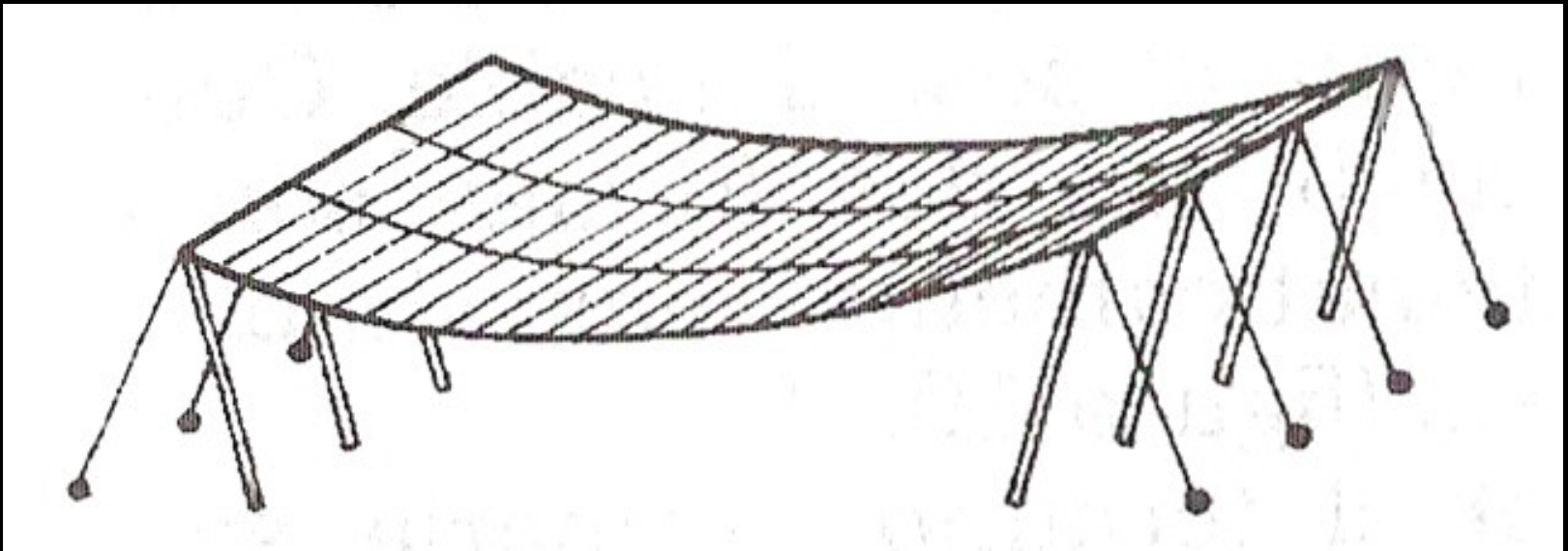
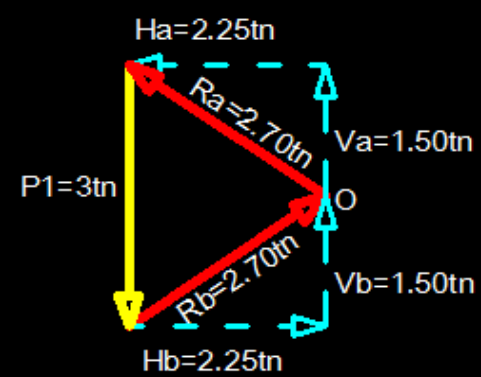
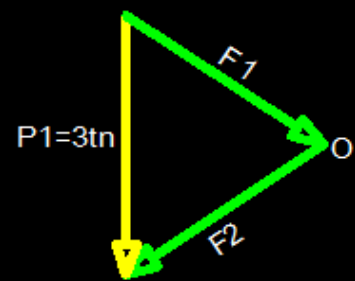
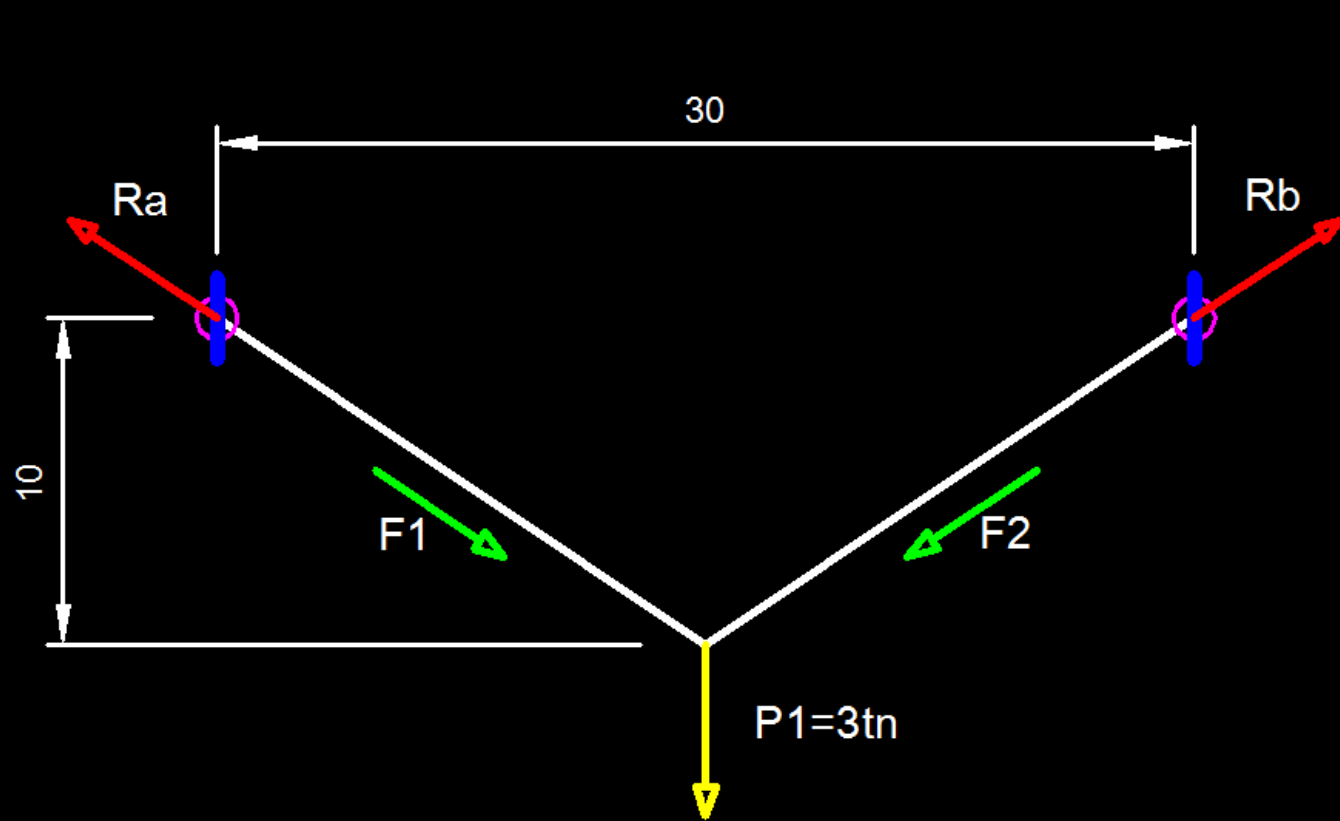
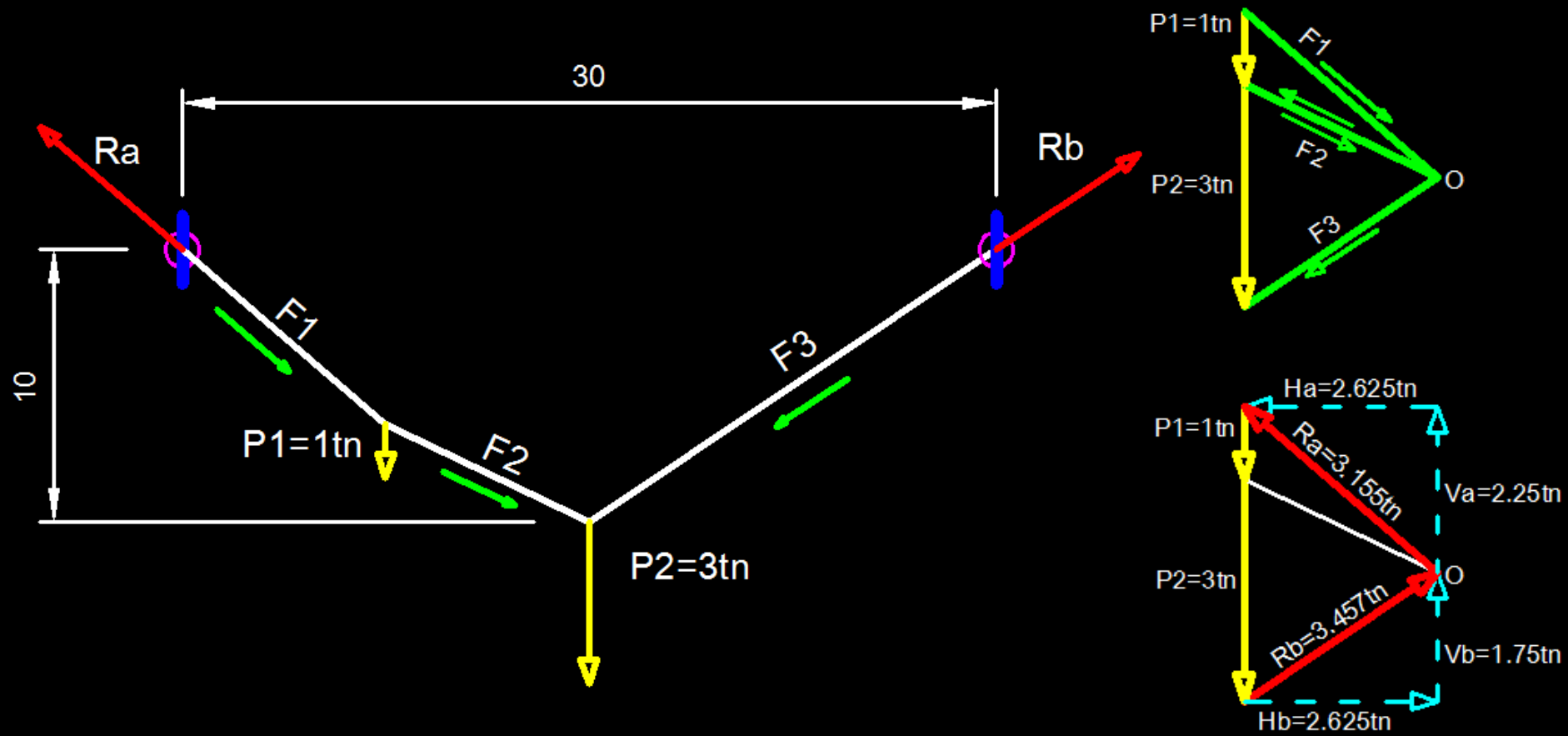
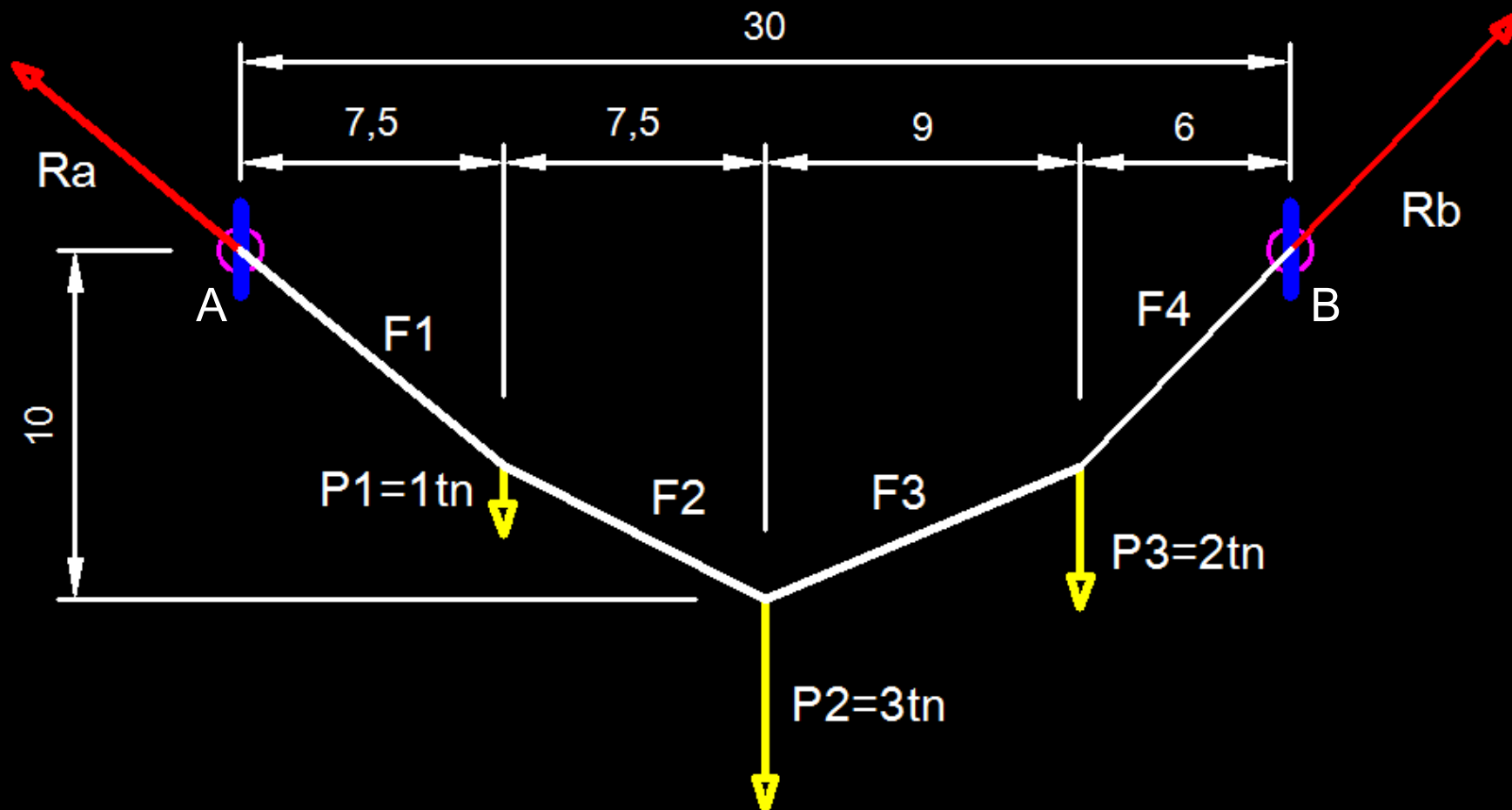


ESTRUCTURAS DE TRACCION



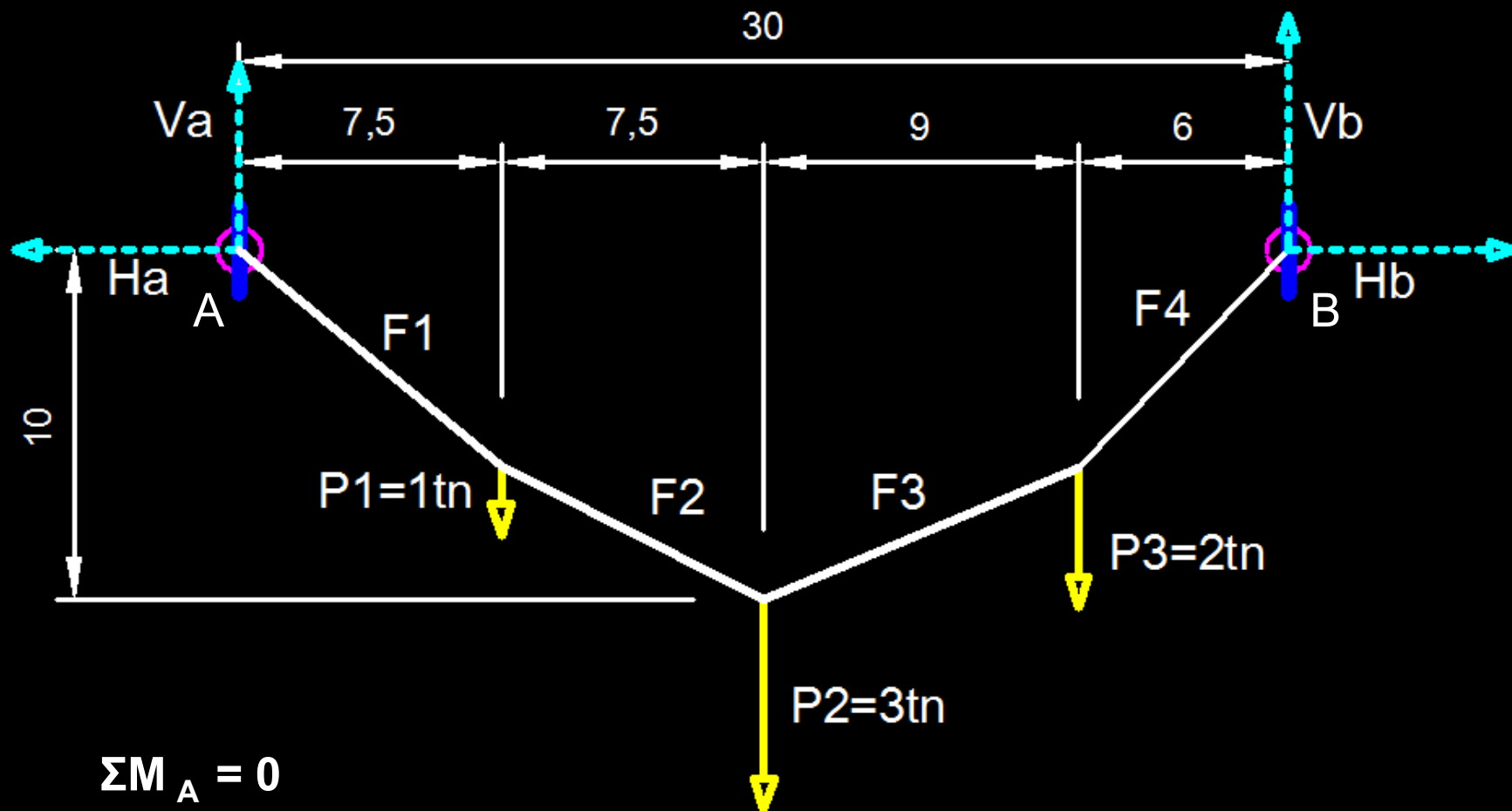






Datos

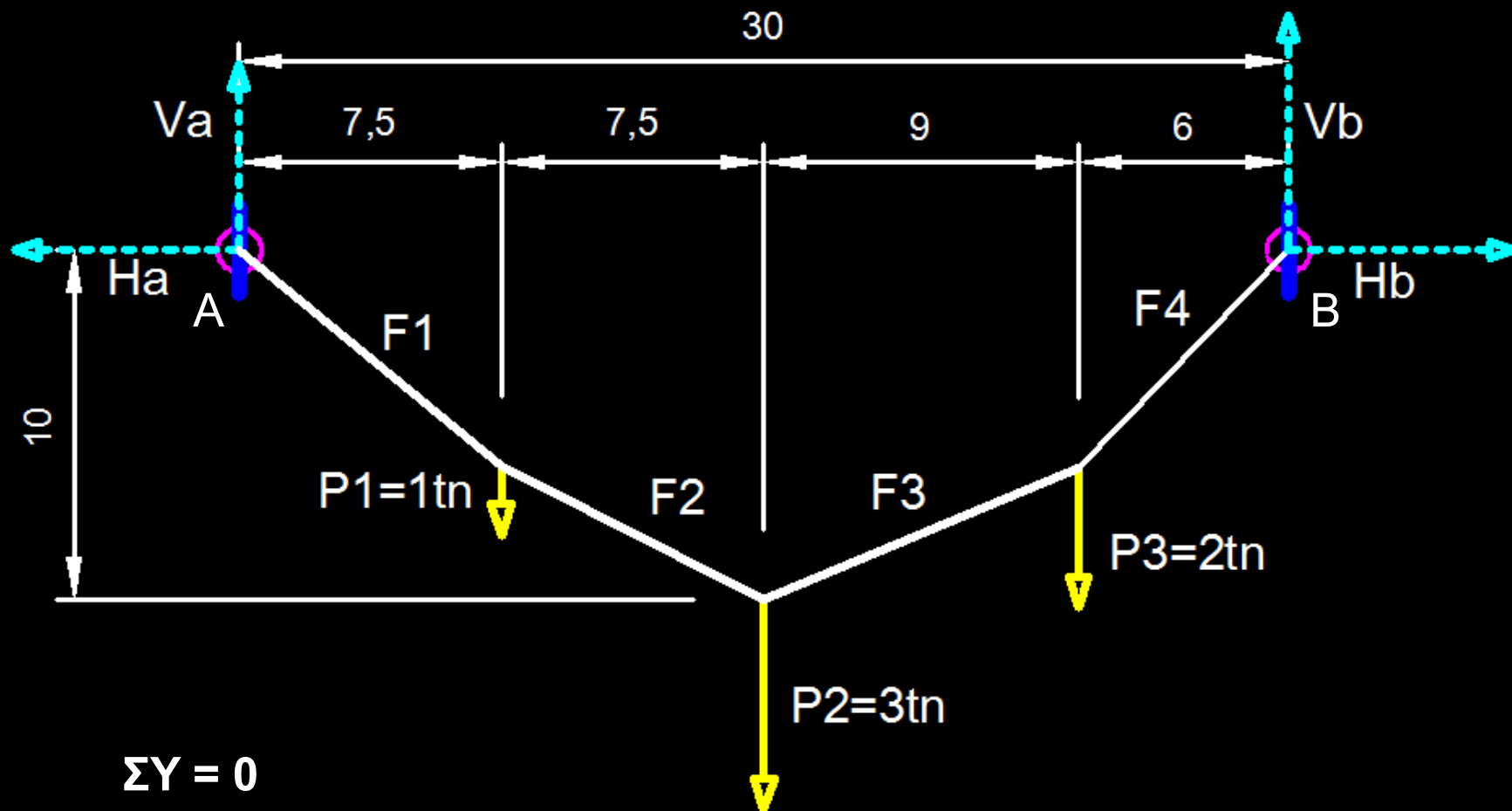
$$l = 30\text{m}; \quad h = 10\text{m}; \quad P_1 = 1\text{tn}; \quad P_2 = 3\text{tn}; \quad P_3 = 2\text{tn}$$



$$\Sigma M_A = 0$$

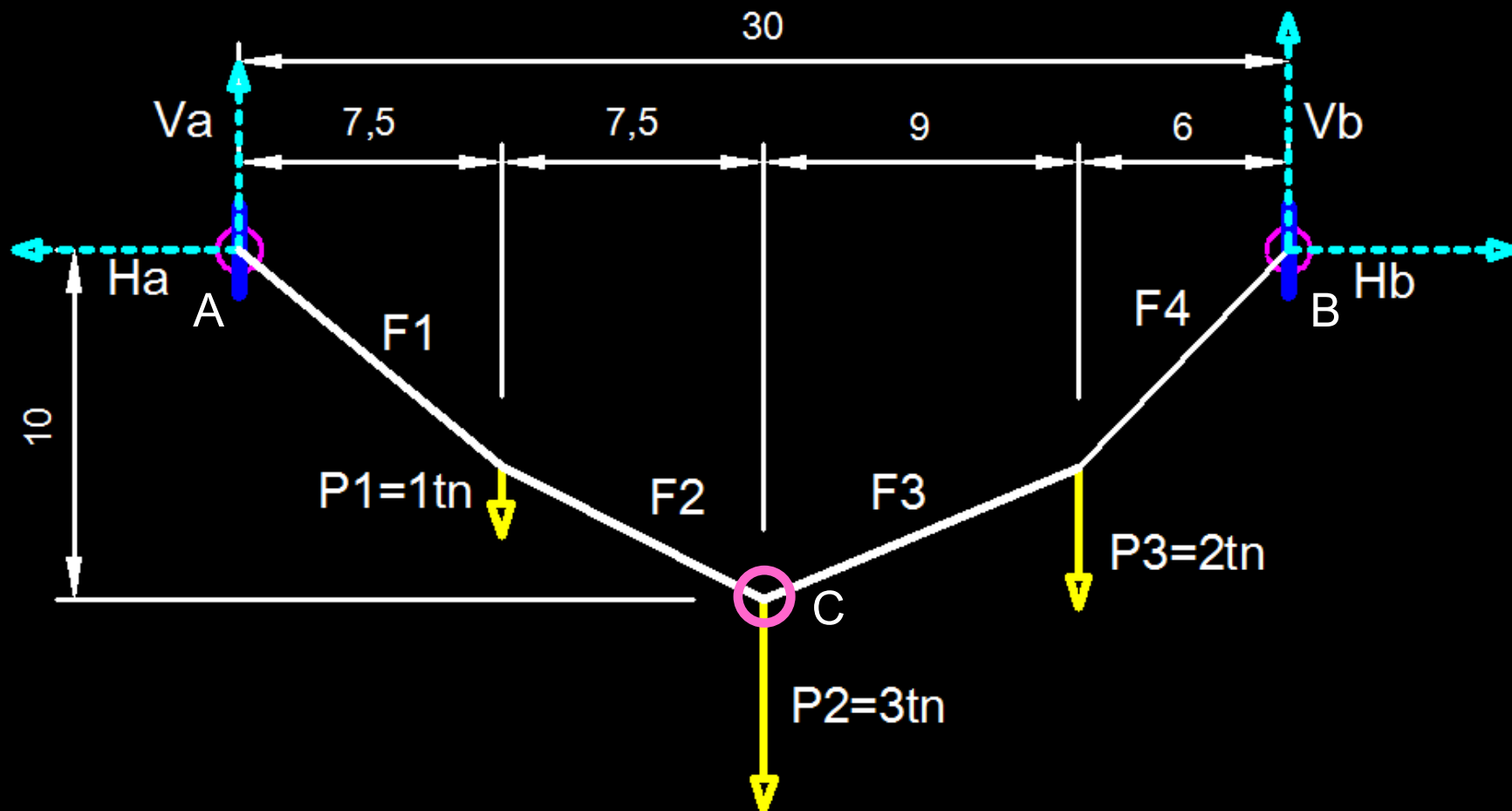
$$P_1 \times 7.5 + P_2 \times 15 + P_3 \times 24 - V_b \times 30 = 0$$

