

TEMA 7

ANÁLISIS DE VIGAS Y PÓRTICOS CONTÍNUOS

7.1.- INTRODUCCIÓN

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO

- ANÁLISIS DE UNA VIGA

- ANÁLISIS DE UN SEMIPÓRTICO

7.3.- EL MÉTODO DE CROSS

- EJERCICIOS DEL 1 AL 6

- ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

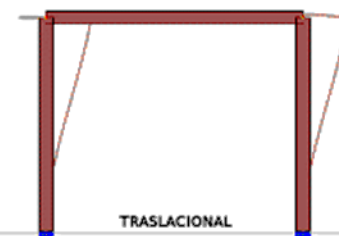
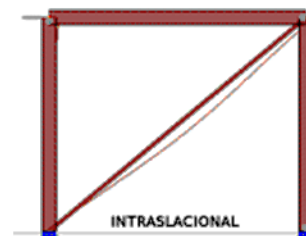
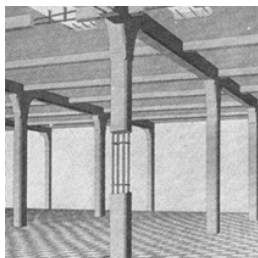
7.4.- VARIANTE REDUCIDA DEL MÉTODO DE CROSS

- EJEMPLOS 1 Y 2

7.5.- ANÁLISIS DE SISTEMAS CON DESPLAZAMIENTO

7.6.- PREDIMENSIONADO, ANÁLISIS Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS PORTICADAS

7.7.- ANÁLISIS DE UN PÓRTICO A DOS AGUAS



7.1.- INTRODUCCIÓN

- ESTRUCTURAS DE NUDOS ARTICULADOS

- ESTRUCTURAS DE NUDOS RÍGIDOS

- Cargas de cualquier tipo y en cualquier posición
- Posibilidad de barras curvas y en voladizo
- Mayor sección transversal  SI peso propio
- Esfuerzos internos normales y transversales: N , M_f , Q , M_t
- Invariabilidad de los ángulos  retícula básica cuadrada o rectangular
- Compatibilidad de las deformaciones
- Continuidad de la curva elástica

7.1.- INTRODUCCIÓN

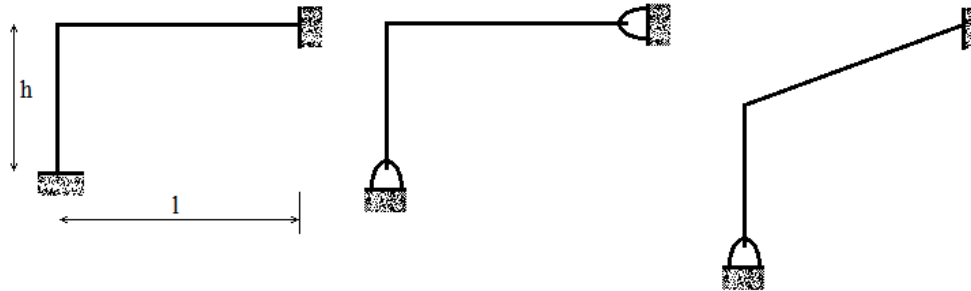
ESTRUCTURAS PORTICADAS

Toda estructura porticada es hiperestática

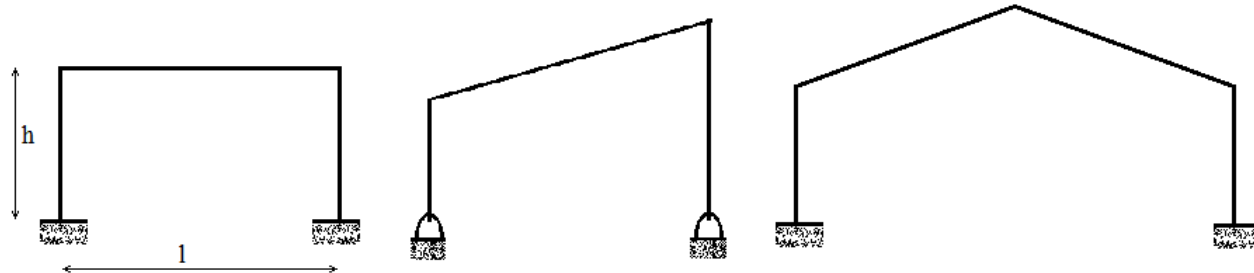
Unión rígida entre soporte y dintel

Apoyos articulados y/o empotrados

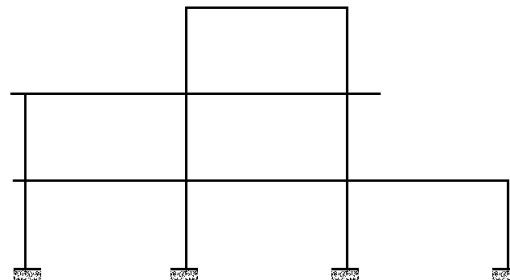
+ Semipórtico:



+ Pórtico simple:



+ Pórtico múltiple o entramado rígido:



7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

Se aplica el teorema de Castigliano con respecto a una fuerza reactiva o a un momento de empotramiento

$$dU/dF = \delta$$

$$dU/dR = 0$$

$$dU/dM = \theta$$

$$dU/dM_e = 0$$

Estas ecuaciones permiten levantar la indeterminación debida a las incógnitas R y M_e . Se aplican tantas veces como incógnitas hiperestáticas se tengan.

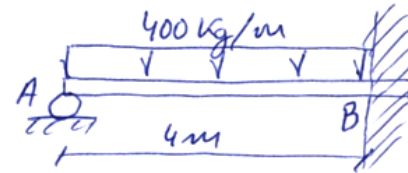
Emplearemos Castigliano para el cálculo de desplazamientos y rotaciones, así como para determinar las incógnitas superabundantes.

Es preciso estimar previamente los momentos de inercia de las barras, o bien, las relaciones de inercia estimadas entre ellas.

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

Ejemplo:

Analizar la viga de la figura:



Solución:

- Ecuaciones de equilibrio:

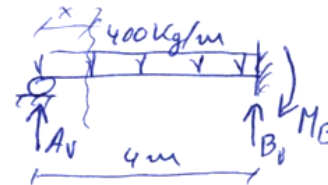
$$\sum M_B = 0 \Rightarrow 4A_V - 400 \cdot 4 \cdot 2 + M_B = 0$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow A_V + B_V - 400 \cdot 4 = 0$$

2 ecua.

3 incogn.

→ Hiperestático de grado 1.



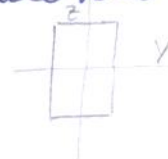
Tomando como ligadura hiperestática A_V , si consideramos suprimido el apoyo, es evidente que el verdadero valor de esta reacción es aquel que anula el desplazamiento del punto A en voladizo.

Condición de contorno: $\delta_V A = 0$

$$\text{Como } \delta A_V = 0 \Rightarrow \frac{\partial U}{\partial A_V} = 0$$

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

Despreciando la sollicitación de cortadura y estimando sólo la flexión en la viga: $U = \int_0^l \frac{M_x^2 dx}{2EI_y}$



$$\frac{\partial U}{\partial A_v} = 0 \Rightarrow \frac{\partial}{\partial A_v} \int_0^l \frac{M_x^2 dx}{2EI_y} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2EI_y} \int_0^l 2M_x \frac{\partial M_x}{\partial A_v} dx = 0$$

Momento flector para una sección de abscisa x : 

$$M_x = A_v \cdot x - 200x^2 \quad \frac{\partial M_x}{\partial A_v} = x$$

Sustituyendo y operando:

$$\frac{\partial U}{\partial A_v} = 0 \Rightarrow \frac{1}{EI_y} \int_0^4 (A_v x - 200x^2) x dx = 0 \Rightarrow \int_0^4 (A_v x^2 - 200x^3) dx = 0 \Rightarrow$$

$$\left[A_v \frac{x^3}{3} - 200 \frac{x^4}{4} \right]_0^4 = 0 \Rightarrow A_v \frac{64}{3} - 50 \cdot 256 = 0 \Rightarrow A_v = 600 \text{ Kg}$$

$$B_v = 1000 \text{ Kg}$$

$$M_B = 800 \text{ m Kg}$$

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

Ejemplo:

Analizar el semipórtico de la figura:
dibujar los diagramas de cortantes
y de flectores.

Expresamos las relaciones que nos da
la estática:

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow A_V + C_V - 1000 \cdot 6 = 0$$

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow A_H - C_H = 0$$

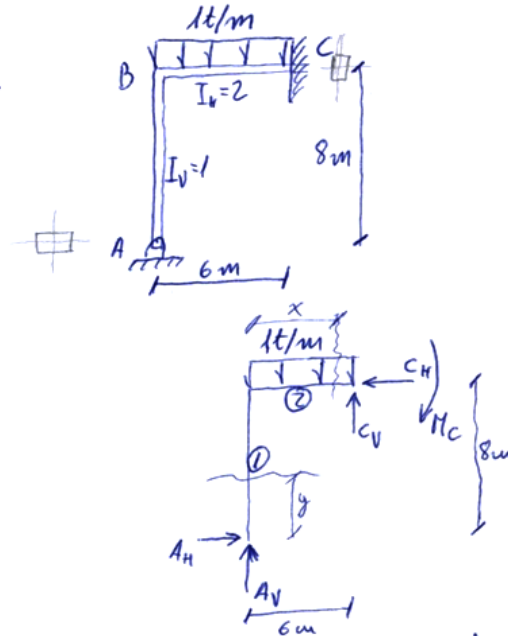
$$\sum M_C = 0 \Rightarrow 6A_V - 8A_H - 1000 \cdot 6 \cdot 3 + M_C = 0$$

Tres ecuaciones y cinco incógnitas. $\rightarrow$ Hiperestático de segundo orden.

Expresamos en función de dos incógnitas los momentos
flectores del sistema. Entre A y B el momento es continuo. Entre
B y C, el momento también es continuo, pero con otro valor.

$$M_y = -A_H \cdot y \Big|_A^B$$

$$M_x = A_V \cdot x - 8A_H - 500x^2 \Big|_B^C$$



7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

Aplicando el principio del trabajo mínimo: Cond. cont.: $\delta A_V = 0$
 $\delta A_H = 0$
 En nuestro caso derivamos parcialmente respecto a A_H y A_V .

$$\frac{\partial U}{\partial R} = 0 \Rightarrow \frac{1}{EI} \int_0^l M \frac{\partial M}{\partial R} dx = 0$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial A_H} = -y \quad ; \quad \frac{\partial M_y}{\partial A_V} = 0 \quad ; \quad \frac{\partial M_x}{\partial A_H} = -8 \quad ; \quad \frac{\partial M_x}{\partial A_V} = x$$

$$\left(\frac{\partial U}{\partial A_H} = 0 \right) \Rightarrow \frac{1}{EI_V} \int_0^8 M_y \frac{\partial M_y}{\partial A_H} dy + \frac{1}{EI_H} \int_0^6 M_x \frac{\partial M_x}{\partial A_H} dx = 0$$

$$\frac{1}{E \cdot I} \int_0^8 (-A_H \cdot y)(-y) dy + \frac{1}{E \cdot 2} \int_0^6 (A_V x - 8A_H - 500x^2)(-8) dx = 0$$

$$\frac{1}{E} \left[\int_0^8 A_H y^2 dy + \frac{1}{2} \int_0^6 (64A_H + 4000x^2 - 8A_V x) dx \right] = 0 \quad ; \quad A_H \left[\frac{y^3}{3} \right]_0^8 + \frac{1}{2} \left[64A_H x + 4000 \frac{x^3}{3} - 4A_V x^2 \right]_0^6 = 0$$

$$A_H \frac{512}{3} + 192A_H + 144.000 - 72A_V = 0 \quad (1)$$

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

$$\left(\frac{\partial U}{\partial A_V} = 0 \right) \Rightarrow \frac{1}{EI_V} \int_0^8 M_y \frac{\partial M_y}{\partial A_V} dy + \frac{1}{EI_H} \int_0^6 M_x \frac{\partial M_x}{\partial A_V} dx = 0$$

$$\frac{1}{E \cdot 1} \int_0^8 (-A_H y) \cdot 0 dy + \frac{1}{E \cdot 2} \int_0^6 (A_V x - 8A_H - 500x^2) x dx = 0$$

$$\frac{1}{2} \int_0^6 (A_V x^2 - 8A_H x - 500x^3) dx = 0; \left[A_V \frac{x^3}{3} - 4A_H x^2 - 125x^4 \right]_0^6 = 0$$

$$72 A_V - 144 A_H - 162.000 = 0$$

$$A_V - 2A_H - 2250 = 0 \rightarrow A_V = 2A_H + 2.250$$

Sustituyendo en (1):

$$\frac{512}{3} A_H + 192 A_H + 144.000 - 72(2A_H + 2.250) = 0$$

$$\frac{512}{3} A_H + 192 A_H + 144.000 - 144 A_H - 162.000 = 0 \rightarrow A_H = 82'317 \text{ Kg} = C_H$$

