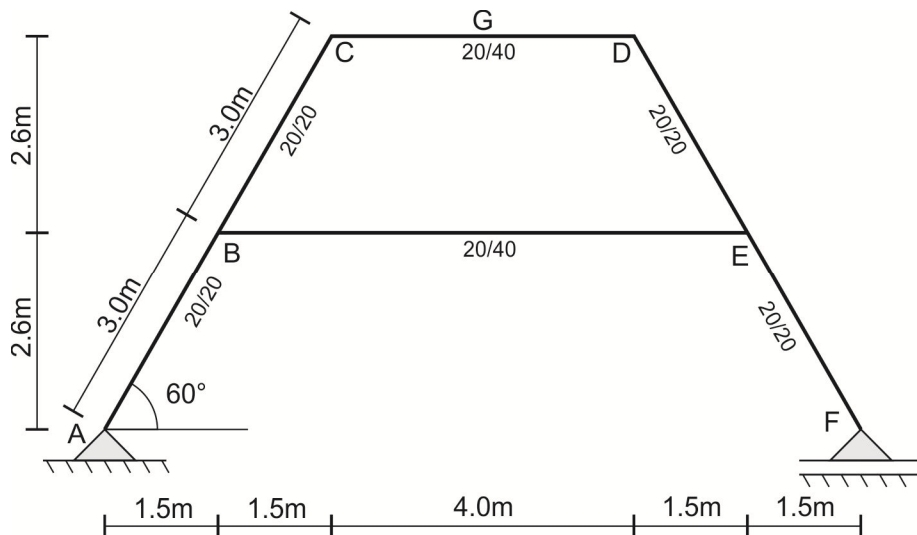


Aplicación del Método de las Fuerzas. Matriz β

Resolver la siguiente estructura aplicando del Método de la Matriz β para los siguientes estados de carga:



$$Eb = 210 \text{ t/cm}^2$$

$$I_o = \frac{20 \cdot 40^3}{12} = 106667 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{20 \cdot 20^3}{12} = 13333 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = \frac{I}{I_o} = 0,125$$

La expresión matricial del método de las fuerzas es

$$\bar{\delta}_0 + \bar{\delta} \bar{X} = 0$$

donde $\bar{\delta}_0$ es el vector debido a los estados de carga, $\bar{\delta}$ es la matriz de coeficientes y \bar{X} es el vector de incógnitas hiperestáticas. Despejando el vector de incógnitas hiperestáticas se tiene la siguiente expresión:

$$\bar{X} = -(\bar{\delta})^{-1} \cdot \bar{\delta}_0$$

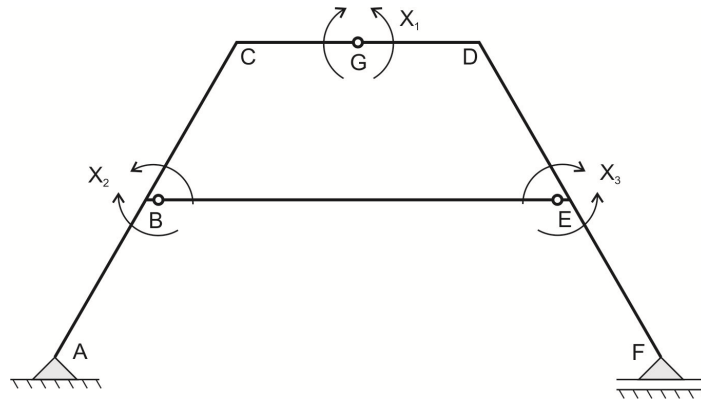
$$\bar{X} = \bar{\beta} \cdot \bar{\delta}_0$$

donde $\bar{\beta} = -(\bar{\delta})^{-1}$ es una matriz que depende únicamente de los coeficientes δ_{ij} , es decir, del isostático fundamental adoptado.

