

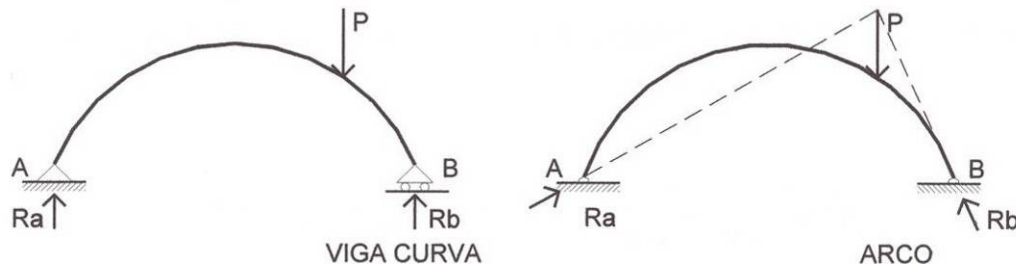
E S T R U C T U R A S I V

ARCOS

Esta publicación se realiza sobre la base de una recopilación de textos utilizados por la cátedra de estructuras III y estructuras IV sobre el tema. Córdoba, marzo 2013

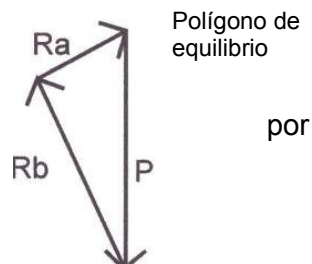
ESTRUCTURAS EN ARCO

Se llama arco a la estructura de eje curvo que cargada verticalmente produce reacciones oblicuas en los apoyos. La dirección de las fuerzas reactivas depende de la clase de sustentación que se disponga.



La viga curva, por sus condiciones de apoyo, tiene solo reacciones verticales y soporta los mismos momentos flectores que la viga recta A-B. **En el caso del arco, los momentos flectores pueden reducirse sustancialmente, lo mismo que los esfuerzos de corte y el trabajo es fundamentalmente de compresión.**

En un arco biarticulado las reacciones de apoyo deben pasar por las articulaciones. Si se conociera la dirección de una de ellas podría determinarse la dirección de la otra y por lo tanto la intensidad de ambas; (recordar que si las tres fuerzas no son paralelas, las tres deben concurrir a un punto tal como P.)



P es equilibrada por Rb y Ra de direcciones conocidas.

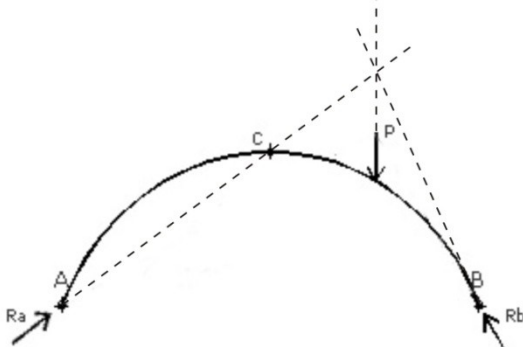
Las componentes verticales de Ra y Rb pueden determinarse
ecuaciones de equilibrio

$$\sum M_A = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

Pero las fuerzas horizontales $H_a = H_b$ dependen de las condiciones de rigidez del arco y no pueden determinarse con las condiciones de equilibrio estático; hay que recurrir a ecuaciones de deformación y por eso se dice que es hiperestático, con un grado de indeterminación.

Arco de tres articulaciones



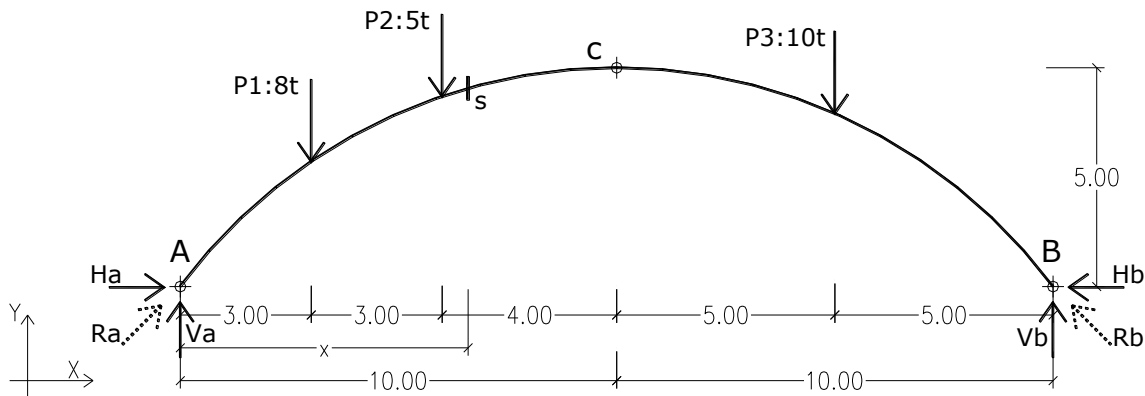
Esta estructura es isostática, es decir que bastan las ecuaciones de equilibrio para resolverla.

En este caso la dirección de Ra debe seguir necesariamente la de la recta AC, definida por los puntos A y C que son articulaciones. la dirección de Rb queda definida por la recta BP

Conocidas la dirección de las reacciones, su valor y el de sus componentes vertical y horizontal pueden determinarse por un polígono de equilibrio como se indicó anteriormente

EJERCICIO DE APLICACIÓN A

Sea un arco de tres articulaciones, de 20 m de luz y 5 m de flecha, sometido a la acción de tres fuerzas puntuales (Se desprecia el peso propio del arco).



Las reacciones de apoyo son evidentemente oblicuas, por lo tanto cada una de ellas tendrá dos componentes (horizontal y vertical) por lo que las incógnitas cuyo valor tendremos que encontrar son cuatro.

Cálculo de las componentes verticales de las reacciones de apoyo (V_a y V_b)

Se plantea la 3ª ecuación de equilibrio, es decir la sumatoria de los momentos de todas las fuerzas actuantes (acciones y reacciones) con respecto a un punto cualquiera del plano debe ser cero, para que la estructura esté en equilibrio. ($\sum M = 0$)

Para obtener el valor de V_a , es conveniente tomar momento de las fuerzas actuantes con respecto al punto B, ya que así se anulan tres de las cuatro incógnitas (H_a , V_b y H_b).

$$\sum M_B = 0$$

$$V_a \times 20 \text{ m} - 8 \text{ t} \times 17 \text{ m} - 5 \text{ t} \times 14 \text{ m} - 10 \text{ t} \times 5 \text{ m} = 0$$

$$V_a = \frac{8 \text{ t} \times 17 \text{ m} + 5 \text{ t} \times 14 \text{ m} + 10 \text{ t} \times 5 \text{ m}}{20 \text{ m}}$$

$$V_a = 12.8 \text{ t}$$

El resultado positivo indica que el sentido presupuesto de la fuerza es el correcto.

Para obtener el valor V_b se plantea nuevamente la 3ª ecuación de equilibrio, pero ahora con respecto al punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$-V_b \times 20 \text{ m} + 10 \text{ t} \times 15 \text{ m} + 5 \text{ t} \times 6 \text{ m} + 8 \text{ t} \times 3 \text{ m} = 0$$

$$-V_b = \frac{-10 \text{ t} \times 15 \text{ m} - 5 \text{ t} \times 6 \text{ m} - 8 \text{ t} \times 3 \text{ m}}{20 \text{ m}}$$

$$-V_b = -10.2 \text{ t}$$

$$V_b = 10.2 \text{ t}$$

Una vez obtenidas las componentes verticales de las reacciones se verifica que $\Sigma F_y = 0$ para asegurar que la estructura está en equilibrio en esa dirección.

$$-8t - 5t - 10t + 12.8t + 10.2t = 0$$

Cálculo de las componentes horizontales de las reacciones de apoyo (H_a y H_b)

El punto C (articulación) divide al arco en dos partes. Cada una de ellas debe estar en equilibrio. Además, se sabe que en las articulaciones (puntos A, B y C en el arco) los $M_f = 0$. Se selecciona una de las partes y se toma momento flector con respecto al punto C. Si se aplica la ecuación que representa este hecho (**M flector en C = 0**) se puede encontrar el valor de las componentes horizontales (**H_a y H_b**) de cada una de las reacciones de apoyo.