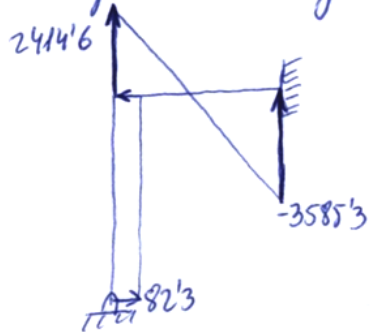
$$A_V = 2414'634 \text{ Kg}$$

$$C_V = 3585'366 \text{ Kg}$$

$$M_c = 4170'732 \text{ m Kg}$$

7.2.- PRINCIPIO DEL TRABAJO MÍNIMO (TEOREMA DE CASTIGLIANO-MENABREA)

- Diagrama de fuerzas cortantes:

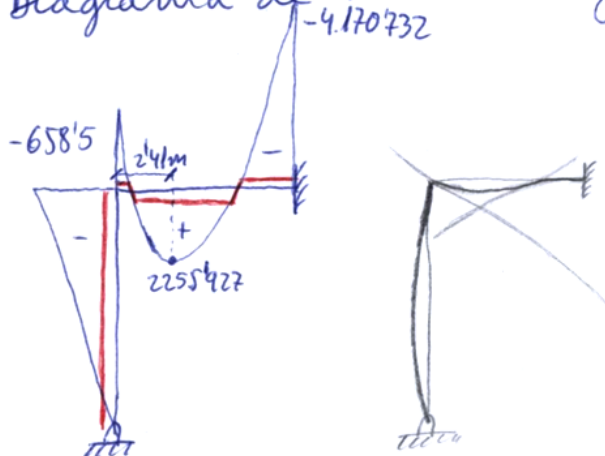


$$Q_{BC} = 0 \Rightarrow 2414'634 - 1000x = 0 \Rightarrow x = 2'414634 \text{ m}$$

Momento máximo entre B y C:

$$A_V x - 500x^2 - 8A_H = M_{2'4} = 2.255'927 \text{ m Kg}$$

- Diagrama de momentos flectores:



$$M_B = -A_H \cdot l_1 = -82'317 \cdot 8 = -658'536 \text{ m Kg}$$

$$M_x = 0 \Rightarrow x = \frac{2414'634 \pm \sqrt{2414'634^2 - 4 \cdot 500 \cdot 658'536}}{2 \cdot 500} = \begin{cases} 4'54 \text{ m} \\ 0'29 \text{ m} \end{cases}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

En 1932, el Profesor Hardy Cross de los Estados Unidos, publicó el método de aproximaciones sucesivas que lleva su nombre, destinado al cálculo de estructuras continuas.

El método alcanzó entre los años 40 y 60 rápida difusión, constituyendo hoy en día el único método manual de cálculo vigente. Está basado en el método de la rigidez (medida de las fuerzas asociadas a un conjunto dado de desplazamientos), que es aplicable a ciertos tipos de estructuras elásticas hiperestáticas cuyas barras están solicitadas, predominantemente, a flexión. Está, generalmente limitado a estructuras planas sometidas a cargas contenidas en su plano y en el supuesto de que los esfuerzos axiles y cortantes tienen un efecto muy pequeño sobre la estructura que está sometida, esencialmente, a flexión.

El método entraña el ajuste por un proceso iterativo de los valores numéricos de los momentos flectores en las secciones extremas de las barras, o momentos de extremo, para que se mantenga el equilibrio y es particularmente útil para vigas continuas. También puede aplicarse a estructuras, aunque el método es laborioso cuando aparecen desplazamientos laterales.

Los cálculos pueden finalizarse cuando el grado de aproximación sea aceptable y es, por tanto, de utilidad para efectuar comprobaciones aproximadas de los cálculos de proyecto. Los giros no están incluidos directamente en los cálculos, pero pueden determinarse a partir de los diagramas de momentos flectores utilizando el método del momento del área (Mohr).

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

El primer paso en la aplicación del Método de Cross es dividir la estructura en casos de vigas con empotramientos en sus extremos. Los momentos de empotramiento, para cada caso de carga de las vigas separadas se calculan utilizando los valores especificados en tablas (momentos de empotramiento perfecto).

Las barras biempotradas aisladas se reagrupan y los momentos extremos en los nudos, que son libres de girar, se equilibran. El momento de desequilibrio se reparte proporcionalmente a la rigidez de las barras que concurren en el nudo.

La rigidez relativa de una barra es, $K = I / L$, siendo K el coeficiente de rigidez que depende de las condiciones de los extremos y siempre que el elemento sea de material homogéneo.

La proporción del momento de desequilibrio de los momentos de empotramiento que se distribuye al extremo de una barra es:

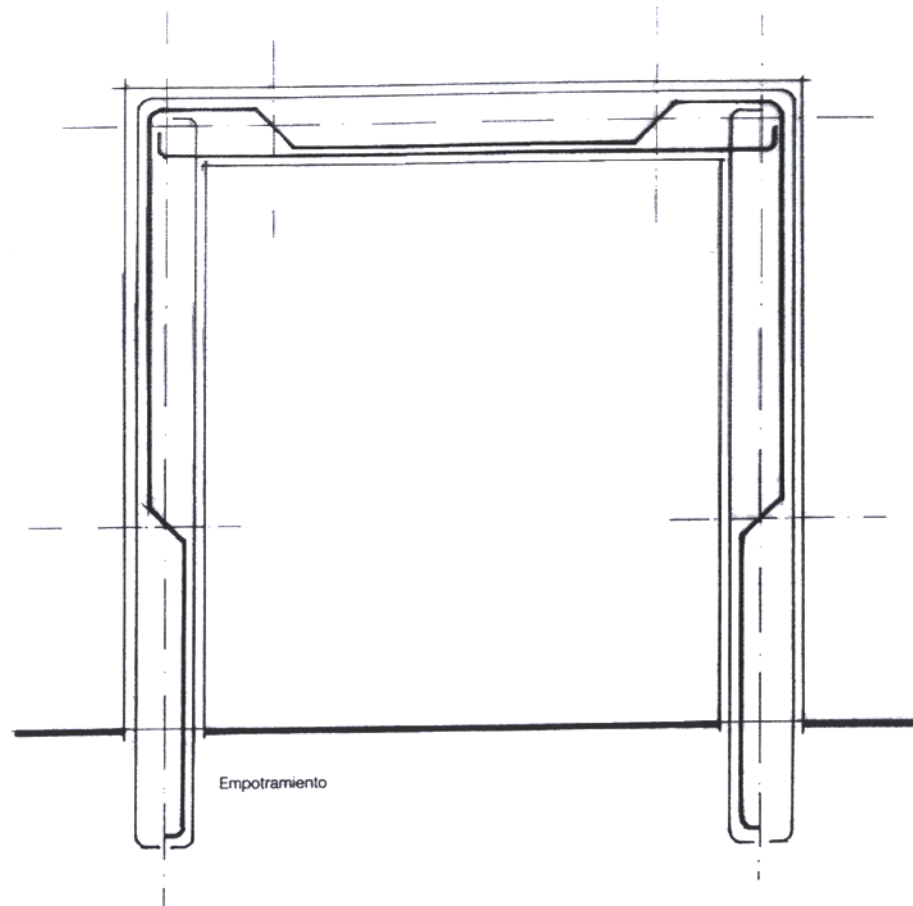
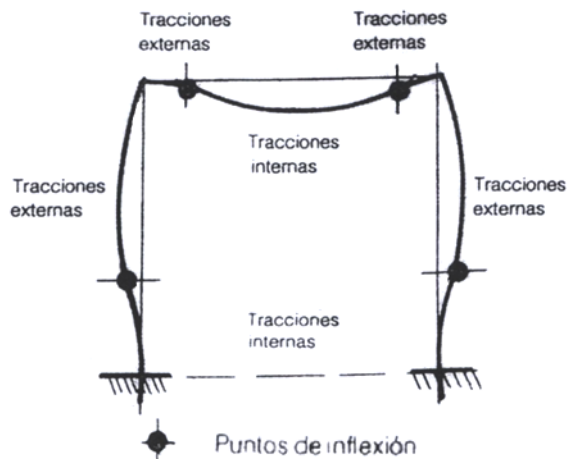
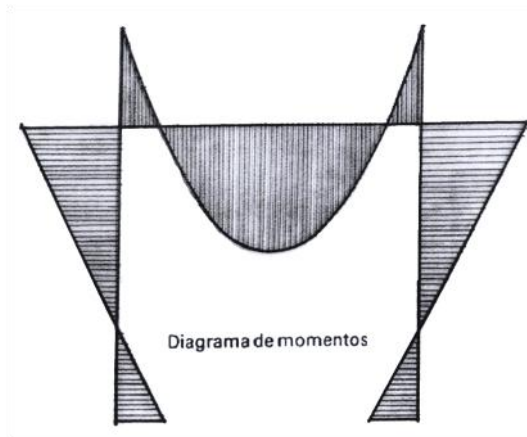
$$\text{Coef. de reparto } (\rho) = \frac{\text{Coef. de rigidez de una barra } (K)}{\text{Suma de los Coef. de rig. de las barras que concurren en el nudo } (\sum K)}$$

Si un momento equilibrante se aplica en el extremo de una barra, una parte de este momento se transmite al otro extremo de la barra. La proporción del momento que se transmite toma valor mitad, si el extremo es empotrado, y cero si el extremo es articulado.

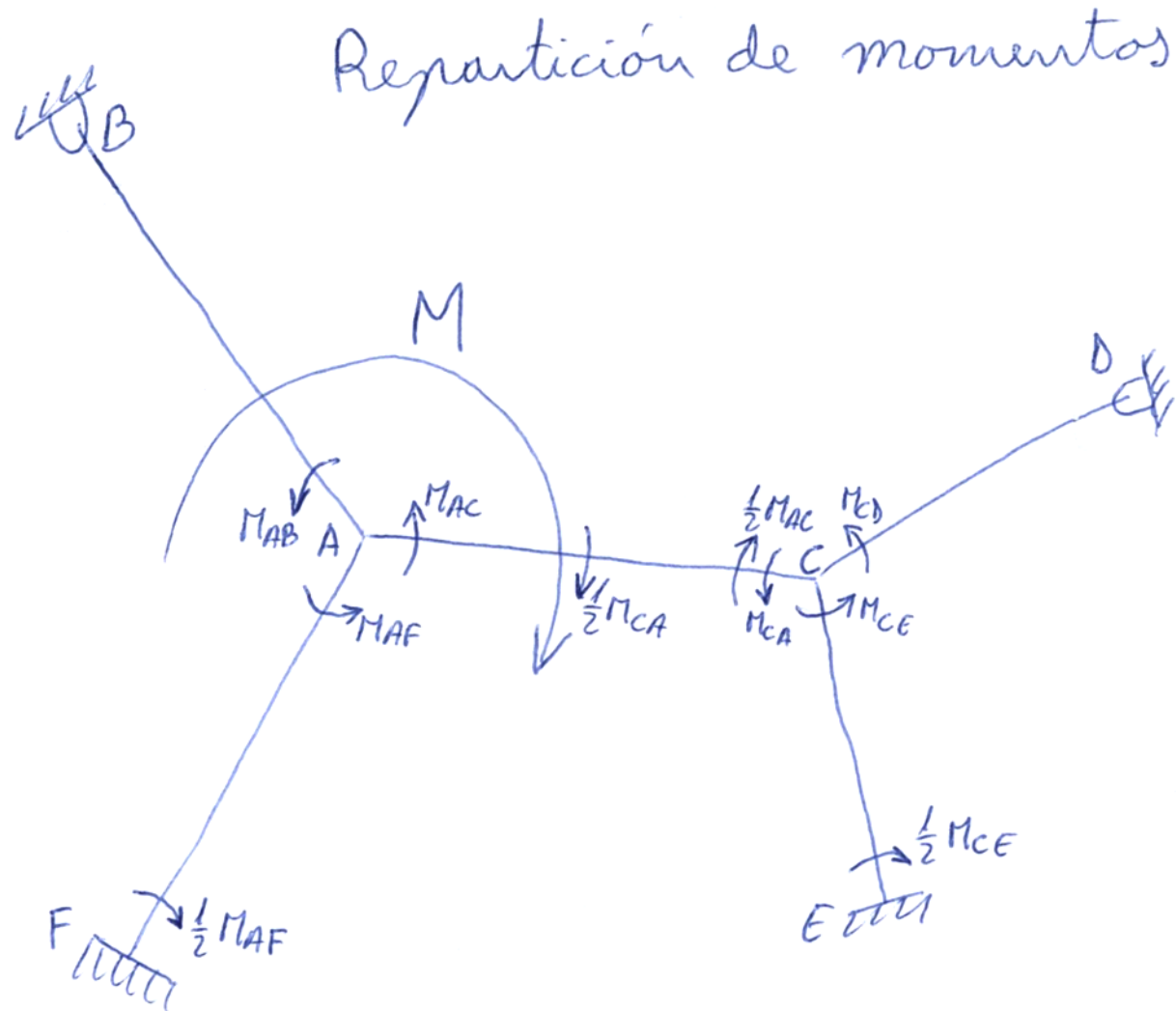
El proceso de equilibrio y transmisión continua hasta que se obtiene una precisión satisfactoria.