$$V_b = \frac{1 \times 7.5 + 3 \times 15 + 2 \times 24}{30} = 3.35\text{tn}$$



$$P_1 + P_2 + P_3 - V_b - V_a = 0$$

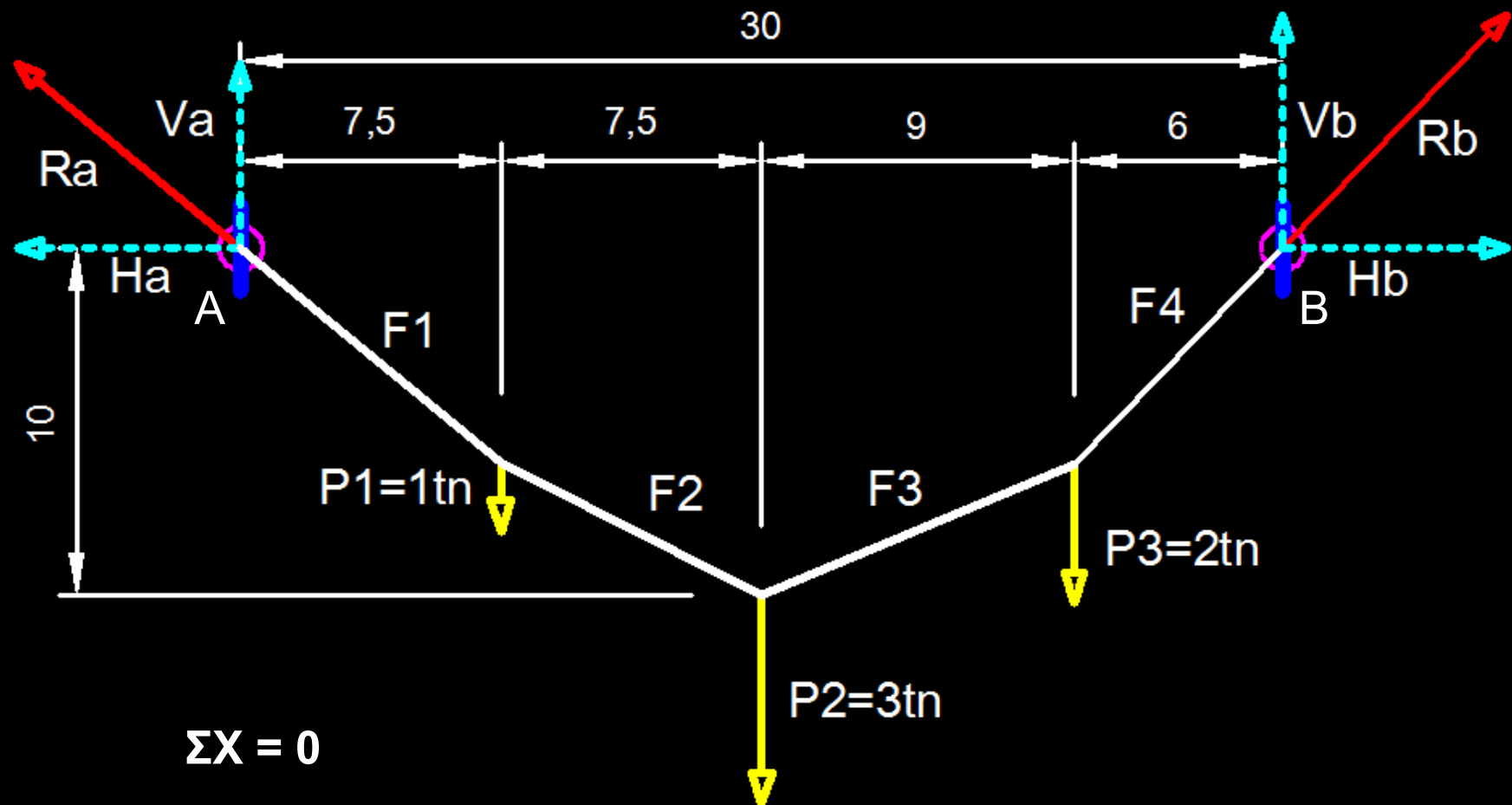
$$V_a = 1 + 3 + 2 - 3.35 = 2.65tn$$



$M_{f_{Cder}} = 0$ (Punto de momento cero porque el cable carece de rigidez flexional)

$$P_3 \times 9 - V_b \times 15 + H_b \times 10 = 0$$

$$H_b = \frac{3.35 \times 15 - 2 \times 9}{10} = 3.225tn$$

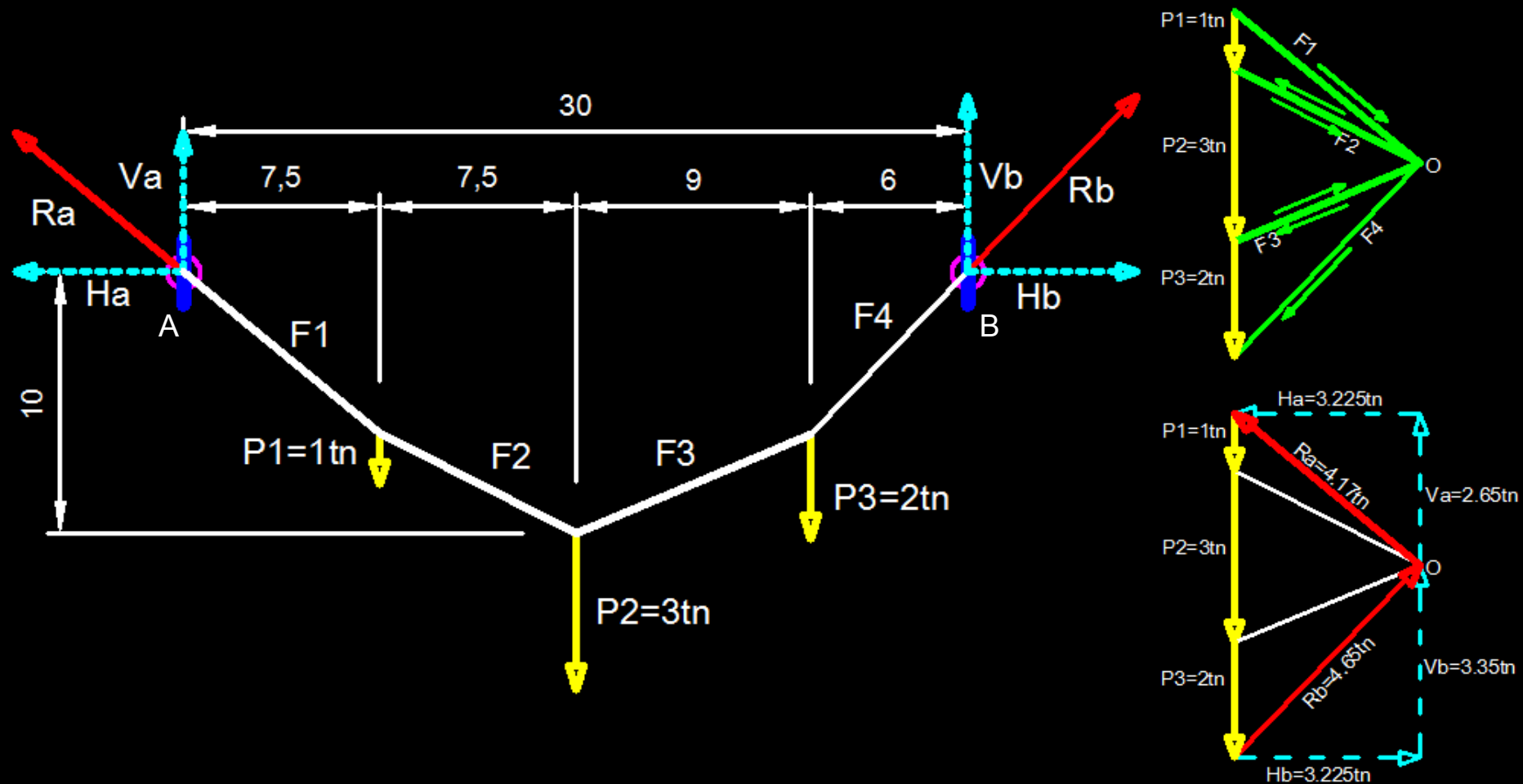


$$\Sigma X = 0$$

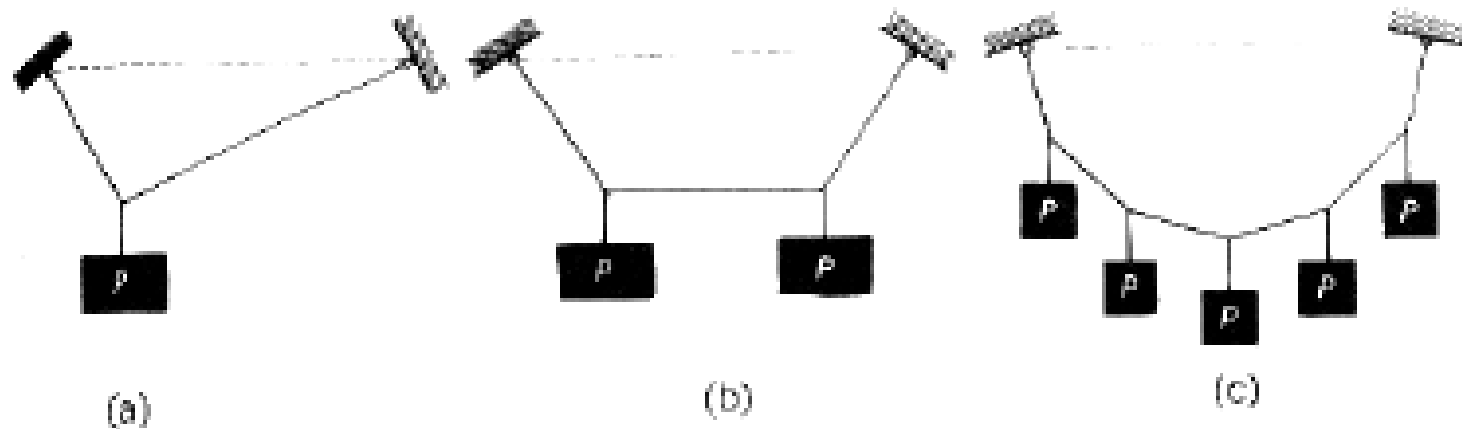
$$H_a - H_b = 0$$

$$H_a = 3.225\text{tn}$$

Una vez conocidos los valores de las componentes verticales y horizontales de las reacciones, V_a y H_a ; V_b y H_b , se puede determinar el esfuerzo en el arranque (valor de la reacción resultante).



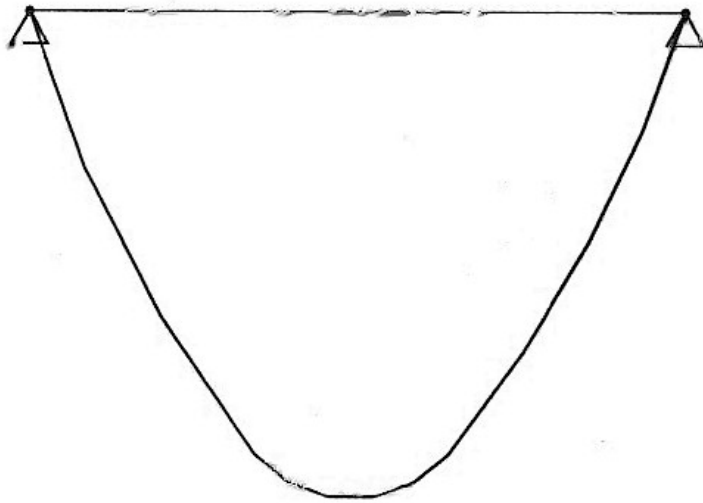
Una vez conocidos los valores de las componentes verticales y horizontales de las reacciones, Va y Ha ; Vb y Hb , se puede determinar el esfuerzo en el arranque (valor de la reacción resultante).



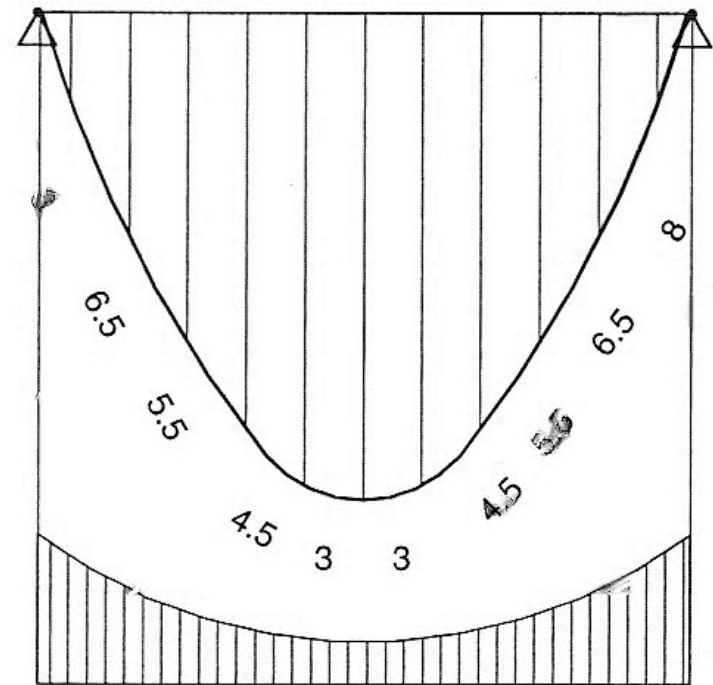
Polígonos funiculares.

A medida que aumentan las cargas el funicular se va facetando cada vez más.

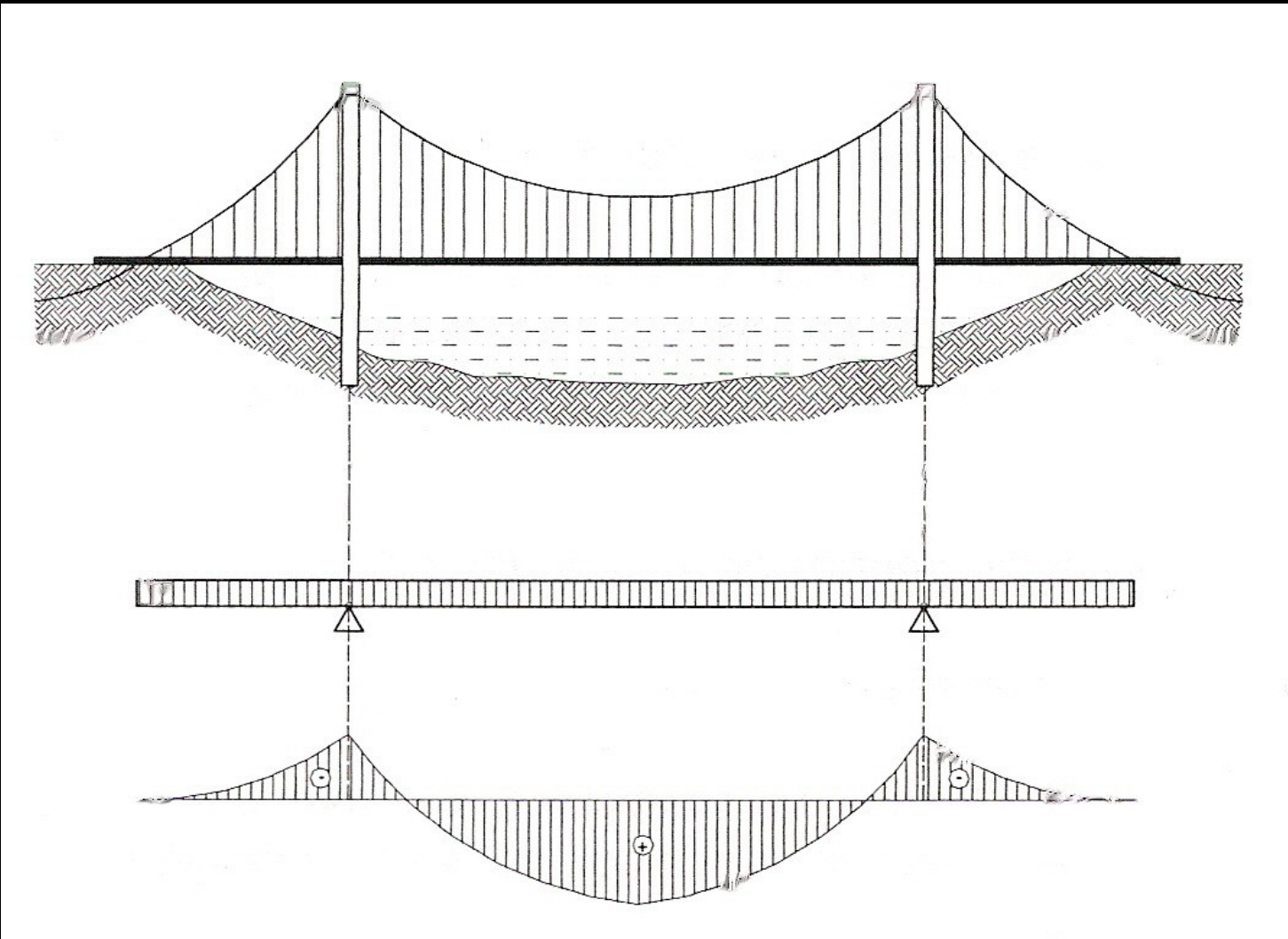
CATENARIA



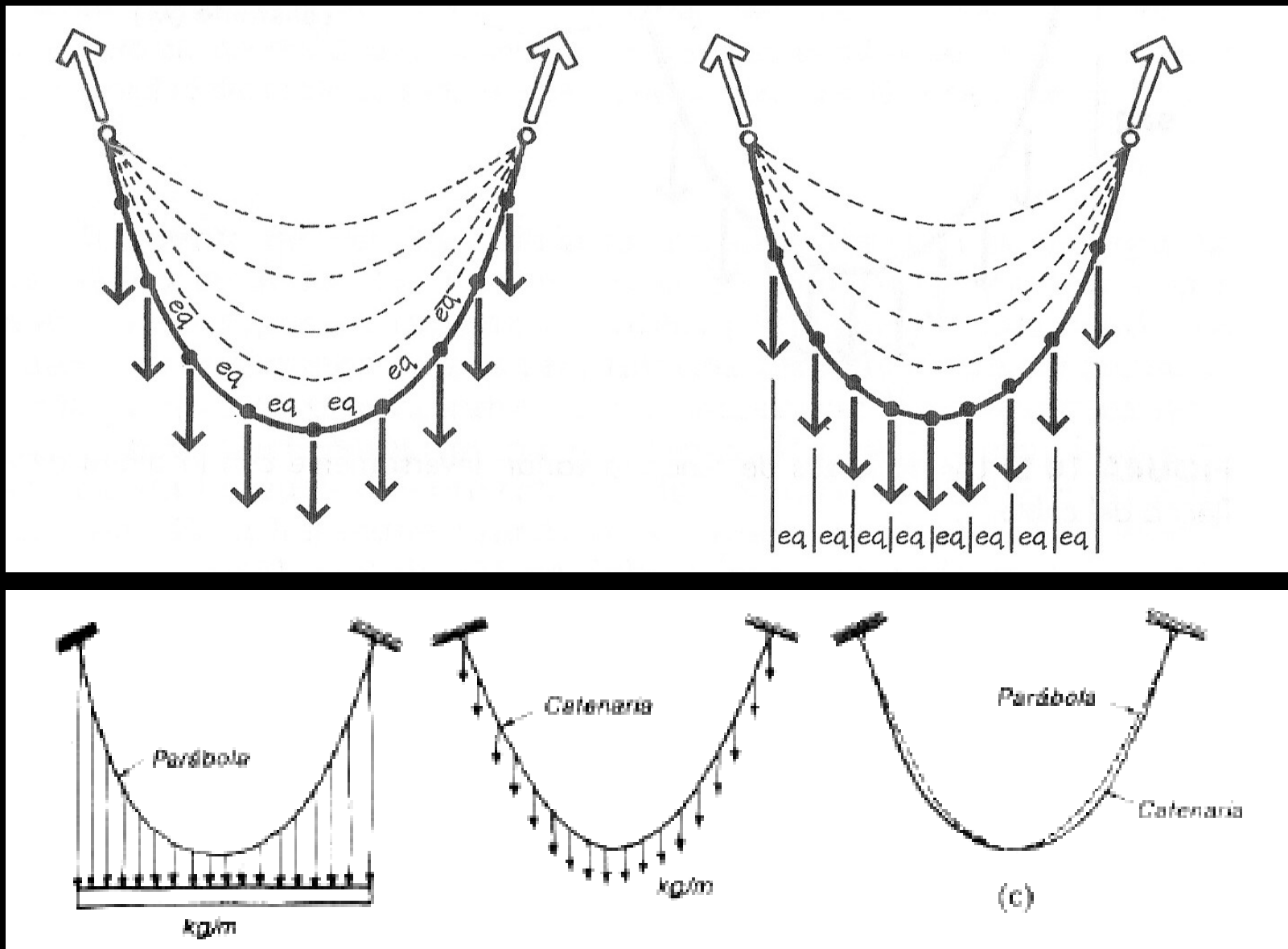
PESO PROPIO



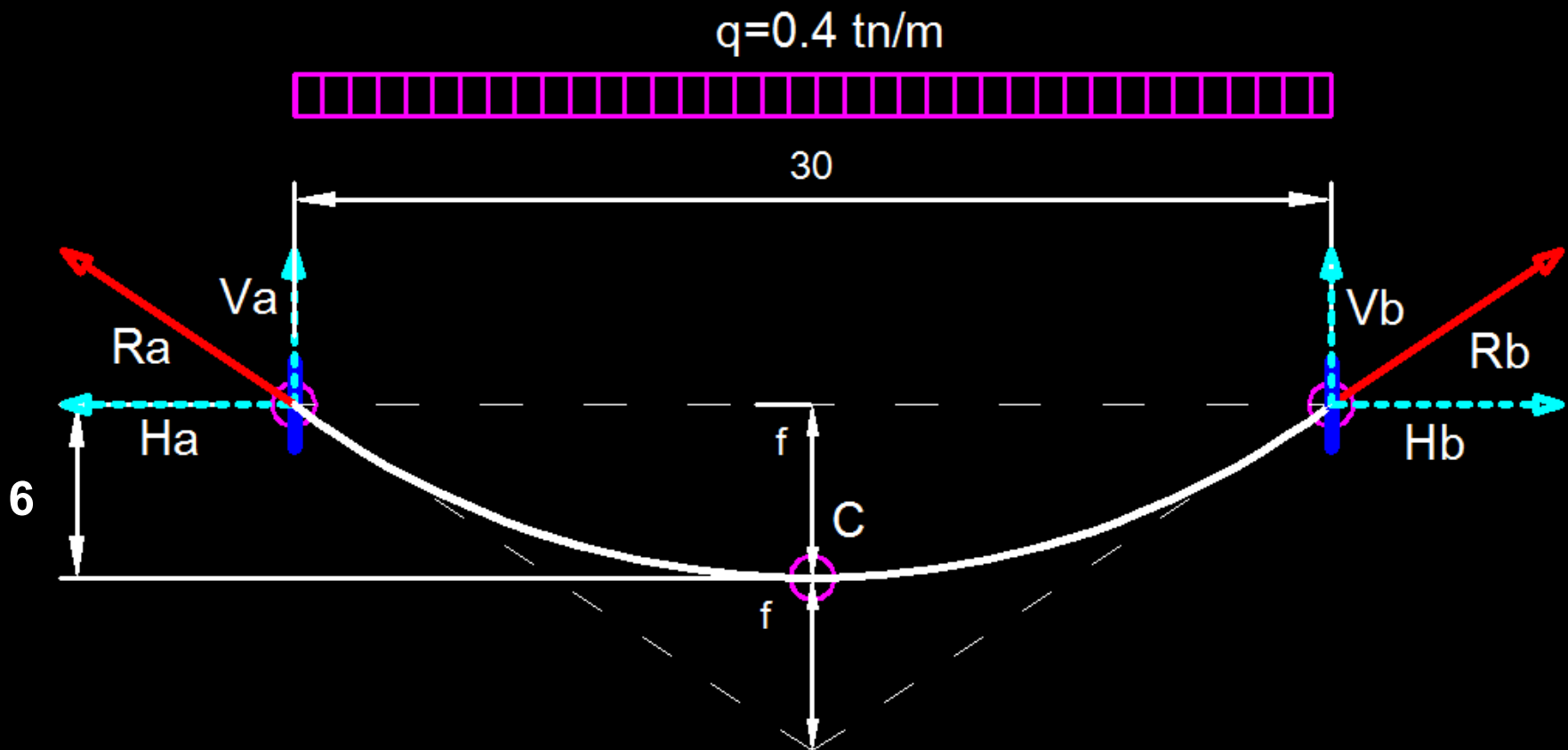
La catenaria es la forma que adopta naturalmente todo cable colgante sometido a su propio peso.