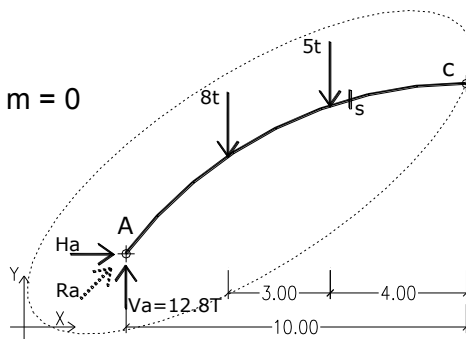
$$M_{fc} = 0$$

$$-H_a \times 5m + 12.8t \times 10m - 8t \times 7m - 5t \times 4m = 0$$

$$-H_a = \frac{-12.8t \times 10m + 8t \times 7m + 5t \times 4m}{5m}$$

$$-H_a = -10.4t$$

$$H_a = 10.4t$$

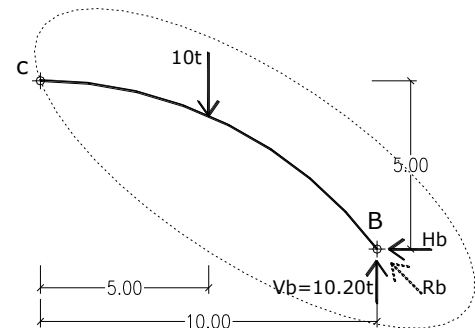


$$M_{fc} = 0$$

$$H_b \times 5m - 10.2t \times 10m + 10t \times 5m = 0$$

$$H_b = \frac{10.2t \times 10m - 10t \times 5m}{5m}$$

$$H_b = 10.4t$$

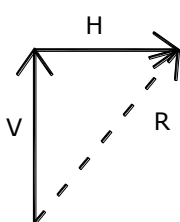


El resultado positivo indica que el sentido presupuesto de la fuerza es el correcto.

Como en este caso todas las cargas externas que actúan son gravitatorias, por lo tanto verticales, se verifica que las componentes horizontales de ambas reacciones sean iguales, para que se cumpla la condición $\Sigma F_x = 0$.

Determinación de reacciones R_a y R_b

Una vez conocidas las componentes V y H de las reacciones del arco se pueden determinar (si se requiere) las reacciones R_a y R_b por distintos métodos: puede ser gráficamente o por algún procedimiento analítico tal como el teorema de Pitágoras



$$R_a = \sqrt{V_a^2 + H_a^2}$$

$$R_a = \sqrt{12.8^2 + 10.4^2}$$

$$R_a = 16.5t$$

$$R_b = \sqrt{V_b^2 + H_b^2}$$

$$R_b = \sqrt{10.2^2 + 10.4^2}$$

$$R_b = 14.6t$$

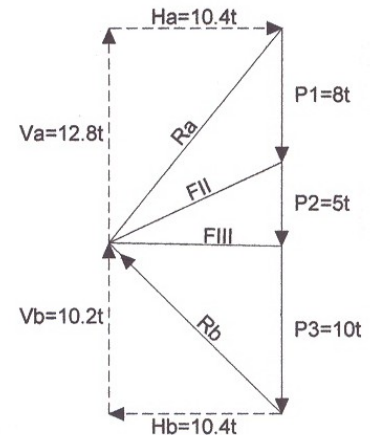
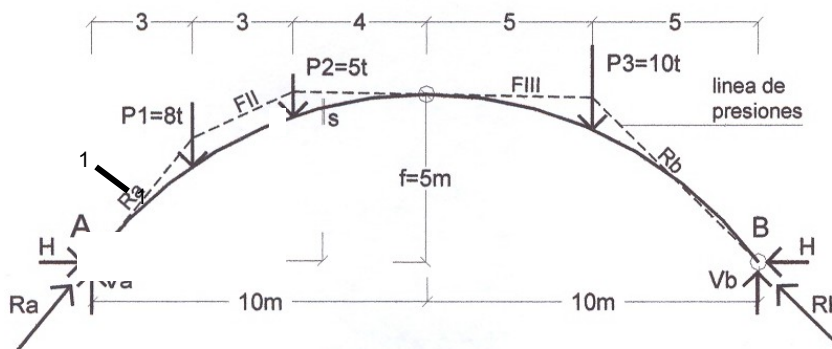
Línea de presiones - Cálculo de las solicitaciones

Ya logrado el equilibrio entre cargas y reacciones de la estructura, se está en condiciones de encontrar el valor de las solicitaciones, es decir momentos flectores, esfuerzos de corte y esfuerzos normales, en distintas secciones de la estructura.

Se puede construir el polígono de fuerzas que figura a la derecha del dibujo del arco. Por el punto A se traza la fuerza **Ra** (con su dirección y valor) o sus componentes **Va** y **Ha** hasta intersectar a la recta de acción de la primera carga, **P1**. La resultante de **Ra** y **P1** es la **FII**; a partir del punto anterior se traza sobre el arco una paralela a la **FII** del polígono de fuerzas hasta encontrar a la segunda carga, **P2**.

La resultante de **Ra**, **P1** y **P2** es **FIII**; se traza a continuación una paralela a **FIII** hasta cortar a la próxima carga y así sucesivamente hasta llegar al apoyo **B**. La línea así trazada se designa como **línea de presiones**.

La dirección de la línea de presiones coincide con la dirección de la resultante de las fuerzas exteriores que están a un costado de la sección; la distancia entre la línea de presiones y el centro de la sección es la excentricidad de la fuerza, por lo tanto esta línea necesariamente debe pasar por los puntos **A**, **B** y **C**.



POLÍGONO

En el caso anterior la directriz del arco, o sea la línea definida por los baricentros de sus distintas secciones, no coincide con la línea de presiones. La resultante de las fuerzas que están a un lado de la sección, o lo que es lo mismo, la resultante de las fuerzas internas, actúan excéntricamente y se originan momentos flectores, además de los esfuerzos de compresión y corte.

Si ejemplificamos lo dicho anteriormente para la sección **1-1**.

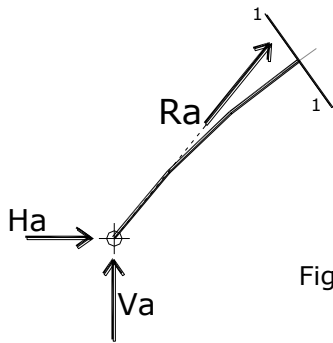


Figura 1

Ra es la resultante de las fuerzas a un costado de la sección **1-1** y está aplicada con una excentricidad (**e**) con respecto a la misma. (Fig. 1 y 2)

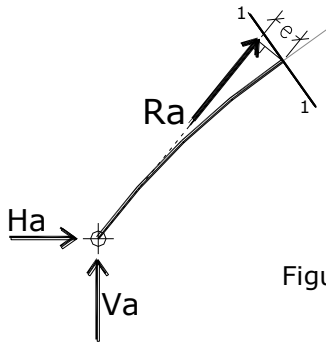


Figura 2

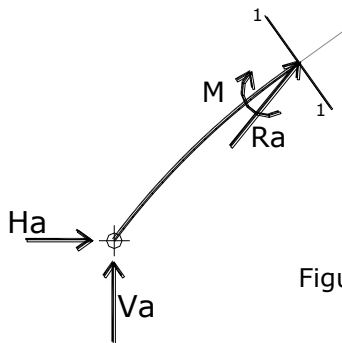


Figura 3

Otra forma de representar **Ra**, es dibujar la fuerza pasando por la sección **1-1** y agregar un momento **M = Ra x e**. (Fig. 3)

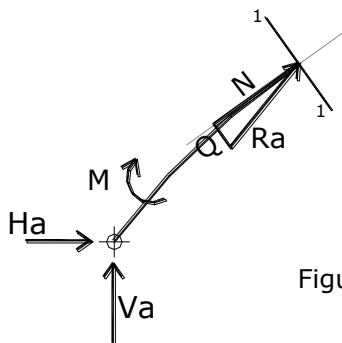


Figura 4

También se puede descomponer **Ra** en dos fuerzas: una paralela a la sección (**esfuerzo de corte**) y otra perpendicular a la misma (**esfuerzo normal**) (Fig. 4)