El convenio de signos adoptado para los momentos extremos es positivo en el sentido de las agujas del reloj y negativo, en el sentido contrario.

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

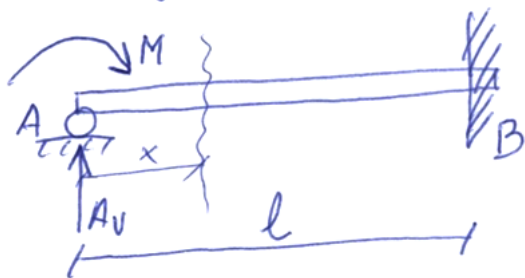


7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Coeficientes de rigidez y de transmisión.



$$\left. \begin{aligned} M(x) &= E I y'' \\ M(x) &= A_v \cdot x + M \end{aligned} \right\} \Rightarrow E I y'' = A_v \cdot x + M$$

$$M_B = A_v \cdot l + M \Rightarrow A_v = \frac{M_B - M}{l}$$

Sustituyendo: $E \cdot I \cdot y'' = \frac{M_B - M}{l} x + M$

Integrando: $E \cdot I \cdot y' = \frac{M_B - M}{l} \frac{x^2}{2} + Mx + C_1$

Para $x=l$, $y'=0 \Rightarrow \boxed{C_1 = -\frac{M_B - M}{l} \frac{l^2}{2} - M \cdot l = -\frac{l}{2} (M_B + M)}$

Aproximando la pendiente al ángulo: $y' = \frac{dy}{dx} \approx \theta_A$

Para $x=0$, $E I \theta_A = -\frac{l}{2} (M_B + M) \quad (1)$

Integrando de nuevo: $E I y = \frac{M_B - M}{l} \frac{x^3}{6} + M \frac{x^2}{2} - \frac{l}{2} (M_B + M) x + C_2$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

$$\text{Para } x=0, y=0 \Rightarrow \boxed{C_2=0}$$

$$\text{Para } x=l, y=0 \Rightarrow 0 = \frac{M_B - M}{6} l^2 + \frac{M}{2} l^2 - \frac{M_B + M}{2} l^2$$

$$0 = \frac{M_B - M}{6} + \frac{M}{2} - \frac{M_B + M}{2}$$

$$0 = \frac{-2M_B - M}{6} \Rightarrow \boxed{M_B = -\frac{M}{2}}$$

Conclusión:

Si un momento M se aplica en el extremo de una viga, transmite un momento de valor mitad y signo opuesto en el extremo contrario, si este está empotrado.

Al valor $\beta = \frac{M_B}{M} = -\frac{1}{2}$ se denomina coeficiente de transmisión o de transporte de la viga. Es siempre igual en valor absoluto a $1/2$ para vigas homogéneas y de sección constante.

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Considerando ahora la ecuación (1):

$$y, \quad \left. \begin{aligned} E \cdot I \cdot \theta_A &= -\frac{l}{2} (M_B + M) \\ M_B &= -\frac{1}{2} M \end{aligned} \right\} E \cdot I \cdot \theta_A = -\frac{M \cdot l}{4}$$

Así, la rotación en el extremo A de la viga donde aplicamos el momento M, tiene por valor absoluto:

$$\theta_{A/B} = \frac{M \cdot l}{4EI}$$

Definiendo $K = M/\theta$, la proporcionalidad entre el ángulo girado en la sección extrema y el momento aplicado a ella, el valor "K" determina la rigidez de la viga.

De esta forma, el factor o coeficiente de rigidez absoluta de la viga es,

$$K = \frac{4EI}{l} = \frac{M}{\theta_{A/B}}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Esta expresión muestra que una viga o barra de estructura resulta menos flexible cuanto mayor sea su momento de inercia o su módulo elástico; y tanto más flexible cuanto mayor sea su longitud.

El factor o coeficiente de rigidez de una viga o barra, se define como el momento necesario que hay que aplicar en un extremo de la viga o barra, para producir en él una rotación de un radian, supuesto empotrado el extremo opuesto.

En vigas de sección uniforme y construidas de un solo material ($EI = \text{cte}$), se toma como base de cálculo el coeficiente de rigidez relativa,

$$K = \frac{I}{l}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

En el caso que el extremo opuesto fuese articulado o simplemente apoyado, el coeficiente de rigidez es $3/4$ del obtenido si el extremo opuesto estuviese empotrado. Al ser la balsa o viga más flexible, es como si tuviéramos una longitud ideal $l_i = \frac{4}{3} l$. Así, el nuevo coeficiente de rigidez será:

$$K_i = \frac{I}{\frac{4}{3} l} = \frac{3}{4} K$$

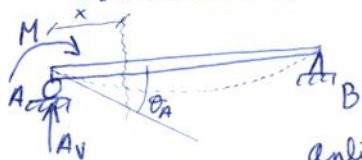
7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

- Deformaciones angulares en vigas.

Ya hemos visto para el caso de una viga de sección constante y material homogéneo, simplemente apoyada y empotrada, sometida a un momento M actuando en el apoyo simple, la rotación angular calculada en dicho apoyo simple toma valor:

$$\theta_{A/B} = \frac{M \cdot l}{4E \cdot I}$$

Estudiamos ahora el caso de una viga simple.



$$\sum M_B = 0 \Rightarrow A_v \cdot l + M = 0 \Rightarrow A_v = -\frac{M}{l}$$

aplicamos la ecuación diferencial de la curva elástica, considerando la sección de abscisa x :

$$\begin{aligned} M(x) &= E \cdot I \cdot y'' \\ M(x) &= A_v \cdot x + M = \left(-\frac{M}{l}\right)x + M = M\left(1 - \frac{x}{l}\right) \end{aligned} \quad \left\{ \begin{array}{l} E \cdot I \cdot y'' = M\left(1 - \frac{x}{l}\right) \end{array} \right.$$

$$\text{Integrando: } E \cdot I \cdot y' = M\left(x - \frac{x^2}{2l}\right) + C_1$$

$$\text{Suponiendo: } y' \cong \theta_A \Rightarrow \theta_A = \frac{1}{EI} \left[M\left(x - \frac{x^2}{2l}\right) + C_1 \right] \quad (2)$$

$$\text{Segunda integración: } E \cdot I \cdot y = M\left(\frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6l}\right) + C_1 x + C_2$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Para $x=0, y=0 \Rightarrow C_2=0$

Para $x=l, y=0 \Rightarrow C_1 = -\frac{M \cdot l}{3}$

La rotación de la viga en A, se obtiene sustituyendo en (2) para, $x=0$

$$\theta_A = \frac{1}{EI} \left(-\frac{M \cdot l}{3} \right) = -\frac{M \cdot l}{3EI}$$

Se considera ahora el caso de viga con empotramiento to deslizable en el apoyo derecho.



$$A_v + B_v = 0 \Rightarrow A_v = -B_v$$

$$\begin{aligned} M(x) &= E \cdot I \cdot y'' \\ M(x) &= M \end{aligned} \quad \left\{ \begin{aligned} E \cdot I \cdot y'' &= M \\ E \cdot I \cdot y' &= Mx + C_1 \end{aligned} \right.$$

A_v no genera momento al deslizar.

En B, empotramiento deslizable, la pendiente a la curva es cero.

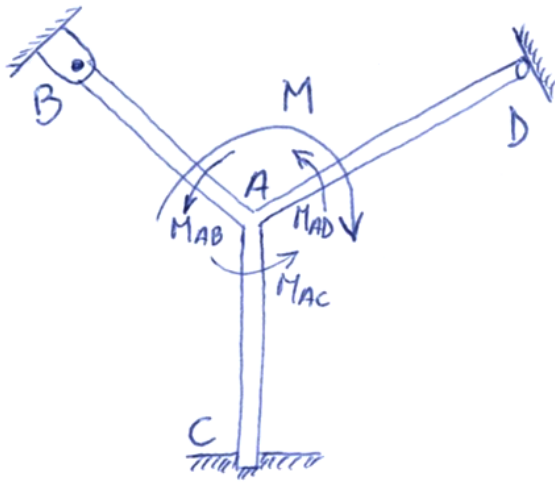
Para $x=l, y'=\theta_B=0 \Rightarrow C_1 = -Ml$

$$\text{Para } x=0, \Rightarrow EI\theta_A = -Ml \Rightarrow \theta_A = -\frac{M \cdot l}{EI}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Coeficientes de repartición.

De forma general, se considera un sistema de tres brazos, AB, AC y AD, enlazados de manera invariable al nudo A, donde actúa un momento M .



Este momento provoca una rotación del nudo A, que produce a su vez deformaciones angulares en el origen de los tres miembros en A, provocadas por los momentos respectivos M_{AB} , M_{AC} y M_{AD} , de forma que,

$$M = M_{AB} + M_{AC} + M_{AD}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Teniendo en cuenta que, $K_{ij} = \frac{I_{ij}}{l_{ij}}$

En el brazo AB, la rotación en A es:

$$\theta_A = \frac{M_{AB}}{3E K_{AB}} \quad (3)$$

En el brazo AC, la rotación en A es:

$$\theta_A = \frac{M_{AC}}{4E K_{AC}} \quad (4)$$

Y, en el brazo AD, la rotación en A es:

$$\theta_A = \frac{M_{AD}}{E K_{AD}} \quad (5)$$

Despejando momentos se tiene:

$$M_{AB} = \theta_A 3E K_{AB}$$

$$M_{AC} = \theta_A 4E K_{AC}$$

$$M_{AD} = \theta_A E K_{AD}$$

Sumando,

$$M_{AB} + M_{AC} + M_{AD} = \theta_A (3E K_{AB} + 4E K_{AC} + E K_{AD})$$

$$\theta_A = \frac{M}{E(3K_{AB} + 4K_{AC} + K_{AD})} = \frac{M}{4E\left(\frac{3}{4}K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4}K_{AD}\right)} \quad (6)$$

Iguando rotaciones,

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

$$(3) = (6)$$

$$\frac{M_{AB}}{3E K_{AB}} = \frac{M}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)} \Rightarrow M_{AB} = M \frac{3E K_{AB}}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)}$$

$$M_{AB} = M \rho_{AB}$$

$$(4) = (6)$$

$$\frac{M_{AC}}{4E K_{AC}} = \frac{M}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)} \Rightarrow M_{AC} = M \frac{4E K_{AC}}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)}$$

$$M_{AC} = M \rho_{AC}$$

$$(5) = (6)$$

$$\frac{M_{AD}}{E K_{AD}} = \frac{M}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)} \Rightarrow M_{AD} = M \frac{E K_{AD}}{4E \left(\frac{3}{4} K_{AB} + K_{AC} + \frac{1}{4} K_{AD} \right)}$$

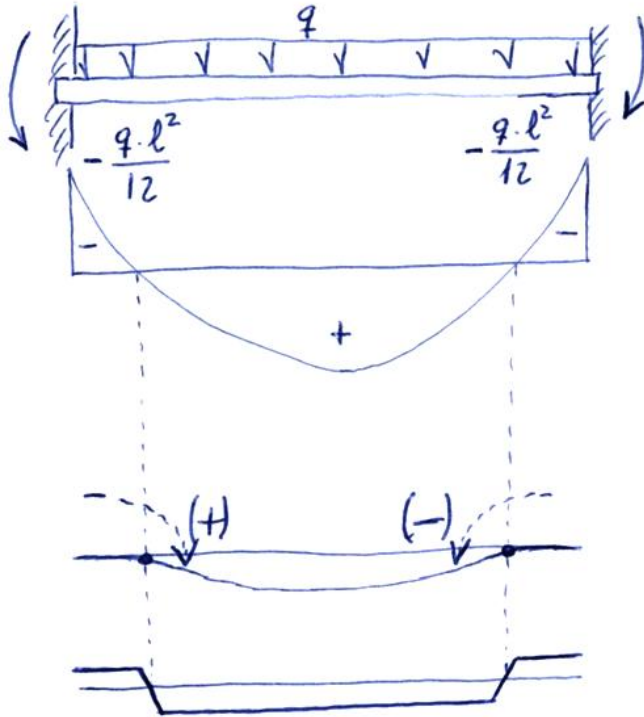
$$M_{AD} = M \rho_{AD}$$

Siendo ρ_{AB} , ρ_{AC} y ρ_{AD} los coeficientes de repartición.