Cuando la carga es uniformemente distribuida en proyección horizontal , el cable adoptará la forma de una parábola de 2° grado, igual al diagrama de Momentos Flectores.



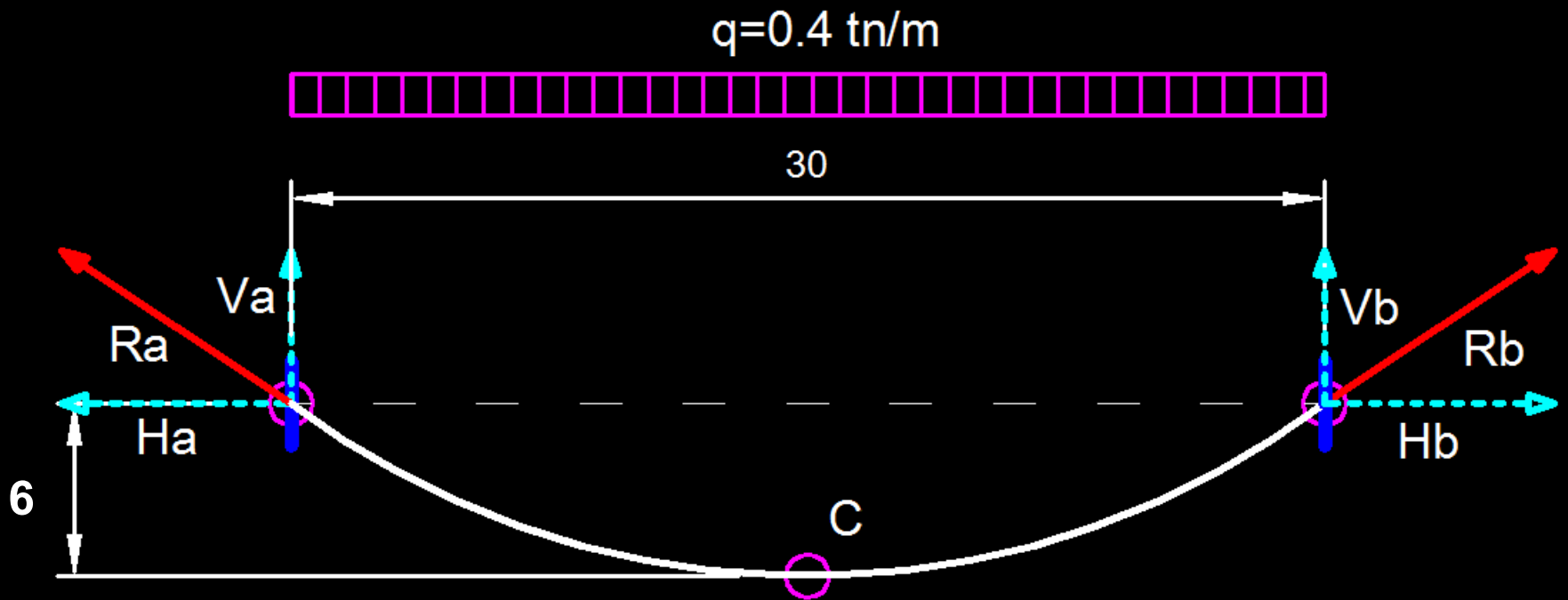
la catenaria y la parábola de igual flecha tienen aproximadamente la misma forma, para una relación flecha / luz de $1 / 20 \leq \lambda \leq 1 / 5$,



Datos

$$l = 30,00\text{m}; h = 6,00\text{m}; q = 0,40\text{tn/m}$$

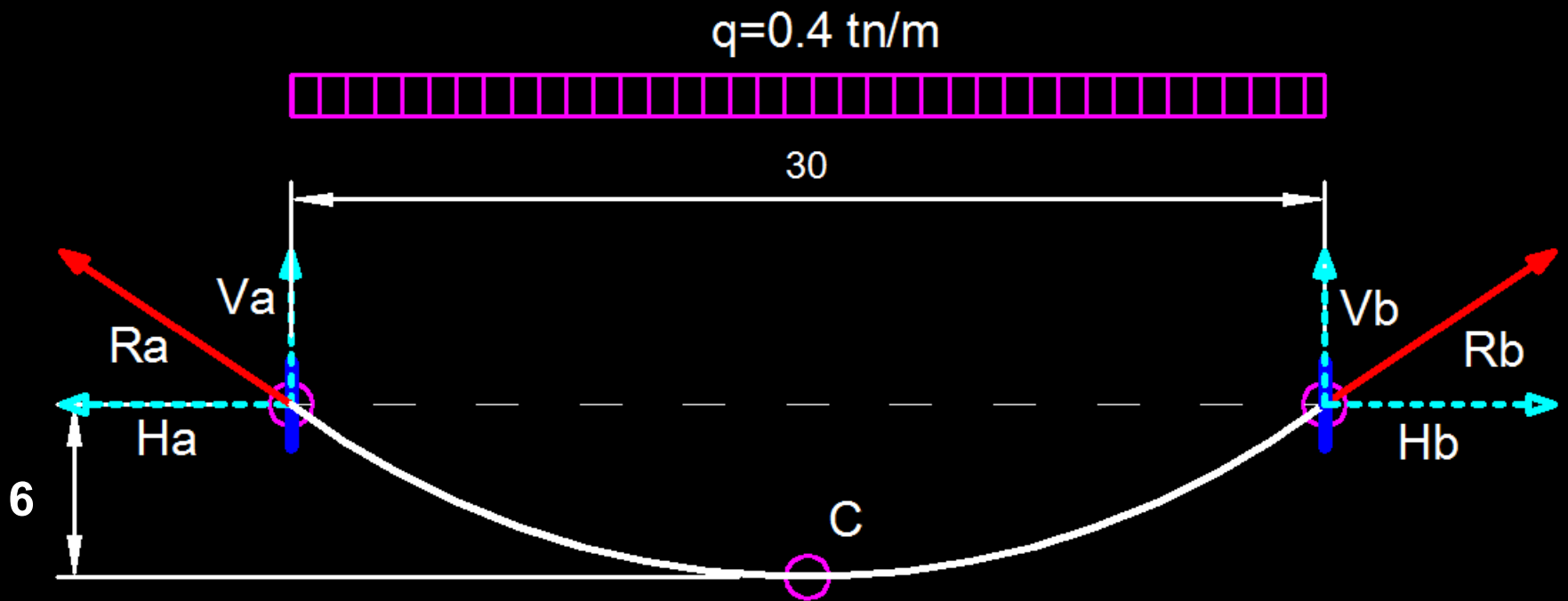
Relación flecha / luz $\lambda = 1 / 5$



Datos

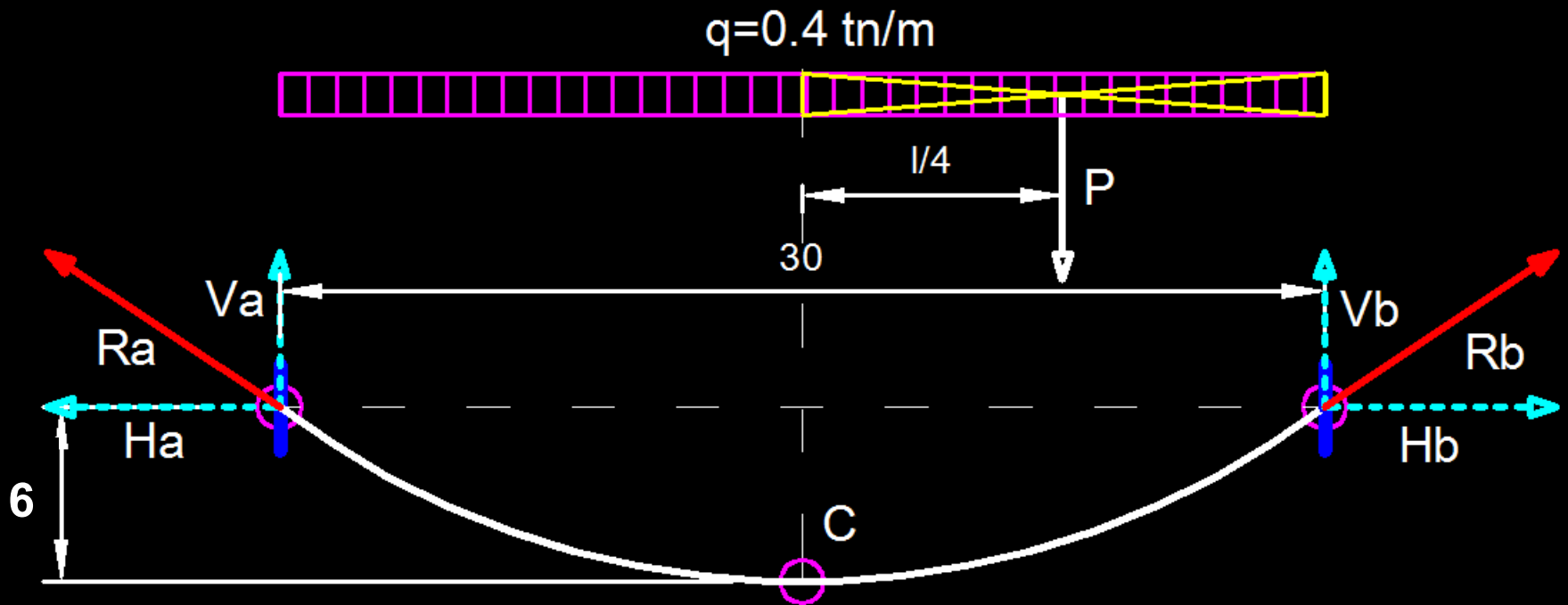
$$l = 30,00\text{m}; h = 6,00\text{m}; q = 0,40\text{tn/m}$$

Relación flecha / luz $\lambda = 1 / 5$



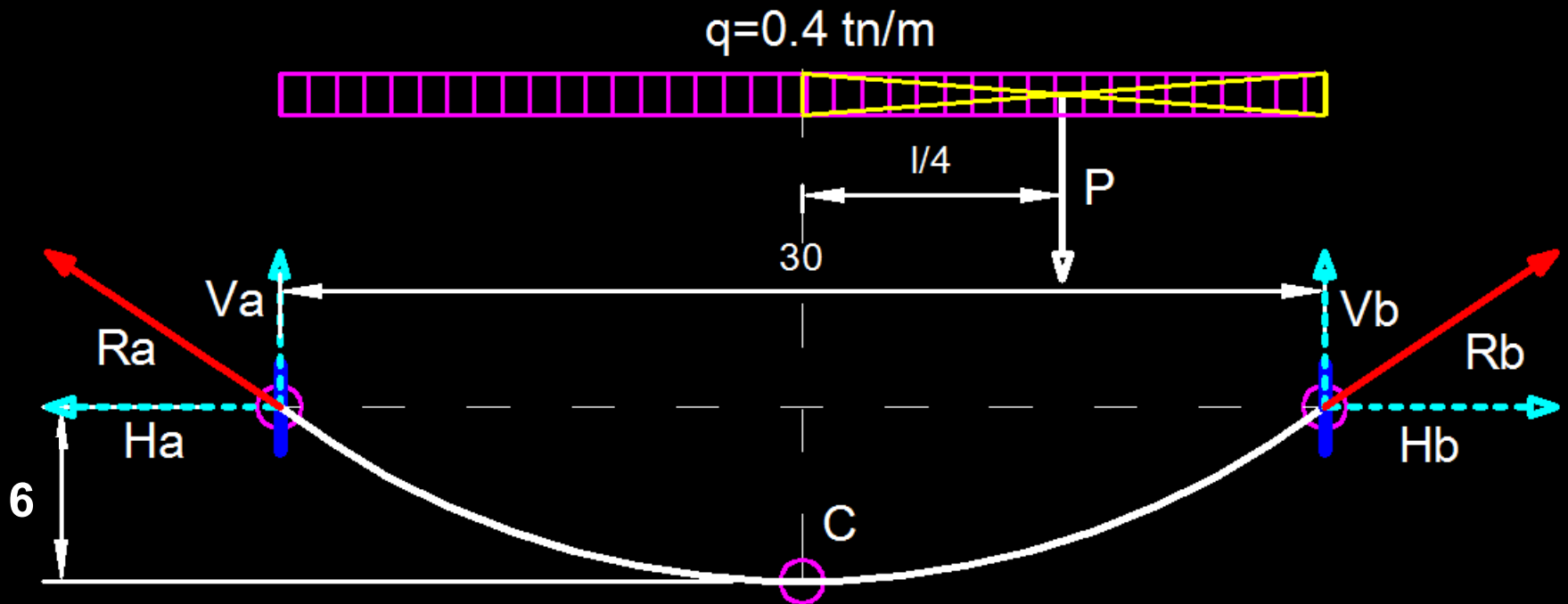
$$V_a = V_b = \frac{q \times l}{2}$$

$$V_a = V_b = \frac{0.4 \times 30}{2} = 6.00 \text{ tn}$$



$$M_{f_{Cder}} = 0$$

$$M_{f_{Cder}} = \frac{q \times l}{2} \times \frac{l}{4} - \frac{q \times l}{2} \times \frac{l}{2} + H_b \times f = 0$$

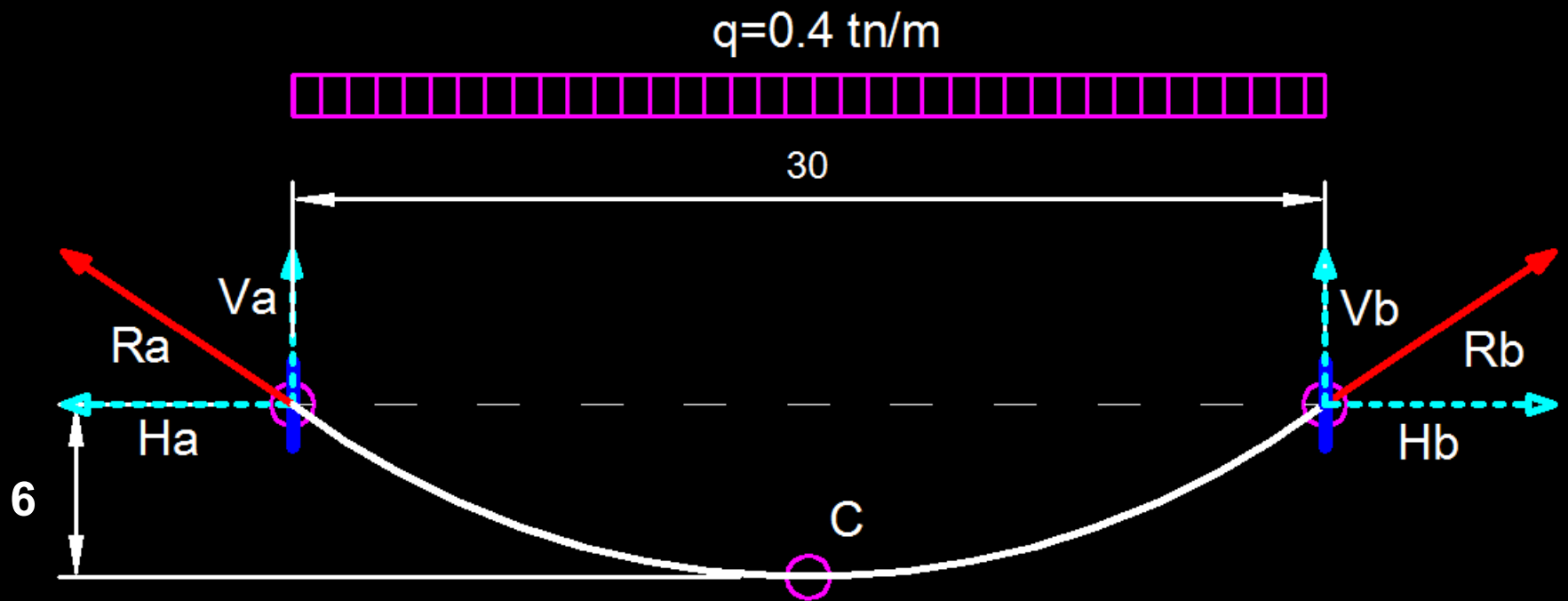


$$M_{f_{Cder}} = 0$$

$$M_{f_{Cder}} = \frac{q \times l}{2} \times \frac{l}{4} - \frac{q \times l}{2} \times \frac{l}{2} + H_b \times f = 0$$

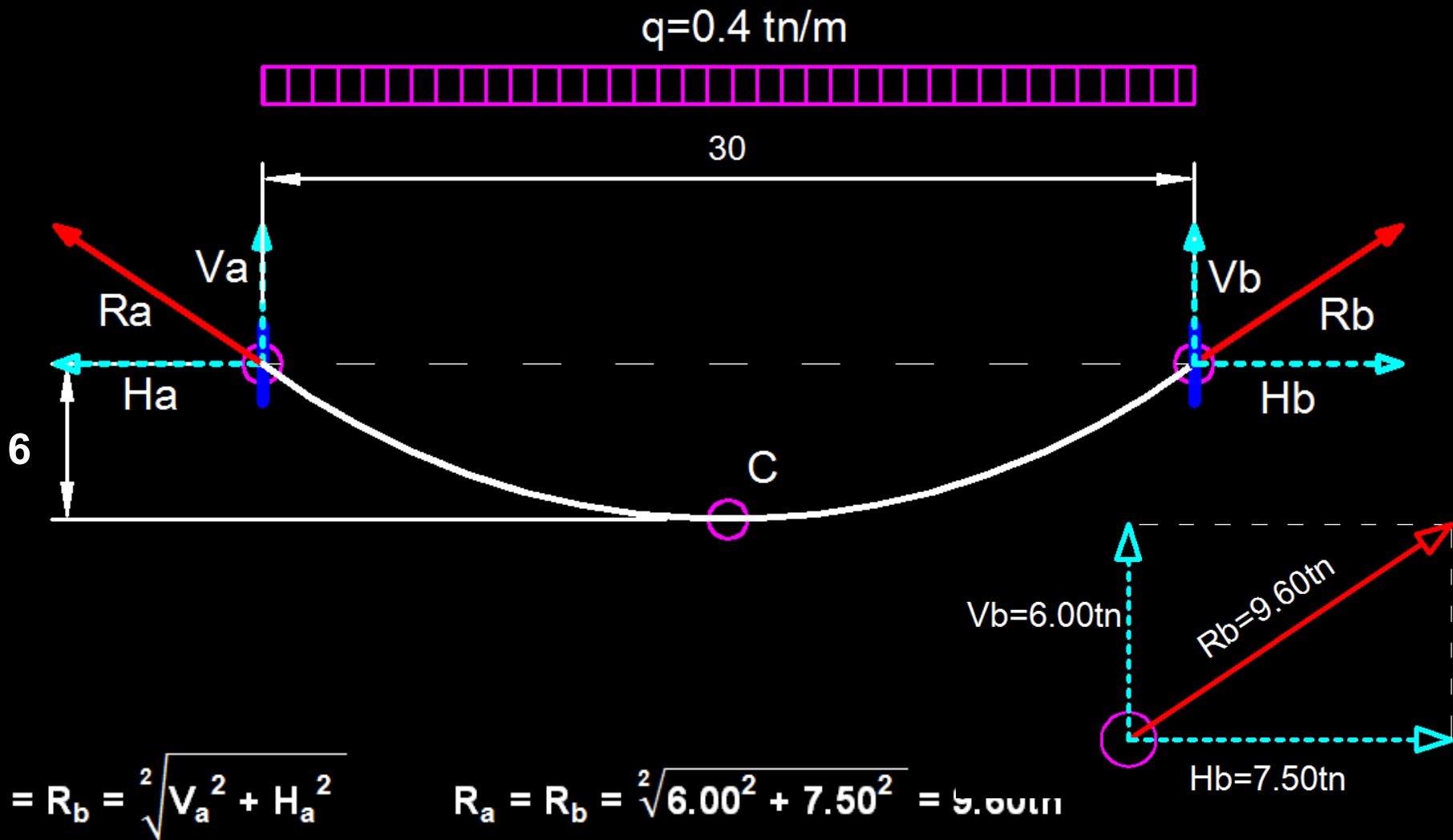
$$= \frac{q \times l^2}{8} - \frac{q \times l^2}{4} + H_b \times f = -\frac{q \times l^2}{8} + H_b \times f = 0$$

$$H_B = \frac{q \times l^2}{8 \times f}$$

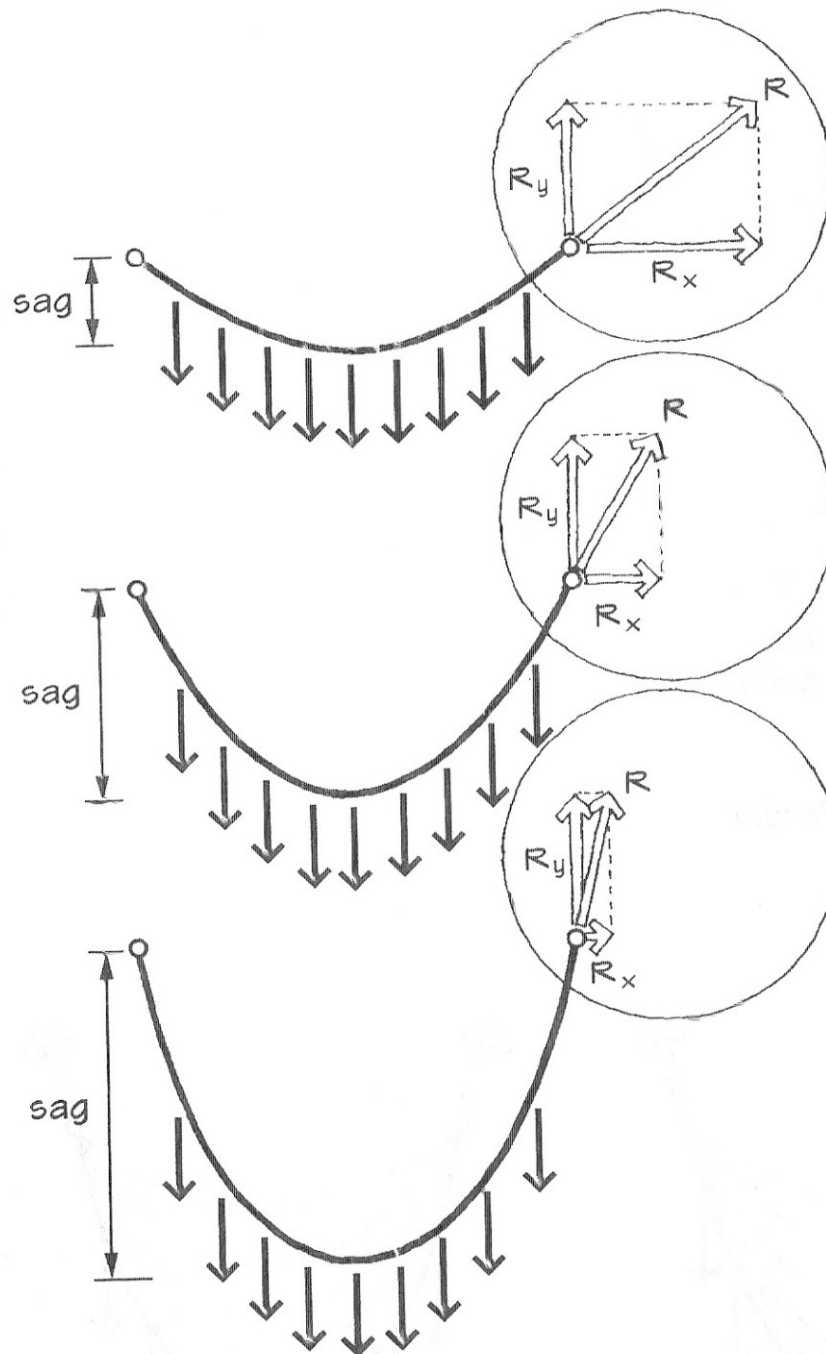


$$H_a = H_b = \frac{q \times l^2}{8 \times f}$$

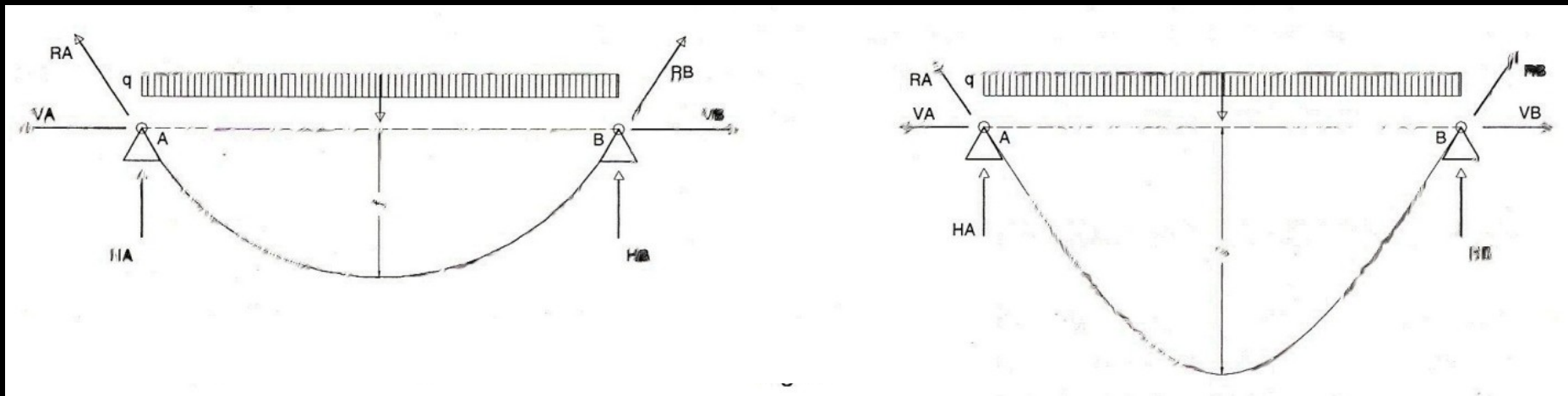
$$H_a = H_b = \frac{0.4 \times 30^2}{8 \times 6} = 7.50 \text{ tn}$$



Una vez conocidos los valores de las componentes verticales y horizontales de las reacciones, V_a y H_a ; V_b y H_b , se puede determinar el esfuerzo en el arranque (valor de la reacción resultante).