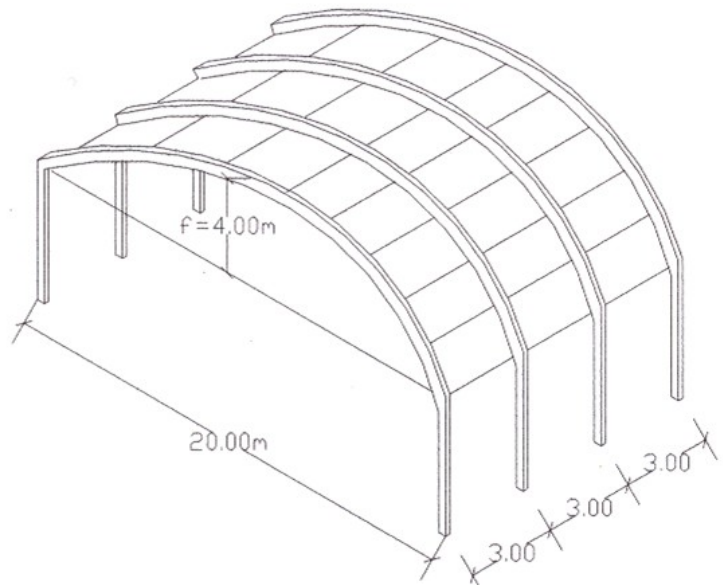
Conocidos estos esfuerzos (momento flector, esfuerzo normal y esfuerzo de corte) en las secciones más solicitadas se está en condiciones de dimensionar el arco.

Si se requiere que el arco trabaje sólo a compresión (esfuerzo normal), como los arcos de piedra o mampostería de la antigüedad, la directriz del mismo debe coincidir necesariamente con la línea de presiones.

Para cada tipo de cargas existe una línea de presión diferente y una sola directriz coincidente y por lo tanto libre de flexiones. Cualquier otra carga que siga otra ley de distribución introduce flexión en el arco.

EJERCICIO DE APLICACIÓN B**ARCO TRIARTICULADO CON CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA A LO LARGO DE LA DIRECTRIZ (peso propio para sección constante).**

La estructura que muestra la figura está formada por arcos triarticulados distanciados 3 metros entre sí. La directriz del arco es parabólica y la cubierta está organizada como indica la figura.

**Análisis de cargas permanentes**

Aislación	30 Kg/m ²
Loetas prefabricadas	<u>170 Kg/m²</u>
Total	200 Kg/m ²

Incidencia por metro de arco	$200 \text{ Kg/m}^2 \times 3 \text{ m} = 600 \text{ Kg/m}$
Peso propio. Estimado	<u>100 Kg/m</u>
Total	700 Kg/m

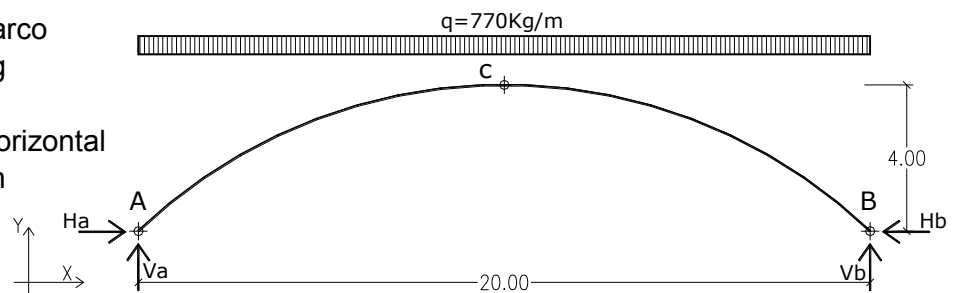
Para facilitar el cálculo asimilamos esta carga aplicada a lo largo del arco en una carga equivalente uniforme en proyección horizontal que se obtiene dividiendo la carga total por la luz del arco.

La carga total es el producto de la carga por metro lineal por la longitud del arco obtenida gráficamente o por medio de fórmulas geométricas en función de datos conocidos.

En nuestro caso la longitud del arco $s \approx 22\text{m}$

Carga total permanente sobre el arco
 $G = 700 \text{ Kg/m} \times 22 \text{ m} = 15.400 \text{ Kg}$

Carga por metro en proyección Horizontal
 $g = \frac{G}{L} \therefore \frac{15.400 \text{ Kg}}{20 \text{ m}} = 770 \text{ Kg/m}$



Cálculo de las componentes verticales de las reacciones (Va y Vb)

$V_a = V_b$ por simetría

$$V_a = V_b = \frac{q \cdot x \cdot l}{2} \quad \therefore \quad V_a = V_b = 770 \text{ Kg/m} \times 10 \text{ m}$$

$$V_a = V_b = 7700 \text{ Kg}$$

Cálculo de las componentes horizontales de las reacciones (Ha y Hb)

$|H_a| = |H_b|$ para que se cumpla $\sum F_x = 0$

$$- H_a \times 4 \text{ m} + 7700 \text{ Kg} \times 10 \text{ m} - 770 \text{ Kg/m} \times 10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$$

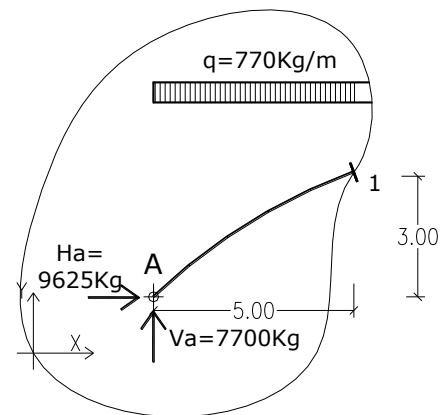
$$H_a = 9625 \text{ t}$$

$$H_b = -9625 \text{ t}$$

Cálculo del momento flector en la sección 1-1

$$M_{f1} = 7700 \text{ Kg} \times 5 \text{ m} - 9625 \text{ Kg} \times 3 - 770 \text{ Kg/m} \times 5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$$

$$M_{f1} = 0$$



Esta carga equivalente no produce momentos en el arco parabólico ya que la **línea de presiones** coincide con la directriz del arco.

Análisis de cargas accidentales

Se considera una sobrecarga accidental de 60 Kg/m^2 cubriendo la mitad de la luz. Este tipo de carga es más desfavorable que la carga completa ya que la línea de presiones no coincide con la directriz del arco y se producirán momentos flectores. Entonces, las sobrecargas accidentales, de construcción, nieve, etc., deberán considerarse en solo una mitad del arco para obtener los momentos y el corte máximo. En cambio se aplicarán en la totalidad del arco para determinar las máximas reacciones de apoyo.

La incidencia por metro lineal de arco será $60 \text{ Kg/m}^2 \times 3 \text{ m} = 180 \text{ Kg/m}$

Para obtener la carga en proyección horizontal multiplicamos la carga por metro de arco por la longitud del mismo y la dividimos por la luz.

$$p = \frac{180 \text{ Kg/m} \times 11 \text{ m}}{10 \text{ m}} \quad \therefore \quad p = 200 \text{ Kg/m}$$

Cálculo de las componentes verticales de las reacciones (Va y Vb)

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_a \times 20 \text{ m} - 200 \text{ Kg/m} \times 10 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 0$$

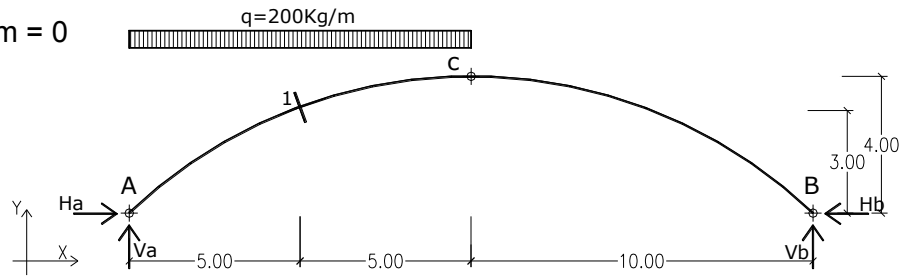
$$V_a = 1500 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_b \times 20 \text{ m} + 200 \text{ Kg/m} \times 10 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 0$$

$$V_b = 500 \text{ Kg}$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad \therefore 200 \text{ Kg/m} \times 10 \text{ m} - 1500 \text{ Kg} - 500 \text{ Kg} = 0$$



