance energético (II)

$$[P^I] * [D] = [N^I] * [\Delta]$$

* Las ecuaciones de compatibilidad de las deformaciones, han de verificarse en cualquier estructura: $[\Delta] = [T] * [D]$

Sustituyendo esta última ecuación matricial en la anterior tendremos:

$$[P^I] * [D] = [N^I] * [T] * [D]$$

como en ambos miembros la matriz $[D]$ siempre es la misma, puesto que se refieren a la misma estructura, podremos escribir:

$$[P^I] = [N^I] * [T]$$

(trasponiendo en ambos miembros)

Por aplicación del Álgebra: $\Rightarrow$

$$\underline{[P] = [T^I] * [N]}$$

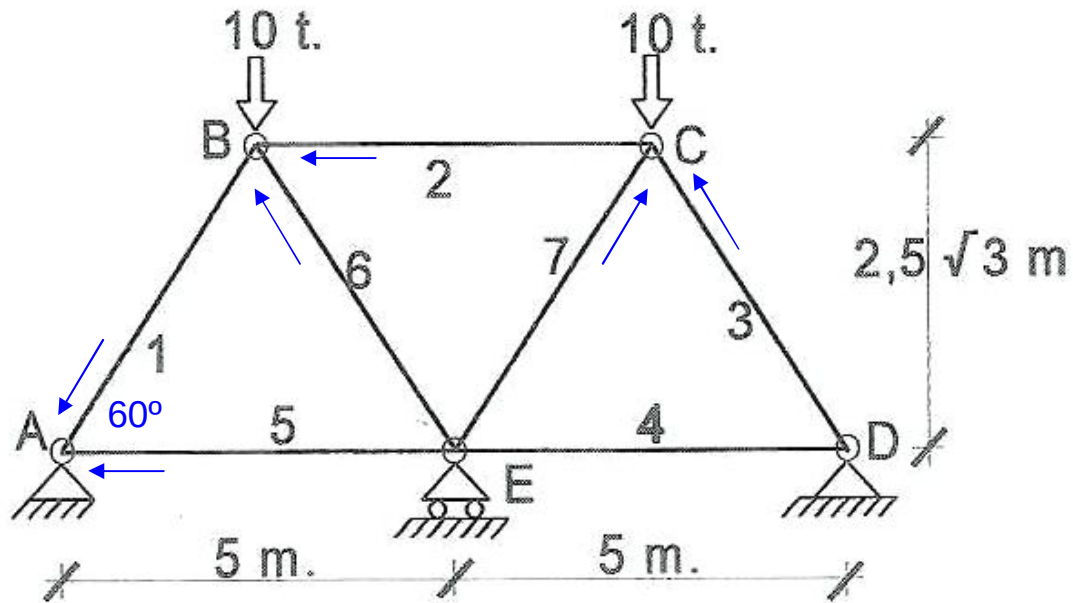
(la traspuesta de un producto de matrices es el producto de las traspuestas en orden inverso)

como de la ecuación de equilibrio teníamos: $\underline{[P] = [E] * [N]}$

Queda probado, con total generalidad, la igualdad: $[E] = [T^I]$ o lo que es lo mismo:

$$[E^I] = [T]$$

Ejercicio: viga continua celosía



$E = 2 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$. $A = 10 \text{ cm}^2$ $K \text{ todas las barras} = 40 \text{ t/cm}$.

$n = 5$ $b = 7$ $r = 5$ $2 \cdot n - r = 5 < b \Rightarrow \text{hiperestática}$

Grado hiperestático: $2 \cdot n - r - b = 2$

Nudo		Barra	1	2	3	4	5	6	7	AXIL
A	R_{AX}		-0,5				-1			N_1
	R_{AY}		$-\sqrt{3}/2$				0			N_2
B			0,5	-1				-0,5		N_3
	- 10		$\sqrt{3}/2$	0				$\sqrt{3}/2$		N_4
C				1	-0,5				0,5	N_5
	- 10			0	$\sqrt{3}/2$				$\sqrt{3}/2$	N_6
D	R_{DX}				0,5	1				N_7
	R_{DY}				$-\sqrt{3}/2$	0				
E						-1	1	0,5	-0,5	
	R_{EY}					0	0	$-\sqrt{3}/2$	$-\sqrt{3}/2$	

$$[P] = [E] * [N]$$

Matriz [E]

B	0	=	0,5	-1				-0,5		AXIL
	-10		$\sqrt{3}/2$	0				$\sqrt{3}/2$		
C	0			1	-0,5				0,5	
	-10			0	$\sqrt{3}/2$				$\sqrt{3}/2$	
E	0					-1	1	0,5	-0,5	
										N ₁
										N ₂
										N ₃
										N ₄
										N ₅
										N ₆
										N ₇