Estos, indican la proporción en que el momento M aplicado al nudo considerado, se reparte entre las extremidades de los diversos miembros que concurren en ese nudo.

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Convenio de signos.



En el método de distribución de momentos, los momentos se consideran contrarios a los de resistencia de materiales.

Se toma como sentido positivo si el momento tiende a hacer girar a la viga en el sentido de las agujas del reloj

El momento es negativo, si la viga gira en sentido antihorario.

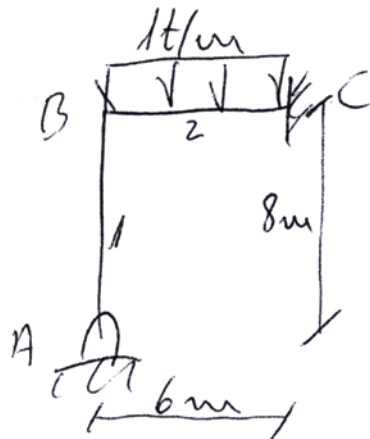
7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

Planteamiento del método.

- 1.- Calcular los coeficientes de rigidez relativa $K = I/l$ de cada barra.
- 2.- Calcular los coeficientes de reparto de cada barra " ρ ", teniendo en cuenta que por cada nudo, $\sum \rho_{ij} = 1$.
- 3.- Cálculo de los momentos de enclavamiento perfecto en las barras solicitadas, afectados por el signo correspondiente.
- 4.- Suma algebraica de los momentos que concurren en cada nudo.
- 5.- Reparto de estos momentos, afectados de signo contrario, para equilibrar cada nudo.
- 6.- Transporte a los nudos opuestos del momento mitad al obtenido en el reparto anterior.
- 7.- Se repiten los pasos 5 y 6 hasta alcanzar la aproximación deseada. La última operación será de reparto.
- 8.- Suma de los momentos obtenidos en cada barra y cada nudo.

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 1



$$K_{BA} = \frac{1}{8} \quad \left| \quad P_{BA} = \frac{1/8}{\frac{1}{8} + \frac{1}{3}} = \frac{3}{11}$$

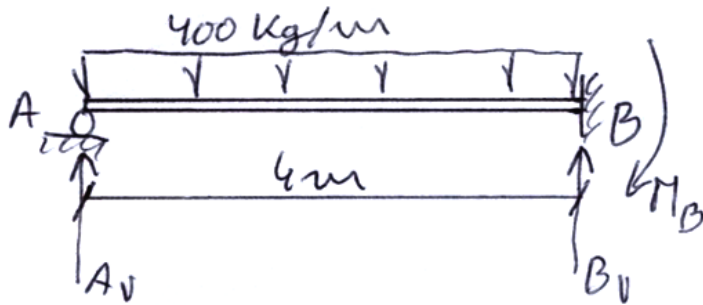
$$K_{BC} = \frac{1}{3} \quad \left| \quad P_{BC} = \frac{1/3}{\frac{1}{3} + \frac{1}{8}} = \frac{1/3}{11/24} = \frac{8}{11}$$

$$M_{BC} = -M_{CB} = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{1000 \cdot 6^2}{12} = 3000 \text{ m kg}$$

	B			
	A	BA	BC	C
P	1	3/11	8/11	
0to			3000	-3000
1R		-818	-2182	
1T	-409			-1091
2R	409			
2T		204		
3R		-56	-148	
3T	-28			-74
4R	28			
4T		14		
5R		-4	-10	
5T	-2			-5
6R	2			
	0	-660	660	-4170

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 2



$$\sum M_B = 0 \Rightarrow$$

$$4A_v - 400 \cdot 4 \cdot 2 + 800 = 0 \Rightarrow A_v = 600 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow$$

$$400 \cdot 4 \cdot 2 - 4B_v + 800 = 0 \Rightarrow B_v = 1000 \text{ kg}$$

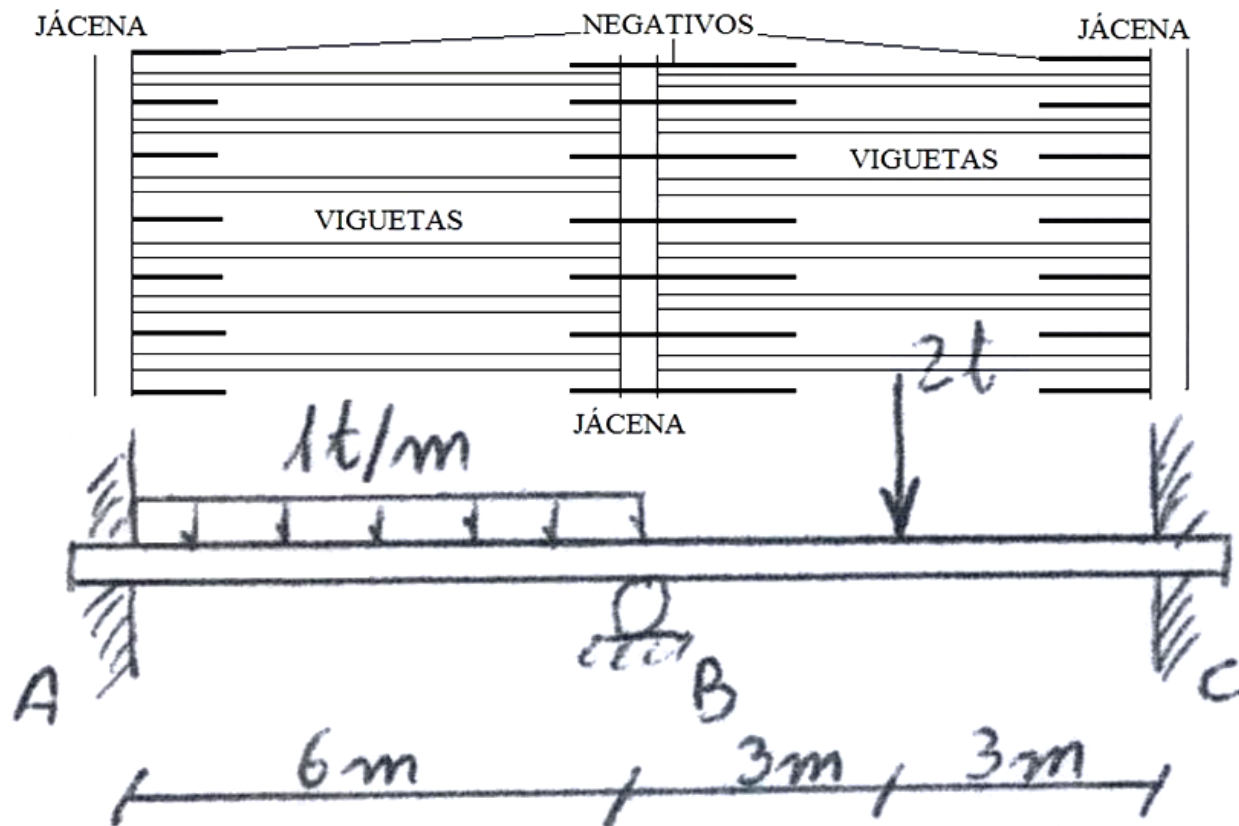
$$K_{AB} = \frac{1}{4} \quad M_A = -M_B = \frac{q \cdot l^2}{12} = 533'3 \text{ m kg}$$

	A	B
P	1	0
M ₀	533'3	-533'3
1R	-533'3	
1T		-266'7
2R		
	0	-800

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

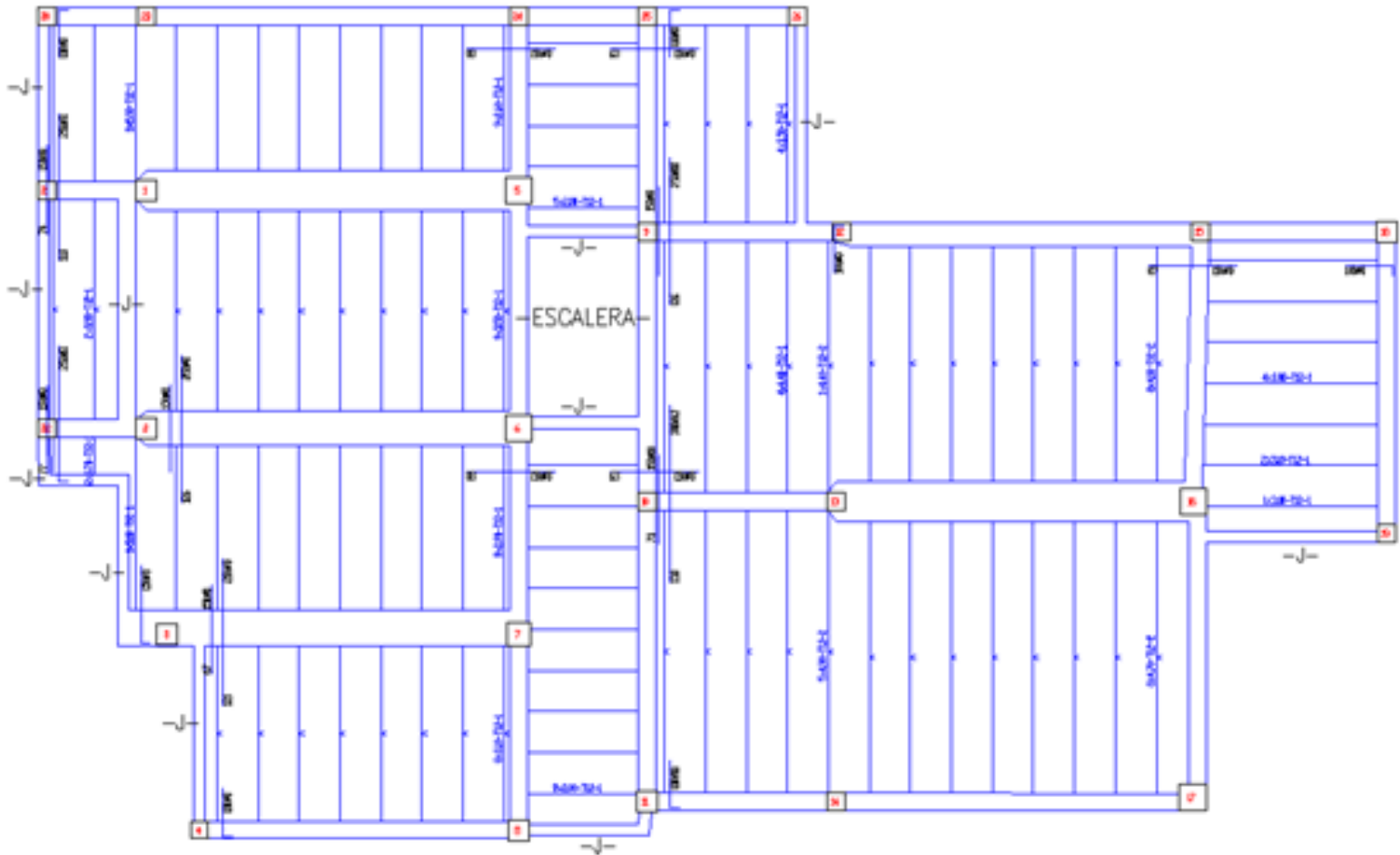
EJERCICIO 3

Para la viga de la figura de sección transversal constante, se pide dibujar los diagramas de cortantes, flectores, tracciones y elástica.