Cálculo de las componentes horizontales de las reacciones (Ha y Hb)

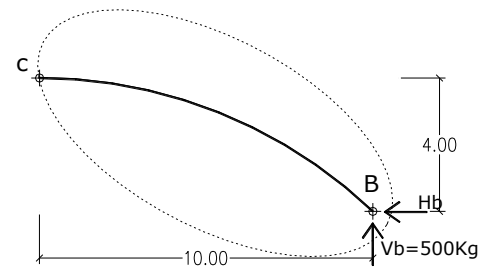
$$M_{fc} = 0$$

$$|H_a| = |H_b| \text{ para que se cumpla } \Sigma F_x = 0$$

$$H_b \times 4 \text{ m} - 500 \text{ Kg} \times 10 \text{ m} = 0$$

$$H_a = 1250 \text{ Kg}$$

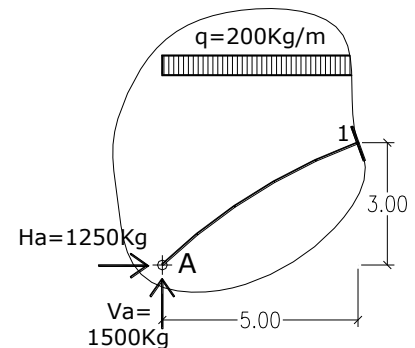
$$H_b = -1250 \text{ Kg}$$



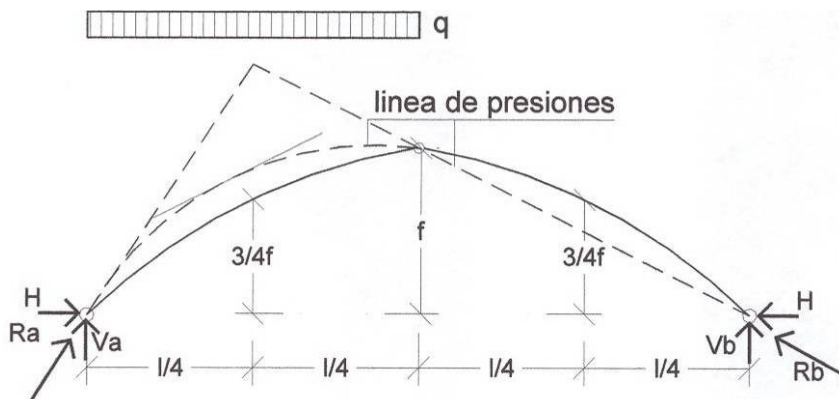
Cálculo de momento flector en la sección 1-1

$$M_{f1} = 1500 \text{ Kg} \times 5 \text{ m} - 1250 \text{ Kg} \times 3 \text{ m} - 200 \text{ Kg/m} \times 5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$$

$$M_{f1} = 1250 \text{ Kgm}$$



Esta carga equivalente produce momentos en el arco parabólico ya que la **línea de presiones** **no** coincide con la directriz del arco.



Cargas permanentes y accidentales simultáneamente

Considerando la acción simultánea de las cargas permanentes y accidentales resulta:

$$V_a = 7700 + 1500$$

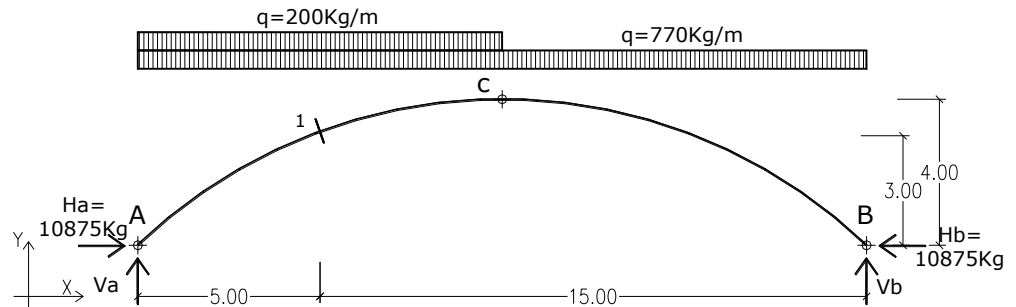
$$V_a = 9200 \text{ Kg}$$

$$V_b = 7700 + 500$$

$$V_b = 8200 \text{ Kg}$$

$$H_a \text{ y } H_b = 9625 + 1250$$

$$H_a \text{ y } H_b = 10875 \text{ Kg}$$



Cálculo del momento flector en la sección 1-1

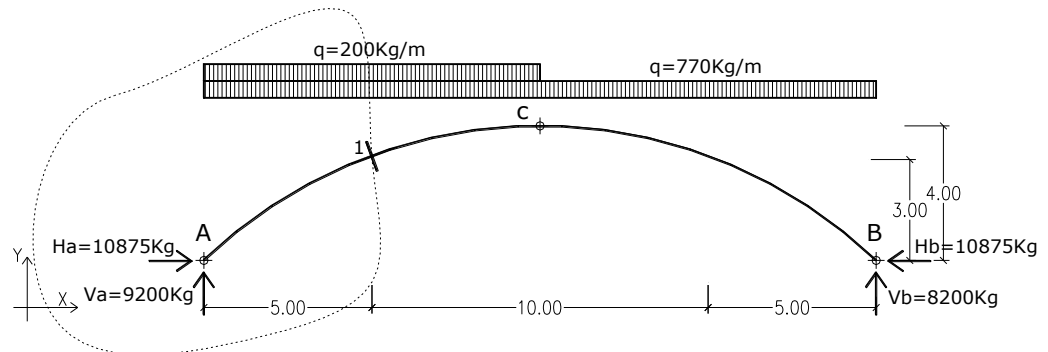
Ya logrado el equilibrio entre cargas y reacciones de la estructura se está en condiciones de encontrar el valor de los momentos flectores que se solicitan en las distintas secciones del arco. Para ello aplicaremos en cada caso estrictamente la definición de Momento Flector como el momento producido por todas las fuerzas que actúan a un costado de la sección considerada.

Al obtener el momento flector en cada sección, se sugiere representar ese momento con una flecha curva de acuerdo al sentido (horario o antihorario).

Si se hubiera considerado las fuerzas que actúan al costado derecho de la sección, el resultado numérico sería el mismo pero con sentido contrario. De esta manera en cada sección se puede saber cuales son las fibras comprimidas y cuales las traccionadas.

$$M_{f1} = 9200 \text{ Kg} \times 5 \text{ m} - 10875 \text{ Kg} \times 3 \text{ m} - 970 \text{ Kg} \times 5 \text{ m} \times 2.5 \text{ m}$$

$$M_{f1} = 1250 \text{ Kgm}$$

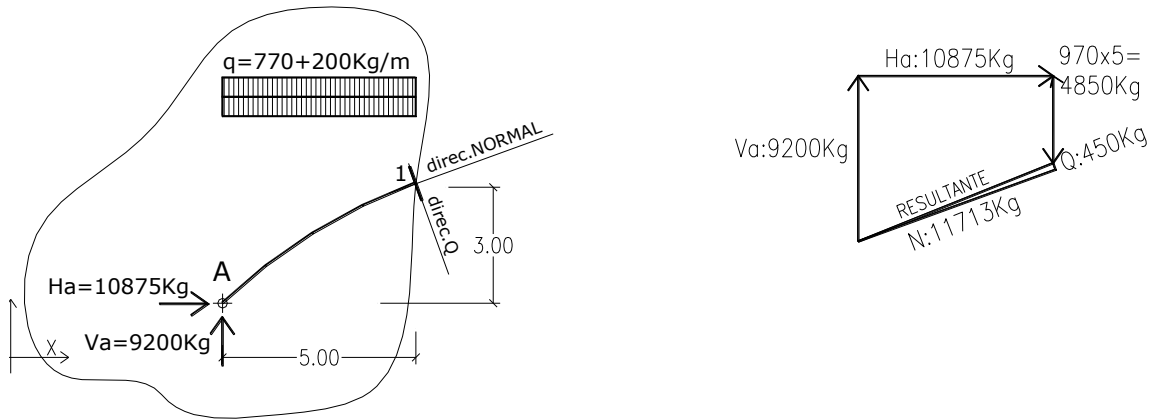


Cálculo del esfuerzo normal y el esfuerzo de corte en cada sección momento flector en la sección 1-1

Para el análisis de los esfuerzos normales y de corte conviene dibujar a escala el **polígono de fuerzas**, colocando en cierto orden las fuerzas que representan las cargas actuantes, a continuación las reacciones del apoyo B (horizontal y vertical) y a continuación las reacciones de apoyo A (vertical y horizontal) que nos dará en definitiva un polígono cerrado pues la estructura está en equilibrio.