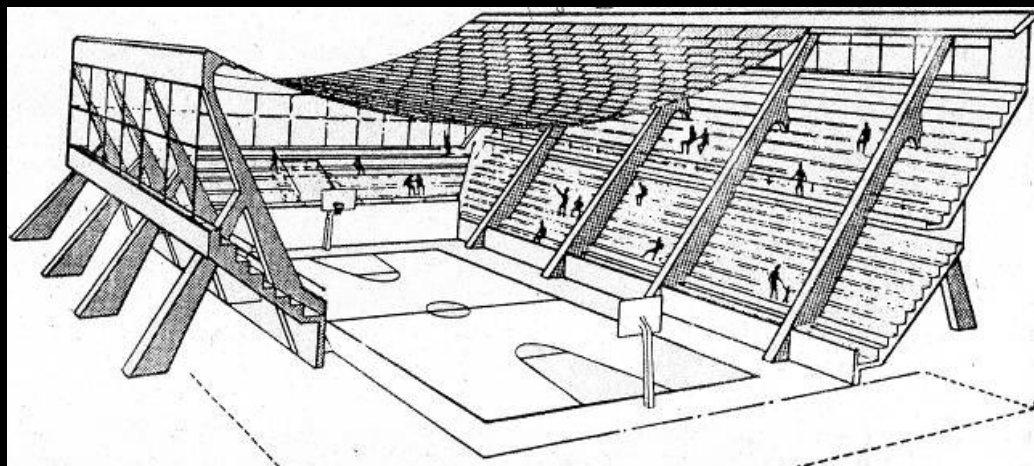
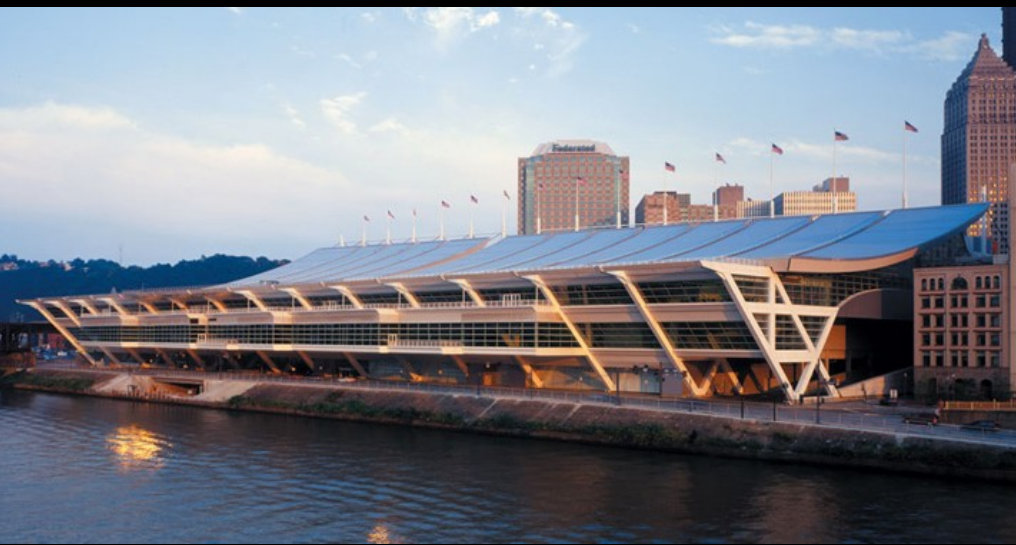
A medida que disminuye la flecha aumenta la Componente Horizontal de la Reacción



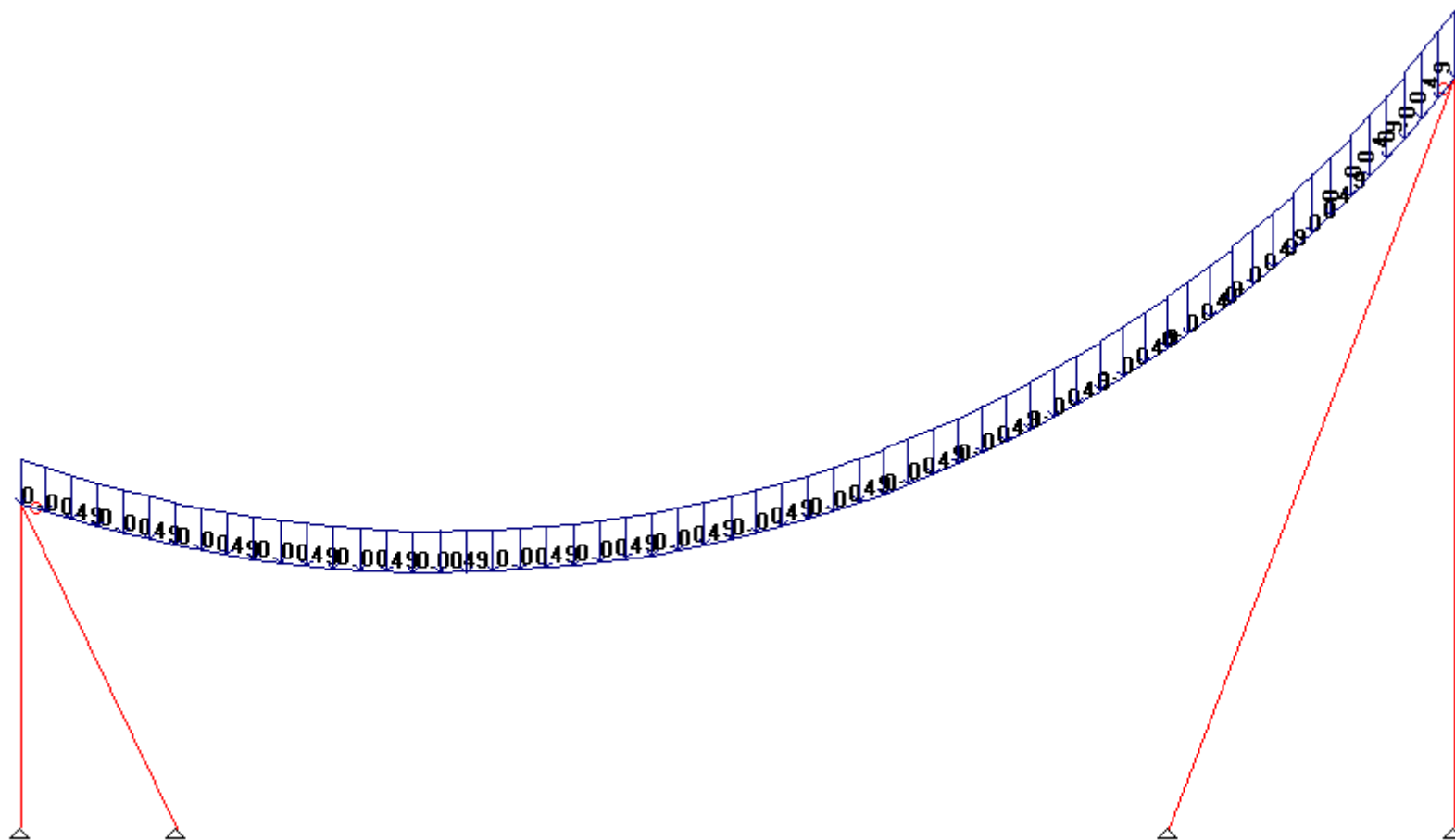
la componente horizontal de la reacción es inversamente proporcional a la flecha del cable