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

Matrices [T] y [K]

$$[\Delta] = [T] * [D]$$

[T] =	0,5	$\sqrt{3}/2$								
	-1	0	1	0						
			-0,5	$\sqrt{3}/2$						
					-1					
					1					
	-0,5	$\sqrt{3}/2$			0,5					
			0,5	$\sqrt{3}/2$	-0,5					
[K] =	40									
		40								
			40							
				40						
					40					
						40				
							40			

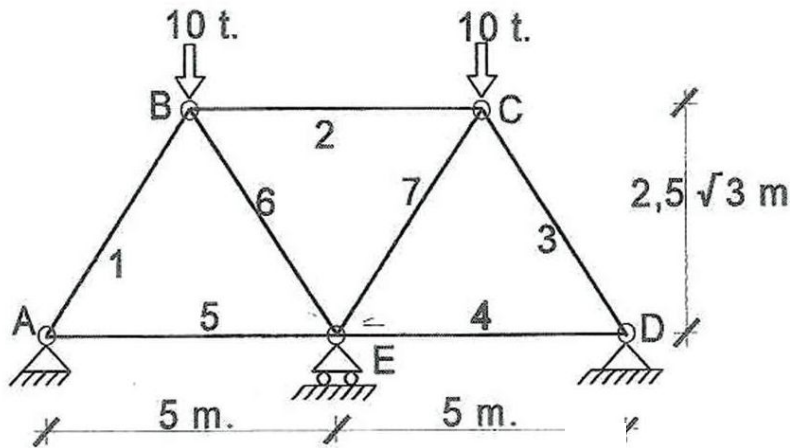
*** Matriz de rigidez global de la estructura**

$$[Ke] = [E] * [K] * [T]$$

[Ke] = (t/cm.)	60	0	-40	0	-10
	0	60	0	0	17,321
	-40	0	60	0	-10
	0	0	0	60	-17,321
	-10	17,321	-10	-17,321	100

$$|E| = 576.000$$

Solución del ejercicio



$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2. \quad A = 10 \text{ cm}^2$$

$$n = 5 \quad b = 7 \quad r = 5$$

$$= 40 \text{ kN/mm}$$

$$K \text{ todas las barras} = 40 \text{ t/cm.}$$

$$2 \cdot n - r = 5 < b \Rightarrow \text{hiperestática}$$

A	R_{AX}
	R_{AY}
B	0
	-10
C	0
	-10
D	R_{DX}
	R_{DY}
	0
E	R_{EY}

$$=$$

P_{XB}	60	0	-40	0	-10
P_{YB}	0	60	0	0	17,321
P_{XC}	-40	0	60	0	-10
P_{YC}	0	0	0	60	-17,321
P_{XE}	-10	17,321	-10	-17,321	100

$$=$$

D_{XB}
D_{YB}
D_{XC}
D_{YC}
D_{XE}

$$*$$

* Los vectores $[D]$, $[\Delta]$ y $[N]$ los obtendremos resolviendo las ecuaciones matriciales.

$$[P] = [K_e] * [D]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} D_{XB} = 0 \\ D_{YB} = -0,16 \\ D_{XC} = 0 \\ D_{YC} = -0,16 \\ D_{XE} = 0 \end{bmatrix} \quad (\text{cm.})$$

$$[\Delta] = [T] * [D]$$

$$[\Delta] = \begin{bmatrix} \Delta_1 = -0,14 \\ \Delta_2 = 0 \\ \Delta_3 = -0,14 \\ \Delta_4 = 0 \\ \Delta_5 = 0 \\ \Delta_6 = -0,14 \\ \Delta_7 = -0,14 \end{bmatrix} \quad (\text{cm.})$$

$$[N] = [K] * [\Delta]$$

$$[N] = \begin{bmatrix} N_1 = -5,774 \\ N_2 = 0 \\ N_3 = -5,774 \\ N_4 = 0 \\ N_5 = 0 \\ N_6 = -5,774 \\ N_7 = -5,774 \end{bmatrix} \quad (\text{t.})$$

Obtención directa de la matriz de rigidez global de la estructura

Cálculo de los coeficientes de la matriz de rigidez global en estructuras articuladas:

Una regla mnemotécnica muy interesante para recordar los valores que aparecen en la matriz de rigidez en ejes generales de una barra "j" que une dos nudos cualesquiera de la estructura, es la siguiente:

Desplazamiento unidad y fuerza inducida corresponden al mismo nudo

Desplazamiento en eje X

$$\Rightarrow \text{Fuerza en eje X} = \sum k_j * \cos^2 \alpha_j$$

Desplazamiento unidad en eje Y

$$\Rightarrow \text{Fuerza en eje Y} = \sum k_j * \sin^2 \alpha_j$$

Desplazamiento en un eje y fuerza en el otro

$$\Rightarrow \text{Fuerza} = \sum k_j * \cos \alpha_j * \sin \alpha_j$$

Desplazamiento unidad y fuerza inducida corresponden a nudos distintos

Desplazamiento en eje X

$$\Rightarrow \text{Fuerza en eje X} = - \sum k_j * \cos^2 \alpha_j$$

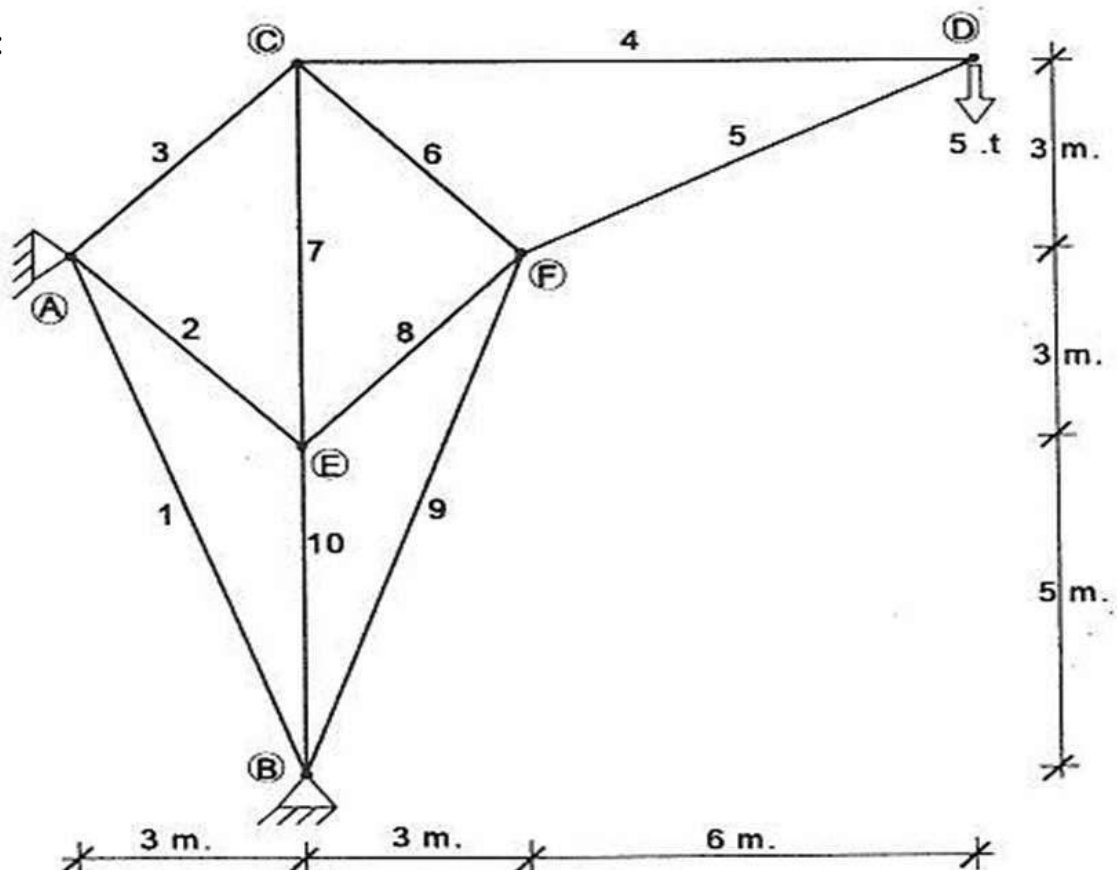
Desplazamiento unidad en eje Y

$$\Rightarrow \text{Fuerza en eje Y} = - \sum k_j * \sin^2 \alpha_j$$

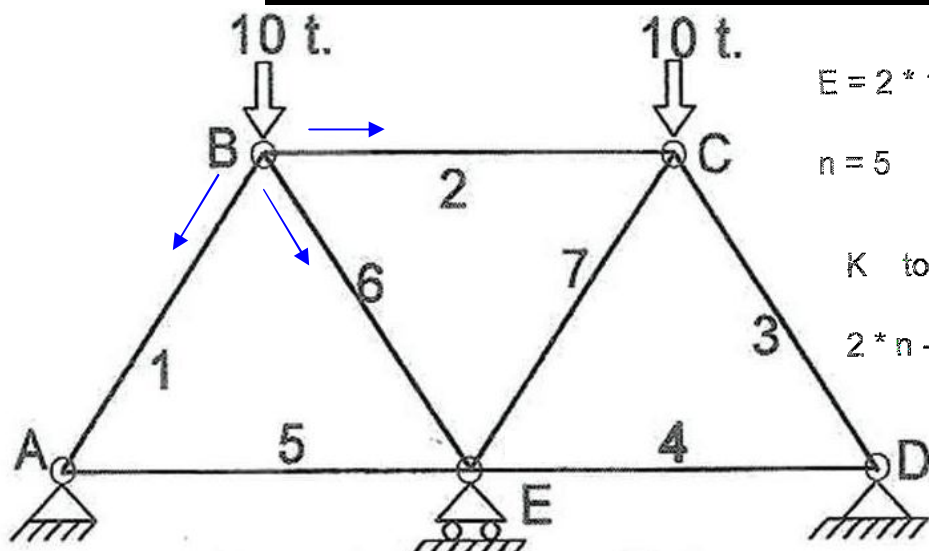
Desplazamiento en un eje y fuerza en el otro

$$\Rightarrow \text{Fuerza} = - \sum k_j * \cos \alpha_j * \sin \alpha_j$$

Ejemplo:



Ejercicio: Viga continua celosía



$$E = 2 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2. \quad A = 10 \text{ cm}^2$$

$$n = 5 \quad b = 7 \quad r = 5$$

$$K \text{ todas las barras} = 40 \text{ t/cm.}$$

$$2 \cdot n - r = 5 < b \Rightarrow \text{hiperestática}$$

B	$P_{bx} = 0$	=	60	0	-40	0	-10	*	D_{bx}
	$P_{by} = -10$		0	60	0	0	17,321		D_{by}
C	$P_{cx} = 0$		-40	0	60	0	-10		D_{cx}
	$P_{cy} = -10$		0	0	0	60	-17,321		D_{cy}
E	$P_{ex} = 0$		-10	17,321	-10	-17,321	100		D_{ex}

$$60 = 40 \left(-\frac{1}{2} \right)^2 + 40 (1^2) + 40 \left(\frac{1}{2} \right)^2$$