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

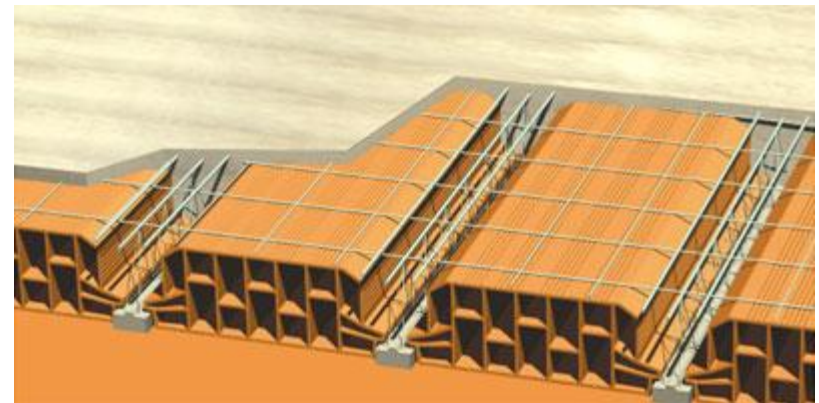
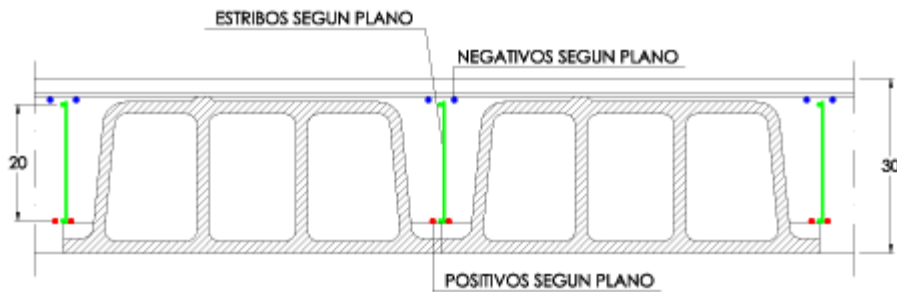
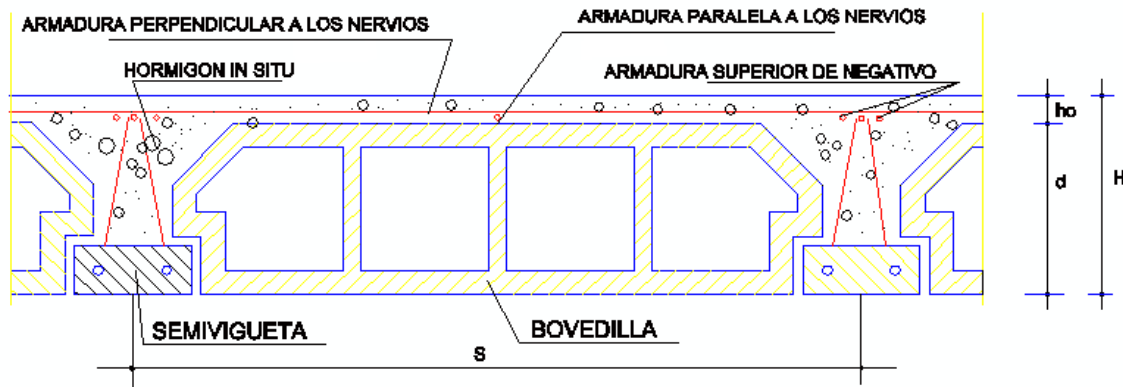
EJERCICIO 3



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3

SECCION FORJADO



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

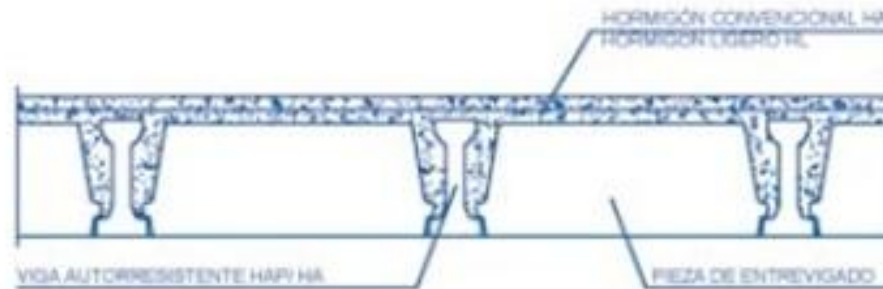
EJERCICIO 3



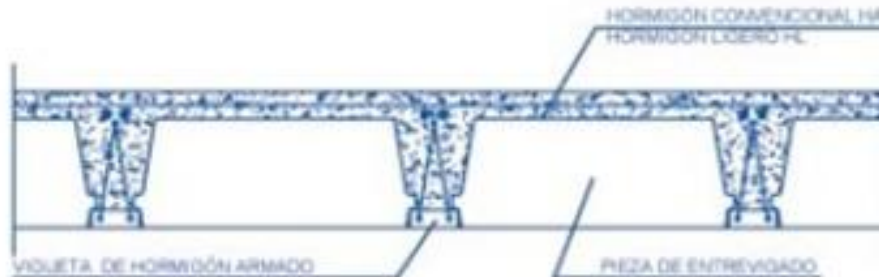
7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3

- Forjado unidireccional con viga autoresistente de hormigón armado u hormigón armado pretensado.



- Forjado unidireccional con viga armada.



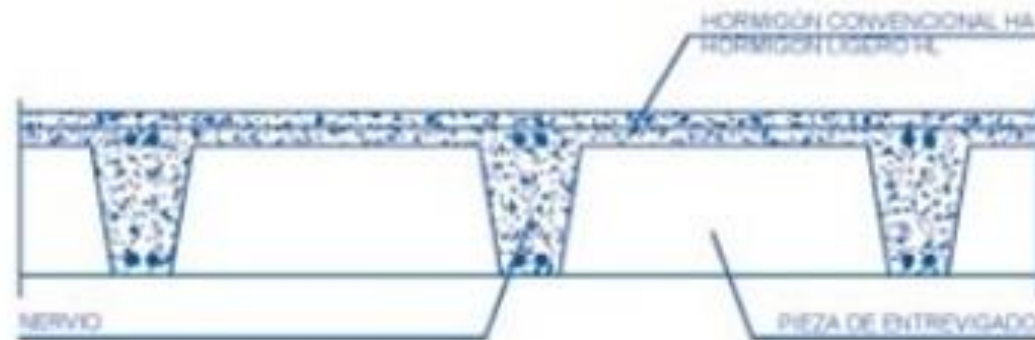
- Forjado unidireccional con viga pretensada.



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3

- Forjado unidireccional con nervio de hormigón armado vertido "in situ".



- Placa armada aligerada en dos direcciones ortogonales con casetón recuperable. (Forjado reticular).



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3

Solución:

- Coef. rig.: $K_{BA} = K_{BC} = \frac{I}{l} = \frac{1}{6}$

- Coef. rep.: $\rho_{BA} = \rho_{BC} = \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{BC}} = \frac{1/6}{1/6 + 1/6} = \frac{1}{2}$

- Momentos iniciales:

$$M_A = -M_{BA} = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{1000 \cdot 6^2}{12} = 3000 \text{ m Kg}$$

$$M_{BC} = -M_C = \frac{p \cdot l}{8} = \frac{2000 \cdot 6}{8} = 1500 \text{ m Kg}$$

M_g máximo entre A y B:

$$Q_{x_{A-B}} = 3187.5 - 1000x. \text{ Para } Q_{x_{A-B}} = 0 \Rightarrow x = 3.1875 \text{ m}$$

$$M_{x_{A-B}} = x A_V - 3375 - 500x^2$$

$$\text{Para } x = 3.1875 \text{ m, } M = 1.705'078 \text{ m Kg}$$

M_g máximo entre B y C:

$$M_{x_{B-C}} = -2250 + 1187.5x \quad \left| \begin{array}{l} 3 \text{ m} \\ 0 \end{array} \right.$$

$$M_{x=3 \text{ m}} = -2250 + 1187.5 \cdot 3 = 1312.5 \text{ m Kg}$$

$$-2250 + 1187.5x = 0 \Rightarrow x = 1.894 \text{ m}$$

$$-1125 + 812.5x = 0 \Rightarrow x = 1.384 \text{ m}$$

$$3187.5x - 3375 - 500x^2 = 0 \Rightarrow x = \begin{cases} 1.34 \text{ m} \\ 5.034 \text{ m} \end{cases}$$

	A	BA	BC	C
ρ		0.5	0.5	
M_0	3000	-3000	1500	-1500
1R		750	750	
1T	375			375
2R				
	3375	-2250	2250	-1125



$$\sum M_{BA} = 0 \Rightarrow 6A_V - 3375 - 1000 \cdot 6 \cdot 3 + 2250 = 0$$

$$A_V = 3187.5 \text{ Kg}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow 2250 - 6Q_{BA} + 1000 \cdot 3 - 3375 = 0$$

$$Q_{BA} = 2812.5 \text{ Kg}$$



$$\sum M_C = 0 \Rightarrow 6Q_{BC} - 2250 - 2000 \cdot 3 + 1125 = 0$$

$$Q_{BC} = 1187.5 \text{ Kg}$$

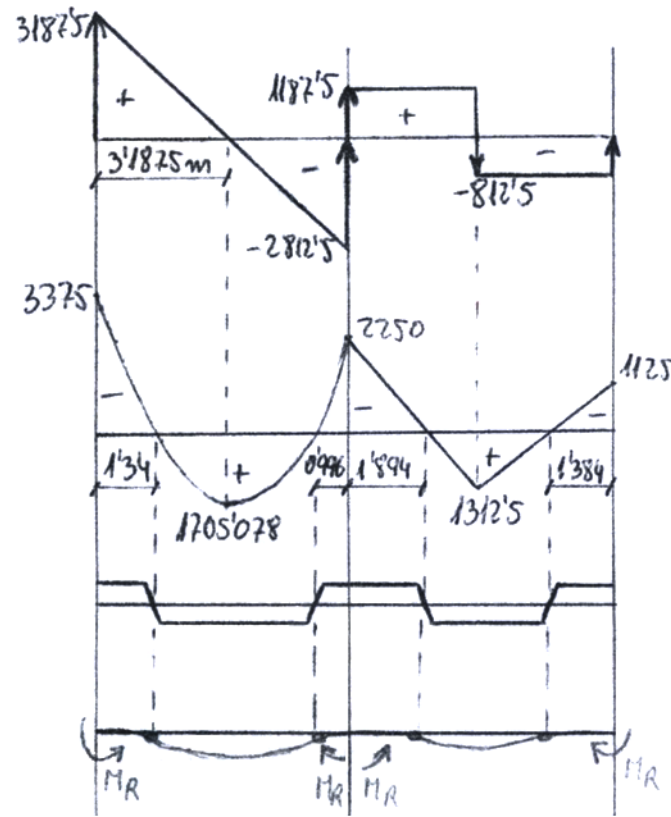
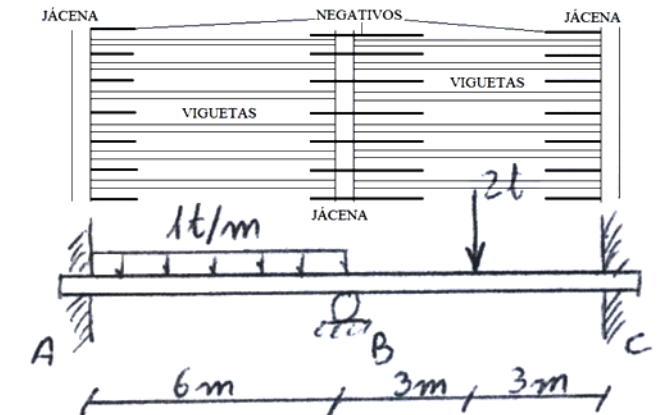
$$\sum M_{BC} = 0 \Rightarrow 1125 - 6C_V + 2000 \cdot 3 - 2250 = 0$$