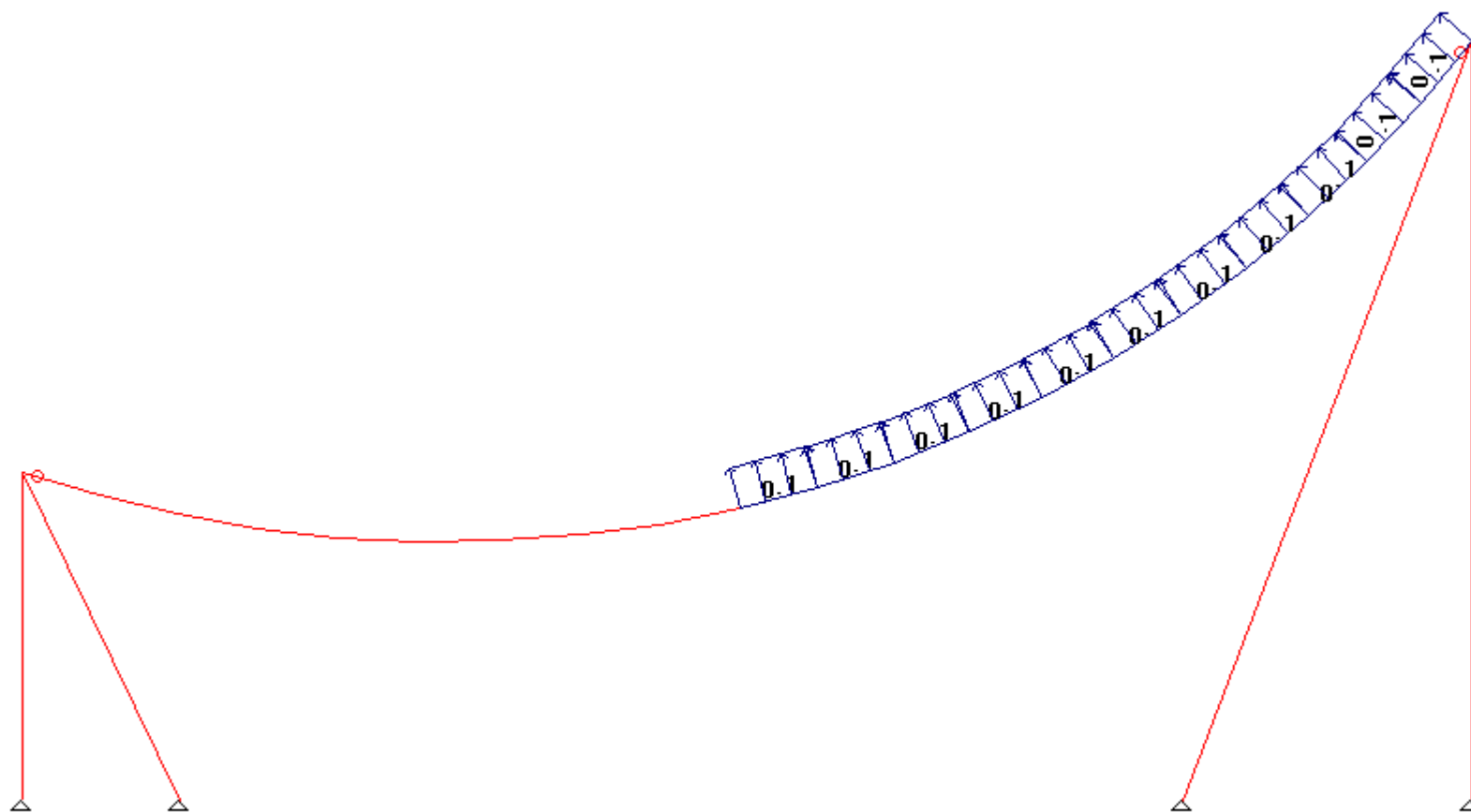
APOYOS



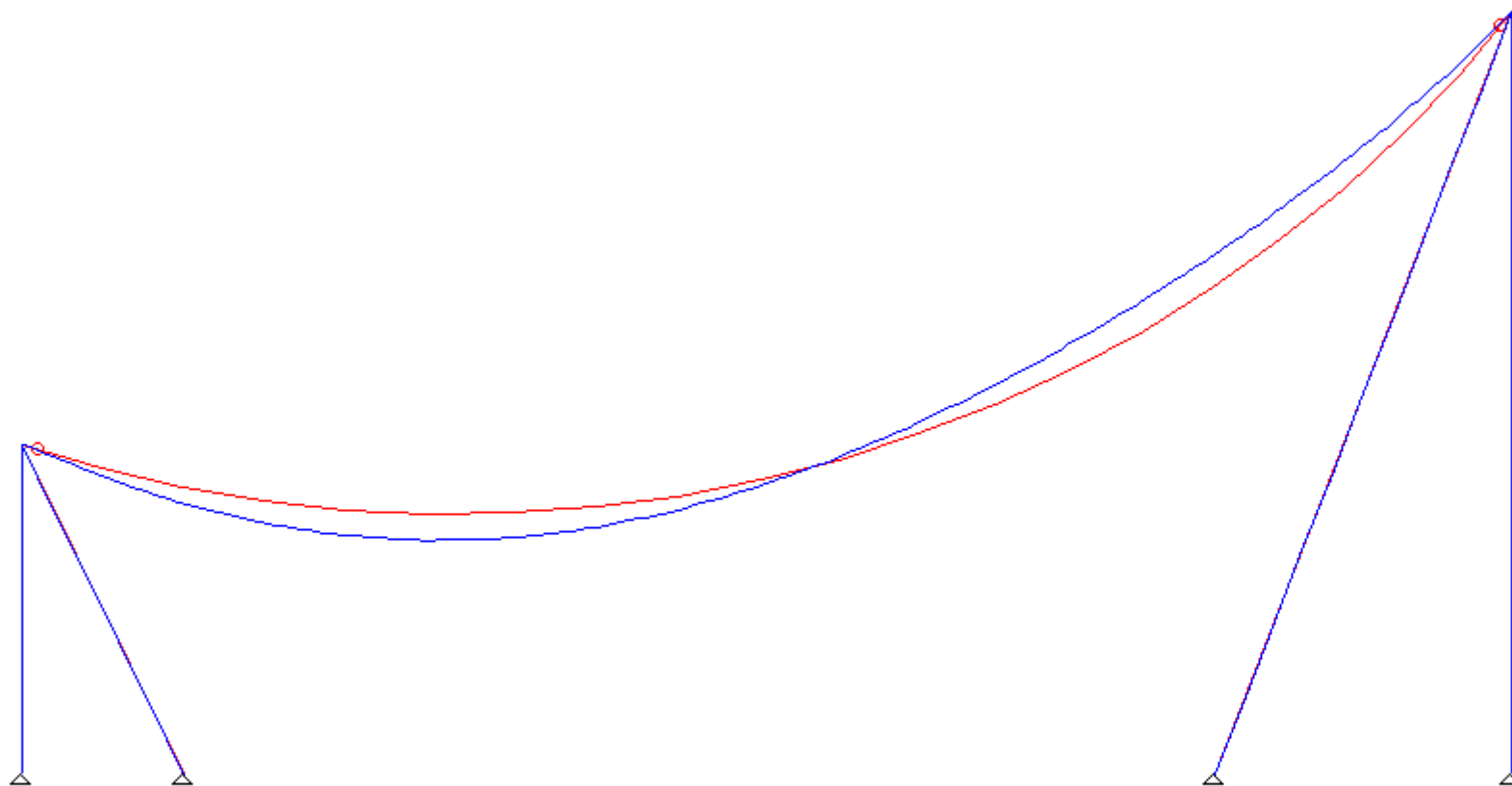
APOYOS



FUNICULAR DE LAS CARGAS

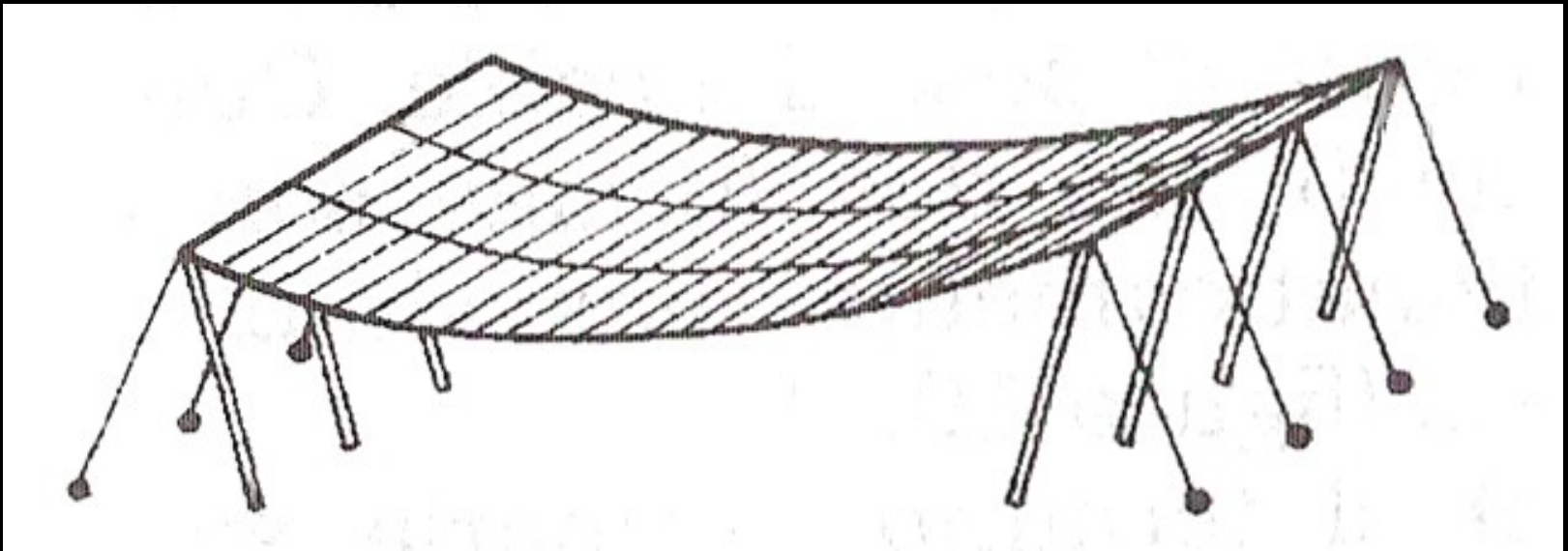


SOBRECARGAS VARIABLES

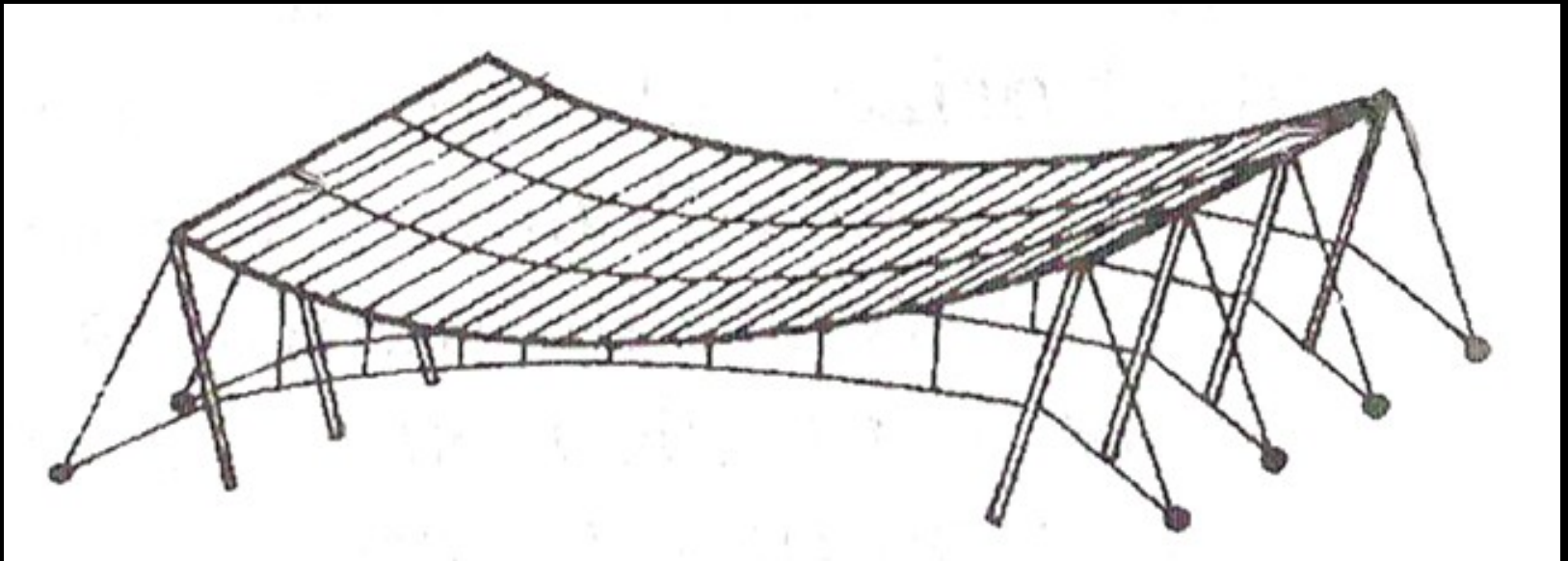


INESTABILIDAD DE LA FORMA

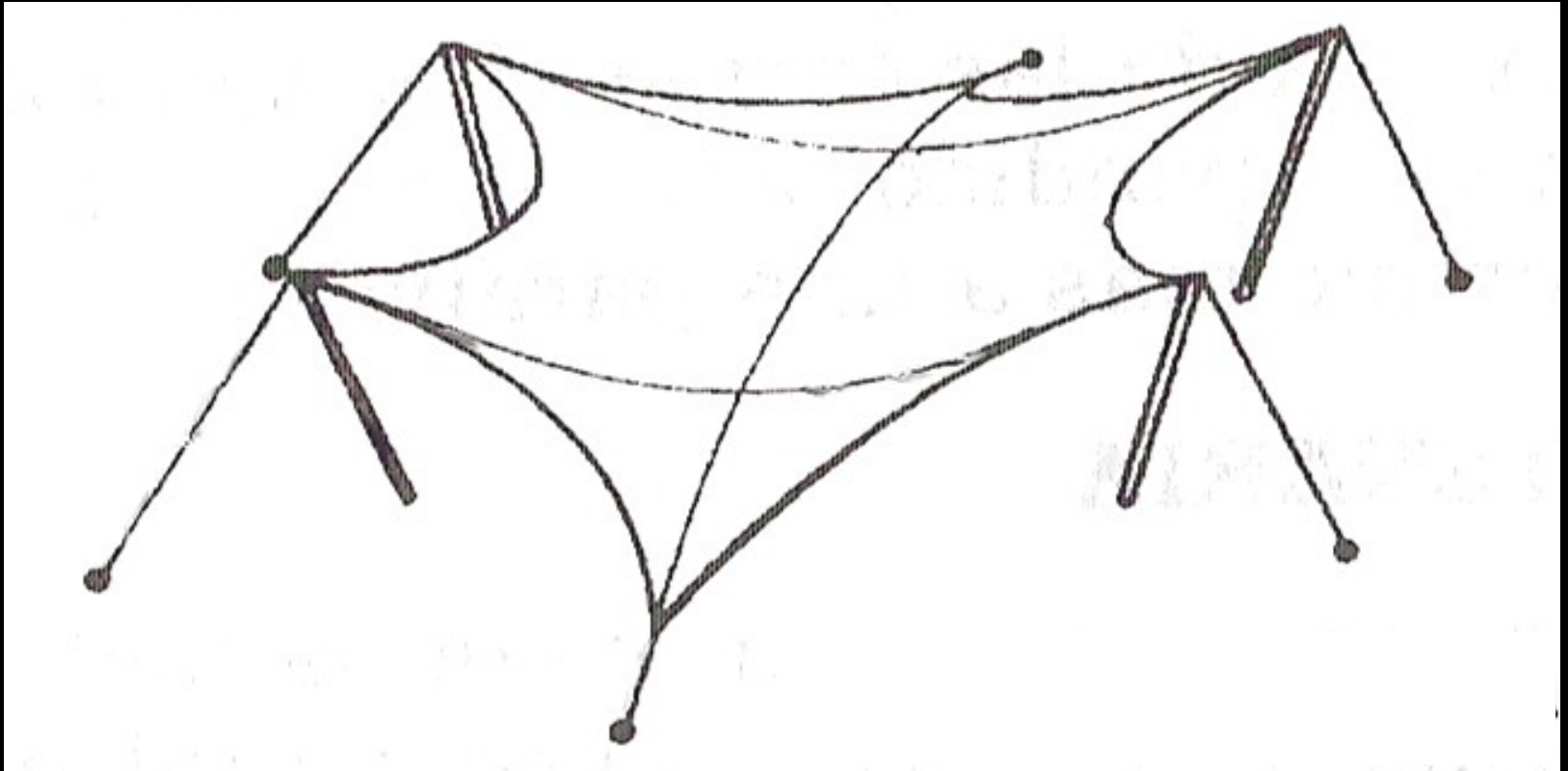
CURVATURA SIMPLE ESTABILIZADAS POR PESO



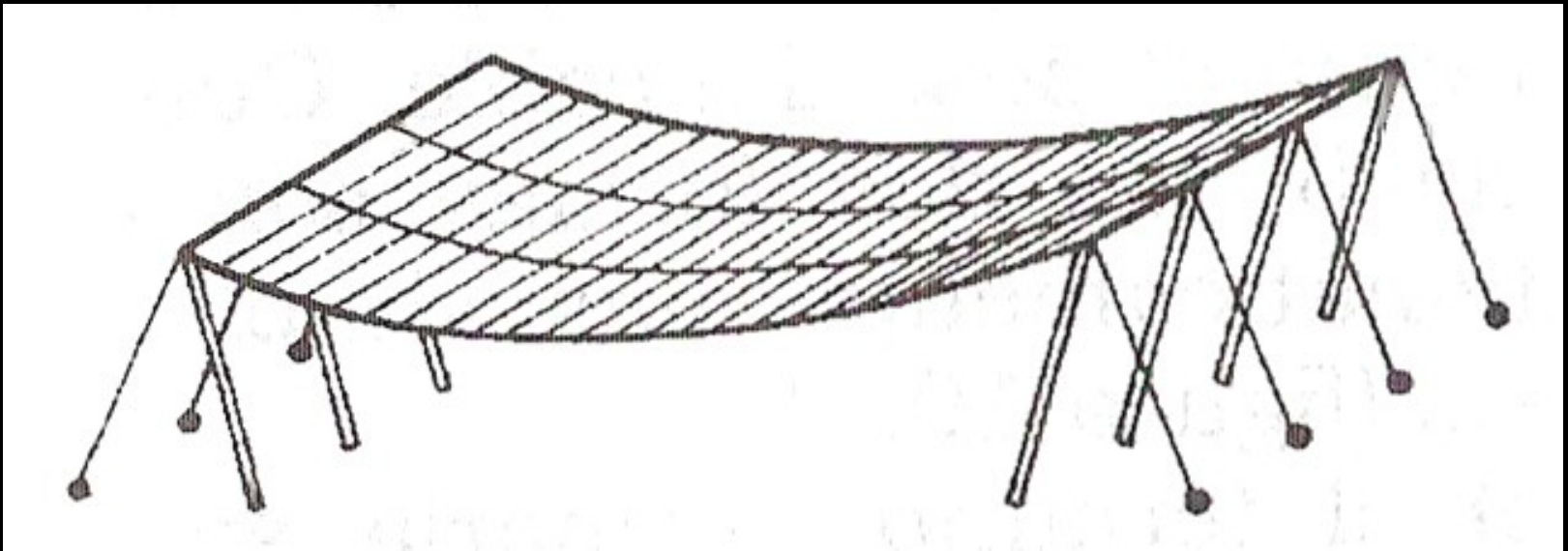
DOBLE CABLEADO CON CABLES ESTABILIZADORES



DOBLE CURVATURA TENSOESTRUCTURAS



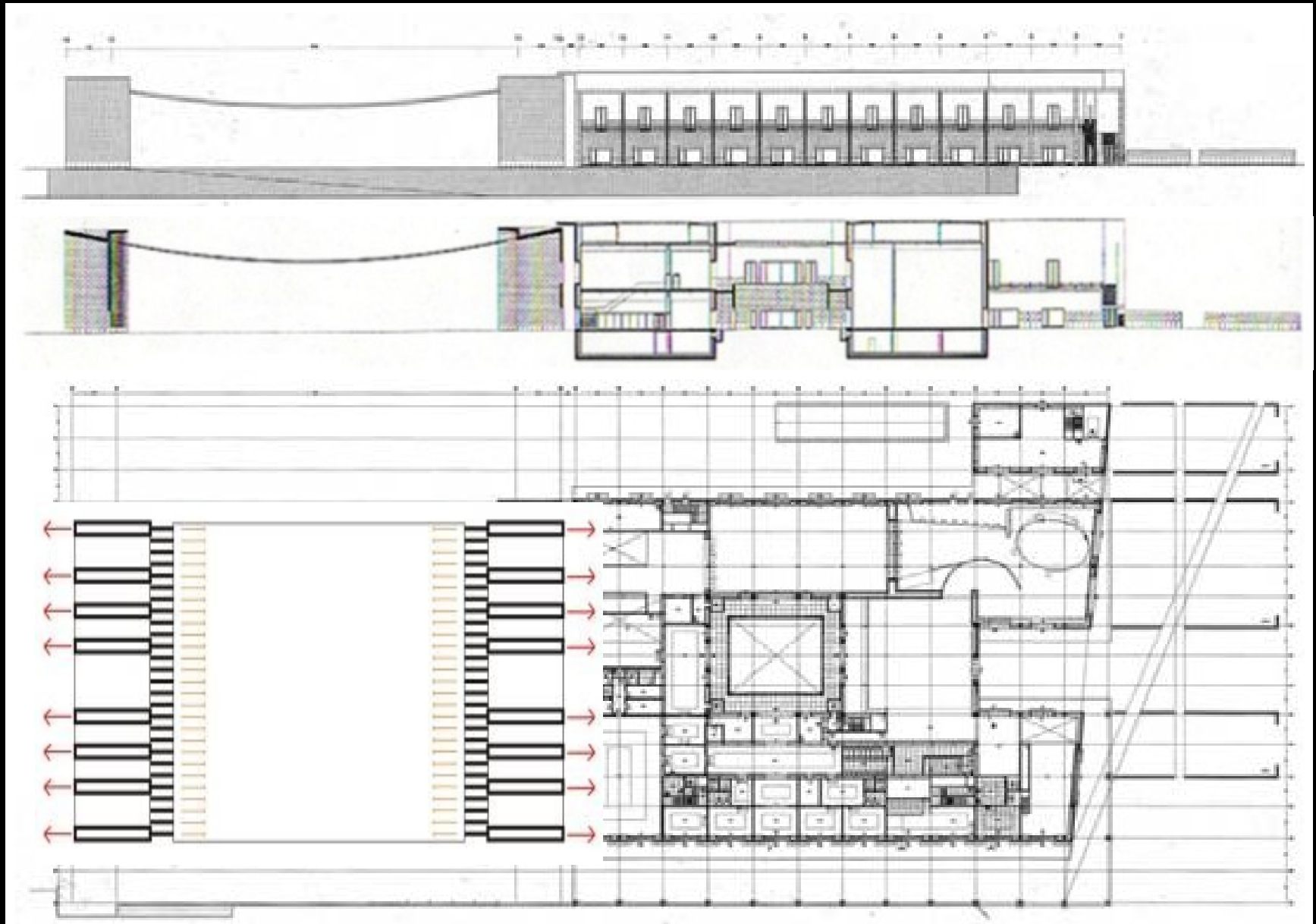
CURVATURA SIMPLE ESTABILIZADAS POR PESO



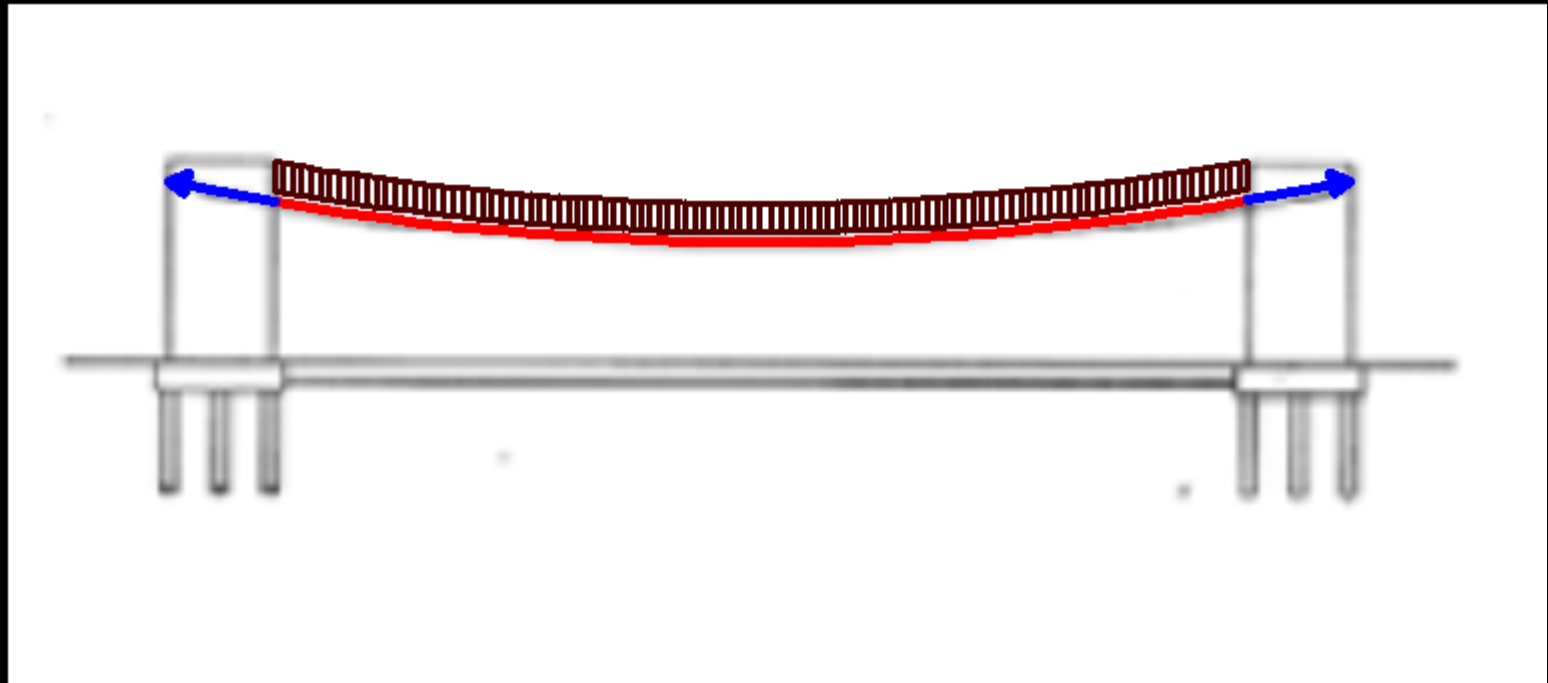
PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98



PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98



PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98

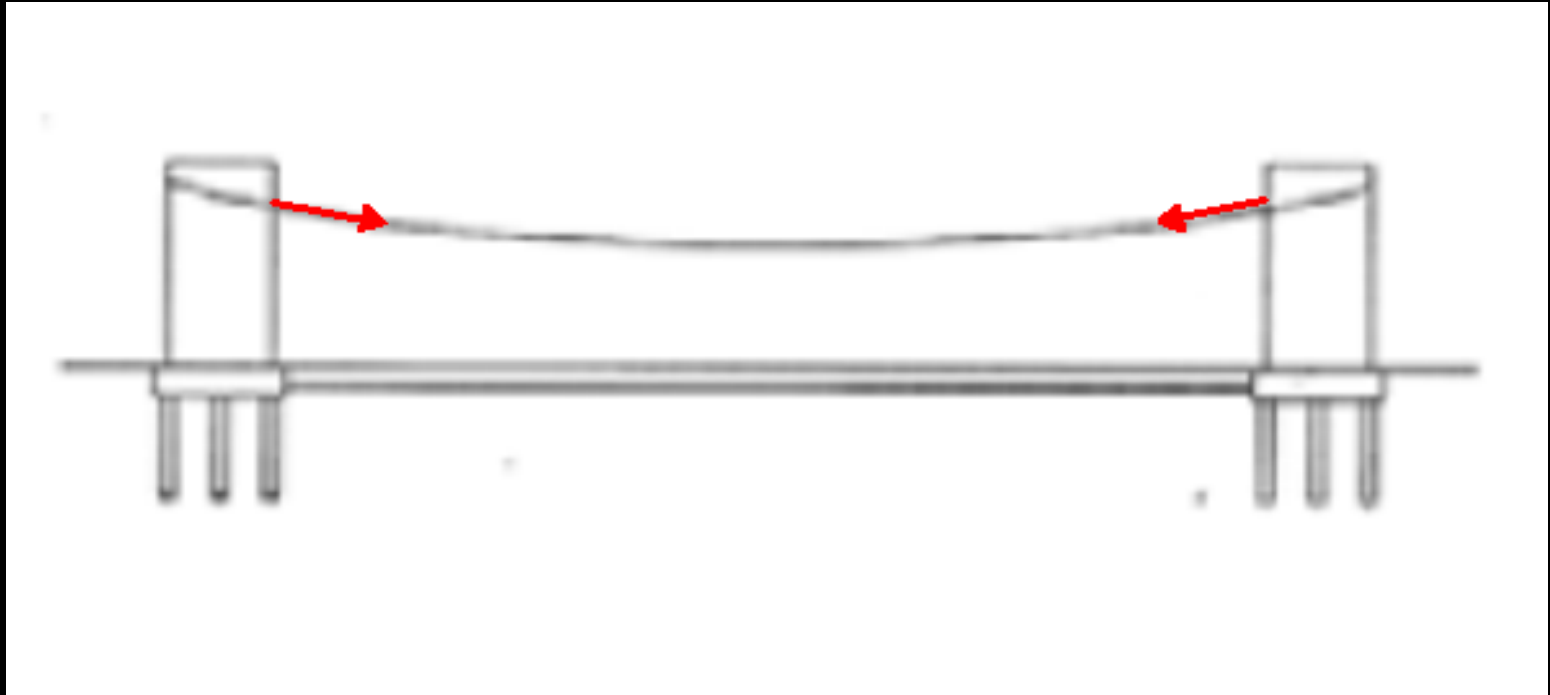


Datos

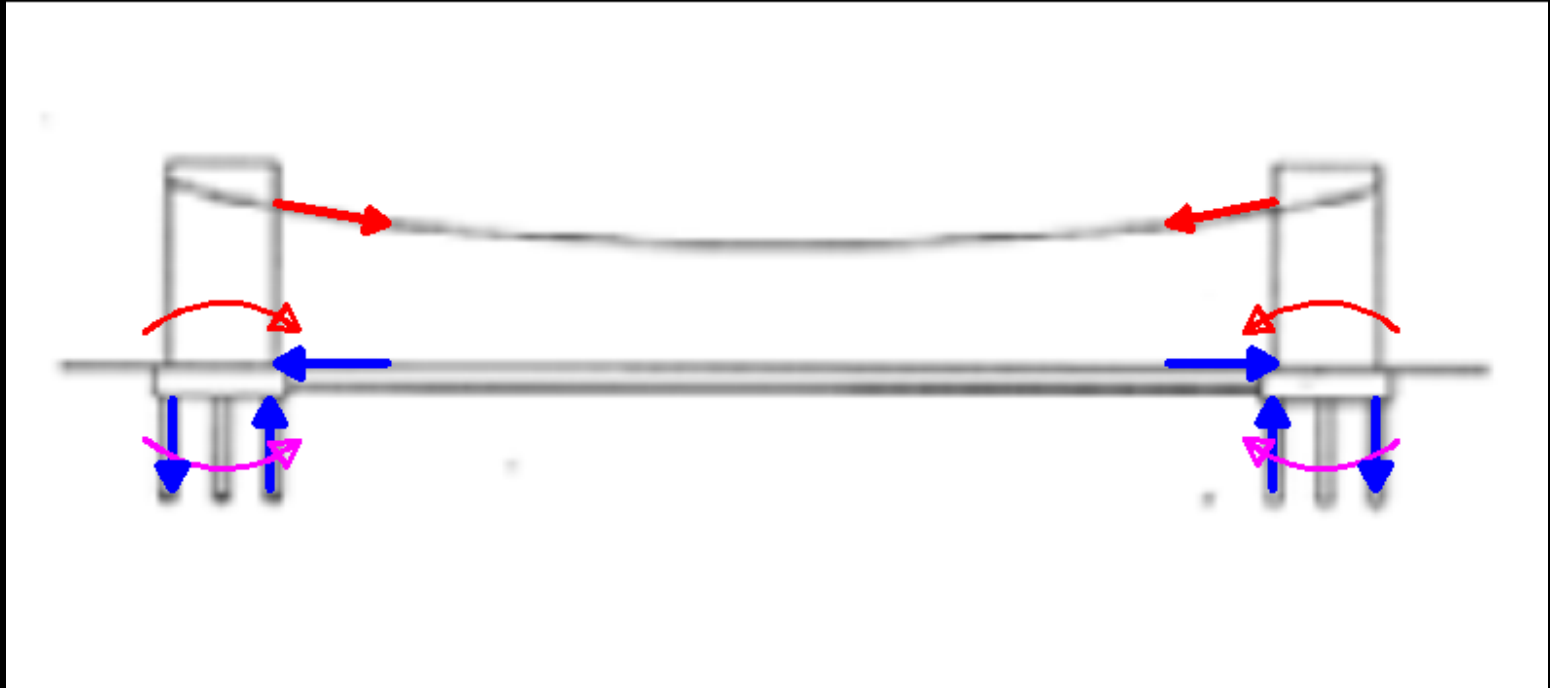
$$l = 65,00\text{m}; h = 3,00\text{m}$$

$$\text{Relación flecha / luz} \quad \lambda = 1 / 20$$

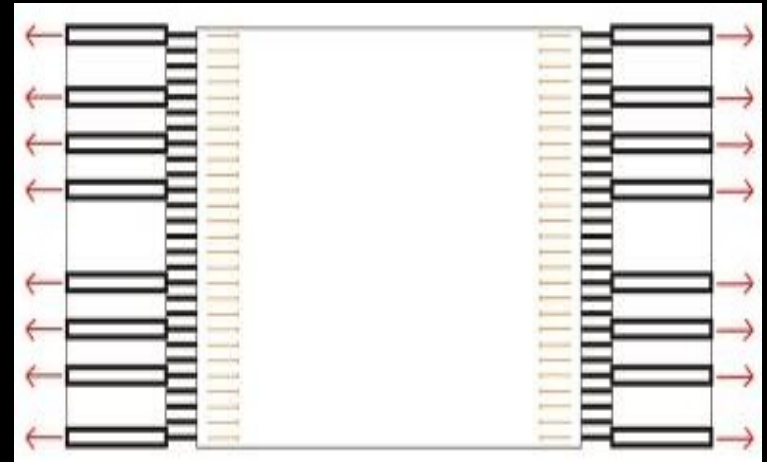
PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98



PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98



PABELLON DE PORTUGAL – EXPO LISBOA 98



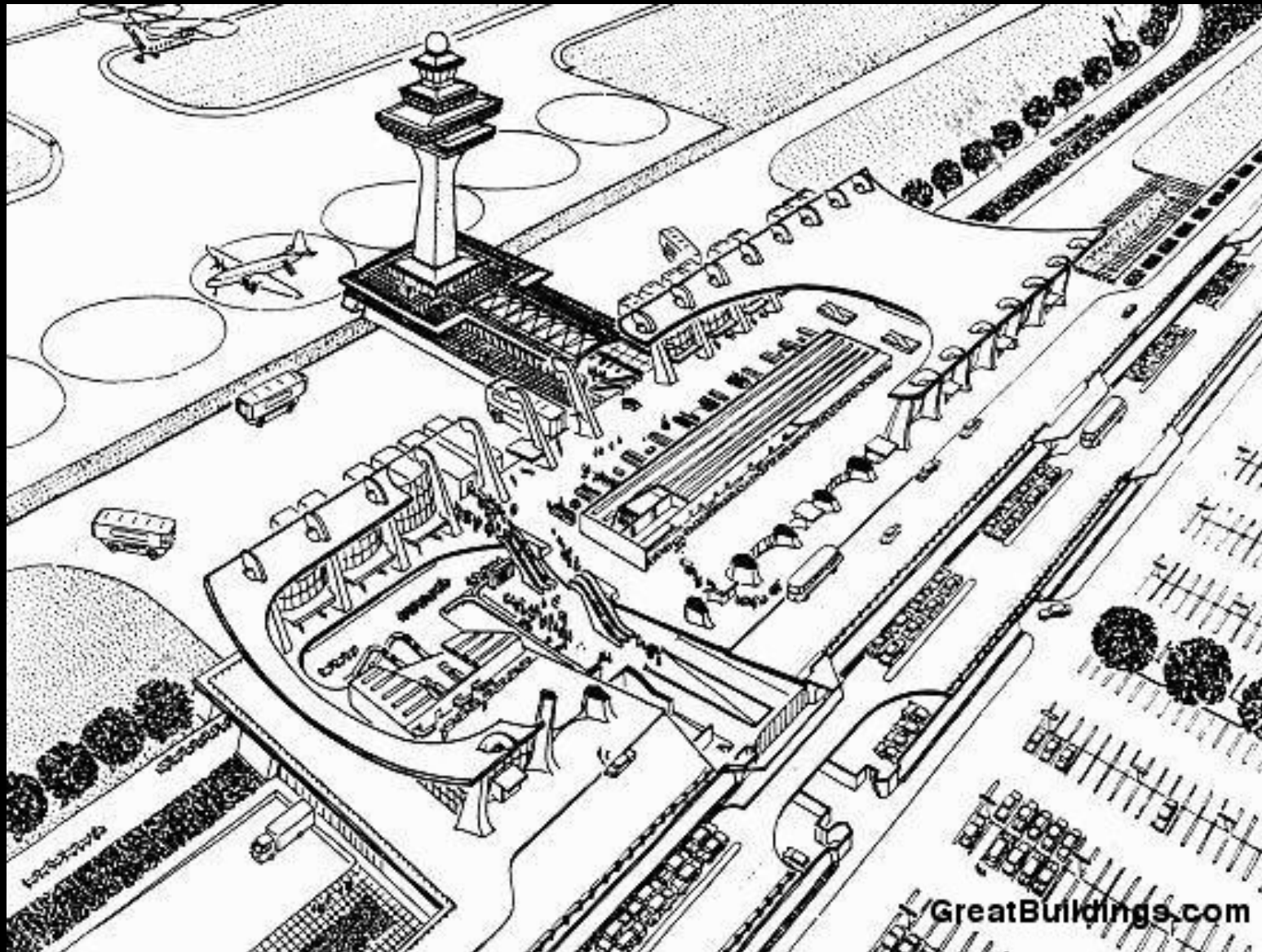
Lisboa, Portugal - Año 1998 – Alvaro Siza