$$0 = \left(40 * -\frac{\sqrt{3}}{2} * -\frac{1}{2} \right) + (40 * 1 * 0) + \left(40 * -\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{1}{2} \right)$$

$$-40 = -40(1)^2$$

$$0 = -40(+1 * 0)$$

$$-10 = -40 \left(\frac{1}{2} \right)^2$$

$$60 = 40 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 + 40 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 + 40(0)^2 \quad 0 = -40(+1 * 0) \quad 0 = -40(0)^2 \quad 17,321 = -40 * -\frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{1}{2}$$

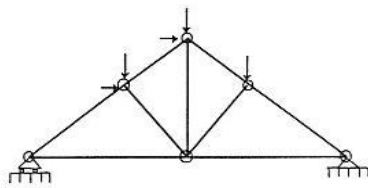
$$60 = 40(1)^2 + 40 \left(-\frac{1}{2} \right)^2 + 40 \left(\frac{1}{2} \right)^2 \quad 0 = (40 * 0 * 1) + \left(40 * \frac{1}{2} * -\frac{\sqrt{3}}{2} \right) + \left(40 * -\frac{1}{2} * -\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \quad -10 = -40 \left(-\frac{1}{2} \right)^2$$

$$60 = 40(0)^2 + 40 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 + 40 \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 \quad -17,321 = -40 * \frac{\sqrt{3}}{2} * \frac{1}{2}$$

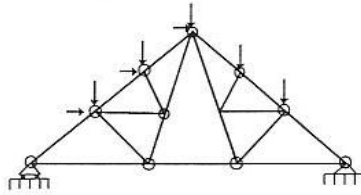
$$100 = 40(-1)^2 + 40(1)^2 + 40 \left(-\frac{1}{2} \right)^2 + 40 \left(\frac{1}{2} \right)^2$$

EL MÉTODO MATRICIAL FRENTE A LOS MÉTODOS TRADICIONALES. (ventajas)

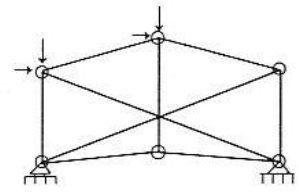
1ª/ Mediante este método podemos calcular las solicitaciones en todas las barras, en cualquier estructura articulada plana que sea isostática. El método no hace distinción entre estructuras simples, compuestas o complejas.