$$C_V = 812.5 \text{ Kg}$$

$$B_V = Q_{BA} + Q_{BC} = 4000 \text{ Kg}$$

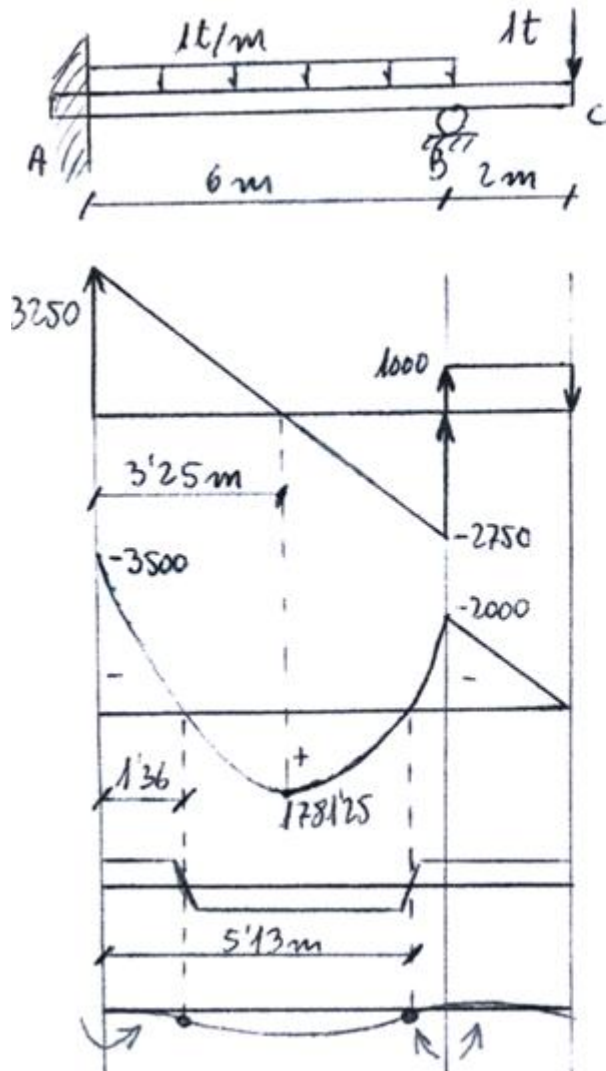
7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 3



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 4



Analizar la viga de la figura y dibujar los diagramas de cortantes, flectores, tracciones y elástica. Sección transversal etc.

Solución:

+ Coef. de rigidez: $K_{BA} = \frac{1}{6}$; $K_{BC} = \frac{1}{\infty} = 0$

+ Coef. de reparto: $\rho_{BA} = \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{BC}} = \frac{1/6}{1/6 + 0} = 1$

+ Momentos iniciales:

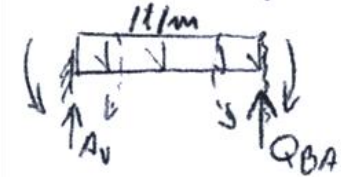
$$M_A = -M_{BA} = \frac{q \cdot l^2}{12} = 3000 \text{ m Kg}$$

$$M_{BC} = P \cdot l = 2000 \text{ m Kg}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 4

-Reacciones:

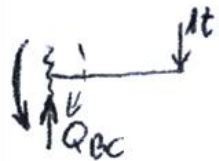


$$\sum M_{BA} = 0 \Rightarrow 6A_v - 3500 - 1000 \cdot 6 \cdot 3 + 2000 = 0$$

$$A_v = 3250 \text{ Kg}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow 2000 - 6Q_{BA} + 1000 \cdot 6 \cdot 3 - 3500 = 0$$

$$Q_{BA} = 2750 \text{ Kg}$$



$$\sum M_C = 0 \Rightarrow 2Q_{BC} - 2000 = 0$$

$$Q_{BC} = 1000 \text{ Kg}$$

-Momentos:

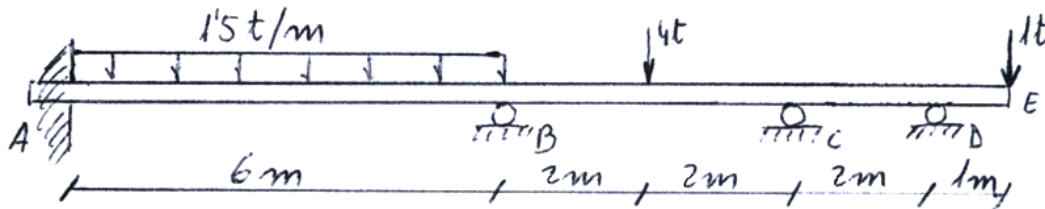
$$M_{AB} \rightarrow -3500 + 3250x - 500x^2 = M_x ; M_{x=3/25m} = 1781'25 \text{ mKg} ; M_x = 0 \rightarrow x = \begin{cases} 1'362m \\ 5'137m \end{cases}$$

	A	BA	BC
P		1	
M ₀	3000	-3000	2000
1R		1000	
1T	500		
2R			
	3500	-2000	2000

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 5

Para la viga de sección transversal constante y material homogéneo, se pide dibujar los diagramas de fuerzas cortantes, momentos flectores, tracciones y curva elástica.



+ Coeficientes de rigidez:

$$K_{AB} = K_{BA} = \frac{I}{l} = \frac{1}{6}$$

$$K_{BC} = K_{CB} = \frac{1}{4}$$

$$K_{CD} = K_{DC} = \frac{1}{2}$$

$$K_{DE} = \frac{1}{\infty} = 0$$

+ Coeficientes de reparto:

- Nudo B:

$$P_{BA} = \frac{K_{BA}}{K_{BA} + K_{BC}} = \frac{1/6}{1/6 + 1/4} = \frac{2}{5} = 0.4$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

$$P_{BC} = \frac{K_{BC}}{K_{BC} + K_{BA}} = \frac{1/4}{1/4 + 1/6} = 0.6 = \frac{3}{5}$$

Comprobación. Nudo B: $P_{BA} + P_{BC} = 0.4 + 0.6 = 1$

Nudo C:

$$\left. \begin{aligned} P_{CB} &= \frac{K_{CB}}{K_{CB} + K_{CD}} = \frac{1/4}{1/4 + 1/2} = \frac{1}{3} \\ P_{CD} &= \frac{1/2}{1/2 + 1/4} = \frac{2}{3} \end{aligned} \right\} P_{CB} + P_{CD} = 1$$

El voladizo no tiene ninguna rigidez.

$$K_{DE} = \frac{I}{L} = \frac{1}{\infty} = 0$$

$$P_{BC} = \frac{1/2}{1/2 + 0} = 1$$

- Momentos iniciales afectados por el convenio de signos

$$M_{AB} = -M_{BA} = \frac{wl^2}{12} = \frac{1500 \cdot 6^2}{12} = 4500 \text{ m Kg}$$

$$M_{BC} = -M_{CB} = \frac{Pl}{8} = \frac{4000 \cdot 4}{8} = 2000 \text{ m Kg}$$

$$M_{DE} = P \cdot l = 1000 \text{ m Kg}$$

Comenzando por el nudo más desequilibrado, se reparten los momentos de desequilibrio. En B, el momento de desequilibrio es: $-4500 + 2000 = -2500$, el cual se distribuye entre los miembros BA y BC cambiando el signo, y proporcionalmente a los coeficientes de reparto 0.4 y 0.6.

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 5

	A	B		C		D	
		BA	BC	CB	CD	DC	DE
P		0'4	0'6	1/3	2/3	1	
M ₀	4500	-4500	2000	-2000			1000
1R		1000	1500	667	1333	-1000	
1T	500		333	750	-500	666	
2R		-133	-200	-83	-167	-666	
2T	-67		-42	-100	-333	-84	
3R		17	25	144	289	84	
3T	8		72	12	42	144	
4R		-29	-43	-18	-36	-144	
4T	-15		-9	-22	-72	-18	
5R		4	5	31	63	18	
5T	2		15	2	9	31	
6R		-6	-9	-4	-7	-31	
6T	-3		-2	-5	-16	-4	
7R		1	1	7	14	4	
	4925	-3646	3646	-619	619	-1000	1000
	-	-	-	-	-	-	-

Reacciones:

$$\sum M_{BA} = 0 \Rightarrow 6A_v - 4925 - 1500 \cdot 6 \cdot 3 + 3646 = 0 \Rightarrow A_v = 4713'16 \text{ kg}$$

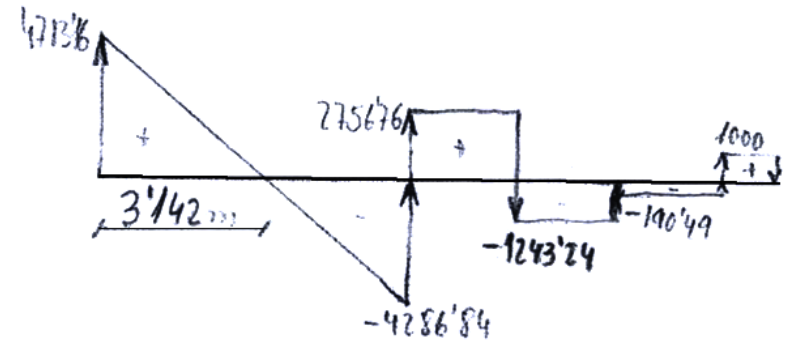
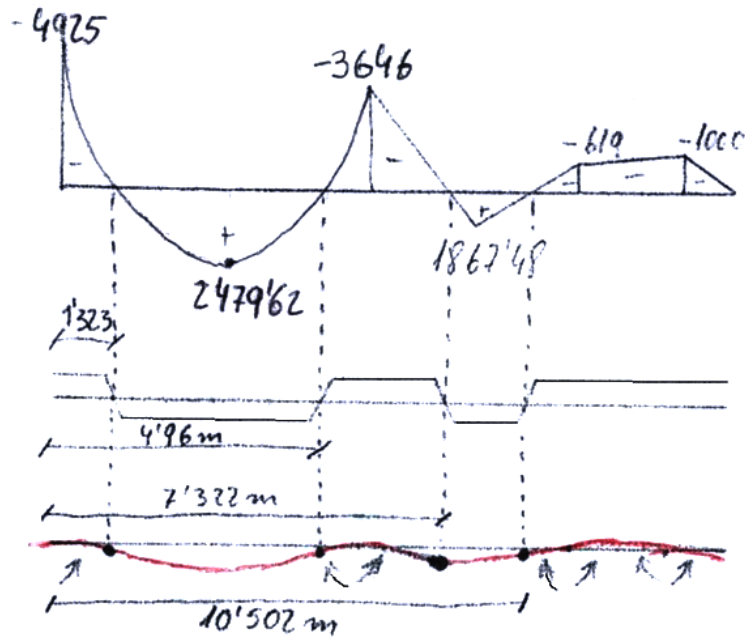
$$\sum M_{CB} = 0 \Rightarrow 10 \cdot 4713'16 - 4925 - 1500 \cdot 6 \cdot 7 - 4000 \cdot 2 + 619 + 4B_v = 0 \Rightarrow B_v = 7043'6 \text{ kg}$$

$$\sum M_{CD} = 0 \Rightarrow 1000 \cdot 3 - D_v \cdot 2 - 619 = 0 \Rightarrow D_v = 1190'5 \text{ kg}$$

$$\sum M_{BC} = 0 \Rightarrow -3646 + 4000 \cdot 2 - 4C_v - 6 \cdot 1190'5 + 7 \cdot 1000 = 0 \Rightarrow C_v = 1052'75 \text{ kg}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 5



$$M_{3/42} = 4713'16 \cdot 3'42 - 4925 - 1500 \cdot \frac{3'42^2}{2} = 2479'62 \text{ mkg}$$

$$M_8 = -4925 + 4713'16 \cdot 8 - 1500 \cdot 6 \cdot 5 + 7043'6 \cdot 2 = 1867'48 \text{ mkg}$$

Tramo AB: $M_x = 4713'16x - 4925 - 750x^2$; $M_x = 0 \Rightarrow x = \begin{cases} 1'323 \text{ m} \\ 4'96 \text{ m} \end{cases}$