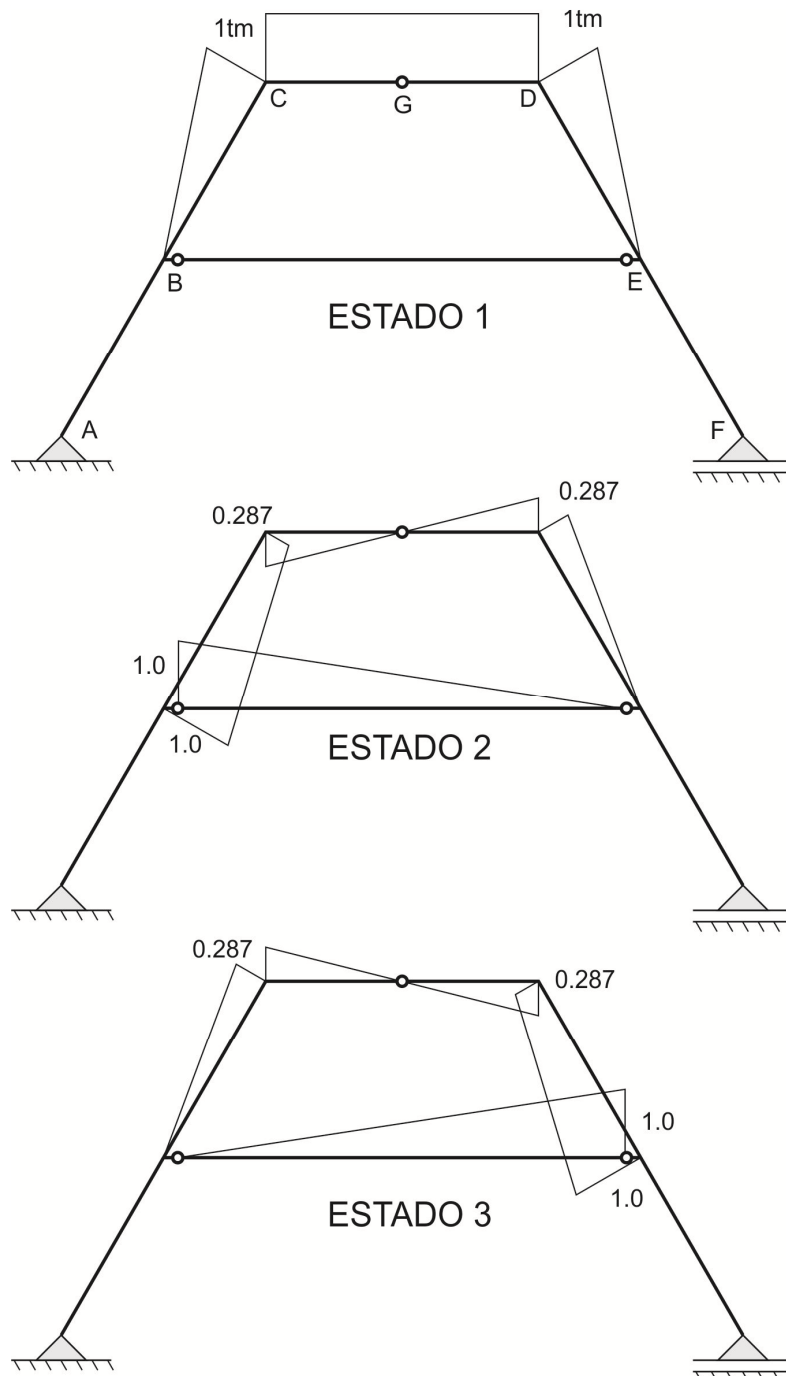
$$\bar{\beta} = -(\bar{\delta})^{-1} = -(\delta_{ij})^{-1} = -\frac{[Adj(\delta_{ij})]^T}{|\delta_{ij}|}$$

1) Adopción del Isostático fundamental

Dado que la estructura presenta hiperestaticidad interna, siendo externamente isostática, será de 3er grado de hiperestaticidad. La elección del isostático fundamental requiere que se eliminen, por lo tanto, 3 grados de libertad. Esto se puede llevar a cabo realizando un corte en cualquier parte del cajón formado por los extremos BCDE, o bien incorporando 3 rótulas, como se muestra en la figura siguiente.



Aplicando estados de carga correspondientes a momentos unitarios en coincidencia con las incógnitas hiperestáticas se tienen los siguientes diagramas de momento flector



2) Determinación de la Matriz β

Determinación de los coeficientes δ_{ij}

$$\delta_{ij} = \int \frac{M_i M_j}{E.I} ds + \int \frac{Q_i Q_j}{G.\Omega} ds + \int \frac{N_i N_j}{E.\Omega} ds$$


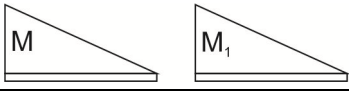
donde, al tratarse de un pórtico, las deformaciones por el efectos normales y corte son despreciables en comparación con las deformaciones por flexión.

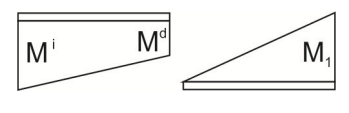
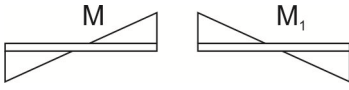
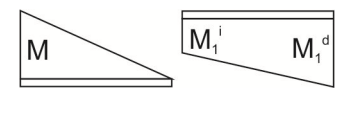
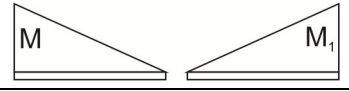
$$E.I_o.\delta_{ij} = \tilde{\delta}_{ij} = \int \frac{M_i M_j}{\alpha} ds$$

$\tilde{\delta}_{11}$			
Barra	Diagramas	Integral	$t^2 m^3$
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{3} M . M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 1tm . 1tm \frac{3m}{0,125}$	8
CD L = 4m $\alpha = 1$		$M . M_1 \frac{L}{\alpha} = 1tm . 1tm \frac{4m}{1}$	4
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{3} M . M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 1tm . 1tm \frac{3m}{0,125}$	8
			20 t²m³