Simple

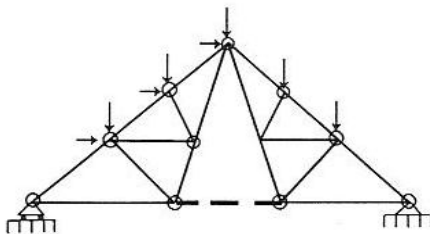


Compuesta

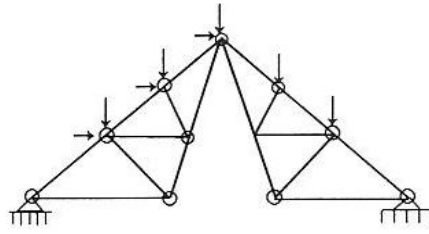


Compleja

2ª/ También puede resolver aquellas estructuras que sean hiperestáticas externas, pero que tratadas como un todo, resulten isostáticas, por ejemplo, cuando se elimina una barra (ligadura interna) y se le añade una ligadura externa.



barra que se elimina (---)



arco de tres articulaciones

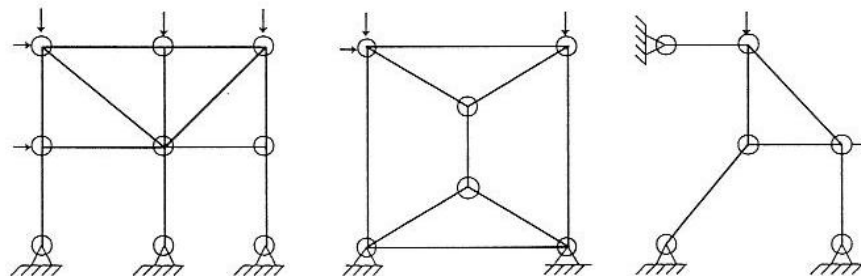
3ª/ Otra ventaja añadida es la facilidad con que se manejan diferentes hipótesis de carga sobre la misma estructura, mientras en los métodos tradicionales es preciso volver a empezar de nuevo todos los cálculos. En este método es suficiente con reajustar el vector de cargas.

Ventajas continuación

4ª/ Todas las estructuras que sean geoméricamente semejantes tienen la misma matriz de equilibrio. Por ello la matriz de equilibrio permanecerá inmutable.

5ª/ La aplicación inmediata de éste método radica, en la gran difusión que ha alcanzado el uso de las calculadoras programables de bolsillo en el ámbito universitario, ya que todas estas maquinillas traen incorporado en su Hardware, aplicaciones específicas para la resolución de sistemas de ecuaciones lineales y operaciones con matrices. En este sentido, se pueden analizar pequeñas estructuras con un número de barras limitado a fines didácticas.

6ª/ Deliberadamente, se ha reservado para el final una de las más interesantes y basada, como otras veces, en la disciplina de Álgebra. Solamente aquellos sistemas de ecuaciones que tienen solución única poseen la propiedad de que el determinante de la matriz de los coeficientes sea distinto de cero.



Ejemplos clásicos de configuraciones críticas

Inconvenientes del método matricial

* Frente a la anterior media docena de evidentes ventajas, hemos de afrontar también algún inconveniente. No debemos olvidar que a nivel pedagógico el aprendizaje exige participación por parte del discente. En este sentido los métodos tradicionales como el de MAXWELL-CREMONA o el de RITTER , requieren del alumno reflexión e interés, dicho de otra manera, actividad . Por ello, una vez aprendidos no se olvidan nunca, al menos en lo esencial y básico.

Por contra, los métodos matriciales requieren poco esfuerzo, se aprenden fácil y rápidamente, por lo que invita al alumno a comprender únicamente la parte mecánica y automática del proceso de obtención de la matriz de equilibrio.

Por ello y recordando que lo que fácilmente se aprende, más fácilmente se olvida, creo con firmeza que este método a pesar de sus muchos atractivos, no debe hacer de menos, dar de lado, ni mucho menos sustituir a los métodos clásicos. Muy al contrario, debe de servir, en todo caso, para completarlos y para dotar al universitario, futuro profesional, de una herramienta moderna, atractiva y potente de cálculo, a la vez que ayuda a fomentar la interdisciplinariedad, dando contenido práctico a los temas teóricos matriciales aprendidos, con tanto esfuerzo, en la disciplina de Álgebra.