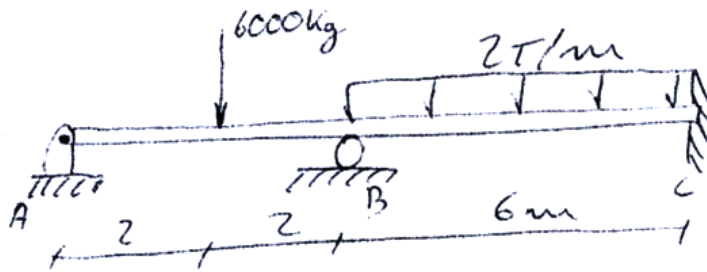
Tramo BC: $M_x = 2756'76x - 3646 \Big|_{0m}^{2m}$ $M_x = 0 \Rightarrow x = 1'322 \text{ m}$

$M_x = 2756'76x - 3646 - 4000(x-2) \Big|_{2m}^{4m}$ $M_x = 0 \Rightarrow x = 3'502 \text{ m}$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 6

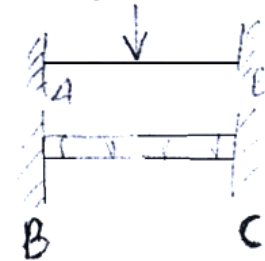
Determinar los momentos en los apoyos de la viga continua que representa la figura, dibujando los diagramas de momento y fuerzas cortantes.



$$K_{BA} = \frac{1}{4} \quad ; \quad K_{BC} = \frac{1}{6}$$

$$P_{BA} = \frac{1/4}{\frac{1}{4} + \frac{1}{6}} = 0.6 = \frac{3}{5}$$

$$P_{BC} = \frac{1/6}{\frac{1}{6} + \frac{1}{4}} = 0.4 = \frac{2}{5}$$



Momentos iniciales

$$M_A = -M_{BA} = \frac{Pl}{8} = \frac{6000 \cdot 4}{8} = 3000 \text{ mKg}$$

$$M_{BC} = -M_C = \frac{wl^2}{12} = \frac{2000 \cdot 6^2}{12} = 6000 \text{ mKg}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 6

	A	BA	BC	C
Cond. exp.	1	0.6	0.4	
M. inic	3000	-3000	6000	-6000
1R	-3000	-1800	-1200	
1T	-900	-1500		-600
2R	400	900	600	
2T	450	450		300
3R	-450	-225	-180	
3T	-135	-225		-90
4R	135	135	90	
4T	68	68		45
5R	-68	-41	-22	
5T	-20	-34		-13
6R	20	20	14	
6T	10	10		7
7R	-10	-6	-4	
7T	-3	-5		-2
8R	3	3	2	
M. Cross	0	-5295	5295	-6353
M. Resist	0	-5295	-5295	-6353

$$\sum M_{B_I} = -5295 \Rightarrow 4R_A - 6000 \cdot 2 = -5295 \Rightarrow R_A = 1676'25 \text{ Kg}$$

$$\sum M_{B_0} = -5295 \Rightarrow 6R_C - 6353 - 2000 \cdot 6 \cdot 3 = -5295 \Rightarrow R_C = 6176'33 \text{ Kg}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow 6176'33 \cdot 10 - 6353 - 2000 \cdot 6 \cdot 7 + 4R_B - 2 \cdot 6000 = 0 \Rightarrow R_B = 10147'42 \text{ Kg}$$

Momentos intermedios:

$$M_x = 1676'25 \cdot x \rightarrow M_{x=2} = 3352'5 \text{ m Kg}$$

$$M_x = 1676'25 \cdot x - 6000 \cdot (x-2) + 10147'42 (x-4) - 1000 (x-4)^2$$

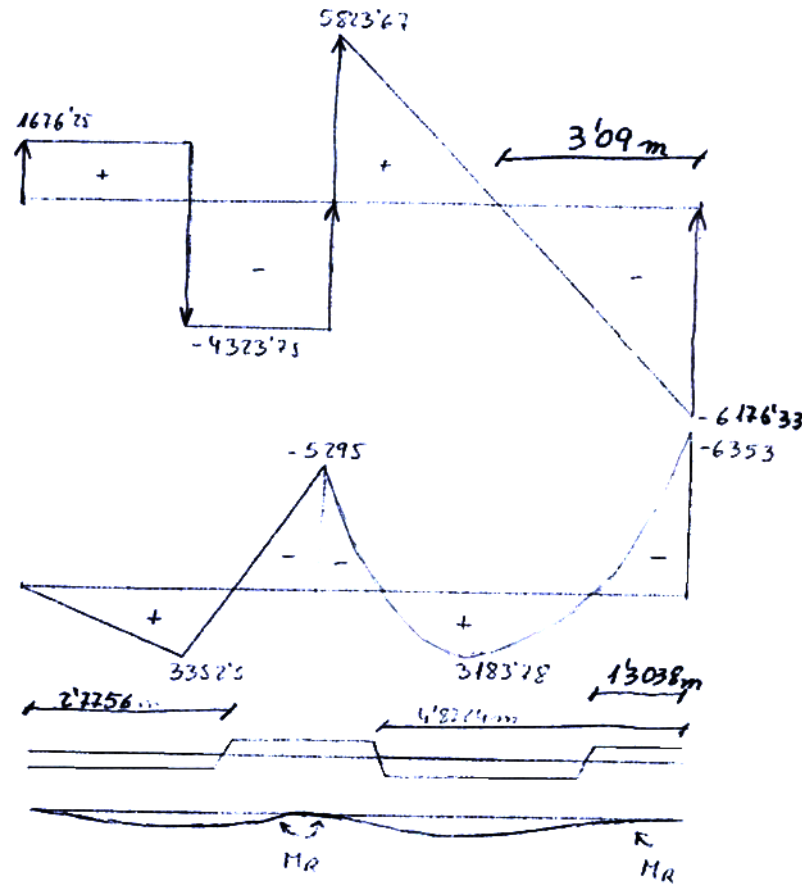
$$Q_x = 1676'25 - 6000 + 10147'42 - 2000 (x-4)$$

$$Q_x = 0 \Rightarrow x = 6'91 \text{ m}$$

$$M_{x=6'91} = 3183'78 \text{ m Kg}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

EJERCICIO 6

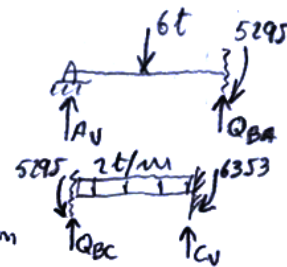


$$M_{x_1} = 1676'25 x_1 - 6000(x_1 - 2) = 12000 - 4323'25 x_1$$

$$M_{x_1} = 0 \Rightarrow x_1 = \frac{12000}{4323'25} = 2'7756 \text{ m}$$

$$M_{x_2} = 6176'33 x_2 - 6353 - 2000 x_2 \cdot \frac{x_2}{2} = -1000 x_2^2 + 6176'33 x_2 - 6353$$

$$M_{x_2} = 0 \Rightarrow x_2 = \frac{-6176'33 \pm \sqrt{6176'33^2 - 4 \cdot (-1000) \cdot (-6353)}}{2 \cdot (-1000)} = \begin{cases} 1'3038 \text{ m} \\ 4'8724 \text{ m} \end{cases}$$



$$\sum M_{BA} = 0 \rightarrow 4A_v - 6000 \cdot 2 + 5295 = 0 \rightarrow A_v = 1676'25 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 6000 \cdot 2 + 5295 - 4Q_{BA} = 0 \rightarrow Q_{BA} = 4323'25 \text{ kg}$$

$$\sum M_{BC} = 0 \rightarrow -5295 + 2000 \cdot 6.3 + 6353 - 6C_v = 0 \rightarrow C_v = 6176'33 \text{ kg}$$

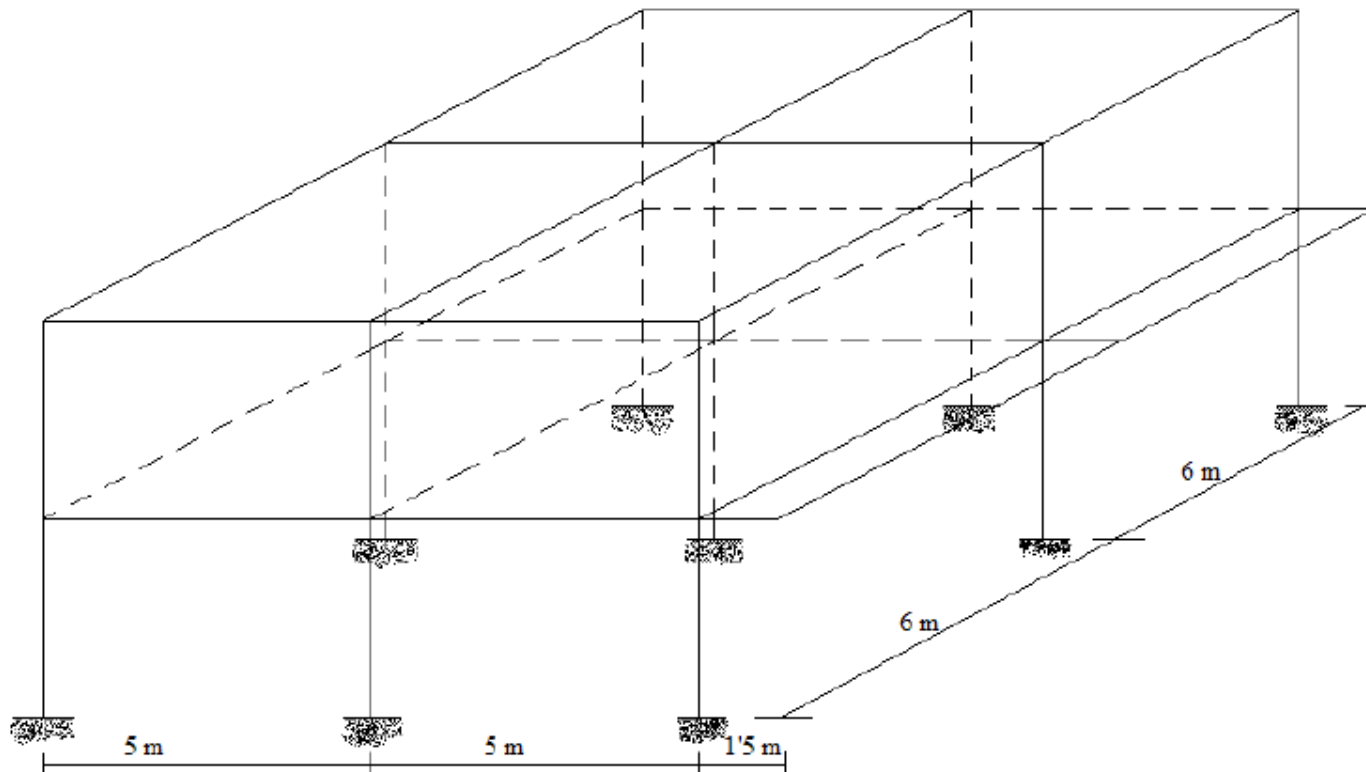
$$\sum M_C = 0 \rightarrow 6Q_{BC} - 5295 - 2000 \cdot 6.3 + 6353 = 0 \rightarrow Q_{BC} = 5923'67 \text{ kg}$$

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

PROBLEMA:

Analizar el forjado unidireccional de 0'25 m de canto, para la primera planta de la estructura resistente del edificio de viviendas de la figura, considerando que se emplearán baldosas de terrazo como pavimento:



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

SOLUCIÓN:

- Acciones:

+Permanentes:

Peso forjado unidireccional de 25 cm:	3	KN/m ²
Peso terrazo sobre mortero:	0'8	KN/m ²
Peso tabiquería:	1	KN/m ²

+Variables:

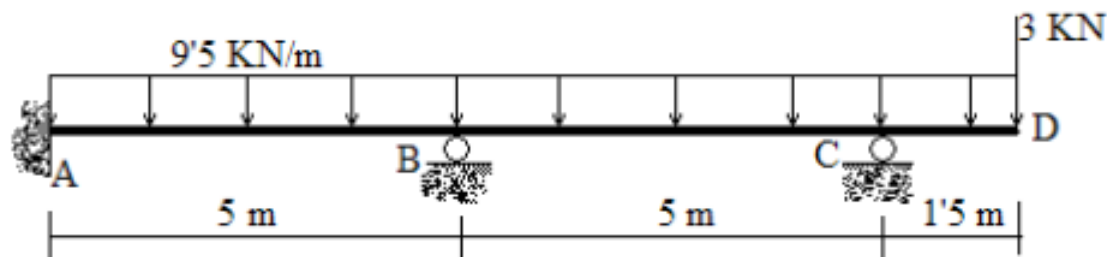
Uso, viviendas:	2	KN/m ²
Sobrecarga lineal extremo balcón:	2	KN/m