TERMINAL DE DULLES



Washington, USA - Año 1962 – Eero Saarinen

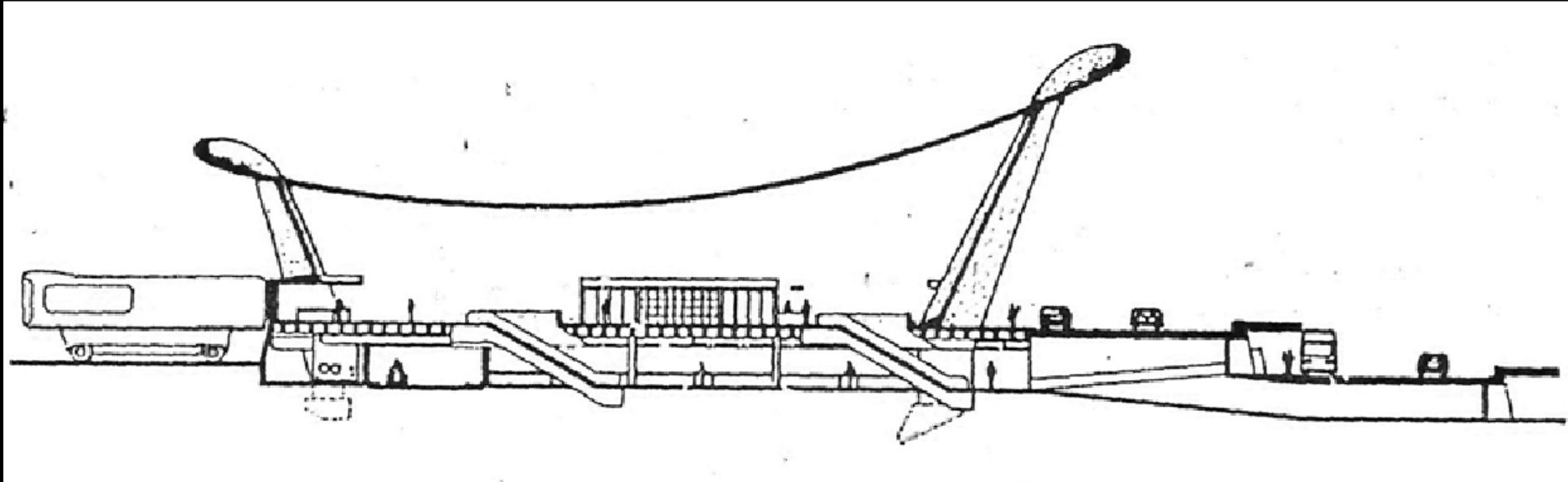
TERMINAL DE DULLES



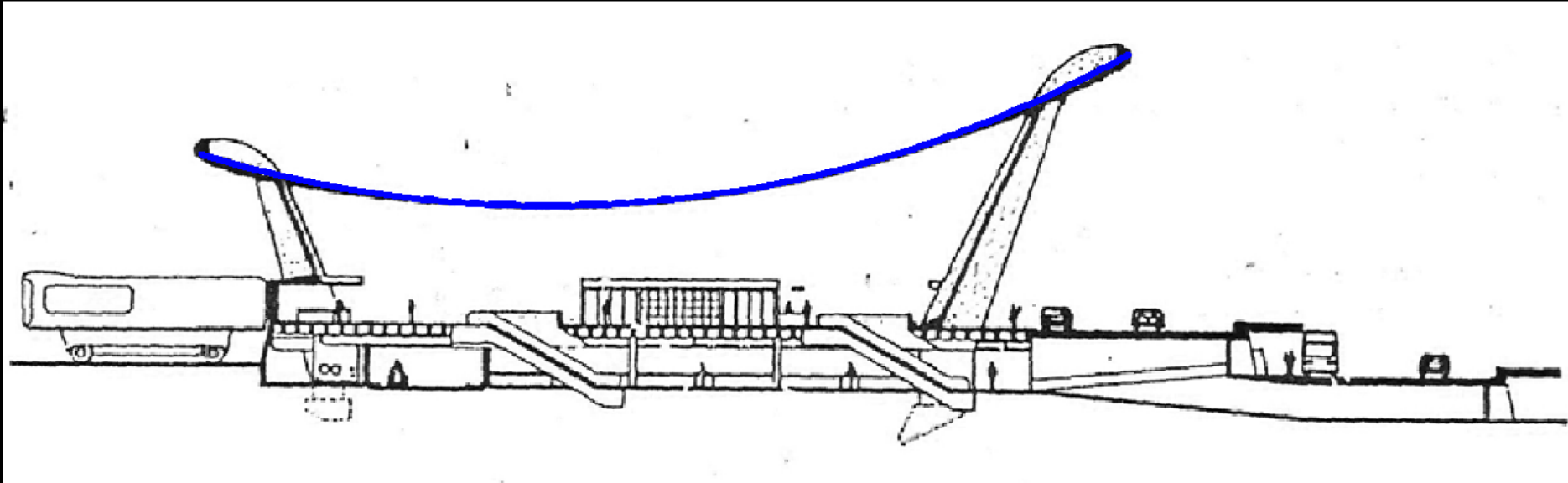
TERMINAL DE DULLES



TERMINAL DE DULLES



TERMINAL DE DULLES

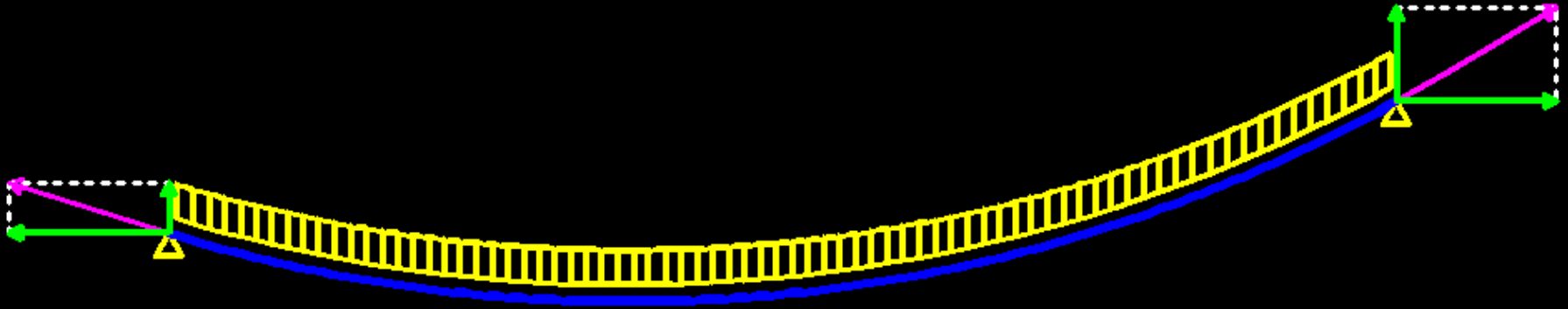


TERMINAL DE DULLES



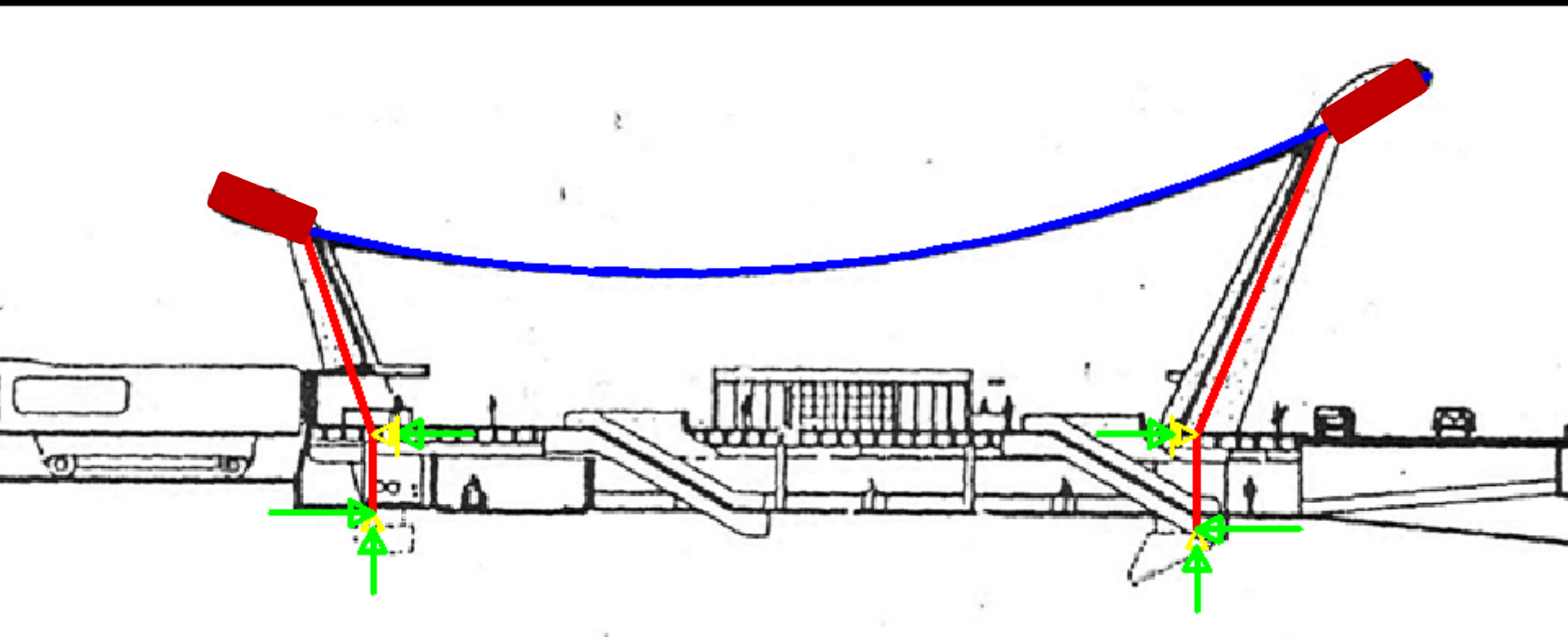
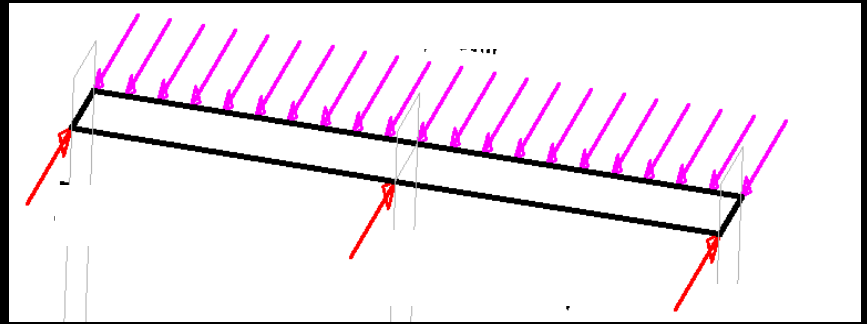
Washington, USA - Año 1962 – Eero Saarinen

TERMINAL DE DULLES



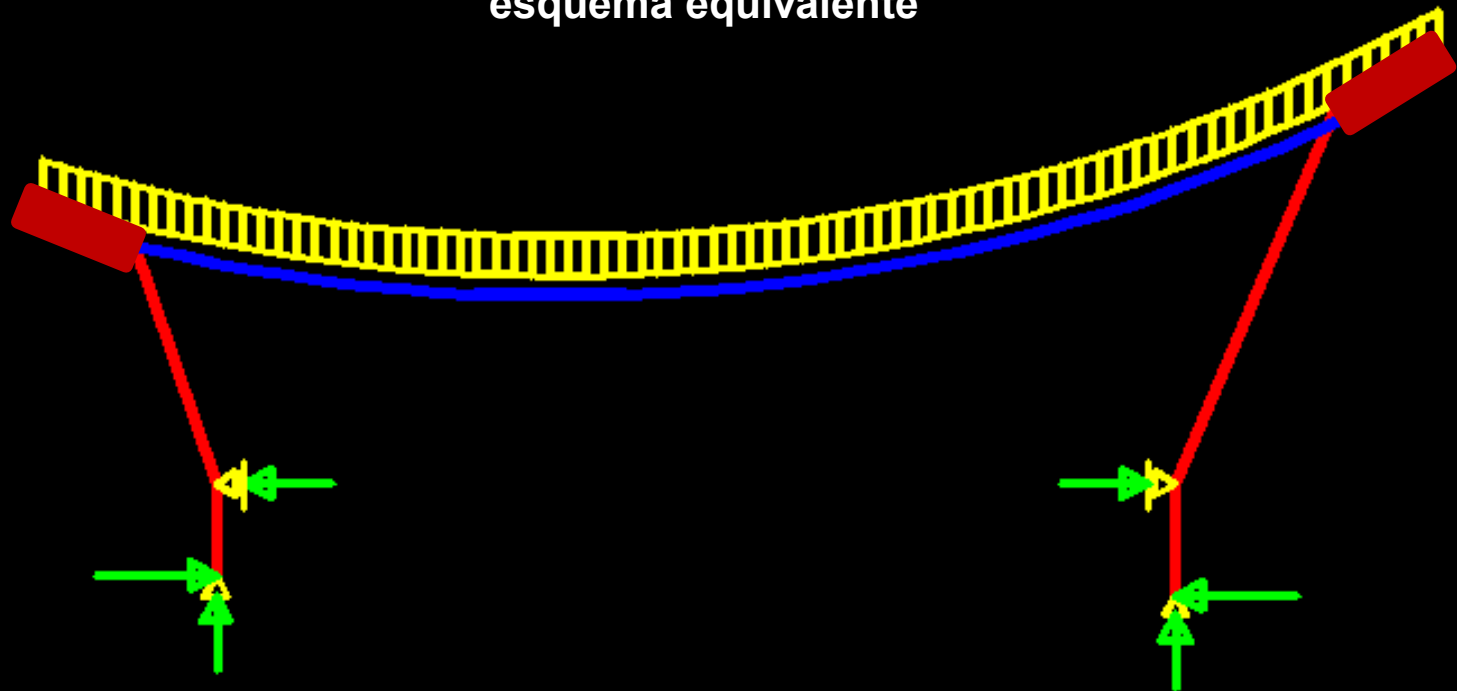
Relación flecha / luz $\lambda = 1 / 10$