$\tilde{\delta}_{22} = \tilde{\delta}_{33}$			
Barra	Diagramas	Integral	$t^2 m^3$
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M^i M_1^i + M^i M_1^d + M^d M_1^i + 2M^d M_1^d) \frac{L}{\alpha}$ $\frac{1}{6} (2.1.1 + 1.0,287 + 0,287.1 + 2.0,287.0,287) \frac{3}{0,125}$	10,955
CD L = 4m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M . M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 0,287tm . 0,287tm \frac{4m}{1}$	0,110
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{3} M . M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 0,287tm . 0,287tm \frac{3m}{0,125}$	0,659
BE L = 7m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M . M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 1tm . 1tm \frac{7m}{1}$	2,333
			14,0573 t²m³

$\tilde{\delta}_{12} = \tilde{\delta}_{13}$			
Barra	Diagramas	Integral	$t^2 m^3$
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M_1^d + M_1^i) M \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6} (2.0,287 + 1) . (-1) \frac{3m}{0,125}$	-6,296

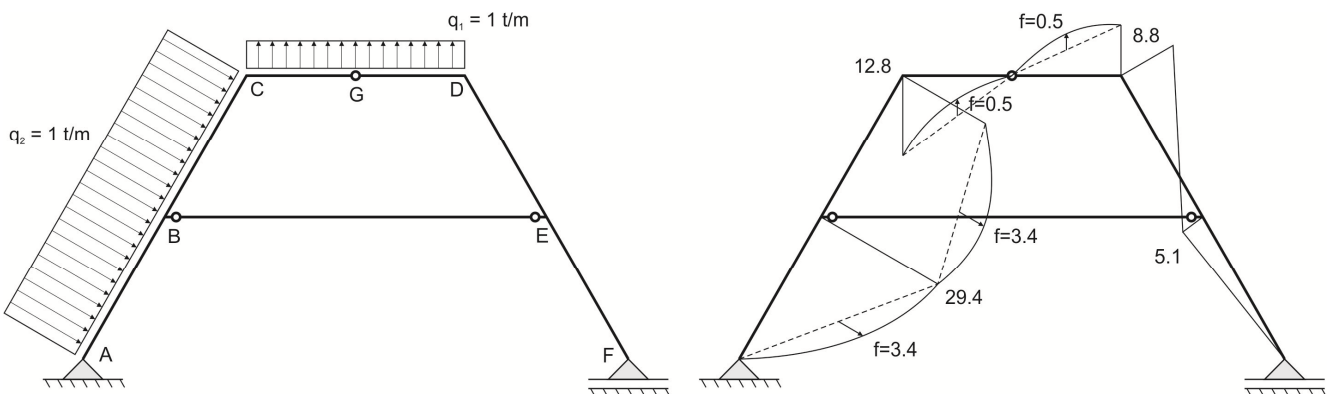
CD L = 4m $\alpha = 1,0$		0	0
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 0,287 \cdot (-0,287) \frac{4m}{1}$	-0,110
			-6,406 t²m³

$\tilde{\delta}_{23} = \tilde{\delta}_{32}$			
Barra	Diagramas	Integral	t ² m ³
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M^d + M^i) M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{6} (2 \cdot 0,287 + 1) \cdot (-0,287) \frac{3m}{0,125}$	-1,807
CD L = 4m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 0,287 \cdot (-0,287) \frac{4m}{1}$	-0,110
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M_1^i + M_1^d) M \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{6} (2 \cdot 0,287 + 1) \cdot (-0,287) \frac{3m}{0,125}$	-1,807
BE L = 7m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{6} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{6} 1tm \cdot 1tm \frac{7m}{1}$	1,167
			-2,5570 t²m³

$$\delta = \begin{Bmatrix} 20,000 & -4,000 & -4,000 \\ -4,000 & 14,057 & -2,557 \\ -4,000 & -2,557 & 14,057 \end{Bmatrix} \Rightarrow \beta = -(\delta)^{-1} = E \cdot I_0 \cdot \begin{Bmatrix} -0,05808 & -0,02020 & -0,02020 \\ -0,02020 & -0,08060 & -0,02041 \\ -0,02020 & -0,02041 & -0,08060 \end{Bmatrix}$$

3) Estados de carga exteriores

Estado de carga 1: acción del viento



δ_{10}			
Barra	Diagramas	Integral	t^2m^3
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^d + M^i)M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 12,8 + 29,4) \cdot (-1) \frac{3m}{0,125}$	-220
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}3,38 \cdot (-1) \frac{3m}{0,125}$	-27,04
CG L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{2}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{2}12,8 \cdot (-1) \frac{2m}{1}$	-12,8
		$\frac{2}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{2}{3}0,5 \cdot 1 \frac{2m}{1}$	0,667
GD L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{2}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{2}8,8 \cdot 1 \frac{2m}{1}$	8,8
		$\frac{2}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{2}{3}0,5 \cdot 1 \frac{2m}{1}$	0,667
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^i + M^d)M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 8,8 + (-5,1)) \cdot 1 \frac{3m}{0,125}$	50
-199,707 t²m³			