- Capacidad portante (combinación de acciones):

En nuestro caso, la combinación de acciones para una franja de un metro de ancho, es del tipo:

$$\sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} = 1'35 \cdot (3 + 0'8 + 1) \text{ KN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} + 1'5 \cdot 2 \text{ KN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} + 1'5 \cdot 2 \text{ KN/m} \cdot 1 \text{ m} \\ = 9'5 \text{ KN/m} + 3 \text{ KN}$$

Así, se analizará el siguiente caso de viga continua con carga de uso sobre toda su longitud:



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

Aplicando el método de Cross, considerando material homogéneo y sección transversal constante,

$$K_{BA} = 1/5 = K_{BC}$$

$$K_{CD} = 0$$

$$\rho_{BA} = \rho_{BC} = 1/2$$

$$\rho_{CB} = 1$$

$$M_{AB} = -M_{BA} = 19'8 \text{ mKN}$$

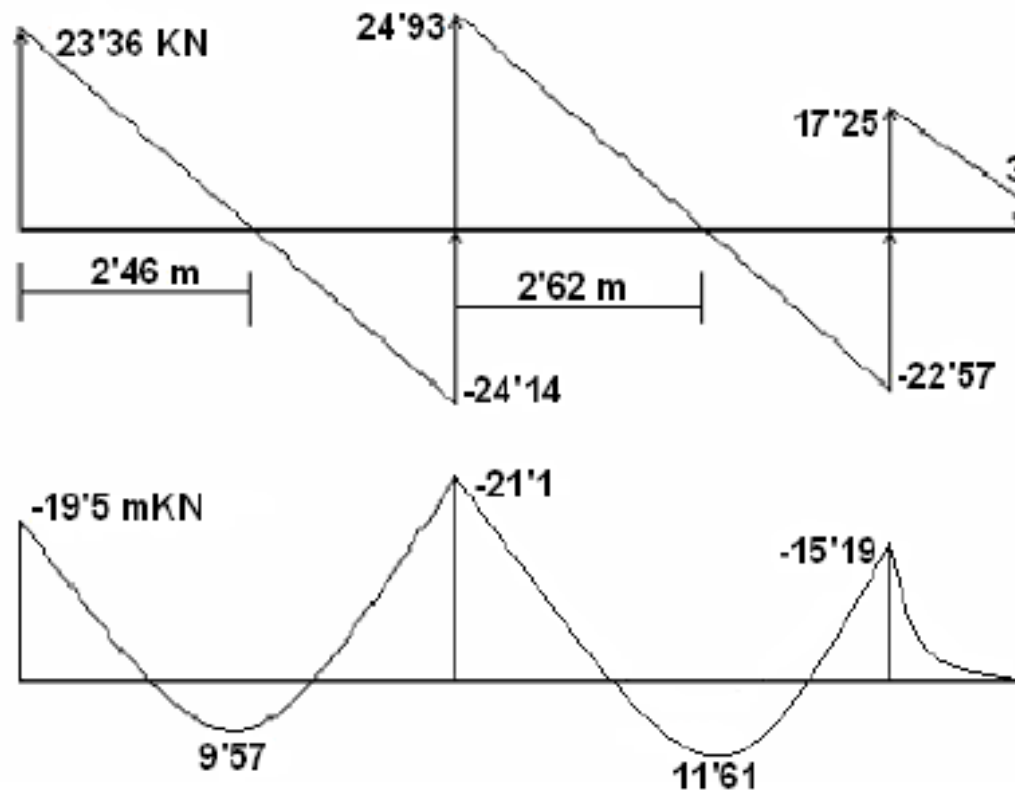
$$M_{CD} = 15'19 \text{ mKN}$$

ρ	A	B		C	
		BA	BC	CB	CD
		1/2	1/2	1	0
M_0	19'8	-19'8	19'8	-19'8	15'19
1R		0	0	4'61	
1T			2'31		
2R		-1'16	-1'16		
2T	-0'58			-0'58	
3R				0'58	
3T			0'29		
4R		-0'14	-0'14		
4T	-0'07			-0'07	
5R				0'07	
	19'15	-21'1	21'1	-15'19	15'19

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

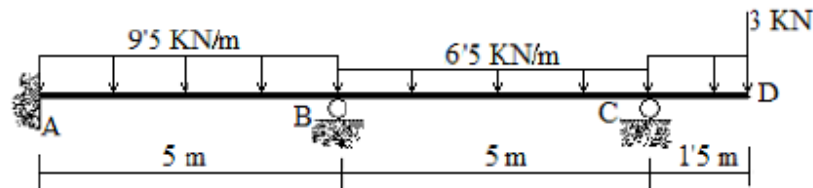
Los diagramas de cortantes y flectores resultantes de este análisis son,



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

Otra situación de carga resulta de estimar la carga de uso en el primer vano y en la zona de voladizo,



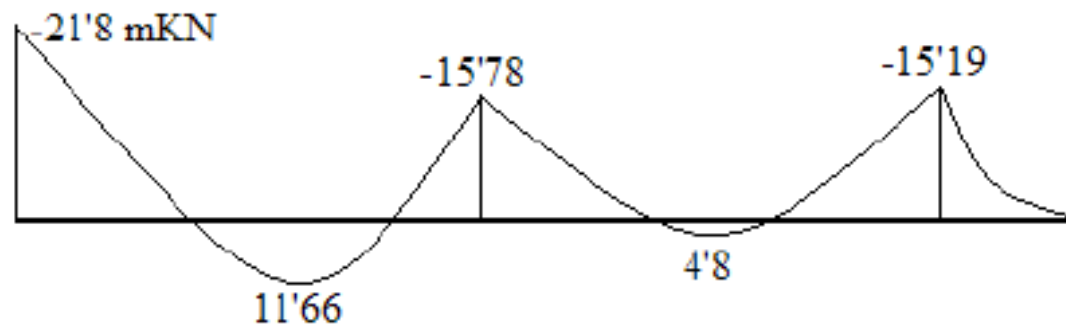
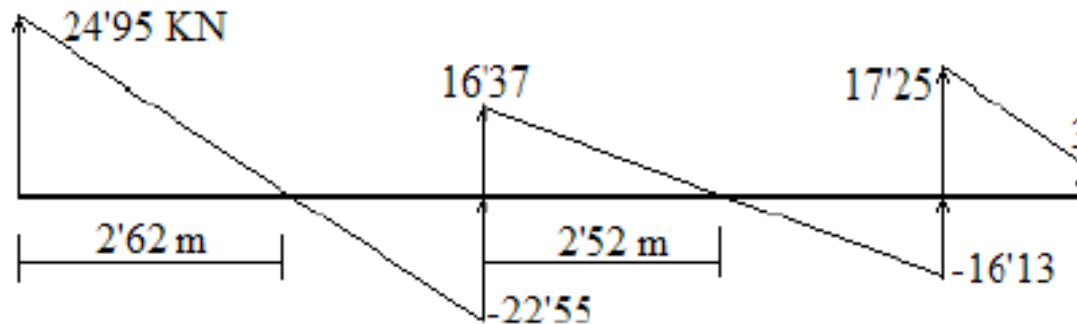
El planteamiento de Cross para el análisis de los momentos flectores es,

ρ	A	B		C	
		BA	BC	CB	CD
		1/2	1/2	1	0
M_0	19'8	-19'8	13'55	-13'55	15'19
1R		3'13	3'13	-1'64	
1T	1'57		-0'82	1'57	
2R		0'41	0'41	-1'57	
2T	0'2		-0'78	0'2	
3R		0'39	0'39	-0'2	
3T	0'2		-0'1	0'2	
4R		0'05	0'05	-0'2	
4T	0'03		-0'1	0'03	
5R		0'05	0'05	-0'03	
	21'8	-15'78	15'78	-15'19	15'19

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

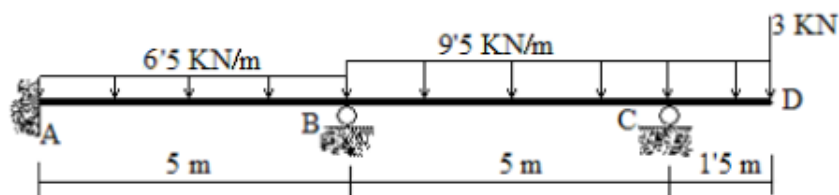
Los diagramas de cortantes y flectores resultantes de este análisis son,



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

La tercera y última situación de carga, resulta de suponer la acción de uso sobre el segundo vano y el voladizo.



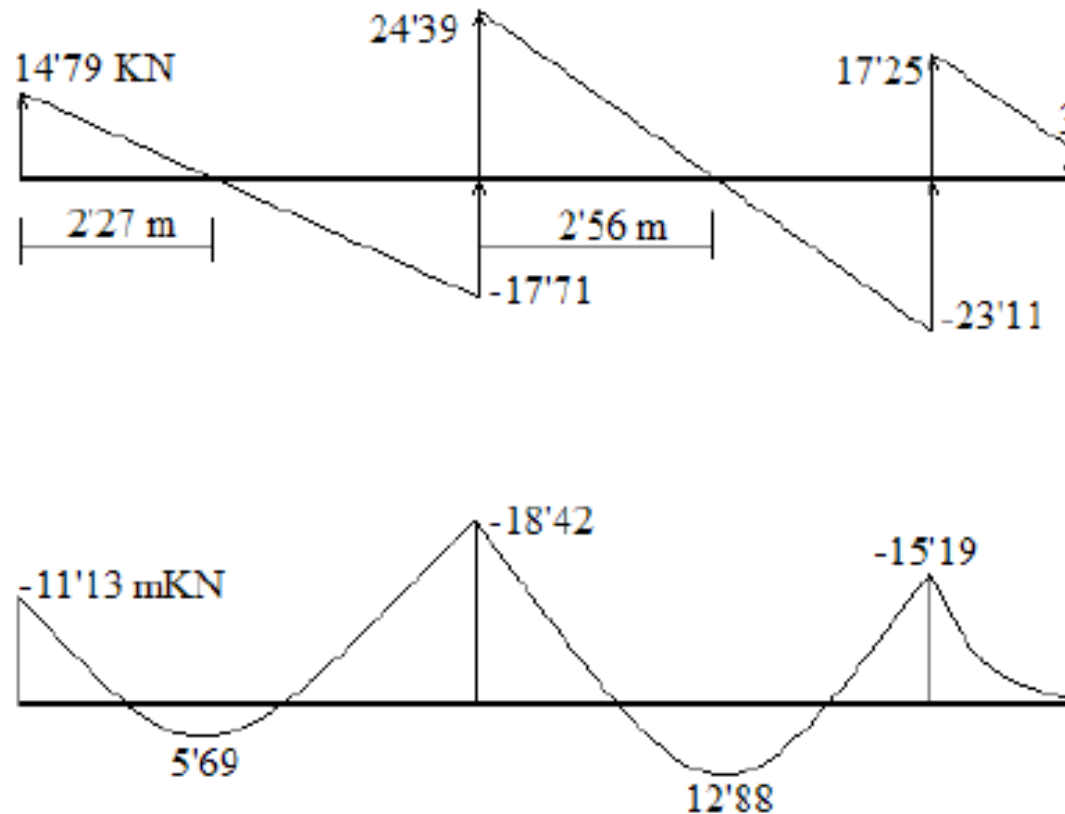
El planteamiento de Cross para el análisis de los momentos flectores es,

ρ	A	B		C	
		BA	BC	CB	CD
		1/2	1/2	1	0
M_0	13'55	-13'55	19'8	-19'8	15'19
1R		-3'13	-3'13	4'61	
1T	-1'57		2'31	-1'57	
2R		-1'16	-1'16	1'57	
2T	-0'58		0'78	-0'58	
3R		-0'39	-0'39	0'58	
3T	-0'2		0'29	-0'2	
4R		-0'14	-0'14	0'2	
4T	-0'07		0'1	-0'07	
5R		-0'05	-0'05	0'07	
	11'13	-18'42	18'42	-15'19	15'19

7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

Los diagramas resultantes de este análisis son,



7.3.- MÉTODO DE CROSS O DE DISTRIBUCIÓN DE MOMENTOS

ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN UN FORJADO

El dimensionamiento se realizará a partir de los diagramas “envolventes”, que recogen las situaciones más desfavorables de las distintas hipótesis de carga, de manera que la estructura soporte cualquier combinación posible.