TERMINAL DE DULLES

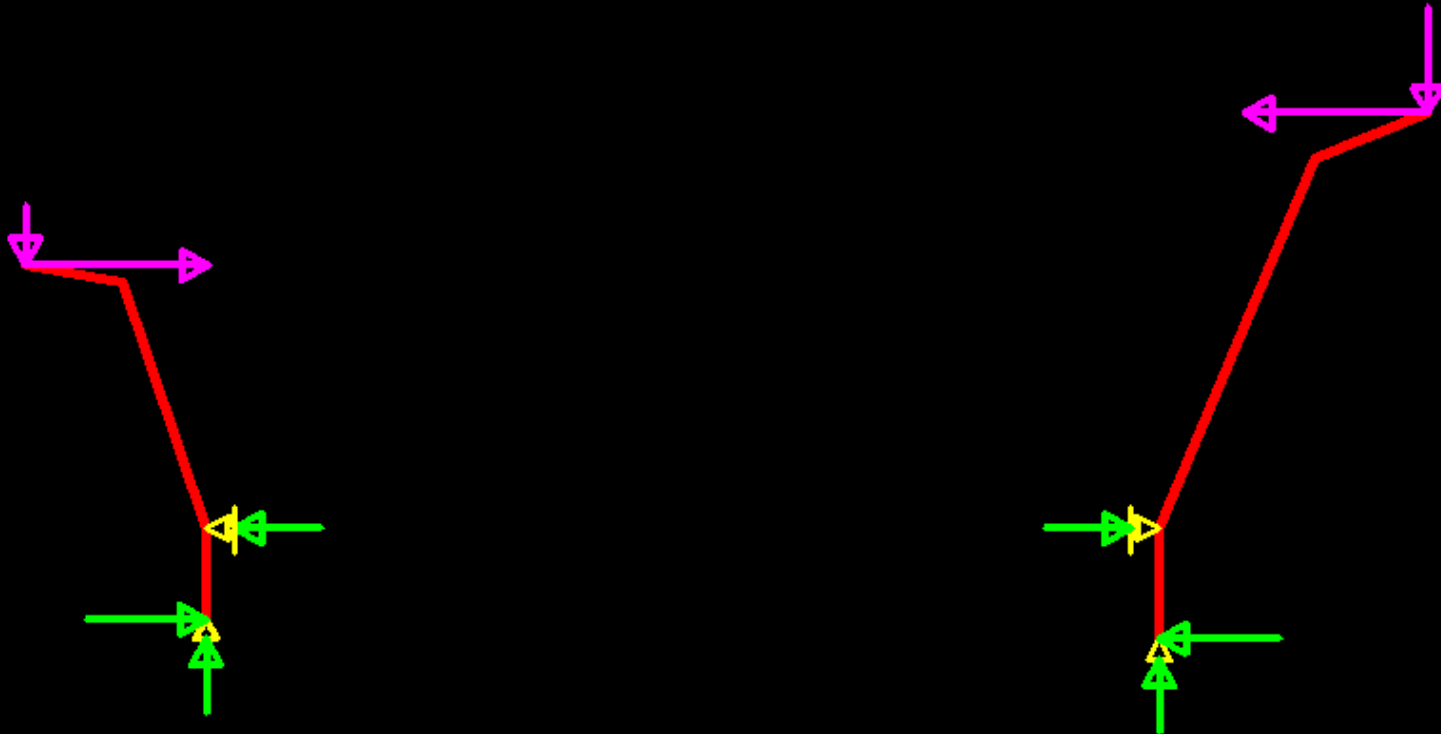


TERMINAL DE DULLES

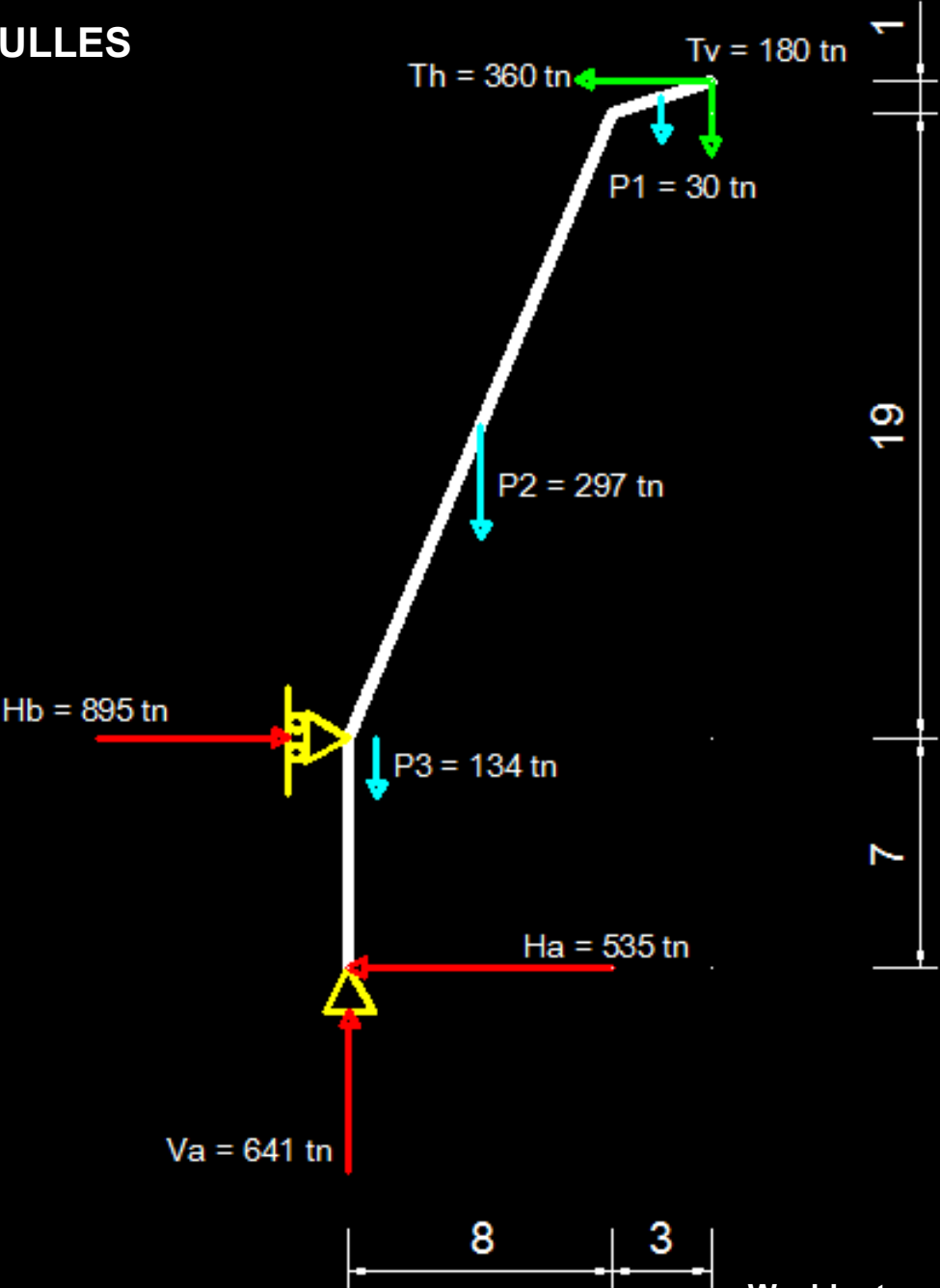
esquema equivalente



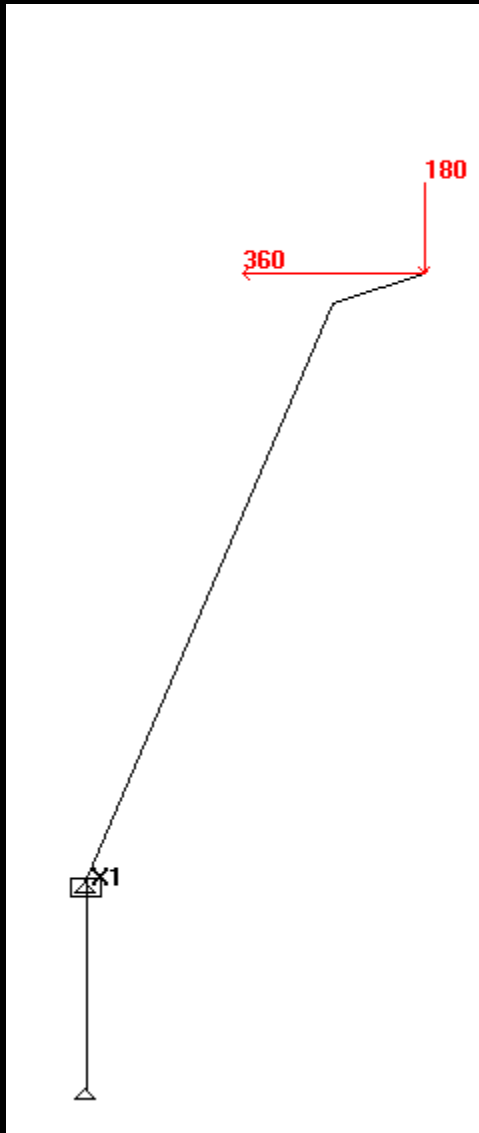
TERMINAL DE DULLES



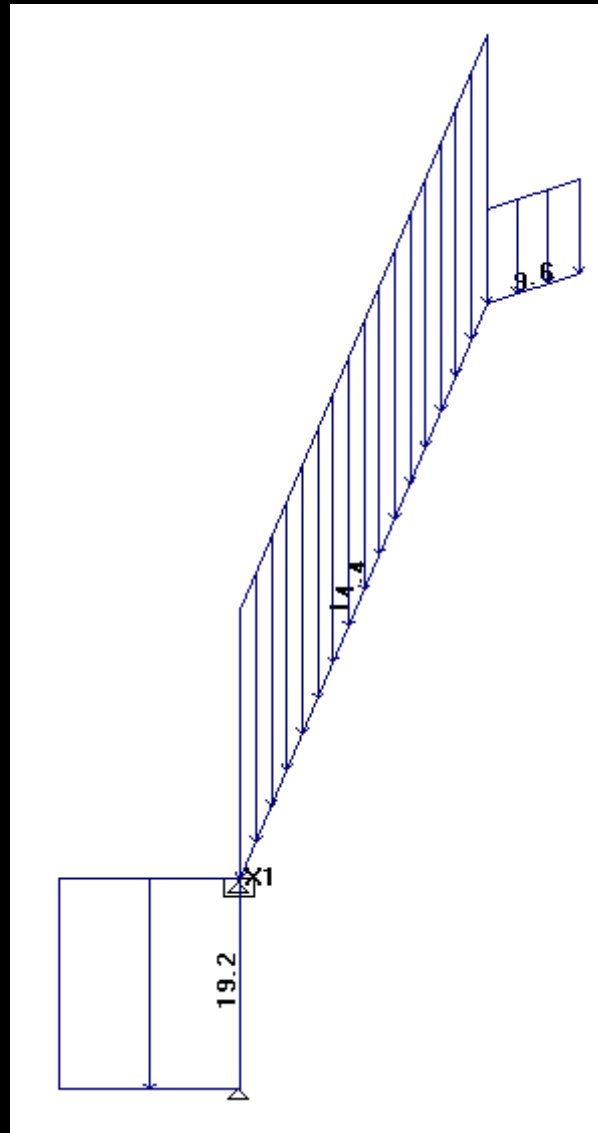
TERMINAL DE DULLES



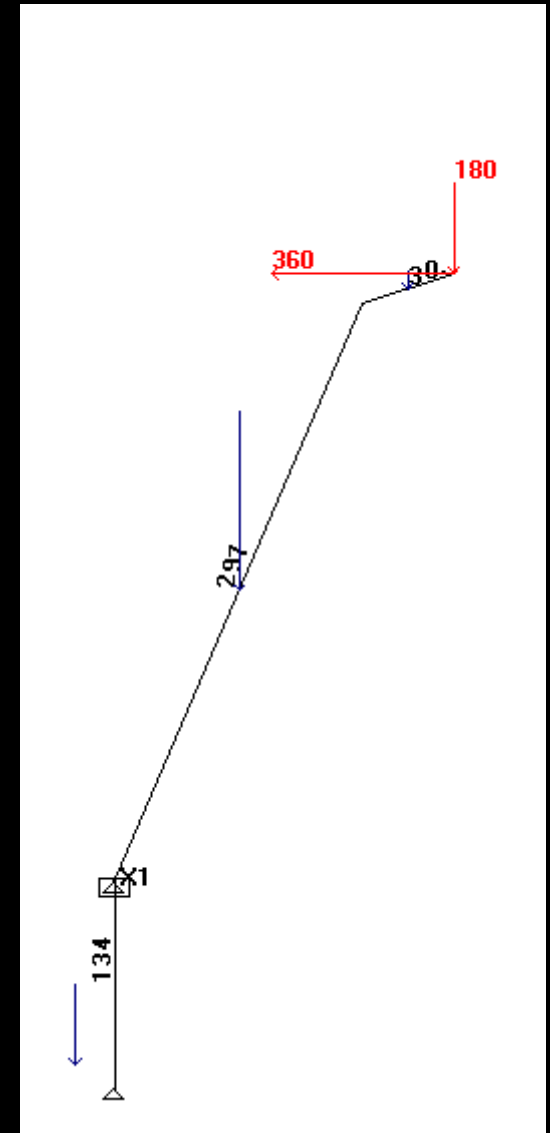
TERMINAL DE DULLES



Acción del Cable

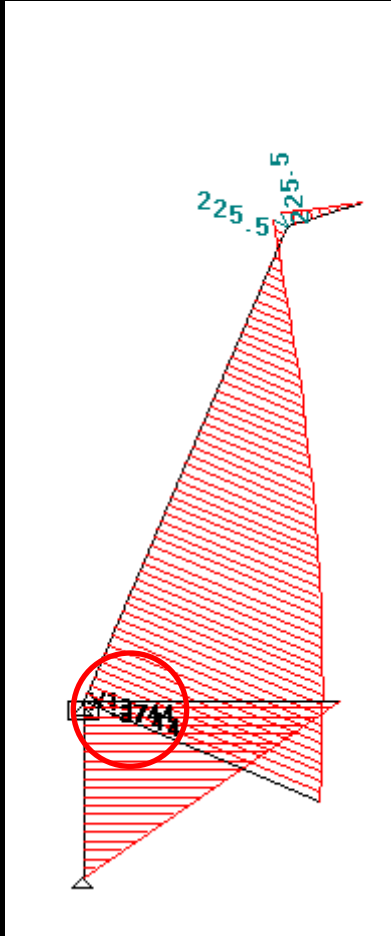


Peso Propio del Apoyo

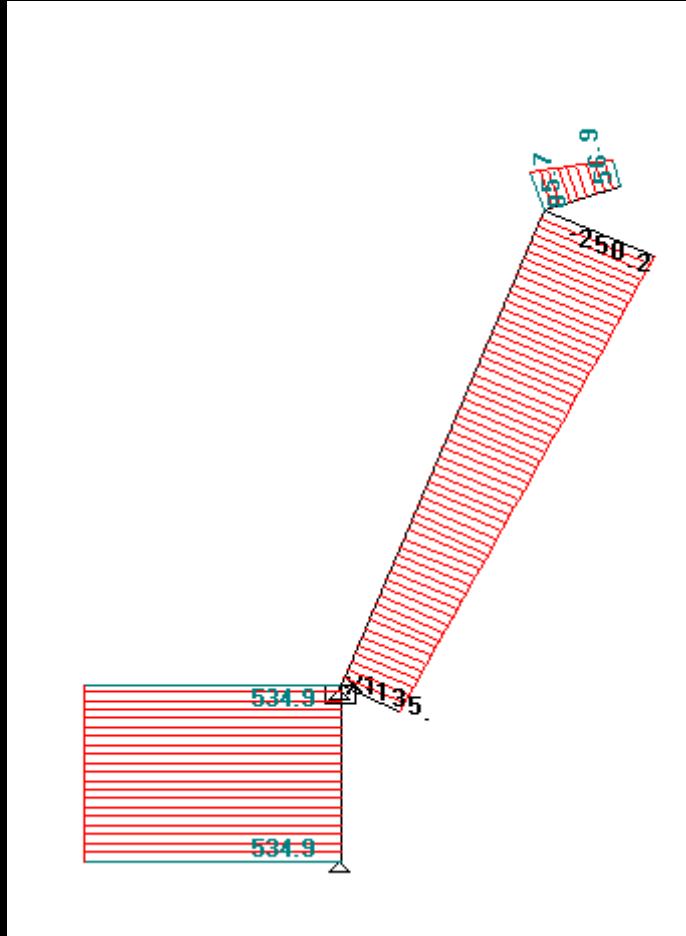


Combinación de Cargas

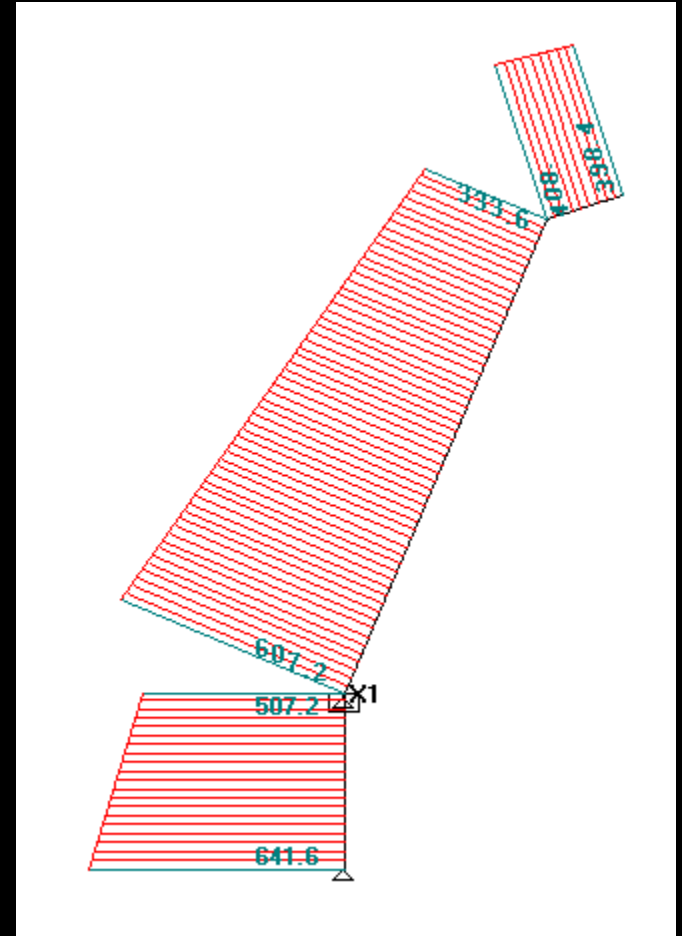
TERMINAL DE DULLES



MomentosFlectores



Esfuerzos de Corte



Esfuerzos Normales

TERMINAL DE DULLES



Washington, USA - Año 1962 – Eero Saarinen

TERMINAL DE DULLES

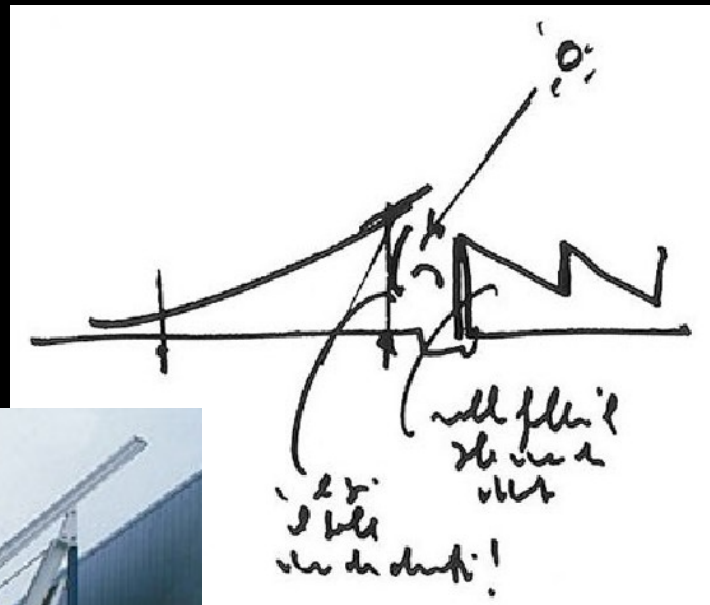


Washington, USA - Año 1962 – Eero Saarinen

TERMINAL DE DULLES

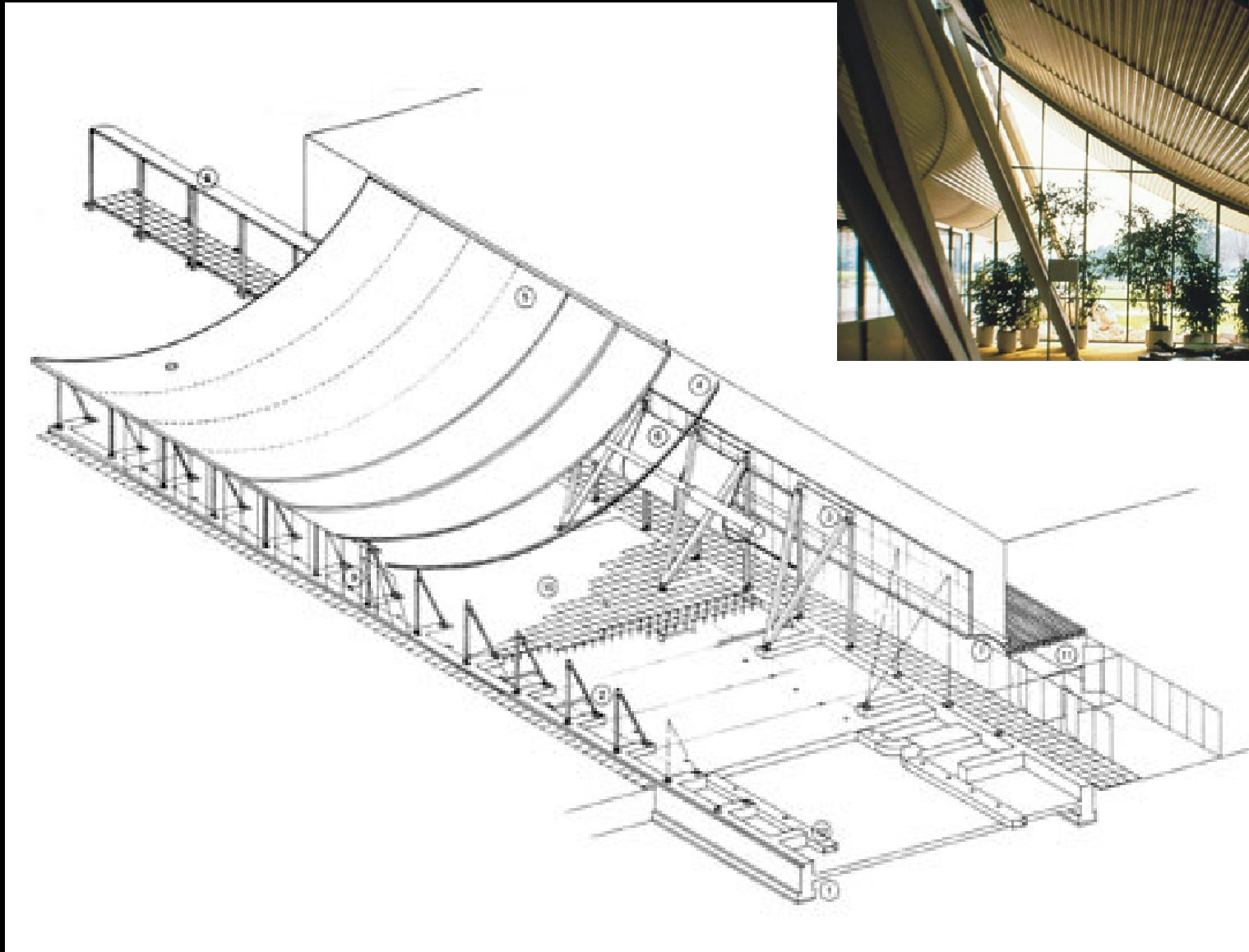


OFICINAS LOWARA

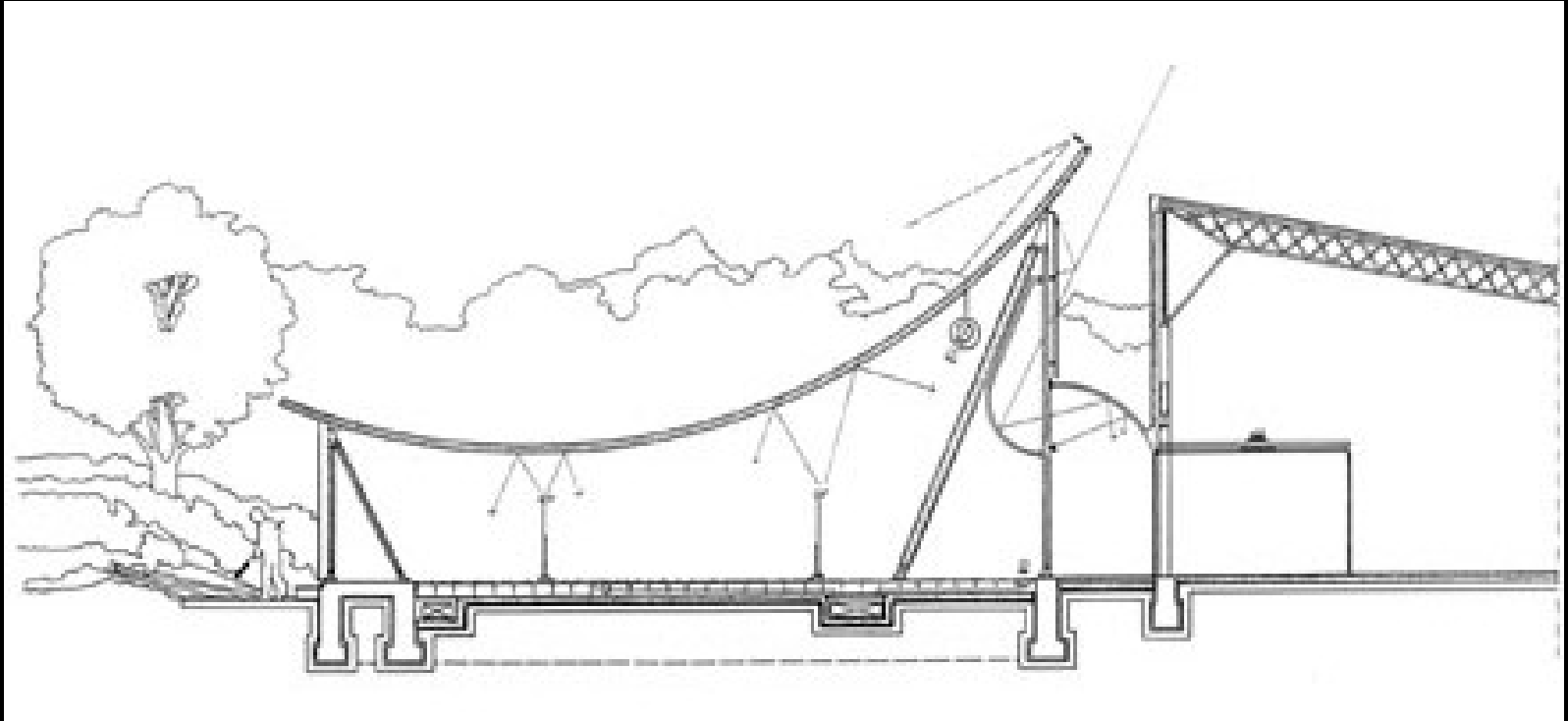


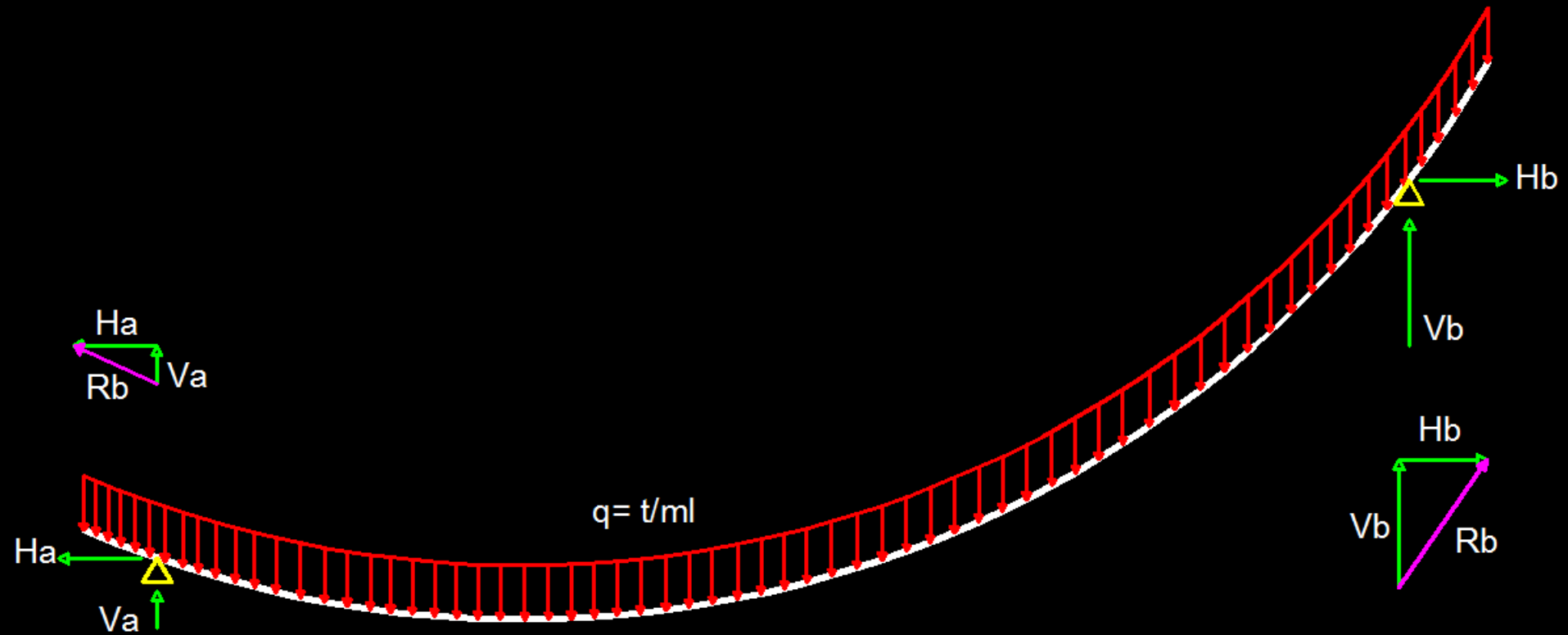
Montecchio, Italia - Año 1984 / 1985 – Renzo Piano

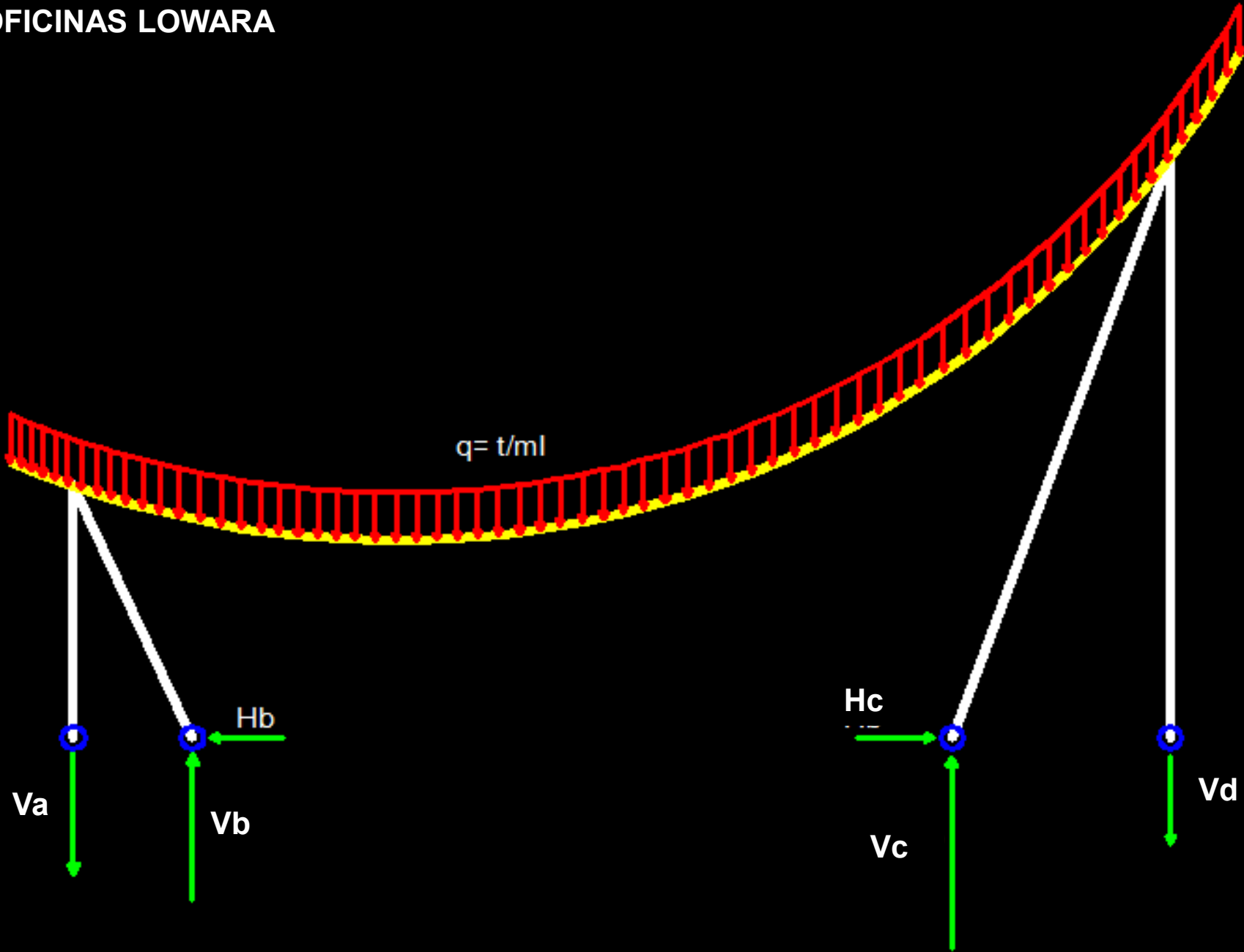
OFICINAS LOWARA

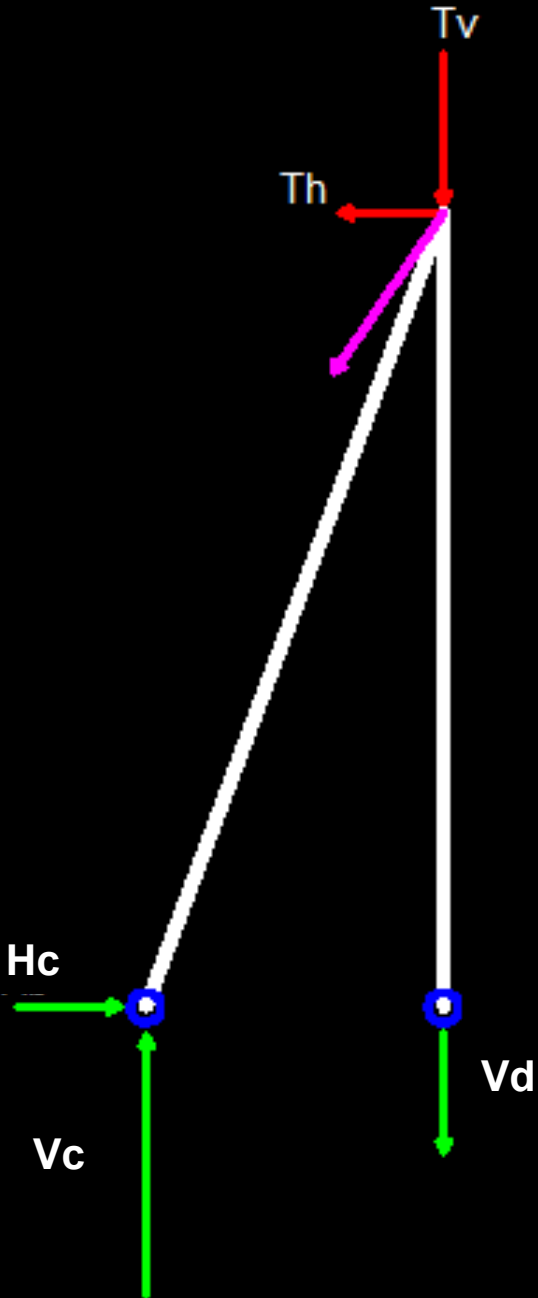
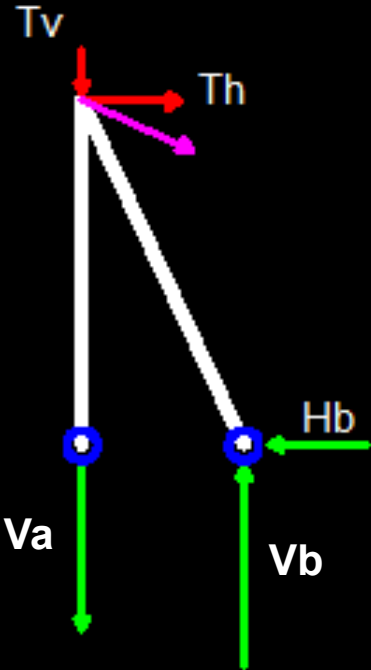