Con el polígono de fuerzas, para cada sección podemos encontrar en valor dirección y sentido, la resultante de las fuerzas que actúan a un costado de la sección considerada. Dicha resultante parcial proyectada en el plano de la sección será el Esfuerzo de Corte que solicita esta sección, y proyectada en dirección normal o perpendicular al plano de la sección será el Esfuerzo Normal.

Sección 1

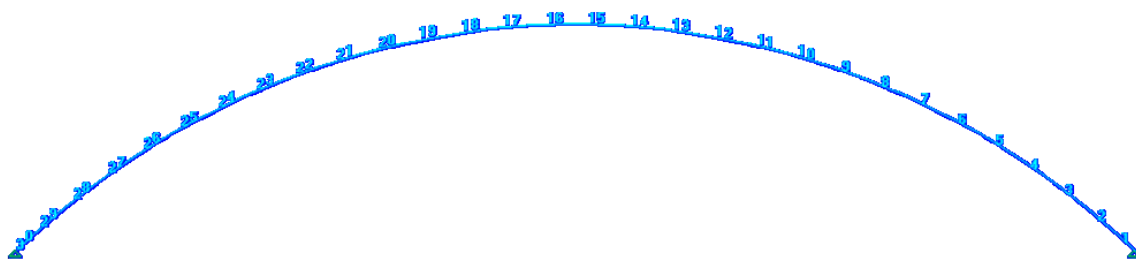


La resultante de las fuerzas que están a la izquierda de la sección 1 resulta en este caso prácticamente perpendicular a dicha sección, por lo tanto su valor es semejante al del esfuerzo normal y entonces el esfuerzo de corte es prácticamente despreciable.

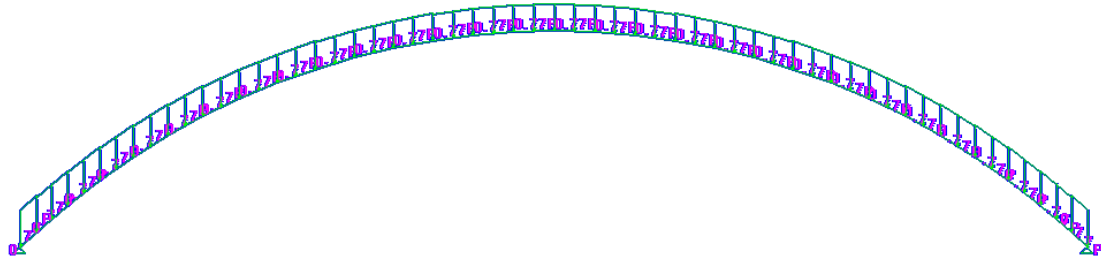
Conocidas las solicitaciones (momento flector, esfuerzo normal y esfuerzo de corte) a que está sometido el arco se puede dimensionar.

También podemos utilizar para el dimensionado del arco algún programa de resolución matricial, donde graficando la geometría, el tipo de vínculos y las solicitaciones sobre el mismo, podemos obtener los diferentes diagramas para cuales son las secciones más comprometidas y con esta evaluación proceder al dimensionado de la sección necesaria.