δ_{20}			
Barra	Diagramas	Integral	t^2m^3
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^i M_1^i + M^i M_1^d + M^d M_1^i + 2M^d M_1^d) \frac{L}{\alpha}$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 29,4 \cdot 1 + 29,4 \cdot 0,287 + 12,8 \cdot 1$ $+ 2 \cdot 12,8 \cdot 0,287) \frac{3}{0,125}$	349,54
		$\frac{1}{3}M(M_1^i + M_1^d) \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}3,38 \cdot (1 + 0,287) \frac{3m}{0,125}$	34,8
CG L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}12,8 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	2,449
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}(-0,5) \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	-0,096
GD L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}8,8 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	1,684
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}0,5 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	0,096
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^i + M^d)M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 8,8 + (-5,1)) \cdot 0,287 \frac{3m}{0,125}$	14,35
402,823 t²m³			

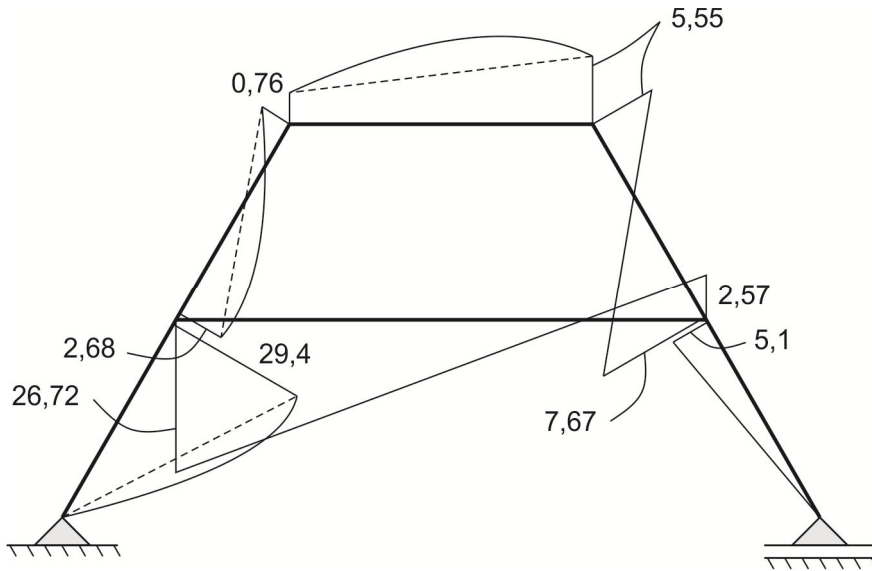
$\tilde{\delta}_{30}$			
Barra	Diagramas	Integral	t^2m^3
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^d + M^i)M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 12,8 + 29,4) \cdot (-0,287) \frac{3m}{0,125}$	-63,14
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}3,38 \cdot (-0,287) \frac{3m}{0,125}$	-7,76
CG L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}12,8 \cdot (-0,287) \frac{2m}{1}$	-2,449
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}0,5 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	0,096
GD L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}8,8 \cdot (-0,287) \frac{2m}{1}$	-1,684
		$\frac{1}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3}0,5 \cdot (-0,287) \frac{2m}{1}$	-0,096
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^i M_1^i + M^i M_1^d + M^d M_1^i + 2M^d M_1^d) \frac{L}{\alpha}$ $\frac{1}{6}(2 \cdot (-8,8) \cdot 0,287 + 0,287 \cdot 5,1 - 8,8 \cdot 1$ $+ 2 \cdot 5,1 \cdot 1) \frac{3}{0,125}$	-8,75
-83,783 t^2m^3			

$$\bar{X} = \bar{\beta} \cdot \bar{\delta}_0 = \begin{bmatrix} -0,05808 & -0,02020 & -0,02020 \\ -0,02020 & -0,08060 & -0,02041 \\ -0,02020 & -0,02041 & -0,08060 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -199,707 \\ 402,823 \\ -83,783 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} X_1 = 5,154 \\ X_2 = -26,723 \\ X_3 = 2,566 \end{matrix}$$

Finalmente, para obtener el diagrama de momentos finales de la estructura hiperestática se aplica el Principio de Superposición de Efectos:

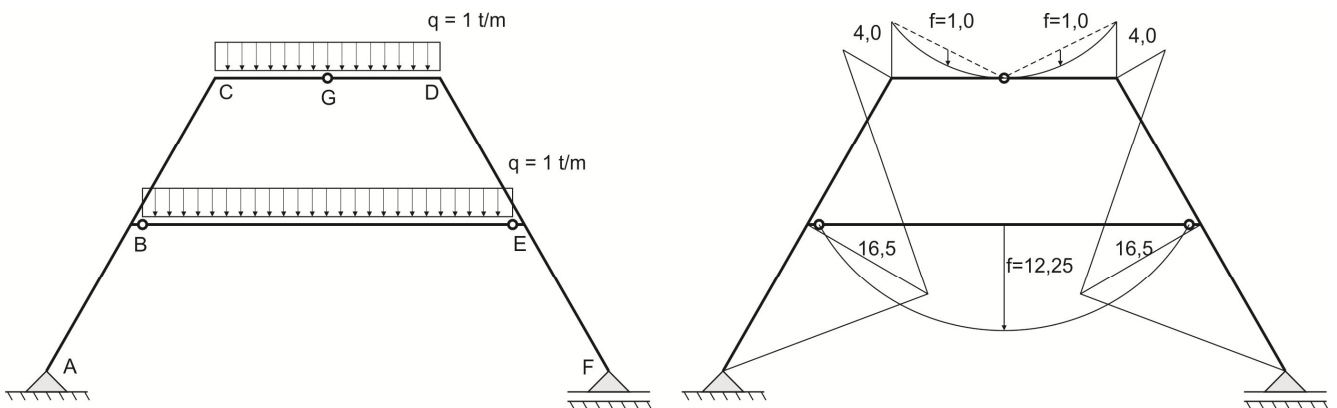
$$M = M_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3$$

Sección	M_0	M_1	$M_1 X_1$	M_2	$M_2 X_2$	M_3	$M_3 X_3$	M
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	-29.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-29.40
BC	-29.40	0.00	0.00	-1.00	26.72	0.00	0.00	-2.68
CB	-12.80	1.00	5.15	-0.29	7.67	0.29	0.74	0.76
CD	-12.80	1.00	5.15	-0.29	7.67	0.29	0.74	0.76
DC	8.80	1.00	5.15	0.29	-7.67	-0.29	-0.74	5.55
DE	8.80	1.00	5.15	0.29	-7.67	-0.29	-0.74	5.55
ED	-5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-2.57	-7.67
EF	-5.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.10
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BE	0.00	0.00	0.00	-1.00	26.72	0.00	0.00	26.72
EB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-2.57	-2.57



4) Estados de carga exteriores

Estado de carga 2: peso propio



$\tilde{\delta}_{10}$			
Barra	Diagramas	Integral	t^2m^3
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6}(2M^d + M^i)M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6}(2 \cdot 4,0 - 16,5) \cdot 1 \cdot \frac{3m}{0,125}$	-34
CG L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{2}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{2} \cdot 4,0 \cdot 1 \cdot \frac{2m}{1}$	4,0
		$\frac{2}{3}M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{2}{3}(-1) \cdot 1 \cdot \frac{2m}{1}$	-1,333

GD L = 2m $\alpha = 1,0$			$\frac{1}{2} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{2} 4,0 \cdot 1 \frac{2m}{1}$	4,0
			$\frac{2}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{2}{3} (-1) \cdot 1 \frac{2m}{1}$	-1,333
DE L = 3m $\alpha = 0,125$			$\frac{1}{6} (2M^i + M^d) M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6} (2,4 - 16,5) \cdot 1 \frac{3m}{0,125}$	-34
				-62,667 t·m³

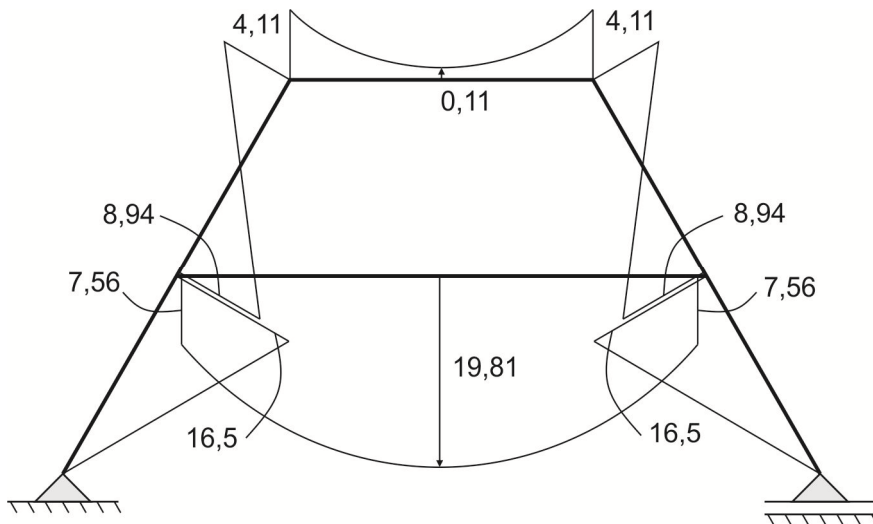
$\tilde{\delta}_{20} = \tilde{\delta}_{30}$				
Barra	Diagramas	Integral	t^2m^3	
BC L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M^i M_1^i + M^i M_1^d + M^d M_1^i + 2M^d M_1^d) \frac{L}{\alpha}$ $\frac{1}{6} (2 \cdot 16,5 \cdot 1 + 16,5 \cdot 0,287 + (-4) \cdot 1$ $+ 2 \cdot (-4) \cdot 0,287) \frac{3}{0,125}$	125,758	
CG L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 4 \cdot (-0,287) \frac{2m}{1}$	-0,765	
		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 1 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	0,191	
GD L = 2m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} 4 \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	0,765	
		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} (-1) \cdot 0,287 \frac{2m}{1}$	-0,191	
DE L = 3m $\alpha = 0,125$		$\frac{1}{6} (2M^i + M^d) M_1 \frac{L}{\alpha} =$ $\frac{1}{6} (2,4 + (-16,5)) \cdot 0,287 \frac{3m}{0,125}$	-9,758	
BE L = 7m $\alpha = 1,0$		$\frac{1}{3} M \cdot M_1 \frac{L}{\alpha} = \frac{1}{3} (-12,25) \cdot 1 \frac{7m}{1}$	-28,583	
				87,417 t·m³