OFICINAS LOWARA







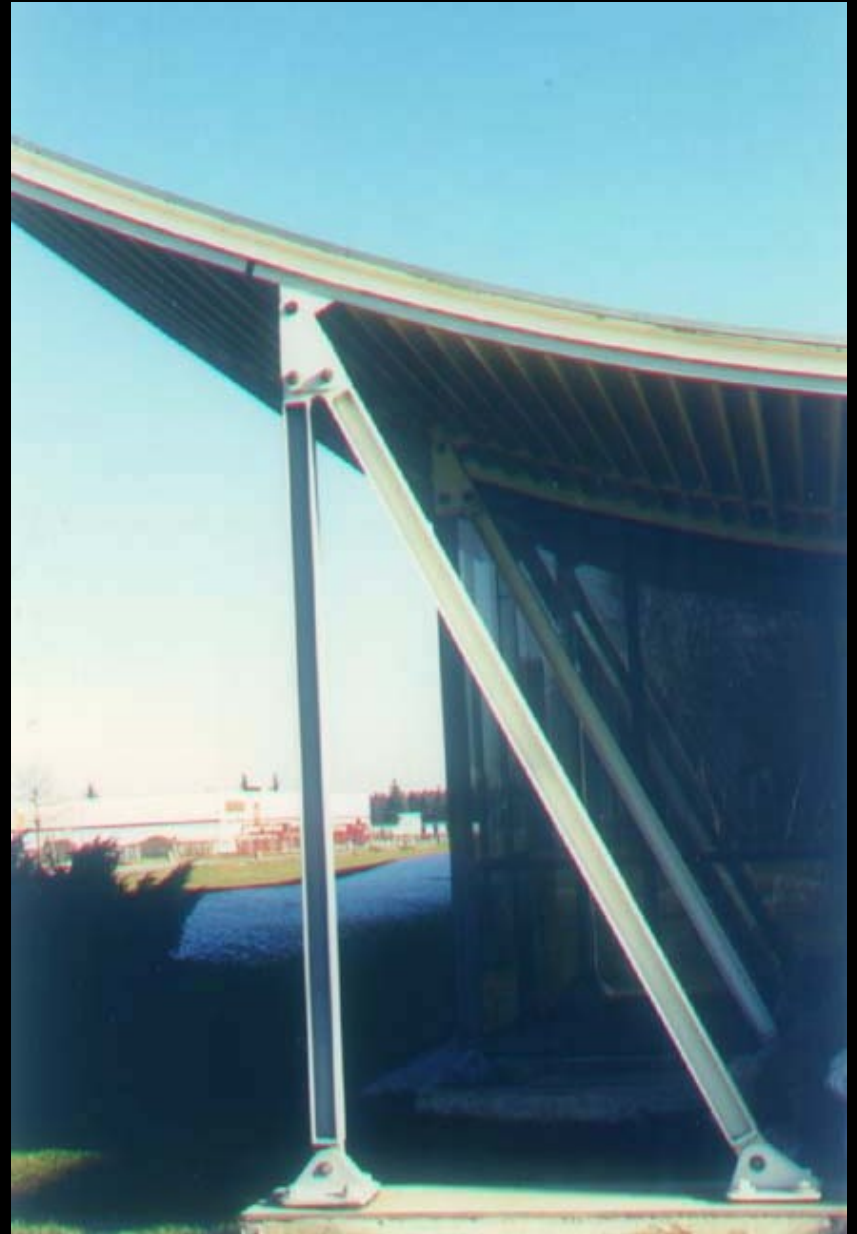


OFICINAS LOWARA



Montecchio, Italia - Año 1984 / 1985 – Renzo Piano

OFICINAS LOWARA



Montecchio, Italia - Año 1984 / 1985 – Renzo Piano



CABLES DE ACERO

Los cordones pueden llegar a poseer distintos tipos de **trenzado**:

Fig. 8

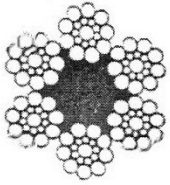


Fig. 9

Trenzado Seale: Está formado por una capa de alambres exteriores más gruesos, a los que sigue otra capa de alambres más finos alrededor de un núcleo más grueso. (Fig. 9)

Son menos flexibles que los demás pero la capa exterior más gruesa ofrece mayor resistencia al desgaste.

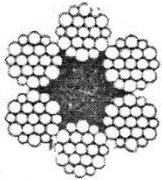


Fig. 10

Trenzado Warrington: La capa exterior está formada por alambres gruesos y finos dispuestos en forma alternada (Fig. 10) mientras que en las capas interiores solo hay alambres gruesos.

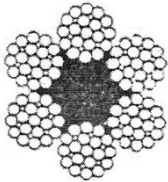
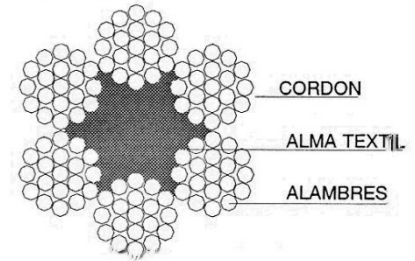


Fig. 11: Trenzado
Filler 6 x 19 x 1

Trenzado Filler: La capa principal de los cordones está compuesta por alambres gruesos del mismo diámetro, mientras que los espacios que estos dejan se rellenan con alambres finos para hacer más compactos los cordones. (Fig. 11)

CABLE DE ACERO



Denominamos arrollamiento de un cable al sentido en que los cordones están cableados o arrollados alrededor del alma. Básicamente existen 2 tipos de arrollamientos:

Arrollamiento ordinario:

Cuando los alambres de los cordones están trenzados en sentido opuesto al que se arrollan los cordones en el cable. (Fig. 12)

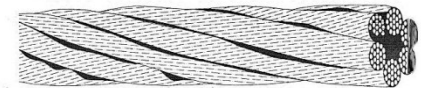


Fig. 12

Arrollamiento Lang:

Cuando los alambres de los cordones son trenzados en el mismo sentido que los cordones en el cable. (Fig. 13)

Son más flexibles, aunque tienen una mayor tendencia a destorcerse.

Tienen mayor superficie de contacto, lo que resulta ventajoso para ser utilizado en instalaciones que estén sometidas a un gran desgaste por fricción.

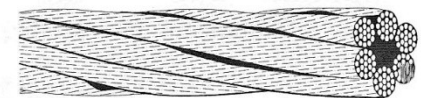
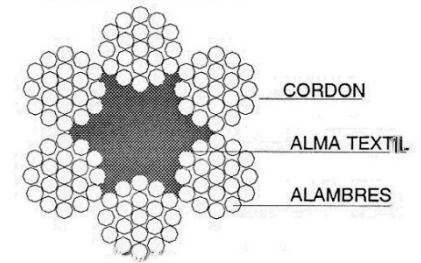


Fig. 13

CABLE DE ACERO



¿Cómo se miden los diámetros de los cables?

La forma correcta de medición es entre aristas, como se indica en la figura 14, y no entre caras.

Como aplicación de las expresiones matemáticas desarrolladas y de los conceptos expuestos, a continuación resolveremos un ejemplo numérico muy sencillo de dimensionado.

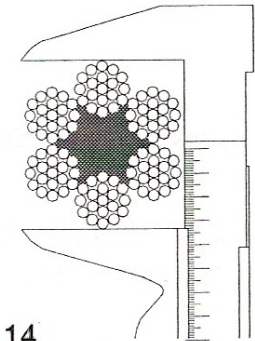
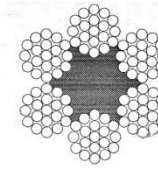


Fig. 14

Tabla Nº 1
Cable flexible
6 Cordones – 19 Alambres – 1 Alma textil



6 x 19 x 1

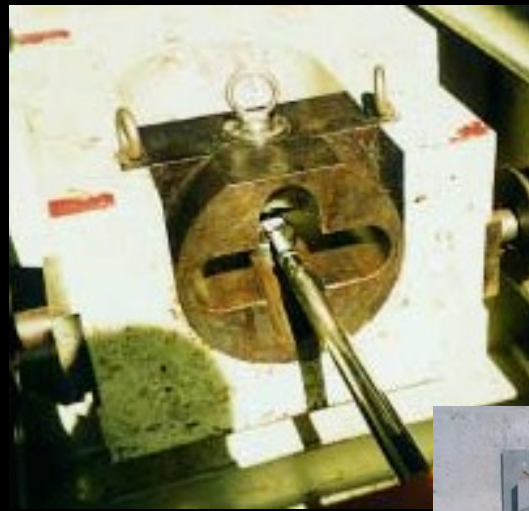
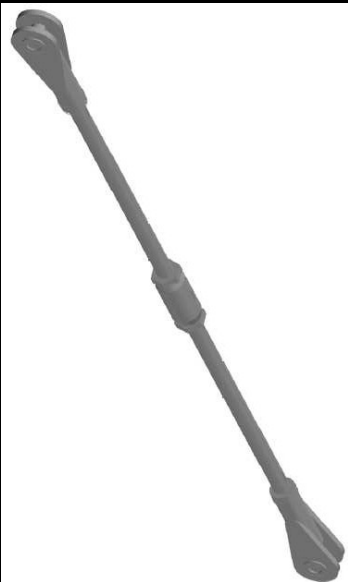
Diámetro del cable (mm.)	Peso aprox. (kg/m)	Cargas de rotura en kilogramos					
		110 kg/mm2	125 kg/mm2	140 kg/mm2	160 kg/mm2	175 kg/mm2	190 kg/mm2
4.76	0.011	1.000	1.040	1.280	1.460	1.600	1.740
6.00	0.135	1.570	1.780	2.000	2.280	2.500	2.710
6.35	0.150	1.720	1.960	2.190	2.510	2.740	2.980
7.00	0.177	2.070	2.360	2.640	3.020	3.300	3.590
8.00	0.236	2.750	3.130	3.510	4.010	4.380	4.760
9.00	0.300	2.540	4.020	4.500	5.150	5.630	6.110
9.53	0.340	3.900	4.430	4.970	5.680	6.210	6.740
11.00	0.450	5.230	5.950	6.660	7.610	8.330	9.040
12.00	0.530	6.290	7.150	8.000	8.150	10.010	10.860
12.70	0.580	6.770	7.700	8.620	9.850	10.780	11.700
14.00	0.690	7.970	9.060	10.150	11.600	12.680	13.770
16.00	0.915	10.840	12.320	12.800	15.770	7.250	18.730
17.00	1.000	11.910	13.530	15.160	17.320	18.950	20.570
19.00	1.310	15.370	17.470	19.570	22.360	24.460	26.560
21.00	1.620	18.300	21.930	24.570	24.080	30.710	33.340
22.00	1.780	20.700	23.520	26.340	30.110	32.930	35.750
24.00	2.170	25.210	28.650	32.080	36.670	40.110	43.540
25.40	2.320	26.800	30.460	34.110	38.990	42.640	46.300
27.00	2.740	31.900	36.250	40.600	46.400	50.750	55.100
28.00	2.930	33.700	38.300	42.890	49.020	53.620	56.210
29.00	3.050	35.550	40.400	45.240	51.710	56.560	61.400
31.00	3.560	41.380	47.020	52.660	60.190	65.830	71.470
32.00	3.730	43.430	49.360	55.780	63.180	69.100	75.030
34.00	4.280	49.850	56.650	63.440	72.510	79.310	86.100
36.00	4.910	35.550	40.400	45.240	51.710	56.560	61.400
38.00	5.300	41.380	47.020	52.660	60.190	65.830	71.470
40.00	5.810	43.430	49.360	55.780	63.180	69.100	75.030

16000 Kg/cm2

Tabla Nº 5

Resistencia de los alambres que conforman los cables de acuerdo a las aplicaciones y condiciones de trabajo a que serán sometidos

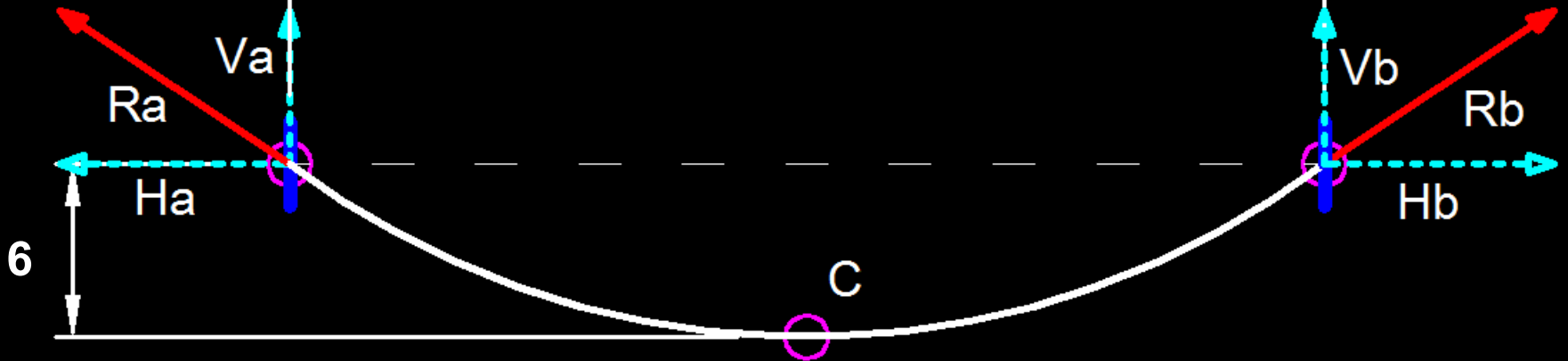
Tensión de Rotura de los alambres	Aplicaciones más generales
40/70 Kg/mm ² 70/90 Kg/mm ² 90/110 Kg/mm ²	Cables y cordones fijos que no trabajan sobre tambores ni poleas, como ser riendas, cables de suspensión para líneas telefónicas, etc.
110/125 Kg/mm ² 125/140 Kg/mm ² 140/160 Kg/mm ²	Grúas, montacargas, máquinas para la construcción, ascensores, guinches, excavadoras, industria petrolera, etc. Estas tres categorías son las más empleadas y dentro de las mismas, la de 140/160 es la preferida generalmente en ingeniería.
160/175 Kg/mm ² 175/190 Kg/mm ²	Instalaciones que trabajan con grandes cargas y condiciones severas de desgaste. Grúas, montacargas, ascensores, pozos de extracción de minas, industria petrolera, etc.
190/240 Kg/mm ²	Construcción aeronáutica



DIMENSIONADO DE CABLES

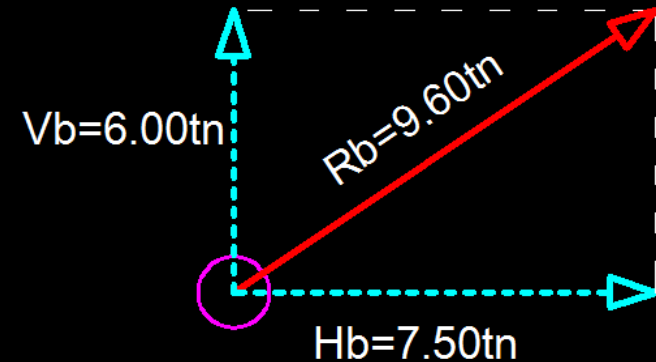
$$q=0.4 \text{ tn/m}$$

30

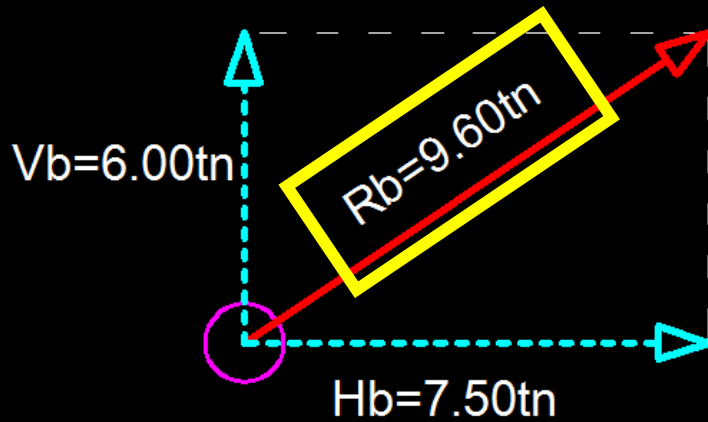


$$R_a = \sqrt{V_a^2 + H_a^2}$$

$$R_a = \sqrt{6.00^2 + 7.50^2} = 9.60 \text{ tn}$$



Una vez conocidos los valores de las componentes verticales y horizontales de las reacciones, V_a y H_a ; V_b y H_b , se puede determinar el esfuerzo en el arranque (valor de la reacción resultante), que es el máximo esfuerzo de tracción en el cable.



Solicitaciones en el arranque: Reacciones

$$R_a = R_b = 9.60 \text{ tn}$$

Carga de Rotura

$$P = 2 \times 9.60 = 19.2 \text{ tn}$$

$$P = 19200 \text{ Kg}$$

Dimensionado

Sección

$$F = \frac{P}{\sigma} = 6.00 \text{ tn}$$

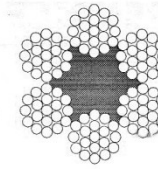
Una vez conocidos los valores de las componentes verticales y horizontales de las reacciones, V_a y H_a ; V_b y H_b , se puede determinar el esfuerzo en el arranque (valor de la reacción resultante).

Tabla Nº 5

Resistencia de los alambres que conforman los cables de acuerdo a las aplicaciones y condiciones de trabajo a que serán sometidos

Tensión de Rotura de los alambres	Aplicaciones más generales
40/70 Kg/mm 2 70/90 Kg/mm 2 90/110 Kg/mm 2	Cables y cordones fijos que no trabajan sobre tambores ni poleas, como ser riendas, cables de suspensión para líneas telefónicas, etc.
110/125 Kg/mm 2 125/140 Kg/mm 2 140/160 Kg/mm 2	Grúas, montacargas, máquinas para la construcción, ascensores, guinches, excavadoras, industria petrolera, etc. Estas tres categorías son las más empleadas y dentro de las mismas, la de 140/160 es la preferida generalmente en ingeniería.
160/175 Kg/mm 2 175/190 Kg/mm 2	Instalaciones que trabajan con grandes cargas y condiciones severas de desgaste. Grúas, montacargas, ascensores, pozos de extracción de minas, industria petrolera, etc.
190/240 Kg/mm 2	Construcción aeronáutica

Tabla Nº 1
Cable flexible
6 Cordones – 19 Alambres – 1 Alma textil



6 x 19 x 1

Cable Flexible de 6 x 19 x 1

6 cordones de 19 alambres c/u con un alma textil

Diámetro Ø 19 mm

Carga de Rotura = 19570 Kg > 19200 Kg

Cargas de rotura en kilogramos

			125 kg/mm2	150 kg/mm2	160 kg/mm2	175 kg/mm2	190 kg/mm2
4.76	0.011	1.000	1.040	1.230	1.460	1.600	1.740
6.00	0.135	1.570	1.780	2.000	2.280	2.500	2.710
6.35	0.150	1.720	1.960	2.190	2.510	2.740	2.980
7.00	0.177	2.070	2.360	2.640	3.020	3.300	3.590
8.00	0.236	2.750	3.130	3.510	4.010	4.380	4.760
9.00	0.300	2.540	4.020	4.500	5.150	5.630	6.110
9.53	0.340	3.900	4.430	4.970	5.680	6.210	6.740
11.00	0.450	5.230	5.950	6.660	7.610	8.330	9.040
12.00	0.530	6.290	7.150	8.000	8.150	10.010	10.860
12.70	0.580	6.770	7.700	8.620	9.850	10.780	11.700
14.00	0.690	7.970	9.060	10.150	11.600	12.680	13.770
16.00	0.915	10.840	12.320	13.800	15.770	17.250	18.730
17.00	1.000	11.910	13.530	15.000	17.320	18.950	20.570
19.00	1.310	15.370	17.470	19.570	22.360	24.460	26.560
21.00	1.620	18.300	21.930	24.570	24.080	30.710	33.340
22.00	1.780	20.700	23.520	26.340	30.110	32.930	35.750
24.00	2.170	25.210	28.650	32.080	36.670	40.110	43.540
25.40	2.320	26.800	30.460	34.110	38.990	42.640	46.300
27.00	2.740	31.900	36.250	40.600	46.400	50.750	55.100
28.00	2.930	33.700	38.300	42.890	49.020	53.620	56.210
29.00	3.050	35.550	40.400	45.240	51.710	56.560	61.400
31.00	3.560	41.380	47.020	52.660	60.190	65.830	71.470
32.00	3.730	43.430	49.360	55.780	63.180	69.100	75.030
34.00	4.280	49.850	56.650	63.440	72.510	79.310	86.100
36.00	4.910	35.550	40.400	45.240	51.710	56.560	61.400
38.00	5.300	41.380	47.020	52.660	60.190	65.830	71.470
40.00	5.810	43.430	49.360	55.780	63.180	69.100	75.030

Catálogo HIERROMAT
•Carga de Rotura
•Tensión de Rotura

CONCLUSIONES

- **Curva funicular**: curva de equilibrio que se obtiene al descomponer las cargas en tensiones perimetrales, y es mecánicamente equivalente al sistema de cargas aplicadas.
- La **catenaria** es la forma funicular que adopta un cable colgante determinada sólo por el peso propio del cable, y no posee una ecuación matemática que la represente.
- La **parábola** es la forma funicular de un cable con carga uniformemente repartida en proyección horizontal (coincide con el diagrama de momentos flectores de una viga simplemente apoyada con la misma carga)
- Para una relación flecha / luz de $1 / 20 \leq \lambda \leq 1 / 5$, la catenaria y la parábola de igual flecha tienen aproximadamente la misma forma, y para simplificar el cálculo, se puede considerar que la forma del cable es parabólica .

CONCLUSIONES

- La mayoría de las estructuras de cables para cubiertas tienen una relación entre flecha y luz de $1 / 8 \geq \lambda \leq 1 / 10$.
- La flecha del cable determina el valor de la componente horizontal o tiro de la reacción en el apoyo. **Cuanto menor es la flecha, mayor es el tiro.**
- Los **apoyos** representan un aspecto muy importante en el proyecto del conjunto, ya que las reacciones están en los **puntos más altos de la cubierta** y deben transferirse al terreno a través de ellos.
- El sistema puede estar conformado por **un apoyo en cada cable** o por **un apoyo cada n cables**, con un **elemento intermedio** (viga) que por **flexión** transfiera las cargas a los apoyos.

CONCLUSIONES

- La **falta de capacidad resistente a flexión** de los cables determina la **inestabilidad de la forma** frente a cargas variables, principalmente producidas por la acción del **viento**.
- La estabilización de la forma se puede lograr siguiendo dos criterios: por **peso propio** o por **pretensado**.
- Estructuras de curvatura simple: sucesión de cables paralelos entre soportes, y se **estabilizan por peso**, $g = 1.5$ sv (viento, nieve, etc.)
- Estructuras de doble cable: par de cables, uno **portante** y uno **estabilizador** para resistir el empuje ascendente del viento.
- Estructuras de doble curvatura: **doble familia de cables en dos direcciones perpendiculares**, los portantes, entre soportes (puntos altos), y los estabilizadores, en dirección perpendicular hacia abajo (puntos bajos). Esta doble familia puede estar conformada por una membrana: **tensoestructuras**.

BIBLIOGRAFÍA

Libros en biblioteca de la FAUDI:

- CARDONI, J. (1983). *ESTRUCTURAS IV. Estructuras de Grandes Luces. Estructuras de Tracción Pura. Textos de Cátedra*, Córdoba, Dpto. Publicaciones FAUDI, UNC**
- PERLES, P. (2002). *Temas de Estructuras Especiales*, Buenos Aires, Argentina. Ed. Klickowski.**

Apuntes en Plataforma Moodle:

- FERNANDEZ SAIZ, María del Carmen. *Estructuras de Tracción. Diseño de cables y apoyos*. Apuntes de Cátedra**
- FERNANDEZ SAIZ, María del Carmen. *Polígono funicular*. Apuntes de Cátedra**