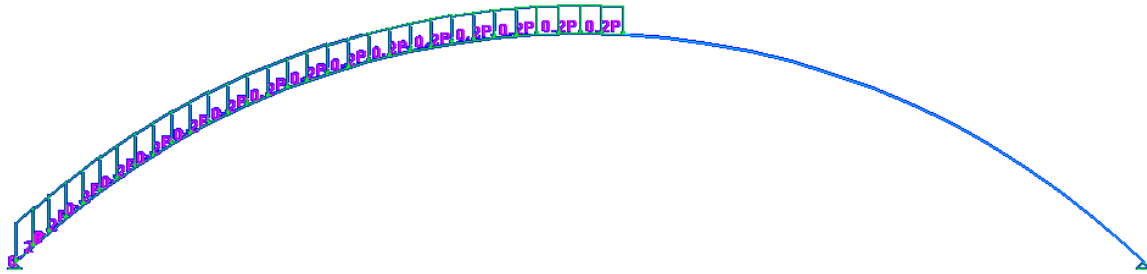
Modelado del Arco



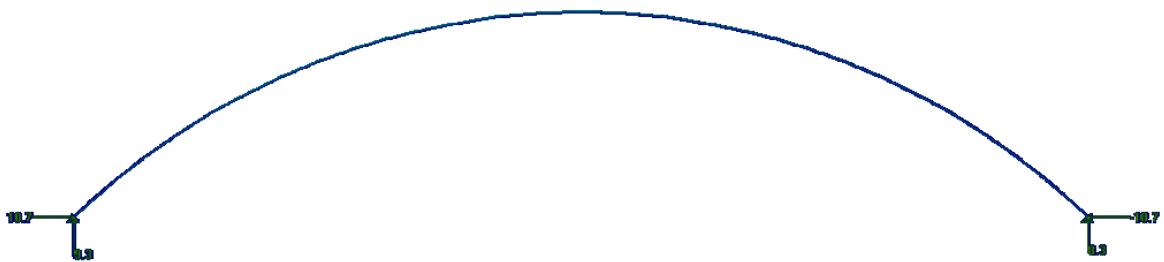
Geometría



Esquema de cargas permanentes



Esquema de cargas accidentales



Reacciones

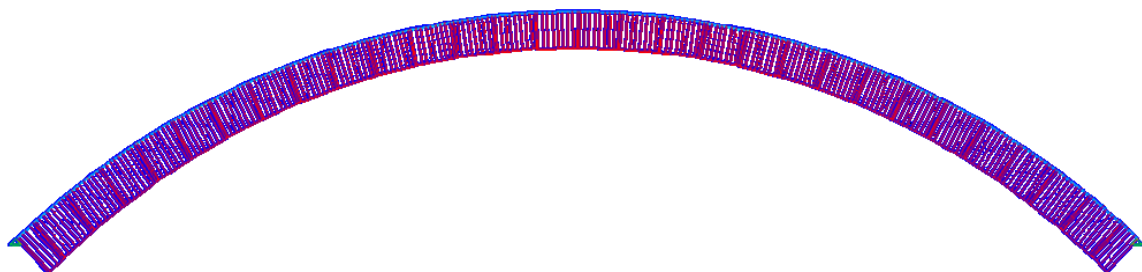


Diagrama de esfuerzos normales

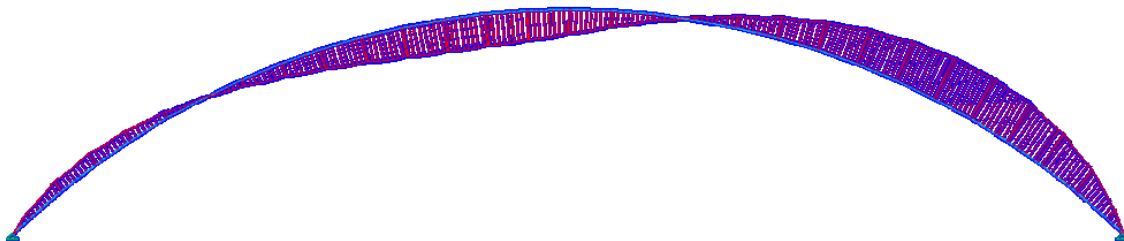
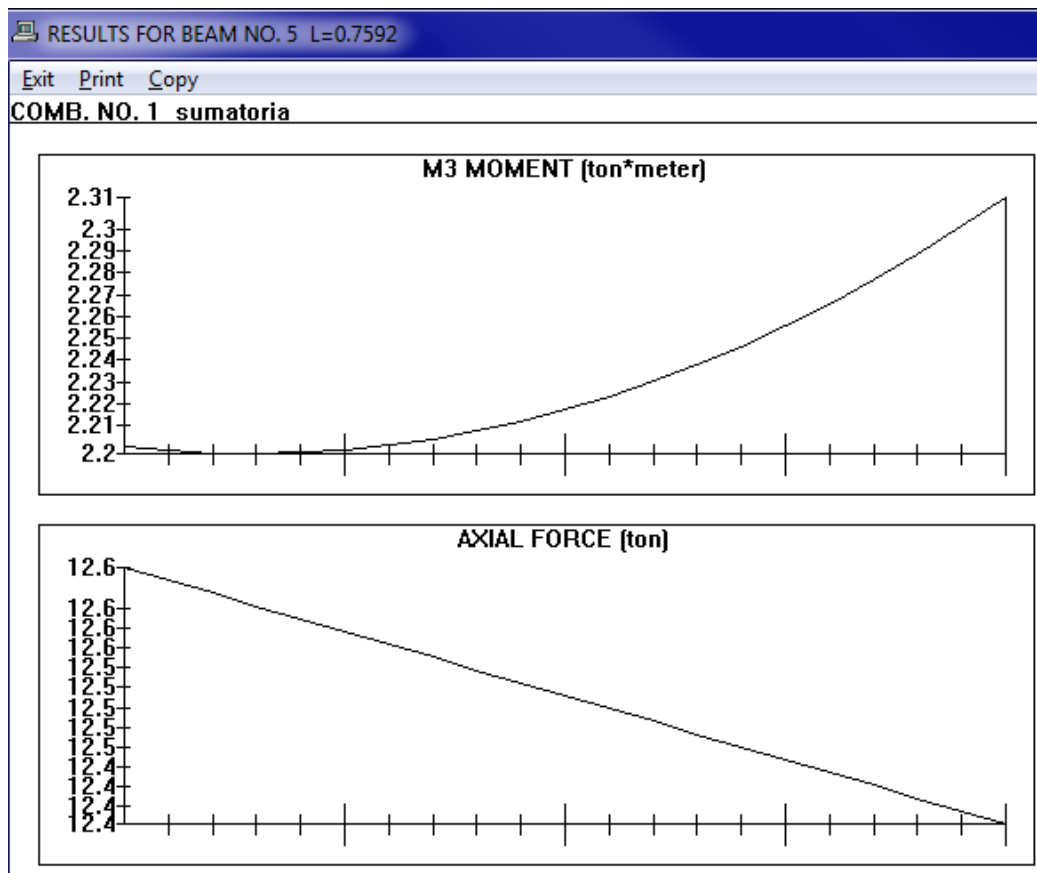


Diagrama de momentos flectores



Esfuerzos máximos en la barra n° 5

Mu : 2,31tm

Nu : 12,6tnAcero

F : 24 Fy = 235 MPA (23,5 KN/cm²)

Lpandeo = 1080 cm

Se propone un perfil normal **IPN n° 24**

rx = 9,59 cm

Zx = 412 cm³

Ag = 46,1 cm²

Verificación a compresión

$$\lambda = L/r$$

$$\lambda = 1080 \text{ cm} / 9,59 \text{ cm}$$

$$\lambda = 112,6 \leq 200 \text{ (acceptable)}$$

Factor de esbeltez:

$$\lambda_c = (1/3,14) \cdot (\sqrt{235/200000}) \cdot 112,6$$

$$\lambda_c = 1,22 < 1,5$$

Tensión Crítica de Diseño:

$$F_{cr} = (0,658)^{\lambda_c^2} \cdot F_y$$

$$F_{cr} = (0,658)^{\lambda_c^2} \cdot 235 \text{ MPA}$$

$$F_{cr} = 125,396 \text{ MPA}$$

La Resistencia Nominal será:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \cdot 10^{-1}$$

$$P_n = 125,39 \text{ MPA} \cdot 46,1 \text{ cm}^2 \cdot 10^{-1}$$

$$P_n = 578,07 \text{ kN}$$

Resistencia de Diseño a Compresión:

$$R_d = P_n \cdot \Phi$$

$$R_d = 578,07 \cdot 0,85$$

$$R_d = 491,3 \text{ kN} > 126,0 \text{ kN (Verifica)}$$

Verificación a Flexión:

Dato de Tabla: $Z_x = 412 \text{ cm}^3$

La Resistencia Nominal será:

$$M_n = Z \cdot F_y \cdot 10^{-3}$$

$$M_n = 412 \cdot 235 \cdot 10^{-3}$$

$$M_n = 96,82 \text{ kNm} = 9,6 \text{ tm}$$

La Resistencia de Diseño a Flexión será:

$$R_d = \Phi \cdot M_n$$

$$R_d = 0,9 \cdot 9,6 \text{ tm}$$

$$R_d = 9,6 \text{ tm} > 2,31 \text{ tm (Verifica)}$$

Corresponde ahora verificar la interacción de ambas solicitaciones a partir de la siguiente expresión que relaciona el esfuerzo de compresión último P_u con la resistencia de diseño a compresión

$$P_u/P_n \cdot \Phi :$$

$$126 \text{ tn} / 578,07 \cdot 0,85$$

$$0,256 > 0,2$$

Corresponde verificar con:

$$(P_u/P_n) + (8/9) \cdot (M_u/M_n \cdot \Phi_b)$$

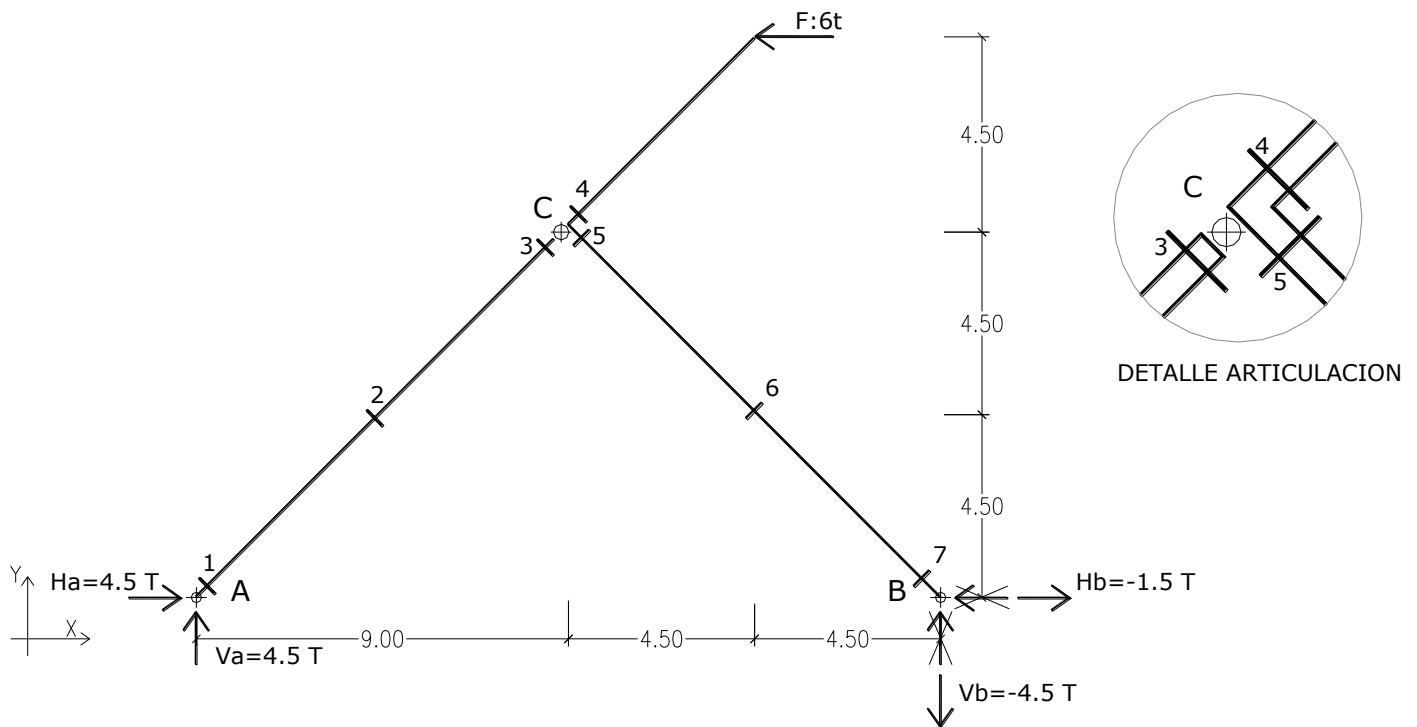
$$(126 \text{ tn} / 578,07 \text{ tn}) + (0,88) \cdot (23,1/96,0 \cdot 0,9)$$

$$2,16 + 0,88 \cdot 0,26$$

$$0,49 < 1 \text{ (Verifica)}$$

EJERCICIO DE APLICACIÓN C

En la estructura en arco de tres articulaciones se quiere conocer los valores de las reacciones verticales y horizontales en los apoyos A y B, y los esfuerzos M, N y Q en las secciones indicadas.