$$\bar{X} = \bar{\beta} \cdot \bar{\delta}_0 = \begin{bmatrix} -0,05808 & -0,02020 & -0,02020 \\ -0,02020 & -0,08060 & -0,02041 \\ -0,02020 & -0,02041 & -0,08060 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -62,667 \\ 87,417 \\ 87,417 \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} X_1 = 0,108 \\ X_2 = -7,564 \\ X_3 = -7,564 \end{matrix}$$

Finalmente, para obtener el diagrama de momentos finales de la estructura hiperestática se aplica el Principio de Superposición de Efectos:

$$M = M_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3$$

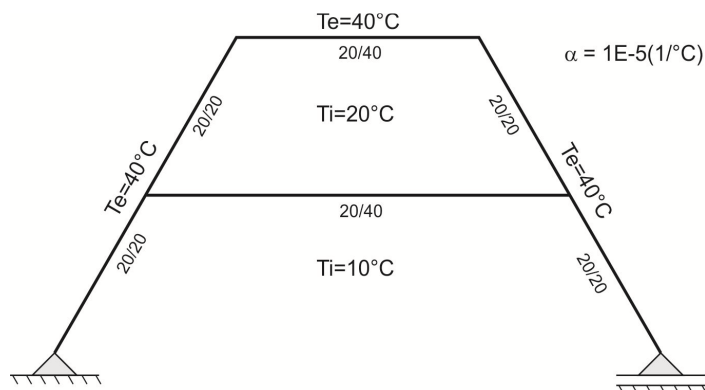
Sección	M_0	M_1	$M_1 X_1$	M_2	$M_2 X_2$	M_3	$M_3 X_3$	M
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	-16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.50
BC	-16.50	0.00	0.00	-1.00	7.56	0.00	0.00	-8.94
CB	4.00	1.00	0.11	-0.29	2.17	0.29	-2.17	4.11
CD	4.00	1.00	0.11	-0.29	2.17	0.29	-2.17	4.11
DC	4.00	1.00	0.11	0.29	-2.17	-0.29	2.17	4.11
DE	4.00	1.00	0.11	0.29	-2.17	-0.29	2.17	4.11
ED	-16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	7.56	-8.94
EF	-16.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.50
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BE	0.00	0.00	0.00	-1.00	7.56	0.00	0.00	7.56
EB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	7.56	7.56
f1	-12.25	0.00	0.00	0.50	-3.78	0.50	-3.78	-19.81
f2	0.00	1.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11



5) Estados de carga exteriores

Estado de carga 3: variación de temperatura

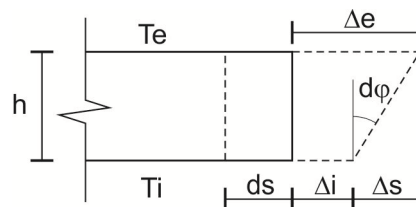
Este estado de cargas corresponde a una variación de temperatura entre el interior y el exterior de la estructura.