Cálculo de las componentes verticales de las reacciones (V_a y V_b)

$$\sum M_b = 0$$

$$V_a \times 18 \text{ m} - 6 \text{ t} \times 13.5 \text{ m} = 0$$

$$V_a = \frac{6 \text{ t} \times 13.5 \text{ m}}{18 \text{ m}}$$

$$\mathbf{V_a = 4.5 \text{ t}}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-V_b \times 18 \text{ m} - 6 \text{ t} \times 13.5 \text{ m} = 0$$

$$-V_b = \frac{6 \text{ t} \times 13.5 \text{ m}}{18 \text{ m}}$$

$$-V_b = 4.5 \text{ t}$$

$$\mathbf{V_b = - 4.5 \text{ t}}$$

El signo negativo de V_b indica que se debe cambiar el sentido presupuesto de la fuerza.

$$\text{Se verifica } \sum F_y = 0 \quad \therefore 4.5 \text{ t} - 4.5 \text{ t} = 0$$

Cálculo de las componentes horizontales de las reacciones (Ha y Hb)

$$MfC = 0$$

$$-H_a \times 9 \text{ m} + 4.5 \text{ t} \times 9 \text{ m} = 0$$

$$-H_a = \frac{-4.5 \text{ t} \times 9 \text{ m}}{9 \text{ m}}$$

$$H_a = 4.5 \text{ t}$$

$$MfC = 0$$

$$H_b \times 9 \text{ m} + 4.5 \text{ t} \times 9 \text{ m} - 6 \text{ t} \times 4.5 \text{ m} = 0$$

$$H_b = \frac{-4.5 \text{ t} \times 9 \text{ m} + 6 \text{ t} \times 4.5 \text{ m}}{9 \text{ m}}$$

$$H_b = -1.5 \text{ t}$$

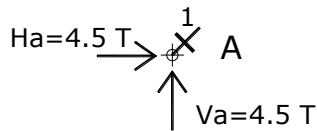
El signo negativo de Hb indica que se debe cambiar el sentido presupuesto de la fuerza.

Se verifica $\Sigma F_x = 0 \therefore 4.5 \text{ t} + 4.5 \text{ t} - 6 \text{ t} = 0$

Cálculo de las solicitaciones (Momento flector, Esfuerzo Normal y Esfuerzo de Corte) en distintas secciones

Los valores de normal y corte pueden obtenerse analítica o gráficamente

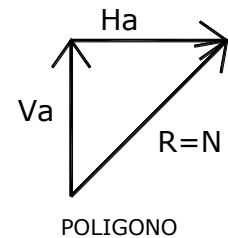
Sección 1



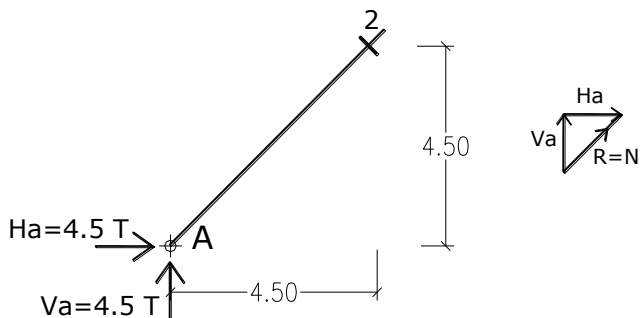
$$Mf1 = 0 \text{ (articulación)}$$

$$N = 6,36 \text{ t}$$

$$Q = 0$$



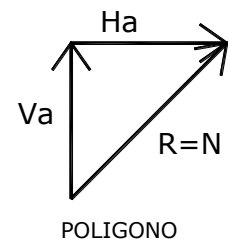
Sección 2



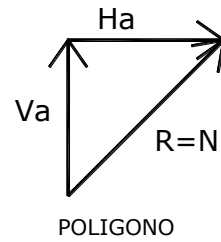
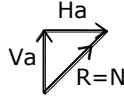
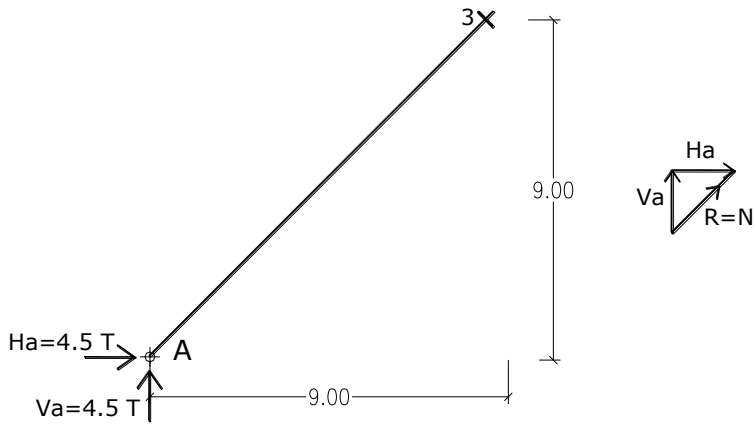
$$Mf2 = 4,5 \text{ t} \times 4,5 \text{ m} - 4,5 \text{ t} \times 4,5 \text{ m} \therefore Mf2 = 0 \text{ tm}$$

$$N = 6,36 \text{ t}$$

$$Q = 0$$



Sección 3

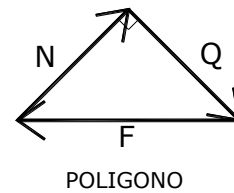
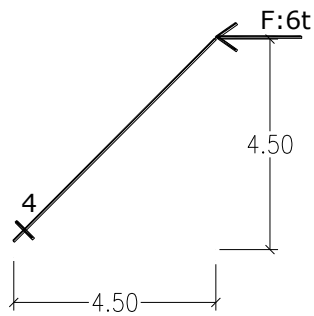


$Mf3 = 0$ (articulación)

$N = 6,36 \text{ t}$

$Q = 0$

Sección 4

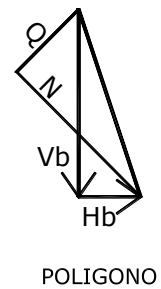
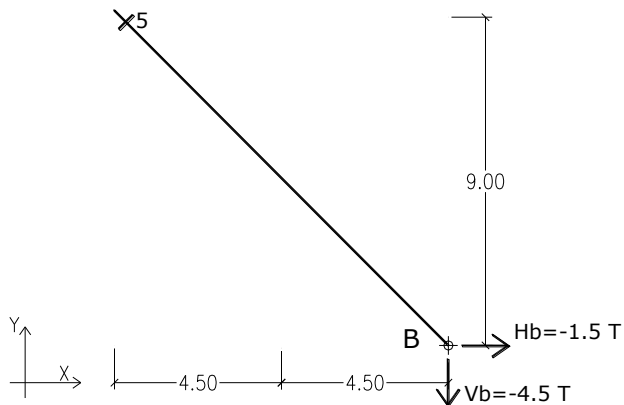


$Mf4 = 6 \text{ t} \times 4,5 \text{ m} = 27 \text{ tm}$

$N = 4,24 \text{ t}$

$Q = 4,24 \text{ t}$

Sección 5

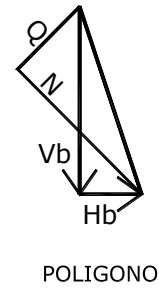
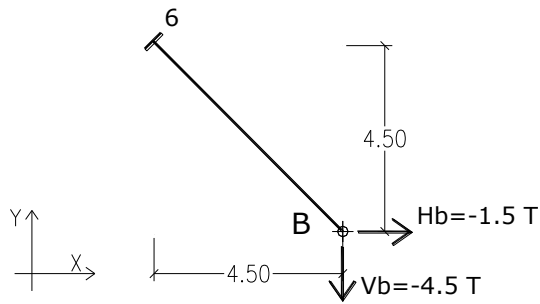