Debido a esta variación de temperatura la estructura sufre una deformación sin que se modifiquen sus solicitaciones internas en el isostático fundamental. Por lo tanto, para obtener el trabajo interno virtual se procede de la siguiente manera:

$$dT_i^* = M^* d\varphi$$

Donde M^* es el momento debido al estado virtual y $d\varphi$ es la rotación infinitesimal que sufre una sección de la estructura. Este diferencial de rotación puede ser obtenido analizando la figura siguiente



Por efecto de la temperatura las fibras exteriores e interiores, correspondientes al diferencial de longitud ds del pórtico, sufren un estiramiento según:

$$\Delta e = \alpha \cdot T_e \cdot ds$$

$$\Delta i = \alpha \cdot T_i \cdot ds$$

Por lo tanto, la rotación diferencial de cada ds será:

$$d\varphi = \frac{(\Delta e - \Delta i)}{h} = \alpha \frac{(T_e - T_i)}{h} ds$$

Dado que el trabajo total externo debe ser igual al trabajo total interno se tiene

$$T_e^* = X_i \delta_{i0}$$

$$T_i^* = \int M_i^* d\varphi = \int M_i^* \alpha \frac{(T_e - T_i)}{h} ds = \alpha \frac{(T_e - T_i)}{h} \int M_i^* ds$$

$$\delta_{i0} = \frac{1}{X_i} \alpha \frac{(T_e - T_i)}{h} \int M_i^* ds$$

donde X_i es la incógnita hiperestática asumida en el estado i (1t o 1tm, según sea un momento o una fuerza unitaria), el término $\alpha(T_e - T_i)/h$ es usualmente constante en cada tramo de la estructura, por ello salió fuera de la integral. Por último, la integral $\int M_i^* ds$ es la superficie del diagrama de momento flector correspondiente al estado virtual M_i^* , en este caso se adoptó positivo a las superficies que producen tracción en las fibras exteriores de la estructura.

δ_{i0}				
Barra	h [m]	$\alpha(T_e - T_i)$	$\int M_i^* ds$ [tm ²]	
BC	0,20	2E-4	1,5	1,5E-3
CD	0,40	2E-4	4,0	2,0E-3
DE	0,20	2E-4	1,5	1,5E-3
BE	0,40	1E-4	0	0,0
				5E-3

δ_{20}				
Barra	h [m]	$\alpha(T_e - T_i)$	$\int M_i^* ds$ [tm ²]	
BC	0,20	2E-4	-1,931	-1,931E-3
CD	0,40	2E-4	0,0	0,0
DE	0,20	2E-4	0,431	0,431E-3
BE	0,40	1E-4	-3,5	-0,875E-3
				-2,375E-3

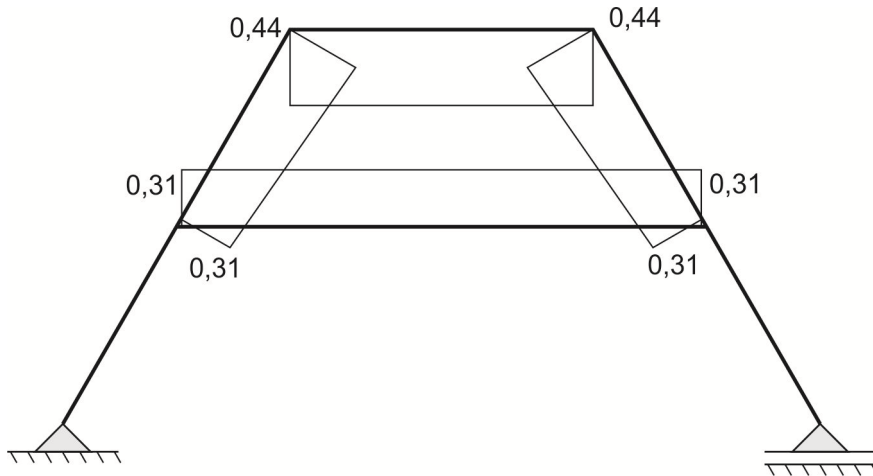
δ_{30}				
Barra	h [m]	$\alpha(T_e - T_i)$	$\int M_i^* ds$ [tm ²]	
BC	0,20	2E-4	0,431	0,431E-3
CD	0,40	2E-4	0,0	0,0
DE	0,20	2E-4	-1,931	-1,931E-3
BE	0,40	1E-4	-3,5	-0,875E-3
				-2,375E-3

A diferencia de los estados anteriores, en este caso el coeficiente obtenido no está afectado por $E \cdot I_0$ por lo tanto el vector de cargas $\bar{\delta}_0$ debe ser multiplicado por $E \cdot I_0 = 2240 \text{ tm}^2$

$$\bar{X} = \bar{\beta} \cdot \bar{\delta}_0 = \begin{bmatrix} -0,05808 & -0,02020 & -0,02020 \\ -0,02020 & -0,08060 & -0,02041 \\ -0,02020 & -0,02041 & -0,08060 \end{bmatrix} \cdot 2240 \begin{bmatrix} 5,0 \\ -2,375 \\ -2,375 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \begin{matrix} X_1 = -0,436 \\ X_2 = 0,311 \\ X_3 = 0,311 \end{matrix}$$