$Mf5 = -1,5 \text{ t} \times 9 \text{ m} + 4,5 \text{ t} \times 9 \text{ m} = 27 \text{ tm} \therefore Mf5 = -27 \text{ tm}$

$N = 4,25 \text{ t}$

Q = 2,12 t

Sección 6

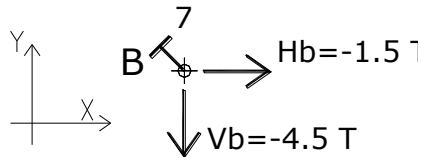


$$Mf6 = -1,5 \text{ t} \times 4,5 \text{ m} + 4,5 \text{ t} \times 4,5 \text{ m} = 13,5 \text{ tm} \quad \therefore \quad Mf6 = -13,5 \text{ tm}$$

$$N = 4,25 \text{ t}$$

$$Q = 2,12 \text{ t}$$

Sección 7



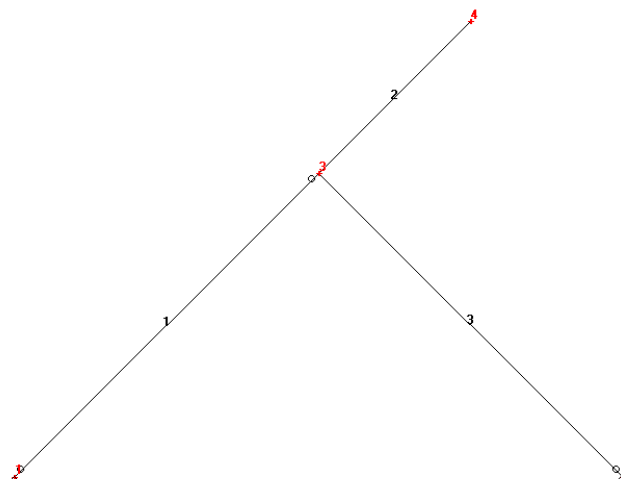
$$Mf7 = 0 \text{ (articulación)}$$

$$N = 4,25 \text{ t}$$

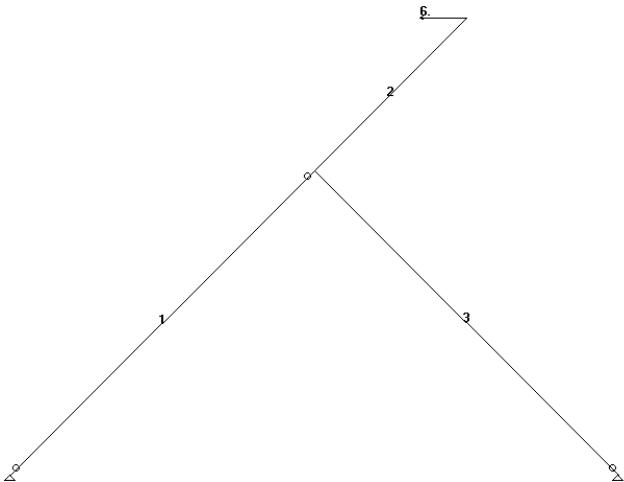
$$Q = 2,12 \text{ t}$$

Modelado del Arco con STRAP

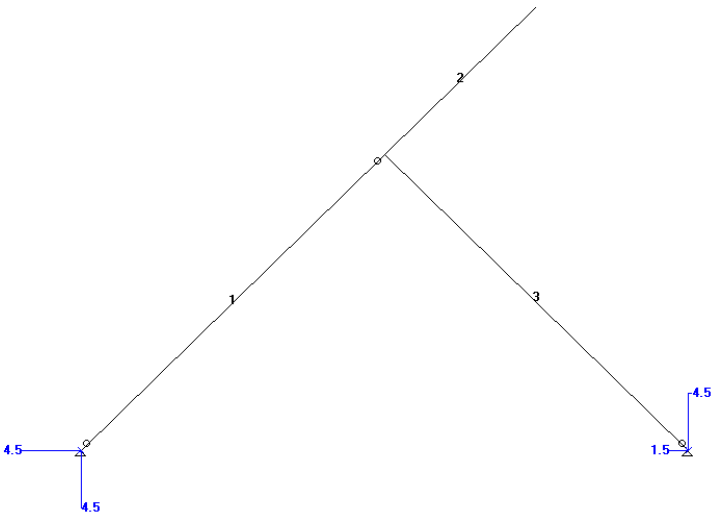
También podemos utilizar algún programa de resolución matricial, como STRAP, donde graficando la geometría, el tipo de vínculos y las sollicitaciones sobre el mismo, podemos obtener las sollicitaciones, en tablas o diagramas, que nos permitan evaluar las secciones más comprometidas para los diferentes estados de carga, y realizar el dimensionado de la estructura.



Geometría



Esquema de cargas aplicadas



Reacciones

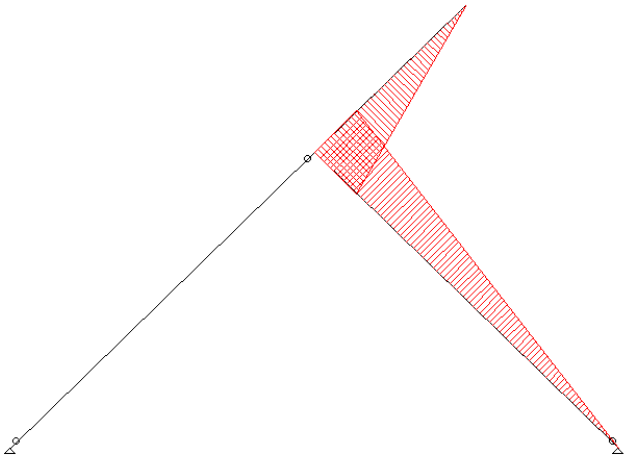


Diagrama de momentos flectores

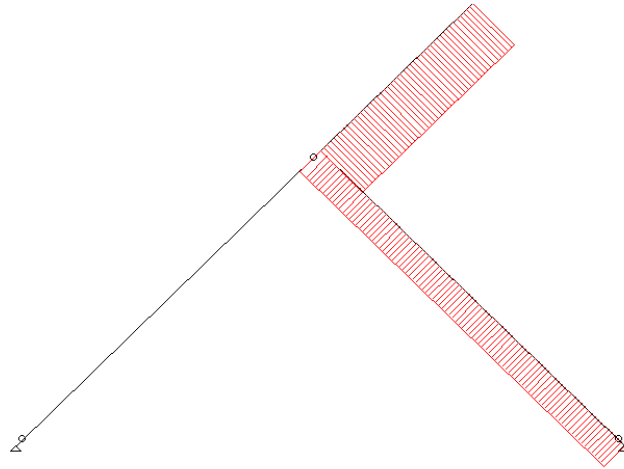


Diagrama de esfuerzos de corte

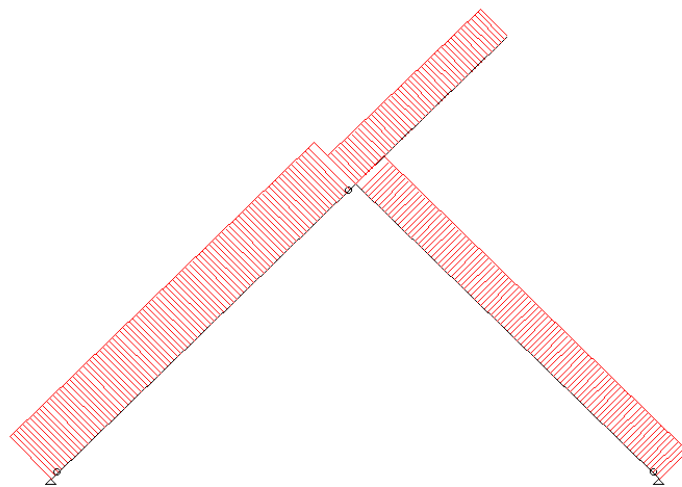


Diagrama de esfuerzos normales