$$M = M_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3$$

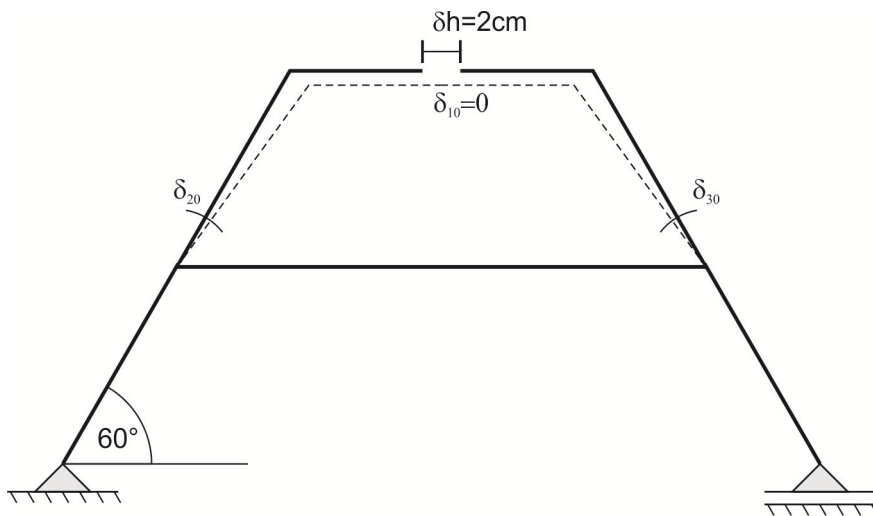
Sección	M_0	M_1	$M_1 X_1$	M_2	$M_2 X_2$	M_3	$M_3 X_3$	M
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BC	0.00	0.00	0.00	-1.00	-0.31	0.00	0.00	-0.31
CB	0.00	1.00	-0.44	-0.29	-0.09	0.29	0.09	-0.44
CD	0.00	1.00	-0.44	-0.29	-0.09	0.29	0.09	-0.44
DC	0.00	1.00	-0.44	0.29	0.09	-0.29	-0.09	-0.44
DE	0.00	1.00	-0.44	0.29	0.09	-0.29	-0.09	-0.44
ED	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-0.31	-0.31
EF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BE	0.00	0.00	0.00	-1.00	-0.31	0.00	0.00	-0.31
EB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	-0.31	-0.31



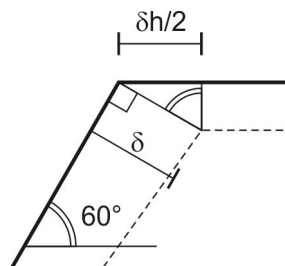
6) Estados de carga exteriores

Estado de carga 4: error de montaje

Este estado de cargas corresponde a un error en el montaje de la viga superior de la estructura. Por un error en el proceso constructivo en el centro de la viga superior se observa una diferencia de 2cm.



En la figura anterior se muestran las rotaciones correspondientes a las incógnitas hiperestáticas adoptadas. Despreciando deformaciones por compresión o tracción, y debido a la simetría de la estructura se tiene $\delta_{10} = 0,0$. Por otro lado, en la figura siguiente se muestra una ampliación donde se permite observar la relación que existe entre δ_{20} y δh .



$$\delta = \frac{(\delta h/2)}{\sin 60^\circ}$$

Por lo tanto, la rotación correspondiente a la incógnita X_2 es:

$$\delta_{20} = \frac{\delta}{3m} = \frac{\delta h}{2.3m \cdot \sin 60^\circ} = \frac{2cm}{2.300cm \cdot \sin 60^\circ} = 3,849 \cdot 10^{-3}$$

En forma análoga se obtiene el coeficiente δ_{30}

$$\delta_{30} = \frac{\delta}{3m} = 3,849 \cdot 10^{-3}$$

Aplicando el método de matriz β

$$\bar{X} = \bar{\beta} \cdot \bar{\delta}_0 = \begin{bmatrix} -0,05808 & -0,02020 & -0,02020 \\ -0,02020 & -0,08060 & -0,02041 \\ -0,02020 & -0,02041 & -0,08060 \end{bmatrix} \cdot 2240 \begin{bmatrix} 0,0 \\ 3,849 \\ 3,849 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \begin{matrix} X_1 = -0,348 \\ X_2 = -0,871 \\ X_3 = -0,871 \end{matrix}$$

$$M = M_0 + M_1 X_1 + M_2 X_2 + M_3 X_3$$

Sección	M_0	M_1	$M_1 X_1$	M_2	$M_2 X_2$	M_3	$M_3 X_3$	M
AB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BC	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.87	0.00	0.00	0.87
CB	0.00	1.00	-0.35	-0.29	0.25	0.29	-0.25	-0.35
CD	0.00	1.00	-0.35	-0.29	0.25	0.29	-0.25	-0.35
DC	0.00	1.00	-0.35	0.29	-0.25	-0.29	0.25	-0.35
DE	0.00	1.00	-0.35	0.29	-0.25	-0.29	0.25	-0.35
ED	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.87	0.87
EF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BE	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.87	0.00	0.00	0.87
EB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.00	0.87	0.87

